

Developing Proper Systems for Successful Cloud Computing Implementation Using Fuzzy ARAS Method (Case Study: University of Tehran Faculty of New Science and Technology)

**Jalil Heydari Dahouei¹, Navid Mohammadi²,
Amir Salar Vanaki³, Mohsen Jamali⁴**

Abstract: Given the increasing requirements of communication and the need for advanced network-based technologies, cloud computing has been suggested as a perfect strategy to achieve these objectives. Yet, despite the development of computing applications and the increased number of alternatives, it is quite a difficult task to select the exact software platform for the implementation of cloud computing arrangements. In this line, the present paper aimed to develop a scientific framework as how to select the proper software for successful cloud computing implantation at the infrastructure level. First through a review on the related literature and using experts' opinions, the software selection criteria were extracted. Based on the framework proposed here, the interval-valued fuzzy ARAS method was then employed for weighting and prioritizing specified alternatives. This model was applied by the Faculty of New Sciences and Technologies of Tehran University in order to select proper software platforms from among five alternatives. The results revealed that the OpenStack cloud operating system has been selected as the best alternative, most probably because this platform demonstrates significant achievement for its merits such as high level of performance, reliability and security, stability, and usability.

Key words: *Cloud computing system, Interval-valued fuzzy ARAS, Linguistic variables, MADM.*

1. Assistant Prof. of Industrial Management, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Master of Science in Technology Management, University of Tehran, Tehran, Iran

3. Master of Science (MBA), University of Tehran, Tehran, Iran

4. Master of Information Technology, University of Tehran, Tehran, Iran

Submitted: 07 / June / 2017

Accepted: 28 / October / 2017

Corresponding Author: Jalil Heydari Dahouei

Email: Heidaryd@ut.ac.ir

ارائه چارچوبی به منظور انتخاب سامانه مناسب برای پیاده‌سازی رایانش ابری (مورد مطالعه: دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران)

جلیل حیدری دهبویی^۱، نوید محمدی^۲، امیرسالار ونکی^۳، محسن جمالی^۴

چکیده: با توجه به اینکه نیازهای ارتباطی و همچنین فناوری‌های تحت شبکه افزایش یافته، رایانش ابری راهکاری برای دستیابی پاسخ به این نیازها، معرفی شده است. با افزایش تعداد نرم‌افزارها و تعدد گزینه‌ها، انتخاب نرم‌افزار مناسب برای پیاده‌سازی سیستم رایانش ابری در فضای سازمان‌ها، کار دشواری است. بدین منظور، این مقاله با هدف ارائه چارچوب علمی برای انتخاب نرم‌افزار مناسب پیاده‌سازی راهکار رایانش ابری در سطح زیرساخت، تدوین شده است. برای این کار، نخست با بررسی مقالات و مصاحبه با خبرگان آشنا به موضوع، معیارهای انتخاب نرم‌افزار مناسب پیاده‌سازی این راهکار احصا شد؛ سپس بر اساس چارچوب ایجاد شده و با استفاده از رویکرد آراس فازی با مقادیر بازه‌ای، به وزن‌دهی و اولویت‌بندی گزینه‌ها اقدام گردید. چارچوب توسعه یافته به منظور انتخاب نرم‌افزار مناسب در دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران از میان پنج گزینه پیشنهاد شده به کار گرفته شد. نتایج حاکی از آن بود که سیستم رایانش ابری Open Stack برترین گزینه است. انتخاب این گزینه را می‌توان به دلیل تمایز شایان توجه آن در معیارهایی همچون عملکرد، قابلیت اطمینان و امنیت سیستم، پایداری و ثبات سیستم و قابل استفاده بودن دانست.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندشاخصه، روش آراس فازی با مقادیر بازه‌ای، سیستم رایانش ابری، متغیرهای زبانی.

۱. استادیار مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. کارشناس ارشد مدیریت تکنولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. کارشناس ارشد MBA، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. کارشناس ارشد فناوری اطلاعات، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۶

نویسنده مسئول مقاله: جلیل حیدری دهبویی

E-mail: Heidaryd@ut.ac.ir

مقدمه

در دو دهه گذشته با افزایش توان پردازشی، حجم داده‌ها به‌طور نجومی افزایش یافته است. پیشرفت در فناوری‌های وب، هر کاربری را قادر می‌سازد تا محتوای وب را به هر شکلی تولید و مصرف کند. رایانش ابری با نگرش جدید در حال شکل دادن به این زیرساخت است. این روند سعی در هدایت و مدیریت اطلاعات به سمت شبکه را دارد تا هزینه مدیریت سخت‌افزار و نرم‌افزار را کاهش دهد (هی، تانسلی و تول، ۲۰۰۹). بسیاری بر این عقیده‌اند که روش‌های جدید به جای به‌کارگیری ابر رایانه‌های بزرگ، باید از کلاسترهای کوچک برای مدیریت اطلاعات استفاده کنند (باتیستا، چاوس، دافونسکا و زیویانی، ۲۰۱۰). مسائل مدرن فیزیکی با انرژی زیاد، در روز بیشتر از یک ترابایت اطلاعات تولید می‌کنند. برای اطلاعات بیشتر از چند صد ترابایت، راه حل آماده‌ای وجود ندارد. بنابراین، هدف اصلی موج بعدی، تسهیل پیاده‌سازی کاربردهای قابلیت توزیع، مقیاس‌پذیری و دسترسی از طریق وب بوده و هدف نهایی این سرویس‌ها، سهولت استفاده هر شخص و کمترین میزان استفاده از نرم‌افزار، سخت‌افزار و شبکه است (ساکر، لیو، باتیستا و آلوماری، ۲۰۱۱). طبق فهرست گارتنر، رایانش ابری جزء ۱۰ فناوری برتر سال‌های آینده است (ترندس، ۲۰۰۸). با توجه به این موضوع، روند آتی مدیریت اطلاعات به سمت شبکه خواهد بود، به نوعی که هزینه‌ها کاهش یافته و داده‌ها همیشه در دسترس باشند (آرمرباست و همکاران، ۲۰۱۰). از این رو می‌توان گفت که انتخاب نرم‌افزار مناسب برای خدمت رایانش ابری مناسب و متناسب با نیازهای سازمان، جزء مسائل ضروری هر سازمان است. با توجه به اینکه اولویت دادن به خدمات رایانش ابری، نیازمند توجه به ابعاد مختلفی است، این موضوع را می‌توان مسئله‌ای برای تصمیم‌گیری چندشاخصه در نظر گرفت (سوپریا، سانگتا و پاترا، ۲۰۱۵). بر این اساس، پرداختن به موضوع انتخاب نرم‌افزار مناسب در حوزه رایانش ابری می‌تواند کمک شایانی برای سازمان‌هایی باشد که با این موضوع درگیر هستند. بر اساس همین ضرورت، در این مقاله تلاش شده است چارچوبی برای انتخاب نرم‌افزار مناسب پیاده‌سازی راهکار رایانش ابری در سطح زیرساخت ارائه شود. برای این منظور، نخست با بررسی ادبیات موضوع و مرور مقالات تدوین شده در خصوص انتخاب نرم‌افزار مناسب برای پیاده‌سازی خدمات مبتنی بر رایانش ابری، شاخص‌های مد نظر برای انتخاب احصا شد؛ سپس به کمک خبرگان، شاخص‌های نهایی از بین این دسته شاخص‌ها به دست آمد. در ادامه، از رویکرد آراس فازی با مقادیر بازه‌ای برای انتخاب نرم‌افزار مناسب در حوزه پیاده‌سازی راهکار رایانش ابری در سطح زیرساخت استفاده گردید. در نهایت، چارچوب طراحی شده به منظور انتخاب گزینه مناسب از بین پنج نرم‌افزار پیشنهادی در پروژه پیاده‌سازی رایانش ابری در دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران به کار گرفته شد.

ساختار مقاله کنونی بدین شرح است؛ ابتدا دلایل توسعه استفاده از رایانش ابری تشریح شده و معماری رایانش ابری معرفی می‌شود. در ادامه تلاش شده با بررسی پیشینه پژوهش، شاخص‌های انتخاب نرم‌افزارهای پیاده‌سازی رایانش ابری احصا شوند. بخش بعدی به بیان گام‌های تحقیق و چارچوب نگارش مقاله اختصاص یافته است. در ادامه، گزینه‌های در نظر گرفته شده معرفی شده‌اند. در نهایت در بخش تجزیه و تحلیل داده‌ها، ضمن ارائه خروجی به دست آمده از نظر خبرگان، روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه مشخص شده‌اند. بخش پایانی نیز به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

پیشینه پژوهش

پیشینه نظری

رایانش ابری، پارادایم نوینی برای ارائه و تحویل خدمات در بستر اینترنت معرفی شده است. رایانش ابری، رویکرد بسیار جذابی برای صاحبان کسب‌وکار است؛ زیرا موجب کاهش نیاز آنها به تجهیزات و فضای کاری گسترده می‌شود. این در حالی است که رایانش ابری این امکان را برای کسب‌وکارها فراهم می‌آورد که در ابتدای فعالیت، با فضای کاری کوچک آغاز به کار کنند و در صورتی که ارائه خدمات آنها سوددهی کافی را داشت، فضای کاری خود را گسترش دهند (ژانگ، چنگ و بوتابا، ۲۰۱۰).

