مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۲)
دوره‌ی ۱ - ۲۹، شماره‌ی ۲، ص. ۳-۱۴

Original Article

ارزیابی ریسک پروژه توسط رویکرد ترکیبی فرایند تحلیل شبکه‌یی و روش تاپسیس فازی

سیدحسام‌الدین دگردی * **(دانشیار)**
بخش مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس
احد نظری (استادیار)
دانشکده‌ی معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی
ابراهیم رضایی‌نیک (دانشجوی دکتری)
بخش مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

در روش‌های کلاسیک، ارزیابی ریسک‌های پروژه براساس دو معیار احتمال وقوع و تأثیر آنها انجام می‌شود، ولی این معیارها به‌تنهایی بیان‌گر تمام جنبه‌های ریسک نیستند. ضمن این که در دنیای واقعی بین معیارهای مختلف وابستگی وجود دارد. با هدف رفع کاستی‌های یادشده، در این نوشتار یک ساختار سلسله‌مراتبی برای ارزیابی ریسک پروژه پیشنهاد شده که وابستگی بین معیارها را در نظر می‌گیرد. در این ساختار ابتدا معیارها توسط فرایند تحلیل شبکه‌یی در محیط فازی ارزیابی، و وزن آنها تعیین می‌شود. در مرحله‌ی بعد، رتبه‌بندی ریسک‌ها توسط الگوریتم تاپسیس در محیط فازی انجام می‌شود. به‌منظور اعتبارسنجی مدل، از طریق مطالعه‌ی موردی در پروژه‌های نیروگاهی، بیش از ۱۰۰ ریسک شناسایی و ریسک‌های مهم توسط مدل پیشنهادی ارزیابی شده است. براساس نتایج کسب‌شده، علی‌رغم ابهام و غیر دقیق بودن داده‌های مرتبط با ریسک پروژه‌ها، مدل پیشنهادی برای مسائل دنیای واقعی مناسب و قابل کاربرد است.

واژگان کلیدی: شناسایی ریسک پروژه، ارزیابی ریسک پروژه، فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی، الگوریتم تاپسیس فازی، پروژه‌های نیروگاهی.

zegordi@modares.ac.ir
a_nazari@sbu.ac.ir
ernik@modares.ac.ir

۱. مقدمه

اغلب پروژه‌ها در محیطی پویا و پیچیده اجرا می‌شود به‌نحوی که عدم اطمینان و ریسک جزء ویژگی‌های ذاتی آنهاست. این عدم اطمینان باعث شده که اغلب پروژه‌های کشور در رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده (زمان، هزینه، کیفیت و...) موفقیت چشمگیری کسب نکنند. طبق تعریف «راهنمای گستره‌ی دانش مدیریت پروژه» ریسک عبارت است از: رخدادی غیر قطعی که در صورت وقوع، حداقل بر یکی از اهداف پروژه تأثیر می‌گذارد.[۱] هدف مدیریت ریسک افزایش احتمال موفقیت پروژه است؛ این کار از طریق شناسایی و ارزیابی سیستماتیک ریسک، ارائه‌ی روش‌هایی برای اجتناب یا کاهش آنها و بیشینه‌سازی فرصت‌ها صورت می‌گیرد.[۲] فرایند مدیریت ریسک به دو مرحله‌ی اصلی ارزیابی ریسک‌ها (شامل شناسایی و تحلیل ریسک‌ها) و پاسخ‌گویی به آنها قابل تقسیم است.[۳] فرایند مدیریت ریسک مؤثر با ارزیابی مؤثر ریسک‌ها شروع می‌شود و بدون انجام این مرحله، مدیریت ریسک‌ها امکان‌پذیر نیست.[۴] طبق نظرکارو، تمامی گام‌های فرایند مدیریت ریسک از اهمیت یکسان برخوردار است و انجام ناقص هریک از گام‌ها منجر به مدیریت ریسک غیر مؤثر می‌شود.[۵] علی‌رغم انتشار مقالات متعدد در موضوع مدیریت ریسک، اطلاعات اندکی درباره‌ی کاربرد آن در دنیای واقعی موجود است.[۶]

در این نوشتار مدلی برای ارزیابی ریسک‌های پروژه در دنیای واقعی ارائه می‌شود، که در پروژه‌های نیروگاهی پیاده‌سازی می‌شود. نیروگاه‌ها یکی از زیرساخت‌های اساسی توسعه‌ی اقتصادی کشور است و در حال حاضر پروژه‌های نیروگاهی متعددی در کشور ما در حال اجراست. این پروژه‌ها اغلب به روش کلید در دست انجام می‌شود و پیمانکار عمومی مسئول طراحی، تأمین تجهیزات و ساخت است. به‌دلایل متعدد ــ نظیر پیچیدگی فنی، نیاز به منابع ریالی و ارزی قابل توجه، نیاز به تجهیزات خاص و تداخل و همبستگی بین فازهای مختلف ــ این پروژه‌ها در معرض ریسک‌های متعددند و اغلب آنها انحراف قابل توجهی از اهداف تعیین شده دارند. بنابراین مدیریت مؤثر ریسک یکی از الزامات این پروژه‌هاست. در مدل پیشنهادی یک ساختار سلسله‌مراتبی برای ارزیابی ریسک‌ها ارائه شده که وابستگی بین معیارها را در نظر می‌گیرد. این ساختار توسط فرایند تحلیل شبکه‌یی در محیط فازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و طی آن وزن معیارها و زیرمعیارها تعیین می‌شود. در مرحله‌ی بعد، رتبه‌بندی ریسک‌ها توسط الگوریتم تاپسیس در محیط فازی انجام می‌شود.

این نوشتار در پنج بخش تنظیم شده است. پس از مقدمه، در بخش دوم، ادبیات

---

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۸۹/۱۰/۱۹، اصلاحیه ۱۳۹۰/۹/۲۶، پذیرش ۱۳۹۱/۲/۲۵.

موضوع ارزیابی ریسک‌های پروژه، فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی و روش تاپسیس فازی اجمالاً بررسی می‌شود. در بخش سوم چارچوب کلی مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. بخش چهارم به مطالعه‌ی موردی در یک پروژه‌ی نیروگاهی اختصاص دارد. در نهایت، نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی در بخش پنجم ارائه می‌شود.

۲. مرور ادبیات

۱.۲. ارزیابی ریسک‌های پروژه

علم مدیریت ریسک در دوره‌ی رنسانس در قرن ۱۶ میلادی مطرح شد. از سال ۱۹۹۰ میلادی مدل‌های مختلفی برای مدیریت ریسک پروژه‌ها با هدف افزایش موفقیت آنها ارائه شده است.[۱،۷و۸] در اغلب این مدل‌ها شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها ازگام‌های اساسی است. برخی مدل‌ها ازگام‌هایی ساده و برخی از جزئیات بیشتری تشکیل شده‌اند. از منظر عمومی، فرایند مدیریت ریسک پروژه شامل دو مرحله‌ی عام ارزیابی و پاسخ‌گویی به ریسک است. ارزیابی ریسک از دو بخش شناسایی و تحلیل ریسک‌ها تشکیل شده است.[۳] برای شناسایی ریسک پروژه‌ها روش‌های متعددی مطرح شده که هریک در شرایط خاص خود قابل استفاده است. روش‌های اصلی در شناسایی ریسک‌ها عبارت‌اند از: طوفان فکری، مرور مستندات، روش دلفی، تحلیل چک‌لیست‌ها و تحلیل فرضیات.[۹] طوفان فکری متداول‌ترین روش شناسایی ریسک‌ها در دنیای واقعی است.[۱۰] یکی از موضوعات مرتبط با شناسایی ریسک‌ها، طبقه‌بندی ریسک‌هاست. طبقه‌بندی ریسک‌ها ساختاری ایجاد می‌کند که امکان شناسایی ریسک‌ها به‌صورت نظام‌مند میسر شده و باعث افزایش اثربخشی و کیفیت فرایند شناسایی می‌شود. محققین مختلف دیدگاه‌های متفاوتی نسبت به نحوه‌ی طبقه‌بندی ریسک‌ها ارائه کرده‌اند که به برخی از آنها اشاره می‌شود. پری و هایس فهرستی از عوامل ناشی از منابع گوناگون ارائه کرده‌اند که برحسب ریسک‌های مرتبط با پیمانکار، مشاور و کارفرما تقسیم‌بندی شده‌اند.[۱۱] کوپر و چاپمن ریسک‌ها را براساس ماهیت و اهمیت آنها در دو گروه اولیه و ثانویه طبقه‌بندی کرده‌اند.[۱۲] محققین از ساختار شکست ریسک برای طبقه‌بندی ریسک‌ها براساس منشاء و تأثیر آنها در پروژه استفاده کرده‌اند.[۱۳] مرنا و اسمیت ریسک‌ها را در قالب ریسک‌های عام (جهانی) و محلی طبقه‌بندی کرده‌اند. ریسک‌های عام دربرگیرنده‌ی ریسک‌های سیاسی، حقوقی، تجاری و محیطی است و ریسک‌های محلی مربوط به ساخت، عملیات، مالی و اجزای درآمدی پروژه است.[۱۴] در مطالعات بعدی، محققین ریسک‌ها را با استفاده از ساختار شکست ریسک سلسله‌مراتبی طبقه‌بندی کرده‌اند.[۱۵]

چاپمن ریسک‌ها را در چهار زیرمجموعه‌ی محیطی، صنعت، کارفرما و پروژه گروه‌بندی کرده است.[۱۶] وی به اتفاق همکارانش در مطالعه‌یی دیگر ۹ گروه از ریسک‌ها را که در هر پروژه‌ی زیربنایی رخ می‌دهد مورد مطالعه قرار داده است؛ این گروه‌ها شامل ریسک‌های فنی، ساخت، عملیات، درآمد، مالی، غیر مترقبه، قوانین /سیاسی، محیطی و پیش‌فرض پروژه است.[۱۷] به‌طورکلی روش‌های متعددی برای تقسیم‌بندی ریسک‌های پروژه وجود دارد و انتخاب یک روش منطقی بستگی به اهداف خاص تحقیق دارد.[۱۸] در این تحقیق، ساختاری متناسب با پروژه‌های مورد بررسی برای طبقه‌بندی ریسک‌ها ارائه شده و با استفاده از رویکردهای مختلف ریسک‌ها شناسایی شده‌اند.

تحلیل ریسک به دو صورت کیفی و کمّی انجام می‌شود. تحلیل کیفی ریسک معمولاً شامل ارزیابی احتمال، تأثیر و ماتریس احتمال ـ تأثیر است. در تحلیل کمّی از روش‌هایی مانند تحلیل حساسیت، تحلیل ارزش پولی مورد انتظار، درخت تصمیم با استفاده از نظریه‌ی مطلوبیت، شبیه‌سازی، نمودار علت و معلول، نمودار نفوذ، نظریه‌ی بازی، نظریه‌ی فازی و تحلیل درخت خطا استفاده می‌شود.[۹] هدف اصلی ارزیابی کیفی ریسک، اولویت‌بندی ریسک‌هاست و در این زمینه مطالعات زیادی صورت گرفته که به برخی از تحقیقات مرتبط اشاره می‌شود.

