

Identification and ranking of tunnel construction of civil project risk (case study Mashhad-Golbahar metro tunnel)

Siamak Gollnargesi^{1*}, Mohammad Bambaeechee²

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran

2- M.Sc. Grad., Department of Civil Engineering, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran

ABSTRACT

Tunnel construction is one of the most complex construction projects and risks are an inseparable part of such projects. Achieving the goals of any construction project with the least deviation requires the correct identification of its risks, which mostly have many negative effects on the project's goals. Furthermore Identification and prioritization of risks is one of the most important steps in risk management. Therefore, the main goal of the current research is to identify and rank the risks of tunnel construction in construction projects with an emphasis on the Mashhad-Golbahar metro tunnel. This research was applied in terms of purpose and descriptive-survey in terms of method. The statistical population of the current research is experts in the field of civil engineering and tunnel construction (including managers, specialists, engineers, consultants, etc.) assuming the conditions that 20 of them are in the CVR department and 25 of them are in the FCM department were chosen as a sample. To analyze the data, Content Validity Ratio (CVR) and Fuzzy Cognitive Map (FCM) technique were used to identify and determine the structure of relationships between risks and determine the degree of effectiveness (Outdegree and Indegree). The results of this study showed that seven factors and 48 risks including Investment, financial and legal factors with 7 risks; Technical management with 11 risks, Human resources factor with 6 risks, Safety management with 8 risks, Geological discoveries with 6 risks, Material factor with 5 risks and Managerial and political factors with 5 risks in the construction and construction of metro tunnels with emphasis on the metro tunnel Mashhad-Golbahar play a role. The Investment, financial and legal factor with a 3.62 outdegree has the most impressive among the factors on the construction of the Mashhad-Golbahar tunnel project. Also, the results of the risks of this factor showed that; The risks of specific project financing methods (land and securities swaps) with an impact coefficient of 3.89 have the highest impact among the risks of this factor.

ARTICLE INFO

Receive Date: 03 May 2025

Revise Date: 25 October 2025

Accept Date: 05 January 2026

Keywords:

Content Validity Ratio (CVR)

Fuzzy Cognitive Map (FCM)

Risks

Risks of metro tunnel construction

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2026.514526.3692>

*Corresponding author: Siamak Gollnargesi

Email address: Gollnargesi_S@khavaran.ac.ir

شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های ساخت تونل در پروژه‌های عمرانی (مطالعه موردی؛ تونل مترو مشهد - گلبهار)

سیامک گل نرگسی^{۱*}، محمد بمبائی‌چی^۲

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران

۲- کارشناسی/ارشد گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران

چکیده

ساخت تونل یکی از پیچیده‌ترین پروژه‌های عمرانی بوده و ریسک‌ها جزء جدایی‌ناپذیر اینگونه پروژه‌ها هستند. دستیابی به اهداف هر پروژه عمرانی با کمترین انحراف، مستلزم شناسایی درست ریسک‌های آن بوده که اکثراً بر روی اهداف پروژه تأثیرات منفی زیادی دارند ضمن اینکه شناسایی و الویت‌بندی ریسک‌ها یکی از مهم‌ترین گام‌های مدیریت ریسک می‌باشد. بنابراین هدف اصلی تحقیق حاضر شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های ساخت تونل در پروژه‌های عمرانی با تأکید بر تونل مترو مشهد - گلبهار است. این تحقیق از حیث هدف، کاربردی و به لحاظ روش از نوع توصیفی - پیمایشی بود. جامعه‌ی آماری پژوهش حاضر خبرگان و صاحب‌نظران حوزه‌ی عمرانی و ساخت و ساز تونل (شامل مدیران، مهندسان، مشاوران و...) با فرض شروطی بوده که تعداد ۲۰ نفر از آنها در بخش CVR و تعداد ۲۵ نفر از آنها در بخش FCM به‌عنوان نمونه انتخاب گردیدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش نسبت روایی محتوایی (CVR) و تکنیک نقشه شناخت فازی (FCM) برای شناسایی و تعیین ساختار روابط بین ریسک‌ها و مشخص نمودن میزان اثرگذاری و اثرپذیری استفاده شده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که هفت عامل و ۴۸ ریسک شامل عامل سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی با ۷ ریسک؛ مدیریت فنی با ۱۱ ریسک، عامل نیروی انسانی با ۶ ریسک، مدیریت ایمنی با ۸ ریسک، اکتشافات زمین‌شناسی با ۶ ریسک، عامل مواد با ۵ ریسک و عامل مدیریتی و سیاسی با ۵ ریسک در ساخت و ساز و احداث تونل‌های مترو نقش دارند. در این میان عامل سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی با درجه برون‌داد ۳/۶۲، دارای بیشترین تأثیرگذاری در بین عوامل مورد مطالعه می‌باشد. نتایج ریسک‌های این عامل نشان داد که؛ ریسک‌های روش‌های خاص تأمین مالی پروژه (تهاتر با زمین و اوراق) با ضریب اثر ۳/۸۹ دارای بالاترین میزان اثرگذاری در بین ریسک‌های این عامل می‌باشند.

کلمات کلیدی: ریسک، ریسک‌های تونل‌سازی مترو، نسبت روایی محتوایی (CVR) و نقشه شناختی فازی (FCM).

سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین
۱۴۰۴/۰۲/۱۳	۱۴۰۴/۰۸/۰۳	۱۴۰۴/۱۰/۱۵	۱۴۰۵/۰۵/۳۱
چاپ	doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2026.514526.3692		
سیامک گل نرگسی		Golnargesi_s@khavaran.ac.ir	
پست الکترونیکی:		نویسنده مسئول:	

۱- مقدمه

با توجه به افزایش شهرنشینی در سراسر جهان، افزایش تراکم جمعیت شهری و تردد جاده‌ای، تعداد زیادی از تونل‌های مترو در مناطق شهری و حتی بین شهری در حال ساخت یا برنامه‌ریزی هستند [۱]. به طور کلی ریسک حاصل عدم اطمینان یا عدم قطعیت در هر عملی است. مخاطرات و عدم قطعیت از عوامل اصلی ریسک هستند [۲]. در واقع سرمایه‌گذاری در پروژه‌ها به شدت تحت تأثیر عوامل ریسک بوده و تصمیم‌گیری جهت تامین مالی با در نظر گرفتن ریسک و مدیریت آن اتخاذ می‌شود. مدیریت ریسک موجب حداقل کردن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی بر اهداف پروژه می‌شود [۳]. ساخت و سازهای زیرزمینی و تونل، به ویژه در مناطقی با کیفیت خاک ضعیف یا منابع آب فراوان، ممکن است منجر به ریزش شدید زمین شود. با توجه به پیامدهای جدی ریزش تونل، لازم است ارزیابی سطح خطر ریزش آن در حین ساخت و ساز، از قبل مورد بررسی و ارزیابی واقع شود [۴]. بنابراین مدیریت درست و به موقع این ریسک‌ها موجب به حداقل رساندن احتمال وقوع یا اثر پیامدهای منفی بر اهداف پروژه می‌گردد [۵]. تاکنون حوادث ایمنی مکرری در پروژه‌های ساخت و ساز تونل‌های بزرگ رخ داده است. در نتیجه توجه به مدیریت ریسک در ساخت تونل‌های پروژه‌های عمرانی در حال افزایش است [۵]. ارزیابی ریسک پروژه تونل‌سازی، در میان سایر پروژه‌های زیربنایی، به دلیل ماهیت پیش‌بینی‌نشده‌اش، بسیار ضروری بوده و از اهمیت بالایی برخوردار است [۶]. به طور کلی تخمین‌های اشتباه در هزینه‌های تمام شده پروژه‌ها، ضرورت وجود مدیریت ریسک را دو چندان می‌کند. شناسایی و الویت‌بندی ریسک‌ها یکی از مهم‌ترین گام‌های مدیریت ریسک می‌باشد که به مدیران پروژه جهت رسیدن به اهداف نهایی پروژه کمک اساسی می‌کند. بنابراین دستیابی به اهداف هر پروژه عمرانی با کمترین انحراف، مستلزم شناسایی درست ریسک‌های آن بوده که از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد.

در این زمینه تاکنون پژوهش‌ها و مطالعات مختلفی انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها پرداخته می‌شود. قراغان آبادی و سرکرده (۱۴۰۴) در پژوهشی به شناسایی و ارزیابی ریسک‌های زنجیره تأمین در پروژه‌های راهسازی پرداخته‌اند. در این پژوهش ضمن شناسایی ریسک‌ها، به بررسی و ارزیابی تعیین میزان اهمیت و خطر هر ریسک پرداخته شده و دلایل اهمیت بالاتر برخی از ریسک‌ها بیان گردیده و در نهایت نیز پیشنهادها و راهکارهایی جهت کاهش خطر آن‌ها ارائه شده است. از جمله مهم‌ترین ریسک‌هایی که در سطح خطر بالایی قرار گرفتند می‌توان به ریسک‌های تغییرات نرخ ارز، تحریم اقتصادی، کمبود مقدار نقدینگی، تأخیر در انجام فعالیت‌ها، حوادث طبیعی، عدم شناخت صحیح و کافی از محل اجرای پروژه و خطا در تعیین نیازهای پروژه اشاره نمود [۷]. ذکایی و همکاران (۱۴۰۳)، در مطالعه‌ای به ارائه یک مدل ارزیابی مخاطرات ایمنی و بهداشت شغلی در فاز ساخت تونل مترو با استفاده از فناوری اینترنت اشیا (IoT)، در خط ۷ مترو تهران پرداختند. نتایج نشان داد، مخاطرات مهم کارگاه از قبیل صدا، کمبود روشنایی و مواجهه با گازهای CO، متان و کمبود اکسیژن تعیین گردید [۸]. اصلانی و همکاران (۱۴۰۱)، در مطالعه‌ای به شناسایی ریسک‌های پروژه تونل مترو و تعیین زمان احتمالی وقوع ریسک پرداختند. در نهایت ۱۰ ریسک برتر و تعیین زمان احتمالی وقوع ریسک، سازمان‌های ایجادکننده ریسک و همچنین سازمان‌های در معرض ریسک معرفی گردید [۹]. شهرکی و مصری (۱۴۰۰)، در پژوهشی به ارزیابی و الویت‌بندی ریسک پروژه‌های عمرانی پرداختند. ریسک‌ها شامل ریسک‌های فنی، مالی و پشتیبانی، اجتماعی، محیطی و اجرا بود. در نهایت پژوهشگران به الویت‌بندی و رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارها پرداختند [۱۰]. احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)، به شناسایی و رتبه‌بندی انواع ریسک در پروژه‌های زیرزمینی پرداختند. پژوهشگران چهار معیار مدیریتی، اقتصادی، آگاهی عوامل فردی و قوانین ایمنی را مورد ارزیابی قرار دادند. محققین پس از رتبه‌بندی پیشنهاداتی جهت کاهش و کنترل ریسک‌ها ارائه دادند [۱۱]. شهرکی و واحدی نژاد (۱۴۰۰)، در یک مطالعه موردی به شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های ساخت تونل سد سیمره پرداختند. محققین به وزن دهی چهار معیار پروژه، شامل هزینه، زمان، کیفیت و عملکرد پرداختند [۱۲]. اکبری و همکاران (۱۳۹۸)، در تحقیقی به ارزیابی ریسک‌های حفاری تونل غربی البرز پرداختند. در این تحقیق، ۱۷ مخاطره محتمل، شناسایی و با روش‌های فازی تاپسیس و الکتراه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند [۱۳]. بیکلری (۱۳۹۶)، در تحقیقی با عنوان ارزیابی و مدیریت ریسک در خط ۲ متروی کرج با استفاده از ساختار پروژه، با توزیع پرسشنامه در میان ذینفعان پروژه به شناسایی ریسک‌های پروژه خط ۲ مترو کرج پرداخت و سپس ریسک‌های شناسایی شده را رتبه‌بندی نمودند [۲].

