نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۵، شماره ویژه ۴، سال ۱۳۹۷، صفحه ۱۵۶ تا ۱۷۵

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

ارزیابی پروژه‌های ساخت بر اساس فاکتورهای ریسک با استفاده از مدل یکپارچه فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش ویکور فازی

سید مرتضی هاتفی [۱*]، علی حیدری [۲]

۱- استادیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه عمران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه عمران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

چکیده

برنامه‌ریزی برای مقابله با ریسک و مدیریت آن در هر پروژه‌ای از مهم‌ترین قدم‌هایی است که در ابتدای تعریف پروژه و قبل از شروع کار باید به آن پرداخته شود. پروژه‌های ساخت در محیط پیچیده دینامیکی شروع می‌شوند و به دلیل ارتباط تنگاتنگ بین پارامترهای پروژه و محیط ناشناخته بیرونی با عدم قطعیت و ریسک‌های زیادی مواجه می‌باشند. در این مقاله به ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های ساخت بر اساس فاکتورهای ریسک با استفاده از تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فرایند تحلیل سلسله مراتبی و روش ویکور در شرایط فازی پرداخته می‌شود. به دلیل وجود عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها از مفاهیم فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت داده‌ها بهره جسته می‌شود. در این تحقیق، فاکتورهای ریسک تأثیرگذار بر موفقیت پروژه‌های ساخت با استفاده از ادبیات موضوع و نظرات خبرگان استخراج می‌شوند. از روش AHP فازی برای تعیین میزان اهمیت فاکتورهای ریسک و از روش ویکور فازی برای ارزیابی پروژه‌های ساخت بر اساس فاکتورهای ریسک استفاده می‌شود. نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش AHP فازی نشان می‌دهد که از بین فاکتورهای اصلی ریسک، ریسک زمان و ریسک هزینه اهمیت بالاتری نسبت به سایر فاکتورهای ریسک دارند. همچنین، ضعف در برنامه زمان‌بندی ساخت‌وساز، فروپاشی (عیب و نقص) ساخت، و قیمت بالای مناقصه به‌عنوان مهم‌ترین زیرفاکتورهای ریسک شناخته شدند. در انتها، از روش پیشنهادی برای ارزیابی و اولویت‌بندی ۵ پروژه ساخت در حوزه راه‌سازی در اصفهان استفاده می‌شود.

کلمات کلیدی: پروژه‌های ساخت، مدیریت ریسک، فاکتورهای ریسک، AHP فازی، VIKOR فازی

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	
۱۳۹۶/۰۳/۲۸	۱۳۹۶/۰۶/۱۹	۱۳۹۶/۰۸/۱۴	۱۳۹۶/۰۸/۱۴	۱۳۹۷/۱۲/۲۸	

شناسه دیجیتال:
doi: 10.22065/JSCE.2017.89816.1238

*نویسنده مسئول: سید مرتضی هاتفی

پست الکترونیکی: smhatefi@eng.sku.ac.ir

Evaluating Construction Projects based on the Risk Factors by using an Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy VIKOR Model

Seyed Morteza Hatefi[1*], Ali Heidari[2]

1- Assistant Professor, Faculty of engineering, Department of Civil Engineering, Shahrekord university, Shahrekord, Iran
2- Associate Professor, Faculty of engineering, Department of Civil Engineering, Shahrekord university, Shahrekord, Iran

ABSTRACT

Planning and managing the risks is the first step that should be performed at the start of projects and before doing the works. Construction projects start in a complex and dynamic environment and due to the close relation between the parameters of projects and unknown environment, they face with the uncertainties and risks. In this paper, construction projects are evaluated by combining multi criteria decision making methods, i.e., fuzzy AHP and fuzzy VIKOR. The fuzzy concepts are utilized for modelling the existing uncertainty in data. For doing so, first a comprehensive list of risk factors affecting on the success of construction projects is taken from the literature review. They are customized by the experts' opinions and then the final risk factors are selected. The fuzzy AHP is used to determine the importance of the risk factors. The results of applying fuzzy AHP show that the risks of time and cost have high weights among risk factors. Furthermore, weakness in the construction schedule, the collapse, and the high bidding price are determined as the high importance sub factors of risk. Finally, the proposed model is applied for assessing and prioritizing five construction projects in the area of road construction in Isfahan, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 18/06/2017
Revised: 10/09/2017
Accepted: 05/11/2017

Keywords:
Construction projects,
Risk Management,
risk factors,
fuzzy AHP,
Fuzzy VIKOR

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2017.89816.1238

*Corresponding author: Seyed Morteza Hatefi
Email address: smhatefi@eng.sku.ac.ir

۱- مقدمه

پروژه‌ها در شرایط کنونی بازار و تجارت در هر لحظه از زمان در معرض بحران قرار دارند. محیط پروژه‌ها بسیار متغیر بوده و در شرایط عدم قطعیت قرار دارند و این شرایط برای پروژه‌های بزرگ‌تر پیچیده تر می باشد. بدون شک مدیریت صحیح این ریسک‌ها، پیش‌نیاز تسهیل شرایط بحران‌ها است و ضرورت دستیابی به علوم وابسته و گسترش این علوم کاملاً آشکار است. مدیریت صحیح مستلزم تصمیم‌گیری درست است، که همت همه‌جانبه مدیران و مسئولین هر برنامه را می‌طلبد. واضح است که در تمام شرایط تصمیم‌گیری، کلیه جوانب کار و تصمیم مشخص نیست، بنابراین ازجمله مواردی که در حین تصمیم‌گیری الزاماً باید مورد توجه قرار گیرد؛ خطرات احتمالی و یا قطعی موجود است که می‌تواند بر نتایج تصمیم اخذ شده تأثیر گذارد و این همان حوزه مدیریت ریسک است. پروژه‌های ساخت در مقیاس کلان با عوامل مخاطره‌آمیزی همراه هستند. لذا با توجه به مطالبی در بالا ذکر شد، مدیریت ریسک و ارزیابی فاکتورهای ریسک پروژه‌های ساخت در مقیاس کلان دارای اهمیت بالایی می باشند. مدیریت ریسک دربرگیرنده برنامه‌ریزی، شناسایی، تحلیل، برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک، کنترل و نظارت بر ریسک است. اهداف مدیریت ریسک پروژه افزایش احتمال و تأثیر رخدادهای مثبت و کاهش احتمال و اثر رویدادهای منفی پروژه است [۱].

منشأ ریسک پروژه‌های عمرانی، عدم قطعیت‌های موجود در این پروژه‌ها است. ریسک‌های شناخته شده، آن‌هایی هستند که شناسایی و تحلیل‌شده و امکان برنامه‌ریزی در پاسخ به این ریسک‌ها وجود دارد، درحالی‌که در مورد ریسک‌های شناخته نشده امکان مدیریت پیشگیرانه وجود ندارد و گروه پروژه برنامه‌ای احتمالی تهیه می‌نماید. سازمان‌ها دریافته‌اند که ریسک، تهدیدی برای موفقیت پروژه یا فرصتی برای موفقیت کارا و مؤثر پروژه است. ریسک‌هایی که تهدیدی برای پروژه هستند، درصورتی‌که با نتایج حاصل از اتخاذ ریسک در تعادل باشند، ممکن است پذیرفته شوند. ریسک پروژه همواره در مورد آینده است. ریسک یک رویداد یا وضعیت غیرقطعی است که درصورتی‌که اتفاق بیفتد حداقل بر یکی از اهداف پروژه تأثیر خواهد گذاشت. اهداف می‌توانند دربرگیرنده محدوده، زمان‌بندی، هزینه یا عملکرد باشند. هر ریسک ممکن است یک یا چند علت داشته باشد که در صورت رخ دادن یک یا چند اثر در پی خواهد داشت. هر علت می‌تواند یک احتیاج، محدودیت یا شرایطی باشد که امکان نتایج منفی یا مثبت را به وجود می‌آورد. برای مثال، علت‌ها می‌توانند شامل نیاز داشتن به یک مجوز محیطی برای انجام کار یا محدودیت کارکنان برای طرح‌ریزی پروژه شوند. در این مورد، ریسک ممکن است مواردی چون طولانی‌تر شدن صدور مجوز توسط سازمان مجوز دهنده نسبت به حالت برنامه‌ریزی شده، یا محدودیت تخصیص و فراهم‌سازی کارکنان جهت برای انجام کار در زمان مقرر باشد. درصورتی‌که هریک از این رویدادهای عدم اطمینان به وقوع بپیوندند، ممکن است بر هزینه، زمان‌بندی یا کارایی پروژه تأثیرگذار باشند. شرایط ریسک می‌تواند در بردارنده جنبه‌هایی از محیط سازمان یا پروژه شود که در ریسک پروژه سهیم هستند، مانند ضعف مدیریت پروژه، کمبود سامانه‌های مدیریتی یکپارچه، انجام چندین پروژه هم‌زمان و وابستگی به شرکای خارجی که غیرقابل کنترل هستند [۲].

یکی از اهداف کلیدی این مقاله شناسایی فاکتورهای ریسک در پروژه‌های ساخت است. پس از شناسایی فاکتورهای ریسک، یک مدل یکپارچه فازی بر اساس روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و ویکور فازی (Fuzzy AHP-Fuzzy VIKOR) برای ارزیابی پروژه‌ها پیشنهاد می‌شود. سپس از مدل پیشنهادی برای ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های ساخت در حوزه راه‌سازی در اصفهان بر اساس فاکتورهای ریسک استفاده می‌شود. ادامه مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است. در فصل دوم به بررسی ادبیات موضوع پرداخته می‌شود. در بخش سوم روش تحقیق ارائه می‌شود. در بخش چهارم، روش تحقیق و مدل یکپارچه فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش ویکور فازی با جزییات کامل ارائه می‌شود. بخش پنجم به ارائه مطالعه موردی و تعیین گزینه‌ها و فاکتورهای ریسک می‌پردازد. در بخش ششم، از مدل یکپارچه پیشنهادی برای ارزیابی پروژه‌های ساخت بر اساس فاکتورهای ریسک استفاده می‌شود و نتایج به‌دست‌آمده ارائه می‌شوند. بخش آخر به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهای آتی می‌پردازد.