زو و همکارانش ریسک‌های کلیدی را در پروژه‌های ساخت در کشور چین بررسی کرده‌اند. براساس ارزیابی احتمال وقوع و تأثیر ریسک‌ها بر اهداف پروژه، ۲۵ ریسک کلیدی شناسایی شده است.[۱۸] زاید و چانگ با استفاده از مفهوم نظریه‌ی مطلوبیت، ارزش وزنی مورد انتظار را به‌عنوان شاخص ریسک در پروژه‌های ساخت ـ بهره‌برداری ـ انتقال استخراج کرده‌اند.[۱۹] کانگ و همکاران با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی پویای چندمنظوره، مدلی برای ارزیابی ریسک‌های پروژه ارائه کرده‌اند و مدل پیشنهادی را از طریق یک الگوریتم تکراری حل کرده‌اند.[۲۰] ژنگ و همکاران با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی اصلاح شده، ساختاری برای ریسک‌های پروژه‌های ساختمانی پیشنهاد داده‌اند و آنها را اولویت‌بندی کرده‌اند.[۲۱] ابراهیم‌نژاد و همکاران با استفاده از روش تاپسیس فازی و روش برنامه‌ریزی خطی فازی برای تحلیل چندبعدی اولویت (لینمپ فازی)، مدلی برای رتبه‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های ساخت ـ بهره‌برداری ـ انتقال پیشنهاد کرده‌اند.[۲۲] با توجه به این که در هریک از مراحل فرایند مدیریت ریسک پروژه ابزارهای متفاوتی قابل استفاده است، کانو و کراز با در نظر گرفتن عواملی از قبیل اندازه‌ی پروژه، پیچیدگی و سطح بلوغ سازمانی ریسک روش‌های مناسبِ هر پروژه را پیشنهاد کرده‌اند.[۲۳]

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که در اغلب مطالعات فقط از معیارهای احتمال و تأثیر برای اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده شده که این معیارها به‌تنهایی بیان‌گر تمام جنبه‌های ریسک نیستند. از طرف دیگر وجود وابستگی احتمالی بین معیارهای مختلف نیز بررسی نشده است. به‌منظور رفع این مشکلات، در این تحقیق ساختاری پیشنهاد شده که امکان در نظرگرفتن معیارها و زیرمعیارها را در سطوح مختلف فراهم می‌سازد و از طرفی وابستگی بین معیارها و زیرمعیارها را در نظر می‌گیرد. ساختار پیشنهادی توسط فرایند تحلیل شبکه‌یی در محیط فازی ارزیابی شده، و وزن معیارها و زیرمعیارها تعیین می‌شود. در مرحله‌ی بعد، رتبه‌بندی ریسک‌ها توسط الگوریتم تاپسیس در محیط فازی انجام می‌شود. با توجه به ابهامات و بی‌دقتی اطلاعات ریسک‌های پروژه، روش‌های فازی مناسب‌تر از روش‌های قطعی‌اند.

۲.۲. فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[۱] که در سال ۱۹۸۰ معرفی شد، یکی از روش‌های مناسب برای حل مسائل پیچیده‌ی تصمیم‌گیری است. این فرایند حداقل سه سطح دارد؛ در سطح اول هدف تصمیم‌گیری، در سطح دوم معیارها و در سطح سوم گزینه‌ها قرار می‌گیرد. یک مدل تصمیم‌گیری خوب باید در شرایط مبهم و نادقیق دارای کارایی باشد، زیرا ابهام خاصیت مشترک بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری است.[۲۴] در راستای پاسخ‌گویی به این نیاز، AHP توسط نویسندگان مختلف برای محیط فازی استفاده شده است.[۲۵-۳۰] علی‌رغم کاربرد گسترده‌ی منطق فازی، محاسبات آن در حالت کلی پیچیده است. در مطالعات کاربردی اغلب از اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌یی استفاده می‌شود که علاوه بر محاسبات ساده، پردازش اطلاعات و تفسیر نتایج آن در محیط فازی نیز به سهولت انجام می‌شود.[۲۵] یکی از روش‌های معروف در محاسبات AHP فازی روش تحلیل توسعه‌یی است که اولین‌بار توسط چانگ در سال ۱۹۹۶ معرفی شد.[۲۶] از مزایای این روش می‌توان به سادگیِ این روش در

مقایسه با سایر رویکردهای AHP فازی و شباهت آن به روش قطعی اشاره کرد. چون در این تحقیق از روش تحلیل توسعه‌یی برای ارزیابی نتایج استفاده می‌شود، به‌اختصار به بررسی این روش می‌پردازیم. با این حال این روش برای تصمیم‌گیری گروهی اصلاح شده است. در این روش برای مقایسه‌های زوجی از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود و برای هر سطر ماتریس مقایسه‌های زوجی ارزش S_k، که خود یک عدد فازی مثلثی است، از رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود. در رابطه‌ی ۱ نماد k بیان‌گر شماره سطر و i و j به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی گزینه‌ها و معیارهاست. در حقیقت در این رابطه، برای محاسبه‌ی S_k، مجموع اعداد فازی سطرkام بر مجموع اعداد فازی ماتریس تقسیم می‌شود.

$$S_k = \sum_{j=1}^{n} M_{kj} \times [\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}]^{-1} \qquad (1)$$

پس از محاسبه‌ی S_kها باید درجه‌ی احتمال بزرگی آنها نسبت به هم تعیین شود. برای این منظور از روش‌های مرتب کردن اعداد فازی استفاده می‌شود. فرض کنید $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، آنگاه درجه‌ی بزرگی M_2 نسبت به M_1 از رابطه‌ی ۲ تعیین می‌شود.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \begin{cases} 1 & if\ m_2 \geq m_1 \\ 0 & if\ l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & otherwise \end{cases} \qquad (2)$$

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر از طریق عملگر کمینه و براساس رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود.

$$V(M \geq M_1, M_2, ..., M_K) = \min V(M \geq M_i),\ i = 1, 2, 3, ..., k \qquad (3)$$

فرض کنید: $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) for\ k = 1, 2, ..., n; k \neq i$ آنگاه بردار وزن‌ها از رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), ..., d'(A_n))^T \qquad (4)$$

در نهایت با نرمال‌سازی، وزن‌های نرمال (W) محاسبه می‌شود. برای این منظور کافی است هر عنصر بردار W' بر مجموع عناصر این بردار تقسیم شود.

فرض اساسی AHP استقلال لایه‌های بالا از تمام قسمت‌های پایین آن و معیارها در هر سطح است. در بسیاری از مسائل بین معیارها یا گزینه‌ها وابستگی وجود دارد و از طریق AHP قابل مدل‌سازی نیست. در این مسائل از فرایند تحلیل شبکه‌یی (ANP)[۲] استفاده می‌شود. ANP نیز اولین‌بار در سال ۱۹۹۶ به‌عنوان تعمیم AHP مطرح شد.[۳۱] در حالی که AHP فقط ارتباطات یک‌طرفه را به‌صورت سلسله‌مراتبی در نظر می‌گیرد، ANP اجازه می‌دهد ارتباطات پیچیده بین سطوح تصمیم‌گیری و معیارها برقرار شود. رویکرد بازخورد ANP سلسله‌مراتب را با شبکه جایگزین می‌کند. به‌عنوان مثال علاوه بر این که اهمیت معیارها تعیین‌کننده‌ی اهمیت گزینه‌هاست (شبیه فرایند سلسله‌مراتبی)، اهمیت گزینه‌ها نیز ممکن است بر اهمیت معیارها تأثیرگذار باشد.[۳۲] بنابراین ساختار سلسله‌مراتبی با ارتباطاتِ خطیِ بالا به پایین برای سیستم‌های پیچیده مناسب نیست. مزایای ANP فازی در مقایسه با حالت قطعی بسیار بیشتراست و منجر به نتایج عملی‌تر می‌شود. به دلیل استفاده از مقیاس زبانی، این روش برای جمع‌آوری اطلاعات از خبرگان و تصمیم‌گیرندگان ساده‌تر است.[۳۳] طبق نظر میخائیلف و سینگ، فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی ابهام و عدم دقت مقایسه‌های زوجی را بهتر مدل‌سازی می‌کند و قادر به استخراج اولویت‌ها از قضاوت‌های سازگار و ناسازگار است.[۳۴]

در سال‌های اخیر فرایند تحلیل شبکه‌یی برای مسائل مختلفی در محیط فازی مورد استفاده قرار گرفته که نمونه‌وار به برخی از آنها اشاره می‌شود. بران و گزتپ یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری فازی برای تأمین کالا با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی پیشنهاد داده‌اند.[۳۳] میخائیلف و سینگ از فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی در سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده کرده‌اند.[۳۴] داگدویرن و همکاران شناسایی ریسک‌های ایمنی را در سیستم کاری مورد بررسی قرار داده‌اند و از روش ANP فازی برای محاسبه‌ی وزن عوامل اصلی و عوامل فرعی استفاده کرده‌اند.[۳۵] گنری و همکاران این روش را برای انتخاب محل کارخانه‌ی کشتی‌سازی مورد استفاده قرار داده‌اند.[۳۶] داگدویرن و یوکسل مدلی مبتنی بر فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی برای اندازه‌گیری سطح رقابت منطقه‌یی پیشنهاد داده‌اند.[۳۷] آنان با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی و کارت اعتباری متوازن مدلی پیشنهاد کرده‌اند که سطح عملکرد سازمان را برمبنای چشم‌انداز و استراتژی آن تعیین می‌کند.[۳۸]

۳.۲. روش تاپسیس فازی

روش تاپسیس اولین‌بار در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد و یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه برای حل مسائل دنیای واقعی است.[۳۹] این روش مبتنی است بر این مفهوم که گزینه‌ی انتخابی باید کم‌ترین فاصله را با راه حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. در این روش فرض می‌شود مطلوبیت هر شاخص به‌طور یکنواخت افزایشی یا کاهشی است. فاصله‌ی یک گزینه از ایده‌آل مثبت یا منفی از طریق فاصله‌ی اقلیدسی یا به‌صورت مجموع قدر مطلق از فواصل خطی (فواصل بلوکی) محاسبه می‌شود که این امر بستگی به نرخ تبادل و جایگزینی در بین شاخص‌ها دارد. این روش در مسائل مختلفِ دنیای واقعی مورد استفاده قرارگرفته است. برخی از تحقیقات مرتبط در مقاله‌ی وانگ و الحاگ ذکر شده است.[۴۰] علاوه بر این، روش تاپسیس توسط محققین مختلف برای مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی استفاده شده است.[۳۰،۴۰و۴۱]