تانگ و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهشی به بررسی عوامل ریسک در ساخت تونل مترو پرداختند. نتایج این پژوهش به صورت زیر

می باشد: ۱) سیستم مدیریت ایمنی بسیار مهم است که شامل ایجاد آگاهی ایمنی مدیران ناظر، کنترل ایمنی ساخت و ساز پیمانکاران و ایجاد یک مکانیسم بازخورد ایمنی می باشد. ۲) نقص فنی پرسنل ساخت و ساز نیز بخش بزرگی از عوامل ریسک را تشکیل می دهد که شامل طرح های نظارت غیر منطقی، بهره برداری غیر استاندارد از ماشین آلات، تجهیزات ساختمانی غیر استاندارد و استفاده نادرست از تجهیزات توسط پرسنل ساختمانی می باشد. ۳) خرابی تجهیزات ساختمانی نیز یکی از دلایل بروز حوادث است [۱۴]. کوهاتونگسومریت و میتوم (۲۰۲۴)، در مطالعه ای با عنوان تحلیل ریسک در ساخت تونل های زیرزمینی با ماشین های حفاری تونل با استفاده از روش بهترین-بدترین و تحلیل پوششی داده ها، با یک روش ترکیبی به شناسایی و اولویت بندی ریسک ها برای پروژه هایی که از ماشین حفاری تونل (TBM)^۱ استفاده می کنند، پرداخته اند و معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش بهترین - بدترین شناسایی و تعیین وزن شده اند و سپس به کمک روش های عددی تحلیل پوششی داده ها، این ریسک ها رتبه بندی شده اند [۱۵]. سان و همکاران (۲۰۲۴)، به ارزیابی احتمال ریسک ساخت و ساز پروژه های تونل سازی سپری براساس مدل ابری دوبعدی بهبود یافته پرداخته اند. این پژوهش که بر تونل سازی شیلد در سازندهای کارستی تمرکز دارد، یک چارچوب احتمال سنجی مبتنی بر مدل ابری دوبعدی را برای برآورد احتمال وقوع و شدت پیامد ریسک های ژئوتکنیکی معرفی می کند. رویکرد ابری گرچه امکان کمی سازی عدم قطعیت را فراهم می آورند، معمولاً روابط علت و معلولی و شبکه ای بین ریسک ها را به صورت دینامیک نشان نمی دهند [۱۶]. یانگ و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی به شناسایی فاکتورهای ریسک های موثر بر ایمنی ساخت تونل پرداختند. ایشان با بررسی پژوهش های گذشته، ۳۵ فاکتور ریسک تأثیرگذار بر ایمنی ساخت تونل را شناسایی کردند [۱۷]. گوگیت و همکاران (۲۰۲۴)، در تحقیقی به رتبه بندی عوامل خطر در پروژه های تونل هند پرداختند. سپس فهرستی از ۱۶ عامل ریسک مهم را ایجاد کردند. در این تحقیق با توسعه یک تکنیک مبتنی بر فازی، عوامل ریسک مرتبط با پروژه های تونل زنی را شناسایی و اولویت بندی شدند [۱۸]. وانگ و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی به شناسایی ریسک های ایمنی ساخت تونل مترو در ووهان چین پرداختند. ایشان با مرور ادبیات پیشین برای ۶ مرحله ساخت ۲۶ ریسک به عنوان متغیر قابل مشاهده شناسایی کردند [۱۹]. یعقوب و همکاران (۲۰۲۳)، مطالعه ای بر روی خطرات و چالش های خاص مرتبط با ساخت تونل در پروژه (KVMRT)^۲ انجام دادند. نتایج رتبه بندی ریسک برای پنج دسته از عوامل بدین صورت بود: اکتشافات زمین شناسی به عنوان مهم ترین عامل شناسایی شد. پس از آن ریسک های مرتبط با مدیریت فنی، سپس عامل مواد، عامل مدیریت ایمنی و در آخر عامل نیروی انسانی به عنوان ریسک های مهم شناسایی شدند [۲۰]. شفیع حق شناس و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهشی ریسک های پروژه تونل سازی مکانیزه را شناسایی و رتبه کردند. پژوهشگران پس از بررسی شرایط پروژه، ۱۲ ریسک محتمل را در سه گروه اصلی تقسیم بندی کردند. ایشان ۳ گروه اصلی را شامل ریسک های فنی و تصادفی، ریسک های زمین شناسی و ریسک های محاسباتی دانستند. محققین مهم ترین ریسک پروژه را ناپایداری دیواره تونل دانستند [۶]. هوانگ و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهشی به شناسایی ریسک ها از دیدگاه پیمانکاران پرداخته و ریسک های حیاتی پیمانکاران در پروژه های راه آهن زیرزمینی در سنگاپور را مورد بررسی قرار دادند. محققین از دیدگاه پیمانکاران خارجی، مهم ترین عامل اثرگذار بر تخصیص مناسب ریسک را اختلافات فرهنگی و تفاوت در متد اجرایی دانستند. ایشان از دیدگاه پیمانکاران داخلی، تقسیم نامشخص مسئولیت ها را مهم ترین عامل اثرگذار بر تخصیص مناسب ریسک بیان کردند [۲۱].

در مجموع همان طور که مشاهده می شود، در دهه ی اخیر پژوهش ها و مطالعات متنوعی برای شناسایی و ارزیابی ریسک ها در پروژه های راه سازی و ساخت تونل ارائه شده اند که رویکردها و گرایش های روش شناختی متفاوتی داشته اند. خانواده ای از پژوهش ها بر روش های احتمالاتی و شبکه ای نظیر شبکه های بیزی و یا مدلسازی معادلات ساختاری (SEM)^۳ برای کمی سازی و استنتاج احتمال وقوع ریسک ها تمرکز کرده اند، دسته ای دیگر از روش های چندمعیاره نظیر فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۴ یا فازی یا تحلیل پوششی داده ها (DEA)^۵ برای وزن دهی و رتبه بندی استفاده نموده اند و گروهی نیز مدل های ابری و ترکیبی را برای تحلیل عدم قطعیت های کیفی به کار برده اند.

1. Tunnel Boring Machine

2. Klang Valley Mass Rapid Transit

3. Structural Equation Modeling

4. Analytical Hierarchy process

5. Data Envelopment Analysis

بنابراین مرور انتقادی این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که غالباً با چالش‌ها و نقاط ضعف تکرار شونده‌ای مواجه‌اند. در بیشتر این پژوهش‌ها، روش‌های اولویت‌بندی وزن‌ها به صورت مستقل و منفک از روابط علت و معلولی بین ریسک‌ها صورت گرفته است و بنابراین از بازخوردهای متقابل در آنها چشم‌پوشی شده است. مدل‌های احتمالاتی خوب عدم قطعیت را نشان می‌دهند، اما اغلب نیاز به داده‌های آماری غنی دارند که برای پروژه‌های محلی (مثل پروژه‌های راهسازی و بومی در ایران) در دسترس نیستند، و نهایتاً روش‌هایی که عدم قطعیت را مدل می‌کنند (مثل مدل‌های ابری یا فازی) معمولاً ضعف در ارائه یک سازوکار دینامیک و شبیه‌سازی بازخوردها دارند. این نقاط ضعف نشان می‌دهد که برای پروژه‌هایی مثل تونل مترو مشهد-گلبهار یک راهکار ترکیبی که هم اعتبارسنجی ساختاریابی (مثل SEM یا CVR) برای گزینش عوامل و معیارها و هم مدل‌سازی دینامیک علت و معلولی (مانند روش FCM) را دربرگیرد، می‌تواند خلاء پژوهشی و شکاف روش‌شناختی مهمی را پر کند. لذا پژوهش حاضر با پایش و شناسایی ریسک‌های تونل‌سازی با تأکید بر تونل مترو مشهد - گلبهار از طریق تکنیک CVR و سپس مدل‌سازی ساختار علت و معلولی و دینامیک تعاملات بین ریسک‌ها (اثرگذاری و اثرپذیری ریسک‌ها بر یکدیگر) با استفاده از نقشه شناختی فازی (FCM)، شکاف موجود میان وزن‌دهی صرف و تحلیل شبکه‌ای ریسک‌ها را پر می‌کند و ابزار عملی‌تری برای اولویت‌گذاری مداخلات مدیریتی در پروژه‌های تونل مترو شهری فراهم می‌سازد.

در این راستا بر طبق یافته‌های مستخرج از ادبیات و پیشینه تحقیق و مدل‌های ارائه شده در پیشینه تحقیق بالاخص مدلی که توسط یعقوب و همکاران (۲۰۲۳) بیان گردیده و عوامل ریسکی را در پنج دسته؛ (۱) عوامل انسانی، (۲) عوامل مواد، (۳) عامل اکتشافات زمین‌شناسی، (۴) عامل مدیریت فنی و (۵) عامل مدیریت ایمنی قرار می‌دهد و نیز پژوهش شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰) که در قسمت پیشینه توضیح داده شد، علاوه بر عوامل پنج‌گانه مدل یعقوب و همکاران (۲۰۲۳)، به دو عامل ریسک‌های مدیریتی و سیاسی و ریسک‌های سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی که عمدتاً در پروژه‌های داخلی کشور مطرح می‌باشند، توجه گردید. در واقع با بهره‌گیری از مدل‌های فوق و همفکری و مشورت با گروه خبرگان، هفت عامل اصلی برای ریسک‌های ساخت تونل در نظر گرفته شد. در جدول زیر عوامل و زیرعوامل مرتبط با ریسک‌های ساخت تونل پروژه‌های عمرانی با تأکید بر پروژه مترو مشهد - گلبهار ارائه شده و در مقابل هر یک منبع ب آن مشخص گردیده است. بنابراین ریسک‌های شناسایی شده و مستخرج در ساخت تونل‌های پروژه‌های عمرانی، در هفت دسته یا عامل طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۱: ریسک‌های مستخرج و شناسایی شده از مبانی نظری و پیشینه تحقیقات صورت گرفته

ردیف	ریسک شناسایی و استخراج شده	عامل
۱	ریل گذاری نامناسب بیکری (۱۳۹۶) و وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	عامل مدیریت فنی یعقوب و همکاران (۲۰۲۳)
۲	ناپایداری دیواره‌های حفاری و سینه کار اکبری و همکاران (۱۳۹۸)	
۳	برخورد ماشین‌آلات با دیواره‌ها و آسیب به جداره تونل احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۴	لوله کشی و کابل کشی نادرست آب و گاز و مخبرات احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) و بیکری (۱۳۹۶)	
۵	اشتباه در محاسبات و طراحی احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) و بیکری (۱۳۹۶) و وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	
۶	اجرای ناصحیح سیستم عایق و زهکشی احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۷	اجرای نامناسب بتن ریزی و آرماتور بندی و ساخت بتن بیکری (۱۳۹۶) و وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	
۸	عدم اجرای مناسب شاتکریت وانگ و همکاران (۲۰۲۳) و بیکری (۱۳۹۶)	
۹	خطا در حفظ تراز تونل گوگیت و همکاران (۲۰۲۳)	
۱۰	تزیق در محل اشتباه وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	
۱۱	نصب غیراصولی آسانسور و پله برقی بیکری (۱۳۹۶)	
۱۲	انحراف زاویه تونل‌زنی احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) و تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	
۱۳	عدم بازرسی و نظارت کافی در محل احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) و تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	
۱۴	نظارت نامناسب احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) و وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	

ادامه جدول ۱: ریسک‌های مستخرج و شناسایی شده از مبانی نظری و پیشینه تحقیقات صورت گرفته

