

روش تصمیم گیری جدید بر مبنای شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی برای انتخاب پیمانکار در صنعت ساخت و ساز

حسین گیتی نورد*، سید میثم موسوی**، بهنام وحدانی***، حمید قادری****

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۵

چکیده

افزایش پیچیدگی در مسائل تصمیم گیری موجب شده است تا گروهی از خبرگان به جای استفاده از یک خبره برای ارزیابی مسائل انتخاب پیمانکار مورداستفاده قرار گیرد. بدین منظور، در این مقاله، یک روش جدید شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی بر مبنای ریسک نظرات خبرگان به منظور حل مسئله انتخاب پیمانکار پیشنهاد می شود. این در حالی است که بکارگیری مجموعه های فازی تردیدی به منظور مقابله با عدم قطعیتها در شرایط دارای ابهام استفاده می شود. وزن هر یک از تصمیم گیران به وسیله روش پیشنهادی برنامه ریزی توافقی محاسبه می شود. همچنین، روش پیشنهادی علاوه بر در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی کمی و کیفی، به خبرگان کمک می کند تا برای کاهش خطای ارزیابی، برای هر پیمانکار در مقابل هر معیار تحت یک مجموعه، چندین درجهی عضویت تعیین کنند. بعلاوه، نظرات تصمیم گیران در گام آخر از روش پیشنهادی ادغام می شوند تا از ریزش اطلاعات در فرآیند تصمیم گیری گروهی جلوگیری شود. در این روش، انتخاب بهترین پیمانکار به طور هم زمان، بر مبنای بیشترین نزدیکی به ایده آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده آل منفی در نظر گرفته می شود. در پایان، رویکرد پیشنهادی در یک مطالعه موردی برای انتخاب بهترین پیمانکار در صنعت ساخت و ساز اجرا شده است؛ با مقایسه نتایج به دست آمده با یک روش موجود در ادبیات، کارایی و اعتبار روش پیشنهادی بیان شده است.

واژگان کلیدی: مسئله انتخاب پیمانکار، تحلیل تصمیم گروهی، مجموعه ی فازی تردیدی، شاخص انتخاب ارجحیت، برنامه ریزی توافقی.

*دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده ی مهندسی صنایع و سیستم های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

**استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

***استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین،

ایران (نویسنده ی مسئول) b.vahdani@gmail.com

****کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

مقدمه

روش تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه خود را به عنوان یک تکنیک برای انتخاب بهترین جواب ممکن از بین تعدادی گزینه بالقوه و با در نظر گرفتن تاثیر معیارهای مختلف به اثبات رسانیده است. در عمل، این موضوع که یک جواب بایستی همه معیارهای متعارض را برآورده کند، اهمیت زیادی در مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه دارد. به همین خاطر بهینگی پارتو به منظور کاربرد در روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه معرفی گردید. در حقیقت، اگر یک گزینه یک امتیاز خوب را با توجه به یک معیار کسب کند، احتمال اینکه نسبت به معیارهای دیگر امتیاز خوب به دست آورد، پایین است. گزینه‌ها نسبت به معیارهای مختلفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که ممکن نیست ثابت باشند. بنابراین، ممکن است یک جواب بهینه پارتو بکار برده شود (چانگ^۱، ۲۰۱۰).

افزایش پیچیدگی در سیستم‌های پشتیبان تصمیم باعث شده است تا متخصصین از مزیت گروهی از تصمیم‌گیران یا کارشناسان برای تحلیل همه جنبه‌های مربوط به مسائل تصمیم‌گیری استفاده کنند. در دهه اخیر، تمرکز بر روی مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه گروهی به منظور کسب نتایج قابل اتکا، به وسیله ارزیابی گروهی از تصمیم‌گیرندگان به جای یک تصمیم‌گیرنده انجام گرفته است. در این رابطه، در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه گروهی تلاش می‌شود تا از تکنیک‌هایی استفاده شود که یک جواب جمعی اشتراکی را در موقعیتی که گروهی از کارشناسان عقاید خود را در مورد اولویت‌هایشان بیان می‌کنند، ارائه می‌دهند (فو و یانگ^۲، ۲۰۱۰؛ فو و یانگ^۳، ۲۰۱۱). به منظور یافتن یک جواب جمعی، معمولاً ارائه و ترکیب دیدگاه‌های کارشناسان مورد نیاز است.

روش تصمیم‌گیری گروهی بر مبنای روابط ارجحیت فازی توسط پژوهشگران مختلفی ارائه شده است. تانیو^۳ (۱۹۸۴) استفاده از رتبه‌بندی فازی را برای تصمیم‌گیری گروهی اثبات

1-Chang

2- Fu and Yang

3- Tanino

کرد. کاسپرزیک^۱ و همکاران (۱۹۹۲) با یکی کردن ارجحیت‌های فازی یک مدل تصمیم‌گیری گروهی را تشکیل دادند. هررا^۲ و همکاران (۲۰۰۲) یک مدل توافقی برای تصمیم‌گیری گروهی با ساختارهای ارجحیت مختلف ارائه دادند. خو^۳ (۲۰۰۴) عملیات‌های ادغام زبانی را به همراه روابط ارجحیت زبانی برای ارائه یک روش تصمیم‌گیری گروهی به کار برد. هررا و همکاران (۲۰۰۵) یک مدل پشتیبان سیستم توافقی ارائه کردند که در آن روابط ارجحیت زبانی چندگانه مورد استفاده قرار گرفت. خو (۲۰۰۷) در این روش کاربرد تصمیم‌گیری گروهی با معیارهای چندگانه به همراه قالب‌های مختلف اطلاعات برای ارجحیت ویژگی‌ها نشان داد. خو (۲۰۰۸) همچنین با کاربرد روی انواع چندگانه روابط ارجحیت زبانی یک روش تصمیم‌گیری گروهی ارائه کرد. ماتا و همکاران^۴ (۲۰۰۹) به منظور تصمیم‌گیری گروهی با متغیرهای زبانی فازی چندگانه، یک مدل پشتیبان سیستم انطباقی ارائه کردند. چیکلانا^۵ و همکاران (۲۰۰۹) بر روی سازگاری کاردینال روابط ارجحیت معکوس، به منظور ارائه یک روش تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه گروهی مطالعه کردند. پرز^۶ و همکاران (۲۰۱۰) یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری تغییرپذیر را برای تصمیم‌گیری گروهی پویا در نظر گرفتند. چن و نیو^۷ (۲۰۱۱) بر روی روابط ارجحیت فازی به منظور ارائه یک روش تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه گروهی فازی تمرکز کردند. همچنین کانان و همکاران^۸ (۲۰۱۴) یک روش اصلاح شده تصمیم‌گیری چند معیاره بر مبنای نزدیک به ایده آل مثبت و دور از ایده آل منفی تحت اعداد فازی مثلثی ارائه دادند. جونیور^۹ و همکاران (۲۰۱۴) نیز روش‌های تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی را بر مبنای مجموعه‌های فازی توسعه دادند و سپس نتایج

