مهندسی عمران شریف (زمستان ۱۳۹۵)
دوره‌ی ۲-۳۲، شماره‌ی ۱/۴، ص. ۶۱-۷۰

Original Article

# ارائه‌ی مدل تحلیل ریسک مبتنی بر سیستم‌های خبره‌ی فازی برای مدیریت پروژه‌های ساخت

**بنفشه زهرایی (دانشیار)**
**پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران**
**عباس روزبهانی* (استادیار)**
**پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران**
**مصطفی میرشکاری (کارشناس ارشد)**
**پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران**

پروژه‌های عمرانی موجود در صنعت ساخت و ساز به دلیل بزرگی و طبیعت پیچیده، منحصر به فرد و پویا بودن با عدم قطعی‌های بزرگی مواجه هستند. این مسئله نیاز جدی صنعت مذکور به روشی مناسب برای ارزیابی و تحلیل ریسک را در فرایند مدیریت پروژه نشان می‌دهد. هدف این نوشتار، تعیین روشی نوین بر مبنای سیستم‌های خبره‌ی فازی سلسله مراتبی مبتنی بر قوانین فازی برای درنظرگرفتن عدم قطعیت‌ها، به‌دست‌آوردن ریسک کلی پروژه، و در عین حال رده‌بندی ریسک‌های پروژه بر مبنای بزرگی آن‌هاست. قابلیت کاربرد مدل پیشنهادی با پیاده‌کردن مدل در یک پروژه‌ی ساختمانی در شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی ریسک مطالعه‌ی موردی از دیدگاه کارفرما، مشاور، پیمانکار، و درنهایت با درنظرگرفتن همه‌ی ذینفعان پروژه صورت گرفته است. نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی قابلیت به‌کارگیری مدل ارائه‌شده در تحلیل ریسک‌های تأثیرگذار در پارامترهای مهم هزینه، زمان، کیفیت، و ایمنی در اجرای پروژه‌های ساختمانی است.

**واژگان کلیدی:** ارزیابی ریسک، پروژه‌های ساخت، ساختار سلسله مراتبی، شکست ریسک، سیستم خبره‌ی فازی، قواعد فازی.

bzahraie@ut.ac.ir
roozbahany@ut.ac.ir
mostafa.mirshekari@gmail.com

## ۱. مقدمه

به‌طورکلی در استاندارد PMI مدیریت ریسک بدین صورت تعریف شده است:[۱] مدیریت ریسک پروژه شامل: هدایت، برنامه‌ریزی، مدیریت ریسک، شناسایی، تحلیل، برنامه‌ریزی پاسخ، و نظارت و کنترل پروژه است. اهداف مدیریت ریسک پروژه، افزایش احتمال و اثر وقایع مثبت و کاهش احتمال و اثر وقایع منفی در پروژه است. در واقع از میان فرایندهای فوق، ترکیب دو فرایند شناسایی و تحلیل ریسک با عنوان ارزیابی ریسک شناخته می‌شود.[۲] صنعت ساخت، بنا به طبیعت آن با ریسک‌های زیادی مواجه است. شرایط عنوان‌شده، بزرگی ریسک‌های موجود در این نوع پروژه‌ها و اهمیت مدیریت مؤثر ریسک‌ها را به روشنی نشان می‌دهد.

روش‌های سنتی ارزیابی ریسک، چارچوب مناسبی برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت فراهم نمی‌کنند. عمده‌ی عدم قطعیت‌هایی که در پروژه‌های ساخت مطرح هستند، از نوع ابهام در شرایط اثرگذار در پروژه و اطلاعات موردنیاز برای تصمیم‌گیری هستند و به همین دلیل، روش‌های مبتنی بر تئوری احتمالات برای برخورد با آن‌ها مناسب نیست. بنابراین، ضرورت ارائه‌ی روشی مناسب برای ارزیابی ریسک در این پروژه‌ها احساس می‌شود.

تئوری مجموعه‌های فازی روشی است که کارایی خود را برای مدیریت عدم قطعیت‌هایی مشابه موارد ذکرشده در مورد پروژه‌های ساخت نشان داده است. ترکیب تئوری مذکور و ساختار سلسله مراتبی ریسک، چارچوب مناسبی برای ارزیابی ریسک در این شرایط فراهم ساخته و مورد توجه پژوهش‌های متعددی بوده است. در پژوهشی در سال ۲۰۰۰، روشی بر مبنای ساختار سلسله مراتبی شکست ریسک و قواعد فازی برای ارزیابی کیفی ریسک پروژه پیشنهاد شده و پس از تعیین ریسک کلی پروژه، با استفاده از قواعد فازی بین ریسک کلی پروژه و تغییرات محتمل در اهداف پروژه ارتباط برقرار شده و تغییرات محتمل در رابطه با هر هدف به دست آمده است.[۳] برخی پژوهشگران (۲۰۰۷) نیز مدلی مبتنی بر قواعد فازی برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت بین‌المللی پیشنهاد کرده‌اند.[۴] همچنین در پژوهش دیگری (۲۰۰۷)، روشی برمبنای رویکرد AHP فازی برای ارزیابی ریسک مشارکت انتفاعی در چین پیشنهاد شده است.[۵] پژوهشگران دیگری (۲۰۰۹) نیز به ارائه‌ی یک سیستم خبره‌ی فازی، مبتنی بر عملگرهای حسابی فازی، برای ارزیابی ریسک در مدل‌سازی مالی پرداخته‌اند.[۶] همچنین در پژوهشی در سال ۱۹۸۹،

* نویسنده مسئول
*تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۱۰/۱۳، اصلاحیه ۱۳۹۴/۱/۲۲، پذیرش ۱۳۹۴/۲/۱۵.*

رویکردی بر مبنای تحلیل زبانی با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی برای ارزیابی ریسک پروژه‌ها پیشنهاد شده است.[۷] برخی پژوهشگران نیز روشی برای ارزیابی ریسک در پروژه‌های زیرزمینی پیشنهاد کرده‌اند.[۸] فرایند پیشنهادی ایشان شامل ۴ گام: شناسایی، تحلیل، ارزیابی، و مدیریت ریسک‌های موجود در پروژه‌های ساخت بوده است، که برای ارزیابی فازی ریسک در یک پروژه‌ی مترو در کشور کره‌ی جنوبی استفاده شده است. همچنین پژوهشگران دیگری (۲۰۱۴) به ارائه‌ی مدل تحلیل ریسک پروژه‌های ساخت براساس تلفیق پویایی سیستم‌ها و منطق فازی جهت تعیین آثار منفی در اهداف هزینه و زمان پرداخته‌اند.[۹] در پژوهشی در سال ۲۰۱۴، نیز به ارائه‌ی مدل تحلیل ریسک مبتنی بر تجمیع وزنی فازی درخصوص پروژه‌های ساخت پرداخته شده است.[۱۰] همچنین در سال‌های اخیر، استفاده از رویکرد مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی در بحث ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت رواج یافته است، که از آن جمله می‌توان به پژوهشی در سال ۲۰۱۴ در کشور عربستان اشاره کرد.[۱۱]

عمده‌ی پژوهش‌های انجام‌شده در حیطه‌ی کاربرد نظریه‌ی مجموعه‌های فازی در ارزیابی ریسک، استفاده از عملگرهای حسابی فازی را برنامه‌ی اصلی کار خود قرار داده‌اند و ساخت قوانین فازی، به رغم قابلیت‌های بالای آن، کمتر در حوزه‌ی مدیریت ریسک مورد استفاده قرار گرفته است. در این نوشتار، تلاش در ارائه‌ی یک مدل فازی مبتنی بر سیستم‌های استنتاج فازی برای ارزیابی ریسک پروژه‌ها در چارچوب یک ساختار سلسله مراتبی صورت گرفته است. مزایای عمده‌ی روش مطرح‌شده در این نوشتار نسبت به روش‌های پیشین به اختصار به این شرح است:

- ریسک‌ها به ۲ دسته تقسیم شده‌اند: ریسک‌هایی که می‌توان میزان آن‌ها را با تعیین وضعیت شماری از عوامل تخمین زد و ریسک‌هایی که نمی‌توان چنین عاملی را برای آن‌ها شناسایی کرد. این تقسیم‌بندی منجر به انعطاف بیشتر روش در مدل‌سازی پروژه‌های واقعی می‌شود.
- یکی از دشواری‌های تدوین سیستم فازی در حوزه‌ی مدیریت پروژه و ساخت، تدوین قواعد است. در این نوشتار برای تدوین قواعد فازی، روش مطرح‌شده در پژوهشی در سال ۲۰۱۰،[۱۲] با اعمال تغییراتی در تعداد ارزش‌های زبانی مورد استفاده قرار گرفته است.
- در این نوشتار، علاوه بر ارائه‌ی روشی برای تعیین ریسک کلی پروژه، روشی برای رده‌بندی ریسک‌ها از نظر بزرگی و در عین حال رده‌بندی پرخطرترین بخش‌های پروژه ارائه شده است.
- در این پژوهش با نگاهی سیستماتیک، ریسک‌ها از پایین‌ترین سطوح در رابطه با اهداف، شناسایی و ارزیابی شده‌اند. اهداف مورد بررسی در این نوشتار، هزینه، زمان، کیفیت، و ایمنی هستند.
- ارزیابی ریسک مطالعه‌ی موردی از ۴ دیدگاه کارفرما، پیمانکار، مشاور، و تجمیع عوامل نام برده انجام شده است. این مسئله توان روش پیشنهادی را برای درنظرگرفتن نظرات همه‌ی ذینفعان پروژه و مقایسه‌ی آنها درخصوص ریسک‌ها و خطرات تهدیدکننده‌ی پروژه‌های ساخت نشان می‌دهد. در ادامه، به تشریح مدل پیشنهادی پرداخته شده است.