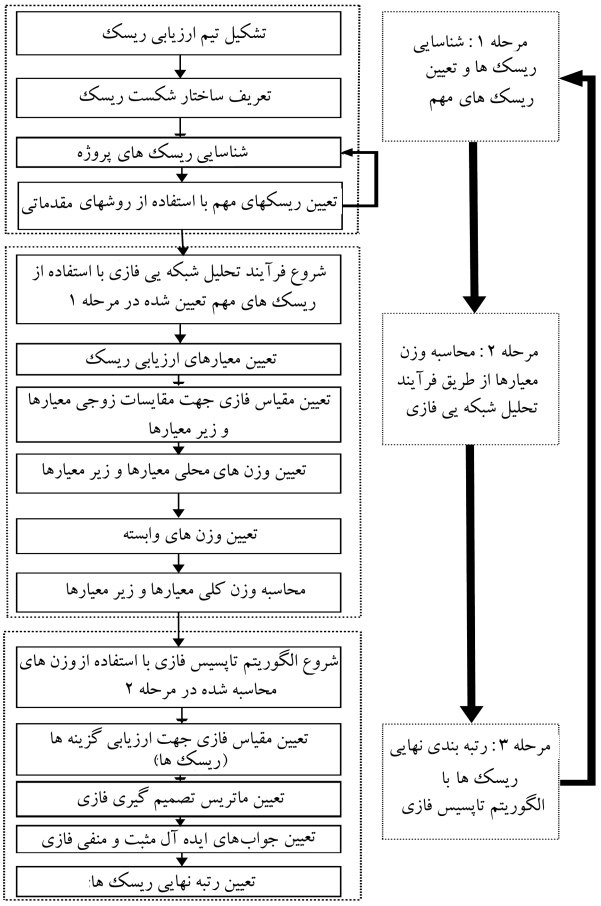
۳. مدل پیشنهادی برای شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه

بی‌شک شناسایی ریسک‌ها ازگام‌های اساسی در فرایند مدیریت ریسک است و بدون انجام این مرحله، سایر مراحل قابل انجام نیست. در این تحقیق ما از روشی ترکیبی برای شناسایی ریسک‌ها در پروژه‌های مورد بررسی استفاده کرده‌ایم. برخی ابزارهای مورد استفاده شامل بررسی گسترده‌ی مطالعات مرتبط با شناسایی ریسک‌ها در داخل و خارج کشور، مطالعه‌ی سوابق و درس‌های آموخته در پروژه‌های قبلی، مصاحبه‌های متعدد با افراد متخصص و برگزاری جلسات طوفان فکری است. با توجه به زیادبودن تعداد ریسک‌ها در پروژه‌های بزرگ از یک طرف، و محدودیت منابع سازمان برای مدیریت ریسک‌ها از سوی دیگر باید این ریسک‌ها اولویت‌بندی شوند. در مدل‌های کلاسیک از احتمال وقوع و تأثیر به‌عنوان معیارهای متداول اولویت‌بندی ریسک استفاده می‌شود و از سایر معیارها در ارزیابی ریسک‌ها استفاده نشده

است.[۴۲] با این حال، این معیارها به‌تنهایی برای پوشش تمام جنبه‌های ریسک کافی نیستند. طبق نظر کانرو، بررسی ریسک‌ها صرفاً از نظر احتمال وقوع و تأثیر آنها روش مناسبی نیست.[۵] از طرف دیگر در دنیای واقعی معمولاً بین معیارها (و زیرمعیارها) وابستگی وجود دارد که در مطالعات مرتبط با ریسک‌های پروژه از آن صرف نظر شده است. علاوه بر این در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری قضاوت‌های افراد مبهم است و بیان اولویت‌ها به‌صورت یک مقدار عددی دقیق امکان‌پذیر نیست. در این‌گونه مسائل استفاده از ارزیابی‌های زبانی منطقی‌تر است. به‌عبارت دیگر معیارها و گزینه‌ها باید از طریق متغیرهای زبانی ارزیابی شوند.[۴۳] در کشورهایی که داده‌های عینی برای ارزیابی ریسک ناکافی است، استفاده از قضاوت خبرگان اجتناب‌ناپذیر است. در اینگونه موارد، استفاده از رویکردهای فازی می‌تواند بسیار مفید باشد.[۴۴] چون ارزیابی معیارها امری ذهنی و دارای ماهیت کیفی است، بیان اولویت‌ها با استفاده از مقادیر عددی دقیق و ارائه‌ی مقایسه‌های زوجی دقیق برای خبرگان و تصمیم گیرندگان دشوار است.[۴۵] ارزیابی ریسک در پروژه‌های بزرگ (مانند پروژه‌های نیروگاهی) در اغلب موارد موضوعی پیچیده است و ارزیابی معیارها و گزینه‌ها توسط خبرگان به‌صورت غیر دقیق و برحسب عبارت‌های زبانی انجام می‌گیرد. وجود این ابهامات استفاده از منطق فازی را ضروری می‌سازد.

در مدل پیشنهادی سعی شده تا حد امکان مشکلات فوق کاهش یابد. در این مدل پس از شناسایی ریسک‌ها، ریسک‌های مهم به‌عنوان گزینه‌های مورد بررسی تعیین می‌شوند. به‌منظور رتبه‌بندی ریسک‌های مهم، یک ساختار شبکه‌یی پیشنهاد شده که علاوه بر در نظر گرفتن معیارهای مختلف، وابستگی بین معیارها را نیز در نظر می‌گیرد.

در نظرگرفتن معیارهای مختلف باعث افزایش دقت رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها می‌شود. با توجه به وابستگی بین معیارها (زیرمعیارها)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی قابل استفاده نیست. بنابراین، ساختار پیشنهادی توسط فرایند تحلیل شبکه‌یی در محیط فازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و وزن معیارها و زیرمعیارها تعیین می‌شود. در مرحله‌ی بعد، رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها توسط الگوریتم تاپسیس فازی ارائه می‌شود. در این تحقیق برای تعیین وزن‌های محلی و نسبی از تصمیم‌گیری گروهی برمبنای رویکرد اولویت‌بندی فازی استفاده شده است. یکی از ویژگی‌های مهم این روش محاسبه‌ی نرخ سازگاری در حالت فازی است که در روش‌های دیگر غالباً به آن پرداخته نشده است. مدل پیشنهادی دارای سه گام اصلی است (شکل ۱) که در ادامه‌ی این بخش به تشریح آنها خواهیم پرداخت.



شکل ۱. مدل پیشنهادی برای ارزیابی ریسک‌های پروژه.

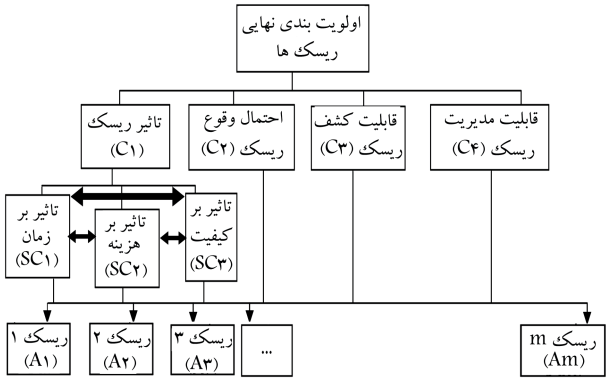
۱.۳. شناسایی ریسک‌ها و تعیین ریسک‌های مهم

در این مرحله با استفاده از شیوه‌های مناسب شناسایی ریسک‌ها (از قبیل مرور مستندات، مصاحبه، روش دلفی و...)، ریسک‌های پروژه مشخص می‌شود. به‌منظور شناسایی ریسک‌ها، یک تیم ارزیابی ریسک با تخصص‌های مختلف تشکیل می‌شود. چون ممکن است تعداد ریسک‌های شناسایی شده خیلی زیاد باشد، با استفاده از نظرات خبرگان و روش‌های مقدماتی (مانند ماتریس احتمال تأثیر) ریسک‌های مهم (اصلی) تعیین می‌شود و ریسک‌های کم‌اهمیت یا ریسک‌هایی که راهکارکنترل آنها ساده و مشخص است به‌طور جداگانه بررسی می‌شود. ریسک‌های مهم به‌عنوان گزینه‌ها در سیستم تحلیلی مبتنی بر فرایند تحلیل شبکه‌یی و روش تاپسیس فازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲.۳. محاسبه‌ی وزن معیارها و زیرمعیارها از طریق فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی

۱.۲.۳. تعیین معیارهای ارزیابی ریسک‌های پروژه

در این گام با توجه به عواملی از قبیل نوع پروژه و اهداف پروژه، معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی ریسک‌ها مشخص می‌شود. در اغلب تحقیقات از معیارهای احتمال و تأثیر برای ارزیابی ریسک‌ها استفاده شده است ولی این معیارها به‌تنهایی برای ارزیابی ریسک‌ها کافی نیستند. بنابراین یک ساختار سلسله‌مراتبی برای ارزیابی ریسک‌ها پیشنهاد شده (شکل ۲) که چهار معیار احتمال وقوع ریسک، تأثیر ریسک، قابلیت



شکل ۲. ساختار مسئله‌ی ارزیابی ریسک‌ها.

کشف ریسک و قابلیت مدیریت ریسک را شامل می‌شود. افزون بر این، معیار تأثیر ریسک به سه زیرمعیار تأثیر بر زمان، هزینه و کیفیت تقسیم شده که بین آنها وابستگی متقابل وجود دارد (بردارهای دوطرفه بیان‌گر وابستگی متقابل است). وابستگی بین زمان، هزینه و کیفیت پروژه توسط محققین زیادی مورد تأکید قرارگرفته است. به‌عنوان نمونه بارک و لاک اظهارکرده‌اند که به‌علت وابستگی متقابل این سه عامل، دست‌یابی به ترکیبی بهینه از آنها ممکن نیست. مثلاً وقتی زمان‌بندی پروژه سخت‌گیرانه باشد، اثر مستقیمی بر کاهش کیفیت دارد. به هر حال اهمیت وزنی این عوامل بستگی به استراتژی سازمان و نوع محصول دارد. برای مثال در پروژه‌ی مرتبط با توسعه‌ی دارو، کیفیت بسیار مهم‌تر از زمان و هزینه است ولی برای یک شرکت فعال در بازار رقابتی، زمان رساندن محصول به مشتری اهمیت ویژه‌یی دارد.[۴۶،۴۷] در ادبیات مدیریت ریسک پروژه‌ها معیارهای دیگری از قبیل تأخیر اثر ریسک، مجاورت ریسک، قابلیت پیش‌بینی ریسک، ویژه بودن ریسک، عمومیت ریسک، عدم قطعیت ریسک، رشد ریسک و اتصال ریسک نیز مطرح شده است.[۴۸] اما معیارهای در نظرگرفته شده در این تحقیق براساس مرور ادبیات، اهداف پروژه‌های مورد بررسی، و نظرات خبرگان تعیین شده است. بدیهی است با توجه به قابلیت روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، می‌توان این ساختار را در صورت نیاز گسترش داد و سایر معیارها را نیز به آن اضافه کرد.