1- Kacprzyk

2- Herrera

3- Xu

4- Mata

5- Chiclana

6- Pérez

7- Chen and Niou

8- Kannan

9- Junior

حاصل از هر دو روش را با یکدیگر مورد مقایسه قرار دادند. نازم^۱ و همکاران (۲۰۱۵) با ارائه‌ی یک چارچوب تصمیم‌گیری چند معیاره بر مبنای ترکیب روش‌های تاپسیس فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به ارزیابی ریسک در زنجیره‌ی تامین سبز پرداختند. به دلیل وجود مقدارهای نامشخص یا ناقص در روابط ارجحیت، روش‌های متعددی به‌منظور محاسبه مقدارهای ناقص یا نامشخص در روابط ارجحیت فازی توسعه داده شده است. خو (۲۰۰۴) بر روی روابط ارجحیت فازی ناکامل سازگار جمعی و همچنین روابط ارجحیت فازی ناکامل سازگار افزایشی تمرکز کرد تا اولویت‌های چندین رابطه ارجحیت فازی ناکامل را برای توسعه دو مدل برنامه‌ریزی به دست آورد. آلونسو^۲ و همکاران (۲۰۰۸) به‌منظور محاسبه مقادیر ارجحیت، مقایسات زوجی نامعلوم یک روش بر مبنای سازگاری معرفی کردند. آلونسو و همکاران (۲۰۱۰) استراتژی‌های اجتماعی و فردی را برای پرداختن به موقعیت‌های دارای کمبود اطلاعات در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه یکی کردند. به‌علاوه، آنها برای اثبات کارایی روش پیشنهادی خود یک مثال توسعه روابط همکاری نیز ارائه کردند. جنک^۳ و همکاران (۲۰۱۰) برای اثبات سازگاری رابطه ارجحیت فازی تردیدی و نتیجه گرفتن اولویت از یک رابطه ارجحیت فازی بازه‌ای سازگار یک روش معرفی کردند. ونگ و چن^۴ (۲۰۱۰) برای قادر ساختن تصمیم‌گیران به اقدام در محیط‌های نادقیق و مبهم، روابط ارجحیت زبانی فازی ناکامل را ارائه کردند. بویوکوزکان و سیفسی^۵ (۲۰۱۲) از تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه گروهی بر پایه منطق فازی برای بکارگیری تابع کیفیت با روابط ارجحیت ناکامل استفاده کردند.

در دهه اخیر، چندین مطالعه به‌منظور تکنیک‌های پیشنهادی راه‌حل توافقی برای مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه گروهی در محیط‌های فازی انجام شده است. به‌عنوان

1- Nazam

2- Alonso

3- Genç

4- Wang and Chen

5- Büyüközkan and Çifçi

نمونه، چن^۱ (۲۰۰۰) بر روی روش تاپسیس به منظور تصمیم‌گیری گروهی تحت عدم قطعیت فازی تمرکز کرد. چن و همکاران (۲۰۰۶) یک روش بر مبنای رویکرد فازی بر روی مفهوم تاپسیس برای ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده در مدیریت زنجیره تامین پیشنهاد کردند. در روش آنها، رتبه‌ها و وزن‌ها برای معیارهای اصلی به وسیله متغیرهای زبانی بیان شده‌اند و سپس به اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای تبدیل شده‌اند. همچنین، وحدانی^۲ و همکاران (۲۰۱۱) مسائل تصمیم‌گیری تولید در زمینه‌های انتخاب روبات و انتخاب فرایند نمونه‌سازی سریع را با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری گروهی بر مبنای روش تاپسیس اصلاح شده فازی مورد مطالعه قرار دادند. ابراهیم‌نژاد^۳ و همکاران (۲۰۱۲) یک رویکرد بر پایه روش تاپسیس فازی توسعه دادند تا ریسک‌های بالا را در پروژه‌های بزرگ رتبه‌بندی کنند. بدین منظور، ارزیابی گزینه‌ها و وزن معیارها به وسیله اصطلاحات زبانی بیان شده است که سپس به اعداد فازی مثلثی تبدیل شده‌اند.

یکی از تئوری‌های مناسبی که اخیراً مورد توجه بسیاری قرار گرفته است، مجموعه‌های فازی تردیدی^۴ می‌باشد. این تئوری برای اولین بار توسط توررا و ناروکاوا^۵ (۲۰۰۹) و توررا (۲۰۱۰) معرفی شد. این تئوری به طور مناسبی به موقعیت‌های تردیدی در حل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه تحت عدم قطعیت می‌پردازد. بعلاوه، وی^۶ (۲۰۱۲) تعدادی مدل برای مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه فازی تردیدی توسعه داد که در آن سطوح مختلف برای توصیف ویژگی‌ها به وسیله توسعه و بکارگیری تعدادی عملگر ادغام اولویت‌بندی شده، مورد استفاده قرار گرفتند. ژانگ^۷ و همکاران (۲۰۱۴) تعدادی عملگر ادغام برای مجموعه‌های فازی تردیدی و مجموعه‌های فازی تردیدی بازه‌ای پیشنهاد کردند و ویژگی‌های مختلف

1- Chen

2- Vahdani

3- Ebrahimnejad

4- Hesitant Fuzzy sets

5- Torra and Narukawa

6- Wei

7- Zhang

آن‌ها را ارائه دادند. این عملگرها برای حل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه گروهی مورد استفاده قرار گرفت.

از مطالب بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که مجموعه‌های فازی تردیدی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای نمایش عدم قطعیت اطلاعات در موقعیت‌های تردیدی بکار گرفته می‌شود؛ این امر به طور گسترده مورد توجه محققین قرار گرفته است. بنابراین تعدادی از محققین کاربرد مجموعه‌های فازی تردیدی را در مسائل تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار داده‌اند. ژانگ و وی^۱ (۲۰۱۳) تکنیک ویکور و تاپسیس را تحت مجموعه‌های فازی تردیدی، برای حل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه توسعه دادند. سپس به‌وسیله‌ی یک مثال کاربردی نتایج روش‌های پیشنهادی را مورد مقایسه قرار دادند. خو و ژانگ^۲ (۲۰۱۳) روش تاپسیس را برای حل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه توسعه دادند که در آن اطلاعات مربوط به یک عنصر را به‌صورت عناصر فازی تردیدی و اطلاعات مربوط به وزن معیارها را به‌صورت ناقص در نظر گرفتند. لیاو و خو^۳ (۲۰۱۳) یک روش ویکور را به‌وسیله به کارگیری شاخص فاصله منهنز نرمال شده فازی تردیدی^۴ در فرآیند روش رتبه‌بندی معرفی کردند.