ردیف	ریسک شناسایی و استخراج شده	عامل
۱۵	عدم وجود تکنولوژی ساخت و ساز پیشرفته یعقوب و همکاران (۲۰۲۳) و تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	عامل مواد یعقوب و همکاران (۲۰۲۳)
۱۶	فرسودگی تجهیزات و امکانات ساخت و ساز احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۱۷	نداشتن سیستم اطفاء حریق بیکلری (۱۳۹۶)	
۱۸	استاندارد نبودن شاتکریت وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	
۱۹	کیفیت پایین مواد و مصالح بکارگرفته شده در پروژه یعقوب و همکاران (۲۰۲۳) و وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	
۲۰	کمبود مواد و مصالح مورد نیاز گوگیت و همکاران (۲۰۲۳)	
۲۱	استاندارد نبودن ضریب ایمنی قالب لاینینگ وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	عامل نیروی انسانی یعقوب و همکاران (۲۰۲۳)
۲۲	عدم آگاهی از موضوعات و استانداردهای ایمنی کار تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	
۲۳	وضعیت جسمی نامناسب پرسنل شهرکی و واحدی نژاد (۱۴۰۰)	
۲۴	عدم وجود افراد با تخصص و تجربه کافی احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) و گوگیت و همکاران (۲۰۲۳)	
۲۵	تصادف و برخورد دستگاه‌ها با نیروی انسانی به علت استقرار نامناسب پرسنل بیکلری (۱۳۹۶)	
۲۶	سقوط کارگران بیکلری (۱۳۹۶) و تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	
۲۷	اشتباهات اپراتورها (نظیر برخورد وسیله با تاسیسات) احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۲۸	برق گرفتگی بیکلری (۱۳۹۶) و تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	
۲۹	بی‌دقتی و کاهلی نیروی انسانی در عدم رعایت موارد ایمنی شهرکی و واحدی نژاد (۱۴۰۰)	عامل مدیریتی و سیاسی شهرکی و واحدی نژاد (۱۴۰۰)
۳۰	عدم توانایی مدیریت در سازمان‌دهی عوامل ساخت و ساز شهرکی و واحدی نژاد (۱۴۰۰)	
۳۱	عدم هماهنگی‌سازی بین واحدهای مختلف وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	
۳۲	عدم مدیریت هرج و مرج در محل تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	
۳۳	برنامه ساخت و ساز فشرده تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	
۳۴	تغییرات مدیریتی جناحی در سطح ملی (نظیر انتخابات ریاست جمهوری) شهرکی و واحدی نژاد (۱۴۰۰)	
۳۵	بی‌نظمی‌ها و اغتشاشات داخلی و خارجی (وقوع جنگ و نزاع مابین کشورها) شهرکی و واحدی نژاد (۱۴۰۰)	
۳۶	بروکراسی‌های اداری زیاد در اعمال برخی تغییرات لازم شهرکی و واحدی نژاد (۱۴۰۰)	
۳۷	تحریم‌های خارجی برای خرید ماشین و پشتیبانی و تأمین قطعات اکبری و همکاران (۱۳۹۸) و احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	عامل مدیریت ایمنی یعقوب و همکاران (۲۰۲۳)
۳۸	سیستم مدیریت ایمنی ناقص تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	
۳۹	عدم توجه لازم به رعایت استانداردها و الزامات محیطی احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۴۰	قرار گرفتن پروژه در مراکز شهری و مکان‌های شلوغ و پرتراфик احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۴۱	استاندارد نبودن ساختمان‌های اطراف پروژه احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۴۲	رعایت ایمنی برای جلوگیری از انفجار و آتش سوزی اکبری و همکاران (۱۳۹۸) و بیکلری (۱۳۹۶)	
۴۳	آسیب به سایر سازه‌های مجاور احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) و گوگیت و همکاران (۲۰۲۳)	
۴۴	تهویه نامناسب هوای داخل تونل بیکلری (۱۳۹۶) وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	
۴۵	تصادف گازهای سمی و قابل انفجار اکبری و همکاران (۱۳۹۸)	
۴۶	دود و سر و صدا و ارتعاش و گرد و غبار احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۴۷	حفاظت ضعیف در محل ساخت و ساز تانگ و همکاران (۲۰۲۴)	

ادامه جدول ۱: ریسک‌های مستخرج و شناسایی شده از مبانی نظری و پیشینه تحقیقات صورت گرفته

ردیف	ریسک شناسایی و استخراج شده	عامل
۴۹	وجود گسل در مسیر تونل بیکری (۱۳۹۶) و اکبری و همکاران (۱۳۹۸)	عامل اکتشافات زمین شناسی يعقوب و همکاران (۲۰۲۳)
۵۰	پدیده‌ی مچاله شوندگی اکبری و همکاران (۱۳۹۸)	
۵۱	پدیده‌ی آماس یا متورم شوندگی اکبری و همکاران (۱۳۹۸)	
۵۲	تغییرات ژئوتکنیکی غیرقابل پیش‌بینی (فرونشست یا ریزش خاک) احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) و گوگیت و همکاران (۲۰۲۳)	
۵۳	ریزش دیواره و سقف تونل بیکری (۱۳۹۶) و احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۵۴	جریان آب زیرزمینی و ورود آب به تونل احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) و اکبری و همکاران (۱۳۹۸) و بیکری (۱۳۹۶) و گوگیت و همکاران (۲۰۲۳)	
۵۵	برخورد با لایه‌های سخت بیکری (۱۳۹۶)	
۵۶	فاصله‌داری درزه‌ها اکبری و همکاران (۱۳۹۸)	
۵۷	حفرات کارستی یا انحلالی اکبری و همکاران (۱۳۹۸)	
۵۸	وجود سنگ نرم در سراسر تراز تونل گوگیت و همکاران (۲۰۲۳)	عامل سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی شهرکی و واحدی نژاد (۱۴۰۰)
۵۹	بلایای بزرگ غیرمنتظره مانند زلزله، رانش زمین، آتشفشان و غیره گوگیت و همکاران (۲۰۲۳) و شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰)	
۶۰	پرداخت نشدن حقوق و دستمزد عادلانه بیکری (۱۳۹۶)	
۶۱	وارد آمدن خسارات به اموال مردم ناشی از کارشکنی‌ها احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۶۲	عدم دقت در برآورد دقیق زمان و هزینه بیکری (۱۳۹۶) و قراغان آبادی و سرکرده (۱۴۰۴)	
۶۳	عدم تعهد به پیش‌پرداخت‌ها در موعد مقرر شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰)	
۶۴	عدم اخذ مجوزها و تاییدیه‌ها قبل از شروع پروژه احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۶۵	عدم وجود قوانین روشن احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)	
۶۶	نوسانات زیاد نرخ ارز و اثرات آن بر هزینه‌های مصالح و تجهیزات شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰) و قراغان آبادی و سرکرده (۱۴۰۴)	
۶۷	طولانی شدن مدت زمان پروژه ناشی از عدم تأمین نقدینگی شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰)	
۶۸	روش‌های خاص تأمین مالی پروژه (تهاتر با زمین و اوراق) شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰)	
۶۹	عدم تأمین مالی پیوسته هزینه‌های پروژه (انجام به‌موقع صورت وضعیت‌ها) بیکری (۱۳۹۶) و قراغان آبادی و سرکرده (۱۴۰۴)	

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود؛ در این تحقیق تعداد ۷ عامل اصلی از مطالعات یعقوب و همکاران (۲۰۲۳) و شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰) شناسایی و استخراج شده‌اند که هر یک دارای تعدادی ریسک یا زیرعامل شناسایی شده از مطالعات و تحقیقات دیگر بوده که در مقابل آن منبع و رفرنس بکارگرفته شده آنها مشخص شده است. در مجموع مدل مفهومی اولیه شامل ۶۹ ریسک بوده که پس از اخذ نظر خبرگان و بکارگیری روش CVR، نهایی خواهند شد و احتمالاً تعدادی از این ریسک‌ها از مدل مفهومی حذف گردیده و سپس در تکنیک FCM بکار گرفته می‌شوند.

بنابراین هر سازمان یا پروژه‌ای باید با شناسایی ریسک‌ها و برنامه‌ریزی درست جهت پاسخ به آنها، با کمترین انحراف به سمت اهداف از پیش تعیین شده حرکت نماید. لذا این تحقیق در پی پاسخ به این سؤال اساسی است که ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی تونل‌سازی چه می‌باشند و هر یک از این ریسک‌های شناسایی و مستخرج شده دارای چه اولویتی هستند. البته برای پاسخ به این سؤال با بررسی و مطالعه موردی ریسک‌های احداث تونل مترو مشهد - گلپه‌ار که یک پروژه ملی بوده و در سطح منطقه‌ای از بزرگترین پروژه‌های تونل‌سازی به حساب می‌آید، به شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های این تونل عظیم پرداخته شده و با بکارگیری تکنیک نقشه‌شناختی فازی (FCM)، ضمن مشخص نمودن میزان اهمیت هر یک در پروژه تونل‌سازی، میزان اثرگذاری و اثرپذیری بر یکدیگر نیز تعیین می‌گردد.

۲- فازی و نقشه شناختی فازی

نقشه شناختی فازی (FCM)^۶ مدل های گرافیکی که از چندین گره تشکیل شده اند و یک روش مبتنی بر دانش نموداری است و متشکل از مفاهیم و روابط علی میان مفاهیم می باشد [۲۲]. در این تحقیق جهت تحلیل داده ها از روش FCM که توسط رودریگوئز رپیسو و همکاران^۷ (۲۰۰۷) [۲۳] معرفی شده، بهره گیری می شود. لازم به ذکر است که نقشه شناختی مدل های گرافیکی علت و معلولی است که اولین بار توسط رونالد اکسلورد^۸ در سال ۱۹۷۶ در حوزه علوم سیاسی ترسیم شد. کوسکو^۹ در سال ۱۹۸۶ برای اولین بار ابزارهای فازی را برای ترسیم این مدل ها مورد استفاده قرار داد و مدل های نقشه شناختی فازی (FCM) را معرفی نمود. نقشه های شناختی فازی روش های ترکیبی هستند که از لحاظ بعضی مفاهیم بین سیستم های فازی و شبکه های عصبی قرار دارند. از این مدل ها برای اولویت بندی و تعیین میزان اثرپذیری و اثرگذاری استفاده می شود [۲۴].

در مطالعه حاضر برای اخذ نظرات مشارکت کنندگان و تکمیل پرسشنامه های نقشه شناختی فازی و سنجش میزان شدت اثرگذاری و اثرپذیری ریسک های شناسایی شده از یک مقیاس پنج درجه ای در طیف لیکرت با گزینه های "خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی کم" بهره گیری شد. البته پس از تکمیل پرسشنامه ها توسط خبرگان مشارکت کننده، امتیازات به دست آمده به اعداد فازی تبدیل گردیدند. بدین منظور برای فازی سازی مقادیر از طیف فازی مثلثی جدول ۲ استفاده شده است [۲۵].

جدول ۲: اعداد فازی مثلثی برای شدت اثرگذاری شاخص ها بر یکدیگر

متغیر زبانی	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
اعداد فازی	(۰/۷۵، ۱، ۱)	(۰/۵، ۰/۷۵، ۱)	(۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵)	(۰، ۰/۲۵، ۰/۵)	(۰، ۰، ۰/۲۵)

در این مرحله می بایست بر اساس فراوانی پاسخ ها، اعداد بدست آمده را به اعداد فازی تبدیل نموده و برای آن ها میانگین فازی را طبق فرمول زیر محاسبه کرد، که در این فرمول n تعداد پاسخ دهندگان می باشد.

$$A^{(i)} = (a_l^{(i)}; a_m^{(i)}; a_u^{(i)}) \quad ; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{و} \quad A_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n (a_l^{(i)}, a_m^{(i)}, a_u^{(i)})}{n} \quad \text{رابطه ۱}$$

مرحله بعد مرحله فازی زدایی می باشد که در این پژوهش از روش میانگین فازی رابطه زیر برای فازی زدایی استفاده شده است.

$$x_{max} = \frac{m_l + 2m_m + m_u}{4} \quad \text{رابطه ۲}$$

سپس مقادیر دی فازی شده در ماتریس نقشه شناختی فازی قرار می گیرند. نقشه ی شناختی فازی یک روش مدل سازی برای سیستم های پیچیده ی تصمیم گیری بوده و رفتار یک سیستم را براساس مفاهیم آن توصیف می کند. هر مفهوم نمایانگر یک هویت، وضعیت، متغیر یا یک خصوصیت سیستم است. نقشه های شناختی فازی در شبیه سازی، مدل سازی استراتژی های سازمانی، حمایت از تدوین مسائل استراتژیک و تجزیه و تحلیل تصمیمات، ایجاد پایگاه های دانش، تشخیص مسائل مدیریتی، تجزیه و تحلیل حالات شکست، مشخصات و الزامات سیستم ها، پشتیبانی از طراحی شهری و تقویت بهره برداری از شبکه به کار برده شده اند [۲۶]. نقشه های شناختی فازی روش های ترکیبی هستند که از لحاظ بعضی مفاهیم بین سیستم های فازی و شبکه های عصبی قرار دارند. آن ها دانش را از حالت نمادین و وضعیت های مرتبط به آن مانند فرایندها، خط مشی ها و رخدادها در حالتی قابل قیاس بیان می کنند [۲۷]. شکل ۱ مثالی از نقشه شناختی فازی را نشان

⁶. Fuzzy Cognitive Maps

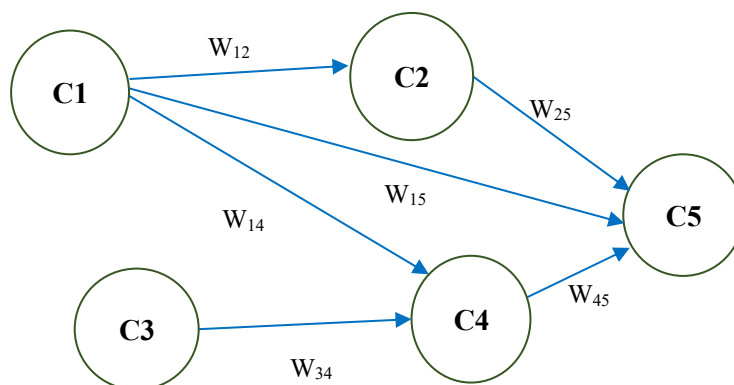
⁷. Rodriguez-Repiso et al.