۲.۲.۳. تعیین عبارت‌های زبانی و اعداد فازی برای مقایسه‌های زوجی

اعضای تیم ارزیابی ریسک باید قضاوت خود را درباره‌ی معیارها و زیرمعیارها براساس تجربه و دانش خود بیان کنند. خبرگان می‌توانند این قضاوت را براساس یک مقدار عددی دقیق، دامنه‌یی از مقادیر عددی، عبارات زبانی یا اعداد فازی بیان کنند. در بسیاری از موقعیت‌ها به علت عدم اطمینان یا غیر قابل اندازه‌گیری بودن معیارها به‌صورت کمّی، ارائه‌ی مقادیر عددی توسط خبرگان دشوار است. بنابراین می‌توان از یک متغیر زبانی یا عدد فازی برای ارائه‌ی مدل استفاده کرد.[۲۱] در مدل پیشنهادی برای تحلیل کمّی معیارها و زیرمعیارها از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است. عبارت‌های زبانی و اعداد فازی مربوطه برای مقایسه‌های زوجی طبق جدول ۱ است.

۳.۲.۳. محاسبه‌ی وزن معیارها و زیرمعیارها

با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌یی در محیط فازی، الگوریتم محاسبه‌ی وزن معیارها و زیرمعیارها عبارت است از:

گام ۱) وزن‌های محلی معیارها (و زیرمعیارها) را با استفاده از ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی فازی مشخص کنید. در این مرحله فرض می‌شود هیچ‌گونه وابستگی بین معیارها (و زیرمعیارها) وجود ندارد. برای مقایسه‌های زوجی از اعداد فازی جدول ۱ استفاده می‌شود. در این نوشتار برای مقایسه‌های زوجی از تصمیم‌گیری گروهی، برمبنای نظرات متخصصین مختلف استفاده شده است. چون ممکن است نظرات افراد خبره با یکدیگر متفاوت باشد، مقایسه‌های نهایی باید بیان‌گر نظرات مختلف باشد. فرض کنید گروه تصمیم‌گیری شامل K عضو است و مقایسه‌ی زوجی تصمیم‌گیرنده‌ی kام به‌صورت عدد فازی مثلثی مثبت $\tilde{x}_{ijk} = (l_{ijk}, m_{ijk}, u_{ijk})$ موجود است. براساس تحقیق چن و همکارانش در سال ۲۰۰۶، تجمیع مقایسه‌ها از طریق رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌شود.[۴۳]

جدول ۱. عبارت‌های زبانی و اعداد فازی برای مقایسه‌های زوجی.

عبارت زبانی	عددفازی مثلثی	معکوس عددفازی
برابر	(۱,۱,۱)	(۱,۱,۱)
اهمیت ضعیف	(۱,۲,۳)	(۱/۳,۱/۲,۱)
اهمیت زیاد	(۲,۳,۴)	(۱/۴,۱/۳,۱/۲)
اهمیت خیلی زیاد	(۳,۴,۵)	(۱/۵,۱/۴,۱/۳)
اهمیت مطلق	(۴,۵,۶)	(۱/۶,۱/۵,۱/۴)

$$\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}), \quad l_{ij} = \min_k\{l_{ijk}\},$$
$$m_{ij} = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} m_{ijk}, \quad u_{ij} = \max_k\{u_{ijk}\} \qquad (۵)$$

گام ۲) ماتریس وابستگی داخلی معیارها (یا زیرمعیارها) را از طریق وزن‌های نسبی مشخص کنید. به این منظور تأثیر هر معیار (یا زیرمعیار) بر سایر معیارها (یا زیرمعیارها) به‌صورت زوجی مقایسه، و وزن‌های نسبی از طریق AHP فازی تعیین می‌شود. از ضرب ماتریس وابستگی داخلی در وزن‌های محلی (گام ۱)، وزن‌های وابسته‌ی هر معیار (زیرمعیار) تعیین می‌شود.

گام ۳) وزن‌های کلی زیرمعیارها را تعیین کنید. وزن کلی زیرمعیارها از طریق ضرب وزن وابسته‌ی هر زیرمعیار در وزن وابسته‌ی معیار مربوطه محاسبه می‌شود.

تفاوت اصلی الگوریتم پیشنهادی با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی درگام ۲ است. به‌عبارت دیگر در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی معیارها مستقل‌اند و فقط کافی است وزن‌های محلی مطابق گام ۱ محاسبه شود. در حالی که در این تحقیق معیارها (یا زیرمعیارها) دارای تأثیر متقابل‌اند. درگام ۲، با استفاده از وزن‌های نسبی این تأثیرات محاسبه شده است.

در این تحقیق از رویکرد اولویت‌بندی فازی به‌منظور تعیین وزن‌های محلی و وزن‌های نسبی استفاده شده است که اولین بار در سال ۲۰۰۴ معرفی شد.[۲۸] یکی از ویژگی‌های مهم این روش محاسبه‌ی نرخ سازگاری در حالت فازی است که در اکثر روش‌های دیگر به آن پرداخته نشده است. علاوه بر این نیازمند مجموعه‌ی کامل مقایسه‌های زوجی به‌صورت فازی نیست و حل مدل غیرخطی حاصل نیز از سایر مدل‌های غیرخطی راحت‌تر است. در این روش فرض می‌شود مقایسه‌های زوجی فازی به‌صورت اعداد فازی مثلثی $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ است. بردار قطعی وزن (اولویت) $w = (w_1, w_2, ..., w_n)$ به‌گونه‌یی استخراج می‌شود که نرخ‌های اولویت $\frac{w_i}{w_j}$ تقریباً در محدوده‌ی قضاوت‌های فازی ابتدایی قرارگیرد. به‌عبارت دیگر وزن‌ها طوری تعیین می‌شود که رابطه‌ی فازی ۶ برقرار باشد:

$$l_{ij} \lesssim \frac{w_i}{w_j} \lesssim u_{ij} \qquad (۶)$$

هر بردار وزنی قطعی (w) با درجه‌یی در نامعادلات فازی فوق صدق می‌کند که از طریق تابع عضویت خطی ۷ (برحسب نرخ مجهول $\frac{w_i}{w_j}$) قابل اندازه‌گیری است:

$$\mu_{ij}(\frac{w_i}{w_j}) = \begin{cases} \frac{(w_i/w_j)-l_{ij}}{m_{ij}-l_{ij}}, & \frac{w_i}{w_j} \le m_{ij} \\ \frac{u_{ij}-(w_i/w_j)}{u_{ij}-m_{ij}}, & \frac{w_i}{w_j} \ge m_{ij} \end{cases} \qquad (۷)$$

حل مسئله‌ی اولویت‌بندی فازی مبتنی بر دو فرض اصلی است. اولین فرض نیازمند وجود ناحیه‌ی موجه فازی غیر تهی P روی ابرصفحه‌ی سیمپلکس $n-1$ بعدی Q^{n-1} است.

$$Q^{n-1} = \{(w_1, w_2, ..., w_n), |w_i > 0, \sum_{i=1}^{n} w_i = 1\} \qquad (۸)$$

تابع عضویت ناحیه موجه فازی P از رابطه‌ی ۹ به دست می‌آید:

$$\mu_P(w) = \min_{ij}\{\mu_{ij}(w),\ i = ۱, ۲, ..., n-۱; \\ j = ۲, ۳, ..., n;\ j > i\} \quad (۹)$$

با تعریف توابع عضویت ۷ به‌عنوان مجموعه‌های فازی L $\{L = [-\infty, ۱]\}$، می‌توان فرض ناتهی بودن P روی سیمپلکس را آزاد کرد. اگر قضاوت‌های فازی خیلی ناسازگار باشند، آنگاه $\mu_P(w)$ برای تمام بردارهای اولویت نرمال $w \in Q^{n-۱}$ مقادیر منفی می‌گیرد. دومین فرض یک قاعده‌ی انتخاب مشخص می‌کند که یک بردار اولویت دارای بالاترین درجه عضویت در تابع عضویت تلفیقی ۹ را تعیین می‌کند. ثابت می‌شود که $\mu_P(w)$ یک مجموعه‌ی محدب است، بنابراین همیشه یک بردار اولویت $w^* \in Q^{n-۱}$ وجود دارد که دارای بیشترین درجه‌ی عضویت (λ^*) است.

$$\lambda^* = \mu_P(w^*) = \max_{w \in Q^{n-۱}} \min_{ij}\{\mu_{ij}(w)\} \quad (۱۰)$$

با در نظر گرفتن شکل خاص توابع عضویت، مسئله‌ی اولویت‌بندی کمینه ـبیشینه فوق تبدیل به یک مسئله بهینه‌سازی غیر خطی می‌شود.

$$\max\ \lambda$$
$$subject\ to:$$
$$(m_{ij} - l_{ij})\lambda w_j - w_i + l_{ij}w_j \le ۰,$$
$$(u_{ij} - m_{ij})\lambda w_j + w_i - u_{ij}w_j \le ۰,$$
$$i = ۱, ۲, ..., n-۱,\ j = ۲, ۳, ..., n, j > i,$$
$$\sum_{k=۱}^{n} w_k = ۱, \quad w_k > ۰,\ k = ۱, ۲, ..., n, \quad (۱۱)$$

مثبت بودن λ^* در جواب مدل فوق بیانگر سازگاری نسبی مجموعه قضاوت‌های فازی و مقدار منفی λ^* نشان‌دهنده‌ی ناسازگاری قوی قضاوت‌هاست.

۳.۳. رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها از طریق روش تاپسیس فازی

پس از تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها، رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها توسط الگوریتم تاپسیس فازی انجام می‌شود. قبل از ارائه‌ی الگوریتم تاپسیس فازی، برخی از اصول کلی مورد نیاز در این تحقیق درباره اعداد فازی مثلثی به‌طور اجمالی مرور می‌شود.

فرض کنید $\tilde{a} = (a_۱, a_۲, a_۳)$ و $\tilde{b} = (b_۱, b_۲, b_۳)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، آنگاه فاصله بین آنها، عملیات جمع و عملیات تقریبی ضرب طبق معادلات ۱۲ تا ۱۴ تعریف می‌شود.

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{۱}{۳}[(a_۱ - b_۱)^۲ + (a_۲ - b_۲)^۲ + (a_۳ - b_۳)^۲]} \quad (۱۲)$$

$$\tilde{a} + \tilde{b} = (a_۱ + b_۱, a_۲ + b_۲, a_۳ + b_۳) \quad (۱۳)$$

$$\tilde{a} \times \tilde{b} = (a_۱ \times b_۱, a_۲ \times b_۲, a_۳ \times b_۳) \quad (۱۴)$$

فرض کنید مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندشاخصه دارای m گزینه و n معیار تصمیم‌گیری باشد. هر یک از گزینه‌ها باید نسبت به هر یک از معیارها ارزیابی شود. ارزیابی گزینه‌ها تشکیل یک ماتریس تصمیم‌گیری فازی می‌دهند که با $\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{m\times n}$ نمایش داده می‌شود. فرض کنید بردار $\tilde{W} = (\tilde{w}_۱, \tilde{w}_۲, ..., \tilde{v}_n)$ بیانگر وزن معیارها باشد.

جدول ۲. عبارت‌های زبانی و اعداد فازی برای تعیین ارزش ریسک‌ها.

