پژوهشنامه‌ی مدیریت اجرایی
علمی – پژوهشی
سال هشتم، شماره‌ی۱۶، نیمه ی دوم ۱۳۹۵

توسعه مدلی برای ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت مبتنی بر تئوری مجموعه اعداد راف[1]

علیرضا شهرکی[*]
فاطمه جمالی مقدم[**]

تاریخ دریافت:۱۳۹۴/۹/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۳۹۵/۱۰/۸

چکیده:

صنعت ساخت، حوزه ای از مطالعه است که تصمیم گیری آگاهانه در آن، نقش بسزایی ایفا می کند. این صنعت با ریسک های مختلفی روبروست که نادیده گرفتن آن ها می تواند باعث کاهش راندمان و حتی شکست پروژه ها گردد. متاسفانه کمبود تحلیل ریسک در صنعت ساخت در مقایسه با صنایع دیگر از قبیل صنعت بیمه و دارایی، باعث بروز مشکلاتی در این صنعت شده است. بعلاوه، عدم قطعیت موجود در ریسک ها و اطلاعات ناکافی در این زمینه، موفقیت پروژه ها را با خطر مواجه می سازد. بنابراین، مدیریت ریسک برای تضمین رسیدن به اهداف پروژه، باید اعمال شود. تمرکز این تحقیق بر روی ارزیابی ریسک پروژه های ساخت و انتخاب کم ریسک ترین پروژه می باشد. از این جهت که ارزیابی ریسک شامل اظهار نظرهای شخصی و ابهاماتی می باشد، برای مقابله با این عدم قطعیت، رویکرد ارزیابی جدیدی بر پایه اعداد راف پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی، شایستگی تئوری اعداد راف در رویارویی با ابهام و توانایی روش ویکور گروهی در مدلسازی و ارزیابی ریسک را با هم ترکیب می کند. نهایتا روش پیشنهادی، در یک شرکت ساختمانی برای انتخاب کم ریسک ترین پروژه، جهت نشان دادن پتانسیل روش و کاربردی بودن آن، اعمال شده است.

کلمات کلیدی: صنعت ساخت، مدیریت ریسک، روش ویکور گروهی، تئوری مجموعه اعداد راف

---

[1] این مقاله، مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد می باشد

[*] دانشیار مهندسی صنایع، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان(shahrakiar@hamoon.usb.ac.ir)
[**] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۱ - مقدمه

شرایط رقابتی محیط کسب و کار ایجاب می‌کند که هر سازمانی برای موفق شدن نیازمند پذیرش تغییرات و توسعه استراتژی‌های تجاری مناسب باشد. پروژه‌های مختلف یک سازمان ممکن است در اندازه، مدت زمان، اهداف، عدم قطعیت‌ها، پیچیدگی‌ها و ابعاد دیگر متفاوت باشند ولی بدون شک هر پروژه‌ای، درجه‌ای از عدم قطعیت را شامل می‌شود و عاری از ریسک نیست(تویسوز و کهرمان[1]، ۲۰۰۶). الکینگتون و اسمالمن[2] (۲۰۰۲)، اظهار داشتند که پروژه های موفق تر، از مدیریت ریسک بیشتری بهره می برند. به دلیل اینکه ریسک های پروژه، چند بعدی هستند، باید با استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره ارزیابی شوند. پروژه ها باید با در نظر گرفتن بیشتر از یک معیار، برای حصول نتایج دقیق تر و قابل اعتمادتر ارزیابی شوند(میلر و لسارد[3]، ۲۰۰۱).

به دلیل عدم قطعیت ریسک ها، روش های فازی، در سطح وسیعی مورد توجه قرار گرفته اند ولی از این جهت که وزن های اختصاص داده شده به فاکتورها از اهمیت بالایی برخوردارند و ماهیت ریسک را مشخص می کنند، در روش های فازی، وزن های متفاوت ممکن است منجر به نتایجی کاملا متضاد می گردد(ژو، ونگ ولی[4]، ۲۰۱۲). همچنین فاصله های فازی که وابسته به تابع عضویت می باشند، برای تمامی فاکتورها به یک صورت خواهد بود. تابع عضویت از قبل تعیین شده نمی تواند تضمین بدهد که موقعیت واقعی نشان داده شود و اغلب، اعداد فازی با منطقه مرزی یکسان را نتیجه می دهد(سانگ، مینگ و زو[5]، ۲۰۱۳). صنعت ساخت، به عنوان تجارتی ریسک پذیر مورد توجه قرار می گیرد که در مقایسه با حوزه های دیگر مانند صنعت بیمه و دارایی،

---

[1] Tuysuz & Kahraman
[2] Elkington & Smallman
[3] Miller & Lessard
[4] Zhou,Wang & Li
[5] Song, Ming & Xu

عملکرد ضعیف تری در تحلیل ریسک دارد(لاریا[1]، ۲۰۰۸). بنابراین، نیاز به ارائه روشی دیگر، برای رفع این کاستی ها، احساس می شود.

در راستای شناخت و نقد تحقیقات پیشین و مشخص کردن شکاف ها در بخش دوم، به مرور ادبیات تحقیق می پردازیم. در بخش سوم تحقیق، روش تحقیق پیشنهاد شده بررسی می شود. در بخش چهارم، مطالعه موردی و یافته های تحقیق اورده شده است. در بخش نهایی، با عنوان بحث و نتیجه گیری، علاوه بر خلاصه نتایج روش ویکور راف، نتایج روش ویکور فازی هم، جهت مقایسه اورده شده و نتایج تحلیل شده اند.

۲- ادبیات تحقیق

مدیریت ریسک از چهار مرحله دارد: ۱.شناسایی ریسک‌ها[2] ۲.ارزیابی ریسک[3] ۳.پاسخگویی به ریسک[4] ۴.مرور و نظارت بر ریسک[5](نیوتو موروته و روزویلا[6]، ۲۰۱۱)

تکنیک‌های زیادی برای شناسایی ریسک وجود دارند، نظیر: طوفان فکری و کارگاه‌ها[7]، چک لیست‌ها و لیست‌های آماده[8]، پرسشنامه و مصاحبه[9]، تکنیک‌های دلفی گروهی یا گروه اسمی[10] و رویکردهای رسم نمودار مانند: نمودارهای علت-معلول[11]، پویایی سیستم‌ها[12]، نمودارهای نفوذ[13](چپمن[14]، ۱۹۹۹). با این وجود روشی ایده‌آل،

---

1. Laryea
2. Risks Identification
3. Risk Assessment
4. Risk Response
5. Risk Monitoring & Reviewing
6. Nieto-Morote & Ruz-Vila
7. Brainstorming & Workshops
8. Checklists & Prompt Lists
9. Questionnaires & Interviews
10. Delphi Groups or Nominal Group Technique(NGT)
11. Cause-Effect Diagrams
12. Systems Dynamics
13. Influence Diagram
14. R. Chapman

برای شناسایی ریسک وجود ندارد و ترکیب مناسبی از تکنیک‌ها باید مورد استفاده قرار گیرد(هیلسون[۱]، ۲۰۰۲).