⁸. Ron Axelrod

⁹. Cusco

می‌دهد.

روابط بین متغیرهای مفهومی، C_i و C_j ، می‌تواند یکی از سه نوع مختلف: مثبت؛ منفی؛ بدون رابطه باشد. ارزش W_{ij} نشان می‌دهد که چقدر متغیر مفهومی C_i بر متغیر مفهومی C_j تأثیر می‌گذارد. بنابراین وجود یک رابطه علی مثبت (منفی) بین دو مفهوم C_i و C_j بدین معنی است که افزایش سطح فعال سازی مفهوم C_i باعث افزایش (کاهش) C_j و همچنین کاهش مفهوم C_i ، کاهش (افزایش) C_j را در پی دارد [۲۸].



شکل ۱: نمونه‌ای از نقشه شناختی فازی

با توجه به نظریه گراف، نقشه‌های شناختی می‌توانند به ماتریس‌های مجاورت در فرم $W = [w_{ij}]$ تبدیل شوند، جایی که متغیرهای C_i در محور عمودی و C_j در محور افقی به شکل یک ماتریس مربع شکل می‌گیرند. هنگامی که یک اتصال بین دو متغیر وجود دارد مقدار آن در ماتریس مربع (بین ۱ و -۱) کدگذاری می‌شود. همچنین این روش با استفاده از نظریه گراف توان تأثیرگذاری، ظرفیت تأثیرپذیری و میزان محوریت هر شاخص را محاسبه می‌کند. توان تأثیرگذاری، مجموع مقادیر مطلق ردیف یک متغیر در ماتریس مجاورت است؛ بطوریکه که N تعداد کل متغیرها باشد، توان تأثیرگذاری یا درجه برون‌داد از رابطه ۳ محاسبه می‌گردد.

$$out(C_i) = \sum_{k=1}^N W_{ik} \quad \text{رابطه ۳}$$

درجه برون‌داد^{۱۰}؛ میزان تأثیرگذاری یک شاخص بر سایر شاخص‌های دیگر را به صورت یک عدد طبیعی بین یک تا ده محاسبه می‌کند. هرچه این مقدار بیشتر باشد، نشان می‌دهد که این عامل در سیستم تأثیر بیشتری در نقشه شناختی مورد بررسی دارد.

همچنین ظرفیت تأثیرپذیری یا درجه درون‌داد مجموع مقادیر مطلق ستون یک متغیر است. این نشان‌دهنده استحکام تجمعی متغیرهایی است که وارد متغیر می‌شوند. در واقع درجه درون‌داد^{۱۱}، میزان تأثیرپذیری یک شاخص از سایر شاخص‌های دیگر بوده که مقدار آن، به صورت یک عدد طبیعی بین یک تا ده محاسبه می‌شود. این شاخص نشان‌دهنده میزان نفوذپذیر بودن عامل است. اگر عاملی تأثیرپذیر باشد، باید پذیرفت که تغییرات آن مرتبط با شاخص‌هایی است که به صورت متغیر مستقل بر آن نفوذ می‌یابند [۲۹]. ظرفیت تأثیرپذیری از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$In(C_i) = \sum_{k=1}^N W_{ki} \quad \text{رابطه ۴}$$

در $In(C_i)$ تعداد یال‌های ورودی گره (C_i) و $Out(C_i)$ تعداد یال‌های خروجی گره (C_i) است. شاخص محوریت از رابطه ۵ به دست می‌آید.

¹⁰. Outdegree

¹¹. Indegree

$$Out(C_i) + In(C_i) = Imp(C_i)$$

رابطه ۵

اندازه‌گیری مقدار محوریت گره مرکزی، میزان اهمیت گره یا مفهوم را در FCM نشان می‌دهد. در واقع فاکتورهای نقشه‌های شناختی فازی بر مبنای اثرگذاری و اثرپذیری در سه دسته فرستنده، گیرنده و عادی قرار می‌گیرند.

فرستنده^{۱۲}: فاکتورهایی که دارای درجه اثرگذاری مثبت ولی اثرپذیری صفر هستند. این فاکتورها روی سیستم تأثیرگذارند ولی سیستم به‌طور مستقیم روی آن‌ها تأثیری ندارد. این فاکتورها به‌عنوان محرک سیستم عمل می‌کنند و به آنها فرستنده می‌گویند.

گیرنده^{۱۳}: برخلاف فاکتورهای فرستنده، اینگونه فاکتورها دارای درجه اثرپذیری مثبت و اثرگذاری صفر هستند.

عادی^{۱۴}: دسته سوم فاکتورها، عادی می‌باشند که دارای اثرگذاری و اثرپذیری مثبت هستند [۲۸].

نقشه شناختی فازی امکان تحلیل بر مبنای اگر، آنگاه ... را فراهم نموده و اجازه می‌دهد هر کسی فکر و احساس خود را در تصویر ریاضی داشته باشد و نتایج را پیش‌بینی نماید. نقشه شناختی فازی روش الگوسازی سیستم‌های پیچیده هستند که منشأ آن منطق فازی و شبکه‌های عصبی بوده و امکان رسیدن و همگرا شدن به یک نقطه و رسیدن به حالت تعادل در آن امکان‌پذیر است. ارزش بکارگیری نقشه شناختی فازی زمانی به‌خوبی درک می‌شود که مدیران می‌توانند تغییرات راهبردی خود را به‌وسیله آن آزمایش کنند و نتایج تغییرات مفاهیم الگو را مشاهده کنند و تحلیل نموده و سناریوهای گوناگون را برای مدیران و کارشناسان طراحی و ارائه دهند [۳۰].

۳- روش پژوهش

از آن‌جا که این مطالعه به دنبال شناسایی و اولویت‌بندی یک سری عوامل کلیدی یا ریسک‌های ساخت تونل در پروژه‌های عمرانی تونل سازی است. لذا نوع این تحقیق از حیث هدف، کاربردی قلمداد می‌شود. همچنین نوع آن از نظر روش، تحقیقی توصیفی - اکتشافی می‌باشد که توسط روش CVR و تکنیک نقشه شناختی فازی (FCM) و با مشارکت افرادی انجام پذیرفته که در موضوع پژوهش دارای دانش و تخصص و نیز نظر کارشناسی در حوزه‌ی عمران و بالاجه تونل‌سازی باشند، این افراد با عنوان خبرگان شناخته می‌شوند. در این راستا محقق برای تشکیل اعضای گروه خبرگان تحقیق حاضر که در واقع جامعه آماری این تحقیق را تشکیل می‌دهند، از متخصصین و خبرگان صاحب‌نظر مختلفی استفاده نمود که دارای حداقل مدرک کارشناسی و ۱۰ سال سابقه کاری در یکی از مراکز علمی - پژوهشی (اساتید رشته‌های عمرانی دانشگاه‌ها، دستگاه‌های اجرایی دولتی و عمومی (شهرداری، سازمان عمران، مسکن و شهرسازی و نظام مهندسی) و مدیران و کارشناسان شرکت‌های بزرگ عمرانی بخش خصوصی در پیمانکاری، مشاوره و نظارت پروژه‌های راه و تونل‌سازی باشند.

به عبارتی اعضای خبرگان این تحقیق شامل سه ضلع مثلث عمرانی شامل مدیران و برنامه‌ریزان دستگاه‌های اجرایی دولتی و عمومی (سرمایه‌گذاران و صاحبان پروژه)، اعضاء هیأت علمی خبره دانشگاهی در حوزه‌های عمرانی راه و ساخت و ساز پل و تونل و ضلع سوم شامل پیمانکاران، مشاورین و ناظرین پروژه‌های عمرانی راه و شهرسازی و تونل‌سازی می‌باشند. (لازم به ذکر می‌باشد که متخصصین و خبرگان صاحب‌نظر در هر دو بخش این تحقیق یعنی بخش CVR و بخش FCM از میان این افراد انتخاب شده‌اند).

در این راستا برای بخش CVR از روش نمونه‌گیری هدفمند بهره‌گیری شده و پژوهشگر ۲۰ نفر از افراد واجد شرایط (متخصص و خبره) را به عنوان اعضای گروه خبرگان برای مدل مفهومی بخش کیفی و پاسخگویی به پرسشنامه CVR انتخاب نمود. در واقع ۲۰ نفر خبره این بخش نسبت به عوامل و ریسک‌های شناسایی شده ساخت تونل در پروژه‌های عمرانی با تأکید بر مترو مشهد - گلبهار که از مبانی نظری و پیشینه تحقیق استخراج شده بود، نظرات و دیدگاه‌های خود را بیان داشتند. در واقع در این بخش ۲۰ نفر افراد خبره شامل ۷ نفر از خبرگان دانشگاهی، ۷ نفر از خبرگان حوزه سرمایه‌گذاری و مدیریتی پروژه و ۶ نفر خبره از پیمانکاران و ناظرین پروژه تونل‌سازی مترو فوق‌الذکر به عنوان اعضای گروه خبرگان به صورت نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند انتخاب شدند که نسبت به مدل مفهومی و پرسشنامه CVR نظرات و دیدگاه‌های خود را اعلام نمودند.

¹². Transmitter

¹³. Receiver

¹⁴. Ordinary

در بخش FCM یا نقشه شناختی فازی، برای انتخاب نمونه آماری جهت تعیین ارتباط بین عوامل و زیرعوامل ریسک‌های ساخت تونل در پروژه مترو مشهد - گلبهار نیز به صورت هدفمند استفاده شده است. حجم نمونه در نمونه‌گیری هدفمند برای گروه‌های همگن ۱ تا ۶ نفر می‌باشد [۳۱]. همچنین با مروری بر حجم نمونه در حوزه تحقیقاتی مشابه به نظر می‌رسد حجم نمونه بین ۴ تا ۳۰ می‌باشد [۳۲]، [۳۳]، [۳۴]. بنابراین در این پژوهش تعداد ۲۵ نفر از خبرگان برای بررسی ارتباط بین عوامل و زیرعوامل ریسک‌های ساخت تونل مترو بر مبنای روش نمونه‌گیری هدفمند، به عنوان نمونه بخش FCM انتخاب شدند.

بعد از مشخص شدن مشخصات و تعداد خبرگان مشارکت‌کننده در این پژوهش، به ارائه روش‌های تحلیل نسبت روایی محتوایی و نقشه شناختی فازی پرداخته می‌شود. در این راستا به منظور تجزیه و تحلیل عوامل و ریسک‌های ساخت تونل مترو مراحل زیر به انجام رسیده است؛ در مرحله اول به منظور شناسایی ریسک‌های کلیدی ساخت تونل، محقق ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای تعدادی عامل پیشنهادی را شناسایی کرده است. سپس به منظور گردآوری نظر خبرگان، پرسشنامه‌ای طراحی و برای نظرسنجی در اختیار تعدادی از خبرگان قرار می‌گیرد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، نسبت روایی محتوایی عوامل با استفاده از فرمول لاوشه محاسبه می‌گردد تا عواملی که نسبت روایی محتوایی قابل قبولی دارند شناسایی شوند و در گام‌های بعد تحقیق مورد استفاده قرار گیرند. در واقع براساس کاوش و استنتاج‌های صورت گرفته از مطالب گردآوری شده در ادبیات و پیشینه تحقیق و سابقه تحقیقات صورت گرفته در داخل و خارج کشور و نیز اخذ نظرات و دیدگاه‌های خبرگان و متخصصین، ریسک‌های اثرگذار بر حفاری تونل‌های پروژه‌های عمرانی و به‌خصوص مترو استخراج گردیده است. که در واقع مدل اولیه مفهومی این تحقیق می‌باشد.

