



پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری

دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صص ۲۰-۴۹

نوع مقاله: پژوهشی

انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار با استفاده از رویکرد ترکیبی چندمعیاره راف-فازی (مطالعه موردی: شرکت گاز استان کردستان)

سعید ابراهیمی^۱، کامیار چالاکي^{۲*}، هیرش سلطان پناه^۳

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

۳. استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴

چکیده

ارزیابی اطلاعات توسط خبرگان اصولاً به صورت ذهنی و نادقیق انجام می‌شود و این موضوع در مسئله انتخاب تأمین‌کننده نیز صادق است. به‌منظور بهبود دستیابی به نتایج قابل اتکا، پژوهش حاضر چارچوبی نظام‌مند برای انتخاب تأمین‌کنندگان بر مبنای ابعاد پایداری ارائه می‌دهد که در آن یک رویکرد ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی و واسپاس راف-فازی را برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار پیشنهاد می‌کند. اثربخشی روش پیشنهادی از طریق کاربرد آن در انتخاب تأمین‌کننده شرکت گاز استان کردستان به‌عنوان مطالعه موردی تشریح شده است. ابتدا با بررسی پژوهش‌های گذشته، معیارهای انتخاب تأمین‌کننده پایدار مشخص می‌شود. پس از غربالگری معیارهای انتخاب تأمین‌کننده پایدار توسط خبرگان با روش دلفی فازی، تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر اعداد راف-فازی برای تعیین وزن معیارها استفاده می‌شود. در نهایت، نسخه توسعه‌یافته روش واسپاس یعنی روش واسپاس مبتنی بر اعداد راف-فازی معرفی می‌شود که می‌تواند در محیط تصمیم‌گیری مبهم و عدم قطعیت اعمال شود. از این رویکرد پیشنهادی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان پایدار شرکت گاز استان کردستان استفاده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تأمین‌کننده پایدار، اعداد راف-فازی، تحلیل سلسله مراتبی، واسپاس



۱- مقدمه

در سال‌های اخیر مدیریت زنجیره‌تامین به دلیل جهانی شدن بازارهای کسب و کار اهمیت بیشتری پیدا کرده است. انتخاب تامین‌کننده مناسب یکی از موضوعات کلیدی در مدیریت زنجیره‌تامین است. به دلیل اینکه در اکثر صنایع هزینه مواد خام و اجزای تشکیل‌دهنده محصول قسمت عمده‌ای از بهای تمام شده محصول را شامل می‌شوند انتخاب تامین‌کننده مناسب می‌تواند نقش مهمی در کارایی و اثربخشی ایفا کند و تأثیر مستقیمی در کاهش هزینه‌ها، سودآوری و انعطاف‌پذیری سازمان داشته باشد [۱]. با توجه به این موضوع، استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری در انتخاب تامین‌کنندگان مناسب از اهمیت بسزایی برخوردار است. یک مدل تصمیم‌گیری مناسب باید توانایی مقابله با قضاوت‌های فردی مبهم را داشته باشد و اولویت‌بندی مناسبی از گزینه‌های تصمیم‌ارایه دهد. معمولاً در دنیای واقعی با اطلاعات ناکافی و ناقص روبه‌رو هستیم، بنابراین به علت عدم وجود اطلاعات و داده‌های مناسب و کامل در دنیای واقعی باید از روش‌هایی استفاده نمود که توانایی کار در چنین محیط‌هایی را داشته باشند [۲]. در مسئله انتخاب تامین‌کننده مدل‌ها و تکنیک‌های تصمیم‌گیری مختلفی ارائه شده است. برخی از محققان به منظور تحت کنترل در آوردن عدم قطعیت، منطق فازی را در روش‌های تصمیم‌گیری و برخی دیگر تئوری مجموعه راف^۱ را به تنهایی در روش‌های تصمیم‌گیری به کار گرفته‌اند [۳]. به کارگیری مفهوم مجموعه راف به همراه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به مدیران سازمان‌ها در امر تصمیم‌گیری در شرایط عدم وجود اطلاعات دقیق کمک کند [۴]. با توجه به اینکه هدف مشترک مدل‌های تصمیم‌گیری دستیابی به نتایجی است که با واقعیت مطابقت داشته باشد از این‌رو به کارگیری مدلی نظام‌مند در فرایند انتخاب تامین‌کنندگان جهت دستیابی به نتایج قابل اتکا مسئله اصلی است. هدف پژوهش حاضر، توسعه مدلی ترکیبی با به کارگیری همزمان مفاهیم منطق فازی و تئوری راف در فنون تصمیم‌گیری به منظور ارزیابی تامین‌کنندگان پایدار در شرایط عدم قطعیت است. ساختار این مقاله به شرح زیر است: در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه تحقیق مرور و بحث شده است. در بخش سوم، چارچوب رویکرد پیشنهادی برای انتخاب تامین‌کننده پایدار ارائه شده است. در بخش چهارم، به منظور بررسی قابلیت رویکرد ارائه شده از یک مطالعه موردی استفاده شده است و در بخش پنجم، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱- تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ارزیابی تامین‌کنندگان پایدار



امروزه توجه به بحث پایداری بسیار حیاتی است. پایداری اشاره به یکپارچگی مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی دارد [۵]. انتخاب تأمین‌کننده پایدار در برقراری رابطه سودمند بلندمدت با بهترین تأمین‌کنندگانی که بتوانند معیارهای پایداری سازمان را تقویت کنند، بسیار مهم است [۶]. انتخاب تأمین‌کننده پایدار را دیگر نمی‌توان بر اساس معیارهای سنتی نظیر هزینه، کیفیت و تحویل انجام داد و باید سایر معیارها نیز در نظر گرفته شود تا بتوان یک رابطه بلندمدت را با تأمین‌کننده پایدار توسعه داد [۷]. در مسئله ارزیابی تأمین‌کنندگان، مدیران در شرایط تصمیم‌گیری با بیش از یک معیار مواجه هستند. از این رو، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به حل این مسئله بسیار کمک می‌کند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به تصمیم‌گیرندگان و مدیران واقعی این قدرت را می‌دهد تا ساختارهای تصمیم‌گیری پیچیده را برای انتخاب بهترین تأمین‌کننده توسعه دهند [۶]. تکنیک‌هایی از قبیل تحلیل سلسله مراتبی، فرایند تحلیل فرایند شبکه‌ای، روش تاپسیس و ویکور به شکل گسترده‌ای در ادبیات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بای و سارکیس [۸] در مطالعه‌ای به منظور انتخاب تأمین‌کننده پایدار از رویکرد تئوری مجموعه راف^۱ و تئوری خاکستری بهره بردند. جعفرنژاد و همکاران [۹] روش تاپسیس فازی را برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان توسعه دادند. فلاح پور و همکاران [۱۰] مدلی برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار ارائه دادند. در این مدل به منظور تعیین مهم‌ترین معیارهای پایداری از رویکرد برنامه‌ریزی ترجیحی فازی^۲ استفاده کردند و تأمین‌کنندگان مختلف را با روش تاپسیس فازی رتبه‌بندی کردند. سونگ و همکاران [۱۱] با استفاده از روش دیمتل و اعداد راف به بررسی رابطه متقابل بین معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی در انتخاب تأمین‌کننده پایدار پرداختند. عزیزی و همکاران [۱۲] رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای کارا و ناکارا را برای ارزیابی و انتخاب بهترین تأمین‌کننده در حضور خروجی‌های نامطلوب و داده‌های نادقیق پیشنهاد دادند. لوترا و همکاران [۱۳] با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به وزندهی معیارها پرداختند و از تکنیک ویکور جهت ارزیابی تأمین‌کنندگان در صنعت خودرو استفاده کردند.

در مطالعه‌ای علیمحمدلو و بنیانی [۱۴] با استفاده از روش‌های غربالگری، دیمتل، فرایند تحلیل شبکه‌ای و برنامه‌ریزی آرمانی در محیط فازی به انتخاب تأمین‌کنندگان پرداختند. ایزدخواه و صائن [۱۵] با به‌کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها مدلی را برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار در شرکت سازه گستر سایپا توسعه دادند. آنها یک مدل جدید تحلیل پوششی داده‌ها را برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده ارائه دادند. این روش پیشنهادی قادر به



رتبه‌بندی تمام تامین‌کنندگان کارآمد و ناکارآمد است. رشیدی و کالینان [۱۶] در مطالعه‌ای به مقایسه و بررسی عملکرد روش تحلیل پوششی داده‌های فازی و تکنیک تاپسیس فازی به منظور انتخاب تامین‌کنندگان پایدار پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد تکنیک تاپسیس از نظر پیچیدگی محاسبات و حساسیت نسبت به تعداد تامین‌کنندگان از تحلیل پوششی داده‌ها بهتر عمل می‌کند. ویو و همکاران [۱۷] رویکردهای تئوری خاکستری فازی، حالت شکست و تحلیل اثرات و روش وزن آنتروپی ابری را به ترتیب برای تحلیل ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به کار گرفتند. در نهایت، نتایج ارزیابی هر سه بعد را با استفاده رویکرد دیمتل ادغام کردند. رویکرد پیشنهادی آنها می‌تواند به مدیران زنجیره تامین پایدار در صنعت شیمیایی برای انتخاب تامین‌کنندگان پایدارتر و حفظ رقابت در بازار کمک کند. چن و همکاران [۱۸] به منظور ارزیابی تامین‌کنندگان پایدار در زنجیره تامین هوشمند از رویکرد ترکیبی دیمتل و تاپسیس راف-فازی بهره بردند. در این مطالعه همزمان عدم قطعیت داخلی و عدم قطعیت خارجی در فرایند انتخاب تامین‌کننده دخیل هستند. در مطالعه‌ای دیگر پاموجار و همکاران [۶] با استفاده از رویکرد ترکیبی مکبث و کوداس مبتنی بر اعداد راف-فازی^۲ به ارزیابی تامین‌کنندگان پایدار در حوزه بهداشت و درمان پرداختند. جدول ۱ به‌طور خلاصه پژوهش‌های انجام شده در انتخاب تامین‌کنندگان پایدار را نشان می‌دهد.

جدول ۱. پیشینه تحقیق انتخاب تامین‌کنندگان پایدار

نوع عدم قطعیت			
محقق	رویکرد	مطالعه موردی	فازی راف راف-فازی
[۱۹]	Fuzzy inference system	مورد فرضی	*
[۲۰]	AHP and Rule-Based Weighted Method - Goal Programming	صنعت بسته بندی	*
[۱۰]	Preference Programming-AHP - TOPSIS	کارخانه نساجی	*
[۲۱]	ELECTRE	تولیدکننده تهویه خورشیدی	*
[۲۲]	TOPSIS with Cloud model	ماژول فتوولتائیک	*
[۱۸]	TOPSIS - DEMATEL	صنعت حمل و نقل	*
[۱۷]	GRA-FMEA-Entropy-DEMATEL	صنایع شیمیایی	*
[۲۳]	BWM-CoCoSo with Bonferroni	تولید لوازم خانگی	*
[۸]	MACBETH - CODAS	بهداشت و درمان	*
پژوهش حاضر	AHP-WASPAS	صنعت گاز	*