## ۲. روش‌شناسی پژوهش

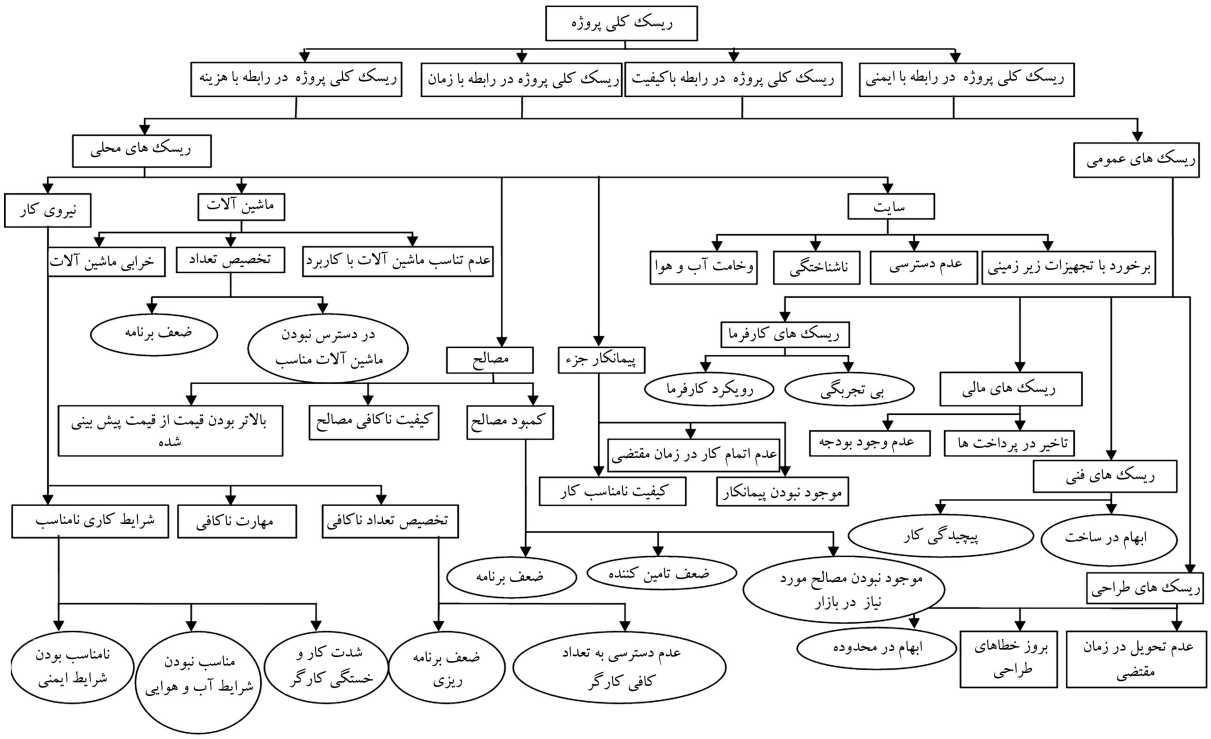
در این بخش و پیش از بررسی گام به گام روش پیشنهادی، به تعریف برخی از مفاهیم ارائه‌شده در این نوشتار پرداخته شده است. در این پژوهش، دو دسته ریسک ساختمانی تعریف شده است، که نحوه‌ی مواجهه‌ی پژوهشگران نوشتار حاضر با این ریسک‌ها متفاوت خواهد بود. مزیت این رویکرد دوگانه، نزدیکی به واقعیت پروژه و تیم پروژه است. به‌عبارت دیگر، این رویکرد منجر به انعطاف‌پذیری بیشتر مدل می‌شود. تعریف این دو دسته ریسک در ادامه بررسی شده است.

- **ریسک‌های دسته‌ی اول:** این دسته از ریسک‌ها، ریسک‌هایی هستند که برای آن‌ها، عوامل ریسک‌ساز مشخص شده‌اند. به‌عنوان مثال، ریسک شرایط کاری نامناسب، که یکی از عوامل مؤثر در آن وخامت آب و هواست، یکی از ریسک‌های دسته‌ی اول است. عوامل ریسک‌ساز عواملی هستند که باعث بروز ریسک‌ها می‌شوند. به‌عنوان مثال وخامت آب و هوا، یک عامل ریسک‌ساز برای ریسک شرایط کاری نامناسب است.
- **ریسک‌های دسته‌ی دوم:** این دسته از ریسک‌ها، ریسک‌هایی هستند که عوامل مؤثر در آن‌ها شناسایی نشده است و تخمین آنها ساده نیست، یا عواملی شناسایی شده‌اند که برآورد دقیق میزان ریسک را میسر نمی‌کنند. به‌عنوان مثال، برای ریسک بروز خطاهای طراحی، هیچ عامل ریسک‌سازی شناسایی نشده است.
- **مراکز ریسک:** مراکز ریسک، حوزه‌هایی در پروژه هستند که می‌توان چند ریسک را در آنجا تجمیع کرد. مزیت این تجمیع در آن است که توانایی پژوهشگران برای کنترل چند ریسک افزون می‌شود. به‌عنوان مثال، ریسک شرایط کاری نامناسب کارگر در ذیل مرکز ریسک نیروی کار قرار می‌گیرد. در صورتی که میزان ریسک مربوط به این مرکز، زیاد ارزیابی شود، می‌توان بر این بخش از تیم پروژه تمرکز بیشتری اعمال کرد. در ادامه، مراحل روش پیشنهادی گام به گام بررسی شده است.

### ۱.۲. شناسایی ریسک‌ها و ارائه‌ی ساختار سلسله مراتبی ریسک‌ها

در بخش مقدمه، به ادبیات فنی شناسایی و ساختار سلسله مراتبی ریسک‌ها اشاره شده است. در این نوشتار دو شرط عمده برای طراحی ساختار ضروری است: ۱. با توجه به اینکه هدف اصلی در این نوشتار، ارائه‌ی روش‌شناسی تجزیه و تحلیل ریسک‌هاست، ساختار به نسبت کلی و برای پروژه‌های مختلف ساخت و ساز قابل استفاده باشد. ۲. سطح پیچیدگی و گستردگی ساختار در حد قابل قبولی باشد. باید توجه داشت در صورتی که ساختار بیش از حد گسترده باشد، تعداد قواعد فازی که لازم است تدوین شوند، به نحو تصاعدی افزایش می‌یابند. ساختار شکست ریسک مورد استفاده در این نوشتار در شکل ۱ ارائه شده است. این ساختار مربوط به روش متعارف اجرا، یعنی طراحی ـ مناقصه ـ ساخت است، که در راستای مطالعه‌ی موردی پژوهش ارائه شده است. با توجه به توضیحات ذکرشده سعی شده است تا ساختار شکست کلی و در عین حال در برگیرنده‌ی ریسک‌های اصلی باشد. لذا این ساختار پیشنهادی می‌تواند نسبت به هر پروژه‌ی ساخت، توسعه یا بهبود یابد.

