ترکیب سرویس ابری آگاه از کیفیت سرویس با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی

سولماز سلیقه و بهمن آراسته

چکیده: توسعه سریع کاربردهای رایانش ابری منجر به انتشار سرویس‌های ابری زیادی در محیط ابر شده است. سرویس‌های ساده موجود در محیط ابر قادر به پاسخ‌گویی به درخواست‌های پیچیده و مختلف موجود در دنیای واقعی نخواهند بود. لذا برای ایجاد سرویس مرکب مورد نیاز می‌بایست سرویس‌های مختلف انتخاب و ترکیب شوند. ترکیب سرویس‌های ابری آگاه از کیفیت سرویس یکی از چالش‌های مهم در محاسبات سرویس‌گرا است. از آنجایی که تعداد سرویس‌های ساده ارائه‌شده خیلی زیاد است، بنابراین مسأله انتخاب و ترکیب سرویس‌ها یک مسأله Np-Hard است. در این تحقیق برای حل این مشکل الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیای زیستی مورد استفاده قرار گرفته است. برای ارزیابی روش پیشنهادی آزمایش‌های متعددی در ۵ سناریوی مختلف با تعداد وظایف و تعداد سرویس‌های مختلف در محیط Matlab انجام شده است. سرعت همگرایی روش پیشنهادی در ایجاد سرویس مرکب مورد نیاز بیشتر از سرعت همگرایی الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات است. همچنین کیفیت سرویس‌های مرکب ایجادشده به عنوان معیار ارزیابی دیگر مورد توجه می‌باشد. میزان گذردهی و نرخ موفقیت روش پیشنهادی به ترتیب برابر ۰/۹۹۹ و ۰/۹۹۸ می‌باشد. همچنین متوسط انحراف معیار در ۳۰ اجرای روش پیشنهادی کمتر از ۰/۰۲۱ است. تمامی این مقادیر نشان‌دهنده برتری روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مبتنی بر ژنتیک و ذرات می‌باشد.

کلیدواژه: **رایانش ابری، معماری سرویس‌گرا، ترکیب سرویس، کیفیت سرویس، الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیای زیستی.**

۱- مقدمه

رایانش ابری اخیراً به عنوان یک واژه همه‌گیر در جامعه محاسباتی توزیع‌شده ظهور کرده است. به طور کلی رایانش ابری توسعه بر مبنای اینترنت و استفاده از فناوری کامپیوتر است که به موجب آن منابع به طور پویا مقیاس‌پذیر می‌باشند و منابع مجازی به عنوان سرویس در اینترنت فراهم شده‌اند [۱]. هدف رایانش ابری استفاده کارامد از منابع محاسباتی است به گونه‌ای که باعث افزایش توان عملیاتی سیستم و کاهش هزینه‌ها گردد. رایانش ابری مفهوم جدیدی برای توسعه و اجرای برنامه‌های کاربردی تحت وب نیست بلکه این امکان را فراهم می‌آورد که برنامه‌ها و پورتال‌های تحت وب با هزینه پایین و به صورت مقیاس‌پذیری بر بستر زیرساخت‌های امنی توسعه یابند. رایانش ابری شامل ویژگی‌هایی نظیر مجازی‌سازی، مقیاس‌پذیری و توزیع‌پذیری می‌باشد.

در محیط رایانش ابری بر اساس نیازهای کاربران لازم است که سرویس‌های متعددی ارائه شوند. در بسیاری از مواقع درخواست کاربران تنها با تجمیع و ترکیب برخی منابع و سرویس‌ها قابل تأمین است که این کار به ترکیب سرویس مصطلح است. یکی از چالش‌های مهم و اساسی در محیط ابر، چگونگی ترکیب سرویس‌های ابری مستقل موجود برای برآورده‌کردن درخواست‌های پیچیده کاربران می‌باشد. پاسخگویی به درخواست‌های پیچیده کاربران نیازمند سرویس‌های پیچیده است که آماده‌کردن این سرویس‌ها به شکل مستقل برای ارائه‌دهندگان سرویس‌ها عملاً غیر ممکن می‌باشد. بنابراین لازم است تأمین‌کنندگان ابر با قراردادن سرویس‌های در دسترس در کنار هم و ترکیب آنها، سرویس‌های مرکب مورد نیاز جهت پاسخ به درخواست‌های کاربران را بتوانند ارائه کنند [۲]. ترکیب سرویس یک مسأله Np-Hard می‌باشد [۳] و [۴] و به عنوان یک تکنولوژی جهت تجمیع برخی سرویس‌های توزیع‌شده و ناهمگن در قابل یک سرویس مرکب کارامد و مقرون به صرفه در بستر اینترنت است.

با توجه به افزایش روزافزون کاربردهای اینترنت و استفاده از سرویس‌های مختلف عرضه بر حسب تقاضا توسط کاربران و نیز از طرفی با در نظر گرفتن نیازهای پیچیده کاربران، سرویس‌های منفرد و تکی قادر به برآورده‌کردن نیازهای کاربران نخواهد بود. بنابراین بایستی سرویس‌های موجود تکی با یکدیگر تجمیع شوند تا بتوانند نیازهای کاربران را برآورده کنند. پس یکی دیگر از دلایل انتخاب این موضوع برای این تحقیق، پیچیده‌ترشدن نیازهای جوامع امروزی است که این نیازها از طریق ترکیب سرویس‌ها برآورده می‌شوند.

هدف از این تحقیق ارائه راهکاری نو جهت دستیابی به سرویس‌های مرکب مناسب جهت پاسخگویی به درخواست‌های پیچیده کاربران است که این کار با انتخاب سرویس‌های مناسب، با در نظر گرفتن کیفیت سرویس حاصل می‌شود. بهبود کیفیت سرویس مرکب و تسریع فرایند ترکیب سرویس اهداف عمده این تحقیق محسوب می‌شوند. به عبارت دیگر با ارائه راهکاری که بتواند مقادیر کیفیت سرویس را بهینه کند، می‌توان به سرویس مرکب مناسبی دست یافت. مهم‌ترین دستاوردهای این تحقیق عبارتند از:

- استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی برای ترکیب سرویس‌های ابری و ایجاد سرویس مرکب با کیفیت مورد نیاز
- بهبود پایداری نتایج حاصل از به کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی در ایجاد سرویس مرکب

در فصل دوم برخی از روش‌های مهم در زمینه ترکیب سرویس‌های ابری مورد مطالعه و مقایسه قرار می‌گیرد. روش پیشنهادی در فصل سوم به صورت مفصل تشریح خواهد شد. در فصل چهارم نیز نتایج شبیه‌سازی و آزمایش‌ها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و در انتها نتیجه‌گیری و کارهای آتی ارائه خواهد شد.

این مقاله در تاریخ ۱۹ شهریور ماه ۱۳۹۷ دریافت و در تاریخ ۲۱ خرداد ماه ۱۳۹۸ بازنگری شد.

سولماز سلیقه، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، (email: salighe@yahoo.com).

بهمن آراسته (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، (email: b_arasteh@iaut.ac.ir).

۲- ادبیات تحقیق

ترکیب سرویس در واقع ترکیب سرویس‌های تکی برای برآورده‌کردن درخواست‌های پیچیده کاربران است که با سرویس‌های تکی، انجام آن امکان‌پذیر نیست. این بخش به مرور برخی کارهای قبلی انجام‌شده در این زمینه می‌پردازد و نحوه کار هر کدام از آنها توضیح داده می‌شود. با افزایش انتشار آنلاین تعداد سرویس‌هایی که ویژگی‌های عملکردی یکسان و غیر عملکردی (کیفی) متفاوتی را پیشنهاد می‌کنند، نیاز به یک رویکرد مؤثر برای انتخاب و ترکیب سرویس‌ها به صورت پویا احساس می‌شود. به صورت سنتی، مسأله عمدتاً یا از جنبه کیفیت سرویس (QoS)[1] یا از جنبه تراکنشی مورد توجه قرار می‌گیرد.