در فهرست گارتنر، رایانش ابری جزء ۱۰ فناوری برتر سال‌های آینده قرار دارد (گارتنر، ۲۰۰۸). با توجه به این موضوع، روند مدیریت اطلاعات به سمت شبکه‌ای شدن حرکت می‌کند. این مهم در راستای کاهش هزینه‌ها و در دسترس بودن همیشگی داده‌هاست (آرمبراست و همکاران، ۲۰۱۰). در دو دهه گذشته، با افزایش توان پردازشی، حجم داده‌ها به‌طور نجومی افزایش یافته است. پیشرفت در فناوری‌های وب، هر کاربری را قادر می‌سازد تا محتوای وب را به هر شکلی تولید و مصرف کند. رایانش ابری با نگرش جدید، در حال شکل دادن به این زیرساخت است. این روند سعی در هدایت و مدیریت اطلاعات به سمت شبکه را دارد تا هزینه مدیریت سخت‌افزار و نرم‌افزار را کاهش دهد (هی، تانسلی و تول، ۲۰۰۹). بسیاری بر این عقیده‌اند که روش‌های جدید به جای تمرکز بر ابر رایانه‌های بزرگ، باید از کلاسترهای کوچک برای مدیریت اطلاعات استفاده کنند (باتیستا و همکاران، ۲۰۱۰). مسائل مدرن فیزیکی با انرژی زیاد، در روز بیشتر از یک ترابایت اطلاعات تولید می‌کنند. برای اطلاعات بیشتر از چند صد ترابایت، راه حل آماده‌ای وجود ندارد. بنابراین هدف اصلی موج بعدی، سهولت پیاده‌سازی کاربردهایی است که قابلیت توزیع داشته و مقیاس‌پذیر باشند و به‌صورت گسترده‌ای از طریق وب

در دسترس قرار گیرند. هدف نهایی این سرویس‌ها سهولت استفاده برای هر شخص و کمترین میزان استفاده از نرم‌افزار، سخت‌افزار و شبکه است (ساگر و همکاران، ۲۰۱۱). امروزه، انتخاب نرم‌افزار مناسب برای پیاده‌سازی فضای رایانش ابری، یکی از دغدغه‌های مطرح سازمان‌های مرتبط با حوزه فناوری اطلاعات است. دلیل اصلی این گرایش، مزیت‌های گسترده این فناوری است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ ساگر و همکاران، ۲۰۱۱).

پیشینه تجربی

همان‌طور که اشاره شد، هدف از نگارش این مقاله، ارائه چارچوبی به منظور انتخاب نرم‌افزار مناسب در لایه زیرساخت رایانش ابری است. در ادامه با مرور اهم تحقیقات مرتبط، جمع‌بندی‌ای از شاخص‌های مرتبط ارائه می‌شود.

سنگتا و پاترا (۲۰۱۵)، از دو رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه تحلیل سلسله‌مراتبی و رویکرد فازی به منظور رتبه‌بندی خدمات رایانش ابری بهره بردند و نتایج را با هم مقایسه کردند. بدین منظور از پنج دسته معیار شامل چابکی، تعهد، هزینه، عملکرد و امنیت و تعدادی زیرمعیار استفاده نمودند (سوپریا و همکاران، ۲۰۰۵). والتربوش و همکارانش، یک مدل تصمیم‌گیری برای ارزیابی و انتخاب خدمات رایانش ابری معرفی کردند. این مدل بر مبنای هشت معیار اصلی بنا شده است. معیارهای بیان شده در این مقاله از جنس هزینه و مشتمل بر هزینه‌های خدمات فناوری اطلاعات، مذاکره، ارزیابی، هماهنگی، انطباق، نگهداری، محیطی و اجتماعی هستند (والتربوش، مارتیزس و توتبرگ، ۲۰۱۵). در مقاله آرونا و آراموهان (۲۰۱۶) تعداد کاربران، معیار مهمی در تعیین رتبه خدمات رایانش ابری، شناسایی شده است. ژانگ و همکارانش، با در نظر گرفتن پنج معیار و با استفاده از رویکرد QOS، به رتبه‌بندی خدمات رایانش ابری پرداختند. این معیارها مشتمل بر تعداد خدمات مبتنی بر شبکه، تعداد کاربران، تعداد کشورهای کاربر، تعداد خدمات مبتنی بر شبکه کشورها و زمان پاسخگویی است (ژانگ، وو، لیو و وانگ، ۲۰۱۳).

گرگ، ورستیگ و بویا (۲۰۱۱)، به منظور رتبه‌بندی و مقایسه خدمات رایانش ابری، چارچوبی ارائه کردند که ۱۳ بعد مختلف را در نظر می‌گرفت. این ابعاد عبارت‌اند از: زمان پاسخگویی خدمت، پایداری، تناسب، دقت، وضوح و شفافیت کارکرد، قابلیت کارکرد بین سیستم‌ها، در دسترس بودن، قابلیت اطمینان، ثبات، هزینه، تطبیق‌پذیری، قابلیت ارتجعی داشتن (کار کردن در زمان‌های اوج مصرف) و قابل استفاده بودن.

چارچوبی که در سال ۲۰۱۳ توسط گرگ و همکارانش به منظور رتبه‌بندی و مقایسه خدمات رایانش ابری ارائه شده است، ۱۵ بعد را دربرمی‌گیرد. ابعاد این مدل، علاوه بر ۱۳ بعد بیان شده در مقاله قبلی (گرگ و همکاران، ۲۰۱۱)، دو بعد توان و بهره‌وری و مقیاس‌پذیری را نیز دربرمی‌گیرد

(گرگ، ورستیگ و بويا، ۲۰۱۳). چان و چيو (۲۰۱۰)، به رتبه‌بندی خدمات ارائه شده در رایانش ابری بر اساس عملکرد و کیفیت آنها پرداختند. بدین منظور از تکنیک SVD^۱ و ۱۰ معیار استفاده کردند که موارد امنیت، یکپارچگی، در دسترس بودن، متوسط زمان لازم برای تعمیر، درصد تعمیر در اولین تلاش، فراوانی در تغییر، متوسط زمان پاسخگویی، متوسط استفاده از CPU و هزینه را شامل می‌شد (چان و چيو، ۲۰۱۰). ژنگ و ژانگ (۲۰۱۰)، چارچوبی برای رتبه‌بندی سیستم‌های رایانش ابری بر اساس QOS-driven ارائه دادند. در این چارچوب ابعادی همچون تعداد خدمات مبتنی بر شبکه، تعداد کاربران، تعداد کشورهای کاربر، تعداد خدمات مبتنی بر شبکه کشورها و زمان پاسخگویی، در نظر گرفته شده است.

شفایی تنکابنی، شیخ و جلالی (۱۳۹۴)، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه دیمتل فازی، پژوهشی با عنوان «پیمایشی درباره اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر برون‌سپاری فناوری اطلاعات در بستر رایانش ابری، در دانشگاه‌های استان سمنان با بهره‌مندی از روش دیمتل فازی» انجام دادند. قاسمی، محقر، صفری و اکبری جوکار (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای با عنوان «اولویت‌بندی کاربردهای فناوری اینترنت اشیا در بخش بهداشت و درمان ایران: محرکی برای توسعه پایدار»، از رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه AHP استفاده کردند. روحانی و همکارانش با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه تاپسیس فازی، به انتخاب نرم‌افزار مدیریت خدمات فناوری اطلاعات مناسب پرداختند (روحانی، شاه‌حسینی، زارع رواسان و رحمانیان‌فر، ۱۳۹۲). خوانساری‌زاده و شیرمحمدی (۱۳۹۴)، در مقاله‌ای با عنوان «بررسی و اولویت‌بندی مخاطرات برون‌سپاری پروژه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات»، از رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه AHP استفاده کردند.

با بررسی‌های صورت‌گرفته در این بخش، می‌توان گفت که تاکنون مطالعات زیادی در این خصوص انجام نشده است. همچنین حضور روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه نیز در این میان بسیار کم‌رنگ بوده و نیاز به ورود این روش‌ها در این حوزه احساس می‌شود. شاخص‌های احصا شده در این بخش در جدول ۱ نمایش داده شده است. گفتنی است با توجه به اینکه این شاخص‌ها دسته‌بندی خاصی ندارند، با بهره‌مندی از نظر خبرگان تفکیک شده و شاخص‌های لازم برای اولویت‌بندی نرم‌افزارهای پیاده‌سازی رایانش ابری در لایه زیرساخت، بومی‌سازی و نهایی شدند.

