Journal of Information Technology Management
Vol. 9, No. 4
2017
DOI: 10.22059/jitm.2017.235339.2067

University of Tehran
Faculty of Management

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 Dahouei [1], Navid Mohammadi [2], Amir Salar Vanaki [3], Mohsen Jamali [4]

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

مدیریت فناوری اطلاعات
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۹، شمارهٔ ۴
زمستان ۱۳۹۶
صص. ۷۸۶- ۷۵۹

Journal of Information Technology Management
DOI: 10.22059/jitm.2017.235339.2067

ارائهٔ چارچوبی به‌منظور انتخاب سامانهٔ مناسب برای پیاده‌سازی رایانش ابری (مورد مطالعه: دانشکدهٔ علوم و فنون نوین دانشگاه تهران)

جلیل حیدری دهویی[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. بدین‌منظور، این مقاله با هدف ارائهٔ 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 توسعه‌یافته به‌منظور انتخاب نرم‌افزار مناسب در دانشکدهٔ علوم و فنون نوین دانشگاه تهران از میان پنج گزینهٔ پیشنهاد شده به‌کار گرفته شد. نتایج حاکی از آن بود که سیستم رایانش ابری Open Stack برترین گزینه است. انتخاب این گزینه را می‌توان به‌دلیل 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، دانشکدهٔ 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
نویسندهٔ مسئول مقاله: جلیل حیدری دهویی
E-mail: Heidaryd@ut.ac.ir

مقدمه

در دو دههٔ 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 هزینهٔ 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 استفادهٔ هر شخص و کمترین میزان استفاده از نرم‌افزار، سخت افزار 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 (آرمبراست 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 اولویت‌دادن 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 حوزهٔ 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 به‌کمک خبرگان، شاخص‌های نهایی از بین این دسته شاخص‌ها به‌دست آمد. در ادامه، از رویکرد آراس فازی با مقادیر بازه‌ای برای انتخاب نرم‌افزار مناسب در حوزهٔ پیاده‌سازی راهکار رایانش ابری در سطح زیرساخت استفاده گردید. در نهایت، چارچوب طراحی‌شده به‌منظور انتخاب گزینهٔ مناسب از بین پنج نرم‌افزار پیشنهادی در پروژهٔ پیاده‌سازی رایانش ابری در دانشکدهٔ علوم و فنون نوین دانشگاه تهران به‌کار گرفته شد.

ساختار مقالهٔ کنونی بدین شرح است؛ ابتدا دلایل توسعهٔ استفاده از رایانش ابری تشریح شده و معماری رایانش ابری معرفی می‌شود. در ادامه تلاش شده با بررسی پیشینهٔ 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 ارائهٔ خروجی به‌دست آمده از نظر خبرگان، روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه مشخص شده‌اند. بخش پایانی نیز به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

پیشینهٔ پژوهش

پیشینهٔ 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 ارائهٔ 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 دههٔ 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 هزینهٔ 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، سخت افزار و شبکه است (ساکر و همکاران، ۲۰۱۱).

امروزه، انتخاب نرم‌افزار مناسب برای پیاده‌سازی فضای رایانش ابری، یکی از دغدغه‌های مطرح سازمان‌های مرتبط با حوزهٔ فناوری اطلاعات است. دلیل اصلی این گرایش، مزیت‌های گسترده این فناوری است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ ساکر و همکاران، ۲۰۱۱).

پیشینهٔ تجربی

همان‌طور که اشاره شد، هدف از نگارش این مقاله، ارائهٔ چارچوبی به‌منظور انتخاب نرم‌افزار مناسب در لایهٔ 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 چندشاخصهٔ تحلیل سلسله‌مراتبی و رویکرد فازی به‌منظور 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 تئوتبرگ، ۲۰۱۵). در مقالهٔ آرونا و آراموهان (۲۰۱۶) تعداد کاربران، معیار مهمی در تعیین رتبهٔ خدمات رایانش ابری، شناسایی شده است. ژنگ 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 شبکهٔ کشورها و زمان پاسخگویی است (ژانگ، وو، لیو و وانگ، ۲۰۱۳).

گرگ، ورستیگ و بویا (۲۰۱۱)، به‌منظور رتبه‌بندی و مقایسهٔ 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 ارتجاعی داشتن (کار کردن در زمان‌های اوج مصرف) و قابل استفاده‌بودن.

چارچوبی که در سال ۲۰۱۳ توسط گرگ و همکارانش به‌منظور رتبه‌بندی و مقایسهٔ خدمات رایانش ابری ارائه شده است، ۱۵ بعد را دربرمی‌گیرد. ابعاد این مدل، علاوه‌بر ۱۳ بعد بیان شده در مقالهٔ قبلی (گرگ و همکاران، ۲۰۱۱)، دو بعد توان و بهره‌وری و مقیاس‌پذیری را نیز دربرمی‌گیرد

(گرگ، ورستیگ و بویا، ۲۰۱۳). چان و چیو (۲۰۱۰)، به رتبه‌بندی خدمات ارائه شده در رایانش ابری بر اساس عملکرد و کیفیت آنها پرداختند. بدین منظور از تکنیک SVD[1] 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 چیو، 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 شبکهٔ کشورها و زمان پاسخگویی، در نظر گرفته شده است.

شفایی تنکابنی، شیخ و جلالی (۱۳۹۴)، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ دیمتل فازی، پژوهشی با عنوان «پیمایشی دربارهٔ 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 توسعهٔ پایدار»، از رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه AHP استفاده کردند. روحانی و همکارانش با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ 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 لایهٔ زیرساخت، بومی‌سازی و نهایی شدند.