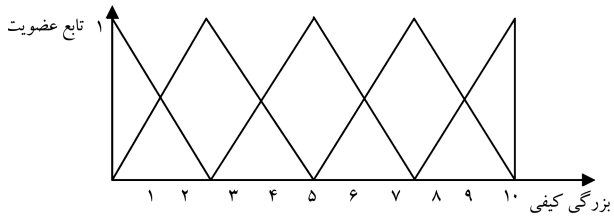
کلیت ساختار شکست ریسک مطرح‌شده در این پژوهش شامل ۶ سطح است: سطح اول، ریسک کلی پروژه است؛ سطح دوم، ریسک کلی پروژه در رابطه با هر هدف (هزینه، زمان، کیفیت، و ایمنی) است. لازم به ذکر است که سطح سوم تا ششم ساختار ذیل هر هدف، ۱ بار تکرار می‌شوند؛ سطح سوم، مربوط به محلی‌بودن یا عمومی‌بودن ریسک است. ریسک‌های محلی آن‌گونه که برخی پژوهشگران،[۳] مطرح کرده‌اند، ریسک‌هایی هستند که می‌توان آن‌ها را به بسته‌های کاری مرتبط کرد. به‌عبارت دیگر، این ریسک‌ها مستقیماً در هر بسته‌ی کاری قابل بررسی هستند. در مقابل، ریسک‌های عمومی، ریسک‌هایی هستند که به کلیت پروژه مرتبط هستند و به بسته‌های کاری مربوط نیستند؛ سطح چهارم، مراکز ریسک هستند که پخش‌کردن ریسک‌ها در چارچوب آن‌ها به ایجاد درک بهتر از ریسک




**شکل ۱. ساختار پیشنهادی در این پژوهش برای شکست ریسک پروژه‌های ساخت.**

**جدول ۱. اطلاعات تابع عضویت استفاده‌شده در پژوهش.**

| ارزش زبانی | اعداد سه‌گانه تابع عضویت مثلثی |
|---|---|
| بسیار کم | ۰, ۰, ۲/۵ |
| کم | ۰, ۲/۵, ۵ |
| متوسط | ۲/۵, ۵, ۷/۵ |
| زیاد | ۵, ۷/۵, ۱۰ |
| بسیار زیاد | ۷/۵, ۱۰, ۱۰ |




**شکل ۲. تابع عضویت فازی استفاده‌شده در پژوهش برای بزرگی، شدت، و احتمال ریسک و بزرگی عوامل ریسک‌ساز.**

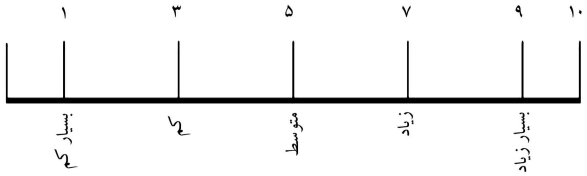
حوزه‌های گوناگون پروژه و مشخص‌شدن حوزه‌هایی که باید توجه بیشتری به آن‌ها در مرحله‌ی مدیریت ریسک و در واقع انتخاب سناریوهای کاهنده‌ی ریسک مبذول شود، کمک می‌کند؛ سطح پنجم نیز ریسک‌های پروژه هستند؛ سطح ششم، که در شکل ۱ به صورت بیضی نمایش داده شده‌است و ذیل برخی از ریسک‌ها وجود دارد، عوامل شناسایی‌شده برای ریسک‌های دسته‌ی اول هستند، که در بخش پیش تعریف شده‌اند.

## ۲.۲. تحلیل ریسک مبتنی بر استخراج قوانین فازی

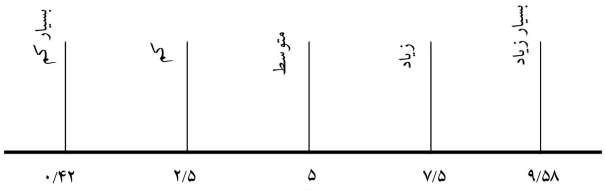
برای تحلیل ریسک و تدوین قوانین فازی، ابتدا لازم است توابع عضویت فازی مورد استفاده در این پژوهش تعیین و معرفی شوند. توابع عضویت فازی باید برای میزان بزرگی عامل تعیین‌کننده‌ی میزان ریسک، شدت، و احتمال ریسک‌هایی که عامل ریسکی برای آن‌ها شناسایی نشده است و میزان بزرگی ریسک برای سطوح بالاتر تعیین شود. اطلاعات تابع فازی استفاده‌شده در جدول ۱ و شکل توابع فازی ذکرشده نیز در شکل ۲ ارائه شده است.

در شکل مذکور، محور افقی نشان‌دهنده‌ی ارزش کیفی بین ۱ تا ۱۰ برای موردی است که باید ارزیابی شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود از تابع مثلثی استفاده شده است. دلیل آن سادگی نسبی محاسبات آن و در عین حال فراوانی استفاده از تابع مثلثی در مطالعات مربوط به حوزه‌ی مدیریت ساخت و مقبولیت آن است. در عین حال این تذکر لازم است که در صورت نیاز می‌توان شکل تابع مورد استفاده را براساس نیازهای سازمانی و نظرات خبرگان و تصمیم‌گیرندگان پروژه‌ها تغییر داد. درگام بعد و برای تشکیل سیستم فازی لازم است روش عمومی تدوین قواعد فازی تعیین شود. برای به دست‌آوردن قواعد فازی می‌توان از نظر مستقیم خبرگان استفاده کرد. با این حال، زیادبودن ورودی‌ها و کیفی‌بودن آنها، کار تعیین قواعد برای خبره را دشوار و حتی غیرممکن می‌سازد. بنابراین ضرورت ارائه‌ی روشی برای تدوین قواعد به روشنی احساس می‌شود. در ادامه، روش استفاده‌شده در این نوشتار ارائه شده است، که با تغییراتی در روش پیشنهادی Fares و Zayed تدوین شده است.[۱۲] پس از تدوین قواعد با استفاده از این روش، برای اطمینان از صحت قواعد، قواعد به خبرگان ارائه و ارزیابی می‌شود.

درعین حال، دراین روش عامل وزن (میزان تأثیرگذاربودن هریک ازورودی‌های




**شکل ۳. شاخص مورد استفاده برای درک بهتر اعداد ۰ تا ۱۰ در تعیین میزان تأثیر هر عامل در خروجی قاعده.**




**شکل ۴. سنجه‌ی مورد استفاده برای تبدیل مقادیر فازی به مقادیر قطعی.**

یک قاعده در خروجی آن)، عاملی است که به نحوی نظر خبره را از ابتدا در تدوین قواعد دخیل می‌سازد. برای درک روش مذکور فرض می‌شود که قاعده‌یی با $n$ ورودی با ارزش زبانی معلوم و یک خروجی نامعلوم موردنظر است. برای هر یک از ترکیب‌های ممکن ورودی‌ها، یک قاعده تدوین می‌شود. مراحل روش به این شرح است:

الف) وزن هر یک از ورودی‌ها را از طریق پرسش‌نامه و با عددی بین صفر و ۱۰ از خبره گرفته می‌شود. برای درک بهتر خبره از کاربرد بازه‌ی اعداد صفر تا ۱۰، از دسته‌بندی زبانی نشان داده‌شده در شکل ۳ استفاده شده است.

ب) درگام بعد لازم است برای هرکدام از ارزش‌های زبانی که به ورودی‌ها اختصاص داده شده است، مقدار عددی اختصاص یابد. این فرایند با استفاده از معیار شکل ۴ انجام می‌شود. لازم به ذکر است که عددهای ذکرشده در شکل ۴، مراکز سطح مجموعه‌های فازی شکل ۲ هستند. برای این منظور در پرسش‌نامه‌های تخصصی، تعریف احتمال و بزرگی هر یک از ریسک‌ها در رابطه با ۴ هدف اصلی زمان، هزینه، ایمنی، و کیفیت مشخص می‌شود، تا کارشناسان بتوانند ارزیابی کمّی و کیفی صحیحی از اعداد اختصاصی داشته باشند.

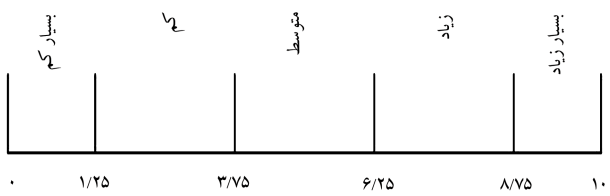
ج) در این گام با داشتن میزان عددی هرکدام از ورودی‌های قاعده و میزان تأثیر آن، با استفاده از رابطه‌ی ۱ مقدار ارزش معادل به‌دست می‌آید:

$$\text{ارزش معادل} = \frac{W_1 \times F1C_x + W_2 \times F2C_v + \ldots + W_n \times FnC_z}{W_1 + W_2 + \ldots + W_n} \quad (1)$$

که در آن، $W_n$ میزان تأثیر ورودی $n$اُم در تعیین خروجی قاعده و $FnC_z$ میزان عددی معادل ارزش زبانی ورودی $n$اُم است، که درگام قبل به دست آمده است.

د) درگام آخر، با استفاده از مقیاس نشان داده‌شده در شکل ۵، مقدار فازی ارزش معادل به‌دست می‌آید و قانون فازی تدوین می‌شود.