عبارت زبانی	عدد فازی مثلثی
خیلی کم	(۰,۰,۰/۲۵)
کم	(۰,۰/۲۵,۰/۵)
متوسط	(۰/۲۵,۰/۵,۰/۷۵)
زیاد	(۰/۵,۰/۷۵,۱)
خیلی زیاد	(۰/۷۵,۱,۱)

در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی گزینه‌ها (ریسک‌ها) از عبارت‌های زبانی و اعداد فازی جدول ۲ استفاده شده است. برای تجمیع نظرات خبرگان نیز از رابطه‌ی ۵ استفاده می‌شود.

ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال شده با $\tilde{R} = (\tilde{r}_{ij})_{m\times n}$ نمایش داده می‌شود. در این تحقیق تمامی ارزیابی‌ها $(\tilde{x}_{ij})$ به‌صورت اعداد فازی در فاصله $[۰, ۱]$ است، بنابراین نیازی به عملیات نرمال‌سازی نیست. به‌عبارت دیگر ماتریس $\tilde{X}$ معادل ماتریس $\tilde{R}$ است.[۴۹] براساس مطالب فوق، الگوریتم تاپسیس فازی چنین ارائه می‌شود:

گام ۱) ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال وزین $\tilde{V} = (\tilde{v}_{ij})_{m\times n}$ را از رابطه‌ی ۱۵ محاسبه کنید.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{w}_j.\tilde{r}_{ij}\ \ i = ۱, ۲, ..., m;\ j = ۱, ۲, ..., n. \quad (۱۵)$$

در این رابطه $\tilde{w}_j$ وزن jامین معیار است. در این تحقیق $\tilde{w}_j$ یک عدد حقیقی است که از محاسبات فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی تعیین شده و $\sum_{j=۱}^{n} wj = ۱$.

گام ۲) راه حل ایده‌آل مثبت و منفی فازی را براساس روابط ۱۶ و ۱۷ تعیین کنید.

$$A^+ = \{\tilde{v}_۱^+, \tilde{v}_۲^+, ..., \tilde{v}_n^+\} = \\ \{(\max_i\ \tilde{v}_{ij}\ |j \in \Omega_b), (\min_i\ \tilde{v}_{ij}\ |j \in \Omega_c)\} \quad (۱۶)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_۱^-, \tilde{v}_۲^-, ..., \tilde{v}_n^-\} = \\ \{(\min_i\ \tilde{v}_{ij}\ |j \in \Omega_b), (\max_i\ \tilde{v}_{ij}\ |j \in \Omega_c)\} \quad (۱۷)$$

در این روابط Ω_b، بیانگر معیارهای مثبت یا سود (نرخ بالاتر به‌معنی اهمیت بیشتر) و Ω_c بیانگر معیارهای منفی یا هزینه (نرخ پایین‌تر به‌معنی اهمیت بیشتر) است. در حالت کلی حاصل عملیات max و min فوق یک عدد فازی مثلثی نیست ولی می‌توان آنها را به‌صورت تقریبی با اعداد فازی مثلثی بیان کرد. براساس ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال وزین، واضح است که عناصر $\tilde{v}_{ij}$ اعداد فازی مثلثی مثبت بوده که دامنه‌ی تغییرات آنها در فاصله‌ی بسته‌ی $[۰, ۱]$ قرار دارد. بنابراین می‌توان راه حل ایده‌آل مثبت و منفی فازی را چنین تعریف کرد:

$$\tilde{v}_j^+ = (۱, ۱, ۱)\, j \in \Omega_b,\ \ \tilde{v}_j^+ = (۰, ۰, ۰)\ \ j \in \Omega_c \quad (۱۸)$$

$$\tilde{v}_j^- = (۰, ۰, ۰)\, j \in \Omega_b,\ \tilde{v}_j^- = (۱, ۱, ۱)\quad j \in \Omega_c \quad (۱۹)$$

گام ۳) فاصله‌ی هرگزینه از راه حل ایده‌آل مثبت و منفی فازی را از روابط ۲۰ و ۲۱ محاسبه کنید.

$$d_i^+ = \sum_{j=۱}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+)\quad i = ۱, ۲, ..., m \quad (۲۰)$$

$$d_i^- = \sum_{j=۱}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-)\quad i = ۱, ۲, ..., m \quad (۲۱)$$

گام ۴) نزدیکی نسبی هرگزینه به راه حل ایده‌آل فازی را از رابطه‌ی ۲۲ محاسبه کنید. هر قدرگزینه به راه حل ایده‌آل مثبت نزدیک‌تر باشد، مقدار RC_i به ۱ نزدیک‌تر است (نزدیکی نسبی برای گزینه ایده‌آل مثبت برابر ۱ و برای گزینه ایده‌آل منفی برابر صفر است).

$$RC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \qquad i = ۱, ..., m. \tag{۲۲}$$

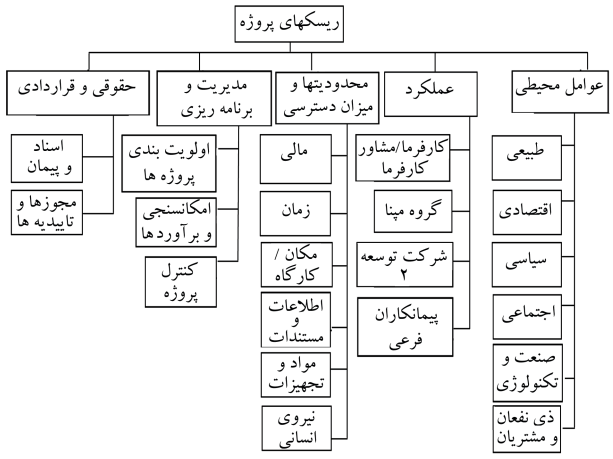
گام ۵) با مقایسه‌ی مقادیر RC_i، گزینه‌ها (ریسک‌ها) را رتبه‌بندی کنید.

۴. مطالعه‌ی موردی

در این بخش، نتایج شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌ها در یک پروژه نیروگاهی سیکل ترکیبی برمبنای مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. شرکت توسعه‌ی برق ایران به‌عنوان کارفرما و گروه مپنا به‌عنوان پیمانکار عمومی است. شرکت مپنا اجرای پروژه را به یکی از شرکت‌های تابعه (شرکت توسعه‌ی ۲) واگذارکرده است ولی مسئولیت تأمین برخی از تجهیزات و مدیریت کلان پروژه برعهده‌ی شرکت مپناست. شرکت توسعه‌ی ۲ نیز از پیمانکاران متعددی برای اجرای پروژه استفاده می‌کند. نحوه‌ی اجرای پروژه به‌صورت طراحی ـتأمین تجهیزات ـساخت است.

۱.۴. تعیین ریسک‌های مهم

به‌منظور شناسایی ریسک‌های پروژه، ابتدا با مطالعات کتابخانه‌یی و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از پروژه‌های مورد بررسی، ساختار مناسبی برای شکست ریسک‌ها تهیه شد. در شکل ۳ ساختار شکست ریسک پیشنهادی برای پروژه‌های مورد بررسی نمایش داده شده است. سپس با استفاده از روش‌های مختلف (بررسی گسترده‌ی مطالعات مرتبط با شناسایی ریسک‌ها در داخل و خارج کشور، مطالعه‌ی سوابق و درس‌های آموخته در پروژه‌های قبلی، مصاحبه‌های متعدد با افراد متخصص و برگزاری جلسات طوفان فکری)، بیش از ۱۰۰ ریسک شناسایی شد. در مرحله‌ی بعد از بین تمام ریسک‌های شناسایی شده، با استفاده از روش‌های مقدماتی و نظرات خبرگان، ۱۰ ریسک مهم به‌عنوان گزینه‌های موجود برای ارزیابی در مدل پیشنهادی انتخاب شد. این ریسک‌ها با $A_۱$ تا $A_{۱۰}$ کدگذاری شده‌اند.



شکل ۳. ساختار شکست ریسک.

۲.۴. محاسبه‌ی وزن معیارها و زیرمعیارها

ما از سه متخصص برای تشکیل تیم رتبه‌بندی استفاده کردیم. هریک از اعضای تیم رتبه‌بندی، مقایسه‌های زوجی خود را طبق جدول ۱ برای معیارها و زیرمعیارها ارائه کردند. سپس اطلاعات براساس رابطه‌ی ۵ تجمیع شد. با استفاده از مقایسه‌های تجمیع‌شده، مدل بهینه‌سازی ۱۱ از طریق نرم‌افزار لینگو حل شد. جدول ۳ ماتریس مقایسه‌های زوجی تجمیعی مربوط به معیارها را به‌همراه وزن‌های محلی نشان می‌دهد. طبق محاسبات نرم‌افزار لینگو مقدار λ برای این مقایسه‌ها برابر صفر است که بیان‌گر سازگاری ضعیف مقایسه‌هاست. یکی از دلایل این موضوع تفاوت نسبتاً زیاد مقایسه‌های زوجی در افراد مختلف است. در جدول ۴ نیز ماتریس مقایسه‌های زوجی تجمیعی مربوط به زیرمعیارها را به‌همراه وزن‌های محلی ارائه شده است. براساس خروجی نرم‌افزار لینگو مقدار λ برای این مقایسه‌ها برابر ۰٫۹۹۳ است که بیان‌گر سازگاری قوی مقایسه‌هاست.

سپس تأثیر هر زیرمعیار بر سایر زیرمعیارها به‌صورت زوجی مقایسه، و وزن‌های نسبی از طریق مدل بهینه‌سازی ۱۱ تعیین شد (جداول ۵ تا ۷). مقدار λ نیز برای هر سه جدول برابر ۱ است که بیان‌گر سازگاری کامل مقایسه‌هاست. بدیهی است در ماتریس‌های ۲ × ۲ چنانچه قضاوت‌های افراد خبره یکسان باشد، همواره مقدار λ برابر ۱ خواهد بود.

از ضرب ماتریس وابستگی داخلی حاصل از وزن‌های نسبی در وزن‌های محلی زیرمعیارها، وزن‌های وابسته‌ی هر زیرمعیار مشخص خواهد شد:

$$\begin{bmatrix} ۱ & ٫۶۶۷ & ٫۵ \\ ٫۶۶۷ & ۱ & ٫۵ \\ ٫۳۳۳ & ٫۳۳۳ & ۱ \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} ٫۳۰۷ \\ ٫۳۷۱ \\ ٫۳۲۲ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ٫۷۱۵ \\ ٫۷۳۷ \\ ٫۵۴۸ \end{bmatrix}$$

با نرمال‌سازی وزن‌های فوق، وزن‌های نرمال وابسته‌ی زیرمعیارها به‌ترتیب برابر ۰٫۳۵۸، ۰٫۳۶۸ و ۰٫۲۷۴ به دست می‌آید. چنان که اطلاعات بالا نشان می‌دهد در نظر

جدول ۳. ماتریس مقایسه‌های زوجی تجمیعی و وزن‌های محلی معیارها.

	$C_۱$	$C_۲$	$C_۳$	$C_۴$	وزن‌های محلی
$C_۱$	(۱,۱,۱)	(۱,۵/۳,۳)	(۱,۸/۳,۴)	(۱,۱,۱)	۰٫۳۰۱
$C_۲$	(۱/۳,۲/۳,۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۸/۳, ۴)	(۱, ۱, ۱)	۰٫۳۰۱
$C_۳$	(۱/۴,۷/۱۸,۱)	(۱/۴,۷/۱۸,۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۴,۴/۹,۱)	۰٫۰۹۸
$C_۴$	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۷/۳, ۴)	(۱, ۱, ۱)	۰٫۳۰۰

جدول ۴. ماتریس مقایسه‌های زوجی تجمیعی و وزن‌های محلی زیرمعیارها.