در این مقاله، یک روش جدید شاخص انتخاب ارجحیت بر پایه روش مانیا و بهات^۵ (۲۰۱۰) با مجموعه‌های فازی تردیدی ارائه می‌شود. در این روش، لازم نیست که اهمیت مربوط به هر معیار مشخص گردد، بنابراین، مقدار ارجحیت کلی هر معیار به‌وسیله مفهوم آمار ارزیابی می‌شود. با وجود این روش، شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی جدید به همراه ارجحیت ریسک تصمیم‌گیرندگان برای حل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه معرفی می‌شود. روش پیشنهادی، مشکلات تصمیم‌گیران را در تعیین درجه‌ی عضویت یک عنصر تحت یک مجموعه در مقابل معیارهای مختلف، حل می‌کند. به‌علاوه برای نشان دادن جزئیات روش

1- Zhang and Wei

2- Xu and Zhang

3- Liao and Xu

4- Normalized hesitant fuzzy Manhattan distance

5- Maniya and Bhatt

انتخاب شاخص ارجحیت فازی تردیدی، یک مطالعه‌ی موردی در زمینه مسئله انتخاب پیمانکار ارائه گردیده است.

با توجه به مرور ادبیات انجام شده، نوآوری‌ها و ویژگی‌هایی که در ادامه به آنها اشاره می‌شود، نویسندگان را بر آن داشت تا یک روش جدید ارائه نمایند و شکاف تحقیقاتی موجود در ادبیات موضوع پوشش داده شود:

- در نظر گرفتن چندین درجه‌ی عضویت برای هر گزینه تحت هر معیار با توجه به مفهوم تئوری مجموعه‌ی فازی تردیدی در محیط تصمیم‌گیری گروهی؛
- ارائه‌ی روش پیشنهادی راه‌حل توافقی فازی تردیدی به منظور محاسبه‌ی وزن (درجه اهمیت) هر یک از تصمیم‌گیران؛
- در نظر گرفتن ریسک هر یک از تصمیم‌گیران به منظور اعمال دقیق‌تر نظرات تصمیم‌گیران؛
- بکارگیری رویکرد ادغام نهایی در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی به منظور جلوگیری از ریزش اطلاعات تحت شرایط عدم قطعیت؛

ساختار مقاله صورت زیر خواهد بود؛ تعاریف و روابط مجموعه‌های فازی تردیدی، در بخش ۲ معرفی می‌گردند. روش پیشنهادی شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی در بخش ۳ ارائه می‌گردد. در بخش ۴، روش پیشنهادی در یک مطالعه‌ی موردی اجرا می‌شود و نتایج مربوطه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت در بخش ۵، نتایج حاصل از تحقیق ارائه می‌گردند.

تعاریف

در این بخش، یک مرور مختصر روی مجموعه فازی تردیدی ارائه شده است. بنابراین، مفاهیم و روابط مجموعه‌های فازی تردیدی به صورت زیر بیان می‌گردد:

تعریف ۱ (خیا و خو، ۲۰۱۱). متغیر X را به عنوان مجموعه جهانی در نظر بگیرید، سپس مجموعه فازی تردیدی E روی X به وسیله تابع $h_E(x)$ نشان داده می شود که متغیر x را به عددی در بازه $[0, 1]$ تبدیل می کند.

$$E = \{ \langle x, h_E(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (1)$$

در این رابطه $h_E(x)$ به مجموعه درجه عضویت ها برای عناصر در بازه $[0, 1]$ دلالت می کند و نشان دهنده تبدیل درجه عضویت عناصر از $x \in X$ به E می باشد.

تعریف ۲ (تورا، ۲۰۱۰؛ تورا و ناروکاوا، ۲۰۰۹). تعدادی از روابط پایه ای به صورت زیر تعریف می شوند:

$$h^-(x) = \min h(x) \quad (2)$$

$$h^+(x) = \max h(x) \quad (3)$$

$$h^c(x) = \bigcup_{\gamma \in h(x)} \{1 - \gamma\} \quad (4)$$

$$h_1 \cup h_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \max \{ \gamma_1, \gamma_2 \} \quad (5)$$

$$h_1 \cap h_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \min \{ \gamma_1, \gamma_2 \} \quad (6)$$

که در روابط بالا h بیانگر مجموعه ی فازی تردیدی و γ برابر با عناصر موجود در مجموعه ی فازی مربوطه است.

تعریف ۳ (خیا و خو، ۲۰۱۱). تعدادی از عملیات ها در مورد رابطه بین مجموعه های فازی شهودی و عناصر فازی تردیدی به صورت زیر تعریف می گردند:

$$h_1 \oplus h_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{ \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \cdot \gamma_2 \} \quad (7)$$

$$h_1 \otimes h_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{ \gamma_1 \cdot \gamma_2 \} \quad (8)$$

$$h^\lambda = \bigcup_{\gamma \in h} \{ \gamma^\lambda \} \quad (9)$$

$$\lambda h = \bigcup_{\gamma \in h} \{ 1 - (1 - \gamma)^\lambda \} \quad (10)$$

تعریف ۴ (لیائو و خو، ۲۰۱۳). براساس رابطه بین مجموعه‌های فازی شهودی و مجموعه فازی تردیدی رابطه‌های تفریق و تقسیم برای مجموعه‌های فازی تردیدی به صورت زیر نشان داده می‌شوند:

$$h_1 - h_2 = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{1 - \gamma_2} & \text{if } \gamma_1 \geq \gamma_2 \text{ and } \gamma_2 \neq 1; \\ 0 & \text{otherwise} \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \left\{ \begin{array}{ll} \frac{\gamma_1}{\gamma_2} & \text{if } \gamma_1 \leq \gamma_2 \text{ and } \gamma_2 \neq 0; \\ 1 & \text{otherwise} \end{array} \right\} \quad (12)$$

تعریف ۵ (خیا و خو، ۲۰۱۱). در نظر بگیرید h_M و h_N دو مجموعه فازی تردیدی باشند، رابطه عمومی فاصله ($d_{gh}(h_M, h_N)$) به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$d_{gh}(h_M, h_N) = \left(\frac{1}{l_{x_i}} \sum_{j=1}^{l_{x_i}} |h_M^{\sigma(j)}(x_i) - h_N^{\sigma(j)}(x_i)|^\lambda \right)^{\frac{1}{\lambda}} \quad (13)$$

در این رابطه $h_M^{\sigma(j)}$ و $h_N^{\sigma(j)}$ به ترتیب j امین عدد بزرگ در h_M و h_N هستند. همچنین اگر $\lambda = 1$ در نظر گرفته شود، مقیاس فاصله همینگ به دست می‌آید؛ اگر $\lambda = 2$ در نظر گرفته شود آنگاه مقیاس فاصله اقلیدسی می‌شود.