جدول ۱. شاخص‌های نهایی و بومی‌سازی شده به کمک خبره

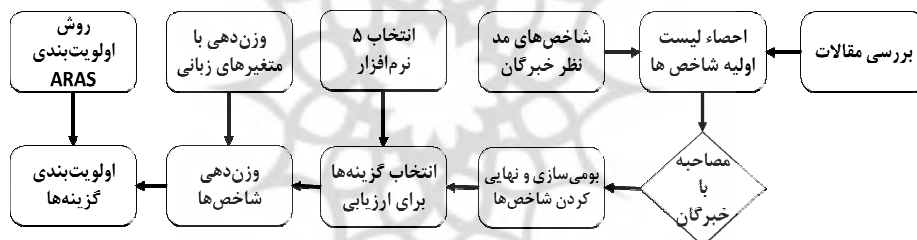
شاخص‌ها	کد معیار	نوع شاخص‌ها	منبع
عملکرد	۵۱	مثبت	چان و چپو، ۲۰۱۰؛ ژنگ و ژانگ، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
هزینه	۵۲	منفی	چان و چپو، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ والتربوش و همکاران، ۲۰۱۵.
در دسترس بودن	۵۳	مثبت	چان و چپو، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
قابلیت اطمینان و امنیت سیستم	۵۴	مثبت	چان و چپو، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
انعطاف سیستم در اوج مصرف	۵۵	مثبت	چان و چپو، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
پایداری و ثبات سیستم	۵۶	مثبت	گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
قابل استفاده بودن و توانایی ارائه خدمت	۵۷	مثبت	گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
وضوح و شفافیت کارکرد	۵۸	مثبت	گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
توان بهره‌وری	۵۹	مثبت	سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
متوسط زمان لازم برای تعمیر	۵۱۰	منفی	چان و چپو، ۲۰۱۰
متوسط استفاده از CPU	۵۱۱	منفی	چان و چپو، ۲۰۱۰
مقیاس‌پذیری	۵۱۲	مثبت	گرگ و همکاران، ۲۰۱۳
متن‌باز بودن	۵۱۳	مثبت	خبرگان

روش‌شناسی پژوهش

بر اساس مباحث مطرح شده، این پژوهش با هدف ارائه چارچوبی به منظور اولویت‌بندی نرم‌افزارهای لازم برای پیاده‌سازی رایانش ابری در لایه زیرساخت، با استفاده از رویکردهای

تصمیم‌گیری چندشاخصه اجرا شده است. بدین منظور در گام ابتدایی، مقالات و ادبیات این حوزه بررسی شد و شاخص‌های لازم برای اولویت‌بندی به‌دست آمد؛ سپس به‌کمک خبرگان، شاخص‌های اولیه بومی‌سازی شدند و فهرست نهایی ارائه شد (جدول ۱). در ادامه از رویکرد آراس فازی با مقادیر بازه‌ای برای اولویت‌بندی نرم‌افزارها و تصمیم‌گیری در خصوص گزینه مناسب استفاده گردید. به‌منظور انتخاب نرم‌افزار متناسب در دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران از میان پنج گزینه پیشنهاد شده، گام‌های طراحی شده طی شد. شکل ۱ نموداری از گام‌های تدوین مقاله را به نمایش گذاشته است.

خبرگان این پژوهش، از یکسو تجربه طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های رایانش ابری را داشتند و از سوی دیگر، در این حوزه از دانش تخصصی برخوردار بودند. ویژگی مهم دیگر این خبرگان، همکاری آنها در تیم پروژه پیاده‌سازی سیستم رایانش ابری در دانشکده علوم و فنون نوین است. خبرگان در فرایند پژوهش درگیر بودند و به‌طور کامل از نظرهای اصلاحی آنان در مرحله نهایی کردن معیارها و همچنین انتخاب سیستم مناسب، بهره برده شد.



شکل ۱. نمودار فریند تدوین مقاله

اعداد فازی تعمیم‌داده شده^۱

عدد فازی تعمیم‌داده شده \tilde{A} که به شکل $\tilde{A} = (a, b, c, d; \omega)$ ، $0 \leq a \leq b \leq c \leq d \leq 1$ and $0 \leq \omega \leq 1$ یک زیرمجموعه فازی از فضای خطی \mathcal{R} است و تابع عضویت آن که با $\mu_{\tilde{A}}$ نمایش داده می‌شود، دارای ویژگی‌های زیر است (چن و چن، ۲۰۰۳):

$$1. \mu_{\tilde{A}} \text{ به‌طور پیوسته از فضای } \mathcal{R} \text{ روی بازه بسته } [0, 1] \text{ تصویر شده است؛}$$

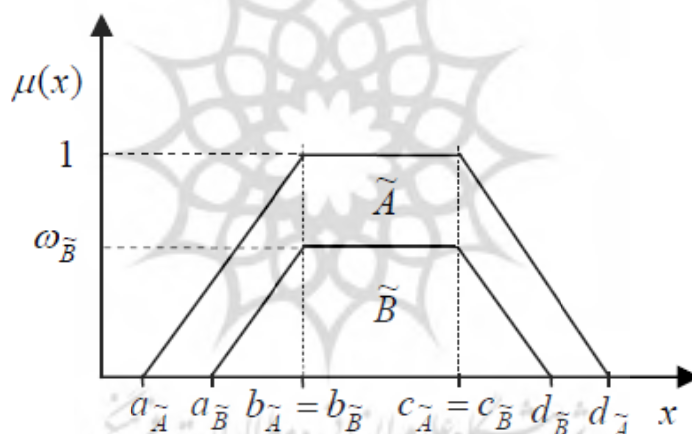
$$2. \mu_{\tilde{A}}(x) = 0 \text{ برای تمام } x \in (-\infty, a];$$

$$3. \mu_{\tilde{A}}(x) \text{ در بازه } [a, b], \text{ اکیداً صعودی است؛}$$

۴. $\mu_{\tilde{A}}(x) = \omega$ برای تمام x ها در محدوده $[b, c]$ قرار دارد که ω مقداری ثابت در بازه $[0, 1]$ است ($0 \leq \omega \leq 1$).
۵. $\mu_{\tilde{A}}(x)$ در بازه $[c, d]$ ، اکیداً نزولی است؛
۶. $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ برای تمام $x \in [d, +\infty)$.

اگر $\mu_{\tilde{A}}$ در بازه‌های $[a, b]$ و $[c, d]$ خطی باشد، به عدد فازی تعمیم داده شده و به آن، عدد فازی دوزنقه‌ای تعمیم داده شده، گفته می‌شود. شکل ۲ رابطه میان عدد فازی تعمیم یافته \tilde{B} و عدد فازی دوزنقه‌ای نرمال شده \tilde{A} را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، می‌توان مشاهده کرد که اعداد فازی دوزنقه‌ای نرمال شده، حالت خاصی از اعداد فازی تعمیم یافته‌اند، در حالتی که $\omega = 1$.

همچنین اگر $b = c$ باشد، عدد فازی دوزنقه‌ای به عدد فازی مثلثی تبدیل می‌شود.

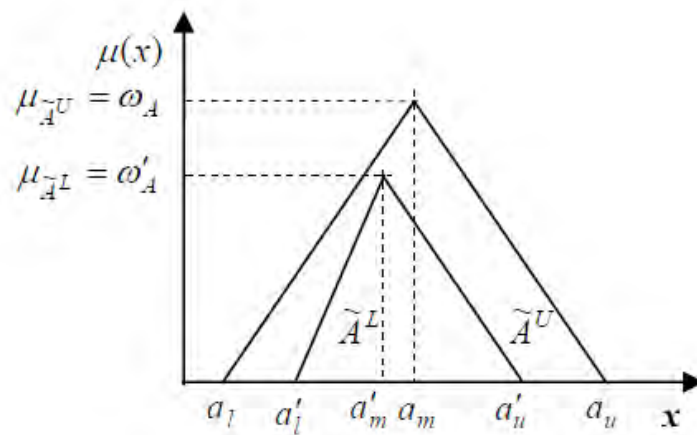


شکل ۲. اعداد فازی تعمیم یافته

اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای^۲

اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای، گونه‌ای خاصی از اعداد فازی تعمیم یافته‌اند. مشابه اعداد فازی تعمیم یافته، اعداد فازی بازه‌ای به شکل دوزنقه هستند. همچنین اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای به شکل مثلث‌اند. شکل ۳ این دسته از اعداد را نمایش داده است.

1. Generalized trapezoidal fuzzy number
2. Interval-Valued Fuzzy Numbers



شکل ۳. اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای

با توجه به تحقیق یائو و لین (۲۰۰۲)، اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$\tilde{A} = [\tilde{A}^L, \tilde{A}^U] = [(a'_l, a'_m, a'_u; \omega'_A), (a_l, a_m, a_u; \omega_A)], \quad \text{رابطه (۱)}$$

\tilde{A}^L و \tilde{A}^U ، به ترتیب نشان‌دهنده حد پایین و حد بالای عدد فازی مثلثی هستند که $\tilde{A}^L \subset \tilde{A}^U$ و $\mu_{\tilde{A}^L}(x) = \omega'_A$ و $\mu_{\tilde{A}^U}(x) = \omega_A$ به ترتیب حد پایین و حد بالای تابع عضویت را نشان می‌دهند.

در نظر بگیرید که $\tilde{A} = [\tilde{A}^L, \tilde{A}^U] = [(a'_l, a'_m, a'_u; \omega'_A), (a_l, a_m, a_u; \omega_A)]$ و $\tilde{B} = [\tilde{B}^L, \tilde{B}^U] = [(b'_l, b'_m, b'_u; \omega'_B), (b_l, b_m, b_u; \omega_B)]$ دو عدد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای باشند، آنگاه عملیات حسابی ابتدایی برای اعداد فازی مذکور به شرح زیر تعریف می‌شود.