در ادامه، به نحوه‌ی استفاده از روش ارائه‌شده برای تعیین بزرگی ریسک‌ها در سطوح مختلف ساختار سلسله مراتبی پرداخته شده است. به این منظور، ابتدا روش تعیین بزرگی ریسک‌ها در پایین‌ترین سطح این ساختار بررسی شده است. همان‌طور که در بخش‌های پیشین اشاره شده است، با توجه به نمودارهای سلسله مراتبی پایین‌تر از برخی ریسک‌ها، عوامل ریسکی به شکل بیضی مشاهده می‌شود و پایین‌تر از

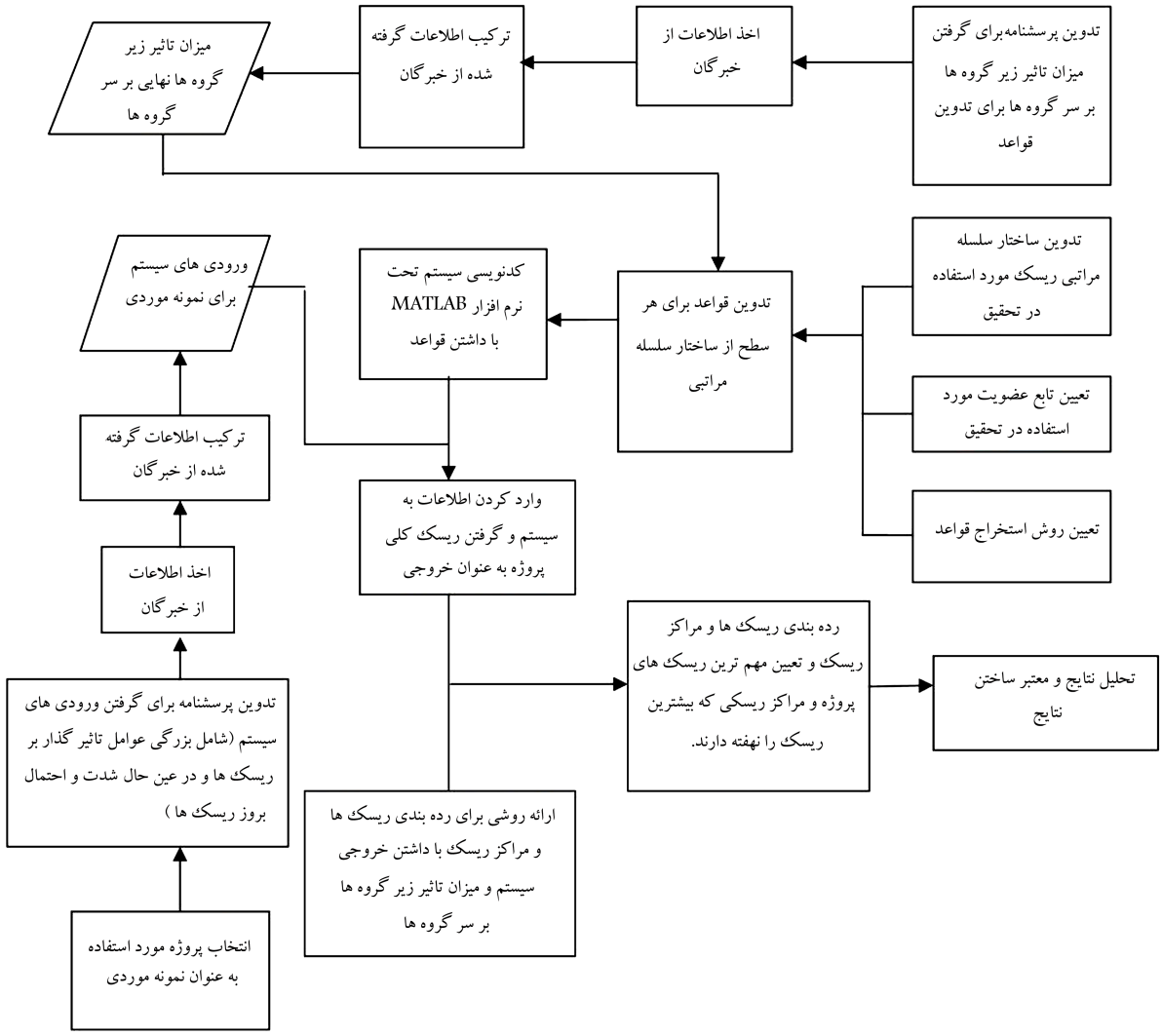



**شکل ۵. سنجه‌ی مورد استفاده برای تبدیل مقادیر قطعی به ارزش‌های زبانی فازی.**

برخی ریسک‌ها، عامل ریسکی مشاهده نمی‌شود. روش برخورد پژوهش حاضر با دو دسته ریسک ذکرشده، متفاوت خواهد بود. در ابتدا به بررسی روش تعیین بزرگی ریسک‌های دسته‌ی اول پرداخته شده است، که عوامل مؤثر در آنها معین است. این دسته از ریسک‌ها، ریسک‌هایی هستند که عوامل موثر در آن‌ها شناسایی شده است. برای به دست‌آوردن بزرگی ریسک‌های این دسته، بسته به تعداد عوامل شناسایی‌شده، قواعد فازی طبق روشی که در بخش پیش به آن اشاره شده است، ایجاد شده است. برای تشکیل قواعد مذکور، بزرگی عوامل تأثیرگذار به‌عنوان ورودی و بزرگی ریسک به‌عنوان خروجی در نظرگرفته شده است. به‌عنوان مثال، برای تعیین ریسک تخصیص ناکافی نیروی کار، دو عامل ضعف برنامه‌ریزی و در دسترس‌نبودن نیروی کار مناسب حائز اهمیت تشخیص داده شده‌اند (شکل ۱). بنابراین، به‌عنوان مثال یکی از قواعد لازم برای تعیین بزرگی ریسک تخصیص ناکافی نیروی کار به این صورت خواهد بود: اگر میزان ضعف برنامه‌ریزی زیاد و میزان در دسترس‌نبودن نیروی کار مناسب زیاد باشد، بزرگی ریسک تخصیص کارگر ناکافی، زیاد خواهد بود.

در قاعده‌ی ذکرشده، هر یک از ورودی‌های می‌توانند هر کدام از ارزش‌های زبانی مطرح‌شده در تابع عضویت را به‌عنوان مقدار خود بپذیرند. بنابراین، لازم است ۲۵ قاعده‌ی متفاوت ($۵ \times ۵$) برای تعیین بزرگی ریسک تخصیص ناکافی نیروی کار تدوین شوند. برای هرکدام از این قواعد، با توجه به میزان بزرگی عوامل تأثیرگذار و روش مطرح‌شده در بخش پیش، بزرگی ریسک تخصیص کارگر ناکافی تعیین شده است. دسته‌ی دوم، ریسک‌هایی هستند که برای آن‌ها عامل تخمین‌زننده‌یی شناسایی نشده است. برای این دسته از ریسک‌ها از روش سنتی موجود در ادبیات موضوع مدیریت ریسک، یعنی تخمین ریسک با داشتن احتمال و شدت ریسک استفاده شده است، با این تفاوت که از قوانین فازی برای بیان ارتباط آنها با ریسک پروژه استفاده شده است، نه عملگر فازی ضرب پارامترهای نام‌برده. روش کار به این نحو است که با ۲ ورودی شدت ریسک و احتمال ریسک، با استفاده از روش اشاره‌شده در بخش‌های پیشین، قواعد ممکن تدوین کرده و بزرگی ریسک در ارتباط با هر یک از اهداف به دست آورده شده است. در این حالت، سیستم فازی، دو ورودی (شدت و احتمال) و یک خروجی (بزرگی ریسک) خواهد داشت. به عنوان مثال یکی از قواعد می‌تواند به این صورت باشد: اگر احتمال وقوع ریسک زیاد و شدت تأثیر وقوع ریسک در روی هدف هزینه زیاد باشد، میزان بزرگی ریسک در رابطه با هدف هزینه زیاد خواهد بود.

مشاهده می‌شود که لازم است ۲۵ قاعده‌ی متفاوت، با روش ذکرشده در بخش ۳.۲.، برای تعیین بزرگی ریسک‌های دسته‌ی دوم تدوین شوند. لازم است اشاره شود که بزرگی ریسک حاصل در این مرحله در رابطه با یکی از اهداف اجرای طرح (زمان، هزینه، ایمنی، و کیفیت) به‌دست می‌آید. برای درک بهتر موضوع لازم است یادآوری شود که دو مفهوم شدت تأثیر ریسک و احتمال ریسک در مفهوم ریسک نهفته است. شدت ریسک به معنای میزان تأثیرات بالقوه در صورت وقوع ریسک




**شکل ۶. مراحل مختلف مدل ارائه‌شده در این پژوهش.**

است. این تأثیرات می‌تواند در رابطه با هر هدف بررسی شود. در نهایت، خروجی این گام، بزرگی ریسک در پایین‌ترین سطح است.