تعریف ۶ (خیا و خو، ۲۰۱۱). در مجموعه‌های فازی تردیدی عملگر عمومی میانگین وزنی فازی تردیدی ($GHFA_\lambda(h_1, h_2, \dots, h_n)$) به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$GHFA_\lambda(h_1, h_2, \dots, h_n) = \bigoplus_{j=1}^n (h_j^\lambda) = \cup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2, \dots, \gamma_n \in h_n} \left\{ \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - \gamma_j^\lambda) \right)^{\frac{1}{\lambda}} \right\} \quad (14)$$

که در آن اگر $\lambda = 1$ میانگین فازی تردیدی به دست خواهد آمد.

تعریف ۷ (ژوو^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). ماتریس تصمیم فازی تردیدی $H = (h_{ij})_{m \times n}$ در نظر بگیرید؛ سپس ماتریس تصمیم فازی تردیدی نرمال شده $(B = (b_{ij})_{m \times n})$ به صورت زیر به دست می آید:

$$b_{ij} = \cup_{t_{ij} \in b_{ij}} = \begin{cases} \{\gamma_{ij}\} & \text{for positive criteria} \\ \{1 - \gamma_{ij}\} & \text{for negative criteria} \end{cases} \quad \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (15)$$

روش پیشنهادی انتخاب شاخص ارجحیت فازی تردیدی

گام ۱. تشکیل گروه تصمیم گیرندگان $(k=1, 2, \dots, K)$ ؛ این کارشناسان m گزینه A_i ($i=1, 2, \dots, m$) را توسط n معیار C_j ($j=1, 2, \dots, n$) که از نوع سود یا هزینه هستند مورد ارزیابی قرار می دهند.

گام ۲. ماتریس تصمیم فازی تردیدی با توجه به نظرات تصمیم گیرندگان تشکیل می شود.

گام ۳. ماتریس تصمیم فازی تردیدی نرمال شده برای هر تصمیم گیرنده (F_k) براساس تعریف ۷ تشکیل می شود.

$$F_k = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \{\mu_{11}^1, \mu_{11}^2, \dots, \mu_{11}^k\} \\ \vdots \\ \{\mu_{m1}^1, \mu_{m1}^2, \dots, \mu_{m1}^k\} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} \{\mu_{1n}^1, \mu_{1n}^2, \dots, \mu_{1n}^k\} \\ \vdots \\ \{\mu_{mn}^1, \mu_{mn}^2, \dots, \mu_{mn}^k\} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \forall k \quad (16)$$

لازم به ذکر است که μ_{mn}^k به معنی درجه عضویت فازی تردیدی است که تصمیم گیرنده k برای ارزیابی گزینه m تحت معیار n بیان می کند.

گام ۴. وزن تصمیم‌گیرنده به وسیله‌ی در نظر گرفتن روش پیشنهادی راه‌حل توافقی فازی تردیدی مشخص می‌شود.

مرحله ۱,۴. ماتریس تصمیم فازی تردیدی نرمال شده در گام ۳ در نظر گرفته می‌شود.

مرحله ۲,۴. ماتریس راه‌حل ایده آل مثبت (δ^*) و منفی (δ^-) فازی تردیدی به صورت زیر مشخص می‌شوند:

$$\delta^* = [\mu_{ij}^*]_{m \times n} = \frac{1}{K} \left[\sum_{k=1}^K \mu_{ij}^k \right]_{m \times n} \quad (17)$$

$$\delta^- = [\mu_{ij}^-]_{m \times n} = \left[\min_k \left\{ \mu_{ij}^k \right\} \right]_{m \times n} \quad (18)$$

مرحله ۳,۴. میزان فاصله برای هر ماتریس تصمیم فازی تردیدی از ایده آل مثبت (τ_k^*) و منفی (τ_k^-) فازی تردیدی را به وسیله فاصله اقلیدسی فازی تردیدی محاسبه کنید. در این رابطه، فاصله اقلیدسی فازی تردیدی به یک رابطه فاصله اقلیدسی فازی تردیدی به صورت زیر توسعه داده می‌شود:

$$\tau_k^* = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{\lambda=1}^{l_{ij}} \left(\left| \mu_{ij}^{\sigma(\lambda)}(x_i) - \delta_{ij}^{*\sigma(\lambda)}(x_i) \right|^2 \right)} \quad \forall k \quad (19)$$

$$\tau_k^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{\lambda=1}^{l_{ij}} \left(\left| \mu_{ij}^{\sigma(\lambda)}(x_i) - \delta_{ij}^{-\sigma(\lambda)}(x_i) \right|^2 \right)} \quad \forall k \quad (20)$$

مرحله ۴,۴. وزن تصمیم‌گیرندگان بر اساس ضریب نزدیکی نسبی (β_k) به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\beta_k = \frac{\tau_k^-}{\left(\tau_k^- + \tau_k^* \right) \sum_{k=1}^K \frac{\tau_k^-}{\tau_k^- + \tau_k^*}} \quad \forall k \quad (21)$$

گام ۵. مقدار ارجحیت فازی تردیدی (ψ_j^k) با بکارگیری رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$\psi_j^k = 1 - \prod_{i=1}^m \left(1 - \left(\frac{R_{ij}^k - \bar{R}_j^k}{1 - \bar{R}_j^k} \right)^2 \right) \quad \forall j, k \quad (22)$$

که در آن میانگین نرمال شده فازی تردیدی برای هر معیار \bar{R}_j^k است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{R}_j^k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_{ij}^k \quad \forall j, k \quad (23)$$

گام ۶. مقدار ارجحیت کلی فازی تردیدی (α_j^k) برای هر تصمیم گیرنده با در نظر گرفتن انحراف در مقدار ارجحیت فازی تردیدی به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$\alpha_j^k = \frac{1 - \psi_j^k}{n - \sum_{j=1}^n \psi_j^k} \quad \forall j, k \quad (24)$$