1. Singular Value Decomposition Technique

جدول ۱. شاخص‌های نهایی و بومی‌سازی شده به‌کمک خبره

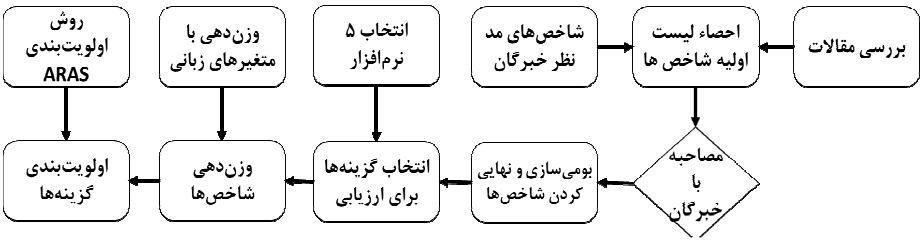
شاخص‌ها	کد معیار	نوع شاخص‌ها	منبع
عملکرد	c۱	مثبت	چان و چیو، ۲۰۱۰؛ ژنگ و ژانگ، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
هزینه	c۲	منفی	چان و چیو، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ والتربوش و همکاران، ۲۰۱۵.
در دسترس بودن	c۳	مثبت	چان و چیو، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران ، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران ، ۲۰۱۳.
قابلیت اطمینان و امنیت سیستم	c۴	مثبت	چان و چیو، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران ، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
انعطاف سیستم در اوج مصرف	c۵	مثبت	چان و چیو، ۲۰۱۰؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
پایداری و ثبات سیستم	c۶	مثبت	گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
قابل استفاده بودن و توانایی ارائهٔ خدمت	c۷	مثبت	گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
وضوح و شفافیت کارکرد	c۸	مثبت	گرگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
توان و بهره‌وری	c۹	مثبت	سوپریا و همکاران، ۲۰۱۵؛ گرگ و همکاران، ۲۰۱۳.
متوسط زمان لازم برای تعمیر	c۱۰	منفی	چان و چیو، ۲۰۱۰
متوسط استفاده از CPU	c۱۱	منفی	چان و چیو، ۲۰۱۰
مقیاس‌پذیری	c۱۲	مثبت	گرگ و همکاران، ۲۰۱۳
متن‌باز بودن	c۱۳	مثبت	خبرگان

روش‌شناسی پژوهش

بر اساس مباحث مطرح شده، این پژوهش با هدف ارائهٔ چارچوبی به‌منظور اولویت‌بندی نرم‌افزارهای لازم برای پیاده‌سازی رایانش ابری در لایهٔ 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 گزینهٔ مناسب استفاده گردید. به‌منظور انتخاب نرم‌افزار متناسب در دانشکدهٔ علوم و فنون نوین دانشگاه تهران از میان پنج گزینهٔ پیشنهاد شده، گام‌های طراحی شده طی شد. شکل ۱ نموداری از گام‌های تدوین مقاله را به نمایش گذاشته است.

خبرگان این پژوهش، از یکسو تجربهٔ 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 پروژهٔ پیاده‌سازی سیستم رایانش ابری در دانشکدهٔ علوم و فنون نوین است. خبرگان در فرایند پژوهش درگیر بودند و به‌طور کامل از نظرهای اصلاحی آنان در مرحلهٔ نهایی کردن معیارها و همچنین انتخاب سیستم مناسب، بهره برده شد.



شکل ۱. نمودار فرایند تدوین مقاله

اعداد فازی تعمیم‌داده شده[1]

عدد فازی تعمیم داده شده $\tilde{A}$ که به شکل $\tilde{A} = (a, b, c, d; \omega), \cdot \leq a \leq b \leq c \leq d \leq$ ۱ $and \cdot \leq \omega \leq$ ۱ یک زیرمجموعهٔ فازی از فضای خطی $\mathcal{R}$ است و تابع عضویت[2] آن که با $\mu_{\tilde{A}}$ نمایش داده می‌شود، دارای ویژگی‌های زیر است (چن و چن، ۲۰۰۳):

۱. $\mu_{\tilde{A}}$ به‌طور پیوسته از فضای $\mathcal{R}$ روی بازهٔ بسته [۰,۱] تصویر شده است؛

۲. $\mu_{\tilde{A}}(\mathrm{x}) = \cdot$ برای تمام $x \in (-\infty, a]$؛

۳. $\mu_{\tilde{A}}(\mathrm{x})$ در بازهٔ $[a, b]$، اکیداً صعودی است؛

1. Generalized Fuzzy Numbers
2. Membership Function

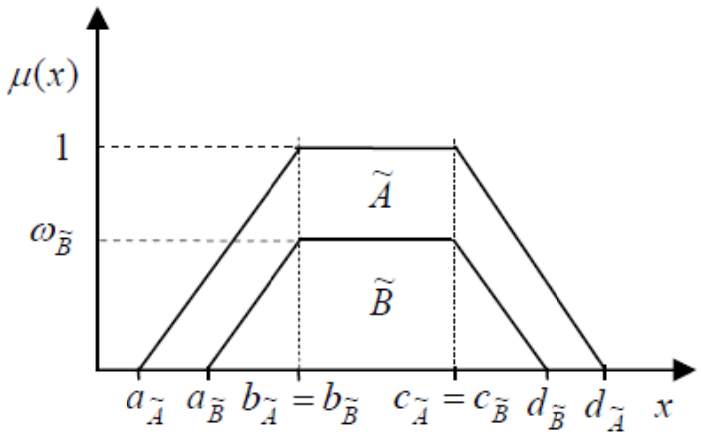
۴. $\mu_{\tilde{A}}(x) = \omega$ برای تمام x ها در محدودهٔ $x \in [b, c]$ قرار دارد که ω مقداری ثابت در بازهٔ $[0, 1]$ است ($0 \leq \omega \leq 1$).

۵. $\mu_{\tilde{A}}(x)$ در بازهٔ $[c, d]$، 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 ذوزنقه‌ای تعمیم داده شده[1]، گفته می‌شود. شکل ۲ رابطهٔ 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 ذوزنقه‌ای به عدد فازی مثلثی تبدیل می‌شود.