مقاله‌های مورد بررسی در این بخش، ترکیب سرویس را در چند حالت مورد بررسی قرار داده‌اند که برخی به بررسی ترکیب سرویس در محیط وب پرداخته‌اند، برخی برای ترکیب سرویس در محیط‌های چندابری به بررسی مسأله ترکیب ابری بهینه پرداخته‌اند و برخی نیز به بررسی چگونگی ترکیب سرویس‌های کاندید برای دستیابی به سرویس مرکب ابری بهینه پرداخته‌اند که هدف این تحقیق نیز حل همین مسأله می‌باشد که برای این منظور از الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیای زیستی استفاده شده است.

آقای زن یه[2] و همکارانش در [۵] ترکیب سرویس در رایانش ابری را در دو سطح بیان کرده‌اند: ترکیب سرویس در سطح سرویس‌های کاربردی که همانند ترکیب سرویس‌های وب در محاسبات مبتنی بر سرویس[3] می‌باشد و ترکیب در سطح سرویس‌های ابزار محاسبات مشابه تطبیق وظایف[4] و زمان‌بندی وظایف[5] در محاسبات گرید می‌باشد [۵]. فرایند ترکیب بدین صورت است که ابتدا یک سرویس کاربردی واقعی[6] برای هر یک از سرویس‌های انتزاعی[7] انتخاب می‌شود، سپس اعمال تطبیق و زمان‌بندی انجام می‌گیرد. در مرحله بعدی الگوریتم ژنتیک برای ترکیب سرویس پیاده می‌شود و در نهایت تابع برازندگی راه‌حل‌هایی را که به مقادیر قابل قبول QoS نمی‌رسند حذف می‌کند و تکامل را به سمت تولید پاسخ‌هایی با میزان برازندگی بیشتر پیش می‌برد. رویکرد پیشنهادی آقای زن یه و همکارانش برای سناریوها با مقیاس کوچک، راه‌حل‌های بهینه را پیدا می‌کند. برای مسایل با مقیاس بزرگ از رویکرد برنامه‌ریزی خطی[8] بهتر عمل می‌کند [۵].

در [۶] ابتدا خواص تراکنشی سرویس‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد و بر روی ترکیب سرویس‌های تکی به شیوه‌ای تراکنشی تمرکز شده و سپس مسأله ترکیب سرویس پویای آگاه از کیفیت سرویس و تراکنشی فرموله شده است. با مدل‌سازی مسأله به صورت یک گراف بدون دور جهت‌دار (DAG)[9] محدود، الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه به منظور جستجوی یک راه‌حل نزدیک به بهینه به طور مؤثر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رویکرد می‌تواند با وجود حفظ کارایی راه‌حل بهینه‌ای را به خوبی تخمین بزند [۶]. کیفیت سرویس به طور فزاینده‌ای نقش مهمی در طی روند ترکیب سرویس‌های ابری برای اجتماع پویا و یکپارچه کاربردهای کسب و کار بازی می‌کند.

در [۷] بر اساس ایده Skyline یک رویکرد ترکیب سرویس سریع پیشنهاد شده است. این رویکرد از عملگر Skyline جهت هرس‌کردن سرویس‌های کاندیدی که زاید هستند استفاده می‌کند، سپس از بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای انتخاب سرویس‌های وب از بین سرویس‌های کاندید باقیمانده بهره می‌برد تا با ترکیب سرویس‌های تکی مناسب، یک سرویس مرکب قدرتمند به دست آورد [۷]. این رویکرد شامل دو فاز می‌باشد: فاز اول (Skyline operator) برای حذف سرویس‌های کاندید غیر ضروری و کاهش فضای تحقیق با استفاده از عملگر Skyline برای انتخاب سرویس‌ها است. فاز دوم (ServiceComposition) برای پیداکردن سرویس مرکب بهینه با ترکیب سریع سرویس‌های کاندید مناسب با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات می‌باشد.

منابع مجازی و سرویس‌های مشابه به لحاظ عملکرد ممکن است کیفیت سرویس متفاوتی داشته باشند. بنابراین فرایند ترکیب سرویس مبتنی بر QoS می‌بایست بر مبنای کیفیت سرویس انتها به انتها باشند [۸]. هدف از ترکیب سرویس مبتنی بر QoS، انتخاب یک سرویس از میان تمام سرویس‌های کاندید برای هر وظیفه می‌باشد که از طرف ارائه‌دهندگان مختلفی ارائه می‌شوند و ویژگی‌های عملکردی یکسانی دارند که می‌توانند این وظیفه را انجام دهند و مقدار سودمندی سرویس مرکب را افزایش دهند. انتخاب سرویس از بین سرویس‌های کاندید هر وظیفه با بیشترین مقدار سودمندی لزوماً نمی‌تواند منجر به یک راه‌حل صحیح شود زیرا این انتخاب نمی‌تواند به حداکثررساندن تمامی کیفیت‌های سرویس انتها به انتها را تضمین کند، بنابراین در نظر گرفتن ترکیبات متفاوتی از هر وظیفه لازم می‌باشد. پس رویکرد موجود در [۸] یک مدل جدید برای فرایند ترکیب پیشنهاد می‌کند که در آن یک سرویس مجازی[10] به عنوان مؤلفه جدید نرم‌افزاری تعریف می‌شود که با توجه به نیازهای عملکردی برای ترکیب، تمام پارامترهای عملکردی و غیر عملکردی را از یک سرویس تکی اتمی یا از یک مجموعه سرویس‌های اتمی به ارث می‌برد [۸].

الگوریتم جهش قورباغه درهم‌ریخته، به وسیله تقلید از رفتار قورباغه شبیه‌سازی شده که در جستجوی غذای قرار داده شده بر روی سنگ‌های جداگانه است که به صورت تصادفی داخل یک حوضچه می‌باشند. هدف یافتن سنگی با بیشترین مقدار غذا است [۹]. SFLA[11] به دنبال یافتن یک راه‌حل بهینه با توانایی ترکیب مزایای یک الگوریتم از شاخه ژنتیک بر مبنای ژن و بهینه‌سازی ازدحام ذرات بر مبنای رفتار اجتماعی (PSO)[12] می‌باشد. جمعیت اولیه در SFLA شامل یک مجموعه از قورباغه‌ها یا همان راه‌حل‌های کاندید می‌باشد که به چندین گروه تقسیم می‌شوند. در هر گروه یک جستجوی محلی در فضای راه‌حل به وسیله قورباغه‌ها انجام می‌شود. بعد از تعدادی گام تکاملی که از پیش تعیین شده است اطلاعات بین گروه‌ها معاوضه می‌شود تا فرایند درهم‌ریختن با این تبادل اطلاعات انجام شود. جستجوی محلی و فرایند درهم‌ریختن به طور مکرر انجام می‌شود تا زمانی که شرط همگرایی برآورده شود.

هر قورباغه نشان‌دهنده یک راه‌حل ممکن (یک سرویس مرکب) به صورت یک مجموعه از توالی سرویس‌های مجازی است و هر مجموعه

1. Quality of Service
2. Zhen Ye
3. Service Oriented Computing
4. Task Matching
5. Task Scheduling
6. Concrete Service
7. Abstract Service
8. Linear Programming
9. Direct Acyclic Graph
10. Virtual Service
11. Shuffled Leaping Frog Algorithm
12. Particle Swarm Optimization

توسط یک مجموعه‌ای از توالی وظایف معرفی می‌شود که می‌توان یک جستجوی محلی را در آن انجام داد و عملگر برش را با آن ادغام کرد. عملگر برش به این صورت است که قسمت نخست وظیفه اول با قسمت انتهایی وظیفه بعدی ترکیب می‌شود. این رویکرد یک مدل ترکیب عمومی را پیشنهاد می‌کند که معرف یک مؤلفه انتزاعی است که نشان‌دهنده مهم‌ترین و اساسی‌ترین ساختار معمول ترکیب است که در استانداردهای ترکیب سرویس به کار رفته است. ماتریس ترکیب پیشنهادی به این مدل امکان پشتیبانی از هر نوع عملکرد ترکیب را می‌دهد که می‌تواند تمام ساختارهای ممکن برای ترکیب را نشان دهد [۹].