۲-۲- معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار

با گذشت زمان، پیچیدگی مسئله تصمیم‌گیری به شدت افزایش یافته است. برخلاف گذشته، مسئله انتخاب تأمین‌کننده تنها تحت تاثیر معیارهای اقتصادی نیست. با ظهور مفاهیمی مانند پایداری و تاب‌آوری معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی مورد توجه ویژه قرار گرفت [۶]. مطالعات فراوانی درباره معیارهای پایداری تأمین‌کنندگان انجام گرفته است. زیمر و همکاران [۲۴] در سال ۲۰۱۶ با بررسی ۱۴۳ مقاله منتشر شده تأمین‌کننده پایدار، معیارهای تأمین‌کننده را به سه دسته معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی تقسیم‌بندی کردند. امین‌دوست و همکاران [۱۹] مدلی را بر اساس سیستم استنتاج فازی برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار ارائه کردند. در این مطالعه با مرور مقالات مرتبط، معیارهای انتخاب تأمین‌کننده پایدار استخراج گردیده است. از نوآوری‌های این تحقیق می‌توان به در نظر گرفتن هم‌زمان معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی اشاره کرد. لوترا و همکاران [۱۳] جهت انتخاب تأمین‌کننده پایدار با استفاده از ادبیات تحقیق، ۲۲ معیار را در سه دسته کلی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مدنظر قرار دادند. در این تحقیق هزینه‌های زیست‌محیطی، کیفیت، قیمت محصول، سیستم‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای و شایستگی‌های زیست‌محیطی به‌عنوان پنج معیار مهم شناخته شدند. ویو و همکاران [۱۷] قیمت، کیفیت، تحویل به‌موقع، هزینه حمل‌ونقل و قابلیت تکنولوژی را در دسته معیارهای اقتصادی و سیستم‌های زیست‌محیطی، تکنولوژی سبز، طراحی زیستی، انتشار کربن و مدیریت آلودگی زمین و آب را زیرمجموعه معیارهای زیست‌محیطی و ایمنی تولید، حقوق کارکنان را به‌عنوان معیارهای اجتماعی در نظر گرفتند. در پژوهش حاضر با مرور مقالات ارزیابی تأمین‌کنندگان پایدار، ۱۴ معیار پایداری در سه دسته اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی استخراج شد. معیارهای قیمت، کیفیت، تحویل، انعطاف‌پذیری و توان فنی‌ومالی در دسته معیارهای اقتصادی و سیستم مدیریت زیست‌محیطی، طراحی سبز، مصرف منابع، کنترل آلودگی در دسته معیارهای زیست‌محیطی و سلامت و بهداشت حرفه‌ای، حق و رفاه کارکنان، تاثیر جوامع محلی، افشای اطلاعات و آموزش و توسعه جامعه در دسته معیارهای اجتماعی قرار گرفتند که در جدول ۲ نشان داده شده است.



جدول ۲. معیارهای استخراج شده انتخاب تامین کننده پایدار

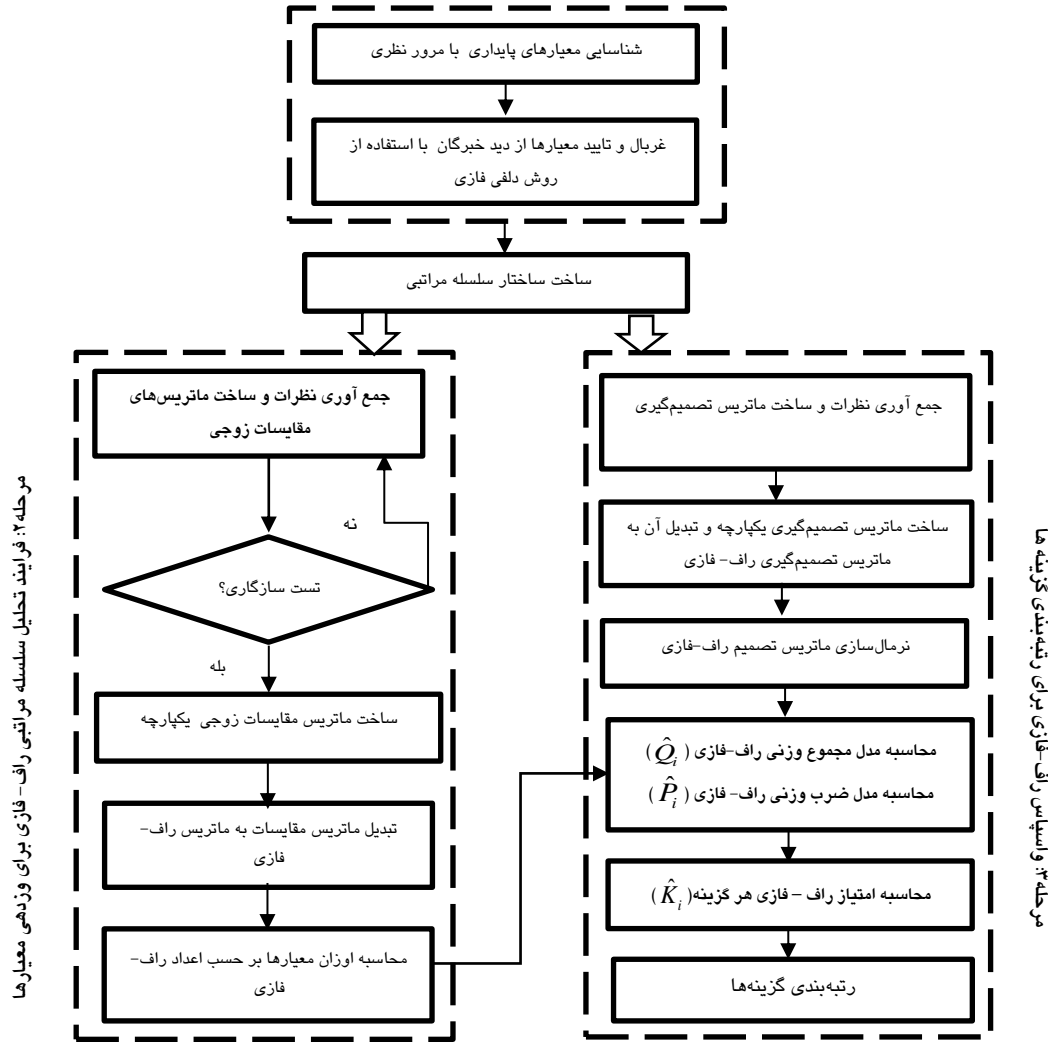
ابعاد	معیار	منابع
اقتصادی	قیمت	[۲۰:۱۹:۱۶:۱۳:۱۱]
	کیفیت	[۲۰:۱۹:۱۶:۱۳:۱۱:۱۰:۹]
	تحويل	[۲۰:۱۹:۱۶:۱۳:۱۱]
	انعطاف پذیری	[۱۹:۱۶:۱۳:۱۰:۶:۱]
	توان فنی و مالی	[۱۹:۱۶:۱۳]
زیست محیطی	سیستم مدیریت زیست محیطی	[۲۰:۱۹:۱۶:۱۳:۱۱:۱۰:۸]
	طراحی سبز	[۲۲:۱۹:۱۳:۱۱:۱۰]
	مصرف منابع	[۱۹:۱۶:۱۱:۱۰:۸]
	کنترل آلودگی	[۱۹:۱۶:۱۳:۸]
اجتماعی	سلامت و بهداشت حرفه‌ای (شغلی)	[۲۰:۱۹:۱۶:۱۳:۱۱:۱۰:۸]
	حق و رفاه کارکنان	[۱۹:۱۶:۱۳:۱۱:۱۰]
	تاثیر جوامع محلی	[۱۶:۸]
	افشای اطلاعات	[۱۹:۱۳:۶]
	آموزش و توسعه جامعه	[۲۰:۱۱:۸:۷]

۳- چارچوب رویکرد پیشنهادی

در این پژوهش به منظور کنترل ابهام و تردید موجود در قضاوت‌های فردی و بهبود عینیت در تصمیم‌گیری یک رویکرد ترکیبی ارائه گردید. این رویکرد پیشنهادی شامل سه مرحله است. در شکل ۱ چارچوب رویکرد پیشنهادی نشان داده شده است. در ادامه به تشریح تکنیک‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده در این پژوهش می‌پردازیم.



مرحله ۱: غربال معیارهای پایداری انتخاب تأمین‌کنندگان



شکل ۱. فرایند اجرایی پژوهش

۳-۱- روش دلفی فازی

روش دلفی فازی ترکیبی از روش دلفی و نظریه مجموعه‌های فازی است که توسط ایشیکاوا



و همکاران در سال ۱۹۹۳ معرفی شد. یکی از بزرگ‌ترین مزیت‌های تکنیک دلفی فازی نسبت به تکنیک دلفی سنتی، آن است که می‌توان از یک راند برای غربال متغیرها استفاده کرد [۲۵]. گام‌های روش دلفی فازی در زیر توضیح داده شده است.

گام اول: شناسایی معیارهای پژوهش با استفاده از مرور دقیق مبانی نظری پژوهش.

گام دوم: جمع‌آوری نظرات خبرگان تصمیم‌گیرنده؛ در این گام بعد از شناسایی معیارهای مسئله، گروه تصمیم‌گیری متشکل از خبرگان مرتبط با موضوع پژوهش تشکیل شده تا اهمیت معیارهای شناسایی شده را از طریق پرسشنامه با استفاده از متغیرهای زبانی شرح داده شده در جدول ۳ تعیین کنند. در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است.

گام سوم: از روش میانگین فازی برای تجمیع دیدگاه خبرگان استفاده می‌شود. اگر دیدگاه هر خبره به صورت عدد فازی مثلثی $\tilde{F} = (l, m, u)$ نمایش داده شود، میانگین فازی n عدد فازی مثلثی به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

(۱)

$$F_{AVE} = \sum \frac{l}{n}, \sum \frac{m}{n}, \sum \frac{u}{n}$$

پس از تجمیع فازی نظرات خبرگان، از رابطه زیر برای فازی‌زدایی استفاده می‌کنیم.

(۲)

$$F = \frac{l + m + u}{3}$$

پس از فازی‌زدایی مقادیر، برای غربال معیارها باید یک مقدار آستانه در نظر گرفت. اگر مقدار ارزش اکتسابی هر معیار کمتر از مقدار آستانه باشد، معیار مورد نظر از فهرست معیارها حذف می‌شود و در غیر این صورت معیار مورد نظر تایید می‌شود. مقدار آستانه معمولاً با استنباط ذهنی تصمیم‌گیرنده معین می‌شود [۲۵]. در این پژوهش مقدار ۰/۵ به عنوان مقدار آستانه در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. عبارات زبانی و اعداد دلفی فازی [۲۵]

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



۳-۲- اعداد راف - فازی

اعداد راف-فازی بر اساس منطق فازی کلاسیک زاده در سال ۱۹۶۵ ارایه شد. به دلیل کاربرد بالای منطق فازی مدل‌های جدیدی از منطق فازی معرفی شد. اعداد راف-فازی یکی از بسط‌های اخیر منطق فازی در نظر گرفته می‌شود که سعی دارد با استفاده از واژگان کلامی، اعداد فازی را برای افزایش قابلیت اطمینان در فرایند تصمیم‌گیری مرزبندی کند [۶]. اعداد راف-فازی مفهوم عدد راف را به ناحیه مجموعه‌های فازی گسترش می‌دهد. عدد راف-فازی تنها توسط مجموعه داده اصلی تعیین می‌شود و نیازی به اطلاعات کمکی ندارد. بنابراین، این یک مدل عینی است که می‌تواند درک واقعی تصمیم‌گیرنده را بهتر دریافت کند و عینیت را در محیط‌های ذهنی تقویت کند. در این بخش روابط اعداد راف-فازی ارایه می‌شود [۲۶].