در گام بعد، بزرگی ریسک در پایین‌ترین سطح، که به‌صورت عددی بین صفر تا ۱۰ است، خود به‌عنوان ورودی برای تعیین ریسک مربوط به یک مرکز ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشابه گام قبل در این مرحله هم با تدوین قواعد ریسک، بزرگی ریسک مرتبط با هر مرکز ریسک به دست آورده می‌شود، با این تفاوت که در این مرحله، ورودی‌های و خروجی‌ها، هر دو میزان بزرگی ریسک هستند. این قاعده، مثالی از قواعد این سطح است: اگر بزرگی ریسک (شرایط کاری نامناسب)، زیاد؛ بزرگی ریسک (مهارت ناکافی کارگرها)، زیاد؛ و بزرگی ریسک (تخصیص تعداد ناکافی کارگر)، نیز زیاد باشد، بزرگی ریسک (مرکز ریسک کارگر)، هم زیاد خواهد بود.

باید توجه داشت که بزرگی ریسک‌های ورودی به دست‌آمده از گام پیش در رابطه با یکی از اهداف پروژه است. به‌عنوان مثال می‌توان گفت بزرگی ریسک در رابطه با کیفیت، زیاد است.

مشابه فرایند ذکرشده برای تدوین قواعد لازم برای تعیین بزرگی ریسک محلی یا عمومی با داشتن بزرگی ریسک مراکز ریسک و در عین حال تعیین بزرگی ریسک کلی پروژه در رابطه با هر هدف با داشتن بزرگی ریسک محلی و عمومی در رابطه با هدف مذکور انجام می‌شود. این تذکر لازم است که خروجی هر مرحله به‌عنوان ورودی برای تعیین مرحله‌ی بالاتر استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، میزان بزرگی ریسک مرکز ریسک نیروی کار به عنوان ورودی برای تعیین میزان و بزرگی ریسک محلی به‌عنوان ورودی برای تعیین ریسک کلی در رابطه با هر هدف در نظر گرفته می‌شود.

در آخرین مرحله‌ی تدوین قواعد، با ترکیب نتایج برای اهداف متفاوت پروژه از طریق تشکیل قواعد لازم، سیستم فازی تشکیل و ریسک کلی در رابطه با هر هدف، که طی مراحل پیشین به دست آورده شده است، به‌عنوان ورودی به این سیستم فازی داده می‌شود. قواعد مطرح‌شده در این مرحله، ۴ ورودی دارند که ریسک کلی در رابطه با هر هدف هستند و خروجی آن ریسک کلی پروژه است. مراحل روش‌شناسی پژوهش به اختصار در شکل ۶ ارائه شده است.

## ۳. مطالعه‌ی موردی و ارائه‌ی نتایج

به منظور ارزیابی مدل تحلیل ریسک پیشنهادی در این نوشتار، این مدل برای تخمین ریسک یک پروژه‌ی واقعی مورد استفاده قرار گرفته است. پروژه‌ی موردنظر، برج

۲۴ طبقه‌یی در تهران با زیربنایی برابر ۲۶۵۱۸ مترمربع بوده است. این پروژه در هنگام جمع‌آوری داده‌ها در ۳۰٪ پیشرفت فیزیکی سازه بوده است. فرایند گردآوری داده‌ها شامل ۲ مرحله‌ی عمده بوده است، که برای تشکیل و اجرای سیستم خبره‌ی فازی موردنیاز هستند. مرحله‌ی اول، گردآوری داده‌های موردنیاز برای تشکیل مدل است، که شامل وزن‌های لازم برای تشکیل قواعد با استفاده از روش پیش‌گفته است. مرحله‌ی دوم، گردآوری داده‌های لازم به‌عنوان ورودی برای ارزیابی ریسک مطالعه‌ی موردی با استفاده از سیستم تشکیل شده است. داده‌های لازم برای این مرحله شامل بزرگی عوامل ریسک‌ساز برای ریسک‌های دسته‌ی اول و بزرگی احتمال و شدت تأثیر وقوع ریسک برای ریسک‌های دسته‌ی دوم است. برای گرفتن اطلاعات دسته‌ی اول از خبرگان، پرسش‌نامه‌یی تخصصی تدوین و در میان ۵۵ نفر از خبرگان شاغل در صنعت ساختمان با تجربه‌ی کاری بیش از ۵ سال توزیع شده است. توزیع جمعیت آماری مورد پرسش شامل ۳۱٪ کارفرمایان، ۳۵٪ پیمانکاران، ۲۵٪ مهندسان مشاور، و ۹٪ متخصصان دانشگاهی بوده است. لازم به ذکر است که اطلاعات دسته‌ی اول به پروژه‌ی خاصی مربوط نبوده و استناد آن‌ها به تجربه و دانش عمومی خبرگان حوزه‌ی مدیریت ساخت بوده است. پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها، داده‌های آن‌ها از طریق میانگین‌گیری ترکیب و برای تدوین قواعد استفاده شده است. در مجموع، ۶۰۲۵ قاعده برای تشکیل سیستم تدوین شده است.

پس از کدنویسی سیستم خبره با نرم‌افزار MATLAB، سیستم آماده‌ی استفاده شده است. برای گرفتن اطلاعات دسته‌ی دوم از خبرگان، پرسش‌نامه‌یی تدوین و در میان ۷ نفر از خبرگان شاغل در پروژه‌ی نام‌برده در تهران توزیع شده است. این تذکر لازم است که در مورد این دسته از اطلاعات برخلاف اطلاعات دسته‌ی قبل لازم بوده است که پرسش‌نامه‌ها در میان خبرگان پروژه‌ی مورد مطالعه توزیع شود. به این دلیل که اطلاعات مذکور، ورودی‌های سیستم برای ارزیابی ریسک پروژه‌ی مورد مطالعه بوده و لازم است مدیر یا کارشناس مورد پرسش، اطلاعات کافی در مورد شرایط پروژه‌ی موردنظر داشته باشد. توزیع جمعیت آماری مورد پرسش شامل ۳ نفر از تیم کارفرما (شامل: مالک، نماینده‌ی کارفرما، و مدیر پروژه)، ۲ نفر از تیم مهندس مشاور (سرپرست تیم طراحی و سرناظر) و ۲ نفر از تیم پیمانکار (مدیر عامل و سرپرست کارگر) بوده است. به منظور ارزیابی ریسک پروژه از نقطه‌نظر تیم‌های مختلف درگیر پروژه، میانگین‌گیری اطلاعات به نحو مجزا برای کارفرما، پیمانکار، و مهندس مشاور انجام شده است. در عین حال، برای ارزیابی ریسک با درنظرگرفتن نظرات کلیه‌ی ذینفعان یک بار میانگین‌گیری با درنظرگرفتن همه‌ی نظرات انجام شده است. فرایند فوق به ۴ دسته داده برای کارفرما، پیمانکار، مشاور، و مجموع نظرات منتهی شده است، که هر کدام به‌عنوان ورودی سیستم برای ارزیابی ریسک از نقطه‌نظر یکی از تیم‌های درگیر در پروژه استفاده شده است. در نهایت، پس از ارائه‌ی داده‌های ورودی به سیستم فازی، برای هر سطح و هر خانه در ساختار سلسله مراتبی، عددی به‌عنوان بزرگی ریسک حاصل شده و عدد مذکور در این نوشتار، امتیاز ریسک نامیده شده است. در ادامه، به اختصار خروجی‌های روش با داشتن امتیاز ریسک سطوح مختلف و با درنظرگرفتن نظرات تیم‌های مختلف درگیر در پروژه بررسی شده است.

## ۱.۳. ریسک کلی پروژه و رده‌بندی ریسک‌ها و مراکز ریسک

همان‌طور که اشاره شده است، میزان تأثیر هر یک از ورودی‌های یک قاعده در خروجی آن، برای قواعد مختلف مورد استفاده در این نوشتار از طریق پرسش‌نامه و از ۴ دسته‌ی کارفرما، پیمانکار، مشاور، و متخصص دانشگاهی اخذ و از طریق میانگین‌گیری، وزن‌های نهایی تعیین شده است. جدول ۲، نمونه‌یی از وزن‌های مورد استفاده در این پژوهش، که میزان تأثیر ریسک کلی مربوط به هر هدف را در ریسک کلی پروژه تعیین می‌کند، به صورت اعداد بین ۰ تا ۱ نشان می‌دهد. این تذکر لازم است که میزان اهمیت هر هدف به‌صورت عددی بین ۰ تا ۱۰ از خبرگان اخذ و سپس از طریق تقسیم وزن هر هدف بر مجموع وزن اهداف به‌صورت عددی بین صفر تا ۱ نرمالایز شده است. این اعداد در واقع اهمیت هر یک از اهداف را فارغ از میزان عددی ریسک آنها در برآورد ریسک نهایی پروژه نشان می‌دهد.