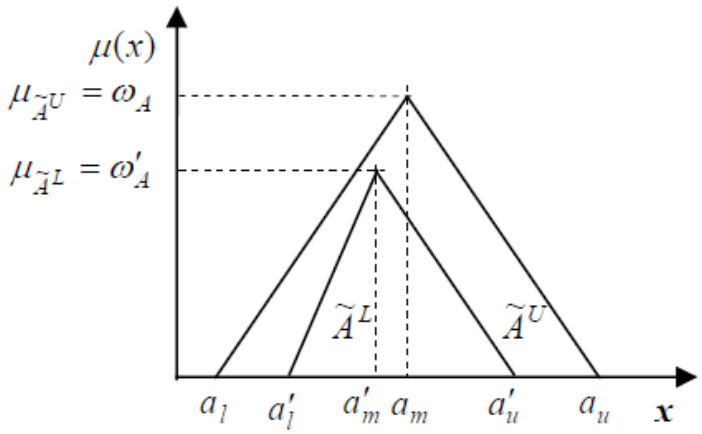
شکل ۲. اعداد فازی تعمیم‌یافته

اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای[2]

اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای، گونهٔ خاصی از اعداد فازی تعمیم یافته‌اند. مشابه اعداد فازی تعمیم یافته، اعداد فازی بازه‌ای به شکل ذوزنقه 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:

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

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

در نظر بگیرید که $\tilde{A} = \left[\tilde{A}^L, \tilde{A}^U\right] = [(a'_l, a'_m, a'_u; \omega'_A), (a_l, a_m, a_u; \omega_A)]$ 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:

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

۲. تفریق اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای:

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

۳. ضرب اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای:

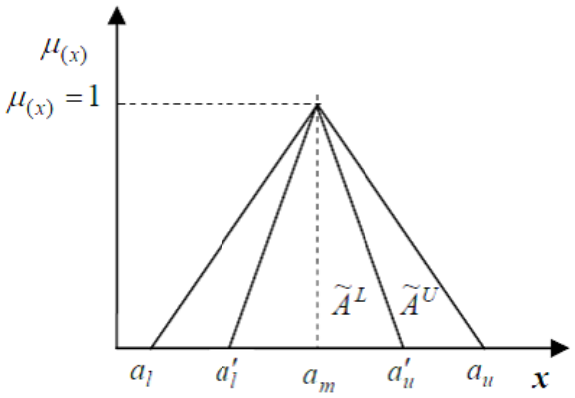
رابطهٔ ۴) $$\tilde{A} \times \tilde{B} = [(a_l' \times b_l', a_m' \times b_m', a_u' \times b_u'; min(\omega_A', \omega_B')), (a_l \times b_l, a_m \times b_m, a_u \times b_u; mi\,n(\omega_A, \omega_B))]$$

۴. تقسیم اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای:

رابطهٔ ۵) $$\tilde{A} \div \tilde{B} = [(a_l' \div b_u', a_m' \div b_m', a_u' \div b_l'; min(\omega_A', \omega_B')), (a_l \div b_u, a_m \div b_m, a_u \div b_l; mi\,n(\omega_A, \omega_B))]$$

شکل خاصی از اعداد فازی تعمیم‌یافته با مقادیر بازه‌ای در شکل ۴ به نمایش در آمـده اسـت که نرمال‌سازی شدهٔ (۱ $(\omega_A' = \omega_A = 1)$ و در این اعداد $(a_m' = a_m)$ است. بنابراین می‌توان این اعداد را در قالب رابطهٔ ۶ نمایش داد:

رابطهٔ ۶) $$\tilde{A} = [\tilde{A}^L, \tilde{A}^U] = [(a_l, a_l'), a_m, (a_u', a_u)]$$



شکل ٤. عدد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای نرمال شده با میانهٔ برابر

در نظر بگیریـد کـه $\tilde{A} = [\tilde{A}^L, \tilde{A}^U] = [(a_l, a_l'), a_m, (a_u', a_u)]$ و $\tilde{B} = [\tilde{B}^L, \tilde{B}^U] =$ $[(b_l, b_l'), b_m, (b_u', b_u)]$ دو عدد فازی مثلثی نرمال شده با مقـادیر بـازه‌ای باشـند کـه دارای میانه[1] یکسان هستند. اعمال حسابی ابتدایی برای این اعداد فازی به‌صورت رابطه‌های زیر تعریف می‌شود (چن و چن، ۲۰۰۸؛ چن، ۱۹۹۷):

1. Mode

جمع:

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

تفریق:

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

ضرب:

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

تقسیم:

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

همچنین عملگر یگانی[1] که برای اعداد مثلثی با مقادیر بازه‌ای تعریف شده، بسیار مهم است.

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

متغیرهای زبانی[2]

در مقالات بسیاری، زاده مفهوم متغیرهای زبانی را تبیین کرده است (زاده، ۱۹۹۵؛ زاده؛ ۱۹۷۵– الف؛ زاده، ۱۹۷۵– ب). با توجه به تعریف لطفی‌زاده، متغیرهای زبانی، متغیرهایی هستند که مقادیر آنها با کلمات یا جملاتی در زبان طبیعی یا مصنوعی متناظرند. به‌کارگیری 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 الهاگ، 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

اعداد فازی ذوزنقه‌ای با مقادیر بازه‌ای معرفی کردند. همچنین کو و لیانگ (۲۰۱۲)، کو (۲۰۱۱) و آشتیانی و همکاران (۲۰۰۹)، یک مقیاس هفت‌سطحی برای عبارات زبانی[1] بر مبنای اعداد فـازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای ارائه دادند.

جدول ۲. متغیرهای زبانی برای وزن‌دهی معیارها

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

جدول ۳. متغیرهای زبانی برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی معیارها

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

جدول ۳ متغیرهای زبانی برای وزن و رتبه‌بندی عملکرد بـر مبنـای اسـتفاده از اعـداد فـازی 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 بـازه‌ای حاصـل اشـاره شده است:

۱. نتایجی که با استفاده از متغیرهای زبانی به‌دست مـی‌آیـد را مـی‌تـوان بهبـود داد، اگـر تصمیم‌گیرندگان با معانی و کاربرد آنها بیشتر آشنا باشند.