۲- پیشینه تحقیق

افراد معمولاً تمایل دارند از درک مستقیم شهودی، تجربه و قضاوت در تصمیم‌گیری پروژه‌های ساخت بهره ببرند. ریسک‌های مرتبط با قراردادهای ساخت اصولاً به‌طور فیزیکی همه‌جا دارای وجود خارجی یا طبیعی هستند. ریسک‌های پنهان، در دسترس بودن و

بهره‌وری کارکنان، اثرات آب و هوایی، توانایی دستیابی به مواد و تجهیزات یا دیگر مسائل موجود در سایت‌های پروژه‌ها که از پیشرفت کار جلوگیری می کنند، بسیار شناخته شده بوده و قابل پیش‌بینی هستند. به‌طورکلی کارفرمایان و پیمانکاران این ریسک‌ها را می‌شناسند و با آنها برخورد داشته‌اند. مدیریت ریسک در پروژه‌های ساخت تنها در چند دهه گذشته به‌صورت یک فرایند یکپارچه مورد توجه قرارگرفته است. دلیل این امر را می‌توان رشد سریع فنّاوری ذکر کرد. بنابراین ریسک و مدیریت ریسک در پروژه‌های ساخت از آن زمان فی النفسه یک موضوع مشخص قلمداد می‌شد [۳].

مدیریت ریسک، فرایندی است که شناسایی و کمی سازی تمام ریسک‌های مربوط به کسب‌وکار و پروژه را برای تصمیم‌گیری هوشیارانه مورد هدف قرار می‌دهد. در استاندارد کلیات دانش مدیریت پروژه، مدیریت ریسک، کاربرد سیستماتیک سیاست‌های مدیریتی، رویه‌ها و فرایندهای مربوط به فعالیت‌های تحلیل، ارزیابی و کنترل ریسک است. به عبارتی مدیریت ریسک عبارت است از فرایند مستندسازی تصمیمات نهایی اتخاذ شده، شناسایی و به‌کارگیری معیارهایی که می‌توان از آنها جهت رساندن ریسک تا سطحی قابل‌قبول استفاده کرد. از طرف موسسه مدیریت پروژه، مدیریت ریسک به عنوان یکی از ۹ سطح اصلی «کلیات دانش مدیریت پروژه» معرفی شده است. در تعریف این موسسه، مدیریت ریسک پروژه به فازهای شناسایی ریسک، اندازه‌گیری ریسک، ارائه پاسخ (عکس‌العمل در مقابل ریسک) و کنترل ریسک تقسیم شده است. در این تعریف، مدیریت ریسک پروژه عبارت است از «کلیه فرایندهای مرتبط با شناسایی، تحلیل و پاسخگویی به هرگونه عدم اطمینان که شامل حداکثرسازی نتایج رخدادهای مطلوب و به حداقل رساندن نتایج وقایع نامطلوب است» [۴].

در فرایند مدیریت ریسک، تمامی ریسک‌های شناسایی شده، مورد نظارت قرارگرفته که از رخ دادن آنها جلوگیری شود و یا از تاثیر منفی آنها کاسته شود. فرآیند مدیریت ریسک پروژه به حامیان مالی پروژه و تیم‌های پروژه برای تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد راه‌حل‌های جایگزین کمک می‌کند. مدیریت ریسک، تیم پروژه را تشویق می‌کند که روش‌های مناسبی را در پیش بگیرند تا تأثیرات منفی بر محدوده، هزینه و برنامه پروژه کمینه شوند. در فرایند مدیریت ریسک، ریسک‌های پروژه به‌طور رسمی در طول اجرای پروژه شناسایی، رتبه‌بندی و مدیریت می‌شوند. این فرایند شامل انجام فعالیت‌هایی است که برای کاهش احتمال رویداد و شدت تأثیر هر ریسک تعیین می‌شوند. مدیریت ریسک در پروژه‌های ساخت به دلیل شرایط کنونی بازار، پیچیدگی پروژه‌ها و متغیر بودن محیط پروژه‌ها حائز اهمیت است[۴].

در تحقیق [۵]، پروژه‌های ساخت این‌چنین تعریف می‌شوند: پروژه‌های ساخت سعی و تلاشی تکرارناپذیر با مشخصه‌های منحصر به فرد زیادی مانند دوره بلندمدت، فرآیندهای پیچیده، محیط نامناسب، سختی‌ها و دشواری‌های مالی و سرمایه و ساختار سازمانی پویا هستند. این‌چنین پیچیدگی‌های سازمانی و فنّاورانه، ریسک‌های فراوانی را تولید می‌کند. تنوع علایق ذینفعان در پروژه‌های ساخت، تغییرپذیری و پیچیدگی ریسک‌ها را تشدید می‌کند. با تمرکز بر اینکه در یک پروژه ساخت چه چیزی باید به دست آید (به عنوان مثال اهداف پروژه) فرآیند مدیریت ریسک فهم و ادراکی را از آنچه که ممکن است اهداف پروژه را مورد خطر قرار دهد و آنچه که باید برای اطمینان از موفقیت انجام شود، فراهم می‌کند [۶].

وینچ[1] [۷] بر این عقیده است که برای کاربردهای مؤثر تکنیک های کمی مدیریت ریسک، مشکل و پیچیده، و نیازمند داده‌های دقیق است. متأسفانه به دست آوردن چنین داده‌هایی یا دشوار است و یا در صنعت ساخت موجود نیستند. به علاوه استفاده از این داده‌ها برای نشان دادن عدم قطعیت‌ها مشکل است. بنابراین، توسعه یک روش تجزیه و تحلیل ریسک برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌های پروژه‌های ساخت که مشکل نیاز به داده‌های دقیق را رفع کند، ضروری به نظر می‌رسد.

طبیعت پروژه‌های ساخت دارای عدم قطعیت‌های تحمیلی است که در آن فرآیند تجزیه و تحلیل ریسک وابسته به طرز تفکر شخص است. این امر مانع کاربرد بسیاری از روش‌های ارزیابی ریسک می‌شود. تئوری و استدلال فازی یک ابزار پرکاربرد برای اداره و مدیریت مسائل پیچیده در پروژه‌های ساخت می باشد. به‌عنوان مثال، در تحقیقی از منطق فازی برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت بهره بردند [۸]. نیتو و روزویلا[2] [۹] با استفاده از تئوری فازی به ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت پرداختند. در این تحقیق از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای ارزیابی ریسک در پروژه‌های ساخت استفاده شده است.

[1] Winch
[2] Nieto-Morote A, Ruz-Vila

در یکی از کارهای اخیر، تایلان[3] و همکاران [۱۰] از پنج معیار ریسک برای ارزیابی پروژه‌های ساخت استفاده کردند. آنها با استفاده از روش‌های AHP فازی و TOPSIS فازی به ارزیابی ۳۰ پروژه ساخت پرداختند. در این مطالعه از ریسک زمان، ریسک هزینه، ریسک ایمنی، ریسک کیفیت، و ریسک مربوط به پایداری محیطی به عنوان ریسک‌های تأثیرگذار در پروژه‌های ساخت استفاده شده است. در یکی دیگر از مطالعات اخیر، ابتدا ریسک‌ها در پروژه‌های تونل سازی شناسایی شدند و سپس با استفاده از منطق فازی به ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های تونل سازی پرداخته شده است [۱۱].

شایق و منصور [۱۲]، به ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت آزادراه‌ها در امارات متحده عربی پرداختند. مؤلفان از ماتریس احتمال و اثر برای ارزیابی پروژه‌ها بر اساس فاکتورهای ریسک درونی و بیرونی استفاده کردند. سامانترا[4] و همکاران [۱۳]، یک روش ارزیابی ریسک یکپارچه بر اساس تئوری فازی برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت شهری معرفی کردند. مؤلفان در تحقیق خود با استفاده از ساختار سلسله مراتبی به شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌ها پرداختند. سپس نرخ ریسک را به‌صورت تابعی از امکان رخداد ریسک و شدت رخداد ریسک تعریف کردند و بر این اساس به ارزیابی ریسک ایستگاه‌های مترو پرداختند. وانگ[5] و همکاران [۱۴،] یک چارچوب ارزیابی ریسک برای ارزیابی ریسک مسیرهای زیردریایی در چین معرفی کردند. ریسک زمان برای ارزیابی ریسک‌های برخاسته از فاکتورهای بیرونی در نظر گرفته شد. علاوه بر این ریسک‌های مربوط رفتار تصمیم گیران نیز در چارچوب ارزیابی پیشنهادی در نظر گرفته شده است.

اسلام[6] و همکاران [۱۵] با استفاده از شبکه‌های بیزین فازی به ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت پرداختند. مؤلفان در تحقیق خود ابتدا به بررسی روش‌های ارزیابی ریسک در پروژه‌های ساخت پرداختند. مؤلفان به این نتیجه رسیدند که استفاده از شبکه‌های بیزین فازی می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای ارزیابی ریسک در نظر گرفته شود. در تحقیقی دیگر چائو[7] و همکاران [۱۶]، به شناسایی الگوهای ریسک در پروژه‌های پل‌سازی و راه‌سازی در ویتنام پرداختند. در این تحقیق با استفاده از پرسشنامه و گردآوری نظرات پیمانکاران، ریسک‌های موجود پروژه‌های پل‌سازی و راه‌سازی شناسایی شدند و به چهار دسته ریسک‌های مربوط به پیمانکار، ریسک‌های پروژه، ریسک‌های مربوط به مالکان و ریسک‌های بیرونی طبقه‌بندی شدند. در ادامه مؤلفان احتمال و شدت وقوع هر یک از ریسک‌های شناسایی شده را برای انواع پروژه‌های کوچک، متوسط و بزرگ پل‌سازی و راه‌سازی تعیین کردند. نتایج این تحقیق به تصمیم گیران کمک می‌کند تا به احتمال و شدت وقوع ریسک‌ها آگاه باشند و بر اساس آن استراتژی‌های مناسب برای حذف ریسک‌ها و یا کاهش اثرات آنها تدوین کنند.