در [۱۰] یک رویکرد پویای تراکنشی بر پایه بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای حل مسأله ترکیب سرویس ارائه شده که در آن گردش کار و محدودیت‌های کیفیت سرویس در زمان اجرا دریافت می‌شود. ولی معیارهای کیفیت سرویس در نظر گرفته شده آن کم می‌باشد. در [۵] از الگوریتم ژنتیک برای زمان‌بندی و ترکیب سرویس بهره گرفته شده که از مشکلات آن می‌توان به عملکرد ضعیف آن در مقیاس‌های بزرگ اشاره کرد. محققان در [۷] رویکردی ارائه کرده‌اند که در آن با استفاده از عملگر Skyline فضای جستجو کاهش داده می‌شود و همچنین از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای انتخاب و ترکیب سرویس‌ها استفاده می‌شود. این رویکرد زمان اجرایی پایینی دارد ولی پایداری ضعیفی از خود نشان می‌دهد. در [۹] رویکرد بهینه‌سازی ترکیب سرویس با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه درهم‌ریخته ارائه شده که زمان محاسبه قابل قبولی دارد ولی از معایب آن می‌توان به عدم انتخاب سرویس بهینه و همچنین ناسازگاری اشاره کرد. در [۱۱] متد ترکیب سرویس با خوشه‌بندی بر مبنای الگوریتم کلونی مورچگان ارائه شده که قادر به یافتن سرویس مرکب مناسب می‌باشد. رویکرد تمامی ابرها در [۱۲] با وجود پیچیدگی زمانی پایین نمی‌تواند به ترکیب ابری بهینه دست یابد.

در این فصل برخی رویکردها و روش‌های ترکیب سرویس بررسی شد و معایب آنها از جمله عدم رعایت سازگاری سرویس‌ها، زمان اجرای بالا و همگرایی زودرس مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. برای رفع برخی معایب کارهای پیشین از جمله میزان کیفیت سرویس مرکب حاصل و زمان اجرا روش جدیدی بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیای زیستی معرفی شده که در فصل سوم تشریح می‌شود.

۳- روش پیشنهادی

این فصل جهت آشنایی با روش پیشنهادی می‌باشد که در قالب چند زیرفصل ارائه شده است. در بخش نخست ساختار کلی ترکیب سرویس آورده شده که مسأله ترکیب سرویس را به صورت رسمی بیان می‌کند. در ادامه مجموعه داده‌های مورد استفاده معرفی شده و شیوه نرمال‌سازی پارامترهای کیفیت سرویس در قالب ۲ فرمول ارائه می‌شود. در بخش‌های بعدی الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیای زیستی معرفی خواهد شد و سپس مراحل حل مسأله ترکیب سرویس به وسیله روش پیشنهادی به صورت مفصل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۳-۱ بیان رسمی مسأله ترکیب سرویس

ترکیب سرویس آگاه از کیفیت سرویس عبارت است از یافتن مجموعه‌ای از سرویس‌های کاندید ابری با عملکرد یکسان و ویژگی‌های غیر عملکردی (کیفی) متفاوت که اولاً بایستی محدودیت‌های درخواستی کاربر را برآورده و دوم این که باید تابع هدف را بهینه کنند. در ادامه، یک تعریف رسمی از مسأله ترکیب سرویس آگاه از کیفیت سرویس در ابر، بیان می‌شود [۱۳]:

- یک درخواست ترکیب سرویس به شکل جریان کار[1] که با استفاده از یک گراف بدون دور جهت‌دار مدل می‌گردد $G=(V,E)$.
- $V=\{T_1,T_2,\ldots,T_n\}$ که n تعداد وظایف در جریان کار می‌باشد.
- E مجموعه یال‌هاست که اولویت اجرای وظایف را نشان می‌دهد.
- هر وظیفه $T_i\ (1\le i\le n)$ در جریان کار مجموعه‌ای از سرویس‌های کاندیدی دارد $CS_i=\{CS_i^1,CS_i^2,\ldots,CS_i^{m_i}\}$ به طوری که در آن $CS_i^j\ (1\le j\le m_i)$ یک سرویس نامزدی ابری است که توسط ارائه‌دهندگان سرویس ارائه شده است.
- m_i تعداد کل سرویس‌های کاندید موجود برای وظیفه T_i است.
- هر سرویس کاندید CS_i^j یک مجموعه از اطلاعات کیفیت سرویس مختلف دارد $QoS_i^j=\{Q_1,Q_2,\ldots,Q_K\}$ که $Q_l\ (1\le l\le K)$ یک ویژگی کیفیت سرویس از سرویس ابری را نشان می‌دهد.
- اطلاعات کیفیت سرویس مربوط به سرویس ابری در انباره کیفیت سرویس ذخیره می‌گردد.
- K تعداد ویژگی‌های کیفیت سرویس مربوط به سرویس ابری است که در مدل کیفیت سرویس استفاده شده است.
- QC مجموعه محدودیت‌های سراسری است که توسط کاربر تعیین گردیده است $QC=(C_1,C_2,\ldots,C_K)$.

با در نظر گرفتن موارد فوق هدف مسأله ترکیب سرویس آگاه از کیفیت سرویس‌یافتن سرویس مرکب ابری نزدیک بهینه است به گونه‌ای که (۱) برقرار باشد

$$\forall j=1,\ldots,K \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} S_i.Q_j < C_j & \text{if } Q_j \text{ is additive} \\ \prod_{i=1}^{n} S_i.Q_j > C_j & \text{if } Q_j \text{ is multiplicative} \end{cases} \quad (1)$$

۳-۲ مجموعه داده‌ها

مجموعه داده‌ای که در روش پیشنهادی به عنوان مقادیر پارامترهای کیفیت سرویس استفاده شده، مجموعه داده ارائه‌شده توسط المَصری[2] و سایر همکارانش است. این مجموعه داده که QWS[3] [۱۴] نام دارد یک مجموعه داده‌ای پایه و اساسی برای محققین در این حوزه مطالعاتی است. مجموعه داده QWS شامل یک مجموعه از ۲۵۰۷ سرویس وب و اندازه‌گیری‌های کیفیت سرویس آنها است. اندازه‌گیری مقادیر پارامترهای کیفیت سرویس توسط چارچوب دلال سرویس وب[4] پیشنهادی آنها انجام شده است. هر رکورد در مجموعه داده QWS شامل مقادیر ۱۱ پارامتر برای هر سرویس وب می‌باشد. ۹ پارامتر ابتدایی در هر رکورد پارامترهای کیفیت سرویس می‌باشند که توسط چارچوب دلال سرویس وب در یک بازه زمانی شش‌روزه اندازه‌گیری شده است. مقادیر کیفیت سرویس موجود در مجموعه داده، میانگین اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در بازه مورد نظر است. جدول ۱، یک توصیف ساده برای هر یک از ۹ پارامتر کیفیت سرویس ارائه می‌کند.

1. Workflow
2. Al-Masri
3. Quality of Web Service
4. Web Service Broker Framework

جدول ۱: توصیف پارامترهای کیفیت سرویس موجود در مجموعه داده QWS.

