

Proposing a selection model for financing methods in construction projects using a fuzzy expert system

Rouhollah Mohsenzadeh¹, Hamidreza Abbasianjahromi^{2*}, Alireza Lork³

1- PhD Candidate, Department of Civil Engineering, Kish International Branch, Islamic Azad University, Kish Island, Iran

2- Assistant Professor, dept. civil engineering, K. N. Toosi university of technology, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, dept. civil engineering, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

The most important issue in developing countries is the lack of proper infrastructures to facilitate the welfare of society and deal with problems in a desirable way. Due to the nature of infrastructures, the implementation of such projects requires significant funding, which, especially in developing countries, governments do not have enough capacity, so we must pay close attention to attract the new methods to finance projects. Therefore, it is necessary to use methods or models to determine the appropriate financing method for each organization according to its risk endurable level. The present study intends to provide a framework for determining the level of risk of financing methods in order to select the appropriate method in each project. In the first phase of the proposed framework be developing the qualitative method called content analysis, coding of interviews with experts and applying the Fuzzy AHP method, 17 risk criteria in the form of 7 main criteria including financing costs, risk of timely provision of resources, repayment structure The risk of interest rate fluctuations, the risk of exchange rate fluctuations, the risk of non-timely realization of project revenues and the risk of macroeconomic variables were identified and weighted. In the second phase, a fuzzy expert system was presented to predict the level of risk of financing methods. The results of the research in identifying the criteria showed that the risk of non-realization of project revenues in a timely manner, the economy risks and financing costs had the highest priority in the risk of project financing methods. Also, in the part of fuzzy expert system, firstly, in the development of the model, a new method was used to limit the number of rules in the knowledge base, and secondly, according to the validation performed, the accuracy of the model was determined to be 88%.

ARTICLE INFO

Receive Date: 10 April 2021

Revise Date: 18 August 2021

Accept Date: 29 August 2021

Keywords: Financing
Risk
Fuzzy Expert System
Construction Industry

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2021.280463.2414

*Corresponding author: Hamidreza Abbasian Jahromi

Email address: habasian@kntu.ac.ir

ارایه مدل انتخاب روش‌های تأمین مالی در پروژه‌های ساخت با استفاده از سیستم خبره فازی

روح‌اله محسن‌زاده^۱، حمیدرضا عباسیان جهرمی^{۲*}، علیرضا لریک^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد بین‌المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران

۲- استادیار، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد صفارشهر، ایران

چکیده

مهمترین مسئله در کشورهای در حال توسعه فقدان زیرساخت‌های مناسب به منظور تسهیل سطح رفاهی جامعه و مقابله با مشکلات به صورت مطلوب می‌باشد اجرای چنین پروژه‌هایی به دلیل ماهیت زیرساختی آنها نیازمند تأمین مالی قابل توجه بوده که به خصوص در کشورهای در حال توسعه، دولت‌ها توان مورد نیاز برای تأمین مالی این دسته از پروژه‌ها را ندارند، لذا بایستی توجه اساسی به سمت استفاده از روش‌های نوین برای تأمین مالی پروژه‌ها با ملحوظ داشتن ریسک‌های مترتب و موجود جلب گردد. از اینرو استفاده از روش‌ها و یا مدل‌هایی که بتواند روش تأمین مالی مناسب را برای هر سازمان با توجه به سطح ریسک پذیری آن تعیین کند الزامی به نظر می‌رسد. پژوهش حاضر در نظر دارد تا چارچوبی به منظور تعیین سطح ریسک روش‌های تأمین مالی براساس به منظور انتخاب روش مناسب در هر پروژه ارائه دهد. در فاز اول چارچوب پیشنهادی با استفاده از روش تحلیل مضمون، کدگذاری مصاحبه‌های صورت گرفته با خبرگان و به کارگیری روش **Fuzzy AHP**، ۷ معیار اصلی شامل هزینه‌های تأمین مالی، ریسک تأمین به موقع منابع، ساختار بازپرداخت، ریسک نوسانات نرخ بهره، ریسک نوسانات نرخ ارز، ریسک عدم تحقق به موقع درآمد‌های پروژه و ریسک متغیرهای کلان اقتصادی شناسایی و وزن دهی گردید. در فاز دوم با استفاده از سیستم خبره فازی مدلی به منظور پیش‌بینی سطح ریسک روش‌های تأمین مالی ارائه شد. نتایج تحقیق در قسمت شناسایی معیارها نشان داد که ریسک عدم تحقق به موقع درآمدهای پروژه، ریسک‌های فرایندی در اقتصاد و هزینه تأمین مالی دارای بیشترین اولویت در ریسک روش‌های تأمین مالی پروژه بودند. همچنین در قسمت سیستم خبره فازی، اولاً در توسعه مدل از روشی نوین جهت محدود کردن تعداد قوانین در پایگاه دانش استفاده شد و ثانیاً مطابق صحت‌سنجی انجام شده دقت مدل ۸۸٪ تعیین گردید.

کلمات کلیدی: تأمین مالی، ریسک، سیستم خبره فازی، صنعت ساخت و ساز

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/JSCE.2021.280463.2414	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/JSCE.2021.280463.2414	۱۴۰۱/۰۲/۳۱	۱۴۰۰/۰۶/۰۷	۱۴۰۰/۰۶/۰۷	۱۴۰۰/۰۵/۲۷	۱۴۰۰/۰۱/۲۱
حمیدرضا عباسیان جهرمی habasian@kntu.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

تصمیم‌گیری در مورد نحوه‌ی تأمین مالی، یکی از مسائل مهم در هر سازمانی می‌باشد. تأمین مالی برای اجرای پروژه‌های سودآور، نقش بسیار مهمی در موفقیت پروژه ایفا می‌کند. در حال حاضر در کشورهای در حال توسعه تمایل زیادی برای ساخت و توسعه زیرساخت‌های حیاتی کشور به منظور قرار گرفتن در دسته کشورهای توسعه یافته می‌باشد. رشد و بالندگی یک اقتصاد پایدار صرفاً در بستر زیرساخت‌های با کیفیت رخ می‌دهد [۱]. عدم توسعه یافتگی و غیر شکوفا بودن اقتصاد کشورهای در حال توسعه باعث شده است که دولت‌ها در تأمین مالی پروژه‌های زیرساخت با محدودیت‌هایی روبرو باشند. لذا در سال‌های اخیر توجه زیادی به تأمین مالی پروژه‌های عمرانی از سوی کشورهای در حال توسعه ایجاد شده است. مرتون، تعریفی از نظریه تأمین مالی ارائه داده است که شاید در نوع خود کوتاه‌ترین و دقیق‌ترین تعریف باشد: "مطالعه رفتار کارگزاران در روند تخصیص و توزیع منابع از هر دو بعد مکان و زمان در شرایطی نامطمئن، پایه و اساس نظریه تأمین مالی را تشکیل می‌دهد. زمان و عدم اطمینان اصلی‌ترین عناصر تأثیرگذار بر رفتار مالی به شمار می‌آید [۲]. همانگونه که در این تعریف مشاهده می‌شود ریسک و زمان مناسب تأمین مالی دو ویژگی اصلی در تأمین مالی مناسب می‌باشند. یکی از مشخصه‌های تأمین مالی پروژه‌های عمرانی، جذب منابع مالی و ارائه پیش‌بینی از بازگشت سرمایه به سرمایه‌گذاران و ذینفعان پروژه است. تأمین سرمایه به منظور اجرای پروژه‌های عمرانی نیازمند بررسی ریسک‌های مرتبط با عملیات‌های اجرایی در مراحل مختلف پروژه می‌باشد. یکی از عواملی که همواره در تأمین مالی پروژه‌های عمرانی مورد توجه قرار گرفته است، ریسک‌های مترتب بر این گونه پروژه‌ها می‌باشد. روش‌های تأمین مالی از طریق جذب مشارکت‌های عمومی - خصوصی که اکثراً در قالب قراردادهای BOT، BOO و بیع متقابل در حوزه پروژه‌های شهری و عمرانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند توانسته‌اند برخی از ریسک‌ها و هزینه‌های دولت از جمله ریسک بهره‌بردارای در درازمدت را تعدیل نمایند. موضوع دیگری که در خصوص روش‌های تأمین مالی می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد، دسترسی به منابع تأمین مالی است. در این راستا استفاده از انواع فاینانس‌های خارجی از بانک‌های توسعه‌ای بین‌المللی از جمله بانک جهانی، صندوق بین‌المللی پول و همچنین بانک‌های تجاری بین‌المللی با مشکلات فراوانی رو به رو هستند که گاهی زمان دستیابی به منابع را بسیار طولانی کرده و باعث ایجاد روند کند و فرسایشی در اجرای پروژه‌ها خواهند شد [۳]. روش‌های مختلفی برای تأمین مالی پروژه‌های عمرانی وجود دارد. از یک منظر می‌توان روش‌های تأمین مالی به دو دسته درون سازمانی مانند وجوه نقد حاصل از فعالیت‌های عملیاتی ذخایر استهلاک ذخایر قانونی و احتیاطی و فروش دارایی‌های داخلی شرکت اشاره نمود. همچنین استقراض وام بانکی انتشار اوراق مشارکت و انتشار سهام جدید، فاینانس داخلی یا خارجی را می‌توان به عنوان منابع برون سازمانی تأمین مالی نام برد. وجه غالب در انتخاب هر کدام از دسته‌های تأمین مالی توجه به میزان ریسک تحمیل شده به سرمایه‌گذار و یا سرمایه‌پذیر را دارد [۴]. به طور کلی در منابع درون سازمانی ریسک‌های مربوط به تأمین مالی به شرکت و یا پروژه تحمیل شده در حالیکه در تأمین مالی برون سازمانی ریسک عدم بازگشت سرمایه به سرمایه‌گذار خارجی انتقال می‌یابد. البته بایستی توجه داشت که سرمایه‌گذار خارجی نیز با توجه به سطح ریسک پذیرفته‌شده هزینه تأمین سرمایه را تغییر خواهد داد. در تأمین مالی پروژه‌های عمرانی عموماً دولت‌ها نهاد یا سازمانی را برای اجرای پروژه ایجاد کرده و ریسک‌های بازپرداخت وام‌های دریافتی به صورت مستقیم و هم‌غیرمستقیم را کاهش می‌دهند. در عمل دولت‌ها براساس میزان اهمیت اجتماعی - اقتصادی پروژه‌ها، ابزارهای مختلف مالی را استفاده می‌کنند و در نتیجه به شیوه‌ای عمل می‌کنند تا بسیاری از ریسک‌ها را از جمله ریسک‌های تجاری کاهش داده یا خنثی کنند.