چپمن و وارد[۲] (۱۹۹۷)، فاز ارزیابی ریسک را، به عنوان فاز مرکزی در فرآیند مدیریت ریسک در نظر گرفتند. به طور کلی ارزیابی ریسک می‌تواند به سه صورت، انجام گیرد: کمی، کیفی و نیمه کمی(ابراهیم نژاد، موسوی و قربانی کیا[۳]، ۲۰۰۷). روش‌های کیفی، مشخصات هر ریسک را به تفصیل، برای درک بهتر آن توصیف می‌کنند. روش‌های کمی، مدل‌های ریاضی را، جهت شبیه‌سازی اثر ریسک‌ها بر نتایج پروژه، استفاده می‌کنند(هیلسون[۴]، ۲۰۰۳). این دو مدل ارزیابی، می‌توانند به صورت جداگانه یا باهم نیز استفاده شوند(ترانو، آسای و سوجنو[۵]، ۱۹۹۲). فقط در تعداد اندکی از پروژه‌ها و قراردادها، ریسک در حالتی استوار و منطقی، فرض می‌شود بنابراین در اکثر ارزیابی‌ها، مقداری ذهنی و انتزاعی است(میلز[۶]، ۲۰۰۱). در همین راستا، روش‌هایی که به مدل‌سازی عدم قطعیت می‌پردازند، عملکرد خوبی در این زمینه از خود نشان دادند(کریمی آذری، موسوی، موسوی و حسینی[۷]، ۲۰۱۱؛ کوپر و چپمن[۸]، ۱۹۸۷).

در تحقیق تارون[۹](۲۰۱۴) بیان شده است که بر اساس مقالات، تغییر شگرفی در درک محققان از ریسک ایجاد شده است. در گذشته ریسک به عنوان یک متغیر تخمینی، در نظر گرفته می شده است که استفاده مکرر از روش های مبتنی بر تئوری احتمال، آن را تایید می کند. در تحقیقات اخیر، ریسک بیشتر به صورت یک خصوصیت پروژه در نظر گرفته شده است که گرایش محققان به روش های تحلیلی تر را موجه می

---

1. Hillson
2. Chapman & Ward
3. Ebrahimnejad, Mousavi & Ghorbanikia
4. Hillson
5. Terano, Asai, & Sugeno
6. Mills
7. KarimiAzari, Mousavi & Hosseini
8. Cooper & Chapman
9. Taron

سازد. در واقع، روش های تحلیلی، که بیشتر فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1] و تئوری مجموعه اعداد فازی[2] را به کار می برند، حجم عظیمی از ادبیات موضوع را به خود اختصاص داده اند، دیگر روش های تصمیم گیری چند معیاره و روش های ترکیبی هم رشد چشمگیری داشته اند که به بخشی از آن ها در جدول (۱) اشاره شده است.

مقاله جاتو-اسپینو، :استیلو-لوپز، رودریگز-هرناندز و کانتراس-جردانا[3](۲۰۱۴) لیست نسبتا کاملی از روش های تصمیم گیری چند معیاره مورد استفاده در صنعت ساخت را ارائه می دهد. در میان مقالات، بیشترین کاربرد متعلق به فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس[4] است. با توجه به کارکرد تقریبا مشابه تاپسیس و ویکور، نویسندگان دلیل محجور ماندن روش ویکور را دیرتر شناخته شدن آن توسط عموم عنوان کردند. روش ویکور، شاخص رتبه بندی را بر مبنای اندازه نزدیکی به راه حل ایده آل معرفی می کند ولی در روش تاپسیس، گزینه های انتخابی باید کمترین فاصله از جواب ایده آل و دورترین فاصله از جواب ضد ایده آل را داشته باشند با اینکه این روش دو نقطه مرجع را معرفی می کند ولی اهمیت نسبی فواصل از این دو نقطه را در نظر نمی گیرد.

در تحقیقات بررسی شده، از روش های فازی استقبال زیادی شده بود. ولی ایراداتی متوجه روش های فازی می باشد که در قسمت بحث و نتیجه گیری به تفضیل شرح داده خواهد شد. با توجه به ماهیت پیچیده و عدم قطعیت های موجود در پروژه ها، کاربرد روش های تحلیلی و کیفی در ترکیب با روش هایی که ابهام را در نظر بگیرند، بسیار کارامد است. بنابراین ترکیب تئوری اعداد راف با روش های تصمیم گیری چندمعیاره جهت ارزیابی ریسک پروژه ها، رویکرد مناسبی ارائه می دهد.

---

[1] .Analytical Hierarchy Process(AHP)
[2] .Fuzzy Set Theory(FST)
[3] .Jato-Espino, Castillo-Lopez, Rodriguez-Hernandez & Canteras-Jordana
[4] .The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

جدول(۱): بخشی از روش های تصمیم گیری در ارزیابی صنعت ساخت

نویسندگان و سال انتشار	ابزار و تئوری های اصلی
تاه و کار[۱](۲۰۰۱)	تئوری مجموعه اعداد فازی
دی[۲](۲۰۰۱)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی و درخت تصمیم[۳]
شنگ، آنومبا، بوچلاقم، مایلز، سن و تیلور[۴](۲۰۰۵)	تئوری مجموعه اعداد فازی
دیکمن، بیرگونول و هان[۵](۲۰۰۷)	فرایند تحلیل شبکه ای[۶]
لیو و یان[۷](۲۰۰۷)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی و ویکور
زنگ، ان و اسمیت[۸](۲۰۰۷)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی
ژنگ و زو[۹](۲۰۰۷)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی
مجتهدی،محمدی، موسوی و ماکویی[۱۰](۲۰۱۰)	تاپسیس گروهی
نیتو موروته و روزویلا(۲۰۱۱)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی
کریمی آذری و همکاران(۲۰۱۱)	تاپسیس فازی
ابراهیم نژاد، موسوی، توکلی مقدم، هاشمی و وحدانی[۱۱] (۲۰۱۲)	فرایند تحلیل شبکه ای فازی و ویکور
فنگ و مارل[۱۲](۲۰۱۲)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی
تایلان، بافیل، عبدالآل و کابلی[۱۳](۲۰۱۴)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس

1. Tah & Carr
2. Dey
3. Decision Tree
4. Shang, Anumba, Bouchlaghem, Miles, Cen & Taylor
5. Dikmen, Birgonul, & Ozorhon
6. Analytical Network Process(ANP)
7. Liu & Yan
8. Zeng, An & Smith
9. Zhang & Zou
10. Mojtahedi, Mousavi & Makui
11. Ebrahimnejad, Mousavi, Tavakkoli-Moghaddam, Hashemi & Vahdani
12. Fang & Marle
13. Taylan, Bafail, Abdolaal & Kabli

۳- روش تحقیق

۳-۱- تئوری مجموعه اعداد راف

پاولاک[1](۱۹۸۲)، برای اولین بار تئوری مجموعه اعداد راف را پیشنهاد داد که ابزار ریاضی کارایی در مواجهه با اطلاعات ذهنی و نادقیق، بدون نیاز به فرضیات زیاد می‌باشد. مفهوم مبهم، توسط یک جفت مفاهیم دقیق بر پایه تقریب بالا[2] و تقریب پایین[3]، در تئوری مجموعه اعداد راف، نشان داده می‌شود(پاولاک، ۱۹۹۱). فرض کنید که U، جهانی است که همه اشیاء را در بر می‌گیرد، ناحیه ی مرزی[4] S در U، از اجزایی تشکیل شده است که نه می‌توانند به عنوان عضوی در داخل مجموعه هدف باشند و نه می‌توانند خارج از مجموعه به حساب بیایند(گرکو، ماتارازو و اسلووینسکی[5]، ۲۰۰۱). ژای، خو و ژونگ[6](۲۰۰۸)، اظهار داشتند که تقریب بالا، تقریب پایین و ناحیه مرزی، می‌توانند در مواجهه با قضاوت‌های ذهنی و نادقیق انسانی به کار گرفته شوند. فرض کنید که مجموعه‌ای از n گروه از قضاوت‌های انسانی، وجود دارد، $R = \{J_1, J_2, \ldots, J_n\}$، که مرتب شده به صورت $J_1 < J_2 < \ldots < J_n$ است. بنابراین، قضاوت‌ها و اولویت‌های ذهنی انسانی، گروه J_i، می‌تواند توسط یک عدد راف که به وسیله حد پایین خود $\underline{Lim}(J_i)$ و حد بالای خود $\overline{Lim}(J_i)$ تعریف می‌شود، نشان داده شود. قضاوت انسانی و فاصله ناحیه مرزی توسط معادلات (۱) و (۲) بیان می‌شوند. عملیات ریاضی تحلیل بازه‌ای، می‌تواند برای اعداد راف هم به صورت روابط (۳) تا (۵) به کار برده شود.

$$RN(J_i) = \left[\underline{Lim}(J_i), \overline{Lim}(J_i)\right] \quad (۱)$$

$$IBR(J_i) = \overline{Lim}(J_i) - \underline{Lim}(J_i) \quad (۲)$$

---

1. Pawlak
2. Upper Approximation
3. Lower Approximation
4. Boundary Region
5. Greco, Matarazzo & Slowwinski
6. Zhai, Khoo & Zhong

$$RN_1 \oplus RN_2 = (L_1, U_1) + (L_2, U_2) = (L_1 + L_2, U_1 + U_2) \quad (۳)$$

$$RN_1 \otimes K = (L_1, U_1) \times K = (KL_1, KU_1) \quad (۴)$$

$$RN_1 \otimes RN_2 = (L_1, U_1) \times (L_2, U_2) = (L_1 \times L_2, U_1 \times U_2) \quad (۵)$$

که در آن $RN_1 = (L_1, U_1), RN_2 = (L_2, U_2)$ دو عدد راف و K، عدد ثابت غیر صفر می‌باشد.

به طور خلاصه سه قانون کلی به منظور رتبه‌بندی وجود دارد(ژای و همکاران، ۲۰۰۸). فرض کنید که U_A و U_B به ترتیب حد بالای دو عدد A و B و L_A و L_B نیز حدود پایین دو عدد راف A و B باشند آنگاه سه حالت (۶)، (۷) و (۸) اتفاق می‌افتد. در رابطه (۸)، پس از محاسبه مقدار M، اعداد راف توسط قوانین (۹) تا (۱۲) مقایسه می‌شوند.

اگر $U_A > U_B$ و $L_A \geq L_B$ یا $U_A \geq U_B$ و $L_A > L_B$ آنگاه $A > B$ (۶)

اگر $U_A = U_B$ و $L_A = L_B$ آنگاه $A = B$ (۷)

اگر $U_A > U_B$ و $L_A < L_B$ یا $U_B > U_A$ و $L_B < L_A$ آنگاه محاسبه کن $M = \frac{U + L}{2}$ (۸)

اگر $U_A > U_B$ و $L_A < L_B$ و $M_A \leq M_B$ آنگاه $A < B$ (۹)

اگر $U_A > U_B$ و $L_A > L_B$ و $M_A > M_B$ آنگاه $A > B$ (۱۰)

اگر $U_A < U$ و $L_A > L_B$ و $M_A \leq M_B$ آنگاه $A < B$ (۱۱)

اگر $U_A < U_B$ و $L_A > L_B$ و $M_A > M_B$ آنگاه $A > B$ (۱۲)

فرض کنید که L_A و U_A، به ترتیب تقریب پایین و تقریب بالای عدد راف A و شاخص خوش‌بینی $\lambda\ (0 \le \lambda \le 1)$ ، باشند، سپس معادله تبدیل عدد راف به عدد غیر راف[1]، به صورت $A = (1-\lambda) L_A + \lambda U_A$ خواهد بود(سانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

۳-۲- شناسایی ریسک‌های پروژه‌های ساخت و محاسبه وزن موثر آن‌ها

در این مقاله، از معیارهای مطرح شده در پژوهش‌های پیشین، روش دلفی و مصاحبه، جهت شناسایی ریسک‌ها استفاده شده است. سپس نظرات خبرگان به صورت مقایسات زوجی ریسک‌ها جمع‌آوری و ماتریس مقایسه زوجی فردی، برای نظرات هر خبره تشکیل شد. اعداد بالای قطر اصلی، نظرات خبرگان و اعداد پایین قطر اصلی، معکوس آن‌ها می‌باشند. ماتریس مقایسات زوجی خبره Kام با ماتریس(۱۳) تعریف می‌شود.

$$M_k = \begin{pmatrix} 1 & r_{12}^k & \cdots & r_{1n}^k \\ r_{21}^k & 1 & \cdots & r_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1}^k & r_{n2}^k & \cdots & 1 \end{pmatrix} \qquad k=1,2,\ldots,m \qquad (۱۳)$$