نام پارامتر	توصیف	واحد
زمان پاسخ (Response Time)	زمانی که برای ارسال یک درخواست و دریافت پاسخ طول می‌کشد	میلی‌ثانیه
قابلیت دسترسی (Availability)	تعداد فراخوانی‌های موفق بر تعداد کل فراخوانی‌ها	٪
توان عملیاتی (Throughput)	تعداد کل فراخوانی‌ها برای یک بازه زمانی داده‌شده	فراخوانی بر ثانیه
قابلیت موفقیت (Successability)	تعداد پاسخ بر تعداد پیغام‌های درخواست	٪
قابلیت اطمینان (Reliability)	نسبت تعداد پیغام‌های خطا بر تعداد کل پیغام‌ها	٪
اجابت (Compliance)	میزان تبعیت سند WSDL از مشخصات WSDL	٪
بهترین شیوه (Best Practices)	میزان تبعیت یک سرویس از پروفایل WS-I پایه	٪
تأخیر (Latency)	مدت زمانی که طول می‌کشد تا سرویس‌دهنده یک درخواست را پردازش کند	میلی‌ثانیه
مستندسازی (Documentation)	اندازه‌گیری مستندسازی (برچسب‌های توصیفی) در WSDL	٪

۳-۳ نرمال‌سازی پارامترهای کیفیت سرویس

واحدهای اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به یک سرویس ابری با یکدیگر متفاوت می‌باشد. برخی از این پارامترها افزایشی و برخی کاهشی هستند. پارامترهای افزایشی پارامترهایی هستند که مقادیر آنها باید افزایش یابد و در مقابل پارامترهای کاهشی پارامترهایی هستند که مقادیر آنها باید کاهش یابد. از آنجایی که برای محاسبه تابع هدف، همه این پارامترها باید در یک مقیاس یکسان اندازه‌گیری شوند پس لازم است که مقادیر همه پارامترهای کیفیت سرویس در یک مقیاس یکسان نرمال‌سازی گردند. در حقیقت نرمال‌سازی پارامترهای کیفیت سرویس این امکان را فراهم می‌سازد که یک اندازه‌گیری یکنواخت از مقادیر آنها داشته باشیم. رویکرد کلی برای این منظور، نرمال‌سازی مقادیر همه پارامترها در یک بازه صفر تا یک می‌باشد. روابط (۲) و (۳) قوانین نرمال‌سازی را به ترتیب برای پارامترهای بیشینه‌سازی و کمینه‌سازی نشان می‌دهند. در روابط زیر $CS.Q^i$ مقدار پارامتر iام کیفیت سرویس مربوط به سرویس کاندید CS و $N_{CS.Q^i}$ مقدار نرمال‌شده آن می‌باشد. همچنین $Q^i_{\max}$ و $Q^i_{\min}$ مقادیر بیشینه و کمینه پارامتر iام در بین همه سرویس می‌باشند

$$N_{CS.Q^i}=\begin{cases}\dfrac{Q^i_{\max}-CS.Q^i}{Q^i_{\max}-Q^i_{\min}} & , Q^i_{\max}\neq Q^i_{\min}\\ ۱ & , Q^i_{\max}=Q^i_{\min}\end{cases} \quad (۲)$$

$$N_{CS.Q^i}=\begin{cases}\dfrac{CS.Q^i-Q^i_{\min}}{Q^i_{\max}-Q^i_{\min}} & , Q^i_{\max}\neq Q^i_{\min}\\ ۱ & , Q^i_{\max}=Q^i_{\min}\end{cases} \quad (۳)$$

۴-۳ الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیای زیستی برای حل مسأله ترکیب سرویس

از آنجایی که مسأله ترکیب سرویس‌های ابری یک مسأله NP-Hard است و با روش‌های عددی و قطعی قابل حل نمی‌باشد بنابراین برای حل آن بایستی از روش‌های هوش مصنوعی و الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای استفاده شود که بدین منظور در این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیای زیستی استفاده شده است.

۱-۴-۳ جمعیت اولیه

ابتدا جمعیت اولیه‌ای از جواب‌های مسأله به صورت تصادفی ایجاد می‌شود که در اینجا هر نمونه از جمعیت اولیه همان زیستگاه می‌باشد. هر راه‌حل یا جواب برای مسأله ترکیب سرویس در واقع یک سرویس مرکب است که به صورت یک آرایه کد می‌شود. به عبارت بهتر برای مسأله ترکیب سرویس هر زیستگاه یک راه‌حل یا در واقع یک سرویس مرکب در نظر گرفته می‌شود که به صورت یک بردار تعریف می‌شود و دارای ویژگی‌هایی مانند نرخ مهاجرت به داخل و نرخ مهاجرت به خارج می‌باشد [۱۵]. طول آرایه به اندازه تعداد وظایف است که در آن مقدار ذخیره‌شده در درایه iام، شماره سرویس کاندید انتخاب‌شده برای وظیفه iام را نشان می‌دهد. شکل ۱ مثالی از ساختار یک سرویس مرکب ابری را نشان می‌دهد. در این شکل درایه دوم بدین معنی است که برای اجرای وظیفه دوم، سرویس پیشنهادی هشتم از بین سرویس‌های پیشنهادشده انتخاب گردیده است.

۲-۴-۳ تابع هدف

مهم‌ترین اهدافی که مسئله ترکیب سرویس ابری آگاه از کیفیت سرویس با آن سر و کار دارد برآورده‌کردن محدودیت‌های درخواستی کاربر و همچنین بهینه‌سازی یک تابع شایستگی است. تابع شایستگی باید مقادیر پارامترهای کیفیت سرویس را برای سرویس ابری مرکب ساخته‌شده بهینه کند. با در نظر گرفتن این که در مدل کیفیت پیشنهادی، شش پارامتر زمان پاسخ (Resp)، قابلیت دسترسی (Avail)، توان عملیاتی (Throu)، قابلیت موفقیت (Succ)، قابلیت اطمینان (Reli) و تأخیر (Late) مورد استفاده قرار گرفته‌اند، تابع شایستگی برای یک راه‌حل به صورت (۴) تعریف می‌گردد که در آن ضرایب $w_۱$، $w_۲$، $w_۳$، $w_۴$، $w_۵$ و $w_۶$ وزن‌های مثبتی هستند که درجه اهمیت هر یک از پارامترهای کیفیت سرویس را نشان داده و توسط کاربر مشخص می‌گردند که در این تحقیق مقدار همه آنها مساوی با هم و برابر ۱/۶ در نظر گرفته شده است به طوری که $\sum_{i=۱}^{۶} w_i = ۱$. مقدار این پارامترها بر اساس کاربرد و نیاز کاربران تعیین می‌شود. ممکن است در یک کاربرد پارامتر قابلیت اطمینان در سرویس مرکب مورد نظر اهمیت بیشتری داشته باشد و در کاربرد دیگر پارامتر توان عملیاتی از اهمیت بیشتری برخوردار باشد. در این تحقیق، مشابه تحقیقات قبلی، اهمیت پارامترهای کیفی یکسان در نظر گرفته شده است. هر کدام از جملات این رابطه ابتدا نرمال می‌شوند و سپس مقادیر نرمال‌شده با هم جمع می‌شوند تا جواب نهایی نیز به صورت نرمال‌شده به دست آید

$$Fitness(Sol)=w_۱\times Sol.Resp+w_۲\times Sol.Late+ w_۳\times\frac{۱}{Sol.Avail}+w_۴\times\frac{۱}{Sol.Throu}+ w_۵\times\frac{۱}{Sol.succ}+w_۶\times\frac{۱}{Sol.Reli} \quad (۴)$$

	T_1	T_2	...	T_n
=> یک سرویس مرکب	۱۳	۸	...	۵

شکل ۱: ساختار یک سرویس ابری مرکب.

۳-٤-۳ مراحل کار

ابتدا یک سری زیستگاه‌هایی به عنوان جمعیت اولیه به صورت تصادفی ایجاد می‌شوند و جواب‌های مسأله ترکیب سرویس بر زیستگاه‌ها و گونه‌های موجود در آن نگاشت می‌شوند. پارامترهای اولیه روش مقداردهی می‌شوند. روندنمای روش پیشنهادی در شکل ۲ نشان داده شده است.