نظر به لزوم توسعه زیرساخت در کشورهای در حال توسعه به ویژه ایران و از سویی محدودیت‌های بودجه‌ای که دولت‌ها در کشورهای در حال توسعه با آن عموماً روبرو می‌باشند، توجه به روش‌های تأمین مالی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از سویی تعدد روش‌های تأمین مالی و ریسک‌های مرتبط با هر روش و توانایی هر سازمان و یا دولتی در مدیریت ریسک‌های مشخص باعث می‌شود که لزوم وجود مدل‌هایی برای انتخاب روش تأمین مالی مناسب با در نظر گرفتن ریسک‌های مربوطه بیش از پیش نمایان گردد. ایر و پورکایاستا [۵] تأکید می‌کنند که یکی از دلایل عدم گسترش روش‌های تأمین مالی در پروژه‌های زیرساخت شرایط ریسکی تأمین مالی در این دسته از پروژه‌ها می‌باشد. لذا ای پژوهش در نظر دارد تا مدلی به منظور ارزیابی روش‌های تأمین مالی متناسب با ریسک‌های مربوط به هر روش را ارائه نماید تا کارفرمایان را قادر سازد با توجه به شرایط پروژه خود روش مناسب تأمین مالی را انتخاب نمایند. مدل پیشنهادی در دو قسمت شامل فاز اول که به شناسایی معیارهای ریسکی به منظور اتخاذ تصمیم و ارزیابی ریسک می‌پردازد و در فاز دوم مدلی تحت سیستم خبره فازی برای

انتخاب روش مناسب تعیین می‌گردد. مزیت مدل پیشنهادی در قابلیت کارکرد آن با پارامترهای زبانی بوده و تقریباً هر نوع تصمیم‌گیری را قادر می‌سازد تا صرفاً با بیان دغدغه‌های خود در خصوص پروژه مورد بررسی، روش تأمین مالی متناسب با آن را پیشنهاد دهد. در ادامه مقاله ابتدا مروری بر فعالیت‌های انجام شده در این حوزه صورت خواهد گرفت. در گام بعد روش تحقیق به تفصیل شرح داده می‌شود. در مرحله چهارم نتایج حاصل از مدل بیان شده و در قسمت پنجم نیز بحث و گفتگو پیرامون نتایج حاصله صورت خواهد پذیرفت. در انتها نیز نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲- بررسی کارهای انجام شده

فعالیت‌های مختلفی در حوزه تأمین مالی پروژه‌ها توسط محققین پیشین صورت گرفته است. ژانگ [۶] به مطالعه تطبیقی شش پروژه جاده‌ای و اصلاحات سیاسی اخیر در این کشور با بررسی مواردی نظیر ساختار سرمایه، تخصیص ریسک، وام‌دهی و سازمان‌دهی حقوق صاحبان سهام آن‌ها می‌پردازد و ویژگی‌های مشترک نظیر استفاده از بدهی‌های کوتاه مدت بانکی، اصلاح سیاست‌های دولتی، خطای پیش‌بینی و شکست مالی پروژه‌ها و تغییر در تخصیص ریسک را در طی ۱۰ سال گذشته، شناسایی نموده است. شن و بائو [۷] به بررسی روش‌های تأمین مالی پروژه‌های زیربنایی بزرگراه با استفاده از مشارکت دولتی و خصوصی پرداخت که در آن نشان داد که بهبود مکانیزم جذب سرمایه و افزایش ظرفیت مجری پروژه برای پرداخت بدهی در پروژه‌های زیرساختی نظیر بزرگراه و شرایط سرمایه‌گذاری در اجرای این پروژه‌ها برای اهداف هر مرحله از اجرای پروژه، مناسب‌ترین منبع تأمین و ابزار مالی را پیشنهاد می‌نماید. سانگ [۸] به شناسایی بهترین روش‌های مالی برای پروژه‌ها پرداخت که در آن با اشاره به انجام مقدمات پروژه‌های مشارکت خصوصی در ۵ مرحله مختلف بر وجود یک مدل تأمین مالی مشخص به عنوان یک ابزار مهم در فرآیند ارزیابی پروژه تأکید داشته‌اند. محققین از طریق مطالعه مقایسه‌ای، سه مدل مالی را شناسایی نمودند و مطالعات انجام شده در کشورهای هند و انگلستان و زیر نظر کارشناسان در سراسر جهان از طریق پرسشنامه ساختاریافته مورد ارزیابی و تأکید قرار گرفت و بهترین مدل مالی با موافقت چهار گروه ذینفع به دست آمد. در ژانگ و همکاران [۹] به بررسی ترتیب تأمین مالی پروژه‌های زیربنایی بزرگراه تحت شرایط مشارکت دولتی و خصوصی پرداختند. استراتژی مالی پیشنهاد شده بر اساس تنوع منابع وجوه یا صندوق سرمایه‌گذاری و ابزارهای تأمین مالی با توجه به مراحل چرخه حیات پروژه توسعه پیدا کرده است. هاناوکا و پالاپوس [۱۰] به بررسی ریسک‌های تأمین مالی پروژه‌محور در کشور صربستان می‌پردازند. آن‌ها در مقاله خود ابتدا انواع ریسک‌ها را به سه بخش ریسک‌های تجاری، ریسک‌های مالی و ریسک‌های سیاسی طبقه‌بندی می‌کنند که هر کدام از این ریسک‌ها را به چندین بخش تقسیم‌بندی می‌نمایند. سپس آن‌ها با استفاده از مدل FMEA به اولویت‌بندی هر یک از این ریسک‌ها می‌پردازند و بیان می‌کنند که ریسک تجاری بیشترین اهمیت را دارد و بعد از آن به ترتیب ریسک‌های سیاسی و مالی قرار دارند. کاربونا و نانزیا [۱۱] به بررسی تأمین مالی پروژه‌محور از طریق مشارکت عمومی - خصوصی و ریسک‌های آن پرداختند. آن‌ها ریسک‌های این پروژه‌ها را به سه دوره از پروژه مختص می‌کنند که شامل: دوران ساخت، دوران بهره‌برداری آزمایشی و دوران بهره‌برداری اصلی تقسیم‌بندی می‌کنند و ۱۱ نوع ریسک را معرفی می‌نمایند که هر کدام متناسباً در هر یک از این دوره‌ها قرار می‌گیرد. العباسی و همکاران [۱۲] در پژوهش خود با استفاده از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر سلطه‌نخبه (NSGA-II) یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه برنامه ریزی شده مبتنی بر تأمین مالی را ایجاد کردند. علاوه بر این، نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از حل همان مسئله در مطالعه دیگری از ادبیات با استفاده از روش بهینه‌سازی چند هدفه الگوریتم تکامل قدرت پارتو (SPEA) مقایسه شد که نتایج نشان داد روش مذکور نسبت به روش قبلی برتر است. باروکو و هریرا [۱۳] در پژوهش خود به بررسی عوامل پیش‌برنده انتخاب روش تأمین مالی برای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر بین مالی پروژه (استفاده منحصر به دارایی‌های پروژه) و مالی شرکت (استفاده از دارایی‌های شرکت مادر) با استفاده از مطالعه موردی در کشور فیلیپین پرداختند. نتایج نشان داد که با توجه به عدم اطمینان ذاتی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر و کشورهای در حال توسعه، سیاست‌گذاران باید سیاست‌هایی را اتخاذ کنند تا عدم اطمینان درآمد را به حداقل برسانند، تأمین مالی پروژه را فعال کنند و سرمایه‌گذاران را گسترش دهند. فیروزی و مشکانی [۱۴] در پژوهشی یک چارچوب جدید را برای بهینه‌سازی برنامه خدمات بدهی با توجه به احتمال پیش‌فرض شرکت پروژه