۱. جمع اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = [(a'_l + b'_l, a'_m + b'_m, a'_u + b'_u; \min(\omega'_A, \omega'_B)), (a_l + b_l, a_m + b_m, a_u + b_u; \min(\omega_A, \omega_B))] \quad \text{رابطه (۲)}$$

۲. تفریق اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای:

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [(a'_l - b'_u, a'_m - b'_m, a'_u - b'_l; \min(\omega'_A, \omega'_B)), (a_l - b_u, a_m - b_m, a_u - b_l; \min(\omega_A, \omega_B))] \quad \text{رابطه (۳) (3)}$$

۳. ضرب اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای:

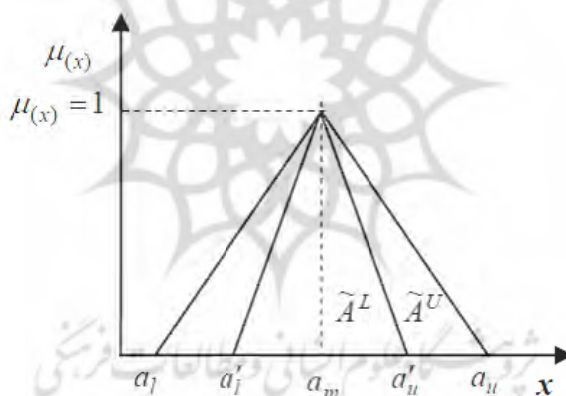
$$\tilde{A} \times \tilde{B} = [(a'_l \times b'_l, a'_m \times b'_m, a'_u \times b'_u; \min(\omega'_A, \omega'_B)), (a_l \times b_l, a_m \times b_m, a_u \times b_u; \min(\omega_A, \omega_B))] \quad \text{رابطه ۴}$$

۴. تقسیم اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای:

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = [(a'_l \div b'_l, a'_m \div b'_m, a'_u \div b'_u; \min(\omega'_A, \omega'_B)), (a_l \div b_l, a_m \div b_m, a_u \div b_u; \min(\omega_A, \omega_B))] \quad \text{رابطه ۵}$$

شکل خاصی از اعداد فازی تعمیم‌یافته با مقادیر بازه‌ای در شکل ۴ به نمایش در آمده است که نرمال‌سازی شده ($\omega'_A = \omega_A = 1$) و در این اعداد ($a'_m = a_m$) است. بنابراین می‌توان این اعداد را در قالب رابطه ۶ نمایش داد:

$$\tilde{A} = [\tilde{A}^L, \tilde{A}^U] = [(a_l, a'_l), a_m, (a'_u, a_u)] \quad \text{رابطه ۶}$$



شکل ۴. عدد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای نرمال شده با میانه برابر

در نظر بگیرید که $\tilde{B} = [\tilde{B}^L, \tilde{B}^U]$ و $\tilde{A} = [\tilde{A}^L, \tilde{A}^U] = [(a_l, a'_l), a_m, (a'_u, a_u)]$ دو عدد فازی مثلثی نرمال شده با مقادیر بازه‌ای باشند که دارای میانه^۱ یکسان هستند. اعمال حسابی ابتدایی برای این اعداد فازی به صورت رابطه‌های زیر تعریف می‌شود (چن و چن، ۲۰۰۸؛ چن، ۱۹۹۷):

جمع:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = [(a_l + b_l, a'_l + b'_l), a_m + b_m, (a'_u + b'_u, a_u + b_u)] \quad \text{رابطه ۷}$$

تفریق:

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [(a_l - b_l, a'_l - b'_l), a_m - b_m, (a'_u - b'_u, a_u - b_u)] \quad \text{رابطه ۸}$$

ضرب:

$$\tilde{A} \times \tilde{B} = [(a_l \times b_l, a'_l \times b'_l), a_m \times b_m, (a'_u \times b'_u, a_u \times b_u)] \quad \text{رابطه ۹}$$

تقسیم:

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = [(a_l \div b_l, a'_l \div b'_l), a_m \div b_m, (a'_u \div b'_u, a_u \div b_u)] \quad \text{رابطه ۱۰}$$

همچنین عملگر یگانی^۱ که برای اعداد مثلثی با مقادیر بازه‌ای تعریف شده، بسیار مهم است.

$$\frac{1}{k} \times \tilde{A} = \left[\left(\frac{1}{k} \times a_l, \frac{1}{k} \times a'_l \right), \frac{1}{k} \times a_m, \left(\frac{1}{k} \times a'_u, \frac{1}{k} \times a_u \right) \right] \quad \text{رابطه ۱۱}$$

متغیرهای زبانی^۲

در مقالات بسیاری، زاده مفهوم متغیرهای زبانی را تبیین کرده است (زاده، ۱۹۹۵؛ زاده، ۱۹۷۵- الف؛ زاده، ۱۹۷۵- ب). با توجه به تعریف لطفی زاده، متغیرهای زبانی، متغیرهایی هستند که مقادیر آنها با کلمات یا جملاتی در زبان طبیعی یا مصنوعی متناظرند. به کارگیری مفهوم متغیرهای زبانی در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری در دنیای واقعی که دارای ماهیت پیچیده و عدم اطمینان هستند، بسیار متداول و مناسب است. تعداد زیادی از مقالات از متغیرهای زبانی مرتبط با اعداد فازی مثلثی استفاده کرده‌اند (وانگ و چنگ، ۱۹۹۵؛ چن، ۲۰۰۰؛ وانگ و الهگ، ۲۰۰۶؛ مهدوی و حیدرزاده، ۲۰۰۸).

جدول ۲ متغیرهای زبانی برای وزن معیارها را مبتنی بر اعداد فازی مثلثی نشان می‌دهد (صارمی و سنایی، ۲۰۰۹). همچنین در ادبیات این حوزه، متغیرهای زبانی مرتبط با اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای نیز ارائه شده است. برای مثال، وی و چن (۲۰۰۹)، یک مقیاس ۹ واحدی برای

1. Unary operation
2. Linguistic Variables

۷۷۰ _____ ارائه چارچوبی به منظور انتخاب سامانه مناسب برای پیاده‌سازی ...

اعداد فازی دوزنقه‌ای با مقادیر بازه‌ای معرفی کردند. همچنین کو و لیانگ (۲۰۱۲)، کو (۲۰۱۱) و آشتیانی و همکاران (۲۰۰۹)، یک مقیاس هفت‌سطحی برای عبارات زبانی^۱ بر مبنای اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای ارائه دادند.

جدول ۲. متغیرهای زبانی برای وزن‌دهی معیارها

اعداد فازی مثلثی	متغیرهای زبانی
(۰/۰, ۰/۰, ۰/۱)	خیلی کم (VL)
(۰/۰, ۰/۱, ۰/۳)	کم (L)
(۰/۱, ۰/۳, ۰/۵)	متوسط کم (ML)
(۰/۳, ۰/۵, ۰/۷)	متوسط (M)
(۰/۵, ۰/۷, ۰/۹)	متوسط بالا (MH)
(۰/۷, ۰/۷, ۱/۰)	بالا (H)
(۰/۹, ۱/۰, ۱/۰)	خیلی بالا (VH)

جدول ۳. متغیرهای زبانی برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی معیارها

اعداد فازی مثلثی با مقادیر شهودی بازه‌ای	متغیرهای زبانی رتبه‌بندی	متغیرهای زبانی وزن‌دهی
[(۰/۰۰, ۰/۰۰), ۰/۰, (۰/۱۰, ۰/۱۵)]	خیلی ضعیف (VP)	خیلی کم (VL)
[(۰/۰۰, ۰/۵۰), ۰/۱, (۰/۲۵, ۰/۳۵)]	ضعیف (P)	کم (L)
[(۰/۰۰, ۰/۱۵), ۰/۳, (۰/۴۵, ۰/۵۵)]	متوسط ضعیف (MP)	متوسط کم (ML)
[(۰/۲۵, ۰/۳۵), ۰/۵, (۰/۶۵, ۰/۷۵)]	متوسط (F)	متوسط (M)
[(۰/۴۵, ۰/۵۵), ۰/۷, (۰/۸۰, ۰/۹۵)]	متوسط خوب (MG)	متوسط بالا (MH)
[(۰/۵۵, ۰/۷۵), ۰/۹, (۰/۹۵, ۱/۰۰)]	خوب (G)	بالا (H)
[(۰/۸۵, ۰/۹۵), ۱/۰, (۱/۰۰, ۱/۰۰)]	خیلی خوب (VP)	خیلی بالا (VH)

جدول ۳ متغیرهای زبانی برای وزن و رتبه‌بندی عملکرد بر مبنای استفاده از اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای را نشان می‌دهد (آشتیانی، حقیقی‌راد، ماکوئی و منتظر، ۲۰۰۹؛ کو، ۲۰۱۱). در زیر به برخی مزیت‌های ترکیب اعداد فازی و اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای حاصل اشاره شده است:

- نتایجی که با استفاده از متغیرهای زبانی به دست می‌آید را می‌توان بهبود داد، اگر تصمیم‌گیرندگان با معانی و کاربرد آنها بیشتر آشنا باشند.

۲. اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای، پیچیده‌تر از اعداد فازی معمولی هستند. بنابراین اگر از روشی استفاده کنیم که اعداد فازی معمولی را به اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای تبدیل کند، می‌توانیم از مزیت‌های زیادی بهره‌مند شویم.