۳-٤-٤ مرحله مهاجرت

فرض می‌شود که یک مسأله و مجموعه‌ای از راه‌حل‌های کاندید وجود دارد که توسط برداری از اعداد صحیح نشان داده می‌شوند. هر عدد صحیح در بردار راه‌حل می‌تواند به عنوان یک گونه (همانند ژن در GA) در نظر گرفته شود. علاوه بر این فرض کنید که روش‌هایی برای تعیین میزان مطلوب‌بودن راه‌حل‌ها موجود باشد. راه‌حل‌های مطلوب دارای HSI بهتر (زیستگاه با گونه‌های زیاد) و راه‌حل‌های ضعیف دارای HSI بدتر (زیستگاه با گونه‌های کم) هستند که HSI در BBO مشابه مقدار برازندگی در سایر الگوریتم‌های بهینه‌سازی بر پایه جمعیت است. هر زیستگاه (راه‌حل) در BBO دارای نرخ مهاجرت به داخل (λ) و نرخ مهاجرت به خارج (μ) است که از آنها برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات به صورت احتمالی بین راه‌حل‌ها استفاده شده می‌شود. مقادیر این متغیرها با استفاده از (۵) و (۶) محاسبه می‌شوند

$$\lambda_i = I(1-\frac{k(i)}{n}) \quad (۵)$$

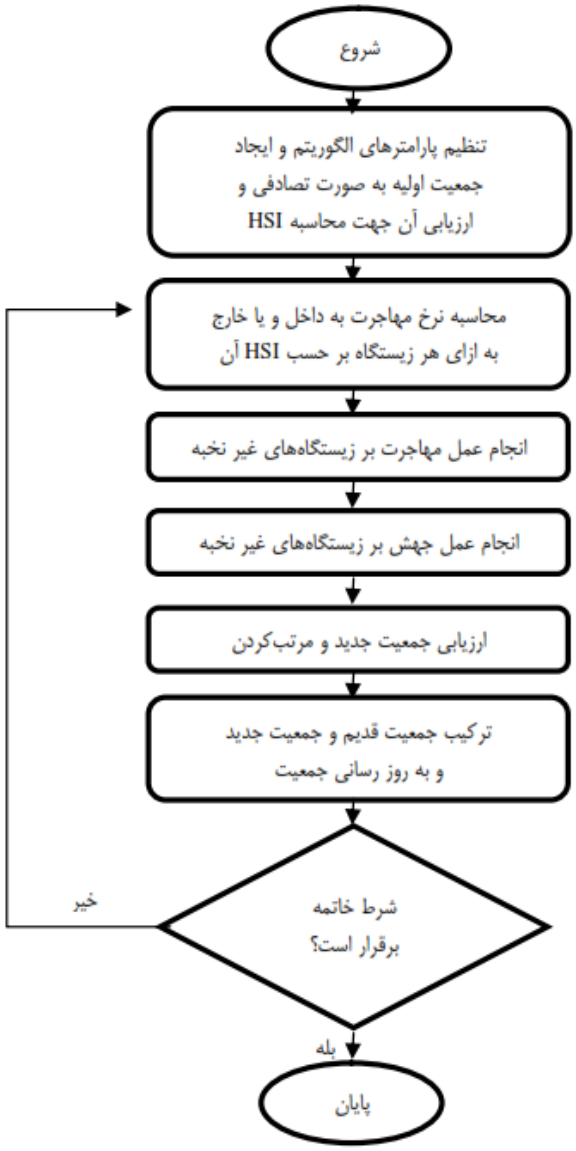
$$\mu_i = E(\frac{k(i)}{n}) \quad (۶)$$

در این روابط I و E به ترتیب بیشترین مقدار نرخ مهاجرت به داخل و مهاجرت به خارج است که راه‌حل‌ها می‌توانند داشته باشند و $k(i)$ نشان‌دهنده تعداد گونه‌ها در زیستگاه iام است. مقداری این متغیر بین ۱ تا n است به گونه‌ای که مقدار n برای بهترین راه‌حل و مقدار ۱ برای بدترین راه‌حل می‌باشد. هر راه‌حل بر اساس راه‌حل‌های دیگر اصلاح می‌شود. مهاجرت را می‌توان به صورت $H_i(SIV) \leftarrow H_j(SIV)$ بیان کرد یعنی جواب بدتر به سمت جواب بهتر حرکت می‌کند. فرض شود n زیستگاه وجود دارد که H_i یکی از آنها است که نرخ مهاجرت‌پذیری آن λ_i است و H_j زیستگاه بعدی است که نرخ مهاجرت‌گریزی آن μ_j است. عملگر مهاجرت با استفاده از (۷) تعریف می‌شود. در این رابطه ضریب γ یک عدد حقیقی بین صفر و یک است که می‌تواند به صورت تصادفی انتخاب شود. روش‌های بسیاری برای حرکت‌دادن جواب‌های بدتر به سمت جواب‌های بهتر وجود دارد که در این تحقیق از (۷) استفاده شده است

$$H_i(SIV) \leftarrow \gamma H_i(SIV) + (1-\gamma)H_j(SIV) \quad (۷)$$

۳-٤-۵ مرحله جهش

تحولات ناگهانی باعث می‌شوند که تعداد گونه‌ها از مقدار متعادل خود منحرف شوند و در نتیجه مقدار HSI یک زیستگاه به صورت ناگهانی تغییر یابد. در BBO این اتفاق با جهش SIV نشان داده می‌شود. شاید همیشه تمام جواب‌هایی که توسط الگوریتم BBO به دست آمده، مناسب



شکل ۲: روندنمای روش پیشنهادی.

نباشند یا ممکن است که از هدف اصلی رسیدن به جواب بهینه دور شود. بدین منظور در این الگوریتم بعد از عمل مهاجرت باید عملگر جهش روی راه‌حل‌ها اعمال شود، در واقع از جهش برای تغییر راه‌حل‌ها استفاده می‌شود. هدف کلی جهش ایجاد تنوع در راه‌حل‌ها یا افزایش زیستگاه‌ها در میان جمعیت است. از احتمال تعداد گونه‌های موجود در زیستگاه برای مشخص‌کردن نرخ جهش با به کارگیری (۸) استفاده می‌شود که در این رابطه $m_{\max}$ بیشترین مقدار نرخ جهش می‌باشد که توسط کاربر تعریف می‌شود. $P_{\max}$ حداکثر احتمال تعداد گونه‌ها است در حالی که P_s احتمال این را که زیستگاه دقیقاً دارای S گونه باشد نشان می‌دهد. این الگوی جهش منجر به افزایش تنوع در جمعیت می‌شود. در این تحقیق، نرخ جهش به صورت عملیاتی و در حین اجرای روش پیشنهادی بر روی سناریوهای مختلف تنظیم شده است. بهترین مقدار برای پارامتر جهش در آزمایشات انجام‌گرفته برابر ۰/۱ است

$$M(s) = m_{\max}(\frac{1-p_s}{p_{\max}}) \quad (۸)$$

۳-٤-٦ ترکیب جمعیت

در این مرحله، جمعیت جدید حاصل از مراحل قبل بایستی توسط تابع

Pseudo Code of BBO for service Composition

Input: Composition request as a workflow (DAG) and user preferences
Output : near optimal composite cloud service

// initialization

Initialize parameters

initial population of Habitats

Each pop is an n-dimensional array of habitats for a composition problem with n-Tasks

1. Evaluate the population by Fitness Function and obtain HSI value for each Habitat
2. Examine the immigration and emigration rate
3. Migration operation
4. Mutation operation
5. Evaluate the Fitness Function
6. Update population

شکل ۳: شبه‌کد روش پیشنهادی.

جدول ۲: مشخصات سناریوهای مورد آزمایش.

	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴	سناریوی ۵
تعداد وظایف	۱۰	۱۰	۵۰	۵۰	۱۰۰
حداکثر تعداد سرویس‌های کاندید	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
حداکثر تعداد تکرار	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰
جمعیت اولیه	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰

هدف ارزیابی و مرتب شوند. در ادامه جمعیت قدیم و جدید باید ترکیب شوند و بدین ترتیب جمعیت نسل بعدی تشکیل یابد. بدین منظور درصدی از پیش تعیین شده از بهترین‌های جمعیت قدیم و همچنین درصدی از پیش تعیین شده از بهترین‌های جمعیت جدید با یکدیگر ترکیب می‌شوند و جمعیت نسل بعدی را تشکیل می‌دهند. تعداد این جمعیت باید برابر با جمعیت اولیه باشد چون به طور کلی جمعیت هر نسل در الگوریتم‌های تکاملی برابر با جمعیت اولیه است.