با توجه به ادبیات موضوع می‌توان شکاف این تحقیق را به‌صورت زیر ارائه کرد:

۱) فاکتورهای ریسک در نظر گرفته شده در ادبیات موضوع ریسک زمان، ریسک هزینه، ریسک ایمنی، ریسک کیفیت، و ریسک مربوط به پایداری محیطی می‌باشند. در این تحقیق علاوه بر فاکتورهای ریسک مذکور، فاکتور ریسک منابع انسانی نیز در نظر گرفته شده است. همچنین برخلاف تحقیق تایلان و همکاران [۱۰]، در این تحقیق زیر فاکتورهای مربوط به هر یک از عوامل اصلی ریسک نیز استخراج شده و در فرایند ارزیابی در نظر گرفته شده‌اند.

۲) تاکنون مطالعه‌ای در خصوص ارزیابی پروژه‌های راه‌سازی بر اساس فاکتورهای ریسک در داخل کشور انجام نشده است که در این تحقیق برای پوشش شکاف موجود درصدد ارزیابی پروژه‌های راه‌سازی بر اساس فاکتورهای ریسک هستیم.

۳) علاوه بر این در مطالعات اندکی عدم قطعیت‌های موجود در پروژه‌های ساخت بر اساس مفاهیم و تئوری فازی منعکس شده‌اند. در این تحقیق از شکل فازی شده روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی و روش ویکور فازی برای انعکاس عدم قطعیت‌های موجود در فاکتورهای ریسک استفاده می‌شود.

[3] Taylan
[4] Samantra
[5] Wang
[6] Islam
[7] Chau

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی بوده، زیرا هدف تحقیقات کاربردی توسعهی دانش در یک زمینه خاص است. این پژوهش از لحاظ گردآوری دادهها توصیفی- مطالعه موردی است. چون تحقیق توصیفی شامل مجموعه روش‌هایی است که هدف آنها توصیف کردن شرایط یا پدیده‌های مورد بررسی است. به عبارت دیگر، تحقیقات کاربردی به سمت کاربرد علمی دانش هدایت می‌شود و نتایج این نوع تحقیقات می‌تواند به اتخاذ تصمیمات بهتر در جامعه مورد پژوهش کمک نماید. در مرحله اول تحقیق، فاکتورهای ریسک در پروژه‌های ساخت با استفاده از مطالعه ادبیات موضوع شناسایی می‌شوند. سپس فاکتورهای ریسک شناسایی شده، با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان برای مطالعه موردی بومی‌سازی می‌شوند. بعد از بومی‌سازی و نهایی کردن این فاکتورها، پرسشنامه‌هایی طراحی و به خبرگان موضوع ارسال می‌شود. پس از دریافت پاسخ‌های پرسشنامه، و همچنین به دلیل وجود محیط عدم قطعیت در مسئله، مدلی بر اساس روش‌ها و مفاهیم فازی بنا نهاده می‌شود. در نهایت از مدل یکپارچه پیشنهادی AHP-VIKOR فازی برای ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های ساخت بر اساس فاکتورهای ریسک استفاده می‌شود. بر اساس شکل (۱)، مراحل این تحقیق را می‌توان در گام‌های زیر خلاصه کرد:

الف) استخراج و تهیه فهرست جامعی از فاکتورهای ریسک در پروژه‌های عمرانی و ساخت با استفاده از ادبیات موضوع

ب) بومی‌سازی فاکتورهای ریسک شناسایی شده برای مطالعه موردی بر اساس نظرات خبرگان و کارشناسان

ج) طراحی پرسشنامه و گردآوری اطلاعات

د) پیاده‌سازی مدل یکپارچه پیشنهادی AHP-VIKOR فازی بر روی داده‌های گردآوری شده برای ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های ساخت

ح) تجزیه و تحلیل اطلاعات

ابزار مورد استفاده در این تحقیق پرسشنامه است. در این تحقیق از دو پرسشنامه استفاده می‌شود که مربوط به سؤالات AHP و ویکور فازی می‌باشند. مبنای طراحی این پرسشنامه‌ها بر اساس مقایسات زوجی است. از پرسشنامه AHP میزان اهمیت معیارها و زیرمعیارهای ریسک در فرایند ارزیابی پروژه‌های ساخت تعیین می‌شوند و از پرسشنامه ویکور امتیاز هر یک از پروژه‌های ساخت در برآورده کردن فاکتورهای ریسک مشخص می‌شود.

شکل ۱: مراحل انجام تحقیق

۴- مواد و روش‌ها

یکی از روش‌های مرسوم در ادبیات موضوع برای ارزیابی ریسک، روش ماتریس احتمال و اثر است که به عنوان یک روش کمی برای ارزیابی ریسک پروژه‌ها شناخته شده‌است. از آنجایی گردآوری اطلاعات جامع برای تجزیه و تحلیل ارتباط بین علت و معلول حوادث در پروژه‌های ساخت‌وساز مشکل است، و انجام برآورد عددی در مورد احتمال و شدت وقوع حوادث بسیار مشکل است، بنابراین استفاده از روش‌های کمی برای ارزیابی ریسک‌های پروژه دشوار است. در این شرایط استفاده از روش کیفی کاربرد بیشتری دارد. علاوه بر این، اگرچه ماتریس احتمال و اثر یک روش ساده بوده و به‌راحتی قابل‌استفاده است، ولی نتایج غیرقابل‌اعتمادی را نتیجه می دهد [۱۷]؛ زیرا تنها از دو معیار استفاده شده و از سایر جنبه‌ها و معیارهای مؤثر چشم‌پوشی می‌شود. یکی از دیگر مشکلات این است که ریسک‌هایی که احتمال زیاد و اثر کم دارند با ریسک‌هایی که احتمال کم و اثر زیاد دارند معادل فرض شده و می‌تواند باعث بروز خطای سیستماتیک شود [۱۷]. علاوه بر این امکان تخصیص وزن‌های متفاوت برای معیارها وجود ندارد. بنابراین استفاده از روش‌های معتبرتر ضروری است. بدین منظور روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با استفاده از نظرات خبرگان متعدد ابزار قابل‌اعتمادی جهت ارزیابی ریسک می‌باشند. در این روش‌ها امکان در نظر گرفتن کلیه معیارهای مرتبط با اوزان متفاوت و تبادل بین آنها وجود داشته و درنتیجه نتایج واقع‌گرایانه به دست می‌دهند [۱۸]. در روش پیشنهادی با استفاده از طراحی پرسشنامه و گردآوری نظرات خبرگان می‌توان داده‌ها و اطلاعات مناسبی در مورد فاکتورهای ریسک جمع‌آوری کرده و به تجزیه و تحلیل آنها پرداخته شود. بنابراین از مزایای روش پیشنهادی این است که در شرایطی که داده‌ها و اطلاعات کاملی در مورد احتمال و شدت وقوع حوادث وجود ندارد، کاربرد دارد. از معایب روش پیشنهادی این است که بار محاسباتی بیشتری در مقایسه با روش ماتریس احتمال و اثر دارد. همچنین روش‌های کمی نسبت به روش‌های کیفی ارجحیت دارند، زیرا روش‌های کمی نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهند.

روش پیشنهادی در این مقاله ترکیب روش‌های AHP فازی و روش VIKOR فازی است. دلیل استفاده از روش AHP فازی اینست که این روش یکی از معروف‌ترین و شناخته‌شده‌ترین روش‌ها برای تعیین اهمیت و وزن معیارها در فرایند تصمیم‌گیری است و بر اساس مقایسات زوجی بنا نهاده شده است. در این روش، وقتی‌که تعداد مقایسات زوجی گزینه‌های تصمیم در ارتباط با زیرمعیارها بسیار زیاد باشد، حجم زیادی از مقایسه را برای کارشناسان ایجاد می‌کند و ممکن است پاسخ‌دهندگان در مقایسات دچار اشتباه شوند و یا اینکه به علت کم‌حوصلگی مقایسات را با دقت پر نکنند و نرخ ناسازگاری افزایش یابد. برای حل این مشکل ترکیب این روش با روش VIKOR پیشنهاد شده است. روش VIKOR که توسعه‌یافته روش TOPSIS است به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه پرکاربرد برای اولویت‌بندی گزینه‌های تصمیم‌گیری است. در این تحقیق، از روش AHP برای تعیین میزان اهمیت معیارهای انتخاب‌شده در فرایند ارزیابی پروژه‌ها استفاده می‌شود. سپس اهمیت‌های به دست آمده در روش VIKOR فازی اعمال شده، و از آن برای ارزیابی و رتبه‌بندی پروژه‌ها استفاده می‌شود. در ادامه این بخش به تشریح روش AHP و VIKOR فازی می‌پردازیم.