مجموع مقدار ارجحیت کلی فازی تردیدی باید برابر یک باشد، $\sum_{j=1}^n \alpha_j^k = 1 \quad \forall k$

گام ۷. مقدار شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی (\mathfrak{S}_i^k) برای هر تصمیم گیرنده به وسیله رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$\mathfrak{S}_i^k = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - R_{ij}^k \alpha_j^k) \quad (25)$$

گام ۸. شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی نهایی (\wp_i) براساس تعریف ۶ به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$\wp_i(\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \dots, \tilde{h}_k) = \left(\bigoplus_{k=1}^K (\beta_k \tilde{h}_k) \right) = \cup_{\tilde{\gamma}_1 \in \tilde{h}_1, \tilde{\gamma}_2 \in \tilde{h}_2, \dots, \tilde{\gamma}_k \in \tilde{h}_k} \left\{ 1 - \prod_{k=1}^K \left(\prod_{j=1}^n (1 - R_{ij}^k \alpha_j^k) \right)^{\beta_k} \right\} \quad (26)$$

گام ۹. گزینه‌های کاندید بر اساس حداکثر مقداری که برای شاخص انتخاب ارجحیت فازی آن‌ها به دست آمده، رتبه بندی می‌شوند.

مطالعه‌ی کاربردی در زمینه‌ی انتخاب پیمانکار در صنعت ساخت‌وساز

به منظور توضیح روش پیشنهادی انتخاب شاخص ارجحیت فازی تردیدی، یک مطالعه‌ی موردی که توسط وحدانی و همکاران (۲۰۱۳) برای انتخاب بهترین پیمانکار در صنعت ساخت‌وساز ارائه گردیده است، مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که روش پیشنهادی ارائه شده با استفاده از نرم‌افزار متلب کدنویسی شده است. در این رابطه، سه تصمیم‌گیرنده برای انتخاب مناسب‌ترین پیمانکار در نظر گرفته شده‌اند. همچنین ریسک ارجحیت هر تصمیم‌گیرنده متفاوت است و به این صورت است که تصمیم‌گیرنده اول بدین، تصمیم‌گیرنده دوم میانه‌رو و تصمیم‌گیرنده سوم خوش‌بین در نظر گرفته شده‌اند. در مسئله انتخاب پیمانکار، سه پیمانکار کاندید تحت ۱۵ معیار متعارض ارزیابی می‌شوند (گام ۱). این معیارها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. این معیارها بر اساس مطالعه جامع انجام شده بر اساس ادبیات موضوع بوده است که در تحقیق وحدانی و همکاران (۲۰۱۳) گردآوری شده است. به علاوه جدول ۲، متغیرهای زبانی برای حالات بدبینانه، میانه‌رو و خوش‌بینانه را نشان می‌دهد (وحدانی و همکاران، ۲۰۱۳)؛ این جدول مقادیر مجموعه‌های فازی تردیدی را برای هر کدام از این متغیرهای زبانی نشان می‌دهد. در این رابطه ماتریس تصمیم فازی تردیدی به صورت متغیرهای زبانی و به وسیله ارزیابی‌های تصمیم‌گیرندگان تشکیل می‌شود که در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود؛ یک گروه از تصمیم‌گیران که شامل سه عضو می‌باشد، تشکیل شده است و پیمانکاران کاندید را تحت معیارهای مختلف با استفاده از متغیرهای زبانی مورد ارزیابی قرار داده‌اند. سپس ماتریس تصمیم فازی تردیدی نرمال شده با توجه به عناصر فازی تردیدی (گام‌های ۲ و ۳) به دست می‌آید.

جدول ۱. معرفی معیارهای ارزیابی

معیارها	توصیف	معیارها	توصیف
C_1	صورت‌های مالی	C_1	قیمت مناقصه
C_2	شکست در تکمیل قرارداد	C_2	منابع مالی
C_3	تأخیر	C_3	افزایش هزینه‌ها
C_4	کیفیت	C_4	مقیاس
C_5	نوع	C_5	تجربه
C_6	منابع فیزیکی	C_6	منابع انسانی
C_7	حجم کار فعلی	C_7	رابطه با مشتریان گذشته
C_8	ایمنی		

جدول ۲. متغیرهای زبانی تردیدی برای سنجش گزینه‌های ممکن

ریسک‌پذیری تصمیم‌گیران				
خوش‌بینانه	میان‌رو	بدبینانه	مجموعه‌ی فازی تردیدی بازه‌ای	متغیر زبانی تردیدی
۹۰.۰	۹۰.۰	۹۰.۰	$[90.0, 90.0]$	خیلی خیلی خوب (VVG)
۹۰.۰	۸۵.۰	۸۰.۰	$[90.0, 80.0]$	خیلی خوب (VG)
۸۰.۰	۷۵.۰	۷۰.۰	$[80.0, 70.0]$	خوب (G)
۷۰.۰	۶۵.۰	۶۰.۰	$[70.0, 60.0]$	نسبتاً خوب (MG)
۶۰.۰	۵۵.۰	۵۰.۰	$[60.0, 50.0]$	متوسط (F)
۵۰.۰	۴۵.۰	۴۰.۰	$[50.0, 40.0]$	نسبتاً ضعیف (MP)
۴۰.۰	۳۲۵.۰	۲۵.۰	$[40.0, 25.0]$	ضعیف (P)
۲۵.۰	۱۷۵.۰	۱۰.۰	$[25.0, 10.0]$	خیلی ضعیف (VP)
۱۰.۰	۱۰.۰	۱۰.۰	$[10.0, 10.0]$	خیلی خیلی ضعیف (VVP)

جدول ۳. متغیرهای زبانی تردیدی برای تشکیل ماتریس تصمیم فازی تردیدی

معیارها	پیمانکاران	تصمیم‌گیران		
		DM_1	DM_2	DM_3
C_1	A_1	G	MG	G
	A_2	MG	F	F
	A_3	F	MG	F
C_2	A_1	MG	MG	MG
	A_2	F	F	MP
	A_3	MP	F	F
C_3	A_1	G	MG	G
	A_2	G	F	F
	A_3	F	MG	F
C_4	A_1	G	G	MG
	A_2	MG	F	MG
	A_3	F	F	F
C_5	A_1	MG	MG	F
	A_2	MP	MP	P
	A_3	P	P	P
C_6	A_1	MP	MP	P
	A_2	P	MP	MP
	A_3	P	P	P
C_7	A_1	MG	F	MG
	A_2	F	MG	MG
	A_3	MP	F	F
C_8	A_1	VG	VG	G
	A_2	G	G	F
	A_3	F	F	G
C_9	A_1	F	MP	MP
	A_2	MP	P	MP
	A_3	F	F	P
C_{10}	A_1	MP	MP	P