مطابق شبه‌کد نمایش داده شده در شکل ۳ برای مراحل الگوریتم پیشنهادی، پس از مرحله ترکیب، زیستگاهی که دارای بهترین مقدار شایستگی باشد به عنوان بهترین نمونه نسل جاری یا به عبارتی به عنوان بهترین جواب آن نسل نمایش داده می‌شود و شرط خاتمه بررسی می‌گردد، در صورتی که برقرار باشد جواب مذکور به عنوان بهترین جواب مسأله معرفی می‌شود. ولی اگر شرط برقرار نباشد جمعیت به نسل بعدی منتقل شده و مجدداً عملگرهای الگوریتم روی جمعیت اعمال می‌شوند تا آنها را به سمت بهبودی هدایت کنند. اگر در طی چند نسل جواب‌ها بدون تغییر باقی بمانند در این صورت به اصطلاح گفته می‌شود جواب‌ها همگرا شده‌اند. در این تحقیق شرط خاتمه الگوریتم حداکثر تعداد تکرار در نظر گرفته شده است.

٤- شبیه‌سازی و نتایج

در این فصل نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته در محیط شبیه‌سازی ارائه شده است. آزمایش‌ها در سه مرحله انجام گرفته است، آزمایش‌های همگرایی، پایداری و آزمایش‌های معیارهای کیفیت سرویس که نتایج تمامی آنها با نتایج الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات پایه که در شرایط

جدول ۳: پارامترهای الگوریتم ژنتیک.

پارامتر	مقدار
عملگر انتخاب	چرخ رولت
عملگر برش	تک نقطه
نرخ برش	۰/۶
نرخ جهش	۰/۲

جدول ۴: پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات.

پارامتر	مقدار
وزن اینرسی	۲/۵
C۱	۲
C۲	Rand ×۲/۵
حداکثر سرعت	تعداد وظایف

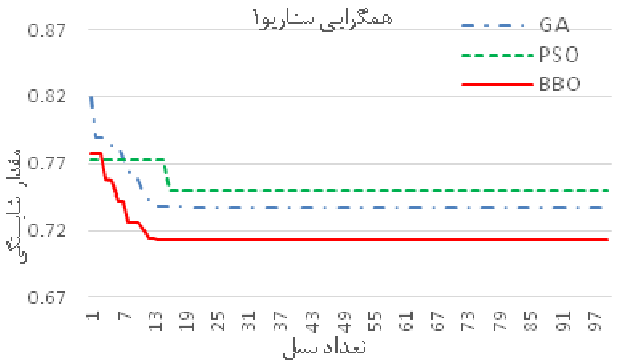
جدول ۵: پارامترهای الگوریتم جغرافیای زیستی.

پارامتر	مقدار
درصد جمعیت قدیم	٪۵۰
درصد جمعیت جدید	٪۵۰
نرخ مهاجرت (mu) (مهاجرت به خارج)	تصادفی
نرخ جذب (آلفا) (مهاجرت به داخل)	۰/۹
نرخ جهش	۰/۱

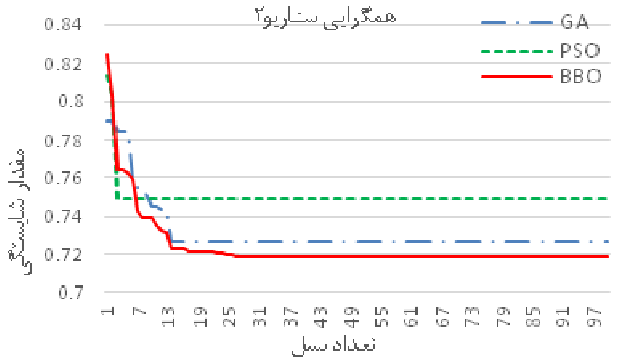
یکسانی اجرا شده‌اند مقایسه گردیده است. تمامی آزمایش‌ها در یک کامپیوتر شخصی با پردازنده ۲/۵ گیگاهرتز و Core i۵ و با حافظه اصلی ۶ گیگابایت انجام شده است. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار Matlab ۲۰۱۵b و همچنین از مجموعه داده‌های QWS [۱۴] به عنوان اطلاعات کیفیت سرویس برای سرویس‌های پیشنهادی بهره برده شده است. در این تحقیق، ۵ سناریو مطابق جدول ۲ برای ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه با روش‌های قبلی در نظر گرفته شده است. برای ارزیابی روش پیشنهادی می‌بایست روش پیشنهادی در شرایط و سناریوهای مختلف اجرا شود و سناریوها باید شرایط واقعی و درخواست‌های واقعی کاربران سرویس‌های ابری را شبیه‌سازی کنند. تعداد سرویس‌ها و تعداد وظایف موجود در سناریوها متفاوت بوده و لذا روش پیشنهادی در شرایط مختلف ارزیابی می‌شود. همچنین در این تحقیق سعی شده از سناریوهای مشابه سناریوهای به کار رفته در تحقیقات قبلی نیز استفاده شود.

ویژگی‌های مابین وب سرویس‌های ابری از نظر کیفی متفاوت هستند و هر سرویس دارای ویژگی‌های کیفی منحصر به خود می‌باشد. این ویژگی‌های کیفی در مجموعه داده QWS برای ۲۵۰۷ سرویس واقعی ابری که در وب موجود هستند جمع‌آوری شده است. این مجموعه داده‌ها از طریق خدمات وب با استفاده از موتور سرویس خدمت سرویس وب (WSCE) جمع‌آوری شد. این مجموعه داده‌های واقعی در غالب تحقیقات مربوط پیشین به کار رفته است. در این تحقیق نیز از این مجموعه داده‌ها برای ارزیابی کیفیت سرویس مرکب به دست آمده استفاده می‌شود.

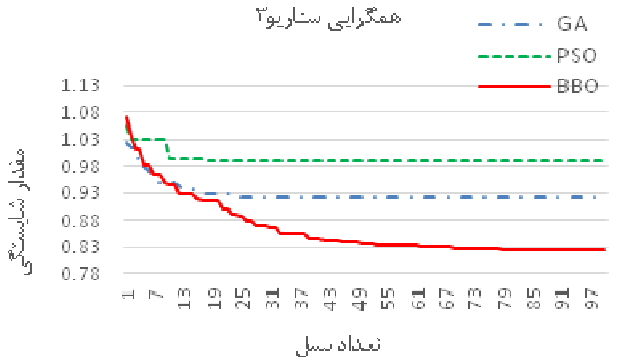
آزمایش‌های همگرایی و پایداری و نیز آزمایش‌های معیارهای کیفیت سرویس برای روش پیشنهادی و نیز الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات در شرایط یکسان انجام شده‌اند و نتایج آنها در ادامه ارائه شده است. در انجام آزمایش‌ها، پارامترهای الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات و همچنین روش پیشنهادی به ترتیب در جدول‌های ۳ تا ۵ ارائه شده‌اند. مقدار پارامترهای الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات و جغرافیای زیستی باید در



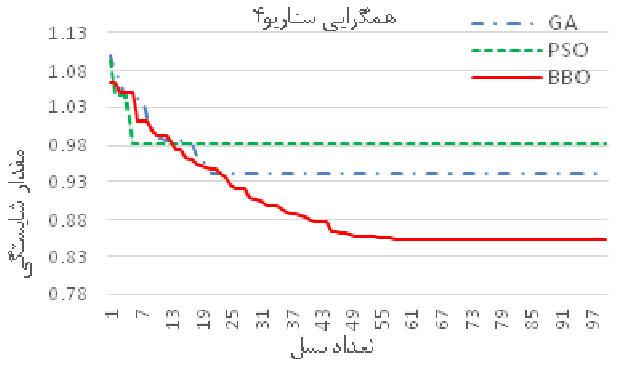
شکل ۴: نمودار همگرایی سناریوی ۱.



شکل ۵: نمودار همگرایی سناریوی ۲.

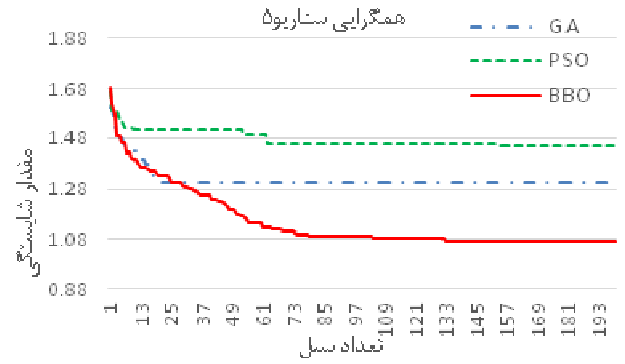


شکل ۶: نمودار همگرایی سناریوی ۳.