1. Linguistic terms

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 رتبهٔ عملکردی اعداد فازی معمولی به اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای می‌توان از رابطه‌های زیر استفاده کرد:

رابطهٔ ۱۲) $$l = \min_k(l^k)$$

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

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

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

رابطهٔ ۱۶) $$u = \max_k(u^k)$$

که $\tilde{x} = [(l, l'), m, (u', u)]$ نشان‌دهندهٔ عدد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای و $\tilde{x}^k = (l^k, m^k, u^k)$ معرف عدد مثلثی فازی متناظر با kامین تصمیم‌گیرنده است. K که در بازهٔ $k = ۱, \dots, K$ قرار دارد، تعداد خبرگان (تصمیم‌گیرندگان) را نشان می‌دهد. پارامترهای l و u به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین رتبهٔ 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 مقایسهٔ 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 ذوزنقه‌ای

است؛ در حالی که با اندکی تغییر می‌توان از همین روش‌ها برای غیرفازی کردن اعداد مثلثی با مقادیر بازه‌ای استفاده کرد. ابتدا در زیر به دو رابطهٔ رایجی که برای غیرفازی کردن اعداد مثلثی استفاده می‌شوند، اشاره می‌کنیم:

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

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

همچنین برای غیرفازی کردن اعداد مثلثی فازی با مقادیر بازه‌ای، می‌توان از دو رابطهٔ ۱۹ و ۲۰ استفاده کرد.

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

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

که $\tilde{A}$ نشان‌دهندهٔ اعداد فازی مثلثی معمولی[1] و $\tilde{B}$ معرف اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای است. λ ضریب است و در بازهٔ $\lambda \in [0,1]$ قرار دارد. رابطهٔ ۱۹ گسترش ساده‌ای از رابطهٔ ۱۸ است که مؤثرترین روش برای غیرفازی کردن اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای شناخته شده و با BNP[2] نمایش داده می‌شود. در مقایسه با رابطهٔ ۱۹، رابطهٔ ۲۰ اندکی پیچیده‌تر است، اما مزایایی را نیز به همراه دارد؛ زیرا با تغییر ضریب λ می‌توان اهمیت بیشتری به پارامترهای l' و u' نسبت به پارامترهای l و u بخشید و برعکس.

روش آراس[3]

روش ARAS که در سال‌های اخیر در کانون توجه محققان قرار گرفته، یکی از روش‌های نسبتاً جدید MADM است. بر اساس این نظریه، پدیده‌های پیچیدهٔ جهان می‌توانند 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 وزن‌دار شده و نرمال‌شدهٔ معیارها برای هرگزینه که نشان‌دهندهٔ شرایط یک

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

گزینه است، بر مجموع مقادیر وزن‌دار شده و نرمال‌شدهٔ بهترین گزینه، تقسیم می‌شود. این نسبت، درجهٔ بهینه‌بودن[1] نامیده می‌شود. براساس این درجهٔ بهینه‌بودن گزینه‌ها، رتبه‌بندی می‌شوند.

در گام نخست، ماتریس تصمیم[2] شکل می‌گیرد. ابعاد این ماتریس $m \times n$ است که m تعداد گزینه‌ها (سطرها) و n تعداد معیارها (ستون‌ها) را نشان می‌دهد.

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

x_{ij} نشان‌دهندهٔ عملکرد گزینهٔ iام در معیار jام و x_{0j} مقدار بهینه برای معیار jام است. اگر مقدار بهینهٔ متغیر j ام نامعین باشد، به شکل زیر مقداری برای آن تعیین می‌کنیم.

$$x_{0j} = \max_i x_{ij}\ , if\ \max_i x_{ij}\ is\ preferable \qquad \text{رابطهٔ ۲۲)}$$

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

معمولاً مقدار ارزیابی گزینه‌ها در معیارها (x_{ij}) و وزن هر معیار (w_j) به‌عنوان ورودی‌های ماتریس تصمیم، توسط تصمیم‌گیرندگان داده می‌شود. در مرحلهٔ اول باید به این نکته توجه شود که معیارها ابعاد متفاوتی دارند. برای ایجاد امکان مقایسهٔ معیارها و همچنین، اجتناب از سختی‌های احتمالی به‌دلیل تفاوت ابعاد معیارها، باید ابتدا مقادیر وزن داده شده را بی‌بُعد کنیم. برای اینکار مقادیر را بر مقدار بهینه که در بالا به‌دست آمد، تقسیم می‌کنیم. روش‌های متفاوتی برای بی‌بعد کردن مقادیر وجود دارد که یکی از روش‌ها در زیر شرح داده شده است.

با استفاده از روش نرمال‌سازی، مقادیر ماتریس تصمیم اولیه به مقادیری در بازه‌های [۰, ۱] یا [۰; ∞] تبدیل می‌شوند.

در گام دوم، مقادیر ورودی اولیه برای تمام معیارها نرمال‌سازی شده و به شکل $\bar{x}_{ij}$ در می‌آیند که درایه‌های ماتریس $\bar{X}$ هستند. این ماتریس به‌صورت رابطهٔ ۲۳ تعریف می‌شود.

---

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

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

برای معیارهای مثبت[1] نرمال‌سازی به شکل زیر انجام می‌شود:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^{m} x_{ij}} \qquad \text{رابطهٔ ۲۴)}$$

برای معیارهای منفی[2] نرمال‌سازی به شکل زیر انجام می‌شود:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^{*}}\; \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^{m} x_{ij}} \qquad \text{رابطهٔ ۲۵)}$$

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

در گام سوم، وزن‌ها را در ماتریس نرمال‌شدهٔ $\bar{X}$ ، اعمال می‌کنیم تا ماتریس $\hat{X}$ به‌دست آید. وزن هر معیار jام که با w_j نمایش داده می‌شود را خبرگان تعیین می‌کنند. وزن‌های داده شده باید شروط زیر را داشته باشند:

$$0 < w_j < 1$$

$$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1 \qquad \text{رابطهٔ ۲۶)}$$

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

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

که w_j وزن (اهمیت) معیار jام و $\bar{x}_{ij}$ مقدار نرمال‌شدهٔ معیار jام است. عبارت زیر ارزش تابع بهینه را مشخص می‌کند.

---

1. Benefit type criteria
2. Cost type criteria

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

که S_i ارزش تابع بهینه برای گزینهٔ i است. بهترین گزینه، گزینه‌ای است که بالاترین ارزش تابع بهینه را دارد و بدترین گزینه، گزینه‌ای است که کمترین ارزش تابع بهینه را بـه‌دسـت آورده است. اولویت گزینه‌ها بر اساس مقدار S_i مشخص می‌شود.