فرض کنید U مجموعه جهانی است که از مقادیر جمع‌آوری شده از تصمیم‌گیرنده تشکیل شده است، به طور کلی، این مقادیر را می‌توان به n کلاس تقسیم کرد که به صورت $\tilde{C}_1 \leq \tilde{C}_2 \leq \dots \leq \tilde{C}_n$ مرتب شده‌اند به گونه‌ای که \tilde{C}_i ($1 \leq i \leq n$) یک عدد فازی مثلثی است، $\tilde{C}_i = (C_{il}, C_{im}, C_{iu})$. \tilde{R} مجموعه‌ای از $\{\tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \dots, \tilde{C}_n\}$ است، Y یک عضو دلخواه از مجموعه U است. تقریب پایین کلاس \tilde{C}_i به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\underline{Apr}(C_{il}) = \cup \{Y \in U / \tilde{R}(Y) \leq C_{il}\} \quad (۳)$$

$$\underline{Apr}(C_{im}) = \cup \{Y \in U / \tilde{R}(Y) \leq C_{im}\} \quad (۴)$$

$$\underline{Apr}(C_{iu}) = \cup \{Y \in U / \tilde{R}(Y) \leq C_{iu}\} \quad (۵)$$

به همین ترتیب، تقریب بالای کلاس \tilde{C}_i به شرح زیر است:

$$\overline{Apr}(C_{il}) = \cup \{Y \in U / \tilde{R}(Y) \geq C_{il}\} \quad (۶)$$

$$\overline{Apr}(C_{im}) = \cup \{Y \in U / \tilde{R}(Y) \geq C_{im}\} \quad (۷)$$

$$\overline{Apr}(C_{iu}) = \cup \{Y \in U / \tilde{R}(Y) \geq C_{iu}\} \quad (۸)$$

سپس حد پایین \tilde{C}_i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\underline{Lim}(C_{il}) = \frac{1}{N_{Ll}} \sum_{i=1}^{N_{Ll}} Y \in \underline{Apr}(C_{il}) \quad (۹)$$

$$\underline{Lim}(C_{im}) = \frac{1}{N_{Lm}} \sum_{i=1}^{N_{Lm}} Y \in \underline{Apr}(C_{im}) \quad (۱۰)$$



$$\underline{Lim}(C_{iu}) = \frac{1}{N_{Lu}} \sum_{i=1}^{N_{Lu}} Y \in \underline{Apr}(C_{iu}) \quad (11)$$

که N_{Lu} و N_{Lm} ، N_{Ll} به ترتیب تعداد اعضا در $\underline{Apr}(C_{il})$ ، $\underline{Apr}(C_{im})$ و $\underline{Apr}(C_{iu})$ هستند. به همین ترتیب، حد بالایی \tilde{C}_i به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\overline{Lim}(C_{il}) = \frac{1}{N_{Ul}} \sum_{i=1}^{N_{Ul}} Y \in \overline{Apr}(C_{il}) \quad (12)$$

$$\overline{Lim}(C_{im}) = \frac{1}{N_{Um}} \sum_{i=1}^{N_{Um}} Y \in \overline{Apr}(C_{im}) \quad (13)$$

$$\overline{Lim}(C_{iu}) = \frac{1}{N_{Uu}} \sum_{i=1}^{N_{Uu}} Y \in \overline{Apr}(C_{iu}) \quad (14)$$

که N_{Uu} و N_{Um} ، N_{Ul} به ترتیب تعداد اعضا در $\overline{Apr}(C_{il})$ ، $\overline{Apr}(C_{im})$ و $\overline{Apr}(C_{iu})$ هستند. سپس عدد راف-فازی \tilde{C}_i را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$FRN(\tilde{C}_i) \quad (15)$$

$$= ([\underline{Lim}(C_{il}), \overline{Lim}(C_{il})], [\underline{Lim}(C_{im}), \overline{Lim}(C_{im})], [\underline{Lim}(C_{iu}), \overline{Lim}(C_{iu})])$$

فاصله مرزی راف C_{il} ، C_{im} ، C_{iu} و \tilde{C}_i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$RBnd(C_{il}) = \overline{Lim}(C_{il}) - \underline{Lim}(C_{il}) \quad (16)$$

$$RBnd(C_{im}) = \overline{Lim}(C_{im}) - \underline{Lim}(C_{im}) \quad (17)$$

$$RBnd(C_{iu}) = \overline{Lim}(C_{iu}) - \underline{Lim}(C_{iu}) \quad (18)$$

$$RBnd(\tilde{C}_i) = \overline{Lim}(C_{iu}) - \underline{Lim}(C_{il}) \quad (19)$$

به طور کلی، فاصله مرزی راف به ترتیب نشان‌دهنده ابهام در C_{il} ، C_{im} ، C_{iu} و \tilde{C}_i است. فاصله کوچک‌تر معمولاً نشان‌دهنده دقت بهتر و فاصله بزرگ‌تر نشان‌دهنده ابهام است. بنابراین، عدد راف-فازی را قادر می‌سازد تا عدم قطعیت را در عدد فازی مثلثی اندازه‌گیری کند که می‌تواند به اهمیت فازی و متغیرهای زبانی تعمیم داده شود. اطلاعات ذهنی را می‌توان با استفاده از عدد راف-فازی جمع‌آوری و مشخص کرد.

$FRN(\tilde{\beta})$ و $FRN(\tilde{\alpha})$ دو عدد راف-فازی مثبت هستند:

$$FRN(\tilde{\alpha}) \quad (20)$$

$$= ([\underline{Lim}(\alpha_l), \overline{Lim}(\alpha_l)], [\underline{Lim}(\alpha_m), \overline{Lim}(\alpha_m)], [\underline{Lim}(\alpha_u), \overline{Lim}(\alpha_u)])$$



$$FRN(\tilde{\beta}) = ([\underline{Lim}(\beta_l), \overline{Lim}(\beta_l)], [\underline{Lim}(\beta_m), \overline{Lim}(\beta_m)], [\underline{Lim}(\beta_u), \overline{Lim}(\beta_u)]) \quad (21)$$

از طرفی μ یک عدد مثبت است، پس عملیات ریاضی برای این دو عدد راف-فازی به شرح زیر است:

$$FRN(\tilde{\alpha}) \oplus FRN(\tilde{\beta}) = ([\underline{Lim}(\alpha_l), \overline{Lim}(\alpha_l)], [\underline{Lim}(\alpha_m), \overline{Lim}(\alpha_m)], [\underline{Lim}(\alpha_u), \overline{Lim}(\alpha_u)]) \oplus ([\underline{Lim}(\beta_l), \overline{Lim}(\beta_l)], [\underline{Lim}(\beta_m), \overline{Lim}(\beta_m)], [\underline{Lim}(\beta_u), \overline{Lim}(\beta_u)]) \quad (22)$$

$$= \left(\begin{array}{l} [\underline{Lim}(\alpha_l) + \underline{Lim}(\beta_l), \overline{Lim}(\alpha_l) + \overline{Lim}(\beta_l)], \\ [\underline{Lim}(\alpha_m) + \underline{Lim}(\beta_m), \overline{Lim}(\alpha_m) + \overline{Lim}(\beta_m)], \\ [\underline{Lim}(\alpha_u) + \underline{Lim}(\beta_u), \overline{Lim}(\alpha_u) + \overline{Lim}(\beta_u)] \end{array} \right) \quad (23)$$

$$FRN(\tilde{\alpha}) \ominus FRN(\tilde{\beta}) = ([\underline{Lim}(\alpha_l), \overline{Lim}(\alpha_l)], [\underline{Lim}(\alpha_m), \overline{Lim}(\alpha_m)], [\underline{Lim}(\alpha_u), \overline{Lim}(\alpha_u)]) \ominus ([\underline{Lim}(\beta_l), \overline{Lim}(\beta_l)], [\underline{Lim}(\beta_m), \overline{Lim}(\beta_m)], [\underline{Lim}(\beta_u), \overline{Lim}(\beta_u)]) \quad (24)$$

$$= \left(\begin{array}{l} [\underline{Lim}(\alpha_l) - \underline{Lim}(\beta_l), \overline{Lim}(\alpha_l) - \overline{Lim}(\beta_l)], \\ [\underline{Lim}(\alpha_m) - \underline{Lim}(\beta_m), \overline{Lim}(\alpha_m) - \overline{Lim}(\beta_m)], \\ [\underline{Lim}(\alpha_u) - \underline{Lim}(\beta_u), \overline{Lim}(\alpha_u) - \overline{Lim}(\beta_u)] \end{array} \right)$$

$$FRN(\tilde{\alpha}) \otimes FRN(\tilde{\beta}) = ([\underline{Lim}(\alpha_l), \overline{Lim}(\alpha_l)], [\underline{Lim}(\alpha_m), \overline{Lim}(\alpha_m)], [\underline{Lim}(\alpha_u), \overline{Lim}(\alpha_u)]) \otimes ([\underline{Lim}(\beta_l), \overline{Lim}(\beta_l)], [\underline{Lim}(\beta_m), \overline{Lim}(\beta_m)], [\underline{Lim}(\beta_u), \overline{Lim}(\beta_u)]) \quad (25)$$

$$= \left(\begin{array}{l} [\underline{Lim}(\alpha_l) \times \underline{Lim}(\beta_l), \overline{Lim}(\alpha_l) \times \overline{Lim}(\beta_l)], \\ [\underline{Lim}(\alpha_m) \times \underline{Lim}(\beta_m), \overline{Lim}(\alpha_m) \times \overline{Lim}(\beta_m)], \\ [\underline{Lim}(\alpha_u) \times \underline{Lim}(\beta_u), \overline{Lim}(\alpha_u) \times \overline{Lim}(\beta_u)] \end{array} \right)$$

$$FRN(\tilde{\alpha}) \oslash FRN(\tilde{\beta}) = ([\underline{Lim}(\alpha_l), \overline{Lim}(\alpha_l)], [\underline{Lim}(\alpha_m), \overline{Lim}(\alpha_m)], [\underline{Lim}(\alpha_u), \overline{Lim}(\alpha_u)]) \oslash ([\underline{Lim}(\beta_l), \overline{Lim}(\beta_l)], [\underline{Lim}(\beta_m), \overline{Lim}(\beta_m)], [\underline{Lim}(\beta_u), \overline{Lim}(\beta_u)]) \quad (26)$$

$$= \left(\begin{array}{l} [\underline{Lim}(\alpha_l) \div \underline{Lim}(\beta_l), \overline{Lim}(\alpha_l) \div \overline{Lim}(\beta_l)], \\ [\underline{Lim}(\alpha_m) \div \underline{Lim}(\beta_m), \overline{Lim}(\alpha_m) \div \overline{Lim}(\beta_m)], \\ [\underline{Lim}(\alpha_u) \div \underline{Lim}(\beta_u), \overline{Lim}(\alpha_u) \div \overline{Lim}(\beta_u)] \end{array} \right)$$

$$FRN(\tilde{\alpha}) \otimes \mu \quad (26)$$



$$\begin{aligned}
 &= ([\underline{Lim}(\alpha_l), \overline{Lim}(\alpha_l)], [\underline{Lim}(\alpha_m), \overline{Lim}(\alpha_m)], [\underline{Lim}(\alpha_u), \overline{Lim}(\alpha_u)]) \\
 &\quad \otimes \mu \\
 &= ([\underline{Lim}(\alpha_l) \times \mu, \overline{Lim}(\alpha_l) \times \mu], [\underline{Lim}(\alpha_m) \times \mu, \overline{Lim}(\alpha_m) \times \mu], \\
 &\quad [\underline{Lim}(\alpha_u) \times \mu, \overline{Lim}(\alpha_u) \times \mu])
 \end{aligned}$$

۳-۳- تحلیل فرایند سلسله مراتبی راف-فازی

روش تحلیل سلسله مراتبی توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ ارائه شد. در سال‌های اخیر پژوهشگران روش فرایند سلسله مراتبی را در مدل‌های مختلفی تعمیم و توسعه دادند. ژو و همکاران در سال ۲۰۲۰ در پژوهشی روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی با اعداد راف در محیط فازی تلفیق دادند و از این روش ارائه شده در حل مسئله طراحی مفهومی بهره گرفتند. در این پژوهش از رویکرد ارائه شده توسط ژو و همکاران جهت وزندهی به معیارها استفاده شده است [۲۶]. مراحل این روش عبارت است از:

گام اول: ساخت ساختار سلسله مراتبی؛ در این مرحله باید اجزای مسئله به صورت شفاف بیان شود.

گام دوم: جمع‌آوری داده‌ها و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی؛ این مرحله مشابه روش فرایند سلسله مراتبی فازی صورت می‌گیرد. به طوری که کارشناسان قضاوت خود را در مورد معیارهای مسئله براساس عبارات کلامی و مقادیر فازی مثلثی مندرج در جدول ۴ بیان می‌کنند و در نهایت ماتریس مقایسه زوجی فازی معیارهای مسئله ساخته می‌شود.