همچنین استفاده از تکنیک‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره در اغلب پژوهش‌های گذشته وجود دارد و ریسک‌های ساخت تونل در سراسر دنیا با استفاده از روش‌های مختلفی شناسایی و رتبه‌بندی شده‌اند. لیکن تاکنون پژوهشی با استفاده از روش نقشه شناختی فازی (FCM) جهت ریسک‌های پروژه‌های زیرزمینی و بطور خاص پروژه تونل مشهد - گلبهار صورت نگرفته است. ضمن اینکه خروجی تحقیق یک مدل منحصربفرد برای یک پروژه خاص می‌باشد. بنابراین با مرور ادبیات و پیشینه تحقیق و بالاخص جمع‌بندی‌های صورت گرفته در جدول ۱، برای ریسک‌های این تحقیق از مدل ارائه شده توسط یعقوب و همکاران (۲۰۲۳) [۲۰] شامل پنج دسته عوامل ریسکی به شرح: (۱) عوامل نیروی انسانی، (۲) عوامل مواد، (۳) عوامل اکتشافات زمین شناسی، (۴) عامل مدیریت فنی و (۵) عامل مدیریت ایمنی بهره‌گیری می‌شود که بیشترین همخوانی و شباهت را با پروژه تونل‌سازی مشهد - گلبهار دارد. هرچند که برای تکمیل عوامل پنج‌گانه شناسایی شده یعقوب و همکاران (۲۰۲۳) [۲۰]، از یک دسته‌بندی بومی شده توسط شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰) [۱۲] نیز با همفکری و مشورت گروه خبرگان بهره‌گیری شد که علاوه بر عوامل پنج‌گانه مدل یعقوب و همکاران (۲۰۲۳) [۲۰]، به دو عامل ریسک‌های مدیریتی و سیاسی و ریسک‌های سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی که عمده‌تاً در پروژه‌های داخلی کشور مطرح می‌باشند، نیز اشاره گردیده است.

بنابراین ریسک‌های شناسایی شده و مستخرج در ساخت تونل‌های پروژه‌های عمرانی، طبق آنچه در فوق توضیح داده شد، در هفت دسته یا عامل طبقه‌بندی شده‌اند. لازم به ذکر است که از این مدل مفهومی که توسط روش CVR تهیه و تبیین می‌شود؛ برای دستیابی و پاسخگویی به اهداف این پژوهش بهره‌گیری خواهد شد و مشخص می‌شود که ریسک‌های ساخت تونل در پروژه‌های عمرانی (با تأکید بر مترو مشهد - گلبهار) کدام هستند.

نسبت روایی محتوایی (CVR) روشی برای سنجش روایی ابزار تحقیق می‌باشد. روایی ابزار تحقیق یا پرسشنامه به این سؤال پاسخ می‌دهد که ابزار اندازه‌گیری تا چه حد خصیصه مورد نظر را می‌سنجد. بدون آگاهی از اعتبار ابزار اندازه‌گیری نمی‌توان به دقت داده‌های حاصل از آن اطمینان داشت [۳۵]. یکی از روش‌های کاربردی جهت سنجش اعتبار محتوا، نسبت روایی محتوایی (CVR) می‌باشد که توسط لاوشه (۱۹۷۵) طراحی شده است. این روش اساساً برای سنجش توافق نظرات ارزیابان یا داوران در مورد اینکه یک آیتم خاص به چه میزان ضرورت دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت محاسبه این نسبت از نظرات کارشناسان متخصص در زمینه محتوای آزمون مورد نظر استفاده می‌شود. ابتدا هدف آزمون برای خبرگان توضیح داده می‌شود و تعاریف عملیاتی مربوط به محتوای سوالات بیان می‌شود. سپس از آنها تقاضا می‌شود تا هریک از سوالات را براساس طیف سه گزینه‌ای (ضروری - مفید ولی غیرضروری - غیرضروری) مشخص نمایند. پس از گردآوری دیدگاه خبرگان نسبت روایی محتوایی با استفاده از فرمول لاوشه محاسبه می‌شود. تکنیک CVR مقادیری بین ۱+ تا ۱- به دست می‌دهد، به طوری که

مقادیر مثبت نشان می‌دهد که حداقل نیمی از خبرگان آیتم مورد نظر را ضروری شناخته‌اند. همچنین لاوשה مقادیر براساس تعداد خبرگان، مقادیر بحرانی برای CVR را ارائه کرده است که بر مبنای آن می‌توان در رابطه با قابل قبول بودن نسبت‌های روایی محتوایی تصمیم‌گیری نمود. این مقادیر در جدول زیر ارائه گردیده است [۳۶].

جدول ۳: حداقل مقدار CVR قابل قبول براساس تعداد خبرگان

تعداد خبرگان	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۵	۲۰	۳۰
مقدار CVR	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۴۲	۰/۳۳

بر مبنای توضیحات فوق و مقادیر بحرانی گزارش شده در جدول فوق، با بکارگیری تکنیک CVR و مطالعات کتابخانه‌ای و پیشینه پژوهش از بین ۶۸ ریسک شناسایی شده تعداد ۴۸ ریسک به عنوان ریسک‌های نهایی احداث تونل مترو انتخاب شدند (در بخش بعدی و یافته‌های تحقیق توضیحات بیشتری در این رابطه ارائه شده است) که این ریسک‌ها در پرسشنامه طراحی شده توسط خبرگان مورد سنجش قرار گرفت که درصد میانگین این نظرات درباره میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری شاخص‌ها وارد ماتریس نرم افزار FCMapper شد و نرم افزار براساس درصد میانگین نظر خبرگان درجه محوری، درجه درونداد و درجه برونداد را در نقشه شناخت فازی محاسبه نمود و در نهایت این یافته‌ها در نرم‌افزار Pajek قرار داده شده و نمودار نگاشت روابط فازی علی و معمولی رسم گردید.

۴- ارائه و تحلیل نتایج

در ابتدا برای آشنایی با اعضای گروه خبرگان و ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آنان، شمایی از این گروه معرفی و توصیف می‌شود. همان‌طور که در بخش قبل بیان شد در بخش CVR تعداد ۲۰ نفر خبره و متخصص دانشگاهی و اجرایی با فرض شروطن مشارکت داشته‌اند که در واقع گروه خبرگان این تحقیق را تشکیل داده‌اند. ویژگی‌های این افراد بشرح جدول ذیل مشاهده می‌گردد.

جدول ۴: ویژگی‌های جمعیتی خبرگان پرسشنامه CVR

مؤلفه	ویژگی	فراوانی	درصد
جنسیت	مرد	۱۷	۸۵
	زن	۳	۱۵
مقطع تحصیلی	لیسانس	۴	۲۰
	فوق لیسانس	۷	۳۵
	دکتری	۹	۴۵
وضعیت اشتغال	عضو هیات علمی	۷	۳۵
	مدیر متخصص	۱۳	۶۵

اما همان‌طور که بیان شد در پرسشنامه CVR، عوامل اصلی و زیرعوامل شناسایی شده در رابطه با ریسک‌های ساخت و احداث تونل مترو که از مبانی نظری و پیشینه تحقیق استخراج و شناسایی شده بود، در اختیار گروه خبرگان قرار داده شد تا نظر خود را پیرامون میزان ضرورت هر یک از آنها ارائه دهند. در واقع در این مرحله از تحقیق، میزان ضرورت و اولییتی که هر یک از عوامل و ریسک‌های شناسایی شده در ساخت و احداث تونل مترو از دیدگاه اعضای گروه خبرگان دارند، مشخص گردید.

مقادیر نسبت روایی محتوایی محاسبه شده که از دیدگاه و نظرات ۲۰ نفر خبره و متخصص فوق‌الذکر به دست آمد حاکی از آن بود که مقادیر CVR به‌دست آمده با مقدار مرجع ذکر شده در جدول ۱ حاکی از آن بوده که اکثر عوامل و ریسک‌های شناسایی شده حداقل روایی لازم (۰/۴۲) را برای مرحله‌ی بعدی تحقیق و ورود به بخش نقشه‌شناختی فازی (FCM) دارند. در واقع عواملی و ریسک‌هایی که با نسبت روایی محتوایی بیش از ۰/۴۲ به‌عنوان ریسک‌های نهایی این تحقیق شناسایی می‌گردند. از مجموع ۷ عامل و ۶۸ ریسک شناسایی شده اولیه انتخاب می‌شوند. برای مثال از ۲۰ نفر خبره مشارکت‌کننده و پاسخگو به پرسشنامه CVR ، همه ۲۰ نفر گزینه «ضروری» را برای عامل مدیریت فنی انتخاب نموده بودند که بنابراین مقدار CVR محاسبه شده برای این عامل برابر با ۱ به‌دست آمد. اما برای عامل نیروی انسانی تعداد ۱۶ نفر خبره گزینه «ضروری» و تعداد ۴ نفر گزینه «مفید ولی غیرضروری» را انتخاب نموده بودند، بنابراین مقدار CVR محاسبه شده برای این عامل برابر با ۰/۶ مشاهده گردید که بازهم از مقدار بحرانی ۰/۴۲ لاوشر بزرگتر بود و بنابراین این عامل نیز ضرورت لازم برای ادامه کار و طرح در تکنیک FCM را داشت. ولی مثلاً برای ریسک استاندارد نبودن شاکریت، از بین ۲۰ نفر خبره پاسخگو، تعداد ۱۱ نفر گزینه «ضروری» و تعداد ۹ نفر گزینه «مفید و غیرضروری» را انتخاب نموده بودند که مقدار CVR این ریسک برابر با ۰/۱ به‌دست آمده و چون این مقدار از حد لاوشر که برابر با ۰/۴۲ می‌باشد، کوچکتر است، این ریسک به مرحله بعدی راه نیافت و حذف گردید. به‌طور کلی در نهایت تعداد ۴۸ ریسک در قالب ۷ عامل حداقل روایی لازم را کسب نمودند و به مرحله نقشه‌شناختی فازی راه یافتند. ریسک‌های نهایی شده در جدول ۶ و ۷ قابل مشاهده است.

همان‌طور که در روش پژوهش نیز ذکر گردید، پس از استخراج و شناسایی ریسک‌های شناسایی شده برای ساخت تونل مترو؛ در این مرحله از تحقیق با استفاده از تکنیک FCM به بررسی ارتباط عوامل کلیدی و زیرعوامل هر یک از آنها پرداخته می‌شود. به منظور گردآوری داده‌های مورد نیاز، بر اساس نتایج حاصل از مرحله‌ی اول تحقیق، از پرسشنامه‌ی شدت اثر استفاده شده و ۲۵ نفر از مدیران و متخصصین خبره احداث تونل مترو به آن پاسخ داده‌اند. در واقع در گام اول FCM نظرات ۲۵ نفر از مدیران و خبرگان متخصص در ساخت و ساز تونل مترو جمع‌آوری شده و با استفاده از روابط موجود و نرم‌افزار FCM Mapper، نظرات و دیدگاه‌های آنان ثبت شدند. در مرحله بعد میانگین نظرات مدیران و متخصصین خبره در بخش FCM برای شدت اثر هر یک از عوامل هفت‌گانه، بعد از تبدیل شدن به سه عدد فازی (l و m و u) بدست آمد. در واقع عبارات کلامی «خیلی کم» تا «خیلی زیاد» اعضای گروه متخصصین خبره به مقادیر فازی تبدیل شده‌اند که شدت اثر هر عامل سطری بر عامل ستونی را نشان می‌دهد.

سپس با استفاده از فرمول میانگین ارائه شده در بخش قبل ماتریس دی فازی شده و نرمال بدست آمده که این ماتریس نشان‌دهنده تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بین عوامل می‌باشد که در ادامه و با استفاده از مفاهیم معرفی شده و نیز با بکارگیری نرم افزار FCM Mapper مقادیر این شاخص‌ها و درجه محوریت محاسبه و گزارش می‌شود. البته قبل از آن نیاز بوده که اطلاعات کلی مدل بررسی شود. در این راستا در جدول ۵ ابتدا اطلاعات کلی مدل گزارش می‌شود و سپس معیارهای درجه محوریت و میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری برای عوامل هفت‌گانه مورد مطالعه محاسبه شده در جدول ۶ ارائه می‌گردد.

جدول ۵: اطلاعات کلی مدل ریسک‌های احداث تونل مترو

دانشپته	تعداد کل عوامل	تعداد کل اتصالات	تعداد متغیرهای فرستنده	تعداد متغیرهای گیرنده	تعداد متغیرهای عادی	تعداد عوامل بدون ارتباط
۰/۸۵۷	۷	۴۲	۰	۰	۷	۰

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد، براساس یافته‌های FCM Mapper مدل حاضر از ۷ عامل اصلی تشکیل شده که دارای ۴۲ ارتباط خطی مستقیم بین گره‌های این مدل وجود دارد. با توجه به تعاریف متغیرهای فرستنده، گیرنده و عادی در بخش قبل، نتایج این جدول نشان می‌دهد که کلیه‌ی عوامل هفت‌گانه اصلی و همچنین ۴۸ ریسک شناسایی شده دارای درجه اثرپذیری و اثرگذاری مثبت بوده و از نوع متغیر عادی هستند. حال در ادامه درجه محوریت و میزان تأثیرپذیری (درونداد) و تأثیرگذاری (برونداد) هر یک از عوامل شناسایی شده ریسک احداث تونل مترو با تأکید بر تونل مترو مشهد - گلپه‌ار، با استفاده از نرم‌افزار FCM Mapper در جدول زیر گزارش می‌شود.