به طوری که r_{ij}^k، قضاوت k امین فرد خبره برای مقایسه فاکتور ریسک فرعی i ام نسبت به فاکتور ریسک فرعی j ام می‌باشد. m تعداد خبرگان و n تعداد فاکتورهای ریسک فرعی است. در این قسمت برای ترکیب قضاوت‌های شخصی خبرگان، روش میانگین هندسی به صورت رابطه (۱۴) پیشنهاد می‌شود، زیرا ویژگی معکوس‌بودن ماتریس‌های مقایسات زوجی را بدون زیر پا گذاشتن قوانین پارتو حفظ می‌کند(فورمن و پنیواتی[2]، ۱۹۹۸).

$$r_{ij} = \left(\prod_{k=1}^{m} r_{ij}^k \right)^{\frac{1}{m}} \qquad (۱۴)$$

---

[1]. Crisp
[2]. Forman & Peniwat

ماتریس مقایسات زوجی گروهی به صورت ماتریس (۱۵) تشکیل می‌شود.

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (۱۵)$$

در هر سطر، میانگین اعداد را برای هر ریسک فرعی می‌توان با رابطه (۱۶) محاسبه نمود. با نرمال نمودن اعداد، وزن ریسک‌های فرعی با رابطه (۱۷) مشخص می‌شود.

$$M_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} r_{ij}}{n} \quad (۱۶)$$

$$W_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^{z} M_i} \quad (۱۷)$$

Z، تعداد کل زیر ریسک‌های فرعی می باشد. می‌توانیم وزن هر ریسک اصلی را به وسیله مجموع وزن ریسک‌های فرعی آن طبق رابطه (۱۸) محاسبه نماییم. که W_{total} وزن هر ریسک اصلی و **t**، تعداد ریسک‌های اصلی پروژه $W = [w_1, w_2, ..., w_t]$ می‌باشد.

$$W_{total} = \sum_{i=1}^{n} w_i \quad (۱۸)$$

۳-۳- ارزیابی ریسک پروژه با روش ویکور[1] توسعه‌یافته با اعداد راف

روش ویکور، توسط اوپریکوویچ[2](۱۹۹۸) و اوپریکوویچ و زنگ[3](۲۰۰۲) برای بهینه‌سازی چندمعیاره سیستم‌های پیچیده توسعه‌یافته است. در اینجا جواب سازشی نزدیکترین

---

1. Vikor
2. Opricovic
3. Opricovic & Tzeng

جواب موجه به جواب ایده‌آل است که کلمه سازش به یک توافق متقابل اطلاق می‌گردد(اوپریکوویچ و ژنگ، ۲۰۰۴). مفروضات و گام‌های روش پیشنهادی، به صورت زیر هستند(چو، شیو، زنگ و خوسلا[1]، ۲۰۰۷). مفروضات: K فرد تصمیم‌گیرنده وجود دارند که اهمیت نظرات آن‌ها در تصمیم نهایی یکسان است.(k=1,…,K)

m گزینه[2] برای انتخاب وجود دارند.(i=1,…,m)

n معیار[3]/ شاخص[4] برای تصمیم‌گیری وجود دارند.(j=1,…,n)

گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فردی (۱۹) از نظرات کارشناسان صنعت ساخت، با استفاده از پرسشنامه. که در آن سطرها، نشان‌دهنده گزینه‌ها که همان پروژه‌ها هستند و ستون‌ها، جایگاه معیارها که ریسک‌های اصلی پروژه هستند، را نشان می‌دهد.

$$F_{ij}^{k}=\begin{pmatrix} f_{11}^{k} & f_{12}^{k} & \cdots & f_{1n}^{k} \\ f_{21}^{k} & f_{22}^{k} & \cdots & f_{2n}^{k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{m1}^{k} & f_{m2}^{k} & \cdots & f_{mn}^{k} \end{pmatrix} \qquad (۱۹)$$

به طوری که در آن f_{ij}^{k} ، عملکرد گزینه i، در رابطه با معیار j، از نظر kامین فرد خبره می‌باشد. سپس ماتریس تصمیم گروهی به صورت ماتریس (۲۰) تشکیل می‌شود.

$$\bar{F}=\begin{pmatrix} \bar{f}_{11} & \bar{f}_{12} & \cdots & \bar{f}_{1n} \\ \bar{f}_{21} & \bar{f}_{22} & \cdots & \bar{f}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{f}_{m1} & \bar{f}_{m2} & \cdots & \bar{f}_{mn} \end{pmatrix} \qquad (۲۰)$$

به طوری که:

$$\bar{f}_{ij}=\left\{ f_{ij}^{1}, f_{ij}^{2}, \cdots, f_{ij}^{k}, \cdots, f_{ij}^{m} \right\}$$

---

1. Chu, Shyu, Tzeng & Khosla
2. Alternative
3. Criterion
4. Attribute

گام دوم: تبدیل مولفه $\tilde{f}_{ij}$ در ماتریس $\tilde{F}$، به عدد راف، برای تشکیل ماتریس ارزیابی گروهی راف F با استفاده از فرمول‌های (۲۱) و (۲۲).

$$\underline{Apr}\left(r_{ij}^{k}\right)=\cup\left\{Y\in U/R(Y)\le r_{ij}^{k}\right\} \qquad (۲۱)$$

$$\overline{Apr}\left(r_{ij}^{k}\right)=\cup\left\{Y\in U/R(Y)\ge r_{ij}^{k}\right\} \qquad (۲۲)$$

بنابراین f_{ij}^{k}، می‌تواند به صورت یک عدد راف که توسط حد پایین خود $\underline{Lim}(f_{ij}^{k})$ و حد بالای خود $\overline{Lim}(f_{ij}^{k})$ تعریف می‌شود، نشان داده شود. به طوری که:

$$\underline{Lim}\left(f_{ij}^{k}\right)=\left(\prod_{m=1}^{N_{ijL}}x_{ij}\right)^{\frac{1}{N_{ijL}}} \qquad (۲۳)$$

$$\overline{Lim}\left(f_{ij}^{k}\right)=\left(\prod_{m=1}^{N_{ijU}}y_{ij}\right)^{\frac{1}{N_{ijU}}} \qquad (۲۴)$$

x_{ij} و y_{ij} مولفه‌های تقریب پایین و تقریب بالا برای f_{ij}^{k} می باشند. N_{ijL} و N_{ijU} تعداد اجزایی است که به ترتیب در تقریب پایین و بالای f_{ij}^{k} جای می‌گیرند. سپس می‌توانیم عدد راف $RN(f_{ij}^{k})$ را به صورت رابطه (۲۵) داشته باشیم.