ماتریس مقایسه زوجی فازی e امین کارشناس به صورت زیر است:

$$\tilde{M}^e = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{x}_{12}^e & \dots & \tilde{x}_{1p}^e \\ \tilde{x}_{21}^e & 1 & \dots & \tilde{x}_{2p}^e \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{p1}^e & \tilde{x}_{p2}^e & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

جدول ۴. واژگان کلامی و مقادیر فازی مثلثی متناظر آن‌ها [۲۶]

متغیر زبانی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
اعداد فازی مثلثی	(۱،۱،۳)	(۱،۳،۵)	(۳،۵،۷)	(۵،۷،۹)	(۷،۹،۹)



جدول ۵. شاخص سازگاری تصادفی (RI).

p	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۴۹

که $\tilde{x}_{ij}^e = (x_{ijl}^e, x_{ijm}^e, x_{iju}^e)$ و $1 \leq i, j \leq p$ مقدار اهمیت نسبی معیار i بر معیار j را توسط کارشناس e نشان می‌دهد، همچنین p تعداد معیارها است. پس از ساخت ماتریس \tilde{M}^e ، آزمون سازگاری برای هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی انجام می‌شود. نرخ سازگاری (CR) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (28)$$

(RI) شاخص سازگاری تصادفی است، که در جدول ۴ مطابق با مقدار p تعیین می‌شود. (CI) شاخص سازگاری است به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$CI = \frac{\lambda_{max}^e - p}{p - 1} \quad (29)$$

λ_{max}^e حداکثر مقدار ویژه برای \tilde{M}^e است.

اگر شرط $CR < 0/1$ باشد، ماتریس مقایسات قابل قبول هستند. در غیر این صورت، قضاوت‌های کارشناسان باید تا زمان برقراری شرط سازگاری تکرار شود. به منظور سادگی کار محاسبات نرخ ناسازگاری، می‌توان ماتریس $M^e = [x_{ijm}^e]_{p \times p}$ را جایگزین ماتریس $\tilde{M}^e = [\tilde{x}_{ij}^e]_{p \times p}$ کرد. در نتیجه، اگر M^e سازگار باشد، \tilde{M}^e نیز قابل قبول است [۲۶].

گام سوم: تشکیل ماتریس یکپارچه مقایسات زوجی \tilde{M} ؛ همه ماتریس‌های مقایسه زوجی ادغام می‌شوند و ماتریس مقایسه زوجی یکپارچه ساخته می‌شود، که در رابطه (۳۰) نشان داده شده است.

$$\tilde{M} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1p} \\ \tilde{x}_{21} & 1 & \dots & \tilde{x}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{p1} & \tilde{x}_{p2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$



که در آن $\tilde{x}_{ij} = \{\tilde{x}_{ij}^1, \tilde{x}_{ij}^2, \dots, \tilde{x}_{ij}^k\}$ و $1 \leq i$ و $j \leq p$ مقدار مقایسه زوجی یکپارچه معیار i بر روی معیار j است، k تعداد تصمیم گیرندگان است. از طرفی \tilde{x}_{ij} را به $\tilde{x}_{ijm} = \tilde{x}_{ijl} = \{x_{ijl}^1, x_{ijl}^2, \dots, x_{ijl}^k\}$ بیان کرد که در آن $\tilde{x}_{ijm} = \{x_{ijm}^1, x_{ijm}^2, \dots, x_{ijm}^k\}$ و $\tilde{x}_{iju} = \{x_{iju}^1, x_{iju}^2, \dots, x_{iju}^k\}$ است. گام چهارم: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی راف-فازی؛ با توجه به عنصر \tilde{x}_{ij} در ماتریس مقایسه زوجی یکپارچه \tilde{M} ، مولفه \tilde{x}_{ij}^e را می‌توان با استفاده از روابط (۳) تا (۱۵) به یک عدد راف-فازی تبدیل کرد.

$$FRN(\tilde{x}_{ij}^e) = ([\underline{Lim}(x_{ijl}^e), \overline{Lim}(x_{ijl}^e)], [\underline{Lim}(x_{ijm}^e), \overline{Lim}(x_{ijm}^e)], [\underline{Lim}(x_{iju}^e), \overline{Lim}(x_{iju}^e)]) \quad (31)$$

سپس \tilde{x}_{ij} به عنوان دنباله‌ای از اعداد راف-فازی نمایش داده می‌شود.

$$FRN(\tilde{x}_{ij}) = \{FRN(\tilde{x}_{ij}^1), FRN(\tilde{x}_{ij}^2), \dots, FRN(\tilde{x}_{ij}^k)\} \\ = \{([\underline{Lim}(x_{ijl}^1), \overline{Lim}(x_{ijl}^1)], [\underline{Lim}(x_{ijm}^1), \overline{Lim}(x_{ijm}^1)], [\underline{Lim}(x_{iju}^1), \overline{Lim}(x_{iju}^1)]), \\ ([\underline{Lim}(x_{ijl}^2), \overline{Lim}(x_{ijl}^2)], [\underline{Lim}(x_{ijm}^2), \overline{Lim}(x_{ijm}^2)], [\underline{Lim}(x_{iju}^2), \overline{Lim}(x_{iju}^2)]), \\ \dots, \\ ([\underline{Lim}(x_{ijl}^k), \overline{Lim}(x_{ijl}^k)], [\underline{Lim}(x_{ijm}^k), \overline{Lim}(x_{ijm}^k)], [\underline{Lim}(x_{iju}^k), \overline{Lim}(x_{iju}^k)])\} \quad (32)$$

این مجموعه بیشتر به راف-فازی تفسیر می‌شود و به عنوان میانگین دنباله تعریف می‌شود.

$$FRN(\tilde{x}_{ij}) = ([x_{ijl}^L, x_{ijl}^U], [x_{ijm}^L, x_{ijm}^U], [x_{iju}^L, x_{iju}^U]) \quad (33)$$

داریم:

$$x_{ijl}^L = \frac{1}{k} \sum_{e=1}^k \underline{Lim}(x_{ijl}^e) \quad (34)$$

$$x_{ijl}^U = \frac{1}{k} \sum_{e=1}^k \overline{Lim}(x_{ijl}^e) \quad (35)$$



$$x_{ijm}^L = \frac{1}{k} \sum_{e=1}^k \underline{\text{Lim}}(x_{ijm}^e) \quad (36)$$

$$x_{ijm}^U = \frac{1}{k} \sum_{e=1}^k \overline{\text{Lim}}(x_{ijm}^e) \quad (37)$$

$$x_{iju}^L = \frac{1}{k} \sum_{e=1}^k \underline{\text{Lim}}(x_{iju}^e) \quad (38)$$

$$x_{iju}^U = \frac{1}{k} \sum_{e=1}^k \overline{\text{Lim}}(x_{iju}^e) \quad (39)$$

که x_{ijl}^L ، x_{ijm}^L و x_{iju}^L به ترتیب حدود پایینی \tilde{x}_{ijl} ، \tilde{x}_{ijm} و \tilde{x}_{iju} هستند و x_{ijl}^U ، x_{ijm}^U و x_{iju}^U به ترتیب حدود بالای \tilde{x}_{ijl} ، \tilde{x}_{ijm} و \tilde{x}_{iju} هستند. در نهایت، ماتریس مقایسه زوجی راف-فازی را می‌توان به صورت رابطه (۴۰) نشان داد.

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} ([1, 1], [1, 1], [1, 1]) & \dots & ([x_{pl}^L, x_{pl}^U], [x_{pm}^L, x_{pm}^U], [x_{pu}^L, x_{pu}^U]) \\ ([x_{pl}^L, x_{pl}^U], [x_{pm}^L, x_{pm}^U], [x_{pu}^L, x_{pu}^U]) & \dots & ([x_{pl}^L, x_{pl}^U], [x_{pm}^L, x_{pm}^U], [x_{pu}^L, x_{pu}^U]) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ([x_{pl}^L, x_{pl}^U], [x_{pm}^L, x_{pm}^U], [x_{pu}^L, x_{pu}^U]) & \dots & ([1, 1], [1, 1], [1, 1]) \end{bmatrix} \quad (40)$$

گام پنجم: محاسبه وزن معیارها بر اساس ماتریس مقایسه زوجی راف-فازی \hat{M} ؛ وزن راف-فازی برای هر معیار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{W}_i = ([w_{il}^L, w_{il}^U], [w_{im}^L, w_{im}^U], [w_{iu}^L, w_{iu}^U]) \quad (41)$$

$$= \left(\left(\sqrt[p]{\prod_{j=1}^p x_{ijl}^L}, \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p x_{ijl}^U} \right), \left(\sqrt[p]{\prod_{j=1}^p x_{ijm}^L}, \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p x_{ijm}^U} \right), \left(\sqrt[p]{\prod_{j=1}^p x_{iju}^L}, \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p x_{iju}^U} \right) \right)$$

برای نرمال‌سازی وزن‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\hat{W}'_i = \hat{W}_i / \max(w_{iu}^U) \quad (42)$$

در نهایت، می‌توان بر اساس رابطه (۴۳) معیارها را رتبه‌بندی کرد [۲۷، ۲۸]. \hat{W}'_1 و \hat{W}'_2 وزن‌های راف-فازی هستند، داریم:



$$\widehat{W}_1 = ([w_{1l}^L, w_{1l}^U], [w_{1m}^L, w_{1m}^U], [w_{1u}^L, w_{1u}^U]) \quad (43)$$

$$\widehat{W}_2 = ([w_{2l}^L, w_{2l}^U], [w_{2m}^L, w_{2m}^U], [w_{2u}^L, w_{2u}^U])$$

$$W_1^\Sigma = \frac{w_{1l}^L + w_{1l}^U + w_{1m}^L + w_{1m}^U + w_{1u}^L + w_{1u}^U}{6}$$

$$W_2^\Sigma = \frac{w_{2l}^L + w_{2l}^U + w_{2m}^L + w_{2m}^U + w_{2u}^L + w_{2u}^U}{6}$$

اگر $W_1^\Sigma < W_2^\Sigma$ ، پس $\widehat{W}_1 < \widehat{W}_2$ می‌باشد.

۳-۴- تکنیک واسپاس راف-فازی

روش واسپاس^۴ یکی از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط زاوادسکاس و همکاران در سال ۲۰۱۲ رایج شد. این روش، ترکیبی از دو مدل WSM (مدل مجموع وزنی) و WPM (مدل ضرب وزنی) است. این مدل می‌تواند در مسائل پیچیده تصمیم‌گیری کارایی زیادی داشته باشد و همچنین نتایج حاصل از این مدل از دقت بالایی برخوردار است. با توجه به ابهام و عدم قطعیت در نظرات خبرگان، ترسکیس و همکاران در سال ۲۰۱۵ تکنیک واسپاس فازی را رایج دادند که تقریباً مشابه روش واسپاس است و در محیط فازی پیاده‌سازی شده است [۲۹]. سرماک و همکاران نیز در سال ۲۰۱۸ برای مقابله با ابهامات روش واسپاس را با اعداد راف تلفیق کردند [۳۰]. در این بخش یک نسخه توسعه‌یافته از روش واسپاس یعنی روش واسپاس مبتنی بر اعداد راف-فازی معرفی می‌شود که می‌تواند در محیط تصمیم‌گیری مبهم و عدم قطعیت اعمال شود. مراحل روش واسپاس راف-فازی به صورت زیر است.

جدول ۶. واژگان کلامی و مقادیر فازی مثلثی متناظر آن‌ها [۲۸]

متغیر زبانی	خیلی ضعیف (VL)	ضعیف (L)	تقریباً ضعیف (ML)	متوسط (M)	تقریباً خوب (MH)	خوب (H)	خیلی خوب (VH)
اعداد فازی مثلثی	(۰، ۰، ۱)	(۰، ۱، ۳)	(۱، ۳، ۵)	(۳، ۵، ۷)	(۵، ۷، ۹)	(۷، ۹، ۱۰)	(۹، ۱۰، ۱۰)

گام اول: ساخت ماتریس تصمیم راف-فازی؛ در ابتدا تیمی متشکل از e کارشناس برای ارزیابی گزینه‌ها بر اساس همه معیارها تشکیل می‌شود. سپس صاحب‌های تخصصی صورت می‌گیرد و از تصمیم‌گیرندگان خواسته می‌شود ارزیابی‌های مستقل خود را در مورد



گزینه‌های ارزیابی با توجه به معیارهای ارزیابی با استفاده از متغیرهای کلامی فازی مندرج در جدول ۵ ارایه کنند.