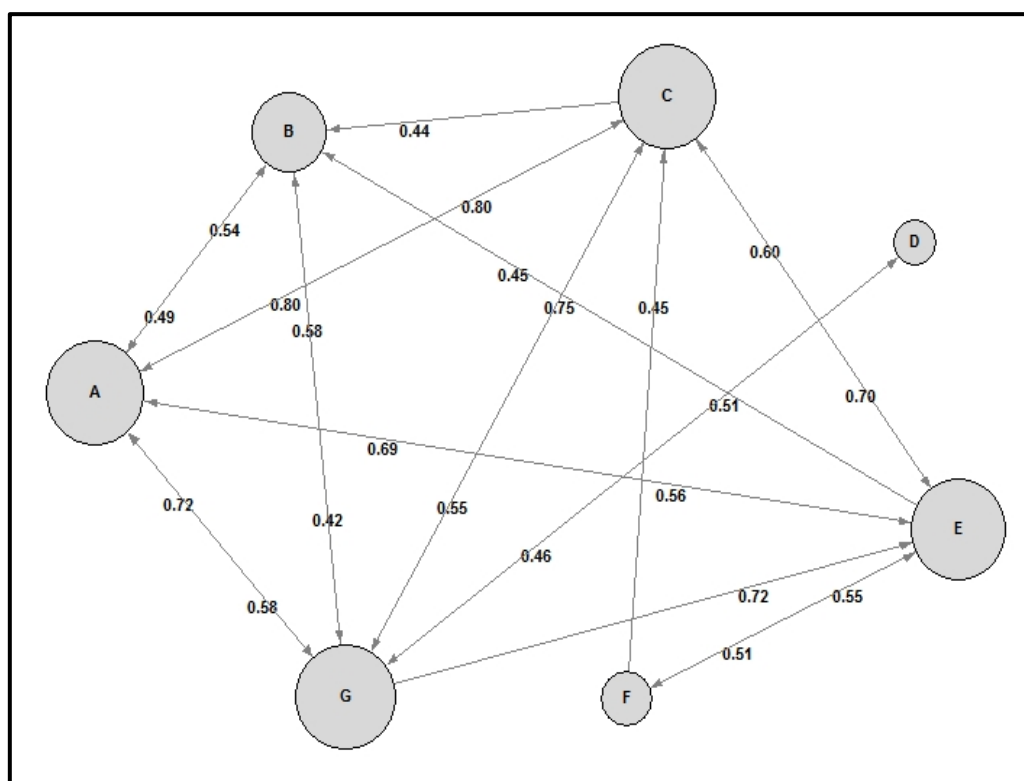
جدول ۶: مرکزیت شاخص های عوامل ریسکی (میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری و محوریت)

عامل	نماد عامل	درون داد (تأثیرپذیری)	Outdegree درجه برونداد (تأثیرگذاری)	Centrality درجه محوریت	رتبه
مدیریت فنی	A	۳/۱۰	۳/۲۳	۶/۳۲	۲
مواد	B	۲/۶۴	۱/۸۵	۴/۴۹	۵
نیروی انسانی	C	۳/۲۰	۳/۱۳	۶/۳۳	۱
مدیریتی و سیاسی	D	۱/۶۸	۱/۶۶	۳/۳۴	۷
مدیریت ایمنی	E	۳/۱۳	۲/۷۸	۵/۹۰	۴
اکتشافات زمین شناسی	F	۱/۹۲	۲/۰۸	۴/۰۰	۶
سرمایه گذاری، مالی و حقوقی	G	۲/۶۹	۳/۶۲	۶/۳۰	۳

همان طور که در جدول ۶ مشاهده می گردد، از دیدگاه گروه متخصصین و کارشناسان احداث تونل مشهد - گلبهار عامل نیروی انسانی با درجه محوریت ۶/۳۳ دارای اولویت اول در بین عوامل هفت گانه مورد مطالعه می باشد که باید بیشترین توجه و برنامه ریزی برای کاهش ریسک بر روی این عامل صورت پذیرد. همچنین عامل نیروی انسانی با مقدار ۳/۲۰ دارای بیشترین تأثیر پذیری در بین عوامل هفت گانه مورد مطالعه می باشد. عامل سرمایه گذاری، مالی و حقوقی نیز با درجه برونداد ۳/۶۲، دارای بیشترین تأثیر گذاری بر سایر عوامل هفت گانه می باشد. به بیان دیگر عامل سرمایه گذاری، مالی و حقوقی بر سایر عوامل نظیر عامل فنی، عامل نیروی انسانی، عامل ایمنی، عامل مواد و... بیشترین اثرگذاری را دارد و با بهبود این عامل می توان بطور قابل توجهی سایر عوامل را بهبود بخشید.

در نتیجه باید بیشترین توجه و برنامه ریزی برای کاهش ریسک در پروژه های ساخت تونل مترو بر روی عامل سرمایه گذاری، مالی و حقوقی صورت پذیرد. در ادامه با کمک نمودار رسم شده و تحلیل گره های آن، وضعیت هر عامل به تفکیک میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مورد بررسی و تحلیل قرار می گیرند. اما با استفاده از خروجی نرم افزار FCMapper نقشه شناختی فازی در نرم افزار Pajek رسم گردید. گراف مورد نظر که نشان دهنده روابط علی و معلولی بین عوامل و همچنین وزن های هر عامل بر عوامل دیگر است در شکل ۲ نمایش داده شده است.

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود، میزان اثرگذاری و اثرپذیری هر عامل بر روی فلش ها مشخص شده است. درواقع فلش های خارج شده از هر عامل، نشان دهنده میزان تأثیرگذاری این عامل بر عوامل دیگر می باشد و فلش های وارد شده به هر عامل نیز میزان تأثیرپذیری آن عامل از سایر عوامل را نشان می دهد. بعنوان مثال عامل سرمایه گذاری، مالی و حقوقی (G)، بر تمام عوامل به جز عامل اکتشافات زمین شناسی (F)، اثرگذار است و بیشترین اثرگذاری آن بر عامل نیروی انسانی (C) با درجه اثرگذاری ۰/۷۵ می باشد. نکته دیگر قابل مشاهده بر روی این نمودار نقشه نگاشتی فازی روابط علی و معلولی است. برای مثال عامل C که بیشترین نقش را داشته و بزرگترین دایره را در گراف به خود اختصاص داده است، از عوامل A، E، F و G ورودی داشته و اثر می پذیرد و سایر عوامل بر روی آن نقشی ندارند. به عبارت دیگر عامل نیروی انسانی در مدل فقط از عوامل مدیریت فنی، مدیریت ایمنی، اکتشافات زمین شناسی و نهایتاً عامل سرمایه گذاری، مالی و حقوقی اثر می پذیرد و سایر عوامل مانند مواد بر روی این عامل نقش معنی داری ندارند. همچنین در مقابل عامل C فقط بر روی عوامل A، B، G و E اثر می گذارد و بر روی سایر عوامل مانند D که عامل مواد است اثر معنی داری ندارد. بنابراین عامل نیروی انسانی نه از عامل مواد اثرپذیر است و نه بر عامل مواد اثرگذار است. سایر روابط به خوبی از روی این گراف و روابط بین گره های آن قابل تحلیل و تفسیر است.



شکل ۲: نگاشت روابط فازی علی و معلولی عوامل ریسکی هفت‌گانه در شبکه FCM

در راستای تعیین میزان اهمیت و اولویت‌بندی عوامل شناسایی شده، از تکنیک نقشه شناختی فازی استفاده گردید و میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری و محوریت هر یک از زیرعوامل نیز بررسی شد. در جدول زیر براساس میزان تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و محوریت، عوامل و زیرعوامل رتبه‌بندی شده‌اند.

جدول ۷: رتبه‌بندی ریسک‌های کلیدی و با اهمیت ساخت تونل بر اساس تأثیرگذاری و تأثیرپذیری و محوریت

رتبه	Centralty محوریت	Indegree تأثیرپذیری	Outdegree تأثیرگذاری	زیرعامل (ریسک)	عامل	رتبه
۳	۷/۴۳	۳/۵۴	۳/۸۹	روش‌های خاص تأمین مالی پروژه (تهاتر با زمین و اوراق)	سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی	۱
۲	۷/۵۲	۳/۸۱	۳/۷۱	عدم تأمین مالی پیوسته هزینه‌های پروژه (انجام به‌موقع صورت وضعیت‌ها)		
۵	۵/۹۸	۲/۳۴	۳/۶۴	نوسانات زیاد نرخ ارز و اثرات آن بر هزینه‌های مصالح و تجهیزات		
۱	۷/۸۷	۴/۴۳	۳/۴۴	طولانی شدن مدت زمان پروژه ناشی از عدم تأمین نقدینگی		
۶	۵/۴۸	۲/۲۹	۳/۱۹	عدم دقت در برآورد دقیق زمان و هزینه		
۷	۴/۳۵	۱/۹۲	۲/۴۳	عدم اخذ مجوزها و تاییدیه‌ها قبل از شروع پروژه		
۴	۶/۰۹	۴/۰۴	۲/۰۵	پرداخت نشدن حقوق و دستمزد عادلانه		
۲	۷/۴۳	۱/۶۲	۵/۸۱	نظارت و بازرسی نامناسب	مدیریت فنی	۲
۱	۸/۶۶	۴/۱۹	۴/۴۷	ناپایداری دیواره‌های حفاری و سینه کار		
۵	۶/۰۴	۲/۳۴	۳/۷۰	اشتباه در محاسبات و طراحی		
۸	۵/۳۲	۲/۳۵	۲/۹۸	برخورد ماشین‌آلات با دیواره‌ها و آسیب به جداره تونل		
۷	۵/۵۹	۲/۷۴	۲/۸۵	ریل‌گذاری نامناسب قالب لاینینگ		
۶	۵/۸۴	۳/۰۲	۲/۸۲	عدم اجرای مناسب شاتکریت		
۹	۵/۲۱	۲/۸۱	۲/۴۰	اجرای نامناسب بتن‌ریزی و آرماتوربندی و ساخت بتن		
۱۱	۴/۱۸	۱/۹۹	۲/۱۹	تزریق در محل اشتباه		
۱۰	۴/۷۸	۲/۷۵	۲/۰۳	اجرای ناصحیح سیستم عایق و زهکشی		
۴	۶/۸۰	۴/۷۳	۲/۰۸	انحراف زاویه تونل زنی		
۳	۶/۸۴	۴/۸۲	۲/۰۳	خطا در حفظ تراز تونل		
۳	۵/۲۰	۱/۴۹	۳/۷۲	عدم وجود افراد با تخصص و تجربه کافی	نیروی انسانی	۳
۱	۵/۷۱	۲/۰۶	۳/۶۶	عدم آگاهی از موضوعات و استانداردهای ایمنی کار		
۵	۴/۸۴	۱/۵۶	۳/۲۹	بی‌دقتی و کاهلی نیروی انسانی در عدم رعایت موارد ایمنی		
۲	۵/۳۶	۲/۸۸	۲/۴۹	اشتباهات اپراتورها (نظیر برخورد وسیله با تاسیسات)		
۴	۴/۹۴	۳/۴۲	۱/۵۳	تصادف و برخورد دستگاه‌ها با نیروی انسانی به‌علت استقرار نامناسب پرسنل		
۶	۴/۲۹	۳/۷۹	۰/۵۰	سقوط کارگران		
۲	۸/۴۹	۳/۴۹	۵/۰۰	سیستم مدیریت ایمنی ناقص	مدیریت ایمنی	۴
۱	۹/۰۲	۴/۵۷	۴/۴۵	مدیریت اضطراری ناکافی		
۳	۷/۹۸	۳/۵۳	۴/۴۵	عدم توجه لازم به رعایت استانداردها و الزامات محیطی		
۴	۷/۷۳	۳/۹۹	۳/۷۴	تصادف گازهای سمی و قابل انفجار		
۵	۷/۴۸	۳/۹۹	۳/۴۹	تهویه نامناسب هوای داخل تونل		
۷	۶/۹۶	۳/۷۷	۳/۱۹	رعایت ایمنی برای جلوگیری از انفجار و آتش‌سوزی		
۸	۶/۵۰	۳/۲۲	۳/۲۸	حفاظت ضعیف در محل ساخت و ساز		
۶	۷/۱۳	۴/۰۹	۳/۰۴	دود و سر و صدا و ارتعاش و گرد و غبار		
۲	۳/۸۹	۰/۵۸	۳/۳۰	بلایای بزرگ غیرمنتظره مانند زلزله، رانش زمین، آتشفشان و غیره	اکتشافات زمین‌شناسی	۵
۱	۴/۱۶	۲/۰۶	۲/۱۱	تغییرات ژئوتکنیکی غیرقابل پیش‌بینی (فرونشست یا ریزش خاک)		
۳	۳/۶۹	۱/۹۸	۱/۷۲	پدیده‌ی مجاله شوندگی		
۵	۲/۳۳	۱/۲۶	۱/۰۷	پدیده‌ی آماس یا متورم شوندگی		
۴	۳/۳۵	۲/۴۳	۰/۹۲	ریزش دیواره و سقف تونل		
۶	۲/۱۱	۱/۴۶	۰/۶۵	جریان آب زیرزمینی و ورود آب به تونل		
۱	۴/۲۳	۱/۹۸	۲/۲۶	عدم وجود تکنولوژی ساخت و ساز پیشرفته	مواد	۶
۴	۳/۲۳	۱/۳۶	۱/۸۷	کیفیت پایین مواد و مصالح بکارگرفته شده در پروژه		
۲	۳/۹۲	۲/۱۶	۱/۷۶	فرسودگی تجهیزات و امکانات ساخت و ساز		
۳	۳/۷۱	۱/۹۹	۱/۷۲	استاندارد نبودن ضریب ایمنی قالب لاینینگ		
۵	۲/۴۵	۱/۲۹	۱/۱۶	کمبود مواد و مصالح مورد نیاز		
۲	۳/۸۵	۱/۱۸	۲/۶۷	تغییرات مدیریتی جناحی در سطح ملی (نظیر انتخابات ریاست جمهوری)	مدیریتی و سیاسی	۷
۴	۳/۷۱	۱/۷۲	۲/۰۰	تحریم‌های خارجی برای خرید ماشین و پشتیبانی و تأمین قطعات		
۱	۳/۹۸	۲/۲۴	۱/۷۴	عدم هماهنگی‌سازی بین واحدهای مختلف		
۵	۳/۵۱	۱/۹۶	۱/۵۵	بروکراسی‌های اداری زیاد در اعمال برخی تغییرات لازم		
۳	۳/۷۳	۲/۲۹	۱/۴۳	عدم توانایی مدیریت در سازمان‌دهی عوامل ساخت و ساز		