۴-۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است که توسط توماس اِل ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید. این روش هنگامی‌که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و شاخص تصمیم‌گیری روبرو است، می‌تواند مفید باشد. شاخص‌ها می‌توانند کمی و یا کیفی باشند. اساس این روش بر مقایسات زوجی نهفته است. در دنیای واقعی، بسیاری از تصمیمات دربرگیرنده عبارات مبهم و دو پهلوی انسانی هستند. به‌منظور یکپارچه‌سازی تجربیات، عقاید و ایده‌های یک تصمیم‌گیرنده، بهتر است که برآورد زبانی به اعداد فازی تبدیل شود. روش AHP به‌منظور نرخ‌گذاری و رتبه‌بندی ترجیحات، از ماتریس مقایسات زوجی استفاده می‌کند که داده‌های ورودی آن اعداد قطعی بوده و در مواردی که داده‌های ورودی با ابهام روبه‌رو هستند، نمی‌توان از این ماتریس جهت حصول نتایج مطلوب استفاده نمود. لئونگ[8] و همکاران [۱۹] معتقدند از جمله دلایل دقت پائین این نوع کسب نظرات از افراد آن است که از فرد خواسته می‌شود بر اساس درک خود از پدیده‌ها نسبتی دقیق به مقایسه زوجی آن‌ها اختصاص دهد و این در حالی است که درک فرد از پدیده در قالب عددی

[8] Leung

قطعی[9] قابل بیان نیست، بلکه بازه‌ای از اعداد می‌تواند بهتر از عددی قطعی منعکس‌کننده درک فرد از اهمیت یک پدیده در قیاس با پدیده-ای دیگر باشد. بنابراین AHP فازی قادر است بهتر از AHP سنتی روند تصمیم‌گیری در ذهن انسان را شبیه‌سازی کند. ازاین‌رو در مرحله جمع‌آوری نظر خبرگان از گویه‌های بیانی ملموس و متداول در پرسشنامه مقایسات زوجی AHP فازی به‌جای نسبت‌های قطعی رایج در AHP سنتی استفاده شده است. درمجموع فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی از چند گام اصلی تشکیل شده است. این گام‌ها عبارت‌اند از:

- تهیه ماتریس مقایسات زوجی
- تجمیع ماتریس مقایسات زوجی
- دفازی کردن ماتریس مقایسات زوجی تجمیع شده
- محاسبه اوزان محلی
- محاسبه اوزان نهایی

در ادامه به تشریح جزییات گام‌های تشکیل‌دهنده فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی می‌پردازیم.

۴-۱-۱-تهیه ماتریس مقایسات زوجی

برای تهیه ماتریس مقایسات زوجی، معیارها یا زیرمعیارها دوبه‌دو نسبت به همدیگر مقایسه می‌شوند. برای این کار می‌توان از مقیاس ۱ تا ۹ استفاده کرد، درحالی‌که نمره ۱ نشان‌دهنده اهمیت یکسان دو عنصر نسبت به هم و نمره ۹ نشان‌دهنده بالاترین اهمیت یک عنصر (سطر ماتریس) در مقایسه با دیگری (ستون ماتریس) است. مقیاس مورد استفاده در این پژوهش مقیاس فازی ۹ تایی است که توسط تسفاماریام و صدیق[10] بر اساس مقیاس ساعتی پیشنهاد شده است [۲۰]. استفاده از مقیاس ۹ تایی آزادی عمل بیشتری به خبرگان هنگام انجام مقایسات زوجی می‌دهد. پس از جمع‌آوری پاسخ‌های خبرگان در مقیاس ۹ تایی و در قالب پاره‌ای گویه‌های زبانی، لازم است پاسخ‌های مذکور به مقیاسی باقابلیت تجزیه و تحلیل برده شوند، زیرا انجام عملیات ریاضی بر روی متغیرهای بیانی کیفی غیرممکن است. بنابراین متغیرهای بیانی از طریق جدول زیر به مقیاس‌های فازی تبدیل شوند.

جدول ۱: تبدیل متغیرهای بیانی به اعداد فازی مثلثی برگرفته از مرجع [۲۱]

متغیر بیانی	عدد فازی مثلثی
یکسان	(۱، ۱، ۱)
اندکی مهم‌تر	(۲، ۳، ۴)
مهم‌تر	(۴، ۵، ۶)
بسیار مهم‌تر	(۶، ۷، ۸)
اکیداً مهم‌تر	(۸، ۹، ۹)
مقادیر میانی بین دو سطح	$(X-1, X, X+1)$
اعداد مثلثی متقابل	$(1/(X+1), 1/X, 1/(X-1))$
	(۱/۹، ۱/۹، ۱/۸)

در این تحقیق دو دسته از ماتریس مقایسات زوجی تهیه می‌گردد که عبارت‌اند از: الف) ماتریس مقایسات زوجی برای مقایسه معیارهای اصلی نسبت به همدیگر در ارتباط با هدف، ب) ماتریس مقایسات زوجی برای مقایسه زیرمعیارها نسبت به همدیگر در ارتباط با معیار اصلی مربوطه. مبنای تهیه هر دسته از این ماتریس‌ها جدول (۱) است.

[9] Crisp
[10] Tesfamariam and Sadiq

۴-۱-۲- تجمیع ماتریس مقایسات زوجی

در این گام پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان در مورد معیارهای اصلی، زیرمعیارها و گزینه‌ها، با استفاده از میانگین هندسی نظرات خبرگان تجمیع می‌شوند. فرض کنید (l_k, m_k, r_k)یک عدد فازی مثلثی مربوط به نظر k امین فرد خبره باشد که در آن l_k ، m_k و r_k به ترتیب بدبینانه‌ترین مقدار، محتمل‌ترین مقدار و خوش‌بینانه‌ترین مقدار هستند، آنگاه مقدار تجمیع شده نظرات خبرگان با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۱].

$$\tilde{a}_{ij} = \left(\sqrt[k]{l_1 \times l_2 \times \ldots \times l_k}, \sqrt[k]{m_1 \times m_2 \times \ldots \times m_k}, \sqrt[k]{r_1 \times r_2 \times \ldots \times r_k}\right) \quad (۱)$$

۴-۱-۳-غیر فازی[11] کردن نظرات خبرگان

در این مرحله پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فازی تجمیع شده، آنها را فازی زدایی می‌کنیم. برای فازی زدایی کردن ماتریس مقایسات زوجی فازی تجمیع شده به مقادیر قطعی از روش COA[12] استفاده می‌شود [۱۵]. فرض کنید $\tilde{R}_i = (L\tilde{R}_i, M\tilde{R}_i, U\tilde{R}_i)$ یک عدد فازی مثلثی باشد، آنگاه بر اساس [۲۲]، مقدار فازی شده به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$BNP_i = \frac{\left[(U\tilde{R}_i - L\tilde{R}_i) + (M\tilde{R}_i - L\tilde{R}_i)\right]}{3} + L\tilde{R}_i \quad (۲)$$

در این مرحله با استفاده از رابطه فوق عناصر ماتریس مقایسات زوجی تجمیع شده فازی به اعداد قطعی تبدیل می‌شوند.

۴-۱-۴- محاسبه اوزان محلی[13]

پس از جمع‌آوری داده‌ها و تبدیل نظرات هر خبره به اعداد فازی متناظر، ماتریس‌های مقایسات زوجی به دست می‌آید. پس از آن با استفاده از میانگین هندسی نظرات خبرگان تجمیع می‌گردد. فرض کنید $\tilde{A}$ ماتریس مقایسات زوجی تجمیع شده باشد، آنگاه بر اساس [۲۲]، وزن محلی فازی برای معیارها یا زیرمعیارها از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \cdots \otimes \tilde{a}_{in})^{\frac{1}{n}} \quad (۴)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \cdots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad (۵)$$

در روابط فوق، $\tilde{a}_{ij}$ مقدار مقایسه زوجی تجمیع شده معیار i در مقایسه با معیار jاست، $\tilde{r}_i$ میانگین هندسی مقدار مقایسه زوجی فازی معیار i در مقایسه با سایر معیارها است. همچنین، $\tilde{w}_i$ وزن محلی معیار i است.

۴-۱-۵- محاسبه وزن نهایی زیرمعیارها

وزن نهایی هر زیرمعیار از ضرب وزن محلی معیار اصلی در وزن محلی آن زیرمعیار به دست می‌آید.

[11] Defuzzification
[12] Centre of area
[13] Local weights

۴-۲- ویکور فازی

ویکور یک روش تصمیم‌گیری چند شاخصه توافقی است که توسط آپریکوویچ و زنگ [۲۳] توسعه یافت. این روش بر مبنای روش ال پی متریک توسعه یافته است. این روش می‌تواند یک مقدار بیشینه مطلوبیت گروهی برای اکثریت و یک کمینه تأثیر انفرادی برای مخالفت را فراهم نماید. در ادامه روش ویکور فازی ارائه شده توسط شمشادی و همکاران [۲۴] و حسینی نیا و فرخ [۲۵] شرح داده می‌شود.

گام اول: در گام اول معیارهای ارزیابی و خبرگان موضوع مشخص می‌شوند.

گام دوم: در این گام از متغیرهای زبانی ارائه شده در جدول زیر برای ارزیابی گزینه‌ها در ارتباط با معیارهای ارزیابی استفاده می‌شود. به عبارت دیگر برای تعیین امتیاز گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارها می‌توان از جدول زیر استفاده کرد.

جدول ۲: مقیاس‌های زبانی برای تعیین امتیاز گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارها

متغیرهای زبانی	عدد فازی مثلثی مربوطه
خیلی ضعیف	(۰،۰،۲۰)
ضعیف	(۰،۲۰،۴۰)
متوسط	(۳۰،۵۰،۷۰)
خوب	(۶۰،۸۰،۱۰۰)
خیلی خوب	(۸۰،۱۰۰،۱۰۰)

گام سوم: در این گام نظرات خبرگان در مورد ارزیابی گزینه‌ها نسبت به معیارها با استفاده از میانگین حسابی تجمیع می‌شوند [۲۵-۲۴].

گام چهارم: در این گام ماتریس تصمیم فازی و ماتریس تصمیم فازی نرمال شده بر اساس روابط زیر محاسبه و مشخص می‌شوند.

$$
\begin{aligned}
&R = \left[\tilde{r}_{ij}\right]_{m\times n}\\
&\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^{\max}}, \frac{b_{ij}}{c_j^{\max}}, \frac{c_{ij}}{c_j^{\max}}\right),\ j \in B\\
&\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^{\min}}{c_{ij}}, \frac{a_j^{\min}}{b_{ij}}, \frac{a_j^{\min}}{a_{ij}}\right),\ j \in C\\
&c_j^{\max} = \max_i c_{ij}\ \ if\ j \in B\\
&a_j^{\min} = \min_i a_{ij}\ \ if\ j \in C
\end{aligned}
\qquad (۶)
$$

در روابط فوق، m تعداد گزینه‌ها، n تعداد معیارها، B مجموعه معیارهای سود[14] و C مجموعه معیارهای هزینه[15] می‌باشند. در رابطه فوق به ترتیب r_{ij}^{p}، r_{ij}^{m} و r_{ij}^{o} بدترین مقدار، محتمل‌ترین مقدار و بهترین مقدار از ماتریس تصمیم فازی نرمال شده را نشان می‌دهند.