ماتریس تصمیم‌گیری فازی e امین کارشناس به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\tilde{D}^e = \begin{bmatrix} \tilde{f}_{11}^e & \tilde{f}_{12}^e & \dots & \tilde{f}_{1p}^e \\ \tilde{f}_{21}^e & \tilde{f}_{22}^e & \dots & \tilde{f}_{2p}^e \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{f}_{q1}^e & \tilde{f}_{q2}^e & \dots & \tilde{f}_{qp}^e \end{bmatrix} \quad (44)$$

که $\tilde{f}_{ij}^e = (f_{ijl}^e, f_{ijm}^e, f_{iju}^e)$ ($1 \leq j \leq p$ و $1 \leq i \leq q$) مقدار ارزیابی گزینه i برای معیار j توسط کارشناس e را نشان می‌دهد. این ماتریس از p معیار و q گزینه تشکیل می‌شود. سپس همه ماتریس‌های تصمیم‌گیری فازی ادغام می‌شوند و عناصر با استفاده از روابط (۳) تا (۱۵) به اعداد راف-فازی تبدیل می‌شوند. در ادامه یک ماتریس تصمیم راف-فازی به صورت رابطه (۴۵) ساخته می‌شود که f_{ijl}^L ، f_{ijm}^L و f_{iju}^L ($1 \leq j \leq p$ و $1 \leq i \leq q$) به ترتیب حدود پایین \tilde{f}_{ijl} ، \tilde{f}_{ijm} و \tilde{f}_{iju} هستند، همچنین f_{ijl}^U و f_{ijm}^U و f_{iju}^U به ترتیب حدود بالای \tilde{f}_{ijl} ، \tilde{f}_{ijm} و \tilde{f}_{iju} هستند.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} ([f_{11l}^L, f_{11u}^U], [f_{11m}^L, f_{11m}^U], [f_{11l}^L, f_{11u}^U]) & \dots & ([f_{1pl}^L, f_{1pu}^U], [f_{1pm}^L, f_{1pm}^U], [f_{1pl}^L, f_{1pu}^U]) \\ ([f_{21l}^L, f_{21u}^U], [f_{21m}^L, f_{21m}^U], [f_{21l}^L, f_{21u}^U]) & \dots & ([f_{2pl}^L, f_{2pu}^U], [f_{2pm}^L, f_{2pm}^U], [f_{2pl}^L, f_{2pu}^U]) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ([f_{q1l}^L, f_{q1u}^U], [f_{q1m}^L, f_{q1m}^U], [f_{q1l}^L, f_{q1u}^U]) & \dots & ([f_{qpl}^L, f_{qpu}^U], [f_{qpm}^L, f_{qpm}^U], [f_{qpl}^L, f_{qpu}^U]) \end{bmatrix} \quad (45)$$

گام دوم: نرمال سازی ماتریس تصمیم؛ در این مرحله ماتریس تصمیم راف-فازی نرمال از روابط زیر محاسبه می‌شود [۳۳، ۳۶].

$$\hat{r}_{ij} = \left(\left[\frac{f_{ijl}^L}{f_j^*}, \frac{f_{iju}^U}{f_j^*} \right], \left[\frac{f_{ijm}^L}{f_j^*}, \frac{f_{ijm}^U}{f_j^*} \right], \left[\frac{f_{ijl}^L}{f_j^*}, \frac{f_{iju}^U}{f_j^*} \right] \right), j \in B \quad (46)$$

$$\hat{r}_{ij} = \left(\left[\frac{f_j^-}{f_{iju}^U}, \frac{f_j^-}{f_{iju}^L} \right], \left[\frac{f_j^-}{f_{ijm}^U}, \frac{f_j^-}{f_{ijm}^L} \right], \left[\frac{f_j^-}{f_{ijl}^U}, \frac{f_j^-}{f_{ijl}^L} \right] \right), j \in C \quad (47)$$

که در این روابط B معیار سود (جنبه مثبت) و C معیار معیار هزینه (جنبه منفی) هستند و همچنین داریم:

$$f_j^* = \max_i f_{iju}^U, j \in B \quad (48)$$



$$f_j^- = \min_i f_{ij}^L, j \in C \quad (49)$$

بنابراین، ماتریس تصمیم راف فازی بی مقیاس $\hat{R} = [\hat{r}_{ij}]_{q \times p}$ به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\hat{R} = \begin{bmatrix} ([r_{i1}^L, r_{i1}^U], [r_{i2}^L, r_{i2}^U], [r_{i3}^L, r_{i3}^U]) & \dots & ([r_{ip}^L, r_{ip}^U], [r_{ipm}^L, r_{ipm}^U], [r_{ipu}^L, r_{ipu}^U]) \\ ([r_{i2}^L, r_{i2}^U], [r_{i3}^L, r_{i3}^U], [r_{i4}^L, r_{i4}^U]) & \dots & ([r_{ip}^L, r_{ip}^U], [r_{ipm}^L, r_{ipm}^U], [r_{ipu}^L, r_{ipu}^U]) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ([r_{iq}^L, r_{iq}^U], [r_{qm}^L, r_{qm}^U], [r_{qu}^L, r_{qu}^U]) & \dots & ([r_{qp}^L, r_{qp}^U], [r_{qpm}^L, r_{qpm}^U], [r_{qpu}^L, r_{qpu}^U]) \end{bmatrix} \quad (50)$$

گام سوم: محاسبه مدل مجموع وزنی (WSM) و مدل ضرب وزنی (WPM)؛ بر اساس وزن نهایی معیارهای بدست آمده از تحلیل سلسه مراتبی راف- فازی، مدل مجموع وزنی (\hat{Q}_i) و مدل ضرب وزنی (\hat{P}_i) به شرح زیر محاسبه خواهد شد.

$$\hat{Q}_i = ([q_{i1}^L, q_{i1}^U], [q_{im}^L, q_{im}^U], [q_{iu}^L, q_{iu}^U]) \quad (51)$$

$$\begin{aligned} & \left(\begin{bmatrix} \sum_{j=1}^p r_{ijl}^L \times w_{jl}^L, \sum_{j=1}^p r_{ijl}^U \times w_{jl}^U \\ \sum_{j=1}^p r_{ijm}^L \times w_{jm}^L, \sum_{j=1}^p r_{ijm}^U \times w_{jm}^U \\ \sum_{j=1}^p r_{iju}^L \times w_{ju}^L, \sum_{j=1}^p r_{iju}^U \times w_{ju}^U \end{bmatrix} \right) \\ & = \left(\begin{bmatrix} \sum_{j=1}^p r_{ijl}^L \times w_{jl}^L, \sum_{j=1}^p r_{ijl}^U \times w_{jl}^U \\ \sum_{j=1}^p r_{ijm}^L \times w_{jm}^L, \sum_{j=1}^p r_{ijm}^U \times w_{jm}^U \\ \sum_{j=1}^p r_{iju}^L \times w_{ju}^L, \sum_{j=1}^p r_{iju}^U \times w_{ju}^U \end{bmatrix} \right) \\ & \hat{P}_i = ([p_{i1}^L, p_{i1}^U], [p_{im}^L, p_{im}^U], [p_{iu}^L, p_{iu}^U]) = \left(\begin{bmatrix} \prod_{j=1}^p (r_{ijl}^L)^{w_{jl}^L}, \prod_{j=1}^p (r_{ijl}^U)^{w_{jl}^U} \\ \prod_{j=1}^p (r_{ijm}^L)^{w_{jm}^L}, \prod_{j=1}^p (r_{ijm}^U)^{w_{jm}^U} \\ \prod_{j=1}^p (r_{iju}^L)^{w_{ju}^L}, \prod_{j=1}^p (r_{iju}^U)^{w_{ju}^U} \end{bmatrix} \right) \quad (52) \end{aligned}$$

گام چهارم: محاسبه مقدار امتیاز هر گزینه \hat{K}_i ؛ مقدار امتیاز هر گزینه با استفاده از رابطه (55) محاسبه می‌شود. λ می‌تواند مقادیری بین ۰، ۱/۸، ۰، ۱/۲، ۰، و ۱ را دریافت کند. اگر مقدار λ صفر باشد، مدل واسپاس به مدل WPM (ضرب وزنی) تبدیل می‌شود و اگر λ مقدار



یک را دریافت کند، مدل واسپاس به مدل WSM (مجموع وزنی) تبدیل می‌شود. در این پژوهش برای λ مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

$$\bar{K}_i = \lambda \times \hat{Q}_i + (1 - \lambda) \times \hat{P}_i \quad (53)$$

با توجه به اینکه مقادیر \bar{K}_i هر گزینه یک عدد راف-فازی است، بنابراین گزینه‌ها بر اساس مقدار میانگین اعداد راف-فازی رابطه (۵۴) رتبه‌بندی می‌شوند؛ به عبارت دیگر، گزینه با مقادیر \bar{K}_i بیشتر در اولویت قرار می‌گیرد [۲۷، ۲۸].

$$\begin{aligned} \bar{K}_1 &= ([k_{1l}^L, k_{1l}^U], [k_{1m}^L, k_{1m}^U], [k_{1u}^L, k_{1u}^U]) \\ \bar{K}_2 &= ([k_{2l}^L, k_{2l}^U], [k_{2m}^L, k_{2m}^U], [k_{2u}^L, k_{2u}^U]) \\ K_1^\Sigma &= \frac{k_{1l}^L + k_{1l}^U + k_{1m}^L + k_{1m}^U + k_{1u}^L + k_{1u}^U}{6} \\ K_2^\Sigma &= \frac{k_{2l}^L + k_{2l}^U + k_{2m}^L + k_{2m}^U + k_{2u}^L + k_{2u}^U}{6} \end{aligned} \quad (54)$$

اگر $K_1^\Sigma < K_2^\Sigma$ ، پس $\bar{K}_1 < \bar{K}_2$ است.

۴- مطالعه موردی

در این پژوهش به منظور تشریح رویکرد پیشنهادی یک مورد واقعی در شرکت گاز استان کردستان صورت گرفت و سه مرحله رویکرد پیشنهادی برای این مورد اجرا گردید. شرکت گاز استان کردستان یکی از شرکت‌های عملیاتی و خدماتی زیرمجموعه وزارت نفت است که از سال ۱۳۷۷ به‌عنوان یک شرکت مستقل (سهامی خاص) به‌منظور ارائه خدمات گازرسانی متناسب با نیازها و انتظارات مشترکین گاز طبیعی فعالیت خود را آغاز نمود. قوانین حاکم بر جوامع مانند استفاده از مواد سازگار با محیط زیست، کاهش استفاده از انرژی و به‌دنبال آن کاهش آلودگی محیط‌زیست، شرکت گاز استان کردستان را برای اخذ استانداردهای زیست‌محیطی با مسائل مربوط به مدیریت زنجیره تأمین پایدار رو به‌رو کرده است. از این‌رو انتخاب تأمین‌کنندگانی که از معیارهای پایداری پیروی می‌کنند از اهمیت بسزایی برخوردار است.