	$SC_۱$	$SC_۲$	$SC_۳$	وزن‌های محلی
$SC_۱$	(۱, ۱, ۱)	(۱/۳, ۵/۶, ۱)	(۱/۴, ۱۷/۱۸, ۳)	۰٫۳۰۷
$SC_۲$	(۱, ۴/۳, ۳)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۳, ۷/۶, ۳)	۰٫۳۷۱
$SC_۳$	(۱/۳, ۱۱/۶, ۴)	(۱/۳, ۷/۶, ۳)	(۱, ۱, ۱)	۰٫۳۲۲

جدول ۵. ماتریس وابستگی داخلی زیرمعیارها ازنظر زیرمعیاراول.

	$SC_۱$	$SC_۲$	$SC_۳$	وزن‌های نسبی
$SC_۲$	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۲, ۳)		۰٫۶۶۷
$SC_۳$	(۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱, ۱, ۱)		۰٫۳۳۳

جدول ۶. ماتریس وابستگی داخلی زیرمعیارها ازنظر زیرمعیاردوم.

	SC_1	SC_3	وزن‌های نسبی
SC_2	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۲, ۳)	۰/۶۶۷
SC_3	(۱/۳, ۱/۲, ۱)	(۱, ۱, ۱)	۰/۳۳۳

جدول ۷. ماتریس وابستگی داخلی زیرمعیارها ازنظر زیرمعیارسوم.

	SC_1	SC_2	وزن‌های نسبی
SC_3	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱)	۰/۵
SC_1	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱)	۰/۵

گرفتن وابستگی زیرمعیارها باعث می‌شود وزن زیرمعیارها به مقدار قابل توجهی نسبت به وزن‌های محلی تغییر کند. به‌طور خاص وابستگی زیرمعیارها باعث شده که وزن وابسته‌ی زیرمعیار اول (تأثیر زمانی) افزایش یابد که این نتیجه از لحاظ عملی نیز قابل قبول است.

۳.۴. رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها توسط روش تاپسیس فازی

روش تاپسیس فازی از وزن‌های محاسبه‌شده توسط فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی استفاده می‌کند. در این مرحله باید گزینه‌ها (ریسک‌ها) از نظر معیارهای دوم، سوم، چهارم و همچنین زیرمعیارهای معیار اول ارزیابی شوند. ارزیابی گزینه‌ها طبق عبارت‌های زبانی جدول ۲ تعیین و براساس معادله‌ی ۵ تجمیع شده است. جدول ۸ نتایج ارزیابی‌های تجمیعی را نشان می‌دهد. سپس با ترکیب ارزیابی ریسک‌ها از نظر زیرمعیارها، ارزیابی ریسک‌ها از نظر معیارها تعیین می‌شود. ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمال وزین از طریق معادله‌ی ۱۵ محاسبه، و سپس رتبه‌بندی ریسک‌ها از طریق معادلات ۱۶ تا ۲۲ تعیین می‌شود. در این تحقیق معیارهای ۱ و ۲ در نقش معیار مثبت (سود) و معیارهای ۳ و ۴ در نقش معیارهای منفی (هزینه) از نظر رتبه (اولویت) ریسک هستند. به‌عبارت دیگر ریسکی مهم‌تر است که دارای تأثیر و احتمال وقوع بالاتر و قابلیت کشف و قابلیت مدیریت کم‌تر باشد. بنابراین راه حل ایده‌آل مثبت و منفی فازی چنین تعریف می‌شود:

$$A^+ = \{(۱, ۱, ۱),\ (۱, ۱, ۱),\ (۰, ۰, ۰),\ (۰, ۰, ۰)\}$$
$$A^- = \{(۰, ۰, ۰),\ (۰, ۰, ۰),\ (۱, ۱, ۱),\ (۱, ۱, ۱)\}$$

رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها در جدول ۹ ذکر شده است.

۴.۴. بررسی و تحلیل حساسیت نتایج

نتایج روش تاپسیس فازی با استفاده از خروجی‌های فرایند تحلیل شبکه‌یی فازی در جدول ۹ ذکر شده است. ارزیابی ریسک‌ها نشان می‌دهد که ریسک ۷ با عنوان «تخصص و مهارت نامناسب نیروی انسانی» دارای بالاترین رتبه است. همچنین ریسک ۳ با عنوان «مشکلات تأمین منابع ارزی» در رتبه‌ی دوم و ریسک۵ ۶ تحت عنوان «برآورد نامناسب احجام کاری» در رتبه‌ی سوم قرار دارد. این نتایج با شواهد عینی پروژه‌های نیروگاهی نیز سازگار است. گروه مپنا و شرکت‌های تابعه در پروژه‌های نیروگاهی نقش مدیریت پروژه را برعهده دارند و بسیاری از کارهای اجرایی توسط پیمانکاران انجام می‌شود. بنابراین مهم‌ترین سرمایه‌ی شرکت مپنا در این پروژه‌ها «نیروی انسانی» است. این نیروها در رسیدن پروژه به اهداف از قبل تعیین شده نقشی کلیدی دارند. از طرف دیگر پروژه‌های نیروگاهی دارای تجهیزات خاصی هستند که در کشورهای محدودی تولید می‌شود؛ مدیریت مناسب منابع ارزی نیز یکی از عوامل اساسی در تحقق اهداف پروژه (به‌ویژه زمان) است. علاوه براین به‌علت پیچیده بودن فرایند ساخت نیروگاه و عدم تجربه‌ی کافی در برخی از مراحل انجام پروژه، احجام کاری پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی انحراف قابل توجهی دارد که این موضوع نیز منجر به تأخیرات مکرر، افزایش ادعای پیمانکاران و... می‌شود. ۵ به‌منظور بررسی حساسیت و اعتبارسنجی نتایج، محاسبات با روش‌ها و فرضیات مختلفی انجام گرفت. چنان که پیش‌تر ذکر شد، در این تحقیق برای محاسبه‌ی وزن معیارها و زیرمعیارها از روش اولویت‌بندی فازی استفاده شد. برای بررسی حساسیت نتایج نسبت به تغییر وزن معیارها و زیرمعیارها، وزن‌ها از طریق روش تحلیل توسعه‌یی نیز محاسبه شد. علاوه بر این وزن زیرمعیارها با/بدون در نظرگرفتن وابستگی آنها (روش AHP) تعیین شد. در محاسبات اولیه، ارزیابی گزینه‌ها به‌صورت مستقیم برحسب عبارت‌های زبانی جدول ۲ انجام شد. به‌منظور بررسی حساسیت جواب‌ها در اثر تغییر ارزیابی ریسک‌ها (نرخ‌ها)، ارزیابی گزینه‌ها به‌صورت مقایسه‌های زوجی انجام گرفت. با ترکیب فرضیه‌های مختلف، شش روش برای رتبه‌بندی نهایی طراحی شد. فرضیات این روش‌ها و وزن‌های حاصل در جدول ۱۰ ذکر شده است. در جدول ۱۱ نیز نتایج رتبه‌بندی ریسک‌ها با روش‌های مختلف ارائه شده است. نتایج روش شماره ۶ همان نتایج ذکر شده در جدول ۹ است. از جدول ۱۰ چنین برمی‌آید که وزن معیارها در چهار روش اول (برمبنای روش تحلیل توسعه‌یی) با روش‌های پنج و شش (برمبنای اولویت‌بندی فازی) متفاوت است؛ علت این امر تفاوت موجود در نحوه‌ی محاسبات است. علاوه بر این وزن زیرمعیارها نسبت به در نظرگرفتن وابستگی بین آنها حساس است (مقایسه‌ی نتایج روش‌های ۱ و ۳ با روش‌های ۲ و ۴ و همچنین روش ۵ با روش ۶ در ستون آخر جدول ۱۰ مؤید این موضوع است). طبق نتایج داده شده در جدول ۱۱، رتبه‌بندی ریسک‌ها در روش‌های مختلف تغییرات اساسی ندارد و حداکثر به میزان ۲ رتبه جابه‌جا شده است. نزدیکی رتبه‌های روش ۱ به روش ۳ (و همچنین روش ۲ به روش ۴)، علی‌رغم ارزیابی گزینه‌ها با روش‌های مختلف، به‌نوعی بیانگر اعتبار اطلاعات جمع‌آوری شده درمورد گزینه‌هاست. یکسان بودن رتبه‌ها در روش ۵ با روش ۶ (علی‌رغم تغییر وزن زیرمعیارها) نیز تا حدود زیادی به خاطر این موضوع است که همه زیرمعیارها فقط مربوط به معیار اول هستند و از طرف دیگر وزن محلی زیرمعیارها نیز نزدیک به هم است. سایر نتایج نیز به‌طور مشابه قابل استخراج و تفسیر است.

در مرحله‌ی بعدی تحقیق، برمبنای نتایج ارزیابی ریسک‌ها، پاسخ‌های بالقوه برای هریک از آنها جمع‌آوری شد. به‌عنوان نمونه برخی از پاسخ‌های مرتبط با ریسک ۷ عبارت‌اند از: طراحی و برگزاری دوره‌های آموزشی و توجیهی برای پیمانکاران وکارفرما؛ بازنگری در فرایندهای جذب و اخراج پرسنل؛ افزایش آموزش‌های حین خدمت در گروه مپنا؛ بازنگری در برون‌سپاری برخی کارها. درمورد ریسک سوم نیز پاسخ‌هایی از قبیل تعامل بیشتر کارفرما وگروه مپنا در تأمین منابع ارزی، خرید از نمایندگی‌های تأمین‌کنندگان خارجی با ارز ریالی و جایگزینی تجهیزات خارجی با تجهیزات مشابه ساخت داخل مطرح شدند. برای ریسک شماره شش نیز پاسخ‌های زیر ارائه شد: تعامل و همکاری بیشتر واحد برنامه‌ریزی، طراحی و تأمین تجهیزات در برآورد احجام کاری، بازنگری در سقف تغییرات برای پیمانکاران، بازنگری در استانداردهای تدوین احجام کاری. برای سایر ریسک‌ها نیز پاسخ‌های پیشنهادی جمع‌آوری شد. برای انتخاب پاسخ‌ها نیز باید روشی مناسب ارائه شود که مواردی از قبیل هزینه اجرای پاسخ، اثرات اجرای پاسخ بر اهداف پروژه، اثرات متقابل پاسخ‌ها و ریسک‌های ثانویه در اثر اجرای پاسخ را بررسی کند. این موضوع نیازمند بررسی جامع‌تری است که در حال انجام است و جزئیات آن خارج از محدوده این تحقیق است.

جدول ۸. ارزیابی گزینه‌ها (ریسک‌ها) نسبت به معیارها وزیر معیارها.