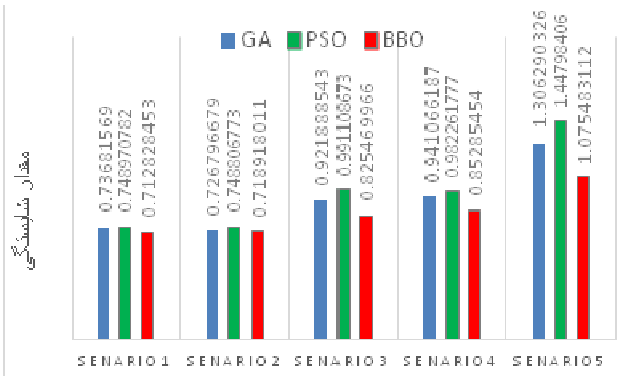


شکل ۷: نمودار همگرایی سناریوی ۴.

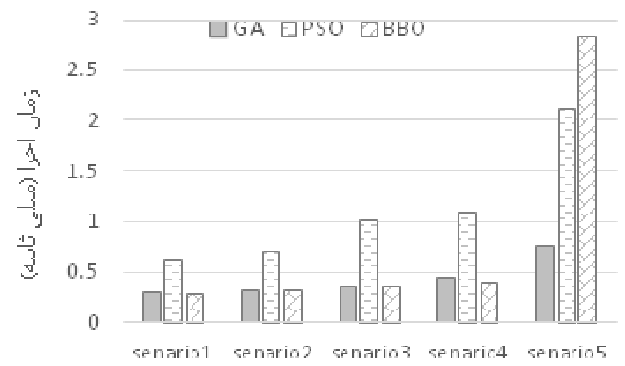
زمان اجرا تنظیم شود. برای تعیین مقادیر بهینه این پارامترها، هر الگوریتم با مقادیر مختلف پارامترهای مربوط اجرا می‌شود. مقادیری مربوط به پارمترهای مربوط مانند نرخ جهش و ترکیب که منجر به تولید بهترین پاسخ توسط الگوریتم می‌شوند به عنوان مقادیر بهینه پارامترهای جهش و ترکیب انتخاب می‌شوند.



شکل ۸: نمودار همگرایی سناریوی ۵.



شکل ۹: نمودار مقایسه ستونی سناریوها.

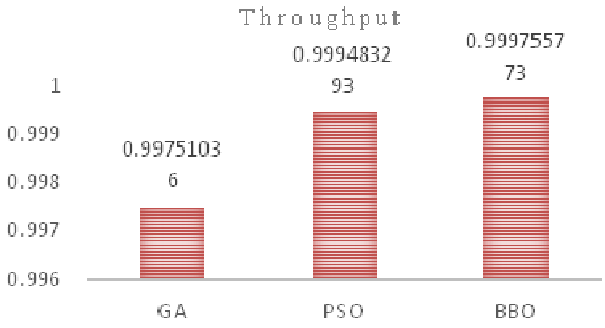


شکل ۱۰: نمودار مقایسه زمان اجرای روش‌ها در سناریوهای مختلف.

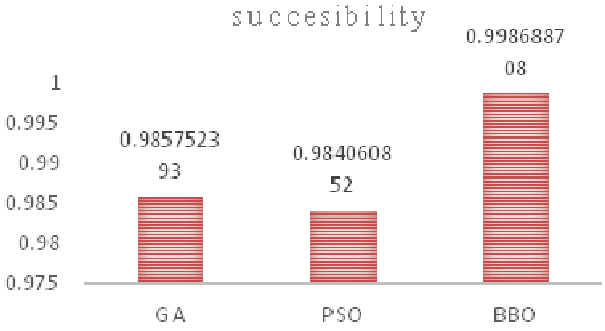
٤-١ ارزیابی معیار همگرایی

آزمایش‌های همگرایی برای ۵ سناریوی مذکور در جدول ۲ برای روش پیشنهادی و نیز روش‌های مورد مقایسه در شرایط یکسان انجام شده و نتایج آنها را در شکل‌های ۴ تا ۸ می‌توان مشاهده کرد. در تمامی آزمایش‌ها جمعیت اولیه برای هر سه روش مورد آزمایش به تعداد ۵۰ نمونه در نظر گرفته شده است. شکل ۹ نیز مقادیر نهایی سناریوها را در قالب نمودار ستونی مورد مقایسه قرار داده است.

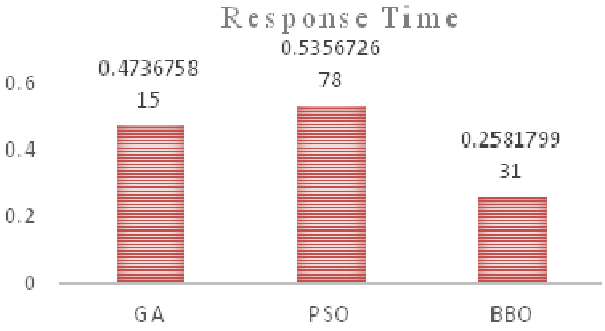
در هر ۵ سناریو روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها بهتر عمل کرده است. شکل ۱۰ نیز زمان اجرای سناریوها را مورد مقایسه قرار داده است. با مقایسه زمان اجرای سناریوهای مختلف مشاهده می‌شود که در ابعاد بزرگ روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های مورد مقایسه زمان بالایی دارد در حالی که در ابعاد پایین نتایج بهتری ارائه کرده است. الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی یک الگوریتم تکاملی نوین است که عملکرد و کارایی آن در مسایل بهینه‌سازی متعدد به اثبات رسیده است. در مسأله ترکیب سرویس‌های ابری، روش پیشنهادی با



شکل ۱۱: نمودار مقایسه توان عملیاتی.



شکل ۱۲: نمودار مقایسه احتمال موفقیت در تولید سرویس مرکب پیشنهادی.



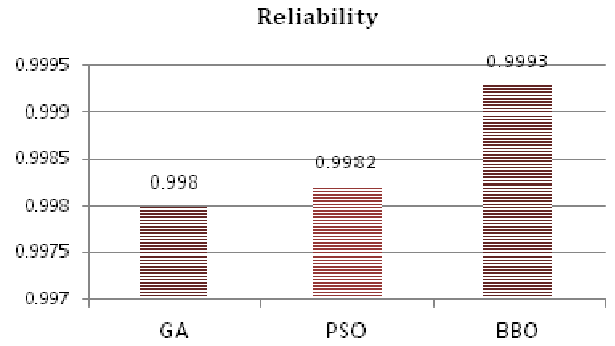
شکل ۱۳: نمودار مقایسه زمان پاسخ.

استفاده از الگوریتم جغرافیای زیستی و عملگرهای مهاجرت و جهش برتری قابل توجهی نسبت به روش‌های اکتشافی دیگر دارد. الگوریتم جغرافیای زیستی با اعمال عملیات ساده و مؤثر مهاجرت و جهش باعث ایجاد سرویس‌های مرکب بهینه می‌شود. در روش پیشنهادی، عملگرهای مهاجرت به داخل و خارج از زیستگاه‌ها باعث می‌شود تا فضای مربوط به راه‌حل‌های مسأله به خوبی جستجو شود. همچنین در مسأله ترکیب سرویس‌های ابری، احتمال قرارگرفتن الگوریتم جغرافیای زیستی در بهینگی محلی نیز کمتر از الگوریتم ژنتیک است.

٤-٢ ارزیابی معیارهای کیفیت سرویس

برای ارزیابی تک‌تک معیارهای کیفیت سرویس مرکب ابری ایجادشده توسط روش پیشنهادی این آزمایش‌ها انجام گرفته‌اند. این آزمایش‌ها برای ۲۰ وظیفه و حداکثر ۵۰ سرویس انجام شده و ۱۰ بار اجرا گردیده‌اند و میانگین نتایج حاصل با نتایج الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات در شرایط یکسان مقایسه شده است. شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ نشانگر نتایج مقایسه‌ها می‌باشد. با توجه به نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی از لحاظ پارامترهای کیفیت سرویس در مقایسه با سایر روش‌های مورد آزمایش نتایج مناسبی به دست آورده است.