برای تبدیل وزن و رتبه عملکردی اعداد فازی معمولی به اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای می‌توان از رابطه‌های زیر استفاده کرد:

$$l = \min_k(l^k) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$l' = \left(\prod_{k=1}^K l^k \right)^{\frac{1}{K}} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$m = \left(\prod_{k=1}^K m^k \right)^{\frac{1}{K}} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$u' = \left(\prod_{k=1}^K u^k \right)^{\frac{1}{K}} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$u = \max_k(u^k) \quad \text{رابطه ۱۶}$$

که $\tilde{x} = [(l, l'), m, (u', u)]$ نشان‌دهنده عدد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای و $\tilde{x}^k = (l^k, m^k, u^k)$ معرف عدد مثلثی فازی متناظر با k امین تصمیم‌گیرنده است. K که در بازه $k = 1, \dots, K$ قرار دارد، تعداد خبرگان (تصمیم‌گیرندگان) را نشان می‌دهد. پارامترهای l و u به ترتیب نشان‌دهنده کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین رتبه عملکردی تمام ذی‌نفعان است که کران نگرش خبرگان را در ارزیابی منعکس می‌کند. بر خلاف دو پارامتر یاد شده، سایر پارامترهای عدد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای، نظر خبرگان را بهتر منعکس می‌کنند؛ زیرا نظر تمام خبرگان با استفاده از میانگین هندسی به‌دست آمده است.

غیرفازی کردن اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای

از آنجا که نتایج عملگرهای حسابی به‌صورت اعداد فازی هستند، برای رتبه‌بندی و مقایسه این اعداد باید آنها را به اعداد غیرفازی تبدیل کرد. روش‌ها و فرایندهایی برای رتبه‌بندی اعداد فازی و غیرفازی کردن آنها وجود دارد، اما اغلب این روش‌ها مربوط به اعداد فازی مثلثی یا دوزنقه‌ای

است؛ در حالی که با اندکی تغییر می توان از همین روش ها برای غیرفازی کردن اعداد مثلثی با مقادیر بازه ای استفاده کرد. ابتدا در زیر به دو رابطه رایجی که برای غیرفازی کردن اعداد مثلثی استفاده می شوند، اشاره می کنیم:

$$gm(\tilde{A}) = \frac{1}{2} [(1 - \lambda)l + m + \lambda u] \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$gm(\tilde{A}) = \frac{1 + m + u}{3} \quad \text{رابطه ۱۸}$$

همچنین برای غیرفازی کردن اعداد مثلثی فازی با مقادیر بازه ای، می توان از دو رابطه ۱۹ و ۲۰ استفاده کرد.

$$gm(\tilde{B}) = \frac{l + l' + m + u' + u}{5} \quad \text{رابطه ۱۹}$$

$$gm(\tilde{B}) = \frac{(1 - \lambda)l + \lambda l' + m + \lambda u' + (1 - \lambda)u}{5} \quad \text{رابطه ۲۰}$$

که \tilde{A} نشان دهنده اعداد فازی مثلثی معمولی^۱ و \tilde{B} معرف اعداد فازی با مقادیر بازه ای است. λ ضریب است و در بازه $[0, 1]$ قرار دارد. رابطه ۱۹ گسترش ساده ای از رابطه ۱۸ است که مؤثرترین روش برای غیرفازی کردن اعداد فازی با مقادیر بازه ای شناخته شده و با BNP^2 نمایش داده می شود. در مقایسه با رابطه ۱۹، رابطه ۲۰ اندکی پیچیده تر است، اما مزایایی را نیز به همراه دارد؛ زیرا با تغییر ضریب λ می توان اهمیت بیشتری به پارامترهای l' و u' نسبت به پارامترهای l و u بخشید و برعکس.

روش آراس^۳

روش ARAS که در سال های اخیر در کانون توجه محققان قرار گرفته، یکی از روش های نسبتاً جدید MADM است. بر اساس این نظریه، پدیده های پیچیده جهان می توانند با استفاده از مقایسات نسبی ساده ادراک شوند (زاواداسکاس و تورسکیس، ۲۰۱۰؛ زاواداسکاس، تورسکیس و ویلوتین، ۲۰۱۰؛ توپنایت، زاواداسکاس، کاکلائوسکاس، تورسکیس و سنیوت، ۲۰۱۰). در این روش، مجموع مقادیر وزن دار شده و نرمال شده معیارها برای هر گزینه که نشان دهنده شرایط یک

-
1. Ordinary triangular fuzzy numbers
 2. Best Nonfuzzy Persormance
 3. An Additive Ratio Assessment Method (ARAS)

گزینه است، بر مجموع مقادیر وزن دار شده و نرمال شده بهترین گزینه، تقسیم می شود. این نسبت، درجه بهینه بودن^۱ نامیده می شود. براساس این درجه بهینه بودن گزینه ها، رتبه بندی می شوند.

در گام نخست، ماتریس تصمیم^۲ شکل می گیرد. ابعاد این ماتریس $m \times n$ است که m تعداد گزینه ها (سطرها) و n تعداد معیارها (ستون ها) را نشان می دهد.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & \dots & x_{0j} & \dots & x_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (\text{رابطه } ۲۱)$$

x_{ij} نشان دهنده عملکرد گزینه i ام در معیار j ام و x_{0j} مقدار بهینه برای معیار j ام است. اگر مقدار بهینه متغیر j ام نامعین باشد، به شکل زیر مقداری برای آن تعیین می کنیم.

$$x_{0j} = \max_i x_{ij}, \text{ if } \max_i x_{ij} \text{ is preferable} \quad (\text{رابطه } ۲۲)$$

$$x_{0j} = \min_i x_{ij}^*, \text{ if } \min_i x_{ij}^* \text{ is preferable}$$

معمولاً مقدار ارزیابی گزینه ها در معیارها (x_{ij}) و وزن هر معیار (w_j) به عنوان ورودی های ماتریس تصمیم، توسط تصمیم گیرندگان داده می شود. در مرحله اول باید به این نکته توجه شود که معیارها ابعاد متفاوتی دارند. برای ایجاد امکان مقایسه معیارها و همچنین، اجتناب از سختی های احتمالی به دلیل تفاوت ابعاد معیارها، باید ابتدا مقادیر وزن داده شده را بی بعد کنیم. برای اینکار مقادیر را بر مقدار بهینه که در بالا به دست آمد، تقسیم می کنیم. روش های متفاوتی برای بی بعد کردن مقادیر وجود دارد که یکی از روش ها در زیر شرح داده شده است.

با استفاده از روش نرمال سازی، مقادیر ماتریس تصمیم اولیه به مقادیری در بازه های $[0, 1]$ یا $[0; \infty]$ تبدیل می شوند.

در گام دوم، مقادیر ورودی اولیه برای تمام معیارها نرمال سازی شده و به شکل \bar{x}_{ij} در می آیند که درایه های ماتریس \bar{X} هستند. این ماتریس به صورت رابطه ۲۳ تعریف می شود.

1. Degree of optimality
2. Decision-making matrix(DMM)

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{01} & \dots & \bar{x}_{0j} & \dots & \bar{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{i1} & \dots & \bar{x}_{ij} & \dots & \bar{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \dots & \bar{x}_{mj} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (\text{رابطه ۲۳})$$

برای معیارهای مثبت^۱ نرمال سازی به شکل زیر انجام می شود:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (\text{رابطه ۲۴})$$

برای معیارهای منفی^۲ نرمال سازی به شکل زیر انجام می شود:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*} \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (\text{رابطه ۲۵})$$

وقتی مقادیر بدون بعد معیارها مشخص شود، این امکان فراهم می آید که معیارها با یکدیگر مقایسه شوند.

در گام سوم، وزن ها را در ماتریس نرمال شده \bar{X} ، اعمال می کنیم تا ماتریس \hat{X} به دست آید. وزن هر معیار w_j نمایش داده می شود را خبرگان تعیین می کنند. وزن های داده شده باید شروط زیر را داشته باشند:

$$0 < w_j < 1$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (\text{رابطه ۲۶})$$

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \dots & \hat{x}_{0j} & \dots & \hat{x}_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \dots & \hat{x}_{ij} & \dots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \dots & \hat{x}_{mj} & \dots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n} \quad (\text{رابطه ۲۷})$$

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \times w_j; \quad i = \overline{0, m} \quad (\text{رابطه ۲۸})$$

که w_j وزن (اهمیت) معیار j ام و \bar{x}_{ij} مقدار نرمال شده معیار j ام است. عبارت زیر ارزش تابع بهینه را مشخص می کند.