	SC_1	SC_2	SC_3	C_2	C_3	C_4
A_1	(۰٫۱۷٫۵)	(۰٫۱۷٫۵)	(۰٫۱۷٫۵)	(۰٫۷۵٫۱)	(۰٫۸۳٫۱)	(۰٫۷۵٫۱)
A_2	(۰٫۵٫۷۵)	(۰٫۲۵٫۵)	(۰٫۰۸٫۵)	(۰٫۸۳٫۱)	(۰٫۶۷٫۱)	(۰٫۴۲٫۷۵)
A_3	(۰٫۸۳٫۱)	(۰٫۴۲٫۷۵)	(۰٫۲۵٫۷۵)	(۰٫۹۲٫۱)	(۰٫۵٫۷۵)	(۰٫۲۵٫۵)
A_4	(۰٫۵۸٫۱)	(۰٫۴۲٫۷۵)	(۰٫۱۷٫۵)	(۰٫۵۸٫۱)	(۰٫۵۸٫۱)	(۰٫۵٫۷۵)
A_5	(۰٫۵٫۷۵)	(۰٫۳۳٫۷۵)	(۰٫۱۷٫۵)	(۰٫۵۸٫۱)	(۰٫۸۳٫۱)	(۰٫۵٫۷۵)
A_6	(۰٫۷۵٫۱)	(۰٫۶۷٫۱)	(۰٫۶۷٫۱)	(۰٫۷۵٫۱)	(۰٫۵۸٫۱)	(۰٫۴۲٫۷۵)
A_7	(۰٫۶۷٫۱)	(۰٫۶۷٫۱)	(۰٫۸۳٫۱)	(۰٫۸۳٫۱)	(۰٫۳۳٫۷۵)	(۰٫۲۵٫۵)
A_8	(۰٫۵٫۷۵)	(۰٫۵۸٫۱)	(۰٫۶۷٫۱)	(۰٫۷۵٫۱)	(۰٫۷۵٫۱)	(۰٫۴۲٫۷۵)
A_9	(۰٫۶۷٫۱)	(۰٫۳۳٫۷۵)	(۰٫۳۳٫۷۵)	(۰٫۷۵٫۱)	(۰٫۵۸٫۱)	(۰٫۵۸٫۱)
A_{10}	(۰٫۵٫۷۵)	(۰٫۴۲٫۷۵)	(۰٫۱۷٫۵)	(۰٫۶۷٫۱)	(۰٫۶۷٫۱)	(۰٫۱۷٫۵)

جدول ۹. رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها.

کد ریسک	شرح ریسک	d_i^+	d_i^-	RC_i	رتبه
A_1	نقص درتحویل زمین	۲٫۰۰۱	۲٫۰۴۵	۰٫۵۰۵	۱۰
A_2	تاخیر درواگذاری امکانات (آب، برق و...)	۱٫۸۸۲	۲٫۱۷۲	۰٫۵۳۶	۶
A_3	مشکلات تأمین منابع ارزی	۱٫۷۵۱	۲٫۲۹۳	۰٫۵۶۷	۲
A_4	تأخیر درارائه اطلاعات مورد نیاز طراحی	۱٫۹۱۸	۲٫۱۴۰	۰٫۵۲۷	۷
A_5	عدم ارسال برخی تجهیزات براساس توالی نصب	۱٫۹۴۳	۲٫۱۰۵	۰٫۵۲۰	۹
A_6	برآورد نامناسب احجام کاری	۱٫۷۸۳	۲٫۲۷۱	۰٫۵۶۰	۳
A_7	تخصص ومهارت نامناسب نیروی انسانی	۱٫۷۰۴	۲٫۳۴۳	۰٫۵۷۹	۱
A_8	عدم تطابق تجهیزات ارسالی با مدارک مهندسی تایید شده	۱٫۸۲۲	۲٫۲۲۹	۰٫۵۵۰	۴
A_9	مدیریت مالی نامناسب پیمانکار (درمورد مبالغ دریافتی از پروژه)	۱٫۹۳۳	۲٫۱۴۰	۰٫۵۲۵	۸
A_{10}	وضعیت جوی	۱٫۸۵۲	۲٫۲۱۲	۰٫۵۴۴	۵

جدول ۱۰. نتایج وزن معیارها و زیرمعیارها در روش‌های مختلف.

شماره روش	روش جمع‌آوری اطلاعات اهمیت معیارها و زیرمعیارها	روش محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها	روش جمع‌آوری اطلاعات ارزیابی آلترناتیوها (ریسک‌ها)	روش رتبه‌بندی ریسک‌ها	وزن معیارها	وزن زیرمعیارها
۱		a	مقایسه‌های زوجی (فازی)	روش AHP فازی -تاپسیس	(۰٫۳۱۴,۰٫۲۷۷,۰٫۱۳۳,۰٫۲۷۶)	(۰٫۳۰۸,۰٫۳۳۹,۰٫۳۵۳)
۲		b	مقایسه‌های زوجی (فازی)	روش AHP فازی -تاپسیس	(۰٫۳۱۴,۰٫۲۷۷,۰٫۱۳۳,۰٫۲۷۶)	(۰٫۳۶۰,۰٫۳۶۴,۰٫۲۷۶)
۳	مقایسه‌های زوجی	a	ارزیابی مستقیم (فازی)	تاپسیس فازی	(۰٫۳۱۴,۰٫۲۷۷,۰٫۱۳۳,۰٫۲۷۶)	(۰٫۳۰۸,۰٫۳۳۹,۰٫۳۵۳)
۴	(فازی)	b	ارزیابی مستقیم (فازی)	تاپسیس فازی	(۰٫۳۱۴,۰٫۲۷۷,۰٫۱۳۳,۰٫۲۷۶)	(۰٫۳۶۰,۰٫۳۶۴,۰٫۲۷۶)
۵		c	ارزیابی مستقیم (فازی)	تاپسیس فازی	(۰٫۳۰۰,۰٫۰۹۸,۰٫۳۰۱,۰٫۳۰۱)	(۰٫۳۰۷,۰٫۳۷۱,۰٫۳۲۲)
۶		d	ارزیابی مستقیم(فازی)	تاپسیس فازی	(۰٫۳۰۰,۰٫۰۹۸,۰٫۳۰۱,۰٫۳۰۱)	(۰٫۳۵۸,۰٫۳۶۸,۰٫۲۷۴)

a: روش AHP فازی براساس روش تحلیل توسعه‌یی c: روش AHP فازی براساس روش اولویت بندی فازی

b: روش ANP فازی براساس روش تحلیل توسعه‌یی d: روش ANP فازی براساس روش اولویت بندی فازی

جدول ۱۱. نتایج رتبه‌بندی ریسک‌ها در روش‌های مختلف.

شماره روش		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
۱	RC_i	۰٫۰۸۷	۰٫۳۵۹	۰٫۶۲۰	۰٫۳۷۳	۰٫۳۲۰	۰٫۵۶۴	۰٫۶۴۰	۰٫۵۱۳	۰٫۳۶۵	۰٫۵۴۲
	رتبه	۱۰	۸	۲	۶	۹	۳	۱	۵	۷	۴
۲	RC_i	۰٫۰۸۴	۰٫۳۷۱	۰٫۶۶۷	۰٫۳۷۸	۰٫۳۴۰	۰٫۵۳۷	۰٫۶۲۷	۰٫۵۰۴	۰٫۳۹۷	۰٫۵۴۲
	رتبه	۱۰	۸	۱	۷	۹	۴	۲	۵	۶	۳
۳	RC_i	۰٫۴۹۹	۰٫۵۲۸	۰٫۵۵۹	۰٫۵۲۱	۰٫۵۱۲	۰٫۵۵۵	۰٫۵۷۵	۰٫۵۴۴	۰٫۵۲۰	۰٫۵۳۶
	رتبه	۱۰	۶	۲	۷	۹	۳	۱	۴	۸	۵
۴	RC_i	۰٫۴۹۹	۰٫۵۲۹	۰٫۵۶۱	۰٫۵۲۳	۰٫۵۱۴	۰٫۵۵۵	۰٫۵۷۵	۰٫۵۴۴	۰٫۵۲۱	۰٫۵۳۸
	رتبه	۱۰	۶	۲	۷	۹	۳	۱	۴	۸	۵
۵	RC_i	۰٫۵۰۵	۰٫۵۳۵	۰٫۵۶۶	۰٫۵۲۶	۰٫۵۱۹	۰٫۵۶۰	۰٫۵۷۹	۰٫۵۵۱	۰٫۵۲۴	۰٫۵۴ ۳
	رتبه	۱۰	۶	۲	۷	۹	۳	۱	۴	۸	۵
۶	RC_i	۰٫۵۰۵	۰٫۵۳۶	۰٫۵۶۷	۰٫۵۲۷	۰٫۵۲۰	۰٫۵۶۰	۰٫۵۷۹	۰٫۵۵۰	۰٫۵۲۵	۰٫۵۴۴
	رتبه	۱۰	۶	۲	۷	۹	۳	۱	۴	۸	۵
تفاوت بین حداقل و حداکثر رتبه درروش‌های مختلف		۰	۲	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۲	۲

۵. نتیجه‌گیری

پیشرفت اقتصادی درکشورهای در حال توسعه مانندکشورایران نیازمند انجام پروژه‌های زیربنایی از قبیل پروژه‌های نیروگاهی است. بدین منظور پروژه‌های نیروگاهی زیادی درکشور در حال اجراست که در معرض ریسک‌های مختلفی قرار دارند. انجام این تحقیق در راستای تحقق مدیریت ریسک مناسب در پروژه‌های نیروگاهی است که می‌تواند نقش قابل توجهی در رسیدن این پروژه‌ها به اهداف تعیین شده داشته باشد. در این نوشتار با یک روش ترکیبی ریسک‌ها شناسایی شد و یک ساختار مبتنی بر فرایند تحلیل شبکه‌یی برای رتبه‌بندی ریسک‌ها پیشنهاد شد. این ساختار قابلیت در نظرگرفتن معیارهای مختلف و وابستگی بین این معیارها را در سطوح مختلف دارد. ساختار پیشنهادی توسط فرایند تحلیل شبکه‌یی در محیط فازی مورد ارزیابی قرارگرفت و وزن معیارها و زیرمعیارها تعیین شد. در مرحله‌ی بعد، رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها توسط الگوریتم تاپسیس فازی ارائه و نتایج مربوطه تحلیل شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن مدل در دنیای واقعی در شرایط ابهام و عدم قطعیت است.

در تحقیقات آتی می‌توان از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای رتبه‌بندی نهایی استفاده کرد. توسعه‌ی مدل در سایر پروژه‌ها را نیز می‌توان به‌عنوان یک موضوع تحقیقاتی مطرح ساخت. علاوه براین، ایجاد نرم‌افزاری برای انجام محاسبات در شبکه‌های پیچیده براساس مدل پیشنهادی به‌عنوان یک موضوع تحقیقی پیشنهاد می‌شود. از طرف دیگر با افزایش معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها حجم محاسبات زوجی به‌شدت افزایش می‌یابد. بنابراین ارائه‌ی یک روش ابتکاری (یا فرابتکاری) مناسب برای کاهش این مشکلات نیز می‌تواند در تحقیقات آتی بررسی شود. بررسی وابستگی در سایر سطوح ساختار پیشنهادی نیز می‌تواند در تحقیقات بعدی انجام شود. علاوه بر این، ارائه‌ی یک مدل مناسب (برمبنای روش‌های بهینه‌سازی یا سایر رویکردهای موجود) برای ارزیابی و انتخاب اقدامات پاسخ به ریسک‌ها نیز به‌عنوان تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از گروه مپنا به دلیل حمایت‌های مالی و فنی از این تحقیق، بر اساس قرارداد پژوهشی شماره RD-۸۷-۰۹، قدردانی می نمایند.