پس از تشکیل قواعد فازی، ورودی‌های دسته‌ی دوم (ورودی‌های مربوط به پروژه‌ی مورد مطالعه) به‌عنوان ورودی به سیستم داده و ریسک کلی پروژه از نگاه ذینفعان حاصل شده است. این مقدار برای پروژه‌ی مورد مطالعه از نگاه کارفرما برابر ۶٫۱۶، از نگاه پیمانکار برابر ۵، از نگاه مشاور برابر ۶٫۱۷، و با درنظرگرفتن مجموع عوامل، برابر ۶٫۰۲ از ۱۰ به دست آمده است.

در عین حال می‌توان ریسک کلی پروژه را به‌صورت ارزش زبانی هم مطرح کرد. به این منظور عدد ذکرشده، مرکز سطح یک مثلث فرض و از این طریق مجموعه‌ی فازی با مرکز سطح میزان عددی ریسک کلی ایجاد شده است. سپس، از طریق روش پیشنهادی چن (۱۹۹۸) و از طریق رابطه‌ی ۲، مشابهت این مجموعه‌ی فازی با هر یک از ارزش‌های زبانی ۵ گانه‌ی مورد استفاده در این پروژه به دست آمده و بیشترین تشابه به‌عنوان ارزش زبانی ریسک کلی پروژه در نظرگرفته شده است:[۱۳]

$$S(\tilde{A},\tilde{B}) = ۱ - \frac{\sum_{i=۱}^{۳} |a_{i_i} - b_i|}{۳} \qquad (۲)$$

که در آن، $S(\tilde{A},\tilde{B})$ میزان مشابهت دو مجموعه‌ی فازی مثلثی $\tilde{A} = (a_۱, a_۲, a_۳)$ و $\tilde{B} = (b_۱, b_۲, b_۳)$ را به دست می‌دهد. برای تعیین ارزش زبانی متناظر با یک مجموعه‌ی فازی، میزان مشابهت مجموعه با هر یک از ارزش‌های زبانی که در شکل ۲ آمده است، به دست آمده و ارزش زبانی که بیشترین شباهت را نشان دهد، به‌عنوان ارزش زبانی مجموعه‌ی مورد بررسی در نظرگرفته شده است. همان‌طورکه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، ارزش زبانی ریسک کلی پروژه از نظر تمامی ذینفعان طرح برابر متوسط است. یکی دیگر از کاربردهای روش پیشنهادی، استفاده‌ی آن

**جدول ۲. وزن تأثیر ریسک در رابطه با هر هدف در ریسک کلی پروژه (اهمیت هر هدف).**

| اهداف اصلی | وزن |
|---|---|
| زمان | ۰٫۲۸ |
| هزینه | ۰٫۳۰ |
| کیفیت | ۰٫۲۱ |
| ایمنی | ۰٫۲۱ |

**جدول ۳. محاسبه‌ی سنجه‌ی مشابهت برای ریسک کلی پروژه از نظر تصمیم‌گیرندگان.**

| ارزش زبانی | سنجه‌ی مشابهت | | | |
|---|---|---|---|---|
| | کارفرما | پیمانکار | مشاور | مجموع نظرات |
| بسیار کم | ۰٫۴۷ | ۰٫۵۸ | ۰٫۴۷ | ۰٫۴۸ |
| کم | ۰٫۶۳ | ۰٫۷۵ | ۰٫۶۳ | ۰٫۶۵ |
| **متوسط** | ۰٫۸۸ | ۱ | ۰٫۸۸ | ۰٫۹۰ |
| زیاد | ۰٫۸۷ | ۰٫۷۵ | ۰٫۸۷ | ۰٫۸۵ |
| بسیار زیاد | ۰٫۷۰ | ۰٫۵۸ | ۰٫۷۰ | ۰٫۶۹ |

برای رده‌بندی ریسک‌ها و مراکز ریسک است. در ادامه، به بررسی روش رده‌بندی پیشنهادی و بررسی کاربرد آن در مطالعه‌ی موردی پرداخته شده است. علی‌رغم اینکه استفاده از امتیاز ریسک (خروجی‌های خام نرم‌افزار) برای به دست‌آوردن ریسک کلی پروژه مناسب است، استفاده از آن برای منظور رده‌بندی ریسک‌ها و مراکز ریسک مناسب نیست. زیرا با توجه به روشی که برای به دست‌آوردن قواعد در تشکیل سیستم به کار گرفته شده است، فقط تأثیر عوامل پایین‌دست در تعیین بزرگی ریسک عامل بالادست در تعیین امتیاز ریسک مشاهده شده است.

به عبارت دیگر، امتیاز ریسک، اطلاعاتی از میزان اهمیت ریسک یا مرکز ریسک موردنظر در تعیین ریسک کلی پروژه به دست نمی‌دهد. در این نوشتار، با تعریف عاملی به نام شاخص ریسک سعی در فائق‌آمدن بر این مشکل شده و از شاخص ریسک برای رده‌بندی ریسک‌ها و مراکز ریسک استفاده شده است. در ادامه، به اختصار و به‌عنوان مثال، روش به دست‌آوردن شاخص ریسک برای ریسک «شرایط کاری نامناسب» و مرکز ریسک «نیروی کار» در رابطه با هدف هزینه و از دیدگاه کارفرما توضیح داده شده است. ابتدا وزن نرمالایزشده‌ی عوامل با استفاده از رابطه‌ی ۳ به دست آمده است:

$$NW_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \qquad (۳)$$

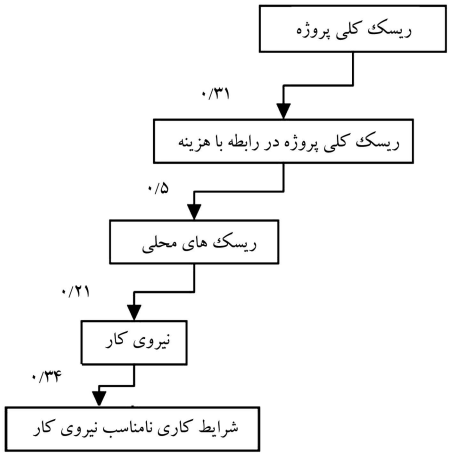
که در آن، $W_i$ برابر وزن تأثیر هر یک از زیرشاخه‌های یک سرگروه است، که در بخش‌های پیشین برای استخراج قواعد استفاده شده و $NW_i$ برابر وزن نرمالایزشده‌ی تأثیر هر یک از شاخه‌های یک سرگروه است. برای به دست‌آوردن وزن نرمالایزشده لازم است وزن تأثیر هر یک از زیرشاخه‌ها به مجموع وزن تأثیر زیرشاخه‌ها تقسیم شود. درگام بعد، برای محاسبه‌ی شاخص ریسک برای ریسک‌ها و مراکز ریسک از رابطه‌ی ۴ استفاده شده است:

$$RI = (\prod_{i=1}^{n} NW_i) \times RS \qquad (۴)$$

که در آن، $RI$ برابر شاخص ریسک، $RS$ برابر امتیاز ریسک به دست‌آمده از نرم‌افزار، و $\prod_{i=1}^{n} NW_i$ برابر ضرب وزن نرمالایزشده‌ی عوامل بالادستی ریسک و یا مرکز ریسکی است، که شاخص ریسک برای آن محاسبه شده است. با استفاده از رابطه‌ی ذکرشده، شاخص ریسک برای هر ریسک و مرکز ریسک در رابطه با هر هدف به دست آمده است. در نهایت، برای به دست‌آوردن شاخص ریسک کلی برای هر ریسک و مرکز ریسک، میانگین ۴ مقدار به دست‌آمده با ۴ هدف در رابطه محاسبه شده است. در ادامه، برای درک بهتر روش محاسبه‌ی شاخص ریسک، این شاخص برای مرکز ریسک نیروی کار و ریسک شرایط کاری نامناسب محاسبه شده است. شکل ۷، عوامل بالادستی ریسک «شرایط کاری نامناسب» و مرکز ریسک «نیروی کار» را نشان می‌دهد. اعداد روی دیاگرام، وزن نرمالایزشده‌ی تأثیر هر عامل در عامل بالادستی است. به‌عنوان مثال، وزن یا اهمیت تأثیر نرمالایزشده‌ی «شرایط کاری نامناسب» در بزرگی ریسک مرکز ریسک «نیروی کار» برابر ۰٫۳۴ بوده است. شاخص ریسک برای مرکز ریسک «نیروی کار» از طریق فرمول ۵ به دست آمده است:

$$(RI)_L = NW_c \times NW_{Local} \times NW_L \times Labor\ Risk\ Score\ (RS)_L$$
$$= ۰٫۳۱ \times ۰٫۵ \times ۰٫۲۱ \times ۵٫۸۵ = ۰٫۱۹۱ \qquad (۵)$$

که در آن، $NW_c$ میزان وزن نرمالایزشده مربوط به هدف هزینه، $NW_{Local}$ میزان وزن نرمالایزشده‌ی ریسک‌های محلی، $NW_L$ میزان وزن نرمالایزشده‌ی نیروی کار،




**شکل ۷. عوامل بالادستی ریسک شرایط کار نامناسب و مرکز ریسک نیروی کار.**

$(RS)_L$ امتیاز ریسک به دست‌آمده از نرم‌افزار برای مرکز ریسک نیروی کار، و $(RI)_L$ شاخص ریسک به دست‌آمده در رابطه با هدف هزینه برای مرکز ریسک نیروی کار است.