نتایج حاصل نشان می‌دهد که بر اساس میزان تأثیرگذاری در میان عوامل کلیدی، عامل سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی با درجه برون‌داد یا اثرگذاری $3/62$ رتبه اول، عامل مدیریت فنی با درجه برون‌داد $3/23$ رتبه دوم، عامل نیروی انسانی با درجه برون‌داد یا میزان تأثیرگذاری $3/13$ رتبه سوم، عامل مدیریت ایمنی با درجه برون‌داد $2/78$ رتبه چهارم، عامل اکتشافات زمین‌شناسی با درجه برون‌داد $2/08$ رتبه پنجم، عامل مواد با میزان اثرگذاری $1/85$ رتبه ششم و عامل مدیریتی و سیاسی با درجه برون‌داد $1/66$ رتبه هفتم را کسب کرده است. و بر اساس میزان تأثیر پذیری در میان عوامل کلیدی، بدین صورت می‌باشد: عامل نیروی انسانی با درجه درون‌داد $3/20$ رتبه اول، عامل مدیریت ایمنی با درجه درون‌داد $3/13$ رتبه دوم، عامل مدیریت فنی با درجه درون‌داد $3/10$ رتبه سوم، عامل سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی با درجه درون‌داد $2/69$ رتبه چهارم، عامل مواد با درجه درون‌داد $2/64$ رتبه پنجم، عامل اکتشافات زمین‌شناسی با درجه درون‌داد $1/92$ رتبه ششم و عامل مدیریتی و سیاسی با درجه درون‌داد $1/66$ رتبه هفتم را کسب کرده است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

براساس کنکاش و استنتاج‌های صورت‌گرفته در مبانی و ادبیات نظری و مرور پیشینه و سابقه انجام تحقیق در گذشته، مشخص گردید که در غالب پژوهش‌های انجام شده توجه کافی به تعاملات علت و معلولی نشده و اکثر مطالعات فقط فهرست یا وزن‌دهی ریسک‌ها را گزارش نموده‌اند؛ اما در پروژه‌های تونلی پیچیده، رفتار سیستم محصول تعاملات متقابل است. ادغام روش CVR برای حذف ریسک‌های کم‌اجماع و تضمین محتوا آنها و نیز بکارگیری روش FCM برای مدل‌سازی تعاملات و محاسبه Out/Indegree و شاخص محوریت؛ باعث می‌شود که: (الف) تنها ریسک‌های «معنادار و مورد توافق» وارد تحلیل شوند، و (ب) ساختار شبکه‌ای تأثیرگذاری ریسک‌ها واضح گردد، که هر دو مورد برای تصمیم‌گیران پروژه‌ای ارزش بالایی دارند. مقایسه این تحقیق با مطالعاتی که به شیوه احتمالاتی بیزی و یا تکنیک‌های مدل‌سازی ابری پیش رفته‌اند که خوب عدم قطعیت را کمی می‌کنند، اما معمولاً شبکه علت و معلولی با شاخص‌های اثرگذار/اثرپذیر را به سادگی روش FCM گزارش نمی‌دهند. بنابراین بکارگیری توأم روش‌های CVR و FCM می‌تواند خلأ پژوهشی مهمی را پر کند و نوآوری این تحقیق باشد. چرا که نقشه‌های شناختی فازی (FCM) امکان مدل‌سازی روابط علت و معلولی جهت‌دار و وزن‌دار بین ریسک‌ها را فراهم می‌کنند و با محاسبه شاخص‌هایی مثل درجه برون‌داد (Outdegree) یا میزان اثرگذاری یک گره بر دیگران و درجه درون‌داد (Indegree) یا میزان اثرپذیری یک گره از دیگران، می‌توان هم عامل‌های محرک و هم عامل‌های آسیب‌پذیر را شناسایی نمود. این اطلاعات بسیار کاربردی است، چون نشان می‌دهد تمرکز کاهش ریسک باید کجا باشد: روی عوامل با درجه برون‌داد بالا برای اثرگذاری گسترده یا روی عوامل با درجه درون‌داد بالا برای حفاظت/تقویت. برای پشتیبانی اقتباس‌پذیری در پروژه‌های شهری، نشان دادن این دو معیار و شاخص محوریت یک ابزار قوی برای اولویت‌گذاری عملی ایجاد می‌کند که در بخش‌های قبلی مقاله به خوبی قابل مشاهده است.

در واقع نوآوری اصلی این پژوهش را می‌توان در دو وجه اصلی خلاصه نمود: (۱) ترکیب صریح روش CVR برای انتخاب و پالایش ریسک‌ها با نقشه شناختی فازی (FCM) برای مدل‌سازی دینامیک علت و معلولی ریسک‌ها، که خروجی‌ای عمل‌گرا و عاری از آیت‌های کم‌اتحاد ارائه می‌دهد؛ (۲) گزارش هم‌زمان شاخص‌های شبکه‌ای کلیدی FCM از قبیل درجه برون‌داد، درجه درون‌داد و شاخص محوریت برای تمایز دادن عامل‌های محرک (عامل‌هایی که بیشترین اثرگذاری را دارند) از عامل‌های پذیرنده (عامل‌هایی که بیشترین اثرپذیری را دارند) و ارائه راهبردهای هدفمند کاهش ریسک؛ این ترکیب موجب افزایش قابلیت اعتماد نتایج در پروژه‌های مترو شهری با ویژگی‌های ژئوتکنیکی و مدیریتی منحصربه‌فرد مانند تونل مترو مشهد-گلبهار می‌گردد. در این راستا یافته‌های حاصل از تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته توسط تکنیک‌های CVR و FCM بر روی داده‌های گردآوری شده که از نظرات و دیدگاه‌های خبرگان، مدیران و مهندسان متخصص در حوزه ساخت و ساز تونل‌های مترو با تأکید بر تونل مترو مشهد - گلبهار به‌دست آمده است؛ پیشنهادات و راهکارهای زیر که منتج و برخاسته از نتایج و یافته‌های تحقیق حاضر می‌باشد، به شرح زیر ارائه می‌گردد؛

۱. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده گردید که عامل سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی با درجه برون‌داد $3/62$ ، دارای بیشترین تأثیرگذاری در بین عوامل هفتگانه بر احداث پروژه تونل مشهد - گلبهار می‌باشد که با یافته‌های مطالعات شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰)، تانگ و همکاران (۲۰۲۴) و احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰) همسو می‌باشد. همچنین نتایج زیرعوامل یا ریسک‌های تشکیل‌دهنده‌ی این عامل نشان داد که؛

ریسک‌های روش‌های خاص تأمین مالی پروژه (تهاتر با زمین و اوراق) با ضریب اثر ۳/۸۹ و ریسک عدم تأمین مالی پیوسته هزینه‌های پروژه (انجام به‌موقع صورت وضعیت‌ها) با ضریب اثر ۳/۷۱ دارای بالاترین میزان اثرگذاری در بین ریسک‌های این عامل می‌باشند. البته در مقابل ضرایب دروندارد نیز نشان داد که این ریسک‌ها سبب طولانی شدن مدت زمان پروژه ناشی از عدم تأمین نقدینگی و پرداخت نشدن حقوق و دستمزد عادلانه می‌شوند که با ضرایب اثرپذیری ۴/۴۳ و ۴/۰۴ دارای بیشترین اثرپذیری در بین ریسک‌های این عامل سرمایه‌گذاری، مالی و حقوقی هستند (لازم به ذکر است که شهرکی و واحدی‌نژاد، ۱۴۰۰ و احمدوند و اقبالی، ۱۴۰۰ که در مطالعات خود به مدیریت و ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت تونل با روش ترکیبی ویکور و تحلیل سلسله مراتبی AHP و شناسایی و رتبه‌بندی انواع ریسک در پروژه خط ۷ مترو تهران پرداخته‌اند، به یافته‌های فوق در نتایج تحقیقات خود اشاره نموده‌اند). بنابراین به مدیران و برنامه‌ریزان احداث تونل‌های مترو بالاخص تونل مترو مشهد - گلبهار پیشنهاد می‌شود که؛

- ✓ با بکارگیری سکوی تأمین مالی جمعی و نظایر آن در تأمین منابع مالی اقدام نمایند. این رویکرد علاوه بر تأمین منابع مالی پایدار، زمان انتظار برای نقدینگی را کاهش داده و در بهبود عملکرد پیمانکاران برای پرداخت به‌موقع حقوق و دستمزد عوامل اجرایی و نیز اجرای به‌موقع و طبق برنامه زمان‌بندی انجام عملیات احداث تونل بسیار تأثیرگذار باشد.
- ✓ همچنین استفاده از مدل‌های فازی در برآورد زمان و هزینه برای کاهش عدم دقت در هنگام عقد قرارداد می‌توان بهره‌گیری نمود تا قراردادهایی با زمان واقعی و هزینه معقول منعقد گردد تا در روند اجرایی پروژه خللی ایجاد نشود.

۲. عامل مدیریت فنی، با ضریب اثرگذاری ۳/۲۳، به‌عنوان دومین عامل مهم اثرگذار در این تحقیق شناخته شده است. از جمله ریسک‌ها و مشکلات کلیدی این عامل، ناپایداری دیواره‌های حفاری (ضریب تأثیرگذاری ۴/۴۷) و نظارت و بازرسی نامناسب (ضریب اثر ۵/۸۱) است. لازم به ذکر است، این عامل و ریسک‌های آن در مطالعات افراد مختلفی منجمله تانگ و همکاران (۲۰۲۴)، اکبری و همکاران (۱۳۹۸)، بیکلری (۱۳۹۶)، احمدوند و اقبالی (۱۴۰۰)، گوگیت و همکاران (۲۰۲۳) و وانگ و همکاران (۲۰۲۳) و یعقوب و همکاران (۲۰۲۳) بیان گردیده و به این یافته‌ها اشاره نموده‌اند بنابراین به مدیران و تصمیم‌گیران پروژه‌های احداث تونل‌های عظیم زیرزمینی برای مترو با تأکید بر مترو مشهد - گلبهار پیشنهاد می‌شود که؛

- ✓ از حسگرهای هوشمند و سیستم‌های نظارت پیشرفته برای پایش و بازرسی مداوم دیواره‌های حفاری و سینه کار بهره‌گیری نمایند. این سیستم‌ها امکان شناسایی زود هنگام ناپایداری‌ها را فراهم نموده و از ریزش دیواره‌ها در هنگام حفاری جلوگیری می‌نماید.
- ✓ افزایش کیفیت بازرسی‌های فنی با استفاده از ابزارهای فناوری محور مانند پهپادهای صنعتی برای بازرسی دقیق و کاهش خطاهای انسانی از دیگر پیشنهاداتی است که در کاهش ریسک‌های احداث تونل‌های مترو اثرگذار است.