$$RN\left(f_{ij}^{k}\right)=\left[\underline{Lim}\left(f_{ij}^{k}\right),\overline{Lim}\left(f_{ij}^{k}\right)\right]=\left[f_{ij}^{kL},f_{ij}^{kU}\right] \qquad (۲۵)$$

که f_{ij}^{kL} و f_{ij}^{kU} ، حدپایین و حد بالای عدد راف $RN(f_{ij}^{k})$ در ماتریس مقایسات زوجی k ام می‌باشند. بنابراین می‌توانیم سری اعداد راف را به صورت سری (۲۶) تشکیل دهیم.

$$RN\left(\tilde{f}_{ij}\right)=\left\{\left[f_{ij}^{1L},f_{ij}^{1U}\right],\left[f_{ij}^{2L},f_{ij}^{2U}\right],\ldots,\left[f_{ij}^{mL},f_{ij}^{mU}\right]\right\} \qquad (۲۶)$$

همچنین فاصله راف میانگین به صورت فرمول‌های (۲۷)، (۲۸) و (۲۹) تعریف می‌شود.

$$\overline{RN\left(\tilde{f}_{ij}\right)}=\left[f_{ij}^{L},f_{ij}^{U}\right] \qquad (۲۷)$$

$$f_{ij}^{L}=\left(\prod_{k=1}^{m}f_{ij}^{kL}\right)^{\frac{1}{m}} \qquad (۲۸)$$

$$f_{ij}^{U} = \left(\prod_{k=1}^{m} f_{ij}^{kU} \right)^{\frac{1}{m}} \qquad (۲۹)$$

f_{ij}^{L} و f_{ij}^{U}، حد پایین و حد بالای عدد راف $\left[f_{ij}^{L}, f_{ij}^{U} \right]$ می‌باشند و m، تعداد خبرگان است. حال ماتریس تصمیم گروهی راف F را به صورت ماتریس (۳۰) تشکیل دهیم.

$$F = \begin{bmatrix} \left[f_{11}^{L}, f_{11}^{U} \right] & \left[f_{12}^{L}, f_{12}^{U} \right] & \cdots & \left[f_{1n}^{L}, f_{1n}^{U} \right] \\ \left[f_{21}^{L}, f_{21}^{U} \right] & \left[f_{22}^{L}, f_{22}^{U} \right] & \cdots & \left[f_{2n}^{L}, f_{2n}^{U} \right] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \left[f_{m1}^{L}, f_{m1}^{U} \right] & \left[f_{m2}^{L}, f_{m2}^{U} \right] & \cdots & \left[f_{mn}^{L}, f_{mn}^{U} \right] \end{bmatrix} \qquad (۳۰)$$

گام سوم: گزینه‌های ایده‌آل مثبت، f_j^* و منفی، f_j^- با قواعد زیر، تعیین می‌شوند:

۱. اگر معیار j ام از نوع سود باشد، آن گاه مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی به صورت فرمول (۳۱) خواهند بود.

$$f_j^* = \max\left(f_{ij}^{U} \right), \qquad f_j^- = \min\left(f_{ij}^{L} \right) \qquad (۳۱)$$

۲. اگر معیار j ام از نوع زیان باشد، آن گاه مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی به صورت فرمول (۳۲) خواهند بود.

$$f_j^* = \min\left(f_{ij}^{L} \right), \qquad f_j^- = \max\left(f_{ij}^{U} \right) \qquad (۳۲)$$

گام چهارم: در این مرحله، مقدار شاخص سودمندی[1] S_i با استفاده از فرمول‌های (۳۳) (۳۴) و شاخص تاسف[2] R_i گزینه‌ها با استفاده از فرمول‌های (۳۵) و (۳۶) محاسبه می‌شود.

$$S_i^{L} = \sum_{j=1}^{n} w_j \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^{U}}{f_j^* - f_j^-} \right) + \sum_{j=1}^{n} w_j \left(\frac{(f_{ij}^{L} - f_j^*)}{(f_j^- - f_j^*)} \right), i = 1, \ldots, m \qquad (۳۳)$$

---

1. Utility Index
2. Regret Index

$$S_i^U = \sum_{j=1}^{n} w_j \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^L}{f_j^* - f_j^-} \right) + \sum_{j=1}^{n} w_j \left(\frac{(f_{ij}^U - f_j^*)}{(f_j^- - f_j^*)} \right), i = 1, \ldots, m \qquad (۳۴)$$

$$R_i^L = \max \left\{ w_j \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^U}{f_j^* - f_j^-} \right), w_j \left(\frac{(f_{ij}^L - f_j^*)}{(f_j^- - f_j^*)} \right) \right\}, i = 1, \ldots, m \qquad (۳۵)$$

$$R_i^U = \max \left\{ w_j \left(\frac{f_j^* - f_{ij}^L}{f_j^* - f_j^-} \right), w_j \left(\frac{(f_{ij}^U - f_j^*)}{(f_j^- - f_j^*)} \right) \right\}, i = 1, \ldots, m \qquad (۳۶)$$

گام پنجم: شاخص ویکور، Q، را بر اساس رابطه‌های (۳۷) و (۳۸) محاسبه می‌کنیم. V وزنی برای استراتژی ماکزیمم سودمندی گروهی[1] است که معمولا ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. V میزان توافق گروه تصمیم گیرندگان را نشان می دهد. v=۰/۵ ، نشان دهنده نگرش توافقی، v=۰، نگرش منفی اکثریت و v=۱ اکثریت موافق خبرگان می باشد(کاکار[2]، ۱۹۸۵؛ هوانگ، زنگ و لیو[3]، ۲۰۰۹).

$$Q_i^L = v \left(\frac{S_i^L - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1-v) \left(\frac{R_i^L - R^*}{R^- - R^*} \right) \qquad (۳۷)$$

$$Q_i^U = v \left(\frac{S_i^U - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1-v) \left(\frac{R_i^U - R^*}{R^- - R^*} \right) \qquad (۳۸)$$

به طوری که:

$$S^* = \min S_i^L \qquad S^- = \max S_i^U \qquad R^* = \min R_i^L \qquad R^- = \max R_i^U \qquad (۳۹)$$

گام ششم: رتبه‌بندی نزولی گزینه‌ها بر اساس مقدار شاخص ویکور، سودمندی وتاسف.

گام هفتم: انتخاب بهترین گزینه، با کمترین Q، تحت شرایطی محقق خواهد شد که دو شرط زیر برقرار باشند(هوانگ و همکاران، ۲۰۰۹).