درجهٔ کاربرد هر گزینه از مقایسه آن با بهترین مقدار که $S_.$ نام دارد، به‌دست می‌آیـد. معادلـهٔ درجهٔ کاربرد که K_i نام دارد، برای گزینه A_i در زیر تشریح شده است.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}\ ;\ i = \overline{0,m}$$ رابطهٔ ۳۰)

که $S_.$ و S_i از رابطهٔ ۲۹ به‌دست آمده‌اند. واضح است که مقدار K_i در بـازه $[۰, ۱]$ قـرار دارد. بر اساس مقادیر K_i گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

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

گام اوّل ـ تعیین رتبهٔ عملکردی بهینه برای هر یک از معیارها: نخستین نکته‌ای که بایـد به آن توجه کنیم، این است که رتبهٔ عملکردی بهینه برای هر معیار باید به شکل اعداد فـازی بـا مقادیر بازه‌ای باشد و این رتبهٔ عملکردی بهینهٔ فازی با مقادیر بـازه‌ای بـه ایـن شـکل محاسـبه می‌شود:

$$\tilde{x}_{0j} = \left[(l_{0j}, l'_{0j}), m_{0j}, (u'_{0j}, u_{0j})\right]$$ رابطهٔ ۳۱)

که $\tilde{x}_{0j}$ نشان‌دهندهٔ رتبهٔ عملکردی بهینهٔ فازی با مقادیر بازه‌ای برای معیار jام است و

$$l_{0j} = \begin{cases} \max\limits_{i} l_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min\limits_{i} l_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases}$$ رابطهٔ ۳۲)

$$l'_{0j} = \begin{cases} \max\limits_{i} l'_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min\limits_{i} l'_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases}$$ رابطهٔ ۳۳)

$$m_{0j} = \begin{cases} \max\limits_{i} m_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min\limits_{i} m_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases}$$ رابطهٔ ۳۴)

$$u'_{0j} = \begin{cases} \max\limits_{i} u'_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min\limits_{i} u'_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases}$$ رابطهٔ ۳۵)

$$u_{0j} = \begin{cases} \max\limits_{i} u_{ij}; j \in \Omega_{max} \\ \min\limits_{i} u_{ij}; j \in \Omega_{min} \end{cases}$$ رابطهٔ ۳۶)

گام دوم ـ محاسبهٔ ماتریس تصمیم نرمال‌سازی شده: به‌منظور استفاده از اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای، ضروری است تغییراتی در فرایند نرمال‌سازی اعمال شود. بنابراین به جای رابطهٔ ۲۹ می‌توان از رابطهٔ ۳۷ استفاده کرد.

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

$\tilde{r}_{ij}$ نشان‌دهندهٔ مقادیر بازه‌ای رتبه‌بندی عملکردی گزینهٔ iام در معیار jام است که:

$i = ۰,۱, \dots, m$ و $c_j^+ = \sum_{i=۰}^{m} c_{ij}$ و $a_j^- = \sum_{i=۰}^{m} \frac{۱}{a_{ij}}$.

گام سوم ـ محاسبهٔ 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:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{w}_j . \tilde{r}_{ij}$$ رابطهٔ ۳۸)

$\tilde{v}_{ij}$ نشان‌دهندهٔ رتبهٔ عملکردی فازی نرمال وزن‌دار با مقادیر بازه‌ای گزینه iام در معیار jام است که $i = ۰,۲, \dots, m$.

گام چهارم ـ محاسبهٔ رتبهٔ عملکردی کلی با مقادیر بازه‌ای: این مقدار به‌کمک رابطهٔ ۳۹ به‌دست می‌آید.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{v}_{ij}$$ رابطهٔ ۳۹)

$\tilde{S}_i$ نشان‌دهندهٔ رتبه عملکردی کلی با مقادیر بازه‌ای برای گزینهٔ iام است که $i = ۰,۱, \dots, m$.

گام پنجم ـ محاسبه درجه مطلوبیت[1] برای هر گزینه: از آنجا که نتایج گام پیشین به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای ارائه می‌شود، گاهی محاسبهٔ درجهٔ کلی مطلوبیت پیچیده‌تر است. درجهٔ مطلوبیت به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\tilde{Q}_i = \frac{\tilde{S}_i}{\tilde{S}_0}$$ رابطهٔ ۴۰)

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

فرایند غیرفازی کردن باید قبل از تعیین درجهٔ 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 ـ رتبه‌بندی گزینه‌ها و انتخاب مناسب‌ترین گزینه: این گام درست مشابه روش ARAS معمولی است.

مورد مطالعه

ریاست دانشکدهٔ علوم و فنون نوین دانشگاه تهران با هدف راه‌اندازی یک سامانهٔ رایانش ابری برای ارائهٔ سرویس پردازش[2] به استادان و دانشجویان دانشکده با امکانات اکانتینگ، 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 لایهٔ 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 گزینهٔ زیر را پیشنهاد دادند.

---

1. Degree of utility
2. Compute

۱. OpenStack

یک پلت‌فرم نرم‌افزاری متن‌باز برای رایانش ابری است که توسط Rackspace و ناسا در جولای ۲۰۱۰ طرح‌ریزی شد. هم اکنون بیش از ۵۰۰ شرکت از جمله آی. بی. ام.، فوجیتسو، اوراکل، یاهو، سیتریکس، دل، آ. ام. دی.، اینتل، کنونیکال، سوزه، اچ. پی. و سیسکو سیستمز به این پروژه پیوسته‌اند. اوپن استک یک پروژهٔ 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 مؤسسهٔ 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 به‌کار می‌رود. این هایپروایزور به‌عنوان نرم‌افزار روی سیستم‌عامل نصب نمی‌شود، بلکه نرم‌افزاری است که ویژگی‌های اساسی سیستم‌عامل از قبیل Kernel را نیز دارد. یک کرنل لینوکسی در ابتدا اجرا می‌شود، سپس اجزای مجازی‌سازی مختلف بارگذاری می‌شوند. در نسخهٔ جدید که ESXi نام دارد، دیگر از کرنل لینوکس استفاده نمی‌شود.