¹ elitist non-dominated sorting genetic algorithm

پیشنهاد دادند که کاربرد روش پیشنهادی را برای یک پروژه فتوولتائیک خورشیدی ۱۰ مگاواتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) به عنوان ابزار بهینه سازی نشان دادند. آنها در این پژوهش از مجموعه داده های NASA SSE برای جمع آوری داده های تابش استفاده کرده و از نرم افزار PVSyst برای شبیه سازی عملکرد پروژه بهره بردند. عدم قطعیت ها با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو محاسبه گردید که درآمد ایجاد شده، جریان نقدی رایگان مربوطه و نسبت پوشش خدمات بدهی به عنوان متغیرهای تصادفی شبیه سازی می شوند.

۳- روش تحقیق

با توجه به این که تحقیق حاضر به دنبال شناسایی شاخص های مورد نیاز در امکان سنجی روش های تأمین مالی از طریق مطالعه مقالات، کتب و مصاحبه با خبرگان می باشد، از نظر گردآوری داده و اطلاعات، اکتشافی است. همچنین در این تحقیق، به این دلیل که محقق به ارایه ی راهکارها و پیشنهادهایی در راستای تسهیل انتخاب روش تأمین مالی مناسب در پروژه های شهری می پردازد، از نظر هدف کاربردی و از طرف دیگر با بررسی های بعمل آمده از تحقیقات پیشین در عرصه ی داخلی و خارجی، از آن جایی که الگو و یا مدل مبتنی بر سیستم-های خبره در پروژه های شهری ارایه نشده است، این تحقیق در زمره ی تحقیق توسعه ای قرار می گیرد. مدل پیشنهادی در دو فاز به شرح زیر ارائه می گردد:

۳-۱- فاز اول) روش کیفی

مرحله اول: شناسایی شاخص های ارزیابی روش های تأمین مالی

در گام اول با بررسی پژوهش های پیشین سعی می شود که تمامی ریسک هایی که در انتخاب روش های تأمین مالی توسط پژوهشگران پیشین مورد تاکید قرار گرفته اند شناسایی شود. با انجام این مرحله با طیف گسترده ای از معیارهای ریسکی مواجه خواهیم شد که لازم است با استفاده از روش های علمی تعداد آنها محدود شود.

مرحله دوم: غربال گری اولیه با استفاده از روش تحلیل مضمون

محقق به منظور شناسایی شاخص های مؤثر بر ارزیابی روش های تأمین مالی از روش تحلیل محتوای کیفی استفاده می کند. روش تحلیل محتوای کیفی، یکی از روش های کاربردی در عرصه تحقیق و پژوهش کیفی محسوب می شود. تحلیل محتوا، روشی است که بر اساس آن می توان ویژگی های زبانی یک متن را به طور واقع بینانه و منظم شناخت. تفکر بنیادی تحلیل محتوا، قرار دادن اجزای یک متن (کلمات، جملات، پاراگراف ها و امثالهم) در مفاهیم مورد بررسی می باشد. در این مرحله، از طریق بررسی نظام مند و سیستماتیک پژوهش های مرتبط به وسیله ی روش تحلیل محتوای مقالات، کتب و متن مصاحبه، شاخص های ارزیابی روش های تأمین مالی شناسایی می شوند.

مرحله سوم: وزن دهی به معیارهای شناسایی شده با استفاده از روش Fuzzy AHP

پس از محدود کردن تعداد معیارها لازم است که اولویت بندی معیارها براساس نظرات خبرگان تعیین شود. در این بخش از توزیع پرسشنامه بین خبرگان و استفاده از روش Fuzzy AHP برای تحلیل نتایج پرسشنامه استفاده می شود. روش Fuzzy AHP دارای مراحل زیر می باشد:

پس از تعیین شاخص های امکان سنجی روش های تأمین مالی، میزان اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر بررسی و تجزیه و تحلیل می شود به طوری که نتیجه بدست آمده در مرحله ساخت پایگاه دانش سیستم خبره مورد استفاده قرار می گیرد و خبرگان با در نظر گرفتن میزان اهمیت شاخص ها نسبت به یکدیگر نتیجه ی یک قانون را تعیین می کنند. حال برای تعیین میزان اولویت از روش چانگ [۱۵] استفاده شده است. بدین منظور ابتدا پارامترهای زبانی و اعداد فازی مثلثی برای تبدیل پارامترهای زبانی به اعداد فازی مطابق جدول (۱) مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱: اصطلاحات زبانی برای وزن دهی به خبرگان

اعداد فازی	معادل فازی اطلاعات
(۰،۰،۰/۱)	کاملاً بی اهمیت
(۰/۱،۰/۱ و ۰/۳)	خیلی بی اهمیت
(۰/۱، ۰/۳، ۰/۵)	بی اهمیت
(۰/۳، ۰/۵، ۰/۷۵)	متوسط
(۰/۵، ۰/۷۵، ۰/۹)	با اهمیت
(۰/۷۵، ۰/۹، ۱)	خیلی با اهمیت
(۰/۹، ۱، ۱)	کاملاً با اهمیت

پس از اخذ نظرات پاسخ دهندگان، به منظور تعیین وزن هر یک از معیارها از روابط زیر مطابق روش چانگ استفاده می شود. در روابط زیر G فهرست شاخص ها از شماره ۱ تا n می باشند و M معرف مقدار ارجحیت معیارها نسبت به یکدیگر می باشند.

$$G = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_n\}$$

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m \quad i=1,2,\dots,n$$

راه حل چانگ برای محاسبه وزن فازی به ترتیبی است که در ادامه می آید:

ابتدا با استفاده از عملکرد فازی جمع، مجموع هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی (یعنی برای هر خبره) تعیین می شود. این کار به روش زیر قابل انجام است. l_j, m_j و u_j به ترتیب حدپایین، وسط و بالای عدد فازی مثلثی بیان شده توسط پاسخ دهنده J ام می باشد.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^J = \left(\sum_{j=1}^m l_j \sum_{j=1}^m m_j \sum_{j=1}^m u_j \right)$$

مجموع اعداد فازی حاصل از عملیات قبل را با یکدیگر جمع می نماییم. به این ترتیب جمع تمام اعداد فازی از جدول مقایسه زوجی خبرگان به دست می آید.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^l = \left(\sum_{j=1}^n l_j \sum_{j=1}^n m_j \sum_{j=1}^n u_j \right)$$

قدار معکوس بردار به دست آمده در مرحله قبل را محاسبه می کنیم:

$$= \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^J \right]^{-1}$$

مقدار فازی بدست آمده از جمع سطرها در گام اول را در مقدار بدست آمده در گام سوم ضرب می کنیم:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j V \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$$

به این ترتیب بردار وزن فازی هر یک از معیارها بدست خواهد آمد. وزن بدست آمده را در زمان تعیین نتایج قوانین سیستم خبره مورد استفاده قرار خواهیم داد.

۳-۲- فاز دوم) طراحی سیستم خبره فازی

در این قسمت سیستم خبره فازی به منظور تعیین نوع روش تامین مالی مناسب براساس معیارهای ریسکی شناسایی شده در فاز قبل توسعه داده می شود. سیستم خبره فازی یکی از ابزارهای هوش مصنوعی می باشد که با کمک گرفتن از منطق فازی، پایگاه دانش مبتنی بر نظرات افراد خبره و محاسبات فازی سعی در استنتاج قوانین مشخص به منظور اتخاذ تصمیم در مسائل گوناگون را دارد [۱۶]. معماری یک سیستم خبره فازی از پنج قسمت شامل شناسایی متغیرها، فازی سازی متغیرهای ورودی، پایگاه دانش، موتور استنتاج و غیرفازی ساز تشکیل شده است که این قسمت ها در ترکیب با یکدیگر سعی در اتخاذ تصمیم و یا پیش بینی عملکردی مشخص را دارند. در ادامه هر یک از این قسمت ها در مدل پیشنهادی مقاله شرح داده خواهد شد.