- شرط اول(ویژگی پذیرش):

---

1. Group Utility
2. Kackar
3. J. J. Huang, Tzeng, & Liu

$$Q\left(A^{[2]}\right)-Q\left(A^{[1]}\right)\geq DQ,\qquad DQ=\frac{1}{m-1} \tag{۴۰}$$

به طوری که، $A^{[2]}$، گزینه‌ای است که از نظر رتبه‌بندی بر اساس کمترین مقدار Q، در رتبه دوم قرار دارد، $A^{[1]}$، بهترین گزینه با کمترین مقدار Q و m تعداد گزینه‌ها است. برای $m\leq 4$ ، DQ=۰/۲۵

- شرط دوم(ثبات پذیرش در تصمیم‌گیری): گزینه $A^{[1]}$، همچنین باید بهترین رتبه را در S و R داشته باشد. این راه حل سازشی در طول فرایند تصمیم گیری ثابت است، که می تواند به سه صورت باشد: "رای گیری با قاعده اکثریت" (وقتی که V>۰/۵ نیاز است) یا "با توافق عام" (V=۰/۵) یا "با رای مخالف" (V<۰/۵). اگر یکی از شروط بالا برقرار نشد، آن گاه یک مجموعه جواب‌های سازشی به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. اگر تنها شرط دوم برقرار نباشد، گزینه $A^{[1]}$و $A^{[2]}$ یا

۲. اگر شرط اول برقرار نشد، گزینه $A^{[1]}$و $A^{[2]}$ و ... و $A^{[m]}$.

$A^{[m]}$گزینه‌ای در موقعیت mام است که رابطه $Q\left(A^{[m]}\right)-Q\left(A^{[1]}\right)<DQ$ در مورد آن صادق باشد.

۴- یافته های تحقیق

۴-۱- شناسایی ریسک‌های پروژه‌های ساخت و محاسبه وزن موثر آن‌ها

در ابتدا از تحقیقات گذشته و مصاحبه با خبرگان، ۶۰ ریسک عمده صنعت ساخت انتخاب و با روش دلفی، ۳۵ ریسک کلیدی مشخص شدند و در شش دسته اصلی، به صورت جدول (۲) طبقه‌بندی گردیدند. سپس با نظرسنجی از پانزده فرد خبره و با استفاده از روابط (۱۳) تا (۱۸) وزن هر یک از ریسک های اصلی به دست آمد که در جدول (۳) آمده است.

جدول (۲): شش دسته ریسک اصلی پروژه‌های ساخت و ریسک‌های فرعی آن‌ها

ریسک‌های طراحی و مهندسی(R۱)	ریسک تاخیر در تهیه نقشه های اجرایی(R۱۱) ریسک اطلاعات طراحی ناقص و ناکامل(R۱۲) ریسک ابهامات، خطاها و مشخصات متناقض(R۱۳) ریسک پیچیدگی ها و سختی های طراحی(R۱۴) ریسک افزایش هزینه های طراحی(R۱۵)
ریسک‌های مالی(R۲)	ریسک ضرر به دلیل تورم(R۲۱) ریسک کاهش ارزش پول و تغییرات نرخ ارزی(R۲۲) ریسک افزایش نرخ بهره وام(R۲۳) ریسک تاخیر پرداخت های پیشرفت پروژه(R۲۴) ریسک تحریم(R۲۵) ریسک اعتصاب کارگران(R۲۶) ریسک لیست خرید نامناسب(R۲۷)
ریسک‌های ساخت(R۳)	ریسک افزایش قیمت مواد خام(هزینه انرژی) (R۳۱) ریسک افزایش دستمزد نیروی کار(R۳۲) ریسک افزایش هزینه تجهیزات(R۳۳) ریسک بهره وری پایین نیروی کار(R۳۴) ریسک بی تجربگی نیروی کار(R۳۵) ریسک کمبود پیمانکار با مهارت(R۳۶)
ریسک‌های حقوقی و آیین‌نامه‌ای(R۴)	ریسک افزایش هزینه های ثبت(R۴۱) ریسک افزایش هزینه مجوزها(R۴۲) ریسک افزایش مالیات(R۴۳) ریسک افزایش عوارض گمرکی(R۴۴) ریسک افزایش هزینه اختلافات و عدم توافق ها(R۴۵)
ریسک‌های مدیریت(R۵)	ریسک کمبود مدیریت پروژه(R۵۱) ریسک کمبود مدیریت و برنامه ریزی نیروی انسانی(R۵۲) ریسک کمبود برنامه ریزی و مدیریت مواد(R۵۳) ریسک کمبود برنامه ریزی و مدیریت تجهیزات(R۵۴) ریسک کمبود نظارت موثر بر پروژه(R۵۵) ریسک کمبود مدیران با تجربه و متخصص(R۵۶) ریسک عدم هماهمگی اعضای تیم پروژه(R۵۷)
ریسک‌های ایمنی و حوادث قهری(R۶)	ریسک آسیب به تجهیزات(R۶۱) ریسک جراحات نیروی کار(R۶۲) ریسک آتش سوزی(R۶۳) ریسک دزدی تجهیزات و مواد(R۶۴) ریسک بلایای طبیعی و گرفتاری های فصلی(R۶۵)

جدول (۳): وزن ریسک‌های اصلی

	R۱	R۲	R۳	R۴	R۵	R۶
وزن نرمال	۰/۱۵۲۷۹۴	۰/۱۷۰۲۳۴	۰/۱۷۸۷۸۵	۰/۱۶۱۹۱۱	۰/۱۷۱۱۸۶	۰/۱۶۵۰۹

۴-۲- ارزیابی ریسک پروژه با استفاده از روش ویکور توسعه‌یافته با اعداد راف

در این قسمت، ارزیابی ریسک پروژه‌های ساختمانی در یک شرکت ساختمانی، جهت نشان دادن کاربرد رویکرد پیشنهادی، آورده شده است. تیم ارزیابی ریسک پروژه‌ها، متشکل از پنج نفر از اعضای اصلی شرکت هستند که نظرات آن‌ها در زمینه ریسک‌های پروژه توسط پرسشنامه اخذ شده است. در این قسمت، چهار پروژه معرفی شده از طرف شرکت جهت انتخاب کم ریسک‌ترین پروژه کاندید هستند. پروژه‌ها عبارتند از: پروژه اول A۱ ، پروژه دوم A۲ ، پروژه سوم A۳ و پروژه چهارم A۴. شش معیار اصلی ریسک در این ارزیابی عبارتند از: ریسک طراحی و مهندسی R۱ ، ریسک مالی R۲ ، ریسک ساخت R۳ ، ریسک ریسک حقوقی و آیین‌نامه‌ای R۴ ، ریسک مدیریت R۵ و ریسک ایمنی و حوادث قهری R۶. بر اساس گام های روش ویکور بر مبنای تئوری مجموعه اعداد راف یعنی روابط ۱۹ تا ۴۰ ، گزینه‌های سازشی برای v=۰/۵ و v=۰ ، A۴ ، A۱ و A۳ می‌باشد و برای v=۱ ، گزینه‌های A۴ و A۱ ، پروژه های انتخابی با روش ویکور توسعه‌یافته با اعداد راف، خواهند بود. یعنی با توافق بالای خبرگان، پروژه‌های A۱ و A۴ جهت اجرا انتخاب شدند و با اکثریت آرا و همچنین توافق پایین خبرگان، پروژه A۳ هم به دو پروژه قبلی اضافه می‌شود.