	A	MP	P	P
	A	VP	MP	VP
C_{11}	A	G	G	MG
	A	F	F	MG
	A	MG	F	F
C_{12}	A	MG	MG	MG
	A	MP	F	F
	A	F	MP	F
C_{13}	A	MG	F	MG
	A	F	MG	F
	A	MP	MG	MG
C_{14}	A	VG	G	VG
	A	G	MG	G
	A	MG	MG	G
C_{15}	A	MG	F	MG
	A	F	MG	F
	A	MP	MP	MG

وزن هر تصمیم گیرنده به وسیله روش راه حل توافقی فازی تردیدی محاسبه می شود که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. این جدول میزان فاصله برای عناصر ماتریس تصمیم فازی تردیدی از ایده آل مثبت (τ_k^*) و منفی (τ_k^-) فازی تردیدی را نشان می دهد که به وسیله فاصله اقلیدسی فازی تردیدی محاسبه شده است. همچنین جدول ۵، نتایج محاسباتی مقدار ارجحیت فازی تردیدی را با توجه به میانگین مقدار نرمال شده فازی تردیدی برای هر معیار (گام ۵) نشان می دهد؛ این محاسبات براساس نظر هر کدام از تصمیم گیران، جداگانه انجام می گیرد تا مانع از ریزش اطلاعات در فرآیند تصمیم گیری گروهی شود. از طرفی، مقدار ارجحیت کلی فازی تردیدی با در نظر گرفتن انحراف در مقدار ارجحیت فازی تردیدی (گام ۶) محاسبه می شود که نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است. سپس شاخص های انتخاب ارجحیت فازی تردیدی با توجه به هر تصمیم گیرنده برای هر گزینه بالقوه محاسبه می شود

(گام ۷). از طرفی، شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی برای هر تصمیم‌گیرنده و همچنین شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی نهایی محاسبه شده است (گام ۸)؛ نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است. سرانجام، همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، یک راه‌حل توافقی برای تصدیق و معتبر سازی رویکرد پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است. روش انتخاب شاخص ارجحیت فازی تردیدی اولین گزینه را به‌عنوان مناسب‌ترین پیمانکار در میان دیگر گزینه‌ها انتخاب کرده است؛ همچنین، مسئله‌ی مورد نظر به وسیله یک راه‌حل توافقی که توسط وحدانی و همکاران (۲۰۱۳) پیشنهاد شد و روش تاپسیس ارائه شده توسط ژانگ و وی (۲۰۱۳) حل گردید و نتایج یکسانی را در مقایسه با رویکرد پیشنهادی نشان داد.

جدول ۴. نتایج محاسباتی برای تعیین وزن تصمیم‌گیرندگان

DM_k	τ_k^*	τ_k^-	β_k
$1k=$	۴۸۹۶۱۴.۰	۲۸۹۳۹۶.۰	۲۲۱۳۸۴.۰
$۲k=$	۳۸۵۸۶۱.۰	۷۰۶۲۲۲.۰	۳۸۵۳۷۵.۰
$۳k=$	۵۰۴۷۰۰.۰	۹۷۹۱۵۸.۰	۳۹۳۲۴۱.۰

جدول ۵. تعیین مقدار ارجحیت فازی تردیدی با توجه به مقدار میانگین مقدار نرمال شده معیار

معیارها	\bar{R}_j^k			ψ_j^k		
	$1k=$	$۲k=$	$۳k=$	$1k=$	$۲k=$	$۳k=$
$۱C$	۶۰۰.۰	۶۱۶.۰	۶۶۶.۰	۲۹۸.۰	۱۲۱.۰	۳۵۴.۰
$۲C$	۵۰۰.۰	۵۸۳.۰	۶۰۰.۰	۲۵۳.۰	۱۰۹.۰	۱۲۱.۰
$۳C$	۶۳۳.۰	۶۱۶.۰	۶۶۶.۰	۴۱۶.۰	۱۲۱.۰	۳۵۴.۰
$۴C$	۶۰۰.۰	۶۱۶.۰	۶۶۶.۰	۲۹۸.۰	۲۹۵.۰	۲۱۵.۰
$۵C$	۴۱۶.۰	۴۷۵.۰	۴۶۶.۰	۳۶۶.۰	۳۶۶.۰	۱۹۲.۰
$۶C$	۳۰۰.۰	۴۰۸.۰	۴۳۳.۰	۱۳۶.۰	۱۴۹.۰	۰۷۵.۰
$۷C$	۵۰۰.۰	۵۸۳.۰	۶۶۶.۰	۲۵۳.۰	۱۰۹.۰	۲۱۵.۰
$۸C$	۶۶۶.۰	۷۱۶.۰	۷۳۳.۰	۵۸۱.۰	۶۸۳.۰	۴۷۲.۰
$۹C$	۴۶۶.۰	۴۴۱.۰	۴۶۶.۰	۰۷۱.۰	۲۲۹.۰	۱۳۱.۰
$۱۰C$	۳۰۰.۰	۴۰۸.۰	۳۵۰.۰	۳۰۰.۰	۰۹۳.۰	۱۶۳.۰

$_{11}C$	۶۰۰.۰	۶۱۶.۰	۶۶۶.۰	۱۴۲.۰	۲۹۵.۰	۲۱۵.۰
$_{12}C$	۵۰۰.۰	۵۵۰.۰	۶۳۳.۰	۱۲۶.۰	۲۶۰.۰	۱۲۸.۰
$_{13}C$	۵۰۰.۰	۶۱۶.۰	۶۶۶.۰	۲۷۳.۰	۱۲۱.۰	۱۴۴.۰
$_{14}C$	۷۰۰.۰	۶۸۳.۰	۸۳۳.۰	۴۰۹.۰	۱۵۴.۰	۳۵۴.۰
$_{15}C$	۵۰۰.۰	۵۵۰.۰	۶۶۶.۰	۲۳۹.۰	۲۶۰.۰	۱۴۴.۰