گام پنجم: در این مرحله ماتریس تصمیم فازی نرمال شده بر اساس رابطه (۲) به ماتریس تصمیم قطعی تبدیل می‌شود.

گام ششم: در این گام، بهترین و بدترین مقدار هر معیار تعیین می‌شود و آنها به ترتیب راه‌حل ایده ال مثبت و راه‌حل ایده ال منفی نامیده می‌شوند.

$$
\begin{aligned}
&\tilde{f}_j^{*} = \underset{i}{Max}\ f_{ij}\ ,\ i = 1,2,\ldots,m\\
&\tilde{f}_j^{-} = \underset{i}{Min}\ f_{ij}\ ,\ i = 1,2,\ldots,m
\end{aligned}
\qquad (۷)
$$

[14] Benefit criteria
[15] Cost criteria

گام هفتم: تعیین وزن معیارها

در روش ویکور فازی نیاز به تعیین وزن معیارها است. در این مقاله، از روش AHP فازی برای محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. ازآنجایی‌که وزن‌های نهایی محاسبه شده در روش AHP فازی به شکل اعداد فازی می‌باشند، آنها توسط رابطه (۲) دفازی شده و در نهایت از وزن‌های دفازی شده در روش ویکور فازی استفاده می‌شود.

گام هشتم: در این مرحله فاصله هر گزینه از راه‌حل ایده آل محاسبه شده و سپس حاصل جمع موزون آنها برای تعیین ارزش نهایی هر گزینه بر اساس روابط ذیل محاسبه خواهد شد:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)$$
$$R_i = \underset{j}{Max}\left[w_j (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_{ij}) / (\tilde{f}_j^* - \tilde{f}_j^-)\right] \quad (۸)$$

در روابط فوق، S_i بیانگر نسبت فاصله گزینه i ام از راه‌حل ایده آل مثبت (بهترین ترکیب) و R_i بیانگر نسبت فاصله گزینه i ام از راه‌حل ایده آل منفی (بدترین ترکیب) هستند. w_j وزن زیرمعیار j ام را نشان می‌دهد. برترین رتبه بر اساس ارزش S_i و بدترین رتبه بر اساس ارزش R_i به دست می‌آید.

گام نهم: محاسبه شاخص Q_i

مقدار Q_i برای گزینه i ام به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_i = v\left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}\right] + (1-v)\left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}\right]$$
$$S^- = \underset{i}{Max}\, S_i, S^* = \underset{i}{Min}\, S_i, R^- = \underset{i}{Max}\, R_i, R^* = \underset{i}{Min}\, R_i \quad (۹)$$

در روابط فوق v وزن اکثریت استراتژی موافق معیار یا حداکثر مطلوبیت گروهی است.

$\left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}\right]$ بیانگر نسبت فاصله از راه‌حل ایده آل منفی گزینه i ام و به عبارت دیگر موافقت اکثریت برای نسبت i ام است.

$\left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}\right]$ بیانگر نسبت فاصله از راه‌حل ایده آل گزینه i ام و به معنی مخالفت با نسبت گزینه i ام است. بنابراین هنگامی‌که مقدار v بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد، شاخص Q_i منجر به اکثریت موافق می‌شود. و هنگامی‌که مقدار آن کمتر از ۰/۵می‌شود شاخص Q_i بیانگر نگرش منفی اکثریت است. به‌طورکلی وقتی مقدار v برابر ۰/۵ است بیانگر نگرش توافقی متخصصان ارزیابی است.

گام دهم: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر Q_i

در این مرحله بر اساس مقادیر Q_i محاسبه شده در گام قبل، گزینه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند.

۵- مطالعه موردی

در این بخش به تشریح مطالعه موردی پرداخته می‌شود و پروژه‌هایی که قرار است ارزیابی شوند به‌طور خلاصه تشریح می‌شوند. وظایف اساسی شهرداری‌ها تأمین نیازمندی‌های شهری و تأسیسات مورد نیاز عمومی است. شهرداری اصفهان برای اجرای پروژه‌های مهم شهری از طراحی کامل و برنامه‌ریزی منسجم استفاده کرده است، به‌طوری‌که با توجه به تنوع و تعداد پروژه‌ها در سطح شهر، می‌توان گفت که جایگاه شهرداری اصفهان در میان کلان‌شهرهای کشور برگزیده است. شهرداری اصفهان با اتکا به تجربیات اجرایی و دانش فنی اعضای هیئت‌مدیره و همچنین اعضای شورای سازمان می‌تواند به‌عنوان بازویی توانمند در راستای عمران، آبادانی و توسعه مناطق شهری استان عمل کرده و مدیریت نوین را جایگزین شیوه‌های سنتی کند. بدون شک مدیریت، روند حرکت از وضع موجود به‌سوی وضعیت مطلوب را هدایت می‌کند و در هر لحظه برای ایجاد آینده‌ای بهتر در تکاپوست. بر اســـــاس شرح وظایفی که در اساسنامه سازمان برای معاونت فنی و مهندسی در نظر گرفته شده، کلیه کارهای عمرانی شامل اجرای راه‌سازی، زیرسازی راه‌آهن و باند فرودگاه، اجرای پل‌سازی اجرای شبکه‌های آبیاری و زهکشی، احداث طرح‌های آبخیزداری، احداث مانَک‌ها و مراکز تفریحی، و احداث مجتمع‌های ساختمانی در توان و صلاحیت تخصصی این واحد است. پروژه‌های موردنظر در این تحقیق، پنج پروژه می‌باشند که در شرح داده می‌شوند. این پروژه‌ها گزینه‌های تصمیم‌گیری را تشکیل می‌دهند و به ترتیب A1 تا A5 نامیده می‌شوند.

پروژه تعریض پل فلزی (A1)

عرض عرشه موجود پل فلزی ۱۶ متر است که در آینده‌ای نزدیک از هر دو طرف ۱۰ متر به عرض پل اضافه می‌شود، تا عرض آن به ۳۶ متر افزایش یابد. وقتی عرض پل فلزی به ۳۶ متر برسد، ۲۸ متر آن عرض سواره‌رو و دو پیاده‌روی ۴ متری خواهد داشت. از ۲۸ متر عرض خیابان آینده پل فلزی، دو خط BRT به عرض هرکدام ۳/۵ متر در نظر گرفته می‌شود. پس از تعریض پل فلزی سه خط رفت‌وبرگشت برای خودروها خواهیم داشت تا ترددی راحت‌تر و سالم‌تر برای رانندگان اتفاق بیفتد. طول پل فلزی ۱۳۳ متر است و زمان انجام پروژه ۶ ماه پیش‌بینی شده است.

پروژه تقاطع غیر هم‌سطح و دوربرگردان شهید عباسعلی بالایی (A2)

عملیات احداث تقاطع غیر هم‌سطح شهید عباسعلی بالایی در کمربندی شرق اصفهان و در مقابل مجموعه مرکز همایش‌های بین‌المللی در حال اجرا است. این تقاطع غیر هم‌سطح در مسیر رینگ چهارم ترافیکی قرار دارد و دسترسی به مجموعه مرکز همایش‌های بین‌المللی را آسان می‌کند. از مزایای احداث این تقاطع کاهش ترافیک در منطقه، سهولت رفت‌وآمد و دسترسی سریع‌تر به مناطق اطراف اصفهان ازجمله اصفهانک، باغ رضوان و سپاهان شهر و .... است.

پروژه خیابان آیت‌الله خراسانی و پارکینگ (A3)

عملیات اجرایی پروژه پارکینگ و خیابان آیت‌الله خراسانی به‌منظور کاهش بار ترافیکی خیابان‌های آمادگاه و هشت بهشت در نظر گرفته شده است. خیابان آیت‌الله خراسانی به طول ۳۷۵ متر حدفاصل خیابان استانداری تا خیابان باغ گلدسته و به‌موازات خیابان آمادگاه احداث می‌شود. پارکینگ فرشادی نیز در یک طبقه با ظرفیت پارک ۲۴۰ خودرو اجرا می‌شود. مدت‌زمان اجرای این طرح ۸ ماه پیش‌بینی شده است.

پروژه احداث مجموعه پل و میدان استقلال (A4)

طرح بزرگ مجموعه پل‌ها و میدان استقلال در واقع شامل چندین پروژه عمرانی است که به‌واسطه نیاز موقعیت جغرافیایی و اجتماعی محل پروژه، به‌عنوان مهم‌ترین و پرترددترین ورودی شهر اصفهان و قرارگیری آن در هم‌جواری مهم‌ترین مرکز دانشگاهی و

همچنین مسیر تردد ترانزیت بسیاری از کارخانه‌های سنگ منطقه از این نقطه از شهر لازم بود طرحی جامع، کامل و درخور و شایسته جهت تسهیل و روان‌سازی ترافیک شهری و ایجاد سرعت طرح ایمن و استاندارد و کاهش آلایندگی هوا در این قسمت از شهر اجرا گردد.

پروژه تقاطع غیر هم‌سطح ۲۵ آبان (A5)

تقاطع غیر هم‌سطح ۲۵ آبان یکی از پروژه‌های مهمی است که به دلیل حجم بالای ترافیک خیابان کاوه و تلاقی آن با حلقه دوم حفاظتی شهر اصفهان در جهت تکمیل مسیر BRT، تسهیل عبور و مرور خط شرق به غرب و کم کردن بار ترافیکی در دستور کار شهرداری قرار گرفت. پروژه تقاطع غیر هم‌سطح ۲۵ آبان یکی از تقاطع‌های مهم حلقه دوم حفاظتی شهر اصفهان به شمار می‌رود که ضرورت اجرای آن به لحاظ اینکه با خط یک مترو اصفهان در مسیر شمال به جنوب برخورد دارد، دوچندان شده است. به دلیل عبور خط شمالی مترو امکان احداث زیرگذر در بخش شمال به جنوب امکان‌پذیر نبود و از سویی ترافیک را به سمت حلقه سوم حفاظتی سوق دهد تا از بروز ترافیک‌های سنگین در مرکز شهر بخصوص محور میدان شهدا جلوگیری شود.