گام اول: شناسایی ورودی های سیستم خبره فازی

در ابتدای توسعه سیستم خبره فازی لازم است که متغیرهای مسئله به نحو مقتضی شناسایی شوند. در این مسئله ورودی ها که مقادیر ریسک هر کدام از روش های تامین مالی بوده که متغیرهای ریسکی از خروجی فاز اول Fuzzy AHP قابل شناسایی می باشند. روش های تامین مالی نیز براساس روش هایی که در هر پروژه کاندیدای استفاده می باشند تعیین می گردند.

گام دوم: فازی سازی ورودی های سیستم

نخستین مرحله پردازش سیستم خبره فازی، فازی سازی ورودی های سیستم است. در مرحله فازی سازی معین می شود که درجه عضویت هر ورودی که در دامنه مجموعه فازی قرار دارد، در تابع عضویت فازی متناظر آن مجموعه چقدر است. در این مرحله متغیرهای کلامی ارائه شده توسط تصمیم گیرندگان در خصوص عملکرد هر کدام از روش های تامین مالی در ریسک های شناسایی شده به منظور ورود به سیستم خبره فازی، فازی سازی می شوند. برای فازی کردن ریسک های ارزیابی شده هر کدام از روش های تامین مالی از متغیرهای زبانی سه گزینه ای و اعداد فازی دوزنقه ای با شکل کلی $\tilde{N} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ و به شرح جدول (۲) استفاده می شود. لازم به ذکر است علیرغم تنوع در اعداد فازی اما کاربرد اعداد فازی مثلثی و دوزنقه ای در صنعت ساخت و ساز بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۱۷، ۱۸].

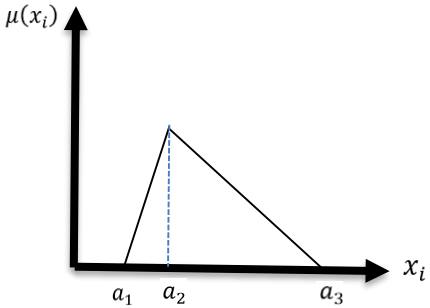
جدول (۲). اعداد فازی مورد استفاده در فازی ساز متغیرهای ورودی سیستم خبره فازی

معادل فازی اطلاعات	اعداد فازی	
پایین	(۰،۰،۰/۲۵، ۰/۵)	
متوسط	(۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۷۵)	
زیاد	(۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱)	

همچنین برای سنجش میزان ریسک هر کدام از روش‌های تامین مالی نیز نیاز به اعداد فازی می‌باشد. در این پژوهش از طیف پنج‌گزینه‌ای اعداد مثلثی با شکل کلی $\tilde{N} = (a_1, a_2, a_3)$ و به شرح جدول (۳) برای تعیین ریسک هر کدام از روش‌های تامین مالی استفاده شده است.

جدول (۳). اعداد فازی مورد استفاده در فازی‌سازی متغیرهای ورودی سیستم خبره فازی

معادل فازی اطلاعات	اعداد فازی
خیلی کم	(۰، ۰، ۰/۲۵)
کم	(۰، ۰/۲۵، ۰/۵)
متوسط	(۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵)
زیاد	(۰/۵، ۰/۷۵، ۱)
خیلی زیاد	(۰/۷۵، ۱، ۱)



گام سوم: تعیین پایگاه دانش

پایگاه دانش به عنوان مغز متفکر سیستم خبره فازی عمل می‌کند. به بیان دیگر این بخش از سیستم خبره وظیفه شبیه‌سازی دانش مرتبط با خبرگان را ایفا می‌نماید. به عبارت دیگر به جای اینکه برای تصمیم‌گیری در مورد هر وضعیت خاص به خبره و متخصص تامین مالی رجوع شود، سعی می‌شود با کسب نظرات خبرگان پایگاه دانش جامعی توسعه داده شود. به هر میزان که پایگاه دانش بتواند حالات مختلف تصمیم را در دل خود جای دهد می‌توان انتظار داشت که خروجی سیستم خبره دارای دقت بیشتری خواهد بود. پایگاه دانش شامل قواعد اگر-آنگاه می‌باشد که حاصل ترکیب ورودی‌ها و نتایج حاصل از این ترکیب براساس نظرات خبرگان در حوزه موضوع مورد مطالعه می‌باشد. همچنین بایستی توجه داشت که عملگر منطقی به منظور ترکیب حالات مختلف ورودی با یکدیگر می‌تواند به صورت "AND" یا "OR" باشد. در این مقاله با توجه به اینکه هدف انتخاب مناسب‌ترین روش تامین مالی براساس عملکرد مناسب در تمامی ریسک‌های ورودی می‌باشد، صرفاً عملگر "AND" مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نکته دیگری که بایستی در توسعه پایگاه دانش در سیستم‌های خبره فازی به آن توجه داشت تعداد قوانین می‌باشد. از یک سو بایستی تعداد قوانین به حدی باشد که جامعیت لازم برای پوشش تمامی حالات رخداد مسئله را داشته باشد و از سوی دیگر تعداد زیاد قوانین عملاً امکان اعتبارسنجی آنها را مختل می‌کند. در هر سیستم خبره فازی با n متغیر ورودی و m حالت متصور برای هر متغیر تعداد قوانین برابر با m^n قانون می‌شود. به عنوان مثال با ۷ متغیر ورودی و سه حالت ممکن برای هر متغیر، تعداد قوانین 3^7 و برابر با ۲۱۸۷ قانون

خواهد شد. عملاً تولید این تعداد قانون و اعتبارسنجی آنها امکانپذیر نیست. در این مقاله برای توسعه پایگاه دانش از روش پیشنهادی توسط مارش و فایک [۱۹] استفاده می‌شود. در این روش به منظور محدود کردن تعداد ورودی‌ها سعی می‌شود که ورودی‌های همسان را در دسته‌هایی مشابه طبقه‌بندی کرد. بدین ترتیب در هر دسته قوانین اگر - آنگاه مختص به خود با توجه به تعداد محدود ورودی‌ها شکل خواهد گرفت. نهایتاً براساس وزن هر کدام از دسته خروجی نهایی حاصل خواهد شد. در این حالت با تعداد قوانین محدود اولاً امکان اعتبارسنجی قوانین توسط خبرگان فراهم شده و ثانیاً حالات مختلف مسئله نیز پوشش داده می‌شود.

برای اعتبارسنجی قوانین پایگاه دانش از تعداد ۸ نفر از خبرگان که در حوزه تامین مالی در پروژه‌های عمرانی تخصص داشته‌اند استفاده شد.

گام چهارم: سیستم استنتاج سیستم خبره فازی

قدم بعدی تعیین نوع سیستم استنتاج سیستم خبره فازی می‌باشد. سیستم استنتاج فازی در سیستم‌های خبره فازی در واقع وظیفه تلفیق دانش‌های مختلف موجود در پایگاه دانش و رسیدن به تصمیم مشخص را به عهده دارد. در این سیستم براساس ارزیابی‌های صورت گرفته توسط تصمیم‌گیرندگان میزان ارضای هر کدام از قوانین شکل گرفته در پایگاه دانش مشخص شده و براساس متد پیشنهادی ممدانی نتیجه نهایی حاصل می‌شود. در این مقاله با توجه به اینکه برای کاهش تعداد قوانین پایگاه دانش از روش پیشنهادی مارش و فایک استفاده شد، در این بخش نیز برای استنتاج براساس روش ممدانی مراحل زیر دنبال می‌شود:

- تعیین میزان وزن هر کدام از دسته‌های تشکیل شده: در این قسمت براساس نتایج فاز اول پژوهش و خروجی مدل Fuzzy AHP برای هر کدام از معیارها وزنی محاسبه می‌شود. مجموع اوزان هر کدام از معیارها که در داخل هر دسته قرار می‌گیرند، وزن دسته مربوطه را تشکیل می‌دهند.
- ارضای قوانین در هر دسته: میزان ارضای قوانین براساس ورودی‌های مسئله در هر دسته براساس روش استنتاج ممدانی تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که برای تلفیق قسمت مقدم قوانین از عملگر T-norm و برای تلفیق قسمت تالی از عملگر S-norm استفاده می‌شود.
- تعیین خروجی نهایی: پس از آنکه خروجی فازی هر دسته مشخص شد، به منظور ترکیب خروجی‌های دسته‌های مختلف، عدد فازی حاصله از هر دسته در وزن دسته ضرب شده و سپس تمامی خروجی‌ها با یکدیگر جمع فازی می‌شوند.