برای ریسک شرایط کاری نامناسب در رابطه با هدف هزینه، شاخص ریسک به‌صورت رابطه‌ی ۶ به‌دست آمده است:

$$(RI)_{\text{UNSWC}} = NW_C \times NW_{Local} \times NW_L \times NW_{\text{UNSWC}}$$
$$\times (RS)_{\text{UNSWC}} = ۰٫۳۱ \times ۰٫۵ \times ۰٫۲۱ \times ۰٫۳۴$$
$$\times ۳٫۱۴ = ۰٫۰۳۵ \qquad (۶)$$

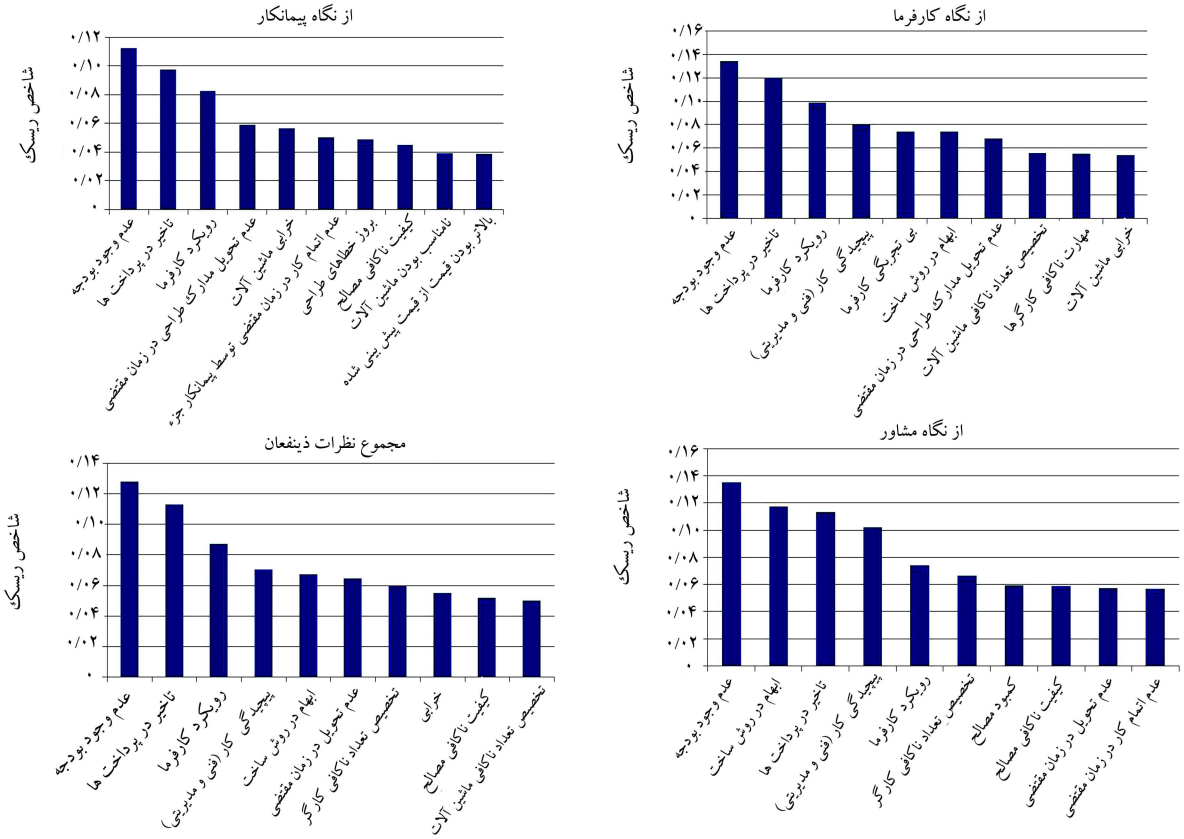
که در آن، $NW_{\text{UNSWC}}$ [1] میزان وزن نرمالایزشده مربوط به ریسک «شرایط کاری نامناسب» است. همان‌گونه که در فرمول‌های مذکور مشخص است، شاخص ریسک در رابطه با هدف هزینه به‌دست‌آمده است. مشابه فرایند ذکرشده برای اهداف زمان، کیفیت، و ایمنی انجام شده و شاخص ریسک برای هر ریسک و مرکز ریسک در رابطه با اهداف مذکور به دست آمده است. برای به دست‌آوردن شاخص ریسک کلی برای هر ریسک و مرکز ریسک، میانگین ۴ مقدار به‌دست‌آمده محاسبه شده است. در نهایت، رده‌بندی ریسک‌ها و مراکز ریسک بر مبنای شاخص ریسک کلی به‌دست‌آمده انجام شده است. رده‌بندی مراکز ریسک از نظر تیم‌های مختلف کاری درگیر در پروژه‌ی ساختمانی مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین رده‌بندی ۱۰ ریسک بزرگ پروژه از نگاه تیم‌های درگیر در پروژه در شکل ۸ ارائه شده است.

## ۲.۳. بررسی نتایج

درخصوص ریسک های استخراج‌شده از نگاه مشاور طرح، مهم‌ترین ریسک‌ها به ترتیب مربوط به بحث کمبود بودجه، ابهام در روش اجرا، تأخیر در پرداخت‌های کارفرما، و مسائل فنی است. در خصوص پیمانکار طرح نیز کمبود بودجه، تأخیر در پرداخت‌ها، رویکرد کارفرما در خصوص پروژه و مسائل فنی بحرانی‌ترین ریسک‌ها محسوب می‌شوند. در عین حال، ریسک‌های طراحی از نگاه پیمانکار اهمیت ویژه‌یی دارند و به طور خاص «عدم تحویل مدارک طراحی از سوی مشاور در زمان مقتضی» از ریسک‌های مهم و تأثیرگذار پروژه از نگاه پیمانکار است. بنابراین لازم است کارفرما توجه ویژه‌یی به ارائه‌ی به موقع مدارک طراحی توسط مهندس مشاور به پیمانکار نشان دهد. همچنین ریسک‌های مدنظر کارفرما به ترتیب عدم وجود بودجه، تأخیر

جدول ۴. رده‌بندی مراکز ریسک از نگاه تیم‌های مختلف درگیر در پروژه.

| مرکز ریسک | کارفرما | | مشاور | | پیمانکار | | مجموع نظرات | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | رده‌بندی | شاخص ریسک | رده‌بندی | شاخص ریسک | رده‌بندی | شاخص ریسک | رده‌بندی | شاخص ریسک |
| مالی | ۱ | ۰٫۲۵۱ | ۱ | ۰٫۲۳۷ | ۱ | ۰٫۲۱۲ | ۱ | ۰٫۲۴۱ |
| کارفرما | ۲ | ۰٫۱۸۹ | ۸ | ۰٫۱۳۸ | ۳ | ۰٫۱۲۳ | ۲ | ۰٫۱۶۹ |
| ماشین آلات | ۳ | ۰٫۱۵۷ | ۷ | ۰٫۱۴۴ | ۴ | ۰٫۱۲۱ | ۴ | ۰٫۱۵۰ |
| نیروی کار | ۴ | ۰٫۱۵۴ | ۴ | ۰٫۱۶۳ | ۷ | ۰٫۱۰۱ | ۵ | ۰٫۱۴۴ |
| مواد و مصالح | ۵ | ۰٫۱۴۲ | ۳ | ۰٫۱۶۷ | ۶ | ۰٫۱۰۷ | ۶ | ۰٫۱۴۰ |
| فنی | ۶ | ۰٫۱۴۱ | ۲ | ۰٫۱۸۷ | ۸ | ۰٫۰۷۱ | ۸ | ۰٫۱۲۵ |
| طراحی | ۷ | ۰٫۱۲۶ | ۵ | ۰٫۱۵۴ | ۲ | ۰٫۱۳۷ | ۳ | ۰٫۱۶۲ |
| پیمانکار جزء | ۸ | ۰٫۱۰۶ | ۶ | ۰٫۱۵۰ | ۵ | ۰٫۱۰۹ | ۷ | ۰٫۱۳۶ |
| سایت | ۹ | ۰٫۰۷۵ | ۹ | ۰٫۱۲۴ | ۹ | ۰٫۰۶۸ | ۹ | ۰٫۰۸۸ |




شکل ۸. نمودار مقایسه‌یی ۱۰ ریسک مهم پروژه از نگاه ذینفعان پروژه.