جدول ۶. محاسبه مقدار ارجحیت کلی فازی تردیدی

معیارها	α_j^k		
	$1k=$	$2k=$	$3k=$
$1C$	۰.۶۴۷۹۸.۰	۰.۷۵۵۷۲.۰	۰.۵۵۰۷۷.۰
$2C$	۰.۶۸۹۳۰.۰	۰.۷۶۶۰۲.۰	۰.۷۵۰۳۶.۰
$3C$	۰.۵۳۸۷۱.۰	۰.۷۵۵۷۲.۰	۰.۵۵۰۷۷.۰
$4C$	۰.۶۴۷۹۸.۰	۰.۶۰۵۶۰.۰	۰.۶۶۹۴۰.۰
$5C$	۰.۵۸۹۴۵.۰	۰.۵۴۴۸۰.۰	۰.۶۸۹۳۹.۰
$6C$	۰.۷۹۶۷۸.۰	۰.۷۳۱۵۷.۰	۰.۷۸۹۶۶.۰
$7C$	۰.۶۸۹۳۰.۰	۰.۷۶۶۰۲.۰	۰.۶۶۹۴۰.۰
$8C$	۰.۳۸۶۷۶.۰	۰.۲۷۱۸۸.۰	۰.۴۵۰۲۲.۰
$9C$	۰.۸۵۶۸۳.۰	۰.۶۶۲۷۳.۰	۰.۷۴۱۲۰.۰
$10C$	۰.۶۴۵۸۶.۰	۰.۷۷۹۷۰.۰	۰.۷۱۳۸۷.۰
$11C$	۰.۷۹۱۸۵.۰	۰.۶۰۵۶۰.۰	۰.۶۶۹۴۰.۰
$12C$	۰.۸۰۶۴۹.۰	۰.۶۳۵۸۶.۰	۰.۷۴۴۲۷.۰
$13C$	۰.۶۷۰۴۰.۰	۰.۷۵۵۷۲.۰	۰.۷۳۰۲۶.۰
$14C$	۰.۵۴۵۳۸.۰	۰.۷۲۷۲۳.۰	۰.۵۵۰۷۷.۰
$15C$	۰.۷۰۱۹۱.۰	۰.۶۳۵۸۶.۰	۰.۷۳۰۲۶.۰

جدول ۷. تعیین شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی

$i \backslash k$	\mathcal{S}_i^1	\mathcal{S}_i^2	\mathcal{S}_i^3	ρ_i
$1A$	۴۶۲۳۵۱.۰	۴۶۳۷۰۶.۰	۴۹۰۸۹۲.۰	۴۷۲۴۸۲.۰
$2A$	۳۹۴۷۴۲.۰	۴۲۲۸۸۵.۰	۴۴۶۸۶۰.۰	۴۲۱۸۸۷.۰
$3A$	۳۵۱۱۱۲.۰	۴۱۷۹۹۳.۰	۴۳۸۳۰۰.۰	۴۰۳۶۰۵.۰

جدول ۸. رتبه‌بندی گزینه‌های بالقوه و تحلیل مقایسه‌ای

رتبه‌بندی به وسیله روش تاپسیس ارائه شده توسط ژانگ و وی (۲۰۱۳)	رتبه‌بندی به وسیله روش راه‌حل توافقی ارائه شده توسط وحدانی و همکاران (۲۰۱۳)	رتبه‌بندی به وسیله روش شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی	گزینه‌ها
۱	۱	۱	A
۲	۲	۲	A
۳	۳	۳	A

نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

روش تحلیل چند معیاره به منظور ارزیابی و رتبه‌بندی مجموعه‌ای از گزینه‌ها، می‌تواند در موقعیت فازی تردیدی و با در نظر گرفتن معیارهای چندگانه متعارض بکار گرفته شود. در این مقاله، یک روش جدید تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه به وسیله گروهی از تصمیم‌گیران با توجه به ریسک‌پذیری آن‌ها پیشنهاد شده است؛ مجموعه‌های فازی تردیدی به منظور ارزیابی مسئله‌ی انتخاب پیمانکار برای مقابله با عدم قطعیت بکار گرفته شده است. روش پیشنهادی، رویکرد راه‌حل توافقی فازی محور را با در نظر گرفتن عدم قطعیت تحت یک راه‌حل کارا و عملی توسعه می‌دهد. همچنین، این روش به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند که چندین درجه‌ی عضویت برای هر پیمانکار با توجه به معیارهای منتخب، در نظر بگیرند تا خطاهای مربوط به نظرات را کاهش دهند. از طرفی، وزن هر کدام از تصمیم‌گیران نیز توسط روش پیشنهادی برنامه‌ریزی توافقی مورد ارزیابی قرار گرفته و رویکرد ادغام نهایی نظرات تصمیم‌گیران نیز به منظور جلوگیری در ریزش اطلاعات در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی بکار گرفته شد. همچنین، در نظر گرفتن میزان ریسک‌پذیری و یا ریسک‌گریزی در فرآیند محاسباتی روش پیشنهادی می‌تواند به اعمال دقیق‌تر نظرات تصمیم‌گیران کمک شایانی نماید. در پایان، یک مطالعه‌ی موردی در صنعت ساخت‌وساز به منظور انتخاب پیمانکار در نظر گرفته شده است تا توانایی رویکرد پیشنهادی را برای استفاده در مسائل تصمیم‌گیری در

دنیای واقعی را نشان دهد. نتایج حاصل از مدل نشان داد که پیمانکار اول در مقایسه با دیگر پیمانکارهای کاندید به عنوان برترین پیمانکار و در مقابل سومین پیمانکار نیز به عنوان بدترین پیمانکار انتخاب شدند. همچنین، مقایسه‌ی نتایج حاصل از روش پیشنهادی با دو روش تصمیم‌گیری فازی موجود در ادبیات اخیر مورد مقایسه قرار گرفته است تا اعتبار رویکرد پیشنهادی را نشان نماید. به منظور مطالعات آتی، روش پیشنهادی در این مقاله به همراه ایجاد یک چارچوب تصمیم‌گیری جامع براساس سیستم‌های پشتیبان تصمیم، می‌تواند برای حل مسائل پیچیده دنیای واقعی به کار برده شود. همچنین، توسعه‌ی روش پیشنهادی تحت مجموعه‌های فازی تردیدی بازه‌ای به منظور ارائه‌ی چندین درجه‌ی فازی تردیدی بازه‌ای برای یک گزینه تحت معیارهای مختلف پیشنهاد می‌گردد. از طرفی، تعریف سلسله مراتبی معیارها نیز می‌تواند با بررسی تمامی جنبه‌های مسئله، منجر به بهبود روش پیشنهادی گردد.

منابع

Alonso, S., et al., *A consistency-based procedure to estimate missing pairwise preference values*. International Journal of Intelligent Systems, 2008. 23(2): p. 155-175.

Alonso, S., et al., *A web based consensus support system for group decision making problems and incomplete preferences*. Information Sciences, 2010. 180(23): p. 4477-4495.