-
1. Benefit type criteria
 2. Cost type criteria

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; i = \overline{0, m} \quad \text{رابطه ۲۹}$$

که S_i ارزش تابع بهینه برای گزینه i است. بهترین گزینه، گزینه‌ای است که بالاترین ارزش تابع بهینه را دارد و بدترین گزینه، گزینه‌ای است که کمترین ارزش تابع بهینه را به دست آورده است. اولویت گزینه‌ها بر اساس مقدار S_i مشخص می‌شود. درجه کاربرد هر گزینه از مقایسه آن با بهترین مقدار که S_0 نام دارد، به دست می‌آید. معادله درجه کاربرد که K_i نام دارد، برای گزینه A_i در زیر تشریح شده است.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = \overline{0, m} \quad \text{رابطه ۳۰}$$

که S_0 و S_i از رابطه ۲۹ به دست آمده‌اند. واضح است که مقدار K_i در بازه $[0, 1]$ قرار دارد. بر اساس مقادیر K_i گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

توسعه روش ARAS با استفاده از اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای

گام اول - تعیین رتبه عملکردی بهینه برای هر یک از معیارها: نخستین نکته‌ای که باید به آن توجه کنیم، این است که رتبه عملکردی بهینه برای هر معیار باید به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای باشد و این رتبه عملکردی بهینه فازی با مقادیر بازه‌ای به این شکل محاسبه می‌شود:

$$\tilde{x}_{0j} = [(l_{0j}, l'_{0j}), m_{0j}, (u'_{0j}, u_{0j})] \quad \text{رابطه ۳۱}$$

که \tilde{x}_{0j} نشان‌دهنده رتبه عملکردی بهینه فازی با مقادیر بازه‌ای برای معیار j ام است و

$$l_{0j} = \begin{cases} \max_i l_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min_i l_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad \text{رابطه ۳۲}$$

$$l'_{0j} = \begin{cases} \max_i l'_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min_i l'_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad \text{رابطه ۳۳}$$

$$m_{0j} = \begin{cases} \max_i m_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min_i m_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad \text{رابطه ۳۴}$$

$$u'_{0j} = \begin{cases} \max_i u'_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min_i u'_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad \text{رابطه ۳۵}$$

$$u_{0j} = \begin{cases} \max_i u_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min_i u_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad \text{رابطه ۳۶}$$

گام دوم - محاسبه ماتریس تصمیم نرمال‌سازی شده: به منظور استفاده از اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای، ضروری است تغییراتی در فرایند نرمال‌سازی اعمال شود. بنابراین به جای رابطه ۲۹ می‌توان از رابطه ۳۷ استفاده کرد.

$$\tilde{r}_{ij} = \begin{cases} \left[\left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{a'_{ij}}{c_j^+} \right), \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \left(\frac{c'_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right) \right]; j \in \Omega_{max} \\ \left[\left(\frac{1}{a_j^-}, \frac{1}{a'_{ij}} \right), \frac{1}{a_j^-}, \left(\frac{1}{c_j^-}, \frac{1}{c_{ij}} \right) \right]; j \in \Omega_{min} \end{cases} \quad \text{رابطه ۳۷}$$

\tilde{r}_{ij} نشان‌دهنده مقادیر بازه‌ای رتبه‌بندی عملکردی گزینه نام در معیار j ام است که:

$$a_j^- = \sum_{i=1}^m \frac{1}{a_{ij}} \text{ و } c_j^+ = \sum_{i=1}^m c_{ij} \text{ و } i = 1, 2, \dots, m$$

گام سوم - محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزن‌دار با مقادیر بازه‌ای: این مرحله بسیار شبیه گام سوم روش ARAS متداول است؛ با این تفاوت که ضرب اعداد با استفاده از قوانین ضرب مقادیر فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای انجام می‌شود. بنابراین این گام را می‌توان به شکل زیر نمایش داد:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{w}_j \cdot \tilde{r}_{ij} \quad \text{رابطه ۳۸}$$

\tilde{v}_{ij} نشان‌دهنده رتبه عملکردی فازی نرمال وزن‌دار با مقادیر بازه‌ای گزینه نام در معیار j ام است که $i = 1, 2, \dots, m$.

گام چهارم - محاسبه رتبه عملکردی کلی با مقادیر بازه‌ای: این مقدار به کمک رابطه ۳۹ به دست می‌آید.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{v}_{ij} \quad \text{رابطه ۳۹}$$

\tilde{S}_i نشان دهنده رتبه عملکردی کلی با مقادیر بازه‌ای برای گزینه نام است که $i = 0, 1, \dots, m$.

گام پنجم - محاسبه درجه مطلوبیت^۱ برای هر گزینه: از آنجا که نتایج گام پیشین به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای ارائه می‌شود، گاهی محاسبه درجه کلی مطلوبیت پیچیده‌تر است. درجه مطلوبیت به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\tilde{Q}_i = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_0} \quad \text{رابطه ۴۰}$$

از آنجا که نتیجه رابطه ۴۰ همچنان به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای است، باید به شکل غیرفازی تبدیل شود.

فرایند غیرفازی کردن باید قبل از تعیین درجه مطلوبیت انجام گیرد. همان‌طور که می‌دانید شیوه‌های متعددی برای غیرفازی کردن وجود دارد و شیوه‌های متفاوت، ممکن است بر نتایج تأثیرگذار باشد. بنابراین انتخاب فرایند غیرفازی کردن مناسب، اهمیت بسیاری دارد.

گام ششم - رتبه‌بندی گزینه‌ها و انتخاب مناسب‌ترین گزینه: این گام درست مشابه روش ARAS معمولی است.

مورد مطالعه

ریاست دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران با هدف راه‌اندازی یک سامانه رایانش ابری برای ارائه سرویس‌های پردازش^۲ به استادان و دانشجویان دانشکده با امکانات اکتینگ، اشتراک منابع، توان پردازشی بالا (برای پروژه‌هایی که به توان پردازشی بالایی نیاز دارند) و... به شناسایی نرم‌افزارهای مناسب برای این حوزه و انتخاب بهترین نرم‌افزار در لایه زیرساخت (به‌عنوان یک سرویس) نیاز دارد. در صورت موفقیت این طرح، دانشکده در آینده می‌تواند خدمات مد نظر (زیرساخت به‌عنوان سرویس و در آینده پلتفرم به‌عنوان سرویس) را به کاربران دانشگاه تهران و سایر دانشگاه‌ها ارائه کند. در همین رابطه، متخصصان این حوزه در دانشکده، پنج گزینه زیر را پیشنهاد دادند.

1. Degree of utility
2. Compute

۱. OpenStack

یک پلت فرم نرم‌افزاری متن‌باز برای رایانش ابری است که توسط Rackspace و ناسا در جولای ۲۰۱۰ طرح‌ریزی شد. هم‌اکنون بیش از ۵۰۰ شرکت از جمله آی. بی. ام، فوجیتسو، اوراکل، یاهو، سیتیریکس، دل، آ. ام. دی، اینتل، کنونیکال، سوزه، اچ. پی. و سیسکو سیستمز به این پروژه پیوسته‌اند. اوپن استک یک پروژه رایانش ابری است که به تجهیز بستر متن‌باز و قابل دسترس در همه‌جا و برای ابرهای شخصی و عمومی کمک می‌کند. این پروژه توسط شرکت اوپن استک که یک مؤسسه غیرانتفاعی است و در سپتامبر ۲۰۱۲ تأسیس شده، مدیریت می‌شود.

۲. Vsphere

یک هایپروایزور توسعه داده شده توسط شرکت vmware است که در ساخت کامپیوترهای مجازی به کار می‌رود. این هایپروایزور به‌عنوان نرم‌افزار روی سیستم عامل نصب نمی‌شود، بلکه نرم‌افزاری است که ویژگی‌های اساسی سیستم‌عامل از قبیل Kernel را نیز دارد. یک کرنل لینوکس در ابتدا اجرا می‌شود، سپس اجزای مجازی‌سازی مختلف بارگذاری می‌شوند. در نسخه جدید که ESXi نام دارد، دیگر از کرنل لینوکس استفاده نمی‌شود.

۳. Microsoft Azure

یک پلتفرم رایانش ابری مایکروسافت است که برای ایجاد، توسعه و مدیریت اپلیکیشن‌ها از طریق یک شبکه جهانی از مراکز داده، تحت مدیریت مایکروسافت قرار دارد. مایکروسافت آژور این قابلیت را دارد که اپلیکیشن‌ها را توسط زبان‌ها، ابزارها و چهارچوب‌های مختلفی ایجاد نموده و به توسعه‌دهندگان امکان ادغام اپلیکیشن‌های عمومی خود را در محیط فناوری اطلاعات موجود می‌دهد. آژور از سال ۲۰۰۸ کار خود را شروع کرده است.

۴. Amazon AWS

وب سرویس‌های آمازون یا خدمات وب آمازون^۱، مجموعه‌ای از خدمات وب هستند که شرکت آمازون روی بستر ابر خود و از طریق اینترنت به عموم عرضه می‌کند. این سرویس‌ها زیرساخت‌های فناوری اطلاعات را به‌صورت سرویس‌های انعطاف‌پذیر به مشتریان اجاره می‌دهد. این سرویس‌ها شامل سرویس‌های محاسباتی و رایانشی^۲، ذخیره‌سازی^۳، تحویل محتوا، پایگاه

1. Amazon Web Services
2. EC2
3. S3

داده، تجارت الکترونیک، پرداخت و صدور صورت حساب و موارد دیگر می شود. آمازون ارائه این خدمات را از ابتدای سال ۲۰۰۶ برای عموم آغاز کرده است.

۵. Google Compute Engine

GCE زیرساختی به عنوان سرویس و یکی از اجزای پلتفرم گوگل روی زیرساخت جهانی است. نرم افزارهایی مانند جست و جوی گوگل، جی.میل، یوتیوب و بقیه سرویس های گوگل از این زیرساخت استفاده می کنند. GCE به کاربران امکان می دهد هر زمان که نیاز داشتند، ماشین های مجازی ایجاد کنند.