۳. Microsoft Azure

یک پلاتفرم رایانش ابری مایکروسافت است که برای ایجاد، توسعه و مدیریت اپلیکیشن‌ها از طریق یک شبکهٔ 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.

٤. Amazon AWS

وب سرویس‌های آمازون یا خدمات وب آمازون[1]، 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[2]، ذخیره‌سازی[3]، تحویل محتوا، پایگاه

1. Amazon Web Services
2. EC2
3. S3

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

۵. Google Compute Engine

GCE زیرساختی به‌عنوان سرویس و یکی از اجزای پلتفرم گوگل روی زیرساخت جهانی است. نرم‌افزارهایی مانند جست‌وجوی گوگل، جی.میل، یوتیوب و بقیهٔ سرویس‌های گوگل از این زیرساخت استفاده می‌کنند. GCE به کاربران امکان می‌دهد هر زمان که نیاز داشتند، ماشین‌های مجازی ایجاد کنند.

یافته‌های پژوهش

همان‌طور که اشاره شد با هدف اولویت‌بندی سیستم‌های رایانش ابری رایج در این حوزه، پنج گزینه پیشنهاد شد و ۱۳ معیار با توجه به مرور پیشینهٔ ادبیات این حوزه شناسایی گردید. به‌منظور ارزیابی و اولویت‌بندی این گزینه‌ها، تیم پروژه که از دانش فنی و تجربهٔ اجرایی در حوزهٔ 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 به‌دست آمده بر اساس نظر خبرهٔ اول در زیر به نمایش درآمده و سایر جدول‌های تصمیم به پیوست ارائه شده است.

جدول ٤. جدول تصمیم به‌دست آمده بر اساس نظر خبرهٔ اول

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

حال به‌کمک رابطه‌های ۱۲ تا ۱۶، مقادیر فازی مثلثی وزن معیارها و ارزیابی انجام شدهٔ خبره‌ها به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای در می‌آید. بدین ترتیب جدول تصمیم تجمیع شده که به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای است در جدول ۵ نمایش داده می‌شود.

جدول ۵. جدول تصمیم تجمیع شده فازی با مقادیر بازه‌ای

کد معیارها	گزینه‌ها				
	Open Stack	Vsphere	Microsoft azure	Amazon AWS	Google compute engine
c۱	[(۰/۳۰,۰/۵۹),۰/۷۷,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]	[(۰/۱۰,۰/۲۶),۰/۴۸,(۰/۶۹,۰/۹۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]
c۲	[(۰/۰۰,۰/۰۰), ۰/۰۰,(۰/۱۰,۰/۱۰)]	(۰/۵۰,۰/۷۸),۰/۹۱,(۰/۹۷,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]
c۳	[(۰/۳۰,۰/۵۵), ۰/۷۵,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	[(۰/۵۰,۰/۷۳),۰/۸۹,(۰/۹۷,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۳۹),۰/۵۹,(۰/۷۹,۰/۹۰)]	[(۰/۳۰,۰/۴۸),۰/۶۹,(۰/۸۷,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۴۸),۰/۶۹,(۰/۸۷,۱/۰۰)]
c۴	[(۰/۷۰,۰/۷۹),۰/۹۵,(۱/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۵۵),۰/۷۵,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]
c۵	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۴۳,(۰/۶۶,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۵۵),۰/۷۵,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۴۲),۰/۶۳,(۰/۸۱,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۵۲),۰/۷۳,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۴۲,(۰/۶۶,۱/۰۰)]
c۶	[(۰/۳۰,۰/۵۵),۰/۷۵,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]
c۷	[(۰/۷۰,۰/۷۵),۰/۹۲,(۱/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]
c۸	[(۰/۱۰,۰/۴۶),۰/۷۰,(۰/۸۴,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۵۶,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۵۵),۰/۷۵,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۵۲),۰/۷۳,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۵۲),۰/۷۳,(۰/۸۹,۱/۰۰)]
c۹	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۵۰,(۰/۷۲,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۳۹),۰/۵۹,(۰/۷۹,۰/۹۰)]	[(۰/۳۰,۰/۳۹),۰/۵۹,(۰/۷۹,۰/۹۰)]	[(۰/۳۰,۰/۴۹),۰/۶۹,(۰/۸۴,۱/۰۰)]
c۱۰	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]
c۱۱	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۴۵,۰/۹۰)]	[(۰/۵۰,۰/۶۳),۰/۸۱,(۰/۹۵,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۴۰,(۰/۶۴,۰/۹۰)]	[(۰/۱۰,۰/۲۹),۰/۵۲,(۰/۷۳,۰/۹۰)]	[(۰/۱۰,۰/۲۹),۰/۵۲,(۰/۷۳,۰/۹۰)]
c۱۲	[(۰/۳۰,۰/۶۸),۰/۸۴,(۰/۹۱,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۵۰,(۰/۷۲,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۴۵,(۰/۶۸,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۵۲),۰/۷۳,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	[(۰/۳۰,۰/۶۰),۰/۸۰,(۰/۹۱,۱/۰۰)]
c۱۳	[(۰/۹۰,۰/۹۰),۱/۰۰,(۱/۰۰,۱/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۱۳,۰/۳۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۱۳,۰/۳۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۲۳,۰/۳۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۲۴,(۰/۴۹,۰/۹۰)]