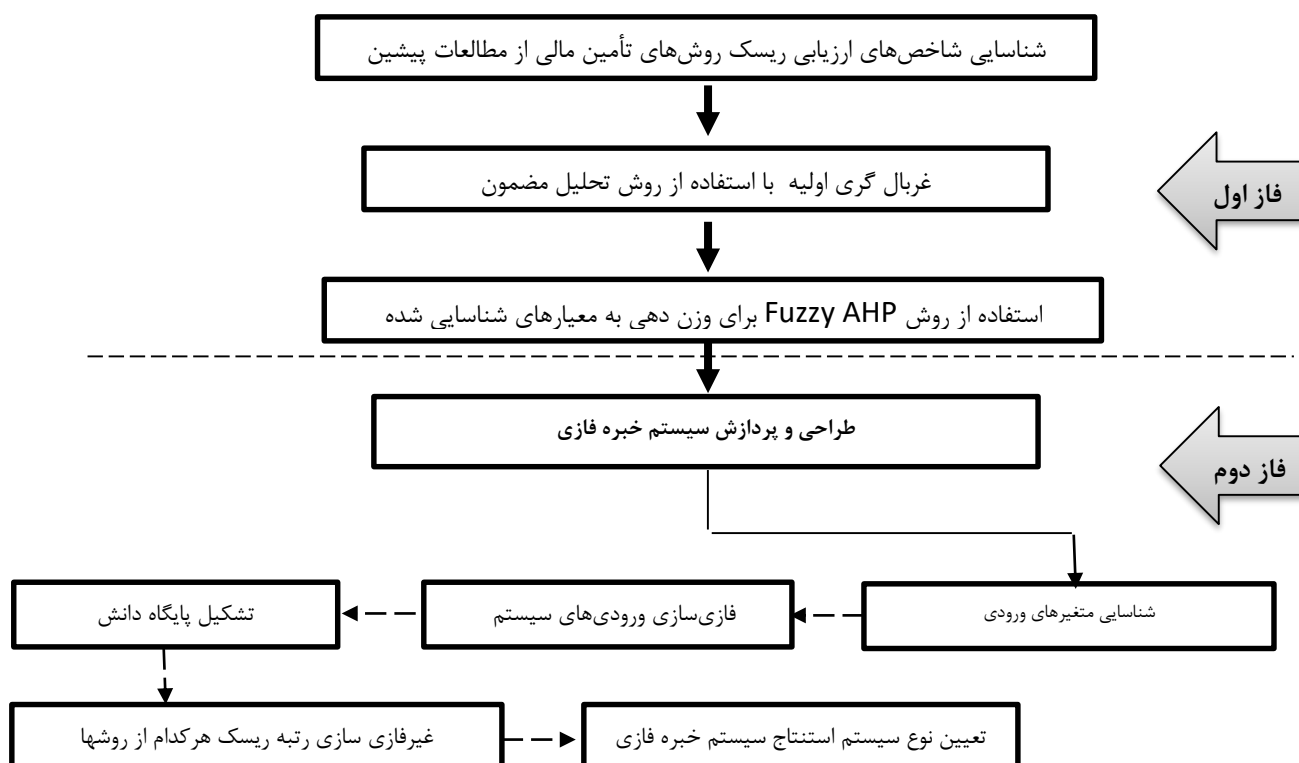
گام پنجم: غیرفازی سازی

پس از انجام تمامی گام‌های اول تا سوم خروجی مسئله به صورت یک عدد فازی حاصل شده است. به منظور تعیین میزان ریسک هر کدام از روش‌های تامین مالی لازم است که خروجی عدد فازی به غیرفازی تبدیل شود. به منظور غیرفازی سازی اعداد فازی در این مرحله از روش مرکز سطح استفاده می‌شود.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}$$

در رابطه فوق $\mu(x_i)$ درجه عضویت x_i برای هر عدد فازی بوده و X مقدار مرکز سطح می‌باشد.

به طور کلی فرآیند اجرای تحقیق به صورت شکل (۲) می‌باشد:



شکل ۲: فرآیند اجرای تحقیق

۴- نتایج

نتایج این پژوهش براساس فرایندهای شرح داده شده در شکل ۲ در دو بخش تحلیل کیفی و سیستم خبره فازی ارائه می شود.

۴-۱- تحلیل کیفی

به منظور بیان نتایج تحلیل کیفی در ابتدا توصیف جمعیت شناختی نمونه‌های پژوهش شرح داده می شود. اطلاعات جمعیت شناختی تحقیق در بخش کیفی به صورت جدول (۴) می باشد:

جدول ۴: اطلاعات جمعیت شناختی تحقیق

۱۱	مرد	جنسیت
۴	زن	
۱	کاردانی	تحصیلات
۴	کارشناسی	
۹	کارشناسی ارشد	
۱	دکتری	
۴	بین ۵ تا ۱۰ سال	سابقه کار
۲	بین ۱۰ تا ۱۵ سال	
۶	بین ۱۵ تا ۲۰ سال	
۲	بین ۲۰ تا ۲۵ سال	
۱	بین ۲۵ تا ۳۰ سال	
۵	مدیریت مالی	زمینه فعالیت
۷	سرمایه‌گذاری	
۳	مدیریت پروژه	

از مجموع ۱۵ پرسشنامه‌ی جمع‌آوری شده که به صورت مصاحبه حضوری تمامی این پرسشنامه‌ها تکمیل گردید، ۸۹ درصد از پاسخ‌دهندگان مرد و ۱۱ درصد زن بوده‌اند. سن پاسخ‌دهندگان به طور متوسط ۳۳ سال بوده است. ۲۷ درصد از افراد مدرک کارشناسی، ۶۰ درصد کارشناسی ارشد و ۱۳ درصد نیز مدرک دکتری داشتند. ۳۳ درصد پاسخ‌دهندگان در حوزه‌ی مدیریت مالی، ۴۷ درصد در حوزه‌ی سرمایه‌گذاری و ۲۰ درصد هم در حوزه‌ی مدیریت پروژه فعالیت داشتند.

در بخش شناسایی معیارهای ریسکی در حوزه روش‌های تأمین مالی پروژه با بررسی تمام مصاحبه‌ها و گزاره‌های کلامی آن‌ها ابتدا شاخص‌هایی به صورت کدگذاری باز استخراج شدند. در این مرحله لیستی از ۱۷ معیار به عنوان معیارهای ارزیابی ریسک روش‌های تأمین مالی پروژه‌های عمرانی شناسایی شدند که بدون ترتیب اولویت عبارتند از: نرخ بهره، هزینه‌های تبعی تأمین مالی، هزینه‌های تضامین مورد نیاز جهت حصول تأمین منابع مالی، دسترسی آسان به منابع مالی تعهد شده، فرآیند اخذ تسهیلات، حصول به موقع منابع، دوران بازپرداخت، دوران تنفس، نحوه بازپرداخت، نوسانات نرخ بهره بین بانکی، ریسک نوسانات نرخ ارز، ریسک عدم تحقق به موقع درآمد‌های پروژه، ریسک عدم پیش‌بینی درست تورم و ریسک عدم عمل به موقع کارفرما به تعهدات، نرخ تورم، تحریم‌ها و شیوع بیماری اپیدمی (کرونا). تمامی این معیارها، بر اساس ماهیت و نظر خبرگان در ۷ دسته‌ی اصلی به صورت جدول (۵) دسته‌بندی گردید

جدول ۵: شاخص‌های با اهمیت در تعیین روش تأمین مالی پروژه‌های عمرانی - شهری

عنوان شاخص	عوامل تأثیر گذار
هزینه‌های تأمین مالی	نرخ بهره
	هزینه‌های تبعی تأمین مالی
	هزینه‌های تضامین مورد نیاز جهت حصول تأمین منابع مالی
ریسک تأمین به موقع منابع	دسترسی آسان به منابع مالی تعهد شده
	فرآیند اخذ تسهیلات
	حصول به موقع منابع
ساختار بازپرداخت	دوران بازپرداخت
	دوران تنفس
	نحوه بازپرداخت
ریسک نوسانات نرخ بهره	نوسانات نرخ بهره
	تعدیل نرخ بهره
ریسک نوسانات نرخ ارز	ریسک نوسانات نرخ ارز
ریسک عدم تحقق به موقع درآمد‌های پروژه	ریسک عدم تحقق به موقع درآمد‌های پروژه
	ریسک عدم پیش‌بینی درست تورم
	ریسک عدم عمل به موقع دولت به تعهدات
ریسک متغیرهای کلان اقتصادی	نرخ تورم
	تحریم‌ها
	شیوع بیماری اپیدمی (کرونا)

برای محاسبه اعتبار (روایی) تحقیق در بخش کیفی به شیوه بازخورد مشارکت‌کننده عمل شده است. بدین گونه که برای دریافت بازخورد مشارکت‌کنندگان از ۶ نفر از مصاحبه‌شوندگان درخواست شد تا نظرات خود را درباره‌ی ابعاد موجود در مصاحبه‌ها بیان کنند و برای محاسبه‌ی قابلیت اعتماد، مصاحبه‌ی اجرای فرآیند ثبت، ضبط و نوشتن داده‌ها انجام شد. یکی از فنون تحلیل مناسب در پژوهش‌های کیفی، تحلیل مضمون است که به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. از تحلیل مضمون می‌توان به خوبی برای شناخت الگوهای موجود در داده‌های کیفی استفاده کرد. مضمون، ویژگی تکراری و متمایزی در متن است که به نظر پژوهشگر، نشان‌دهنده درک و تجربه خاصی درباره سؤالات