یافته های پژوهش

همان طور که اشاره شد با هدف اولویت بندی سیستم های رایانش ابری رایج در این حوزه، پنج گزینه پیشنهاد شد و ۱۳ معیار با توجه به مرور پیشینه ادبیات این حوزه شناسایی گردید. به منظور ارزیابی و اولویت بندی این گزینه ها، تیم پروژه که از دانش فنی و تجربه اجرایی در حوزه رایانش ابری برخوردار بودند، انتخاب شدند. از این خبرگان متخصص درخواست شد ابتدا وزن معیارهای استخراج شده را با توجه به متغیرهای زبانی موجود در جدول ۱ مشخص کنند. برای نمونه، جدول تصمیم به دست آمده بر اساس نظر خبره اول در زیر به نمایش درآمده و سایر جدول های تصمیم به پیوست ارائه شده است.

جدول ۴. جدول تصمیم به دست آمده بر اساس نظر خبره اول

C13	C12	C11	C10	C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	کد معیارها
MH	MH	VH	VH	H	ML	MH	H	VH	H	VH	L	M	وزن معیارها
VG	VG	MP	M	MG	MP	G	G	MG	G	M	VP	M	Open Stack
VP	MG	MG	P	VG	G	G	M	MG	G	VG	MG	MG	Vsphere
VP	P	P	P	F	F	F	P	F	MG	F	MG	F	Microsoft azure
P	MG	MP	P	F	F	MG	MG	MG	MG	MG	MG	F	Amazon AWS
MG	G	MP	P	F	F	MG	F	P	G	MG	MG	MG	Google compute engine

حال به کمک رابطه های ۱۲ تا ۱۶، مقادیر فازی مثلثی وزن معیارها و ارزیابی انجام شده خبره ها به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه ای در می آید. بدین ترتیب جدول تصمیم تجمیع شده که به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه ای است در جدول ۵ نمایش داده می شود.

جدول ۷. جدول تصمیم‌گیری شده فازی با مقادیر بازه‌ای

کد معیارها	گزینه‌ها				
	Google compute engine	Amazon AWS	Microsoft azure	Vsphere	Open Stack
C1	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C2	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C3	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C4	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C5	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C6	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C7	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C8	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C9	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C10	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C11	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C12	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]
C13	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]

جدول ۶. وزن معیارها به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای

کد معیارها	وزن معیارها با مقادیر فازی بازه‌ای	کد معیارها	وزن غیر فازی شده (BNF)	وزن معیارها با مقادیر فازی بازه‌ای	کد معیارها	وزن غیر فازی شده (BNF)
C1	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C8	0.071999795	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C1	0.071999795
C2	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C9	0.033878944	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C2	0.033878944
C3	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C10	0.063666697	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C3	0.063666697
C4	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C11	0.015533358	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C4	0.015533358
C5	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C12	0.083191981	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C5	0.083191981
C6	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C13	0.088855337	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C6	0.088855337
C7	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]		0.018762677	[[0.00,0.00],[0.00,0.00],[0.00,0.00]]	C7	0.018762677

همچنین وزن معیارها که به شکل اعداد فازی مثلثی توسط خبرگان ارائه شده بود، به کمک رابطه‌های ۱۲ تا ۱۶ به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای در آمدند که نتایج آن در جدول ۶ درج شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، در سطر آخر جدول ۶، وزن معیارها که پیش از این به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای بودند، به کمک رابطه ۲۰ و به ازای $\lambda = 0.5$ به صورت غیرفازی درآمدند. قابل مشاهده است که معیار در دسترس بودن به‌عنوان مهم‌ترین معیار از دیدگاه خبرگان شناسایی شده است.

حال در ادامه با هدف تعیین نقطه مرجع، از رابطه ۳۶ استفاده می‌شود و نقطه مرجع برای هر یک از معیارها به دست می‌آید (جدول ۷).

جدول ۷. نقطه مرجع برای هر یک از معیارها

کد معیارها	نقطه مرجع	کد معیارها	نقطه مرجع
۷۱	$[(0.30, 0.55), 0.75, (0.89, 1.00)]$	۷۸	$[(0.30, 0.55), 0.75, (0.89, 1.00)]$
۷۲	$[(0.00, 0.00), 0.00, (0.00, 1.00)]$	۷۹	$[(0.30, 0.49), 0.69, (0.84, 1.00)]$
۷۳	$[(0.50, 0.73), 0.89, (0.97, 1.00)]$	۸۰	$[(0.00, 0.00), 0.00, (0.00, 0.90)]$
۷۴	$[(0.70, 0.79), 0.95, (1.00, 1.00)]$	۸۱	$[(0.00, 0.00), 0.00, (0.45, 0.90)]$
۷۵	$[(0.30, 0.55), 0.75, (0.89, 1.00)]$	۸۲	$[(0.30, 0.68), 0.84, (0.91, 1.00)]$
۷۶	$[(0.30, 0.55), 0.75, (0.89, 1.00)]$	۸۳	$[(0.90, 0.90), 1.00, (1.00, 1.00)]$
۷۷	$[(0.70, 0.75), 0.92, (1.00, 1.00)]$		

در ادامه با هدف نرمال‌سازی ماتریس تصمیم و با استفاده از رابطه ۳۷ جدول تصمیم نرمال‌سازی می‌شود. در گام بعدی وزن‌های به‌دست آمده از جدول ۶ را به کمک رابطه ۳۸، در مقادیر جدول تصمیم نرمال ضرب می‌کنیم تا جدول تصمیم نرمال موزون به شکل آنچه در جدول ۸ مشاهده می‌کنید، حاصل شود.

در نهایت رتبه عملکردی و درجه مطلوبیت هر گزینه را به ترتیب از طریق رابطه‌های ۳۹ و ۴۰ به دست می‌آوریم و به ازای مقادیر مختلف λ غیرفازی کرده و بر اساس مقادیر حاصل‌شده، رتبه‌بندی می‌کنیم. نتایج این محاسبات در جدول ۹ درج شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، به ازای مقادیر مختلف λ ، سیستم رایانش ابری اوپن استاک برترین گزینه، انتخاب شده است. در تحلیل این نتایج می‌توان به عملکرد متمایز این گزینه، در معیارهای عملکرد، هزینه، در دسترس بودن، قابلیت اطمینان و امنیت سیستم، پایداری و ثبات سیستم، قابل استفاده بودن و توانایی ارائه خدمت، متوسط استفاده از CPU، مقیاس‌پذیری و متن‌باز بودن نسبت به سایر گزینه‌ها اشاره کرد.

جدول ۸. جدول تصمیم نرغال سازی شده موزون

کد معیارها	گزینه‌ها			
	Open Stack	Vsphere	Microsoft azure	Amazon AWS
C1	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C2	[[0.0,0.0],-0.9(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C3	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C4	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C5	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C6	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C7	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C8	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C9	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C10	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C11	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C12	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]
C13	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]	[[0.0,0.0],-0.4(0.0,0.0)]]

جدول ۹. نتایج نهایی رتبه عملکردی کلی، فرجه مطلوبیت و رتبه‌بندی نهایی به ازای معادله مختلف λ

rank	Landa = 0.1				Landa = 0.1				Landa = 0.5				گزینه‌ها	
	Qi	S(iBNP)	rank	Qi	S(iBNP)	rank	Qi	S(iBNP)	rank	Qi	S(iBNP)	rank		Qi
1	0.9579	1/0.579	1	0.937	1/0.367	1	0.915	1/0.361	1	0.891	1/0.361	1	0.868	1/0.361
2	0.9358	1/0.579	5	0.872	1/0.367	5	0.837	1/0.361	5	0.815	1/0.361	5	0.792	1/0.361
3	0.9139	1/0.579	4	0.852	1/0.367	4	0.817	1/0.361	4	0.795	1/0.361	4	0.772	1/0.361
4	0.892	1/0.579	3	0.832	1/0.367	3	0.807	1/0.361	3	0.785	1/0.361	3	0.762	1/0.361

نتیجه گیری و پیشنهادها

توجه به ارتباطات و اطلاعات، در دنیای امروز به عنوان اصل حیاتی مطرح است و در این رابطه، فعالیت‌های گسترده‌ای در سطح جهان در حال انجام شدن است. تاکنون راهکارهای متنوعی به منظور توسعه و تسهیل این ارتباطات، ارائه شده و یکی از این راهکارها که امروزه رشد مناسبی داشته، رایانش ابری است. رایانش ابری خدمات خود را با بهره‌گیری از فضای نرم‌افزاری متنوع ارائه می‌دهد. با توجه به تعدد نرم‌افزارها و پیچیدگی فرایند انتخاب نرم‌افزار متناسب با نیاز سازمان‌ها، در این مقاله چارچوبی به منظور انتخاب نرم‌افزار مناسب برای پیاده‌سازی رایانش ابری، با بهره‌گیری از رویکردهای تصمیم‌گیری چندشاخصه، ارائه شد. بدین منظور در گام نخست، با بررسی مقالات و مرور ادبیات تحقیق، معیارهای تصمیم‌گیری در این خصوص احصا شدند و با بهره‌مندی از نظر خبرگان این حوزه به تأیید رسیدند. در ادامه با پس از وزن‌دهی خبرگان به هر معیار، از رویکرد آراس فازی با مقادیر بازه‌ای برای اولویت‌بندی گزینه‌ها و انتخاب بهترین نرم‌افزار استفاده شد. در پایان با بهره‌مندی از چارچوب طراحی شده، نرم‌افزار متناسب برای دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران از میان پنج گزینه پیشنهادی انتخاب گردید.