۵-۱- معیارها و زیرمعیارهای ریسک در پروژه‌های ساخت

در یکی از کارهای اخیر، تایلان[16] و همکاران [۱۰] از پنج معیار ریسک برای ارزیابی پروژه‌های ساخت استفاده کردند. در این مطالعه از ریسک زمان، ریسک هزینه، ریسک ایمنی، ریسک کیفیت، و ریسک مربوط به پایداری محیطی به عنوان عوامل تأثیرگذار در پروژه‌های ساخت استفاده شده است. مؤلفان در تحقیق خود زیرمعیارهای هر یک عوامل ریسک (به‌طور مثال زیر معیارهای ریسک زمان، ریسک هزینه و ....) در فرایند ارزیابی پروژه‌های ساخت در نظر نگرفتند. در این مقاله، علاوه بر معیارهای اصلی ریسک، زیرمعیارهای مربوطه نیز از ادبیات موضوع استخراج و در فرایند ارزیابی پروژه‌ها در نظر گرفته می‌شوند. در یکی دیگر از مطالعات اخیر که به شناسایی ریسک‌های مربوط به پروژه‌های ساخت پرداخته است، زیر معیارهایی برای هر یک از معیارهای ریسک زمان، ریسک هزینه، ریسک کیفیت، ریسک ایمنی و ریسک پایداری محیطی در نظر گرفته شده است [۱۰]. یکی دیگر از عوامل اصلی ریسک در پروژه‌های ساخت ریسک مربوط به منابع انسانی است، که در تحقیق به اهمیت این نوع از ریسک اشاره شده است. ریسک منابع انسانی شامل مواردی مانند عدم توانایی مدیریتی، عدم وجود مشاوران حرفه‌ای باتجربه، تغییر کارکنان کلیدی در حین اجرای پروژه و اعتصاب کارگران است [۱۱]. درمجموع با استفاده از منابع [۱۱-۱۰] و نظرات خبرگان فهرستی از عوامل اصلی و زیرعوامل ریسک در پروژه‌های ساخت استخراج و نهایی شده که در جدول زیر ارائه شده‌اند.

جدول ۳: فاکتورهای ریسک در پروژه‌های ساخت

ردیف	عوامل ریسک (معیارهای اصلی)	زیر معیارها
۱	ریسک زمان (C1)	ضعف در برنامه زمان‌بندی ساخت‌وساز (C11)
		تأخیر در تأمین مواد و مصالح (C12)
۲	ریسک هزینه (C2)	قیمت بالای مناقصه (C21)
		افزایش قیمت مواد و مصالح (C22)
		افزایش هزینه کار (C23)
		تأخیر در پرداخت هزینه‌ها طبق قرارداد (C24)
		مشکلات مالی (C25)
۳	ریسک کیفیت (C3)	انتخاب نامناسب دستگاه و تجهیزات (C31)
		انتخاب نامناسب مواد (C32)
		شکست ماشین‌آلات (C33)
		کیفیت پایین کار (C34)

[16] Taylan

ادامه جدول ۱:

۴	ریسک ایمنی (C4)	فروپاشی[17] (عیب و نقص) ساخت (C41)
		ایمنی کارکنان (C42)
		حوادث غیرمترقبه حین کار مانند آتش‌سوزی (C43)
۵	ریسک پایداری محیطی (C5)	اختلال به ساکنان در نزدیکی محل ساخت‌وساز (C51)
		آسیب فیزیکی به کارگران (C52)
		محدودیت‌های زیست‌محیطی (C53)
		سروصدا (C54)
۶	ریسک منابع انسانی (C6)	عدم توانایی مدیریتی (C61)
		عدم وجود مشاوران حرفه‌ای باتجربه (C62)
		تغییر کارکنان کلیدی (C63)
		اعتصاب کارگران (C64)

در این تحقیق، شناسایی معیار با تلفیقی از مطالعات کتابخانه‌ای و پیمایش میدانی صورت گرفته است. قبل از توزیع پرسشنامه‌ها روایی[18] آنها به‌منظور اطمینان یافتن از وضوح، دقت و معنادار بودن گویه‌های پرسشنامه برای پاسخ دهندگان مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله به‌صورت آزمایشی از گروهی از صاحب‌نظران حوزه ساخت و عمران خواسته شد تا در حضور محقق و پس از مطالعه دقیق نامه آغازین پرسشنامه، نحوه پاسخگویی به پرسشنامه و توضیحات فاکتورهای ریسک، به پرسشنامه پاسخ داده و محقق را از نظرات خود مطلع نمایند. بنابراین، قبل از توزیع پرسشنامه و گردآوری نظر خبرگان، روایی پرسشنامه توسط گروهی از صاحب‌نظران عرصه پروژه‌های ساختمانی که در ذیل به آنها اشاره شده است، تائید شد.

- دو استاد مدیریت پروژه و ساخت
- سه مدیر پروژه مربوط به پروژه‌های ساختمانی از دو پیمانکار فعال در زمینه پروژه‌های ساختمانی
- دو دانشجوی رشته مدیریت پروژه و ساخت در مقطع دکتری و یک دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت پروژه و ساخت که از تجربه کاری در زمینه پروژه‌های ساختمانی برخوردار بودند.

پایایی پرسشنامه روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی از طریق محاسبه نرخ سازگاری برای هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی مورد بررسی قرار گرفته است. اگر نرخ سازگاری برای یک ماتریس مقایسات زوجی کمتر از ۰/۱ باشد، آنگاه ماتریس مقایسات زوجی سازگار و پرسشنامه مربوطه پایا است. نتایج مربوط به سازگاری پرسشنامه فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در بخش ۶ گزارش شده است. پایایی پرسشنامه مربوط به روش ویکور فازی از طریق آلفای کرونباخ مورد بررسی قرار می‌گیرد. آلفای کرونباخ همواره مقداری بین صفر و یک دارد و هر چه مقدار آن به یک نزدیک شود، پایایی پرسشنامه افزایش می‌یابد. به‌طورکلی اگر مقدار آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷۰ باشد، پرسشنامه از پایایی قابل قبولی برخوردار است. اگر مقدار آن بین ۰/۵۰ و ۰/۷۰ باشد، پایایی پرسشنامه متوسط و اگر مقدار آن کمتر از ۰/۵۰ باشد، پرسشنامه پایا و قابل‌اعتماد نیست. مقدار آلفای کرونباخ پرسشنامه طراحی‌شده در این تحقیق ۰/۸۵۶ است که نشان می‌دهد پایایی پرسشنامه مربوط به روش ویکور فازی از قابلیت اعتماد قابل قبولی برخوردار است.

۶- تجزیه و تحلیل نتایج

پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان در قالب گویه‌های زبانی ارائه شده در جدول (۱)، ماتریس مقایسات زوجی فازی برای نظرات تک‌تک افراد خبره به دست می‌آید. به عنوان مثال، پس از ایجاد ماتریس مقایسات زوجی در مورد معیارهای اصلی برای هر یک از افراد خبره، می‌بایست نظرات خبرگان بر اساس رابطه (۱) تجمیع شوند و یک ماتریس مقایسات زوجی فازی تجمیع شده برای معیارهای اصلی

[17] Collapse
[18] Validity

به دست آید. جدول زیر ماتریس مقایسات زوجی فازی که از تجمیع نظرات ۱۵ خبره در مورد معیارهای اصلی است، را نشان می‌دهد. ازآنجایی‌که تعداد خبرگانی که بتوانند در مورد اهمیت فاکتورهای ریسک در پروژه‌های راه‌سازی مورد بررسی اظهارنظر کنند، زیاد نمی‌باشند، لذا از نظرات تمامی خبرگانی که توانستند در مورد اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر اظهارنظر کرده و پرسشنامه‌های مربوطه را به‌طور کامل تکمیل کنند، استفاده شده است. تعداد خبرگان با شرایط مذکور ۱۵ نفر بوده که از نظرات همه آنها برای انجام این تحقیق استفاده شده است. ازآنجایی‌که اختلاف چشم‌گیری بین خبرگان از لحاظ تحصیلات، تجربه کاری و پست سازمانی وجود نداشت، برای تجمیع داده‌ها وزن نظرات خبرگان یکسان در نظر گرفته شد.

جدول ۴: ماتریس مقایسات زوجی فازی حاصل از تجمیع نظرات خبرگان در مورد معیارهای اصلی ریسک

	C1			C2			C3		
C1	1.000	1.000	1.000	4.183	5.186	6.188	2.702	3.214	3.776
C2	0.162	0.193	0.239	1.000	1.000	1.000	4.338	5.348	6.355
C3	0.265	0.311	0.370	0.157	0.187	0.231	1.000	1.000	1.000
C4	0.244	0.303	0.380	0.687	0.799	0.944	2.118	2.557	3.009
C5	0.582	0.709	0.871	0.126	0.144	0.169	0.181	0.222	0.287
C6	0.297	0.356	0.435	0.154	0.178	0.218	1.403	1.665	1.979
	C4			**C5**			**C6**		
C1	2.631	3.301	4.095	1.149	1.411	1.719	2.297	2.809	3.366
C2	1.059	1.251	1.455	5.933	6.943	7.950	4.595	5.624	6.507
C3	0.332	0.391	0.472	3.482	4.514	5.533	0.505	0.601	0.713
C4	1.000	1.000	1.000	2.352	2.841	3.204	6.787	7.789	8.790
C5	0.312	0.352	0.425	1.000	1.000	1.000	1.719	1.888	2.036
C6	0.114	0.128	0.147	0.491	0.530	0.582	1.000	1.000	1.000

پس از تجمیع نظر افراد خبره و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فازی تجمیع شده، می‌توان با استفاده از روابط (۲) تا (۵) وزن محلی فاکتورهای اصلی ریسک را محاسبه کرد. این اوزان در جدول زیر گزارش شده‌اند. نرخ سازگاری برای ماتریس مقایسات زوجی مربوط به معیارهای اصلی برابر CR=0.08 است. ازآنجایی‌که نرخ سازگاری که کمتر از 0.1 است، ماتریس مقایسات زوجی معیارهای اصلی سازگار است. لازم به ذکر است که همه نرخ‌های سازگاری ماتریس مقایسات زوجی مربوط به زیرمعیارهای ریسک نیز کمتر از 0.1 بوده که سازگاری آنها را نتیجه می‌دهد.