جدول ٦. وزن معیارها به شکل اعداد فازی با مقادیر بازه‌ای

کد معیارها	وزن معیارها با مقادیر فازی بازه‌ای	وزن غیرفازی شده (BNP)	کد معیارها	وزن معیارها با مقادیر فازی بازه‌ای	وزن غیرفازی شده(BNP)
c۱	[(۰/۳۰,۰/۵۹),۰/۷۷,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	۰/۷۱۹۹۳۸۴۵	c۸	[(۰/۱۰,۰/۴۲),۰/۶۶,(۰/۸۲,۱/۰۰)]	۰/۶۰۹۸۳۶۸۶
c۲	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۵۵,(۰/۷۴,۱/۰۰)]	۰/۴۷۲۵۸۷۹۹	c۹	[(۰/۵۰,۰/۶۹),۰/۸۷,(۰/۹۷,۱/۰۰)]	۰/۸۱۵۷۹۳۸۷
c۳	[(۰/۹۰,۰/۹۰),۱/۰۰,(۱/۰۰,۱/۰۰)]	۰/۹۶۶۶۶۶۶۷	c۱۰	[(۰/۳۰,۰/۵۹),۰/۷۷,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	۰/۷۱۹۹۳۸۴۵
c۴	[(۰/۷۰,۰/۸۵),۰/۹۷,(۱/۰۰,۱/۰۰)]	۰/۹۱۵۵۳۳۵۸	c۱۱	[(۰/۵۰,۰/۷۳),۰/۸۹,(۰/۹۷,۱/۰۰)]	۰/۸۳۰۹۱۹۸۱
c۵	[(۰/۵۰,۰/۷۳),۰/۸۹,(۰/۹۷,۱/۰۰)]	۰/۸۳۰۹۱۹۸۱	c۱۲	[(۰/۵۰,۰/۶۹),۰/۸۷,(۰/۹۷,۱/۰۰)]	۰/۸۱۵۷۹۳۸۷
c۶	[(۰/۷۰,۰/۷۹),۰/۹۵,(۱/۰۰,۱/۰۰)]	۰/۸۹۸۵۱۵۳۳	c۱۳	[(۰/۵۰,۰/۶۹),۰/۸۷,(۰/۹۷,۱/۰۰)]	۰/۸۱۵۷۹۳۸۷
c۷	[(۰/۵۰,۰/۶۹),۰/۸۷,(۰/۹۷,۱/۰۰)]	۰/۸۱۵۷۹۳۸۷			

همچنین وزن معیارها که به شکل اعداد فاری مثلثی توسط خبرگان ارائه شده بود، به‌کمک 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، به‌کمک رابطهٔ ۲۰ و به ازای ۰/۵ = λ به‌صورت غیرفازی درآمده‌اند. قابل مشاهده است که معیار در دسترس بودن به‌عنوان مهم‌ترین معیار از دیدگاه خبرگان شناسایی شده است.

حال در ادامه با هدف تعیین نقطهٔ مرجع، از رابطهٔ ۳۶ استفاده می‌شود و نقطهٔ مرجع برای هر یک از معیارها به‌دست می‌آید (جدول ۷).

جدول ۷. نقطهٔ مرجع برای هر یک از معیارها

کد معیارها	نقطهٔ مرجع	کد معیارها	نقطهٔ مرجع
c۱	[(۰/۳۰,۰/۵۹),۰/۷۷,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	c۸	[(۰/۳۰,۰/۵۵),۰/۷۵,(۰/۸۹,۱/۰۰)]
c۲	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۰)]	c۹	[(۰/۳۰,۰/۴۹),۰/۶۹,(۰/۸۴,۱/۰۰)]
c۳	[(۰/۵۰,۰/۷۳),۰/۸۹,(۰/۹۷,۱/۰۰)]	c۱۰	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۹۰)]
c۴	[(۰/۷۰,۰/۷۹),۰/۹۵,(۱/۰۰,۱/۰۰)]	c۱۱	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۴۵,۰/۹۰)]
c۵	[(۰/۳۰,۰/۵۵),۰/۷۵,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	c۱۲	[(۰/۳۰,۰/۶۸),۰/۸۴,(۰/۹۱,۱/۰۰)]
c۶	[(۰/۳۰,۰/۵۵),۰/۷۵,(۰/۸۹,۱/۰۰)]	c۱۳	[(۰/۹۰,۰/۹۰),۱/۰۰,(۱/۰۰,۱/۰۰)]
c۷	[(۰/۷۰,۰/۷۵),۰/۹۲,(۱/۰۰,۱/۰۰)]		

در ادامه با هدف نرمال‌سازی ماتریس تصمیم و با استفاده از رابطهٔ ۳۷ جدول تصمیم نرمال‌سازی می‌شود. در گام بعدی وزن‌های به‌دست آمده از جدول ۶ را به‌کمک رابطهٔ 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 رتبهٔ عملکردی و درجهٔ مطلوبیت هر گزینه را به‌ترتیب از طریق رابطه‌های ۳۹ و ۴۰ به‌دست 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 ارائهٔ خدمت، متوسط استفاده از CPU، مقیاس‌پذیری و متن‌باز بودن نسبت به سایر گزینه‌ها اشاره کرد.