پژوهش است. در پژوهش حاضر از روش تحلیل مضمون استفاده شده است. نمونه‌هایی از کدگذاری‌های انجام شده بر روی مصاحبه‌ها و شناسایی خوشه‌های اصلی معیارهای تأمین مالی پروژه‌های عمرانی و شهری در جدول (۶) نشان داده شده است

جدول ۶: نمونه‌هایی از کدگذاری‌های انجام شده بر روی مصاحبه‌ها و شناسایی خوشه‌های اصلی معیارهای تأمین مالی پروژه‌های عمرانی و شهری

ردیف	نمونه‌ای گزاره کلامی	کد باز	کد محوری	کد مصاحبه شونده
۱	یکی از ریسک‌های مهم در تأمین مالی پروژه‌های عمرانی با استفاده از مشارکت عمومی خصوصی، ریسک‌های کلان اقتصادی از جمله ریسک نرخ تورم می‌باشد.	ریسک نرخ تورم	نرخ تورم	E1,E4,E13
۲	شاخص تعدیل قیمت‌ها و سطوح پوشش تغییرات تورم همواره بر درآمدها و هزینه‌های بخش خصوصی اثر می‌گذارد و این تأثیر مقایسه‌ای است بین نرخ‌های اسمی و واقعی که باعث افزایش حاشیه مالی و یا اقتصادی می‌گردد.	تغییرات تورم	نرخ تورم	E3,E6,E9
۳	با توجه به اینکه حدود ۷۰ درصد از هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه این پروژه‌ها از منابع خارجی و سرمایه‌گذاران چینی تأمین می‌گردد تغییرات مداوم نرخ ارز می‌تواند به عنوان یکی از بزرگترین ریسک‌های این پروژه‌ها باشد.	تغییرات مداوم نرخ ارز	نوسانات نرخ ارز	E10,E13,E14
۴	ریسک نرخ بهره یکی از عوامل تأثیرگذار در تأمین مالی در نظر گرفته می‌شود. این ریسک به طور کامل به وام‌گیرنده منتقل می‌گردد.	ریسک نرخ بهره	ریسک نرخ بهره	E2,E4,E8
۵	از آنجایی که هر ساله دولت با مشکلات فراوانی جهت تأمین هزینه‌های عمرانی خود روبه‌رو می‌باشد و همواره این هزینه‌ها در طی سال‌های گذشته در حال افزایش بوده‌اند، دولت گاهی در عمل به موقع به تعهدات خود دچار مشکلاتی می‌گردد و قادر نمی‌باشد بدهی‌های خود را در زمان مقرر پرداخت نماید.	عمل به موقع به تعهدات	ریسک عدم عمل به موقع کارفرما به تعهدات	E2,E9,E6,E7
۶	با توجه به شرایط سیاسی و اقتصادی کشور و اعمال تحریم‌های ظالمانه علیه جمهوری اسلامی ایران بعضی از مؤسسات مالی و اعتباری علی‌رغم توافق اولیه به تأمین مالی پروژه‌ها ممکن است در نهایت پس از طی مراحل مختلف و تلاشی برای جذب منابع ملی، از تأمین مالی پروژه سرباز زنند. در بعضی مواقع از ابتدای مسیر استفاده از یک ابزار تأمین مالی، می‌توان احتمال موفقیت جذب منابع را تخمین زد.	ریسک عدم حصول به موقع منابع	حصول به موقع منابع	E1,E8
۷	نامناسب بودن ساختار بازپرداخت از عواملی است که نه تنها منجر به کاهش مطلوبیت استفاده از منبع تأمین مالی خواهد شد، بلکه ممکن است به عنوان محدودیتی برای یک پروژه عمل نموده و قابل استفاده در هر نوع پروژه نباشد	ساختار بازپرداخت	ساختار بازپرداخت	E7,E14

پس از شناسایی معیارها با توزیع پرسشنامه بین خبرگان و به کارگیری روش Fuzzy AHP وزن هر کدام از معیارها و زیر معیارها شناسایی شد. نتایج حاصله در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷: وزن معیارهای ارزیابی روش‌های تأمین مالی

وزن زیرمعیار	وزن معیار اصلی	زیرمعیار ارزیابی	معیار ارزیابی
۰/۳۷	۰/۱۸۷	نرخ بهره	هزینه های تامین مالی
۰/۲۸		هزینه های تبعی تامین مالی	
۰/۳۵		هزینه های تضامین مورد نیاز جهت حصول تامین منابع مالی	
۰/۳	۰/۱۱۷	دسترسی آسان به منابع مالی	ریسک تأمین مالی به موقع
۰/۲۹		فرآیند اخذ تسهیلات	
۰/۴۱		حصول به موقع منابع	
۰/۲۴	۰/۱۷۶	دوران بازپرداخت	ساختار بازپرداخت
۰/۳۹		دوران تنفس	
۰/۳۷		نحوه بازپرداخت	
۰/۵۶	۰/۱۰۸	نوسانات نرخ بهره	ریسک نوسانات نرخ بهره
۰/۴۴		تعدیل نرخ بهره	
۰/۳۷	۰/۲۲۱	ریسک عدم تحقق به موقع درآمدهای پروژه	ریسک عدم تحقق به موقع درآمدهای پروژه
۰/۲۴		ریسک عدم پیش‌بینی درست تورم	
۰/۳۸		ریسک عدم عمل به موقع دولت به تعهدات	
۰/۴۱	۰/۱۹	محدودیت انتقال وجه	ریسک فرآیندی
۰/۲۲		استهلاک سرمایه انسانی	
۰/۳۷		پذیرش ضمانت‌نامه	

۴-۲- سیستم خبره فازی

همانگونه که در بخش ۳،۲ توضیح داده شد مراحل توسعه سیستم خبره فازی شامل پنج مرحله می باشد که در ادامه نحوه پیاده سازی هریک از مراحل ارائه می شود.

در گام اول در فاز دوم جهت توسعه سیستم خبره فازی لازم است که معیارهای ورودی شناسایی شوند. براساس نتایج فاز اول، متغیرهای ورودی در جدول (۵) نشان داده شده است.

پس از تعیین متغیرهای ورودی لازم است که فازی سازی صورت گیرد که نحوه فازی سازی برای متغیرهای ورودی و همچنین ارزیابی سطح ریسک روش های تامین مالی به تفصیل در بخش ۳،۲ شرح داده شد.

مهمترین بخش در این قسمت تدوین پایگاه دانش می باشد. همانگونه که توضیح داده شد، برای توسعه پایگاه دانش در این مقاله از روش مارش و فایک استفاده شده است. بدین منظور لازم است که ابتدا دسته بندی معیارهای ورودی از لحاظ همسانی صورت پذیرد. جدول (۸) دسته بندی مورد اشاره را نشان می دهد:

جدول ۸: دسته بندی ریسک ها به منظور کاهش تعداد قوانین پایگاه دانش

ردیف	عنوان دسته	عنوان شاخص	شرح دسته
۱	ریسک های هزینه ای	هزینه های تامین مالی	این دسته از ریسک ها بیشتر به هزینه ای تامین مالی می پردازد و ریسک های مرتبط با افزایش یا کاهش هزینه روش های تامین مالی را بررسی می کند.
		ریسک متغیرهای کلان اقتصادی	
۲	بهره	ریسک نوسانات نرخ ارز	این دسته از ریسک ها صرفا به بررسی پارامترهای موثر در نرخ بهره و نوسانات نرخ ارز می پردازد.
		ریسک نوسانات نرخ بهره	
۳	درامدی	ساختار بازپرداخت	این دسته از ریسک ها از منظر بازپرداخت و درآمد پروژه که قرار است بازپرداخت تامین مالی انجام شده را داشته باشد می پردازد.
		ریسک عدم تحقق به موقع درآمد های پروژه	
		ریسک تامین به موقع منابع	