جدول ۵: وزن محلی فازی معیارهای اصلی ریسک و نرخ سازگاری

	وزن محلی فازی معیارهای اصلی ریسک		
C1	(0.239,	0.328,	0.446)
C2	(0.191,	0.257,	0.343)
C3	(0.062,	0.084,	0.115)
C4	(0.154,	0.207,	0.275)
C5	(0.051,	0.066,	0.090)
C6	(0.045,	0.059,	0.078)
CR=0.08<0.1			

به‌طور مشابه می‌توان فرایند محاسباتی بالا را برای هر مجموعه از زیر معیارها انجام داده و اوزان محلی زیر معیارها را محاسبه کرد. پس از محاسبه اوزان محلی معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مربوطه، وزن نهایی یک زیرمعیار را می‌توان با ضرب وزن محلی معیار اصلی در وزن محلی زیرمعیار مربوطه محاسبه کرد. جدول زیر اوزان محلی فازی معیارهای اصلی و زیرمعیارها و اوزان نهایی فازی زیرمعیارها را نشان می‌دهد. ستون آخر اوزان نهایی دفازی شده زیرمعیارها که بر اساس رابطه (۲) دفازی شده‌اند، را نشان می‌دهد.

جدول ۶: اوزان محلی و نهایی فاکتورها و زیرفاکتورهای ریسک

معیار	وزن محلی فازی معیار اصلی	زیرمعیار	وزن محلی فازی زیرمعیار	وزن نهایی فازی زیرمعیار	وزن نهایی دفازی شده
C1	(0.239, 0.328, 0.446)	C11	(0.722, 0.817, 0.932)	(0.173, 0.268, 0.416)	0.285
		C12	(0.151, 0.183, 0.214)	(0.036, 0.060, 0.095)	0.064
C2	(0.191, 0.257, 0.343)	C21	(0.274, 0.371, 0.496)	(0.052, 0.095, 0.170)	0.106
		C22	(0.124, 0.169, 0.233)	(0.024, 0.043, 0.080)	0.049
		C23	(0.066, 0.088, 0.122)	(0.013, 0.023, 0.042)	0.026
		C24	(0.238, 0.326, 0.443)	(0.045, 0.084, 0.152)	0.094
		C25	(0.036, 0.046, 0.062)	(0.007, 0.012, 0.021)	0.013
C3	(0.062, 0.084, 0.115)	C31	(0.158, 0.230, 0.339)	(0.010, 0.019, 0.039)	0.023
		C32	(0.090, 0.126, 0.182)	(0.006, 0.011, 0.021)	0.012
		C33	(0.394, 0.571, 0.809)	(0.025, 0.048, 0.093)	0.055
		C34	(0.053, 0.074, 0.110)	(0.003, 0.006, 0.013)	0.007
C4	(0.154, 0.207, 0.275)	C41	(0.429, 0.628, 0.893)	(0.066, 0.130, 0.246)	0.147
		C42	(0.193, 0.273, 0.401)	(0.030, 0.056, 0.110)	0.065
		C43	(0.072, 0.099, 0.146)	(0.011, 0.020, 0.040)	0.024
C5	(0.051, 0.066, 0.090)	C51	(0.187, 0.284, 0.419)	(0.009, 0.019, 0.038)	0.022
		C52	(0.126, 0.186, 0.284)	(0.006, 0.012, 0.025)	0.015
		C53	(0.270, 0.417, 0.635)	(0.014, 0.028, 0.057)	0.033
		C54	(0.077, 0.113, 0.178)	(0.004, 0.008, 0.016)	0.009
C6	(0.045, 0.059, 0.078)	C61	(0.252, 0.352, 0.493)	(0.011, 0.021, 0.039)	0.024
		C62	(0.107, 0.152, 0.221)	(0.005, 0.009, 0.017)	0.010
		C63	(0.292, 0.427, 0.611)	(0.013, 0.025, 0.048)	0.029
		C64	(0.049, 0.069, 0.105)	(0.002, 0.004, 0.008)	0.005

پس از محاسبه اوزان معیارها و زیر معیارها، نوبت به انجام محاسبات ویکور فازی می‌شود. در ادامه این محاسبات را گام به گام بر اساس توضیحات بخش (۴-۲) ارائه می‌کنیم. ابتدا نظرات ۱۵ خبره بر اساس جدول (۲) و با استفاده از مقیاس‌های زبانی برای تعیین امتیاز گزینه‌ها (پروژه‌های ساخت) بر اساس فاکتورهای ریسک گردآوری شده است. پس از گردآوری نظرات خبرگان، آنها را بر اساس میانگین حسابی تجمیع می‌کنیم. جدول زیر نظرات تجمیع شده خبرگان در مورد امتیاز گزینه‌ها نسبت به معیارها را نشان می‌دهد. پس از تهیه ماتریس تصمیم تجمیع شده فازی، آن را توسط روابط (۶) نرمالایز کرده و سپس توسط رابطه (۲)، این ماتریس را به یک ماتریس تصمیم دفازی (قطعی) تبدیل می‌کنیم. لازم به ذکر است که همه زیرفاکتورهای ریسک به‌جز زیرفاکتور ایمنی کارکنان (C42) از جنس هزینه می‌باشند. ماتریس تصمیم قطعی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۷: ماتریس تصمیم دفازی شده

	C11	C12	C21	C22	C23	C24	C25	C31	C32	C33
A1	0.623	0.586	0.578	0.658	0.715	0.520	0.472	0.535	0.488	0.599
A2	0.573	0.563	0.657	0.581	0.751	0.567	0.232	0.515	0.479	0.588
A3	0.639	0.741	0.610	0.625	0.715	0.375	0.155	0.572	0.563	0.751
A4	0.667	0.720	0.689	0.609	0.751	0.400	0.158	0.702	0.706	0.675
A5	0.741	0.704	0.730	0.731	0.680	0.400	0.184	0.742	0.621	0.707
	C34	C41	C42	C43	C51	C52	C53	C54	C61	C62
A1	0.525	0.478	0.643	0.714	0.745	0.696	0.279	0.310	0.259	0.695
A2	0.568	0.429	0.873	0.673	0.637	0.614	0.282	0.286	0.244	0.632
A3	0.740	0.671	0.873	0.649	0.625	0.609	0.512	0.626	0.607	0.611
A4	0.556	0.526	0.843	0.679	0.660	0.588	0.318	0.344	0.302	0.615
A5	0.688	0.713	0.453	0.786	0.781	0.781	0.609	0.444	0.385	0.753
	C63	C64								
A1	0.616	0.577								
A2	0.702	0.660								
A3	0.871	0.842								
A4	0.748	0.704								
A5	0.568	0.618								

در ادامه راه‌حل ایده ال مثبت و منفی بر اساس روابط (۸) محاسبه می‌شود که در جدول زیر گزارش شده‌اند:

جدول ۸: راه‌حل‌های ایده ال مثبت و منفی در روش ویکور فازی

	C11	C12	C21	C22	C23	C24	C25	C31	C32	C33
راه‌حل ایده ال مثبت	0.741	0.741	0.730	0.731	0.751	0.567	0.472	0.742	0.706	0.751
راه‌حل ایده ال منفی	0.573	0.563	0.578	0.581	0.680	0.375	0.155	0.515	0.479	0.588
	C34	C41	C42	C43	C51	C52	C53	C54	C61	C62
راه‌حل ایده ال مثبت	0.740	0.713	0.873	0.786	0.781	0.781	0.609	0.626	0.607	0.753
راه‌حل ایده ال منفی	0.525	0.429	0.453	0.649	0.625	0.588	0.279	0.286	0.244	0.611
	C63	C64								
راه‌حل ایده ال مثبت	0.708	0.682								
راه‌حل ایده ال منفی	0.435	0.435								

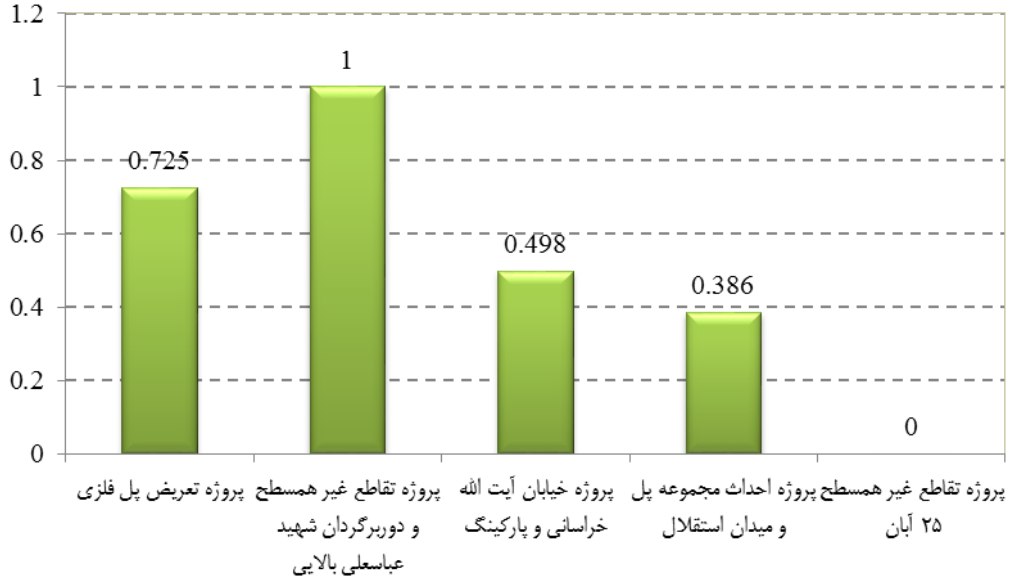
مقادیر S_i ، R_i و Q_i بر اساس روابط (۸) و (۹) محاسبه شده‌اند در جدول (۹) گزارش شده‌اند. همچنین در ستون آخر نیز رتبه گزینه‌ها بر اساس شاخص Q_i محاسبه شده است. برای محاسبه مقادیر Q_i از $v=0.5$ استفاده شده است. مقدار شاخص Q_i برای هریک از پروژه‌های ساخت در شکل (۲) نیز نمایش داده شده است. بر اساس شاخص Q_i، گزینه‌ای که مقدار کمتری داشته باشد، رتبه بهتری را کسب می‌کند. همان‌طور که جدول (۹) نشان می‌دهد مقدار شاخص Q_i برای گزینه A5 برابر 0.000 شده است، بنابراین گزینه پنجم (A5) یعنی پروژه تقاطع غیر هم‌سطح ۲۵ آبان بهترین رتبه را به خود اختصاص داده است. بعد از این گزینه، گزینه چهارم (A4) که پروژه احداث مجموعه پل و میدان استقلال است، رتبه دوم را در بین پروژه‌های راه‌سازی به خود اختصاص داده است. مقدار شاخص Q_i برای این گزینه برای 0.386 است، که بعد از مقدار Q_5 پایین‌ترین مقدار است. با توجه به مقادیر شاخص Q_i می‌توان نتیجه گرفت که گزینه سوم (A3) و گزینه اول (A1) که «پروژه خیابان آیت‌الله خراسانی و پارکینگ» و «پروژه تعریض پل فلزی» می‌باشند به ترتیب رتبه‌های سوم و