شکل ۱۴: نمودار مقایسه نتایج مربوط به ۳۰ اجرای روش پیشنهادی در سناریوی ۵.



شکل ۱۵: نمودار مقایسه قابلیت اطمینان روش‌های مختلف.

٤-٣ ارزیابی پایداری روش پیشنهادی

در این قسمت نتایج آزمایش‌های مربوط به پایداری ارائه شده است. این آزمایش‌ها جهت بررسی پایداری روش پیشنهادی در پیداکردن بهترین سرویس مرکب از بین سرویس‌های ابری موجود، انجام شده است. با توجه به این که روش پیشنهادی ماهیتی تصادفی و غیر قطعی دارد بنابراین لازم است پایداری این روش ارزیابی شود تا معلوم شود که در اجراهای مختلف با شرایط یکسان، نتایج یکسان تولید می‌شوند یا دارای نوسان هستند. این آزمایش‌ها برای هر ۵ سناریوی مذکور انجام یافته و ۳۰ بار تکرار شده است. شکل ۱۴ مقادیر کیفیت سرویس ابری مرکب در ۳۰ اجرای روش پیشنهادی در سناریوی ۵ را نشان می‌دهد. در این شکل محور افقی تعداد دفعات اجرا و محور عمودی مقدار شایستگی را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر انحراف معیار برای سناریوهای یک تا پنج به ترتیب اعداد ۰/۰۳۶، ۰/۰۰۹، ۰/۰۱۳، ۰/۰۱۸ و ۰/۰۳۰۹ به دست آمده که نشان از پایداری مناسب روش پیشنهادی دارد.

در شکل ۱۵ قابلیت اطمینان روش‌های مختلف ایجاد سرویس‌های مرکب با همدیگر مقایسه شده است. متوسط قابلیت اطمینان سرویس مرکب ایجادشده توسط روش پیشنهادی در آزمایشات انجام‌شده در این تحقیق برابر ۰/۹۹۹۳ می‌باشد در حالی که در شرایط یکسان سرویس مرکب ایجادشده توسط روش‌های مبتنی بر ژنتیک و ذرات قابلیت اطمینان کمتری دارند.

٥- نتیجه‌گیری

انتخاب و ترکیب سرویس‌های ابری آگاه از کیفیت سرویس یکی از چالش‌های مهم در محاسبات سرویس‌گرا می‌باشد. از آنجایی که سرویس‌هایی با عملکرد یکسان و کیفیت سرویس متفاوت در حال افزایش می‌باشند، بنابراین انتخاب سرویس‌های ساده تکی مناسب و بهینه جهت ادغام با یکدیگر و تولید سرویس‌های مرکب پیچیده یکی از مسایل

مهم در ترکیب سرویس است. در این تحقیق برای حل این مسأله از الگوریتم بهینه‌سازی جغرافیای زیستی استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در فصل چهارم برتری این الگوریتم بر سایر روش‌های مورد آزمایش در حل مسأله ترکیب سرویس را نشان می‌دهد اما در مقیاس‌های بالا زمان اجرای آن زیاد است.

به عنوان چالش آینده پیشنهاد می‌شود که مسأله ترکیب سرویس در محیط‌های چندابری مورد بررسی قرار گیرد که در آن علاوه بر انتخاب سرویس‌های مناسب باید انتخاب پایگاه‌های ابری نیز مد نظر قرار گیرد. همچنین اتخاذ روشی که بتواند روش پیشنهادی در این تحقیق را از نظر زمان اجرا در مقیاس بالا بهبود بخشد جزو مطالعات آتی می‌باشد.

مراجع

[1] Y. Jadeja and K. Modi, "Cloud computing-concepts, architecture and challenges," in *Proc. Int. Conf. on Computing, Electronics and Electrical Technologies, ICCEET'12,* pp. 877-880, Kumaracoil, India, 21-22 Mar. 2012.

[2] T. Dillon, C. Wu, and E. Chang, "Cloud computing: issues and challenges," in *Proc. 24th IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications, AINA'10,* pp. 27-33, Perth, Australia, 20-23 Apr. 2010.

[3] A. Jula, E. Sundararajan, and Z. Othman, "Cloud computing service composition: a systematic literature review," *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, no. 8, pp. 3809-3824, Jun. 2014.

[4] A. Jula, Z. Othman, and E. Sundararajan, "Imperialist competitive algorithm with PROCLUS classifier for service time optimization in cloud computing service composition," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 1, pp. 135-145, Jan. 2015.

[5] Z. Ye, X. Zhou, and A. Bouguettaya, "Genetic algorithm based QoS-aware service compositions in cloud computing," *Database Systems for Advanced Applications*, *DASFAA'11*, Part II, LNCS 6588, pp. 321–334, 2011.

[6] Q. Wu and Q. Zhu, "Transactional and QoS-aware dynamic service composition based on ant colony optimization," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 5, pp. 1112-1119, Jul. 2013.

[7] S. Wang, Q. Sun, H. Zou, and F. Yang, "Particle swarm optimization with skyline operator for fast cloud-based web service composition," *Mob. Networks Appl.*, vol. 18, no. 1, pp. 116-121, Feb. 2013.

[8] O. K. Qtaish, Z. BtJamaludin, and M. Mahmuddin, "Multi-path QoS-aware service composition," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 2, no. 2, pp. 2248-9622, Mar./Apr. 2012.

[9] A. Bhaduri, "A clonal selection based shuffled frog leaping algorithm," in *Proc. IEEE Int. on Advance Computing Conf., IACC'09*, pp. 125-130, Patiala, India, 6-7 Mar. 2009.

[10] Z. Yang, C. Shang, Q. Liu, and C. Zhao, "A dynamic web services composition algorithm based on the combination of ant colony algorithm and genetic algorithm," *J. Comput. Inf. Syst.*, vol. 6, no. 8, pp. 2617-2622, 2010.

[11] N. H. Rostami, E. Kheirkhah, and M. Jalali, "An optimized semantic web service composition method based on clustering and ant colony algorithm," arXiv Prepr. arXiv1402.2271, 2014.

[12] G. Zou, Y. Chen, Y. Yang, R. Huang, and Y. Xu, "AI planning and combinatorial optimization for web service composition in cloud computing," in *Proc. Int. Conf. on Cloud Computing and Virtualization*, 8 pp., Singapore, 17-18 May 2010.

[13] A. A. P. Kazem, H. Pedram, and H. Abolhassani, "BNQM: a bayesian network based QoS model for grid service composition," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 20, pp. 6828-6843, 15 Nov. 2015.

[14] E. Al-Masri and Q. H. Mahmoud, "Investigating web services on the world wide web," in *Proc. of the 17th Int. Conf. on World Wide Web*, pp. 795-804, Beijing, China, 21-25 Apr. 2008.

[15] D. Simon, "Biogeography-based optimization," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 12, no. 6, pp. 702-713, Dec. 2008.

سولماز سلیقه در سال ۱۳۸۴ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه آزاد شبستر و در سال ۱۳۹۶ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه آزاد تبریز دریافت نمود. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده شامل موضوعاتی مانند سیستم‌های نرم‌افزاری توزیع شده، معماری مبتنی بر سرویس محاسبات ابری و شبکه‌های کامپیوتری می‌باشد.

بهمن آراسته تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نرم‌افزار در سال ۱۳۸۵ در دانشگاه آزاد اراک به پایان رسانده است. نام‌برده مقطع دکتری را در رشته مهندسی نرم‌افزار در سال ۱۳۹۲ در دانشگاه آزاد علوم تحقیقات تهران به پایان رسانده است و هم اکنون استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد تبریز می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: مهندسی نرم‌افزار، معماری سیستم‌های نرم‌افزار، آزمون نرم‌افزار و سیستم نرم‌افزاری تحمل‌پذیر خطا.