۳. برای عوامل دیگر شامل عوامل نیروی انسانی، مدیریت ایمنی، اکتشافات زمین‌شناسی و عامل مدیریتی و سیاسی که در رتبه‌های بعدی اثرگذاری و اثرپذیری قرار گرفته‌اند، پیشنهادات و راهکارهای زیر ارائه می‌گردد.

- ✓ برنامه‌های جامع مدیریت بحران (با محوریت مدیریت اضطرار و مدیریت ایمنی) ویژه پروژه‌های تونل سازی مترو طراحی و پیاده‌سازی گردد که در آنها اقدامات و تمرین‌های شبیه‌سازی و سناریوهای عملیاتی دقیق گنجانده شود تا در زمان اضطرار و بحران، نیروها بتوانند واکنش‌های مناسب و درستی انجام دهند.
- ✓ همچنین استفاده از سیستم‌های هشدار سریع، مانند حسگرهای تشخیص گازهای خطرناک و سامانه‌های لرزه‌نگاری، برای پیشگیری از بحران‌های احتمالی برای عامل مدیریت ایمنی بسیار اثرگذار خواهد بود.
- ✓ مدیران ارشد احداث تونل باید قبل از شروع عملیات ساخت و ساز، با استفاده از تحلیل‌های پیشرفته زمین‌شناسی با تجهیزات مدرن نظیر ژئورادار و نرم‌افزارهای تحلیل سه‌بعدی نسبت به وضعیت زمین و خصوصیات و ویژگی‌های آن آگاهی لازم را کسب نموده و سپس شروع به احداث تونل نمایند.
- ✓ بکارگیری ماشین‌های حفاری تونل پیشرفته نظیر TBM با قابلیت مدیریت خطرات ژئوتکنیکی و زهکشی همزمان.
- ✓ در پروژه‌های عظیم عمرانی نظیر پروژه مترو مشهد - گلبهار، یک واحد مدیریت سیاسی و ارتباطات دولتی که به‌صورت مستقیم فرآیندهای مرتبط با مجوزها و هماهنگی بین‌نهادی را پیگیری کند، ایجاد گردد. این واحد می‌تواند با اختیاراتی فراقانونی از تأثیرات

مستقیم و آنی تغییرات مدیریتی جناحی تا حدودی جلوگیری نماید تا در روند احداث و ساخت و ساز اینگونه پروژه‌های عمرانی ملی خللی وارد نشود.

✓ حمایت از تولید داخلی تجهیزات و تکنولوژی‌های مرتبط برای کاهش اثرات تحریم‌های خارجی از دیگر پیشنهاداتی است که در طولانی مدت می‌تواند بر احداث تونل‌های مترو اثرگذار باشد.

در پایان نیز به سایر محققین در رابطه با این موضوع، نکات و پیشنهادات ذیل ارائه می‌شود.

- انجام این تحقیق در سایر پروژه‌های عمرانی بزرگ و بالاخص احداث تونل‌سازی و مقایسه نتایج و یافته‌های حاصله با یکدیگر.
- انجام این تحقیق به روش‌هایی نظیر مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) یا تحلیل‌های شبکه‌ای (ANP) و مقایسه نتایج آنها.
- و نهایتاً ورود متغیرهای اثرگذار دیگر در موضوع این تحقیق و انجام آن توسط همین روش نقشه‌شناختی فازی (FCM) و تعیین نقش این متغیرها در نتایج تحقیق و نیز ورود مستقیم ریسک‌ها در نقشه‌شناختی فازی برای تعیین میزان اثرگذاری و اثرپذیری بر یکدیگر.

مراجع

- [1]. Wang, H. L., Liu, Y., Jiang, Y., & Wang, Z. T. (2022). A novel approach for risk assessment of building damage via Metro tunnel construction. *Advances in Civil Engineering*, 2022(1), 8448223.
- [2]. Biklari, A., (2017). Risk assessment and management in Karaj Metro Line 2 using project structure. Master's thesis in Civil Engineering, specialization: Construction Management, Alborz University. [In Persian]
- [3]. Bazm Ara, A., (2021). Presenting a risk management model for metro tunnel construction using fuzzy logic. Master's thesis in civil engineering, orientation: engineering and construction management, supervised by Ali Ghorbani, Payam Noor University, Karaj Center. [In Persian]
- [4]. Junjie, J., Wenhao, S., & Yuan, W. (2024). A risk assessment approach for road collapse along tunnels based on an improved entropy weight method and K-means cluster algorithm. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(7), 102805.
- [5]. Liu, K., Liu, Y., Kou, Y., Yang, X., & Hu, G. (2024). Efficiency of risk management for tunnel security of megaprojects construction in China based on system dynamics. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 23(2), 712-724.
- [6]. Shaffiee Haghshenas, S., Shaffiee Haghshenas, S., Abduelrhman, M. A., Zare, S., & Mikaeil, R. (2022). Identifying and Ranking of Mechanized Tunneling Project's Risks by Using A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Technique. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 6(1), 29-45.
- [7]. Qaraqanabadi, F., Sarkardeh, H., (2025). Identification and evaluation of supply chain risks in road construction projects. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 12(02), e204507. [In Persian]
- [8]. Zokaei, M., Abbasi, M., Vahidnia, M., Zarie, M., Zndsalmi, F., & Falahati, M., (2024). Developing a Model for Occupational Safety and Health Risk Assessment during the Construction Phase of a Metro Tunnel Using Internet of Things (IoT) Technology. *J Health Saf Work*, 14(3), 540-555. [In Persian]
- [9]. Aslani, M., Salarvand, A., Hojjat Panah, Sh., Izadikhah, A., (2023). Risk Management of Design and Construction of Tehran Metro Stations, Sixth Annual Congress of Infrastructure Development Technology, Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of Iran. [In Persian]
- [10]. Shahraki, M. R. & Mesri, J. (2021). Risk Assessment and Prioritization of Construction Projects with a Mixed-Dimensional Approach and Network Analysis Process (Case Study: Sistan-Hamoun Plain 2 Water Supply Project). *Journal of Structural and Construction Engineering*, 8(Special Issue 3), 78-95. [In Persian]

- [11]. Ahmadvand, M., Eghbali, H., (2022). Identifying and ranking types of risks in underground projects using the AHP method (applied example of Tehran Metro Line 7), *Journal of Systems and Productivity Engineering*, 1(1), 7-29. [In Persian]
- [12]. Shahraki, M. R. & Vahedi nezhad, N. (2021). Management and Assessment of Tunnel Construction Projects risks Using Combinatorial Method of the VIKOR and Analytical Hierarchy process. *Journal of Mining Engineering*, 16(50), 39-57. [In Persian]
- [13]. Akbari, A., Zare, S. & Ataei, M. (2020). Ranking the Risk of Mechanized Tunnel construction in Large Cross Section by Fuzzy Multi Criteria Decision Making Methods in Western Alborz Tunnel. *Journal of Mineral Resources Engineering*, 5(2), 43-65. [In Persian]
- [14]. Tang, C., Shen, C., Zhang, J., & Guo, Z. (2024). Identification of Safety Risk Factors in Metro Shield Construction. *Journal of Buildings*, 14(2), 492.
- [15]. Koohathongsumrit, N., & Meethom, W., (2024). Risk analysis in underground tunnel construction with tunnel boring machines using the Best–Worst Method and data envelopment analysis. *Journal of Heliyon*, 10, e23486.
- [16]. Sun, H., Rui, Y., Lu, Y., Dai, Y., Wang, X., & Li, X., (2024). Construction risk probability assessment of shield tunneling projects in karst areas based on improved two-dimensional cloud model. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 154, 106086.
- [17]. Yang, Y., Wang, Y., Easa, S. M., & Yan, X. (2023). Risk factors influencing tunnel construction safety: Structural equation model approach. *Journal of Heliyon*, 9(1), 1-13.
- [18]. Gogate, N. G., Shelake, A. G., & Band, P. (2024). Selection of most significant risk factors for Indian tunnel projects: an integrated fuzzy-based MCDM approach. *International Journal of Construction Management*, 24(2), 161-176.
- [19]. Wang, Q., Xiong, Z., Zhu, K., & Guo, P. (2023). Construction safety risks of metro tunnels constructed by the mining method in Wuhan city, china: a structural equation model-fuzzy cognitive map hybrid method. *Journal of Buildings*, 13(5), 1335, 1-24.
- [20]. Yaacob, N. A. S., Yahya, M. N., Samsudin, N. A., & Shoabani, S. N. (2023). A Study on Risk Assessment in Tunnelling Construction for Klang Valley Mass Rapid Transit (KVMRT) Putrajaya Line. *Progress in Engineering Application and Technology*, 4(2), 1203-1214.
- [21]. Hwang, B. G., Zhao, X., & Yu, G. S. (2016). Risk identification and allocation in underground rail construction joint ventures: Contractors' perspective. *Civil Engineering and Management*, 22(6), 758-767.
- [22]. Orang, O., de Lima e Silva, P. C., & Guimarães, F. G. (2023). Time series forecasting using fuzzy cognitive maps: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 56(8), 7733-7794.
- [23]. Rodriguez-Repiso, L., Setchi, R., & Salmeron, J. L. (2007). Modelling IT projects success: Emerging methodologies reviewed. *Journal of Technovation*, 27(10), 582-594.
- [24]. Abadi, F., Jamali, G., & Ghorbanpour, A. (2024). Intelligent Supply Chain Management under Internet of Things Technology with Fuzzy Cognitive Map Approach. *Journal of Intelligent Business Management*, 12(47), 45-77. [In Persian]
- [25]. Salehi, M. & Hamehvand, M. (2016). A New Approach Based on Failure Mode and Effects Analysis and Kepland to Extract and Prioritize the Effective risks on Project Completion Time. *Modiriat-e-farda*, 15(1), 50-72. [In Persian]
- [26]. Saeedy, A., Andalib, M. & kojoori haraj, J. (2018). Identifying Barriers to Nomadic Role in National Production by Right-Based Balance Approach. *Economics and regional development*, 25(15), 25-54. [In Persian]
- [27]. Ghasemi, A. & Ghobadian, M. (2015). Drawing and rating scenarios of the future of Iran's power industry utilizes the fuzzy cognitive map and Scenario analysis. *Journal of Technology Development Management*, 3(1), 101-134. [In Persian]

- [28]. Haghani, F., Shahraki, A. & Rahdar, M. (2024). Using the fuzzy cognitive map in designing a decision support system in diabetes insipidus. *Innovation Management and Operational Strategies*, 5(3), 331-347. [In Persian]
- [29]. Özesmi, U., & Özesmi, S. L. (2004). Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological modelling*, 176(1-2), 43-64.
- [30]. Sofiyabadi, J., Kolahi, B., Valmmohamadi, C. & Mohedi, M. (2015). Application of Fuzzy Cognitive Map in Determining the Organization's Success Path. *Journal of Productivity Management*, 9(3), 201-223. [In Persian]
- [31]. Valimoghaddam Zanjani, S., Kamali, N. and Mojtazadeh, M. (2021). Design and Validation of the Internationalization Model of Higher Education in Medical Sciences Universities. *Educ Strategy Med Sci*, 14(2), 49-61. [In Persian]
- [32]. Rosdi, M. N. H. M., Mahmood, W. H. W., Razik, M. A., & Kamat, S. R. (2021). Fuzzy analytic hierarchical process implementation on enhancing manufacturing responsiveness. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*.
- [33]. Mirzaei, A. & Mazroui Nasrabadi, E. (2024). Modelling and Scenario Analysis of the Causal Conditions of the Ripple Effect in the Supply Chain of Iran's Food Industry. *Research in Production and Operations Management*, 15(1), 1-28. [In Persian]
- [34]. Zarei, M., Mohseni, F., & Sohrabi, P. (2024). Correlates of spatial structure variability in Bushehr port-city: A comprehensive analysis using fuzzy cognitive mapping methodology. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(11), 8789.
- [35]. Sarmad, Z., Bazargan, A., Hejazi, A., (2022). Research Methods in Behavioral Sciences, Ageh Publications, Tehran. [In Persian]
- [36]. Lawshe CH. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel psychology*, 28(4), 575-563.