۵- بحث و نتیجه گیری

روش پیشنهادی این مقاله، توانایی روش ویکور و تئوری اعداد راف را در مواجهه با محیط ارزیابی ریسک سلیقه ای و شرایط نامطمئن به کار می گیرد. اعمال روش مذکور در ارزیابی ریسک پروژه های ساخت یک شرکت ساختمانی، اعتبار آن را تایید نمود. به این دلیل که تاکنون تحقیقی با عوامل ریسک، روش حل و پروژه های این مقاله صورت نگرفته، ارزیابی ریسک با استفاده از روش فازی ویکور نیز، جهت تحلیل مقایسه انجام شد. اکنون به مقایسه نتایج روش ویکور راف با روش ویکور فازی با استفاده از اعداد فازی مثلثی، پرداخته می‌شود. اگرچه در محاسبه Q و v=۰/۵، هر دو روش گزینه های سازشی مشابه، A۳ ، A۴ و A۱ و در v=۱، گزینه های A۴ و A۱ را پیشنهاد داده اند ولی در v=۰، گزینه های سازشی روش ویکور راف A۳ ، A۴ و A۱ و گزینه های پیشنهادی روش ویکور فازی، A۴ و A۱ هستند. اعداد راف و اعداد فازی مفاهیم ریاضی مشابهی را ارائه می‌دهند. هر دوی آن ها اطلاعات مبهم را توصیف می‌کنند و درجه ابهام با اندازه فاصله‌های مرزی راف و فازی مشخص می‌شود. عملیات ریاضی بر روی هر گروه راف و فازی منتج از عملیات ریاضی اعداد بازه‌ای می‌باشد. تئوری مجموعه راف نقاط اشتراک زیادی با تئوری‌هایی که جهت مواجهه با عدم قطعیت استفاده می‌شوند مانند تئوری فازی، تئوری شهودی[1] و تئوری خاکستری[2] دارد، اما یک تئوری مستقل است.

اگرچه روش ویکور فازی هم روشی منطقی برای ارزیابی ریسک در محیط فازی فراهم می‌کند ولی محدودیت‌هایی از قبیل تابع عضویت از پیش تعیین شده دارد که تحقیق و اطلاعات بیشتری می‌طلبد. بعلاوه، فاصله فازی، که درجه فردیت و ابهام را نشان می‌دهد، با توجه به نوع تابع عضویت، ثابت است. برای مثال، در جدول تصمیم، نظرات پنج فرد خبره برای میزان اثر ریسک طراحی و مهندسی بر پروژه یک، ۵و۴و۶و۴و۵ هستند که در فرم فاصله ثابت (۴،۶) و (۳،۵) و (۵،۷) و (۳،۵) و (۴،۶)

---

1. Evidence Theory
2. Grey Theory

اعداد مثلثی متقارن قرار دارند. میانگین هندسی قضاوت‌های گروهی از روش فازی، (۵/۷۵۲۶۵۲ ،۳/۷۲۷۹۱۹) می‌باشد. ولی این فاصله‌های فازی متوسط، در دنیای واقعی مناسب نیست، زیرا فاصله مرزی که، محدوده تخمین در فرایند ارزیابی ریسک را نشان می‌دهد، در میان خبرگانی که دانش، تجربه و تخصص متفاوت دارند، متفاوت است. در رویکرد ارزیابی ریسک ویکور راف گروهی، اعداد ۵و۴و۶و۴و۵ به فرم فاصله های کوچکتر و انعطاف پذیر (۵/۳۱۳۲۹۳ ،۴/۴۷۲۱۳۶) و(۴،۴/۷۴۲۸۸۱) و(۴/۶،۷۴۲۸۸۱) و(۴،۴/۷۴۲۸۸۱) و (۵/۳۱۳۲۹۳، ۴/۴۷۲۱۳۶) تبدیل می شوند. فاصله متوسط گروهی روش راف هم (۵/۲۰۲۲۶۷، ۴/۳۲۷۵۱۴) است که کوچکتر از فاصله فازی است. نتایج مشابه همچنین از دیگر آرایه های جدول تصمیم به دست می آید. فاصله های مرزی بزرگتر، درجه ابهام بالاتری را نشان می دهند که در ارزیابی ریسک پسندیده نیستند. از این جهت، اعداد راف، سطح اطمینان بالاتری از اعداد فازی ارائه می دهند.

روش ویکور گروهی راف، می تواند تغییر در ارجحیت های گروه خبرگان را تشخیص دهد، دلیل این امر، قابلیت اعداد راف در تعیین مرز خود بر اساس اجماع ارجحیت های خبرگان است. برای مثال اگر خبرگان پاراگراف قبل، قضاوت هایشان را به صورت ۷و۴و۶و۷و۴ اصلاح کنند، فاصله های فازی به این بازه های انتقال می یابند: (۸،۶) و (۳،۵) و (۵،۷) و (۶،۸) و (۳،۵) و فاصله های راف به این صورت دگرگون می شوند (۷، ۵/۴۲۶۱۷۱) و (۵/۴۲۶۱۷۱، ۴) و (۶/۶۴۹۴، ۴/۵۷۸۸۵۷) و (۷، ۵/۴۲۶۱۷۱) و (۵/۴۲۶۱۷۱، ۴) همین طور که پیداست، فاصله های فازی تغییر یافته جدید هم همچنان مرز ثابت ۲ را دارند، که در عمل واقعی نیست، زیرا نمی تواند تغییر و ناسازگاری قضاوت های خبرگان را تشخیص دهد. از طرف دیگر، شاخص v متفاوت در این مقاله، می تواند به مدیران ریسک، جهت دستیابی به اولویت بندی قابل اعتماد برای پروژه ها با توجه به گرایش های ریسک متفاوت، کمک کند.