Büyüközkan, G. and G. Çifçi, *A new incomplete preference relations based approach to quality function deployment*. Information Sciences, 2012. 206: p. 30-41.

Chang, C.-L., *A modified VIKOR method for multiple criteria analysis*. Environmental monitoring and assessment, 2010. 168(1-4): p. 339-344.

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

Chen, C.-T., C.-T. Lin, and S.-F. Huang, *A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management*. International journal of production economics, 2006. 102(2): p. 289-301.

Chen, S.-M. and S.-J. Niou, *Fuzzy multiple attributes group decision-making based on fuzzy preference relations*. Expert Systems with Applications, 2011. 38(4): p. 3865-3872.

Chiclana, F., et al., *Cardinal consistency of reciprocal preference relations: a characterization of multiplicative transitivity*. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 2009. 17(1): p. 14-23.

Ebrahimnejad, S., et al., *A novel two-phase group decision making approach for construction project selection in a fuzzy environment*. Applied Mathematical Modelling, 2012. 36(9): p. 4197-4217.

Fu, C. and S.-L. Yang, *The group consensus based evidential reasoning approach for multiple attributive group decision analysis*. European Journal of Operational Research, 2010. 206(3): p. 601-608.

Fu, C. and S. Yang, *An attribute weight based feedback model for multiple attributive group decision analysis problems with group*

consensus requirements in evidential reasoning context. European Journal of Operational Research, 2011. 212(1): p. 179-189.

Genç, S., et al., *Interval multiplicative transitivity for consistency, missing values and priority weights of interval fuzzy preference relations*. Information Sciences, 2010. 180(24): p. 4877-4891.

Herrera-Viedma, E., F. Herrera, and F. Chiclana, *A consensus model for multiperson decision making with different preference structures*. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, 2002. 32(3): p. 394-402.

Herrera-Viedma, E., et al., *A consensus support system model for group decision-making problems with multigranular linguistic preference relations*. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 2005. 13(5): p. 644-658.

Junior FR, Osiro L, Carpinetti LC, *A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection*. Applied Soft Computing, 2014. 31(21): p. 194-209.

Kacprzyk, J., M. Fedrizzi, and H. Nurmi, *Group decision making and consensus under fuzzy preferences and fuzzy majority*. Fuzzy Sets and Systems, 1992. 49(1): p. 21-31.

Kannan, Devika, Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, and Charbel José Chiappetta Jabbour, *Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company*. European Journal of Operational Research, 2014. 233(2): p. 432-447.

Liao, H. and Z. Xu, *Subtraction and division operations over hesitant fuzzy sets*. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 2013.

Liao, H. and Z. Xu, *A VIKOR-based method for hesitant fuzzy multi-criteria decision making*. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2013. 12(4): p. 373-392.

Maniya, K. and M. Bhatt, *A selection of material using a novel type decision-making method: preference selection index method*. Materials & Design, 2010. 31(4): p. 1785-1789.

Mata, F., L. Martínez, and E. Herrera-Viedma, *An adaptive consensus support model for group decision-making problems in a multigranular fuzzy linguistic context*. *Fuzzy Systems*, IEEE Transactions on, 2009. 17(2): p. 279-290.

Nazam M, Xu J, Tao Z, Ahmad J, Hashim M, *A fuzzy AHP-TOPSIS framework for the risk assessment of green supply chain implementation in the textile industry*. *International Journal of Supply and Operations Management*, 2015, 2(1): p. 548-68.

Pérez, I.J., F.J. Cabrerizo, and E. Herrera-Viedma, *A mobile decision support system for dynamic group decision-making problems*. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, IEEE Transactions on, 2010. 40(6): p. 1244-1256.

Tanino, T., *Fuzzy preference orderings in group decision making*. *Fuzzy Sets and Systems*, 1984. 12(2): p. 117-131.

Torra, V., *Hesitant fuzzy sets*. *International Journal of Intelligent Systems*, 2010. 25(6): p. 529-539.

Torra, V. and Y. Narukawa. *On hesitant fuzzy sets and decision*. in *Fuzzy Systems*, 2009. FUZZ-IEEE 2009. IEEE International Conference on. 2009: IEEE.

Vahdani, B., et al. *A new design of the elimination and choice translating reality method for multi-criteria group decision-making in an intuitionistic fuzzy environment*. *Applied Mathematical Modeling*, 2013. 37(4): p. 1781-1799.

Vahdani, B., et al., *A new compromise solution method for fuzzy group decision-making problems with an application to the contractor selection*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2013. 26(2): p. 779-788.

Vahdani, B., S.M. Mousavi, and R. Tavakkoli-Moghaddam, *Group decision making based on novel fuzzy modified TOPSIS method*. *Applied Mathematical Modelling*, 2011. 35(9): p. 4257-4269.

Wang, T.-C. and Y.-H. Chen, *Incomplete fuzzy linguistic preference relations under uncertain environments*. *Information Fusion*, 2010. 11(2): p. 201-207.

Wei, G., *Hesitant fuzzy prioritized operators and their application to multiple attribute decision making*. Knowledge-Based Systems, 2012. 31: p. 176-182.

Xia, M. and Z. Xu, *Hesitant fuzzy information aggregation in decision making*. International Journal of Approximate Reasoning, 2011. 52(3): p. 395-407.

Xu, Z., *Goal programming models for obtaining the priority vector of incomplete fuzzy preference relation*. International journal of approximate reasoning, 2004. 36(3): p. 261-270.

Xu, Z., *A method based on linguistic aggregation operators for group decision making with linguistic preference relations*. Information Sciences, 2004. 166(1): p. 19-30.

Xu, Z., *Multiple-attribute group decision making with different formats of preference information on attributes*. Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on, 2007. 37(6): p. 1500-1511.

Xu, Z., *Group decision making based on multiple types of linguistic preference relations*. Information Sciences, 2008. 178(2): p. 452-467.

Xu, Z. and X. Zhang, *Hesitant fuzzy multi-attribute decision making based on TOPSIS with incomplete weight information*. Knowledge-Based Systems, 2013. 52: p. 53-64.

Zhang, N. and G. Wei, *Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set*. Applied Mathematical Modelling, 2013. 37(7): p. 4938-4947.

Zhang, Z., et al., *Induced generalized hesitant fuzzy operators and their application to multiple attribute group decision making*. Computers & Industrial Engineering, 2014. 67: p. 116-138.

Zhu, B., Z. Xu, and M. Xia, *Hesitant fuzzy geometric Bonferroni means*. Information Sciences, 2012. 205: p. 72-85.