جدول ۸. جدول تصمیم نرمال سازی‌شده موزون

کد معیارها	گزینه‌ها				
	Open Stack	Vsphere	Microsoft azure	Amazon AWS	Google compute engine
c۱	[(۰/۰۲,۰/۰۶),۰/۱۰,(۰/۱۴,۰/۱۸)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۸)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۶)]	[(۰/۰۱,۰/۰۳),۰/۰۶,(۰/۱۱,۰/۱۶)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۶)]
c۲	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۹,(۰/۰۰,۰/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۱۲,(۰/۱۶,۰/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۱۰,(۰/۱۳,۰/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۱۴,(۰/۱۹,۰/۰۰)]
c۳	[(۰/۰۵,۰/۰۸),۰/۱۳,(۰/۱۵,۰/۱۷)]	[(۰/۰۸,۰/۱۱),۰/۱۵,(۰/۱۷,۰/۱۷)]	[(۰/۰۵,۰/۰۶),۰/۱۰,(۰/۱۳,۰/۱۵)]	[(۰/۰۵,۰/۰۷),۰/۱۲,(۰/۱۵,۰/۱۷)]	[(۰/۰۵,۰/۰۷),۰/۱۲,(۰/۱۵,۰/۱۷)]
c۴	[(۰/۰۸,۰/۱۲),۰/۱۶,(۰/۱۷,۰/۱۷)]	[(۰/۰۴,۰/۰۸),۰/۱۳,(۰/۱۵,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۶)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۶)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۷)]
c۵	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۶,(۰/۱۱,۰/۱۷)]	[(۰/۰۳,۰/۰۷),۰/۱۱,(۰/۱۴,۰/۱۷)]	[(۰/۰۳,۰/۰۵),۰/۰۹,(۰/۱۳,۰/۱۷)]	[(۰/۰۳,۰/۰۶),۰/۱۱,(۰/۱۴,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۶,(۰/۱۱,۰/۱۷)]
c۶	[(۰/۰۴,۰/۰۸),۰/۱۲,(۰/۱۵,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۶)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۶)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۷)]
c۷	[(۰/۰۶,۰/۰۹),۰/۱۳,(۰/۱۶,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۷)]
c۸	[(۰/۰۰,۰/۰۳),۰/۰۸,(۰/۱۱,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۸,۰/۱۷)]	[(۰/۰۱,۰/۰۴),۰/۰۸,(۰/۱۲,۰/۱۷)]	[(۰/۰۱,۰/۰۴),۰/۰۸,(۰/۱۲,۰/۱۷)]	[(۰/۰۱,۰/۰۴),۰/۰۸,(۰/۱۲,۰/۱۷)]
c۹	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۷,(۰/۱۲,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۱۷)]	[(۰/۰۳,۰/۰۵),۰/۰۹,(۰/۱۳,۰/۱۶)]	[(۰/۰۳,۰/۰۵),۰/۰۹,(۰/۱۳,۰/۱۶)]	[(۰/۰۳,۰/۰۶),۰/۱۰,(۰/۱۴,۰/۱۷)]
c۱۰	[(۰/۰۴,۰/۰۹),۰/۱۱,(۰/۱۳,۰/۰۰)]	[(۰/۰۴,۰/۰۹),۰/۱۱,(۰/۱۳,۰/۰۰)]	[(۰/۰۶,۰/۱۱),۰/۱۴,(۰/۱۶,۰/۰۰)]	[(۰/۰۵,۰/۰۹),۰/۱۲,(۰/۱۴,۰/۰۰)]	[(۰/۰۷,۰/۱۳),۰/۱۷,(۰/۱۹,۰/۰۰)]
c۱۱	[(۰/۱۵,۰/۲۲),۰/۲۷,(۰/۰۰,۰/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۰۰)]	[(۰/۱۹,۰/۲۸),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۰۰)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۰,۰/۰۰)]
c۱۲	[(۰/۰۳,۰/۰۸),۰/۱۲,(۰/۱۵,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۷,(۰/۱۲,۰/۱۷)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۶,(۰/۱۱,۰/۱۷)]	[(۰/۰۳,۰/۰۶),۰/۱۱,(۰/۱۴,۰/۱۷)]	[(۰/۰۳,۰/۰۷),۰/۱۲,(۰/۱۵,۰/۱۷)]
c۱۳	[(۰/۱۲,۰/۱۶),۰/۲۳,(۰/۲۶,۰/۲۶)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۳,۰/۰۸)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۳,۰/۰۸)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۰,(۰/۰۶,۰/۰۸)]	[(۰/۰۰,۰/۰۰),۰/۰۶,(۰/۱۳,۰/۲۴)]

جدول ۹. نتایج نهایی رتبهٔ عملکردی کلی؛ درجهٔ مطلوبیت و رتبه‌بندی نهایی به ازای مقادیر مختلف λ

گزینه‌ها	Land =۰/۵			Landa = ۰/۱			Landa =۱		
	Si-Interval value	Si(BNP)	Qi	rank	Si(BNP)	Qi	rank	Si(BNP)	Qi	rank
نقطهٔ مرجع	[(۰/۶۷,۱/۱۷),۱/۸۱,(۱/۸۷,۱/۷۹)]	۱/۵۲۳	۱	۰	۱/۴۴۳۲	۱	۰	۱/۵۶۷۹	۱	۰
Open Stack	[(۰/۵۸,۱/۰۰),۱/۶۹,(۱/۶۶,۱/۷۹)]	۱/۴۰۱	۰/۹۱۹۵	۱	۱/۳۶۶۷	۰/۹۴۷	۱	۱/۴۹۲۹	۰/۹۵۲	۱
Vsphere	[(۰/۱۸,۰/۳۵),۰/۵۷,(۰/۸۲,۱/۵۹)]	۰/۶۸۱	۰/۴۴۷۱	۵	۰/۷۸۸۳	۰/۵۴۶۲	۵	۰/۵۶۰۸	۰/۳۵۸	۵
Microsoft azure	[(۰/۳۵,۰/۵۸),۰/۶۹,(۰/۹۹,۱/۵۲)]	۰/۸۰۳	۰/۵۲۶۹	۴	۰/۸۳۶۵	۰/۵۷۹۶	۴	۰/۸۱۳۳	۰/۵۱۹	۲
Amazon AWS	[(۰/۱۸,۰/۴۰),۰/۷۸,(۱/۱۳,۱/۵۶)]	۰/۸۰۳	۰/۵۲۷۴	۳	۰/۸۴۸۷	۰/۵۸۸	۳	۰/۷۷۷۶	۰/۴۹۶	۳
Google compute engine	[(۰/۱۷,۰/۳۶),۰/۸۴,(۱/۱۷,۱/۷۵)]	۰/۸۵۶	۰/۵۶۱۸	۲	۰/۸۶۸۵	۰/۶۰۱۸	۲	۰/۷۳۰۶	۰/۴۶۶	۴

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

توجه به ارتباطات و اطلاعات، در دنیای امروز به‌عنوان اصل حیاتی مطرح است و در این رابطه، فعالیت‌های گسترده‌ای در سطح جهان در حال انجام شدن است. تاکنون راهکارهای متنوعی به‌منظور 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 به‌منظور 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 دانشکدهٔ علوم و فنون نوین دانشگاه تهران از میان پنج گزینهٔ 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 به‌عنوان 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 ارائهٔ 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 محاسبهٔ وزن‌ها از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ توسعه یافتهٔ 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 (مطالعهٔ موردی: پروژه‌های زیرساخت فناوری اطلاعات و ارتباطات). *مدیریت فناوری اطلاعات*، *۷*(۱)، ۸۴-۶۹.

روحانی، س.، شاه‌حسینی، م.، زارع رواسان، 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 دربارهٔ 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 توسعهٔ 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., Haghighirad, 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 Wksps), 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*. Gartnet.

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.

Shafaee 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.