در تحقیقات آتی، می توان از روش های دیگر ارزیابی اوزان مثل روش آنتروپی، روش لینمپ و یا روش کم ترین مجذورات موزون جهت یافتن وزن معیارها استفاده کرد. به دلیل محبوبیت روش های عدم قطعیت در عصر حاضر، مقایسه عدد راف با اعداد خاکستری و اعداد بازه ای هم می تواند گام موثری در جهت هر چه بهتر کردن روش های ارزیابی و کم کردن ابهام آن ها باشد. روش ویکور و تاپسیس شباهت های زیادی با هم دارند و هر دو شاخص نزدیکی به گزینه ایده آل را می سنجند، در نتیجه مقایسه این دو روش با استفاده از اعداد راف نیز خالی از لطف نخواهد بود.

منابع:

- Chapman, C., & Ward ,S. (1997). Project risk management: Processes, techniques and insights. *New York: John Wiley and Sons* .
- Chapman, R. (1999). The controlling influences on effective risk identification and assessment for construction design management. *International Journal of Project Management, 19*(147-160.(
- Chu, M. T., Shyu, J., Tzeng, G. H., & Khosla, R. (2007). Comparison among three analytical methods for knowledge communities group-decision analysis. *expert Systems with Applications, 57*, 445-454 .
- Cooper, D., & Chapman, C. (1987). Risk analysis for large projects. *New York: John Wiley and Sons* .
- Dey, P. K. (2001). Decision support system for risk management: a case study. *Management Decision, 39*, 634-649.
- Dikmen, I., Birgonul, M .T., & Han, S. (2007). Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. *International Journal of Project Management, 25*, 494-505 .
- Ebrahimnejad, S., Mousavi, S. M., & Ghorbanikia, A. (2007). Risk identification and assessment in Iran construction supply

chain. *In First International Risk Congress, Tehran. Iran*, 169-186 .

- Ebrahimnejad, S., Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Hashemi, H., & Vahdani, B. (2012). A novel two-phase group decision making approach for construction project selection in fuzzy environment. *Applied Mathematical Modelling, 36*, 4197-4217.
- Elkington, P., & Smallman, C. (2002). Managing project risk: a case study from the utilities sector. *International Journal of Project Management, 20*, 49-57.
- Fang, C., & Marle, F. (2012). A simulation-based risk network model for decision support in project risk management. *Decision Support Systems, 52*, 635-644.
- Forman, E., & Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European journal of operation research, 108*, 165-16 .۹
- Greco, S., Matarazzo, B., & Slowinski, R. (2001). Rough set theory for multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operation Research, 129*, 1-47 .
- Hillson, D. (2002). Extending thr risk process to manage opportunities. *International Journal of Project Management, 20*, 235-240 .
- Hillson, D. (2003). Using a risk breakdown structure in project management. *Journal of Facilities Management, 2*, 85-97.
- Huang, J. J., Tzeng, G. H., & Liu, H. H. (2009). A revised VIKOR model for multiple criteria decision making - the perspective of regret theory. *In: Shi, Y. et al (Eds.) Cutting-Edge Research Topics on Multiple Criteria Decision Making. Springer, Berlin Heidelberg*, 761-768 .
- Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., & Canteras-Jordana, J. C. (2014). A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. *Automation in Construction, 45*, 151-162.

- Kackar, R. N. (1985). Off-line quality control, parameter design and the Taguchi method. *Journal of Quality Technology, 17*, 176-188 .
- KarimiAzari ,A., Mousavi, N., Mousavi, S. F., & Hosseini, S. (2011). Risk assessment model selection in construction industry. *expert Systems with Applications, 38*, 9105-9111 .
- Laryea, S. (2008). Risk pricing practices in finance, insurance, and construction. *The construction and building research conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors, Dublin*.
- Liu, H., & Yan, T. (2007). Bidding-evaluation of construction projects based on VIKOR method. *International Conference on Automation and Logistics*, 1778-1782.
- Miller, R., & Lessard, D. (2001). Understanding and managing risks in large engineering projects. *International Journal of Project Management, 19*, 437-443.
- Mills, A. (2001 .(A systematic approach to risk management for construction. *Structural Survey, 19*, 245-252 .
- Mojtahedi, S. M. H., Mohammadi, S., Mousavi, S., & Makui, A. (2010). Project risk identification and assessment simultaneously using multi-attribute group decision making technique. *Safety Science, 48*, 499-507.
- Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management, 29*, 220-231 .
- Opricovic, S. (1998). Muliti-criteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade* .
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2002). Multicriteria planning of post earthquake sustainable reconstruction. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 17*, 211-220 .
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operation Research, 156*, 445-455 .

- Pawlak, Z. (1982). Rough Sets. *International Journal of Computing and Information Science, 11*, 341-356 .
- Pawlak, Z. (1991). Rough sets: Theoretical aspects of reasoning about data .*Dordrecht: Kluwer Academic Publishing* .
- Shang, H., Anumba, C. J., Bouchlaghem, D. M., Miles, J. C., Cen, M., & Taylor, M. (2005). An intelligent risk assessment system for distributed construction teams. *Engineering Construction and Architectural Management, 12*, 391-409.
- Song, W., Ming, X., & Xu, Z. (2013). Risk evaluation of customer integration in new product development under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering, 65*, 402-412
- Tah, J., & Carr, V. (2001). Knowledge-based approach to construction project risk management. *Journal of Computing in Civil Engineering, 15*, 170.
- Taroun, A. (2014). Toward a better modelling and assessment of construction risk:Insight from a literature review. *International Journal of Project Management, 32*, 101-115.
- Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M. S., & Kabli, M. R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP an fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing, 17*, 105-116.
- Terano, T., Asai, K., & Sugeno, M. (1992). Fuzzy systems theory and its application. *San Diego, CA: Academic Press*.
- Tuysuz, F., & Kahraman, c. (2006). Project risk evaluation using fuzzy analytic hierarchy Process: An application to information technology projects. *International Journal of Intelligent Systems, 21*, 559-584.
- Zeng, J., An, M., & Smith, N. J. (2007). Application of fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management, 25*, 589-600 .

- Zhai, L., Khoo, L., & Zhong, Z. (2008). A rough set enhanced fuzzy approach to quality function deployment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 37*, 613-624 .
- Zhang, G., & Zou, P. X. W. (2007). Fuzzy analytical hierarchy process risk assessment approach for joint venture construction projects in china. *Journal of Construction Engineering and Management, 133*, 771.
- Zhou, J., Wang, Y., & Li, B. (2012). Study on optimization of denitration technology based on Gray-Fuzzy combined comprehensive evaluation model. *Systems Engineering Procedia, 4*, 210-218.