۴-۱- شناسایی معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار با استفاده از روش دلفی

فازی

به‌منظور تأیید معیارهای ارزیابی پایداری تأمین‌کنندگان، ۱۴ معیار با استفاده از مرور مقالات استخراج شد. سپس با استفاده از پرسشنامه روش دلفی فازی از خبرگان (کمیته ارزیابی



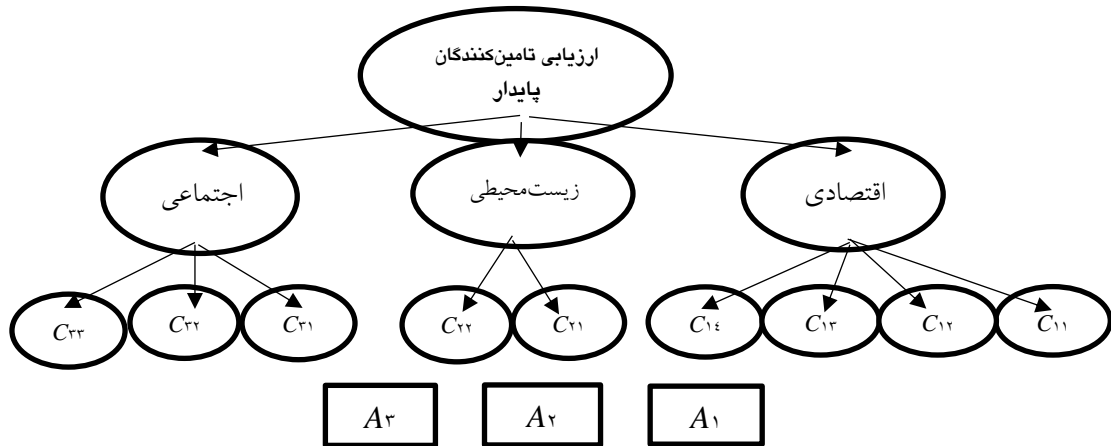
تامین‌کنندگان) شرکت گاز استان کردستان که مشتمل بر ۵ نفر (معاون بهره‌برداری، رئیس بهره‌برداری شهرستان‌ها، رئیس اجرای طرح‌ها، رئیس بازرسی فنی و رئیس بهینه‌سازی مصرف انرژی) هستند، دعوت به عمل آمد تا طبق متغیرهای زبانی روش دلفی فازی به سوالات پاسخ دهند. مطابق با مراحل این روش، ۹ معیار به‌عنوان معیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان پایدار مورد تایید قرار گرفت که در جدول ۶ نتایج، کد و ماهیت معیارهای تایید شده بیان شده است.

۴-۲- وزن‌دهی معیارها با استفاده تحلیل سلسله مراتبی راف-فازی

در این بخش با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی راف-فازی وزن هر یک از معیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان پایدار محاسبه می‌شود.

جدول ۷. نتایج دلفی فازی

معیار	زیرمعیار	میانگین فازی	امتیاز قطعی	وضعیت	کد معیار	ماهیت معیار
اقتصادی	قیمت	(۰/۶۰/۸۵ و ۰/۹۵)	۰/۸	تایید	C _{۱۱}	هزینه
	کیفیت	(۰/۶۰/۸۵ و ۰/۹۵)	۰/۸	تایید	C _{۱۲}	سود
	تحويل	(۰/۳۵ و ۰/۶۰/۸۵)	۰/۶	تایید	C _{۱۳}	سود
	انعطاف‌پذیری	(۰/۲۵ و ۰/۴۵ و ۰/۷)	۰/۴۶۷	رد	-	-
	توان فنی‌ومالی	(۰/۴۵ و ۰/۷ و ۰/۹۵)	۰/۷	تایید	C _{۱۴}	سود
زیست‌محیطی	سیستم مدیریت	(۰/۳۵ و ۰/۵ و ۰/۷)	۰/۵۱۷	تایید	C _{۲۱}	سود
	زیست‌محیطی	(۰/۳۵ و ۰/۶ و ۰/۲)	۰/۳۸۳	رد	-	-
	طراحی سبز	(۰/۲۵ و ۰/۴۵ و ۰/۷)	۰/۴۶۷	رد	-	-
	کنترل آلودگی	(۰/۳۵ و ۰/۵ و ۰/۶۵)	۰/۵	تایید	C _{۲۲}	سود
اجتماعی	سلامت و بهداشت حرفه‌ای	(۰/۳۵ و ۰/۵۵ و ۰/۷۵)	۰/۵۵	تایید	C _{۳۱}	سود
	حق و رفاه کارکنان	(۰/۳ و ۰/۵ و ۰/۷۵)	۰/۵۱۷	تایید	C _{۳۲}	سود
	تاثیر جوامع محلی	(۰/۲ و ۰/۴ و ۰/۶۵)	۰/۴۱۷	رد	-	-
	افشای اطلاعات	(۰/۲ و ۰/۳۵ و ۰/۶)	۰/۳۸۳	رد	-	-
	آموزش و توسعه جامعه	(۰/۴ و ۰/۶ و ۰/۸۵)	۰/۶۱۷	تایید	C _{۳۳}	سود



شکل ۲. ساختار سلسه مراتبی مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار

جدول ۸. نظرات انفرادی در قالب ماتریس مقایسات زوجی فازی

	DM ₁													DM ₂														
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₂₁	C ₂₂	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₂₁	C ₂₂	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄		
C ₁	1	δ ⁻¹	τ											1	δ ⁻¹	τ												
C ₂	δ	1	ν											δ	1	ν												
C ₃	τ ⁻¹	ν ⁻¹	1											τ ⁻¹	ν ⁻¹	1												
C ₁₁				1	δ ⁻¹	τ	φ										1	δ	δ	φ								
C ₁₂				δ	1	ν	ν										δ ⁻¹	1	τ	φ ⁻¹								
C ₁₃				τ ⁻¹	ν ⁻¹	1	φ										δ ⁻¹	τ ⁻¹	1	φ ⁻¹								
C ₁₄				φ ⁻¹	ν ⁻¹	φ ⁻¹	1										φ ⁻¹	φ	φ	1								
C ₂₁								1	ν ⁻¹												1	ν ⁻¹						
C ₂₂								ν	1												ν	1						
C ₃₁										1	τ	φ										1	τ	δ				
C ₃₂										τ ⁻¹	1	φ										τ ⁻¹	1	δ				
C ₃₃										φ ⁻¹	φ ⁻¹	1										δ ⁻¹	δ ⁻¹	1				

جدول ۹. ماتریس مقایسات ادغام شده برای زیر معیار اجتماعی

	C ₁₁	C ₂₂	C ₃₃
C ₁₁	1	τ, τ, φ ⁻¹ , φ ⁻¹ , τ	φ, φ, τ, τ, δ
C ₂₂	τ ⁻¹ , τ ⁻¹ , φ, φ, τ ⁻¹	1	φ, φ, φ, φ, δ
C ₃₃	φ ⁻¹ , φ ⁻¹ , τ ⁻¹ , τ ⁻¹ , δ ⁻¹	φ ⁻¹ , φ ⁻¹ , φ ⁻¹ , φ ⁻¹ , δ ⁻¹	1



گام اول: ساخت یک ساختار سلسله مراتبی؛ پس از تایید معیارها و شناسایی گزینه‌های مسئله یک ساختار سلسله مراتبی برای ارزیابی تامین‌کنندگان پایدار به صورت شکل ۲ ایجاد شد.

گام دوم: خبرگان، مقایسات زوجی معیارها را برای تعیین اهمیت آن‌ها انجام دادند. طبق رابطه (۲۷) جدول ۷ ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی نظرات انفرادی خبرگان را نشان می‌دهد. جهت اطمینان از نتایج ماتریس مقایسه‌های زوجی، سازگاری این ماتریس‌ها با استفاده از روابط (۲۸)، (۲۹) و جدول ۴ مورد بررسی قرار گرفت، که همگی کمتر از ۰/۱ بوده و سازگار بودن پرسشنامه‌های تکمیل شده را نشان می‌دهد.

گام سوم: براساس رابطه (۳۰) ماتریس مقایسات یکپارچه (ادغام شده) با ترکیب پنج ماتریس مقایسات انفرادی ساخته شد. به‌عنوان نمونه ماتریس ادغام شده زیرمعیارهای بعد اجتماعی در جدول ۸ آورده شده است.

گام چهارم: هر یک از عناصر ماتریس‌های مقایسات زوجی یکپارچه به اعداد راف-فازی تبدیل گردید و ماتریس مقایسات زوجی راف-فازی ساخته شد. برای مثال در جدول ۸ مولفه $\{\tilde{x}_{r,r}^1, \tilde{x}_{r,r}^2, \tilde{x}_{r,r}^3, \tilde{x}_{r,r}^4, \tilde{x}_{r,r}^5\}$ را در نظر بگیرید، که حاوی قضاوت‌های پنج خبره براساس واژگان کلامی و مقادیر فازی مثلثی تعریف شده در جدول ۳ است.

$$\tilde{x}_{r,r}^1 = \tilde{x}_{r,r}^2 = \tilde{x}_{r,r}^3 = \tilde{x}_{r,r}^4 = \tilde{x} = (1, 3, 5)$$

$$\tilde{x}_{r,r}^5 = \tilde{\delta} = (3, 5, 7)$$

با استفاده از روابط (۳) تا (۱۴) داریم:

$$\begin{aligned} \underline{Lim}(\tilde{x}_l) &= \frac{1}{4} \times (1+1+1+1) = 1 & \overline{Lim}(\tilde{x}_l) &= \frac{1}{5} \times (1+1+1+1+3) = 1/4 \\ \underline{Lim}(\tilde{x}_m) &= \frac{1}{4} \times (3+3+3+3) = 3 & \overline{Lim}(\tilde{x}_m) &= \frac{1}{5} \times (3+3+3+3+5) = 3/4 \\ \underline{Lim}(\tilde{x}_u) &= \frac{1}{4} \times (5+5+5+5) = 5 & \overline{Lim}(\tilde{x}_u) &= \frac{1}{5} \times (5+5+5+5+7) = 5/4 \end{aligned}$$

سپس $\tilde{x}_{r,r}^1$ طبق رابطه (۱۵) به یک عدد راف-فازی تبدیل می‌شود، پس خواهیم داشت:

$$FRN(\tilde{x}_{r,r}^1) = FRN(\tilde{x}_{r,r}^2) = FRN(\tilde{x}_{r,r}^3) = FRN(\tilde{x}_{r,r}^4) = FRN(\tilde{x}) = ([1, 1/4], [3, 3/4], [5, 5/4])$$

به‌طور مشابه، $\tilde{x}_{r,r}^5$ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$FRN(\tilde{x}_{r,r}^5) = FRN(\tilde{\delta}) = ([1/4, 3], [3/4, 5], [5/4, 7])$$

در نهایت، $\tilde{x}_{r,r}^1$ را می‌توان با استفاده از روابط (۳۳) تا (۳۹) محاسبه کرد:

$$x_{r,r}^L = (1 + 1 + 1 + 1 + 1/4) / 5 = 1/0.8 \quad x_{r,r}^U = (1/4 + 1/4 + 1/4 + 1/4 + 3) / 5 = 1/0.72$$



$$x_{r,rm}^L = (3 + 3 + 3 + 3 + 3/4) / 5 = 3/0.8$$

$$x_{r,rm}^U = (3/4 + 3/4 + 3/4 + 3/4 + 5) / 5 = 3/0.72$$

$$x_{r,ru}^L = (5 + 5 + 5 + 5 + 5/4) / 5 = 5/0.8$$

$$x_{r,ru}^U = (5/4 + 5/4 + 5/4 + 5/4 + 7) / 5 = 5/0.72$$

$$FRN(\tilde{x}_{r,r}) = ([1/0.8, 1/0.72], [3/0.8, 3/0.72], [5/0.8, 5/0.72])$$

جدول ۱۰. ماتریس مقایسه زوجی راف- فازی زیرمعیار اجتماعی

	C_{r1}	C_{r2}	C_{r3}
C_{r1}	([1, 1], [1, 1], [1, 1])	([0.488, 0.872], [0.573, 0.893], [1.72, 2.68])	([1/0.8, 1/0.72], [1/0.72, 3/0.507], [3.72, 5/0.507])
C_{r2}	([0.44, 0.76], [1.32, 2.28], [1.64, 3/0.56])	([1, 1], [1, 1], [1, 1])	([1/0.8, 1/0.72], [3/0.8, 3/0.72], [5/0.8, 5/0.72])
C_{r3}	([0.198, 0.288], [0.385, 0.781], [0.76, 0.973])	([0.179, 0.198], [0.285, 0.328], [0.76, 0.973])	([1, 1], [1, 1], [1, 1])