در پرداخت‌ها، رویکرد کارفرما، و مسائل فنی و مدیریتی است. به‌خصوص اینکه بررسی‌ها و نتایج حاکی از آن است که بحث تأمین ماشین‌آلات و نیروی انسانی تأمین‌شده از سوی پیمانکار و مشکلات و نگرانی‌های مربوط به آن از جمله مراکز ریسک مورد توجه کارفرماست.

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک گروهی مطالعه‌ی موردی ارائه‌شده با لحاظ نظر هر ۳ ذی‌نفع پروژه (جدول ۴) نشان می‌دهد که مرکز ریسک مالی، محتمل‌ترین ریسک است؛ که این مسئله با توجه به توقف‌های متوالی در جریان کار پروژه به دلیل عدم وجود نقدینگی توجیه می‌شود. مرکز ریسک کارفرما، که ریسک‌های مربوط به عملکرد کارفرما را در خود دارد، دومین مرکز ریسک مهم پروژه با درنظرگرفتن نظرات مجموعه عوامل است. این مسئله ضرورت توجه کافی و پاسخ مناسب به ریسک‌های این مرکز ریسک را نشان می‌دهد. سومین مرکز ریسک مهم مربوط به ابهامات و اشکالات طراحی است، که موجب می‌شود تا تأخیراتی جهت اصلاح آنها در طول اجرای پروژه به‌وجود آید، که این مسئله به مشاور طرح مربوط می‌شود. به‌عنوان چهارمین عامل مهم علاوه بر موارد ذکرشده، مرکز ریسک «ماشین‌آلات» از نگاه کارفرما و پیمانکار، اهمیت ویژه‌یی دارد، که ضرورت توجه کافی به این مرکز ریسک را نشان می‌دهد. در

نهایت، با درنظرگرفتن مجموع نظرات، مراکز ریسک مهم پروژه مرتبط با اهداف هزینه، زمان، ایمنی، و کیفیت به ترتیب ریسک‌های مالی، ریسک‌های کارفرما، ریسک‌های طراحی، و ریسک‌های ماشین‌آلات هستند، که در شکل ۸ نیز در قالب ریسک‌های بزرگ قابل مشاهده است. این مسئله در بررسی نتایج نهایی توسط اعضاء تیم پروژه‌ی ساختمانی مزبور نیز مورد صحت‌سنجی و تأیید قرارگرفته است.

## ۴. نتیجه‌گیری

مدیران و تیم‌های پروژه‌های ساخت، با ریسک‌های گوناگونی رو در رو هستند، که بی‌توجهی و عدم مدیریت مناسب آن‌ها منجر به تأخیر، افزایش هزینه، و برآورده‌نشدن الزامات پروژه به لحاظ کیفیت و ایمنی می‌شود. در صورت اتخاذ یک رویکرد علمی و مناسب نسبت به ریسک، می‌توان تا حد زیادی از این‌گونه عواقب و پیامدها اجتناب کرد. در این پژوهش به ارائه‌ی مدلی بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت تحت تأثیر عدم قطعیت‌های موجود پرداخته شده است. مدل پیشنهادی در این نوشتار می‌تواند با برداشتن موانع موجود در روش‌های سنتی، روشی کاربردی برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت ارائه کند و از این طریق گام مؤثری در اجرای فرایند مدیریت ریسک در این پروژه‌ها باشد. در مدل پیشنهادی، برخلاف کاربردهای پیشین نظریه‌ی مجموعه‌های فازی در ارزیابی ریسک، دو نوع ریسک مورد بررسی قرارگرفته و روشی برای ارزیابی هرکدام پیشنهاد شده است.

این رویکرد باعث افزایش انعطاف‌پذیری روش پیشنهادی در مدل‌کردن پروژه‌های واقعی می‌شود. در عین حال برای فائق‌آمدن بر یکی از مشکلات جدی استفاده از سیستم‌های فازی در حوزه‌ی مدیریت ساخت، که همان تدوین قواعد است، روشی بر مبنای روش پیشنهادی Fares و Zayed،[۱۲] برای تدوین قواعد استفاده شده است. علاوه بر این موارد، در نوشتار حاضر علاوه بر ارائه‌ی روشی برای تعیین ریسک کلی پروژه‌ها، روشی نیز برای رده‌بندی ریسک‌ها و مراکز ریسک پیشنهاد شده است، که این مسئله باعث کاربردی‌ترشدن روش پیشنهادی در ارزیابی ریسک پروژه‌های عمرانی می‌شود. برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود پروژه‌های ساخت براساس نوع و سیستم قراردادی دسته‌بندی و برای هر دسته از پروژه‌ها، ساختار سلسله مراتبی و قواعد مورد استفاده اصلاح شود. خروجی این فرایند نرم‌افزاری خواهد بود که با تعیین نوع پروژه و سیستم قراردادی قادر به ارزیابی ریسک پروژه است. در عین حال می‌توان امکان استفاده از روش پیشنهادی را برای رده‌بندی پاسخ‌های ممکن به ریسک بررسی کرد. یکی دیگر از پژوهش‌های ممکن، استفاده از نتایج نوشتار حاضر برای تعیین قیمت پیشنهادی پیمانکار با توجه به ریسک پروژه است. در نهایت، می‌توان ترکیب نظریه‌ی مجموعه‌های فازی با دینامیک سیستم‌ها و دیاگرام‌های علت ـ تأثیر را برای بهبود کارایی فرایند ارزیابی ریسک مورد بررسی قرار داد. هر چند برخی از پژوهشگران استفاده از دینامیک سیستم‌ها را در ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت مطرح کرده‌اند،[۱۴] ولی این مسئله که می‌تواند در کنار دیاگرام‌های علت ـ تأثیر باعث بهبود چشم‌گیر روش‌های ارزیابی ریسک شود، جای پژوهش بیشتری دارد.

## پانوشت

1. normalized weight of unsuitable work condition

## منابع (References)


1. PMI, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide*, 4th edition, PMI inc. (2008).
2. Kerzner, H., *Project Management, A Systematic Approach to Planning, Scheduling and Controlling*, 9th edition, John Wiley &Sons Inc., Hoboken, New Jersey (2006).
3. Tah, J. and Carr, V. "A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic", *Construction Management and Economics*, **18**(4), pp. 491-500 (2000).
4. Dikmen, I., Birgonul, M.T. and Han, S. "Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects", *International Journal of Project Management*, **25**(5), pp. 494-505 (2007).
5. Zhang, G. and Zou, P.X. "Fuzzy analytical hierarchy process risk assessment approach for joint venture construction projects in China", *Journal of Construction Engineering and Management*, **133**(10), pp. 771-779 (2007).
6. Sachs, T. and Tiong, R. "Quantifying qualitative information on risks: Development of the QQIR method", *Journal of Construction Engineering and Management*, **135**(1), pp. 56-71 (2009).
7. Kangari, R. and Riggs, L.S. "Hierarchical construction risk assessment by linguistics", *IEEE Transactions on Engineering Management*, **36**(2), pp. 126-131 (1989).
8. Choi, H.-H., Cho, H.-N. and Seo, J.W. "Risk assessment methodology for underground construction project", *Journal of Construction Engineering and Management*, **130**(2), pp. 258-272 (2004).
9. Nasirzadeh, F., Khanzadi, M. and Afshar, A. "Simulation of simultaneous consequences of risks on the project cost and time considering uncertainties", *Sharif Journal of Civil Engineering*, **32**(2-1), pp. 3-11 (2014).
10. Rezakhani, P., Jang, W.S., Lee, S. and Lee, D.E. "Project risk assessment model combining the fuzzy

weighted average principle with a similarity measure", *KSCE Journal of Civil Engineering*, **18**(2), pp. 521-530 (2014).

11. Taylan, O., Bafail, A., Abdulaah, R. and Kabil, M.R. "Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies", *Applied Soft Computing*, **17**, pp. 105-116 (2014).

12. Fares, H. and Zayed, T. "Hierarchical fuzzy expert system for risk of failure of water mains", *Journal of Pipeline Systems Engineering And Practice*, **1**(1), pp. 53-62 (2010).

13. Chen, S.M. "Aggregating fuzzy opinions in the group decision-making environment", *International Journal of Cybernetics and Systems*, **29**(4), pp. 363-376 (1998).

14. Nasirzadeh, F., Afshar, A., Khanzadi, M. and Howick, S. "Integrating system dynamics and fuzzy logic modelling for construction risk management", *Journal of Construction Management and Economics*, **26**(11) , pp. 1197-1212 (2008).