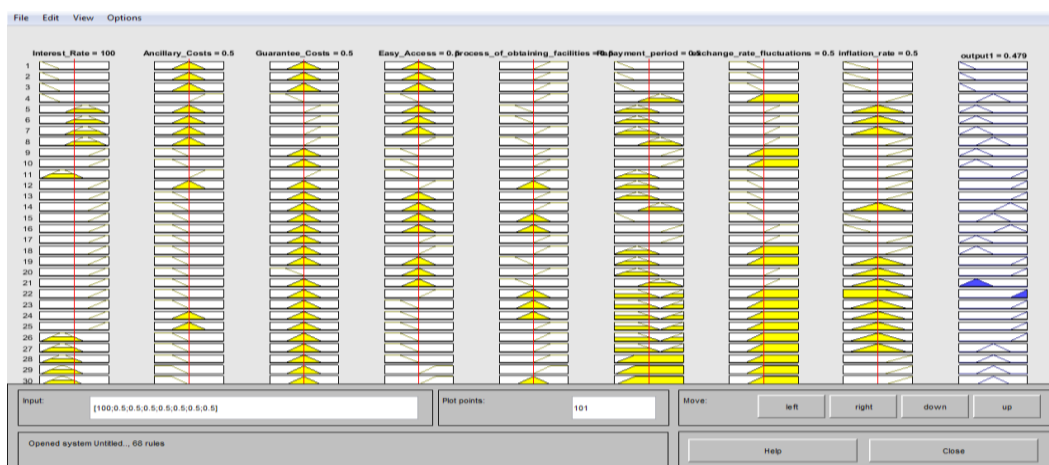
همانگونه که از جدول (۸) قابل مشاهده می باشد تعداد متغیرهای ورودی برابر با ۳ متغیر بوده و از آنجاییکه که هر کدام می تواند سه حالت داشته باشد لذا در ترکیب قوانین سه دسته ایجاد شده ۲۷ قانون تولید می شود. همچنین لازم به ذکر است که در هر دسته نیز ۲ الی ۳ متغیر وجود دارد. که با توجه به امکان داشتن سه حالت در ورودی به ترتیب برای دسته ریسک هزینه ای ۹ قانون، ریسک بهره ۲۷ قانون و ریسک درامدی ۲۷ قانون تولید می شود. لذا با توجه به دسته بندی ایجاد شده تعداد کل قوانین شکل گرفته ۶۳ قانون برای معیارهای تمام دسته ها و ۲۷ قانون برای ترکیب دسته ها با یکدیگر می باشد که جمعا ۹۰ قانون ایجاد شده است. به منظور اعتبارسنجی، قوانین ایجاد شده به ۸ نفر از خبرگان در حوزه تامین مالی ارائه شد و پس از اصلاحاتی که در آنها صورت گرفت در پایگاه دانش سیستم خبره پژوهش نهایی گردید. جدول (۹) نمونه ای از قوانین شکل گرفته برای ترکیب سه دسته مذکور را نشان می دهد:

جدول ۹: روابط اگر - آنگاه برای ترکیب سه دسته شکل گرفته

شماره قانون	دسته اول		دسته دوم	دسته سوم	قسمت آنگاه قانون				
	ریسک های هزینه	ریسک های بهره	ریسک های درآمدی	سهامدار پروژه	تسهیلات بانکی	اوراق بهادار	استفراض از بانک	فاینانس خارجی	
۱	کم	کم	ریسک های درآمدی					*	
۲	کم	کم	ریسک های درآمدی				*		
۳	کم	کم	ریسک های درآمدی		*				
۴	متوسط	کم	ریسک های درآمدی		*				
۵	متوسط	کم	ریسک های درآمدی		*				
۶	متوسط	کم	ریسک های درآمدی		*				
۷	زیاد	کم	ریسک های درآمدی			*			

	*				متوسط	کم	زیاد	۸
	*				زیاد	کم	زیاد	۹
*					کم	متوسط	کم	۱۰
*					متوسط	متوسط	کم	۱۱
				*	زیاد	متوسط	کم	۱۲
				*	کم	متوسط	متوسط	۱۳
*					متوسط	متوسط	متوسط	۱۴
	*				زیاد	متوسط	متوسط	۱۵
			*		کم	متوسط	زیاد	۱۶
			*		متوسط	متوسط	زیاد	۱۷
			*		زیاد	متوسط	زیاد	۱۸
			*		کم	زیاد	کم	۱۹
		*			متوسط	زیاد	کم	۲۰
	*				زیاد	زیاد	کم	۲۱
	*	*			کم	زیاد	متوسط	۲۲
			*		متوسط	زیاد	متوسط	۲۳
			*		زیاد	زیاد	متوسط	۲۴
			*		کم	زیاد	زیاد	۲۵
			*		متوسط	زیاد	زیاد	۲۶
			*		زیاد	زیاد	زیاد	۲۷

پس از تدوین پایگاه دانش سیستم استنتاج فازی ممدانی با در نظر گرفتن اوزان هریک از دسته ها مورد استفاده قرار می گیرد. در این قسمت برای بررسی اثر تغییرات ورودی با توجه به عملگرهای مختلف از قسمت فازی نرم افزار MATLAB و برنامه نوشته شده با MATLAB استفاده شده است. در شکل زیر یک نمونه از نحوه عملکرد مدل سیستم خبره آورده شده است:



شکل ۳: نحوه عملکرد مدل سیستم خبره

پس از توسعه سیستم خبره فازی لازم است که عملکرد مدل به منظور ضریب اطمینانی که می‌تواند در عمل داشته باشد ارزیابی گردد. رویه غالب در اکثر سیستم‌های خبره فازی برای تعیین میزان دقت خروجی مدل مقایسه نتایج حاصل از سیستم خبره فازی با نتایج واقعی می‌باشد. در این پژوهش نیز ۱۳ پروژه عمرانی انتخاب گردید. از ۸ نفر خبره ای که پایگاه دانش را ارزیابی و تایید کردند درخواست شد تا میزان ریسک هرکدام از روش‌های تامین مالی را برای ۱۳ پروژه با توجه به معیارهای ریسکی شناسایی شده امتیاز دهی نمایند. بعد از میانگین‌گیری نظرات این افراد و استفاده از فرمول زیر میزان دقت مدل ۰/۸۸ تعیین شد.

$$APR = \frac{\sum_{k=1}^{13} \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^7 (OM_i - OE_i)}{\sum_{i=1}^n OE_i}$$

در رابطه فوق APR میزان متوسط خطای سیستم خبره فازی OM_i خروجی سیستم خبره فازی برای پروژه k ام در روش تامین مالی λ ام با توجه به معیار λ ام می‌باشد، OE_i متوسط نظرات خبرگان برای ارزیابی ریسک پروژه k ام در روش تامین مالی λ ام با توجه به معیار λ ام می‌باشد.

۵- بحث پیرامون نتایج

ورونینا و استکسوا [۲۰] تاکید ویژه‌ای به استفاده از روش‌های تامین مالی با کمترین ریسک را دارند لذا این پژوهش سعی در ارائه مدلی به منظور انتخاب روش تامین مالی با کمترین میزان ریسک را دارد. چارچوب پیشنهادی در این پژوهش به منظور ارزیابی ریسک روش‌های تامین مالی و انتخاب مناسب‌ترین روش تامین مالی برای پروژه‌های عمرانی می‌باشد. از منظر نتایج حاصل از پژوهش با توجه به اینکه مدل پیشنهادی شامل دو بخش شناسایی پارامترهای ریسکی در ارزیابی ریسک روش‌های تامین مالی و ارائه مدل سیستم خبره فازی در خصوص پیش‌بینی میزان ریسک هرکدام از روش‌های تامین مالی می‌باشد، می‌توان مقایسه‌ای بین نتایج این پژوهش با سایر فعالیت‌های انجام شده پیشین داشت.

در بخش شناسایی معیارهای اثرگذار در ارزیابی ریسک روش‌های تامین مالی در این پژوهش ۷ معیار اصلی و ۱۷ زیرمعیار شناسایی گردید. نتایج اولویت‌سنجی معیارهای ریسکی نشان داد که به ترتیب ریسک عدم تحقق به موقع درآمدهای پروژه، ریسک‌های فرایندی در اقتصاد و هزینه تامین مالی دارای بیشترین اولویت بودند. جدیدی و همکاران [۲۱] در مدل خود سعی کردند به مدیریت عدم قطعیت حاصل در تحقق درآمدهای آتی پروژه در تامین مالی پروژه بپردازند. از نظر آنها عدم تحقق درآمدهای آتی پروژه و اختلال در جریان نقدینگی پروژه یکی از مهمترین ریسک‌های موجود در تامین مالی پروژه‌های انرژی خورشیدی می‌باشد. نتایج پژوهش باروکو و هریرا [۱۳] در کشور فیلیپین نشان داد که عدم اطمینان از تحقق درآمدهای آتی به خصوص در کشورهای درحال توسعه مهمترین چالش تامین مالی پروژه‌ها در حوزه انرژی می‌باشد. این دسته از پژوهش‌ها نتایج مقاله حاضر را تایید می‌نمایند. در عین حال پژوهش‌های دیگری نیز وجود دارند که نتایج دیگری را بیان کرده‌اند. به عنوان مثال ابهونمن و اوکه [۲۲] مهمترین ریسک تامین مالی را در پروژه‌های نیجریه ریسک نوسانات نرخ ارز تعیین کردند که این ریسک براساس نظرات افراد خبره در ایران در اولویت‌های اول تا سوم قرار نمی‌گیرد. اینکه نحوه اولویت‌بندی ریسک‌های تامین مالی در کشورهای مختلف متفاوت می‌باشد، پدیده‌ای عجیب نیست چراکه شرایط هرکشوری نوع ریسک خاصی را به پروژه‌ها تحمیل می‌کند که لازم است براساس شرایط و ریسک‌های هر کشور روش تامین مالی مناسب انتخاب شود. همچنین ریسک‌های نیز می‌توانند در پروژه‌های مختلف عملکردی متفاوت داشته باشند از اینروست که بخش دوم چارچوب پیشنهادی سعی در ارائه مدلی به منظور تعیین مناسب‌ترین روش تامین مالی از منظر ریسک‌های مختلف دارد. افراد مختلفی مانند العباسی و همکاران [۱۲]، تینگ و ژیا [۲۳] و وارسزاورکی [۲۴] از روش‌های مختلفی مانند الگوریتم زنتیک، روش آنتروپی و یا مدل‌های پارامتریک برای تعیین بهترین روش تامین مالی استفاده کردند. اگرچه تمامی روش‌ها دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند اما روش سیستم خبره فازی که برای توسعه مدل پیش‌بینی روش تامین مالی در این پژوهش استفاده شده است قابلیت کارکردن با پارامترهای زبانی