جدول ۱۱. وزن‌های نرمال و نهایی معیارهای اصلی و فرعی پایداری تأمین‌کننده

معیار	وزن نرمال	وزن نهایی	رتبه‌بندی
C_1	([0.391, 0.615], [0.504, 0.812], [0.666, 1/0.00])	-	۱
C_{11}	([0.281, 0.436], [0.464, 0.738], [0.661, 1/0.00])	([0.110, 0.268], [0.233, 0.599], [0.440, 1/0.00])	۱
C_{12}	([0.205, 0.500], [0.282, 0.716], [0.457, 0.940])	([0.080, 0.307], [0.142, 0.581], [0.305, 0.940])	۳
C_{13}	([0.092, 0.160], [0.150, 0.333], [0.234, 0.447])	([0.036, 0.098], [0.076, 0.270], [0.156, 0.447])	۶
C_{14}	([0.131, 0.215], [0.254, 0.474], [0.424, 0.812])	([0.051, 0.132], [0.128, 0.385], [0.283, 0.812])	۵
C_2	([0.274, 0.528], [0.385, 0.729], [0.521, 0.903])	-	۲
C_{21}	([0.272, 0.513], [0.300, 0.626], [0.443, 0.810])	([0.075, 0.271], [0.116, 0.456], [0.231, 0.831])	۴
C_{22}	([0.395, 0.739], [0.504, 0.887], [0.559, 1/0.00])	([0.108, 0.390], [0.194, 0.647], [0.291, 0.903])	۲
C_3	([0.076, 0.108], [0.111, 0.203], [0.150, 0.235])	-	۳
C_{31}	([0.296, 0.419], [0.364, 0.536], [0.680, 0.898])	([0.022, 0.045], [0.040, 0.109], [0.102, 0.211])	۸
C_{32}	([0.286, 0.400], [0.584, 0.747], [0.742, 1/0.00])	([0.022, 0.043], [0.065, 0.152], [0.111, 0.235])	۷
C_{33}	([0.120, 0.141], [0.175, 0.233], [0.305, 0.360])	([0.009, 0.015], [0.019, 0.047], [0.046, 0.085])	۹



در نتیجه، دنباله فازی $\tilde{X}_{۲,۳}$ در ماتریس مقایسات زوجی یکپارچه به عدد راف-فازی تبدیل می‌شود. پس از تبدیل سایر عناصر به عدد راف-فازی، بر اساس رابطه (۴۰) ماتریس‌های مقایسات زوجی راف-فازی ساخته می‌شود. به‌عنوان نمونه جدول ۹ ماتریس مقایسه زوجی راف-فازی زیرمعیار اجتماعی را نشان می‌دهد. در نهایت به‌صورت مشابه برای سایر مقایسات زوجی، ماتریس مقایسه زوجی راف-فازی ساخته می‌شود.

جدول ۱۲. ماتریس فازی یکپارچه (ادغام شده) نظرات خبرگان

	A _۱	A _۲	A _۳
C _{۱۱}	M, MH, MH, M, M	ML, M, ML, ML, ML	VL, L, L, L, ML
C _{۱۲}	VH, M, M, M, MH	VH, H, H, VH, H	VH, VH, VH, VH, H
C _{۱۳}	MH, M, M, M, MH	MH, M, M, M, MH	VH, M, M, M, H
C _{۱۴}	MH, MH, MH, M, M	MH, MH, MH, MH, M	MH, VH, VH, VH, MH
C _{۲۱}	M, M, MH, MH, M	MH, M, M, M, MH	MH, MH, M, M, MH
C _{۲۲}	ML, L, ML, L, L	L, ML, ML, L, L	ML, L, L, ML, ML
C _{۲۱}	L, M, L, M, ML	ML, M, M, ML, M	M, MH, M, MH, MH
C _{۲۲}	ML, ML, ML, ML, L	L, M, M, ML, ML	MH, M, MH, M, ML
C _{۲۳}	L, ML, L, ML, ML	ML, M, ML, M, M	M, MH, M, M, MH

گام پنجم: براساس ماتریس‌های مقایسات زوجی راف-فازی با استفاده از رابطه‌های (۴۱) و (۴۲) وزن نرمال شده هر معیار تعیین گردید. از حاصل ضرب وزن نرمال معیار اصلی در وزن نرمال هر زیرمعیار (طبق رابطه (۲۴)) وزن نهایی هر یک از معیارهای پایداری در ابعاد سه‌گانه به‌دست آمد. در ادامه به‌منظور رتبه‌بندی وزن معیارها از رابطه (۴۳) استفاده شد. در جدول ۱۰ وزن‌های نهایی هر یک از معیارها و زیرمعیارها نشان داده شده است.

۳-۴- ارزیابی تامین‌کنندگان پایدار با استفاده از تکنیک واسپاس راف-فازی

در این بخش سه تامین‌کننده مواد اولیه شرکت گاز استان کردستان با استفاده از تکنیک واسپاس راف - فازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. به‌دلیل رعایت اصول اخلاقی از ذکر اسامی آن‌ها معذوریم و صرفاً از نمادهای $A_۱$ ، $A_۲$ و $A_۳$ برای معرفی تامین‌کنندگان استفاده می‌کنیم.

گام اول: ابتدا خبرگان، گزینه‌ها را با استفاده از متغیرهای زبانی مندرج در جدول ۵ امتیازدهی کردند. براساس رابطه (۴۴) ماتریس انفرادی هریک از خبرگان ساخته شد. سپس همان‌گونه که در جدول ۱۱ نشان داده شده است، تمام ماتریس‌های تصمیم انفرادی با هم ادغام شده و



عناصر با استفاده از روابط (۳) الی (۱۵) به اعداد راف-فازی تبدیل شدند. در نهایت بر اساس رابطه (۴۵) ماتریس تصمیم راف-فازی ساخته شد. در جدول ۱۲ ماتریس تصمیم راف-فازی قابل مشاهده است.

جدول ۱۳. ماتریس تصمیم راف-فازی

	A ₁	A ₂	A ₃
C ₁₁	([۳/۳۲, ۴/۲۸], [۵/۳۲, ۶/۲۸], [۷/۳۲, ۸/۲۸])	([۱/۰۸, ۱/۷۲], [۳/۰۸, ۳/۷۲], [۵/۰۸, ۵/۷۲])	([۰/۰۴, ۰/۳۶], [۰/۶۹, ۱/۷۴], [۲/۳۰, ۳/۷۰])
C ₁₂	([۳/۴۲, ۵/۹۶], [۵/۳۸, ۷/۵۴], [۷/۳۰, ۸/۷۰])	([۷/۳۲, ۸/۲۸], [۹/۱۶, ۹/۶۴], [۱۰, ۱۰])	([۸/۲۸, ۸/۹۲], [۹/۶۴, ۹/۹۶], [۱۰, ۱۰])
C ₁₃	([۳/۳۲, ۴/۲۸], [۵/۳۲, ۶/۲۸], [۷/۳۲, ۸/۲۸])	([۳/۳۲, ۴/۲۸], [۵/۳۲, ۶/۲۸], [۷/۳۲, ۸/۲۸])	([۳/۶۰, ۶/۴۰], [۵/۵۶, ۷/۹۸], [۷/۴۸, ۸/۹۲])
C ₁₄	([۳/۷۲, ۴/۶۸], [۵/۷۲, ۶/۶۸], [۷/۷۲, ۸/۶۸])	([۴/۲۸, ۴/۹۲], [۶/۲۸, ۶/۹۲], [۸/۲۸, ۸/۹۲])	([۶/۴۴, ۸/۳۶], [۸/۰۸, ۹/۵۲], [۹/۳۶, ۹/۸۴])
C ₂₁	([۳/۳۲, ۴/۲۸], [۵/۳۲, ۶/۲۸], [۷/۳۲, ۸/۲۸])	([۳/۳۲, ۴/۲۸], [۵/۳۲, ۶/۲۸], [۷/۳۲, ۸/۲۸])	([۳/۷۲, ۴/۶۸], [۵/۷۲, ۶/۶۸], [۷/۷۲, ۸/۶۸])
C ₂₂	([۰/۱۶, ۰/۶۴], [۱/۳۲, ۲/۲۸], [۳/۳۲, ۴/۲۸])	([۰/۱۶, ۰/۶۴], [۱/۳۲, ۲/۲۸], [۳/۳۲, ۴/۲۸])	([۰/۳۶, ۰/۸۴], [۱/۷۲, ۲/۶۸], [۳/۷۲, ۴/۶۸])
C ₂₃	([۰/۶۳, ۲/۲۳], [۱/۹۳, ۴/۰۷], [۳/۹۳, ۶/۰۷])	([۱/۷۲, ۲/۶۸], [۳/۷۲, ۴/۶۸], [۵/۷۲, ۶/۶۸])	([۳/۷۲, ۴/۶۸], [۵/۷۲, ۶/۶۸], [۷/۷۲, ۸/۶۸])
C ₃₂	([۰/۶۴, ۰/۹۶], [۲/۲۸, ۲/۹۲], [۴/۲۸, ۴/۹۲])	([۰/۹۱, ۲/۳۲], [۲/۴۹, ۴/۲۸], [۴/۴۹, ۶/۲۸])	([۲/۴۹, ۴/۲۸], [۴/۴۹, ۶/۲۸], [۶/۴۹, ۸/۲۸])
C ₃₃	([۰/۳۶, ۰/۸۴], [۱/۷۲, ۲/۶۸], [۳/۷۲, ۴/۶۸])	([۱/۷۲, ۲/۶۸], [۳/۷۲, ۴/۶۸], [۵/۷۲, ۶/۶۸])	([۳/۳۲, ۴/۲۸], [۵/۳۲, ۶/۲۸], [۷/۳۲, ۸/۲۸])

جدول ۱۴. ماتریس تصمیم نرمال شده تصمیم راف-فازی

A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
C ₁₁	([۰, ۰/۰۱], [۰/۰۱, ۰/۰۱], [۰/۰۱, ۰/۰۱])	([۰/۰۱, ۰/۰۱], [۰/۰۱, ۰/۰۱], [۰/۰۲, ۰/۰۴])	([۰/۰۱, ۰/۰۲], [۰/۰۲, ۰/۰۶], [۰/۱۱, ۱/۰۰])
C ₁₂	([۰/۳۴, ۰/۶۰], [۰/۵۴, ۰/۷۵], [۰/۷۳, ۰/۸۷])	([۰/۷۳, ۰/۸۳], [۰/۹۲, ۰/۹۶], [۱/۰۰, ۱/۰۰])	([۰/۸۳, ۰/۸۹], [۰/۹۶, ۱/۰۰], [۱/۰۰, ۱/۰۰])
C ₁₃	([۰/۳۷, ۰/۴۸], [۰/۶۰, ۰/۷۰], [۰/۸۲, ۰/۹۳])	([۰/۳۷, ۰/۴۸], [۰/۶۰, ۰/۷۰], [۰/۸۲, ۰/۹۳])	([۰/۴۰, ۰/۷۲], [۰/۶۲, ۰/۸۹], [۰/۸۴, ۱/۰۰])
C ₁₄	([۰/۳۸, ۰/۴۸], [۰/۵۸, ۰/۶۸], [۰/۷۸, ۰/۸۸])	([۰/۴۳, ۰/۵۰], [۰/۶۴, ۰/۷۰], [۰/۸۴, ۰/۹۱])	([۰/۶۵, ۰/۸۵], [۰/۸۲, ۰/۹۷], [۰/۹۵, ۱/۰۰])
C ₂₁	([۰/۳۸, ۰/۴۹], [۰/۶۱, ۰/۷۲], [۰/۸۴, ۰/۹۵])	([۰/۳۸, ۰/۴۹], [۰/۶۱, ۰/۷۲], [۰/۸۴, ۰/۹۵])	([۰/۴۳, ۰/۵۴], [۰/۶۶, ۰/۷۷], [۰/۸۹, ۱/۰۰])
C ₂₂	([۰/۰۳, ۰/۱۴], [۰/۲۸, ۰/۴۹], [۰/۷۱, ۰/۹۱])	([۰/۰۳, ۰/۱۴], [۰/۲۸, ۰/۴۹], [۰/۷۱, ۰/۹۱])	([۰/۰۸, ۰/۱۸], [۰/۳۷, ۰/۵۷], [۰/۷۹, ۱/۰۰])
C ₂₃	([۰/۰۷, ۰/۲۶], [۰/۲۲, ۰/۴۷], [۰/۴۵, ۰/۷۰])	([۰/۲۰, ۰/۳۱], [۰/۴۳, ۰/۵۴], [۰/۶۶, ۰/۷۷])	([۰/۴۳, ۰/۵۴], [۰/۶۶, ۰/۷۷], [۰/۸۹, ۱/۰۰])
C ₃₂	([۰/۰۸, ۰/۱۲], [۰/۲۸, ۰/۳۵], [۰/۵۲, ۰/۵۹])	([۰/۱۱, ۰/۲۸], [۰/۳۰, ۰/۵۲], [۰/۵۴, ۰/۷۶])	([۰/۳۰, ۰/۵۲], [۰/۵۴, ۰/۷۶], [۰/۷۸, ۱/۰۰])
C ₃₃	([۰/۰۴, ۰/۱۰], [۰/۲۱, ۰/۳۲], [۰/۴۵, ۰/۵۷])	([۰/۲۱, ۰/۳۲], [۰/۴۵, ۰/۵۷], [۰/۶۹, ۰/۸۱])	([۰/۴۰, ۰/۵۲], [۰/۶۴, ۰/۷۶], [۰/۸۸, ۱/۰۰])