پانوشت‌ها

1. analytic hierarchy process
2. analytic network process

منابع (References)

1. PMI (Project Management Institute), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, 4nd ed., Pennsylvania (2008).
2. Chapman, C.B. and Ward, S.C., *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*, John Wiley and sons, Chichester (1997).
3. Miler, J. "A method of software project risk identification and analysis", PhD Thesis, Gdansk University of Technology, Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics (2005).
4. Washington, DC:The National Academics press(2005).
5. Conrow, E.H., *Effective Risk Management: Some Keys to Success*, Second ed., American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston (2003).

6. Lyons, T. "Project risk management in the Queensland engineering construction industry", Masters of project management Dissertation, Queensland University of technology, Australia (2002).
7. Boehm, B.W. "Software risk management: Principles and practices", *IEEE software*, **8**, pp. 32-41 (1991).
8. Cooper, D.F., Grey, S., Raymond, G. and Walker, P., *Project Risk Management Guidelines: Management Risk in Large Projects and Complex Procurements*, John Wiley and sons, Chichester (2005).
9. Lee, E., Park, Y. and Shin, J.G. "Large engineering project risk management using a Bayesian belief network", *Expert Systems with Applications*, **36**, pp. 5880-5887 (2009).
10. Lyons, T. and Skitmore, M. "Project risk management in the Queensland engineering construction industry: A survey", *International Journal of Project Management*, **22**, pp. 51-61 (2004).
11. Perry, J.H. and Hayes, R.W. "Risk and its management in construction projects", *Proc. The Institution of Civil Engineering*, **78**(1), pp. 499-521 (1985).
12. Cooper, D.F. and Chapman, C.B., *Risk Analysis for Large Projects*, John Wiley and sons, Chichester (1987).
13. Tah, J.H.M., Thorpe, A. and McCaffer, R. "Contractor project risks contingency allocation using linguistic approximation", *Computer System Engineering*, **4**(2-3), pp. 281-293 (1993).
14. Merna, A. and Smith, N.J., *Privately Financed Concession Contract*, Second ed., Asia Law and Practice, Hong Kong (1996).
15. Carr, V. and Tah, J.H.M. "A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: Construction project risk management system", *Advances in Engineering Software*, **32**, pp. 847-857 (2001).
16. Chapman, R.J. "The controlling influences on effective risk identification and assessment for construction design management", *International Journal of Project Management*, **19**, pp. 147-160 (2001).
17. Chapman, C.B. and Ward, S.C., *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*, Second ed., John Wiley and sons, Chichester (2003).
18. Zou, P.X.W., Zhang, G. and Wang, J. "Understanding the key risks in construction projects in China", *International Journal of Project Management*, **25**, pp. 601-614 (2007).
19. Zayed, T.M. and Chang, L. M. "Prototype model for build-operate-transfer risk assessment", *Journal of Management Engineering*, **18**(1), pp. 7-16 (2002).
20. Kang, C.C., Feng, C.M. and Khan, H.A. "Risk assessment for build-operate-transfer projects: A dynamic multi-objective programming approach", *Computer and Operations Research*, **32**, pp. 1633-1654 (2005).
21. Zeng, J., An, M. and Smith, N.J. "Application of a fuzzy based decision making methodology to construct project risk assessment", *International Journal of Project Management*, **25**, pp. 589-600 (2007).
22. Ebrahimnejad, S., Mousavi, S.M. and Seyrafianpour, H. "Risk identification and assessment for build-operate-transfer projects: A fuzzy multi attribute decision making model", *Expert Systems with Applications*, article in press.
23. Cano, A. and Cruz, M.P., "Integrated methodology for project risk management", *Journal of Construction Engineering and Management*, **128**, pp. 473-485 (2002).
24. Yu, C.S. "A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems", *Computers and Operations Research*, **29**, pp. 1969-2001 (2002).
25. Ertug˘rul, I. and Karakasog˘lu, N. "Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods", *Expert Systems with Applications*, **36**, pp. 702-715 (2009).
26. Chang, D.Y. "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, **95**, pp. 649-655 (1996).
27. Cheng, C.H. "Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function", *European Journal of Operational Research*, **96**(2), pp. 343-350 (1997).
28. Mikhailov, L. and Tsvetinov, P. "Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process", *Applied Soft Computing*, **5**, pp. 23-33 (2004).
29. Gumus, A.T. "Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology", *Expert Systems with Applications*, **36**, pp. 4067-4074 (2009).
30. Torfi, F., Zanjirani Farahani, R. and Rezapour, S. "Fuzzy AHP to determine the relative weights of evaluation criteria and fuzzy TOPSIS to rank the alternatives", *Applied Soft Computing*, **10**, pp. 520-528 (2010).
31. Saaty, T.L., *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytical Network Process*, RWS publications, Pittsburgh (1996).
32. Meade, L.M. and Sarkis, J. "Analyzing organizational project alternatives for agile manufacturing processes: An analytical network approach", *International Journal of Production Research*, **37**, 241-261 (1999).
33. Boran, S. and Goztepe, K. "Development of a fuzzy decision support system for commodity acquisition using fuzzy analytic network process", *Expert Systems with Applications*, **37**, pp. 1939-1945 (2010).
34. Mikhailov, L. and Singh, M. "Fuzzy analytic network process and its application to the development of decision support systems", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics- Part C: Applications and Reviews*, **33**(1), pp. 33-41 (2003).
35. Dagdeviren, M., Yuksel, I. and Kurt, M. "A fuzzy analytic network process (ANP) model to identify faulty behavior risk (FBR) in work system", *Safety Science*, **46**, pp. 771-783 (2008).
36. Guneri, A.F., Cengiz, M. and Seker, S. "A fuzzy ANP approach to shipyard location selection", *Expert Systems with Applications*, **36**, pp. 7992-7999 (2009).
37. Dagdeviren, M. and Yuksel, I. "A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectoral competition level (SCL)", *Expert Systems with Applications*, **37**, pp. 1005-1014 (2010).

38. Yuksel, I. and Dagdeviren, M. "Using the fuzzy analytic network process (ANP) for Balanced Scorecard (BSC): A case study for manufacturing firm", *Expert Systems with Applications*, **37**, pp. 1270-1278 (2010).

39. Yoon, K. and Hwang, C.L. "Manufacturing plant location analysis by multiple attribute decision making: Part II, Multi-plant strategy and plant relocation", *International Journal of Production Research*, **23**(2), pp. 361-370 (1985).

40. Wang, Y.M. and Elhag, T.M.S. "Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment", *Expert Systems with Applications*, **31**, pp. 309-319 (2006).

41. Chen, C.T. "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, **114**, pp. 1-9 (2000).

42. Labuschange, L., *Measuring Project Risks: Beyond the Basics*, Working paper, Rand Afrikaans University, Johannesburg (2003).

43. Chen, C.T., Lin, C.T. and Huang, S.F. "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management", *International Journal of Production Economics*, **102**, pp. 289-301 (2006).

44. Cho, H.N., Choi, H.H. and Kim, Y.B. "A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts", *Reliability Engineering and System Safety*, **78**, pp. 173-183 (2002).

45. Felixchan, T.S. and Niraj, K. "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach", *Omega*, **35**, pp. 417-431 (2007).

46. Burke, R., *Product Management*, Biddles Ltd, Guildford (2003).

47. Lock, D., *Project Management*, 8nd ed., Gower Publishing Limited, Hampshire (2003).

48. Seyedhoseini, S.M., Noori, S. and Hatefi, M.A. "Two-polar concept of project risk management", Conference on Management Innovation 2007, Shanghai, China (4-6 June 2007).

49. Yang, T. and Hung, C.C. "Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **23**, pp. 126-137 (2007).

PROJECT RISK ASSESSMENT BY A HYBRID APPROACH USING FUZZY-ANP AND FUZZY-TOPSIS

S.H. Zegordi(corresponding author)
zegordi@modares.ac.ir
Dept. of Industrial Engineering
Tarbiat Modares University
A. Nazari
a_nazari@sbu.ac.ir
Dept. of Projects and Construction Management Faculty of Architecture and Urban Planning
Shahid Beheshti University
E. Rezaee Nik
ernik@modares.ac.ir
Dept. of Industrial Engineering
Tarbiat Modares University

Sharif Industrial Engineering and Management Journal
Volume 29, Issue 2, Page 3-14, Original Article

© Sharif University of Technology

- Received 9 January 2011; received in revised form 17 December 2011; accepted 14 May 2012.

Abstract

Usually, projects are implemented in dynamic and complex environments due to their inherent uncertainties and risks. The purpose of risk management is to improve project performance via systematic risk assessment and response. Companies have limited resources for managing all project risks; therefore, they need to prioritize the important ones. In particular, resources should be allocated to managing risks with higher priorities. In classical approaches, probability and impact are two commonly used criteria in project risk assessment; however, these criteria do not sufficiently address all its aspects. Moreover, there may be interrelations and dependencies among the various criteria.

In order to overcome these drawbacks, we proposed a practical framework for evaluating risk in projects. The proposed framework has three main steps. First, we identify project risks and determine those of importance to be evaluated by multiple attribute decision-making (MADM) techniques. Then, we use a fuzzy analytic network process (fuzzy-ANP) for calculating criteria weights. The model is capable of considering dependencies among the different criteria. Also, the model calculates consistency indices for the fuzzy pair-wise comparison matrices. Finally, the outputs of fuzzy-ANP calculations are used in a fuzzy-based technique for "order preference by similarity to ideal solution" (fuzzy-TOPSIS) for ranking risks based on their importance.

A case study of an Iranian power plant project is presented to demonstrate the applicability and performance of the proposed model. By different mechanisms, more than 100 risks were identified and categorized according to their sources. Next, we determine 10 important risks as alternatives for the fuzzy-ANP and fuzzy-TOPSIS procedures. We conclude that inadequate staff skill is the most important risk in such projects. Among other risks, difficulties in project financing are very important. In order to verify the obtained results and justify the proposed method, we calculated weights of the criteria (and sub-criteria) and ranked the risks using 6 different methods. We use the extent fuzzy-AHP and fuzzy prioritization approach for calculating the weights of criteria (and sub-criteria). According to obtained results, significant differences are observed in the weights of sub-criteria when dependencies are considered. In addition, there are no significant differences between rankings of risks for different methods. The results show that the proposed method is a suitable approach when performance ratings and weights are vague and imprecise.

Key Words: Project risk identification, project risk assessment, fuzzy analytical network process (ANP), fuzzy-TOPSIS, power plant projects.