تصمیم‌گیرندگان مختلف را داشته که این موضوع می‌تواند به کاربر پسند شدن آن کمک کند. اگرچه برای افزایش دقت مدل نیاز است که تا مدل پیشنهادی در پروژه‌های بیشتری پیاده‌سازی گردیده تا بتوان نسبت به افزایش دقت مدل اقدامات لازم را انجام داد.

از منظر کاربردی چارچوب پیشنهادی این پژوهش می‌تواند در بسیاری از سازمان‌های دولتی برای انتخاب روش تامین مالی مناسب مورد استفاده قرار گیرد. بایستی توجه داشت که خروجی سیستم خبره فازی صرفاً براساس ارزیابی ریسک روش‌های مختلف تامین مالی می‌باشد و چنانچه استفاده‌کنندگان از مدل ملاحظات دیگری نیز دارند بایستی جداگانه مورد توجه قرار گیرد.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به حجم بالای سرمایه‌گذاری اولیه جهت اجرای پروژه‌های عمرانی و شهری و کسری بودجه دولت‌ها، استفاده از ظرفیت بخش خصوصی در تامین مالی این پروژه‌ها می‌تواند حائز اهمیت باشد. همچنین از آن جایی که این پروژه‌ها در زمره‌ی پروژه‌های زیربنایی جهت توسعه پایدار قرار دارند، تامین مالی آن‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این تحقیق پس از بررسی معیارهای ارزیابی ریسک روش‌های تامین مالی از طریق مصاحبه با خبرگان سازمانی که در زمینه‌ی مدیریت مالی، سرمایه‌گذاری و مدیریت پروژه دارای تجربه بودند و استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی اولویت بندی از ریسک‌های مورد استفاده در انتخاب روش‌های تامین مالی از منظر ریسک صورت گرفت. پس از شناسایی ریسک‌های مختلف، سیستم خبره فازی به منظور پیش‌بینی ریسک روش‌های تامین مالی و نهایتاً انتخاب مناسب‌ترین روش تامین مالی توسعه داده شد. در توسعه سیستم خبره فازی از روشی نوین برای کاهش تعداد قوانین پایگاه دانش و تلفیق با نتایج روش Fuzzy AHP استفاده گردید. در این پژوهش از روش‌های تامین مالی شامل اوراق بهادار اسلامی (صکوک)، استقراض از بانک‌های توسعه-ای، صندوق توسعه ملی، فایناس خارجی و سهامدار پروژه به عنوان نمونه‌هایی از روش‌های تامین مالی استفاده شد. در این تحقیق ۱۷ معیار فرعی در قالب ۷ معیار اصلی شامل هزینه‌های تامین مالی، ریسک تامین به موقع منابع، ساختار بازپرداخت، ریسک نوسانات نرخ بهره، ریسک نوسانات نرخ ارز، ریسک عدم تحقق به موقع درآمد‌های پروژه و ریسک متغیرهای کلان اقتصادی شناسایی شدند. در میان ریسک‌های شناسایی شده ریسک عدم تحقق به موقع درآمدهای پروژه، ریسک‌های فرایندی در اقتصاد و هزینه تامین مالی دارای بیشترین اولویت بودند.

با توجه به اشراف نگارندگان پژوهش به حوزه‌های مختلف این موضوع کارهای آتی می‌تواند در حوزه‌های مختلفی ادامه یابد. به عنوان مثال ارائه مدلی به منظور تعیین مناسب‌ترین ترکیب برای تامین مالی پروژه از چند روش و یا مدل‌هایی که هزینه ریسک روش‌های تامین مالی را برآورد کنند می‌توانند به عنوان پیشنهاد جهت کارهای آتی مد نظر قرار گیرد.

۷- مراجع

- [1] Proag, Infrastructure and Economic Growth, in: Infrastructure Planning and Management: An Integrated Approach, Springer, 2021, pp. 33-59.
- [2] Merton.(1995).Financial innovation and the management and regulation of financial institutions.*Journal of Banking & Finance*.19(3-4),461-481.
- [3] Kang, Feng, Khan.(2005).Risk assessment for build-operate-transfer projects: A dynamic multi-objective programming approach.*Computers & operations research*.32(6),1633-1654.
- [4] Steffen.(2018).The importance of project finance for renewable energy projects.*Energy Economics*.69(280-294).
- [5] Iyer, Purkayastha.(2017).Credit risk assessment in infrastructure project finance: relevance of credit ratings.*The Journal of Structured Finance*.22(4),17-25.

- [6] Zhang.(2009).Win-win concession period determination methodology.*Journal of Construction Engineering and Management*.135(6),550-558.
- [7] Shen, Bao, Wu, Lu.(2007).Using bargaining-game theory for negotiating concession period for BOT-type contract.*Journal of construction engineering and management*.133(5),385-392.
- [8] Song, Jin, Zhao, Hu.(2017).Using bargaining-game model to negotiate compensation for the early termination of BOT highway projects.*Transportation research part A: policy and practice*.105(197-209).
- [9] Zhang, Bao, Wang, Skitmore.(2016).A model for determining the optimal project life span and concession period of BOT projects.*International Journal of Project Management*.34(3),523-532.
- [10] Hanaoka, Palapus.(2012).Reasonable concession period for build-operate-transfer road projects in the Philippines.*International Journal of Project Management*.30(8),938-949.
- [11] Carbonara, Costantino, Pellegrino.(2014).Concession period for PPPs: A win-win model for a fair risk sharing.*International journal of project management*.32.۱۲۳۲-۱۲۳۳,(۷)
- [12] El-Abbasy, Elazouni, Zayed.(2020).Finance-based scheduling multi-objective optimization: Benchmarking of evolutionary algorithms.*Automation in Construction*.120(103392).
- [13] Barroco, Herrera.(2019).Clearing barriers to project finance for renewable energy in developing countries: A Philippines case study.*Energy Policy*.135(111008).
- [14] Firouzi, Meshkani.(2021).Risk-based optimization of the debt service schedule in renewable energy project finance.*Utilities Policy*.70(101197).
- [15] Chang.(199).Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP.*European journal of operational research*.95(3),649-655.
- [16] Rathore, Elwakil.(2020).Hierarchical Fuzzy Expert System for Organizational Performance Assessment in the Construction Industry.*Algorithms*.13(9),205.
- [17] An, Baker, Zeng.(2005).A fuzzy-logic-based approach to qualitative risk modelling in the construction process.*World journal of engineering*.2(1-12).
- [18] Abbasianjahromi, Rajaie, Shakeri.(2013).A framework for subcontractor selection in the construction industry.*Journal of Civil Engineering and Management*.19(2),158-168.
- [19] Marsh, Fayek.(2010).SuretyAssist: Fuzzy expert system to assist surety underwriters in evaluating construction contractors for bonding.*Journal of construction Engineering and Management*.136(11),1219-1226.
- [20] Voronina, Steksova, Project finance risk management at the stages of the housing projects' life cycle, in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 2020, pp. 052002.
- [21] Jadidi, Firouzi, Rastegar, Zandi.(2020).Bayesian updating of solar resource data for risk mitigation in project finance.*Solar Energy*.207(1390-1403).
- [22] Ebhohimen, Oke.(2017).Effect of Construction Project Finance on Infrastructure in Ondo and Ekiti state of Nigeria.*Imperial journal of interdisciplinary research*.3)
- [23] Ting, Xia, Decision model for infrastructure project financing based on interval entropy, in: 2008 International Conference on MultiMedia and Information Technology, IEEE, 2008, pp. 180-183.
- [24] Warszawski.(2003).Parametric analysis of the financing cost in a building project.*Construction Management and Economics*.21(5),447-459.