بر اساس گام‌های طی شده، از دیدگاه خبرگان معیارهای دسترس‌پذیری، قابلیت اطمینان و امنیت سیستم و پایداری و ثبات سیستم، مهم‌ترین معیارها لحاظ شدند که به شرایط خاص مورد مطالعه و کشور ایران در این حوزه برمی‌گردد. در نهایت، سیستم رایانش ابری اوپن استاک به عنوان برترین گزینه در این مورد مطالعه انتخاب شد. دلیل انتخاب این گزینه، کسب امتیاز بالای آن در معیارهای عملکرد، قابلیت اطمینان و امنیت سیستم، پایداری و ثبات سیستم، قابل استفاده بودن و توانایی ارائه خدمت و متن‌باز بودن است. از چارچوب طراحی شده می‌توان در انتخاب نرم‌افزار در سایر لایه‌های مطرح در معماری رایانش ابری نیز بهره برد. همچنین می‌توان برای محاسبه وزن‌ها از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه توسعه یافته دیگری همچون تحلیل سلسله‌مراتبی، سوارا و سیموس نیز استفاده کرد.

فهرست منابع

خوانساری‌زاده، س.، شیرمحمدی، م. (۱۳۹۴). بررسی و اولویت‌بندی مخاطرات برون‌سپاری پروژه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات (مطالعه موردی: پروژه‌های زیرساخت فناوری اطلاعات و ارتباطات). مدیریت فناوری اطلاعات، ۱۷(۱)، ۶۹-۸۴.

روحانی، س.، شاه‌حسینی، م.، زارع‌رواسان، ا.، رحمانیان‌فر، ا. (۱۳۹۲). مدل انتخاب نرم‌افزار مدیریت خدمات فناوری اطلاعات مبتنی بر رویکرد تاپسیس فازی. مدیریت فناوری اطلاعات، ۵(۴)، ۱۱۸-۱۰۳.

شفایی تنکابنی، م.، شیخ، ر.، جلالی، م. (۱۳۹۴). پیمایشی درباره اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر برون‌سپاری فناوری اطلاعات در بستر رایانش ابری، در دانشگاه‌های استان سمنان با بهره‌مندی از روش دیمتل فازی. *مدیریت فناوری اطلاعات*، ۷(۲)، ۳۴۴-۳۲۵.

قاسمی، ر.، محقر، ع.، صفری، ح.، اکبری جوکار، م. (۱۳۹۵). اولویت‌بندی کاربرهای فناوری اینترنت اشیا در بخش بهداشت و درمان ایران: محرکی برای توسعه پایدار. *مدیریت فناوری اطلاعات*، ۸(۱)، ۱۷۶-۱۵۵.

Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A. & Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.

Aruna, L. & Aramudhan, M. (2016). Federated Architecture for Ranking the Services in Cloud Computing. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(21), 1-6.

Ashtiani, B., Haghghirad, F., Makui, A. & ali Montazer, G. (2009). Extension of fuzzy TOPSIS method based on interval-valued fuzzy sets. *Applied Soft Computing*, 9(2), 457-461.

Batista, D. M., Chaves, L. J., da Fonseca, N. L. & Ziviani, A. (2010). Performance analysis of available bandwidth estimation tools for grid networks. *The Journal of Supercomputing*, 53(1), 103-121.

Chan, H. & Chieu, T. (2010). Ranking and mapping of applications to cloud computing services by SVD. *Network Operations and Management Symposium Workshops (NOMS Wkshps)*, IEEE, 362-369.

Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1-9.

Chen, S. (1997). Fuzzy system reliability analysis based on vague set theory. *IEEE International Conference on*. 12-15 Oct. Orlando, FL, USA.

Chen, S. J. & Chen, S. M. (2003). Fuzzy risk analysis based on similarity measures of generalized fuzzy numbers. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 11(1), 45-56.

Chen, S. J. & Chen, S. M. (2008). Fuzzy risk analysis based on measures of similarity between interval-valued fuzzy numbers. *Computers & Mathematics with Applications*, 55(8), 1670-1685.

Garg, S. K., Versteeg, S. & Buyya, R. (2013). A framework for ranking of cloud computing services. *Future Generation Computer Systems*, 29(4), 1012-1023.

Garg, S.K., Versteeg, S. & Buyya, R. (2011). Smicloud: A framework for comparing and ranking cloud services. *In Utility and Cloud Computing (UCC), 2011 Fourth IEEE International Conference on* (pp. 210-218).

Gartner. (2008). *G. E. Trends, Technologies Roadshow, Identifies Top Ten Disruptive Technology*. Gartner.

- Ghasemi, R., Mohaghar, A., Safari, H., Akbari Jokar, M.R. (2016). Prioritizing the Applications of Internet of Things Technology in the Healthcare Sector in Iran: A Driver for Sustainable Development. *Journal of Information Technology Management (JITM)*, 8(1), 155-176. (in Persian)
- Hey, A. J., Tansley, S. & Tolle, K. M. (2009a). *Microsoft Research. The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery (Vol. 1)*. Redmond: WA: Microsoft research.
- Hey, T., Tansley, S., & Tolle, K. M. (2009b). *The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery (Vol. 1)*. Redmond: WA: Microsoft research.
- Khansarizadeh, S.E, Shirmohammadi, M. (2015). Investigation and Prioritizing Outsourcing of Information and Communication Technology (ICT) Projects (Case Study: ICT Infrastructure Projects). *Journal of Information Technology Management (JITM)*, 7(1), 69-84. (in Persian)
- Kuo, M. S. & Liang, G. S. (2012). A soft computing method of performance evaluation with MCDM based on interval-valued fuzzy numbers. *Applied Soft Computing*, 12(1), 476-485.
- Kuo, M. S. (2011). A novel interval-valued fuzzy MCDM method for improving airlines service quality in Chinese cross-strait airlines. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 1177-1193.
- Mahdavi, I., Mahdavi-Amiri, N., Heidarzade, A. & Nourifar, R. (2008). Designing a model of fuzzy TOPSIS in multiple criteria decision making. *Applied Mathematics and Computation*, 206(2), 607-617.
- Rouhani, S., Shahhosseini, M.A., Zare Ravasan, A., Rahmanianfar, E. (2014). A Model for ITSM Software Selection using Fuzzy TOPSIS Approach. *Journal of Information Technology Management (JITM)*, 5(4), 103-118. (in Persian)
- Sakr, S., Liu, A., Batista, D. M., & Alomari, M. (2011). A survey of large scale data management approaches in cloud environments. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 13(3), 311-336.
- Saremi, M., Mousavi, S. F., & Sanayei, A. (2009). TQM consultant selection in SMEs with TOPSIS under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2742-2749.
- Shafae Tonekaboni, M.S., Sheikh, R., Jalali, M.M. (2015). Survey on the Priority Factors Influencing IT Outsourcing in the Platform of Cloud Computing in Semnan Province Universities by Fuzzy DEMATEL Technique. *Journal of Information Technology Management (JITM)*, 7(2), 325-344. (in Persian)
- Supriya, M., Sangeeta, K. & Patra, G. (2015). Comparison of AHP based and Fuzzy based mechanisms for ranking Cloud Computing services. In *Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA), 2015 International Conference on* (pp. 175-180).
- Trends, G. E. (2008). *Technologies roadshow*. Gartner Identifies Top Ten Disruptive Technologies for 2008 to 2012.

- Tupenaite, L., Zavadskas, E., Kaklauskas, A., Turskis, Z. & Seniut, M. (2010). Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(2), 257–266.
- Walterbusch, M., Martens, B. & Teuteberg, F. (2015). A decision model for the evaluation and selection of cloud computing services: A first step towards a more sustainable perspective. *International Journal of Information Technology & Decision Makig*, 14(2), 253-285.
- Wang, M. J. & Chang, T. C. (1995). Tool steel materials selection under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 72(3), 263-270.
- Wang, Y. M. & Elhag, T. M. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert systems with applications*, 31(2), 309-319.
- Wei, S. H. & Chen, S. M. (2009). Fuzzy risk analysis based on interval-valued fuzzy numbers. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2285-2299.
- Yao, J. S. & Lin, F. T. (2002). Constructing a fuzzy flow-shop sequencing model based on statistical data. *International journal of approximate reasoning*, 29(3), 215-234.
- Zadeh, L. A. (1975a). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-II. *Information sciences*, 8(4), 301-357.
- Zadeh, L. A. (1975b). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. *Information sciences*, 9(1), 43-80.
- Zadeh, L. A. (1995). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information sciences*, 8(3), 199-249.
- Zavadskas, E. & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decisionmaking. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.
- Zavadskas, E., Turskis, Z. & Vilutiene, T. (2010). Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying additive ratio assessment (ARAS) method. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 10(3), 123–141.
- Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of internet services and applications*, 1(1), 7-18.
- Zheng, Z. & Zhang, Y. (2010). CloudRank: A QoS-driven component ranking framework for cloud computing. In *Reliable Distributed Systems, 2010 29th IEEE Symposium*, pp. 184-193.
- Zheng, Z., Wu, X., Zhang, Y., Lyu, M. R. & Wang, J. (2013). QoS ranking prediction for cloud services. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 24(6), 1213-1222.