چهارم را در بین پروژه‌های راه‌سازی به خود اختصاص داده‌اند. گزینه دوم (A2) یعنی پروژه تقاطع غیر هم‌سطح و دوربرگردان شهید عباسعلی بالایی بدترین رتبه را به خود اختصاص داده است. با توجه به توضیحات ارائه شده، اولویت پروژه‌های راه‌سازی که بر اساس فاکتورهای ریسک به دست آمده است را می‌توان به‌صورت زیر فهرست کرد:

- اولویت اول: پروژه تقاطع غیر هم‌سطح ۲۵ آبان (A5)
- اولویت دوم: پروژه احداث مجموعه پل و میدان استقلال (A4)
- اولویت سوم: پروژه خیابان آیت‌الله خراسانی و پارکینگ (A3)
- اولویت چهارم: پروژه تعریض پل فلزی (A1)
- اولویت پنجم: پروژه تقاطع غیر هم‌سطح و دوربرگردان شهید عباسعلی بالایی (A2)

جدول ۹: نتایج حاصل از اجرای روش ویکور فازی

گزینه‌ها	S_i	R_i	Q_i	رتبه گزینه‌ها	شرح گزینه
A1	0.769	0.200	0.725	4	پروژه تعریض پل فلزی
A2	0.848	0.285	1.000	5	پروژه تقاطع غیر هم‌سطح و دوربرگردان شهید عباسعلی بالایی
A3	0.571	0.174	0.498	3	پروژه خیابان آیت‌الله خراسانی و پارکینگ
A4	0.575	0.126	0.386	2	پروژه احداث مجموعه پل و میدان استقلال
A5	0.240	0.082	0.000	1	پروژه تقاطع غیر هم‌سطح ۲۵ آبان



شکل ۲: نتایج پیاده‌سازی روش ویکور فازی (شاخص *Qi*)

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، از روش یکپارچه فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و روش ویکور فازی برای ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های ساخت بر مبنای فاکتورهای ریسک استفاده شده است. روش یکپارچه فازی پیشنهادشده ناتوانی‌ها را در اندازه‌گیری عدم قطعیت برطرف می‌کند. علاوه بر سادگی و قابلیت درک آسان روش پیشنهادی، سایر مزایای مهم آن عبارت‌اند از: پشتیبانی از ساختار سلسله مراتبی برای

تشریح سیستم‌های پیچیده، لحاظ نمودن اهمیت و وزن معیارها در فرایند ارزیابی و انتخاب پروژه، پشتیبانی از مفهوم فازی (بیان ابهام و عدم قطعیت)، قابلیت رتبه‌بندی (کمک به تصمیم‌گیری بهتر). مدل ارائه شده به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌نماید که تصمیم‌گیری دقیق‌تری انجام دهند و بتوانند بر اولویت‌بندی و انتخاب پروژه‌های که از استراتژی‌های مهم برخی از سازمان‌ها است، مدیریتی صحیح اعمال نمایند. از روش پیشنهادی برای ارزیابی و اولویت‌بندی پنج پروژه ساخت در حوزه راه‌سازی در اصفهان استفاده شده است. از مقایسات زوجی در روش AHP برای تعیین میزان اهمیت معیارها استفاده شده است. سپس با اعمال اوزان به دست آمده بر روی داده‌های پرسشنامه مربوط به روش ویکور فازی، به اولویت‌بندی ۵ پروژه ساخت بر اساس فاکتورهای ریسک پرداخته شد. نتایج به دست آمده توسط روش ویکور فازی نشان می‌دهد که پروژه تقاطع غیر هم‌سطح ۲۵ آبان بهترین رتبه را کسب کرده است و پروژه تقاطع غیر هم‌سطح و دوربرگردان شهید عباسعلی بالایی بدترین رتبه را به خود اختصاص داده است. در پیکره دانش مدیریت پروژه (PMBOK)، ریسک به عواملی گفته می‌شود که تحقق آنها غیرقطعی بوده و تأثیر مثبت یا منفی بر اهداف عملکردی پروژه دارند. در این تحقیق، ریسک‌های مثبت در فرایند ارزیابی پروژه‌های ساخت لحاظ نشده است. به عنوان مثال، زمان تحویل پروژه می‌تواند به‌عنوان یک ریسک مثبت در نظر گرفته شود درصورتی‌که با فشرده‌سازی زمان و هم‌زمانی کارها بتوان پروژه را زودتر از زمان پیش‌بینی‌شده به اتمام رساند. لحاظ کردن ریسک‌های مثبت در فرایند ارزیابی پروژه‌های ساخت یکی از موضوعات جذاب است که برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

منابع

[1] Khazaeni, G., Khanzadi, M., Afshar, A. (2012). Optimum risk allocation model for construction contracts: fuzzy TOPSIS approach. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39(7), 789-800.

[2] KarimiAzari, A., Mousavi, N., Mousavi, S.F., Hosseini, S. (2011). Risk assessment model selection in construction industry. *Expert Systems with Applications*, 38 (8), 9105-9111.

[3] Wang, Y. (2013). Construction Project Risk Assessment. In: Xu J, Yasinzai M, Lev B (eds) Proceedings of the Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management: Focused on Electrical and Information Technology. Springer London, London, pp 839-844.

[4] Project Management Institute, (2004). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Newtown Square, Pa: Project Management Institute.

[5] Flanagan, R., Norman, G. , (1993). Risk Management and Construction. Victoria: Blackwell, Science Pty Ltd, Australia.

[6] Aminbakhsh, S., Gunduz, M., Sonmez, R. (2013), Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*, 46, 99-105.

[7] Winch, G. (2002). Managing Construction Projects: An Information Processing Approach. Wiley.

[8] Tah, J.H.M., Carr, V. (2000). A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic. *Construction Management and Economics*, 18 (4), 491-500.

[9] Nieto-Morote ,A., Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*, 29(2), 220-231.

[10] Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R.M.S., Kabli, M.R., (2014), Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing*, 17, 105–116.

[11] Yazdani-Chamzini, A. (2014). Proposing a new methodology based on fuzzy logic for tunnelling risk assessment. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(1), 82-94.

[12] El-Sayegh, S.M., Mansour, M.H. (2015). Risk Assessment and Allocation in Highway Construction Projects in the UAE. *Journal of Management in Engineering*, 31(6), 15-22.

[13] Samantra, C., Datta, S., Mahapatra, S.S. (2017). Fuzzy based risk assessment module for metropolitan construction project: An empirical study. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, In press, Doi: https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.04.019.

[14] Wang, T., Wang, S., Zhang, L., Huang, Z., Li, Y. (2016). A major infrastructure risk-assessment framework: Application to a cross-sea route project in China. *International Journal of Project Management* 34(7): 1403-1415.

[15] Islam, M. S., M. P. Nepal, M. Skitmore and M. Attarzadeh (2017). "Current research trends and application areas of fuzzy and hybrid methods to the risk assessment of construction projects. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 112-131.

[16] Chau Ngoc, D., Long, L.H., Soo-Yong, K., Chau Van, N., Young-Dai, L., Sun-Ho, L. (2017). Identification of risk patterns in Vietnamese road and bridge construction: Contractor's perspective. *Built Environment Project and Asset Management*, 7(1), 59-72.

[17] Chapman, C.B., Ward, S.C. (2003). Project risk management: Processes, Techniques and Insights, John Wiley, Second edition. UK: Chichester.
[18] Saaty, T.L., Vargas, L.G. (2006). Decision making with the analytic network process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks, New York: Springer.
[19] Leung, L., Lam, K., Cao, D. (2006). Implementing the balanced scorecard using the analytic hierarchy process the analytic network process. *Journal of the Operational Research Society*, 57(6), 682–691.
[20] Tesfamariam, S., Sadiq, R., (2006). Risk-based environmental decision-making using fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP), *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21, 35–50.
[21] Wei, W. W. and Yu, T. L. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert System Application*, 32(2), 499-507.
[22] Wu, H. Y., Tzeng, G. H., Chen, Y. H. (2009). A fuzzy MCDM approach for evaluating banking performance based on Balanced Scorecard, *Expert Systems with Applications*, 36, 10135–10147.
[23] Opricovic, S., and Tzeng, G.H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514–529.
[24] Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., Tarokh M.J. (2011). A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12160-12167.
[25] Hosseini Nia, H., Farrokh, M. (2014). A Vendor Selection Model Based on ANP and VIKOR under Fuzzy Environment. *Global Journal of Management Studies and Researches*, 1(2), 62-72.