گام دوم: ماتریس تصمیم راف-فازی بر اساس روابط (۴۶) تا (۴۹) نرمال‌سازی گردید که نتایج آن در جدول ۱۳ قابل مشاهده است.

گام سوم: مقادیر مدل WSM (جمع وزنی) یا (\hat{Q}_i) و مدل WPS (ضرب وزنی) یا (\hat{P}_i) برای هر یک از گزینه‌ها با استفاده از روابط (۵۱) و (۵۲) محاسبه شد که نتایج آن در جداول ۱۴ و



۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۵. محاسبه مقادیر مدل WSM (جمع وزنی راف-فازی) هر گزینه

\hat{Q}_i	
A_1	$([0/096, 0/503], [0/355, 1/657], [1/101, 3/721])$
A_2	$([0/135, 0/589], [0/431, 1/832], [1/239, 3/970])$
A_3	$([0/176, 0/732], [0/515, 2/186], [1/407, 5/264])$

جدول ۱۶. محاسبه مقادیر مدل WPS (ضرب وزنی راف-فازی) هر گزینه

\hat{P}_i	
A_1	$([0/024, [0/007, 0/226], [0/194, 0/569])$
A_2	$([0/032, [0/011, 0/245], [0/267, 0/678])$
A_3	$([0/007, [0/028, 0/431], [0/470, 1])$

گام چهارم: امتیاز هر گزینه (\hat{R}_i) هر گزینه طبق رابطه (۵۳) محاسبه گردید. سپس گزینه‌ها بر اساس رابطه (۵۴) رتبه‌بندی شدند که مقادیر آن در جدول ۱۶ قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد تامین‌کننده A_3 با بیشترین امتیاز بهترین گزینه برای تامین کالا و خدمات مورد نیاز شرکت است و تامین‌کنندگان A_1 و A_2 به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند که به صورت $A_3 > A_2 > A_1$ است.

جدول ۱۷. محاسبه امتیاز هر گزینه (\hat{R}_i)

	\hat{R}_i	رتبه‌بندی
A_1	$([0/048, 0/263], [0/181, 0/942], [0/647, 2/145])$	۳
A_2	$([0/068, 0/310], [0/221, 1/039], [0/753, 2/324])$	۲
A_3	$([0/088, 0/401], [0/272, 1/309], [0/938, 3/132])$	۱

۵- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر، پیامدهای مختلفی برای مدیران دارد. اغلب ابزارهای فعلی تصمیم‌گیری برای انتخاب تأمین‌کننده، معیارهای پایداری را در زنجیره تأمین در نظر نمی‌گیرند. بی‌توجهی به این



معیارها می‌تواند خسارات زیادی را به شرکت‌ها وارد کند. در کل، استفاده از رویکرد پیشنهادی، انتخاب تأمین‌کننده را شفاف‌تر می‌کند و به شرکت‌ها کمک می‌کند تا خطرات ناشی از ریسک‌های مربوط به تأمین‌کنندگان را به حداقل برسانند. این مقاله مدلی جامع برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار ارائه می‌دهد تا بتواند سهمی در پوشش این شکاف داشته باشد.

انتخاب تأمین‌کننده پایدار یکی از مهمترین فعالیتهای حیاتی شرکت‌ها در زنجیره تأمین پایدار است. معمولاً در انتخاب تأمین‌کننده پایدار تصمیم‌گیری مبهم و ذهنی است. پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان مدل‌ها و تکنیک‌های تصمیم‌گیری مختلفی به منظور تحت کنترل در آوردن عدم قطعیت و دستیابی به نتایج واقعی ارایه شده است. در تحقیق حاضر یک رویکرد ترکیبی روش تحلیل سلسله مراتبی راف-فازی و واسپاس راف-فازی به منظور انتخاب تأمین‌کننده پایدار ارایه شد. جهت بررسی قابلیت رویکرد ارایه شده از یک مطالعه موردی در شرکت گاز استان کردستان استفاده گردید. ابتدا با مرور پژوهش‌های گذشته، ۱۴ معیار در سه دسته معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی شناسایی شد. سپس با استفاده از روش دلفی فازی ۹ معیار پایداری مورد تایید خبرگان قرار گرفت. در مرحله بعد، با استفاده روش تحلیل سلسله مراتبی راف-فازی معیارها وزن‌دهی شدند که زیرمعیارهای قیمت، کنترل آلودگی و کیفیت به ترتیب بیشترین میزان اهمیت را در میان زیرمعیارها به دست آوردند. در مرحله بعد، با استفاده از رویکرد پیشنهادی واسپاس راف-فازی تأمین‌کنندگان رتبه‌بندی شدند که تأمین‌کننده A_4 در رتبه نخست و سایر تأمین‌کنندگان در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. به عنوان تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد از روش‌های دیگر وزن‌دهی نظیر روش بهترین-بدترین راف-فازی به جای روش تحلیل سلسله مراتبی راف-فازی استفاده شود. همچنین به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها نیز از رویکردهای مارکوس و کوپراس راف-فازی استفاده شود. علاوه بر این، روش تولید اعداد راف-فازی نه تنها برای اعداد فازی و متغیرهای زبانی، بلکه برای اعداد بازه‌ای نیز قابل استفاده است که می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

۶- تشکر و قدردانی

مقاله حاضر حاصل بخشی از رساله دکتری است که با حمایت مالی شرکت گاز استان کردستان انجام شده است. بدین وسیله از همکاری صمیمانه کارکنان و مدیران این شرکت کمال تشکر و قدردانی را داریم.



۷- پی‌نوشت‌ها

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| ۱. Rough Set Theory | ۳. Fuzzy Rough Numbers |
| ۲. Fuzzy Preference Programming | ۴. Waspas |

۸- منابع

- [۱] Büyüközkan, G., Çifçi, G., (۲۰۱۲). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, ۳۹(۳), ۳۰۰۰-۳۰۱۱.
- [۲] Mirjani, M., Wahab, M. I. M., Li, K. W., (۲۰۱۳). A multicriteria supplier selection framework with interval - Valued intuitionistic fuzzy assessment. ۱۰th International Conference on Service Systems and Service Management (pp. ۷۳۱-۷۳۶).
- [۳] Chai, J., & Ngai, E. W. T. (۲۰۲۰). Decision-making techniques in supplier selection: Recent accomplishments and what lies ahead. In *Expert Systems with Applications* (Vol. ۱۴۰, p. ۱۱۲۹-۱۱۳۳).
- [۴] Zhu, G.-N., Hu, J., Qi, J., Gu, C.-C., & Peng, Y.-H. (۲۰۱۵). An integrated AHP and VIKOR for design concept evaluation based on rough number. In *Advanced Engineering Informatics* (Vol. ۲۹, Issue ۳, pp. ۴۰۸-۴۱۸). Elsevier BV.
- [۵] Izadyar, M., Toloie Eshlaghy, A., Zahra, M. (۲۰۲۱). Application of system dynamics in assessing sustainability performance of LARG supply chain in the automotive industry. *Management Research in Iran*, ۲۵(۱), ۱-۲۴.
- [۶] Pamucar, D., Torkayesh, A. E., & Biswas, S. (۲۰۲۲). Supplier selection in healthcare supply chain management during the COVID-۱۹ pandemic: a novel fuzzy rough decision-making approach. In *Annals of Operations Research*. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04529-2>.
- [۷] Vahidi, F., Torabi, S. A., & Ramezankhani, M. J. (۲۰۱۸). Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Journal of Cleaner Production*, ۱۷۴, ۱۳۵۱-۱۳۶۵.
- [۸] Bai, C., & Sarksi, J., (۲۰۱۰b). Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies. *International Journal of Production Economics*, ۱۲۴(۱), ۲۵۲-۲۶۴.
- [۹] Jafarnejhad, A., Esmaelian, M., Rabieh, M. (۲۰۲۱). Evaluation and Selection of Supplier in Supply Chain in Case of Single Sourcing with Fuzzy Approach. *Management Research in Iran*, ۱۲(۴), ۱۲۷-۱۵۳.
- [۱۰] Fallahpour, A., Olugu, E. U., Musa, S. N., Wong, K. Y., & Noori, S. (۲۰۱۷). A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 105, ۳۹۱-۴۱۰.



- [۱۱] Song, W., Xu, Z., & Liu, H.-C. (۲۰۱۷). Developing sustainable supplier selection criteria for solar air-conditioner manufacturer: An integrated approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۷۹, ۱۴۶۱-۱۴۷۱.
- [۱۲] Azizi, H., Amirteimoori, A., Kordrostami, S. (۲۰۱۶). A data envelopment analysis approach with efficient and inefficient frontiers for supplier selection in the presence of both undesirable outputs and imprecise data. *Modern Research in Decision Making*, ۱(۲), ۱۳۹-۱۷۰.
- [۱۳] Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., Garg, C. P., (۲۰۱۷). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, ۱۴۰, Part, ۱۶۸۶-۱۶۹۸.
- [۱۴] Alimohammdlou, M., bonyani, A. (۲۰۲۰). A decision framework for supplier selection under a fuzzy environment. *Modern Research in Decision Making*, ۵(۴), ۱۱۹-۱۴۳.
- [۱۵] Izadikhah, M., & Farzipoor Saen, R. (۲۰۱۹). Ranking sustainable suppliers by contextdependent data envelopment analysis. *Annals of Operations Research*. Springer US.
- [۱۶] Rashidi, K., & Cullinane, K. (۲۰۱۹). A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy. *Expert Systems with Applications*, 121, ۲۶۶-۲۸۱.
- [۱۷] Wu, C., Lin, Y., & Barnes, D. (۲۰۲۱). An integrated decision-making approach for sustainable supplier selection in the chemical industry. *Expert Systems with Applications*, ۱۱۵۵۵۳.
- [۱۸] Chen, Z., Ming, X., Zhou, T., & Chang, Y. (۲۰۲۰). Sustainable supplier selection for smart supply chain considering internal and external uncertainty: An integrated rough-fuzzy approach. In *Applied Soft Computing* (Vol. ۸۷, p. ۱۰۶۰۰۴).
- [۱۹] Amindoust, A., Ahmed, S., Saghafinia, A., Bahreininejad, A., (۲۰۱۲). Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing*, ۱۲(۶), ۱۶۶۸-۱۶۷۷.
- [۲۰] Azadnia, A. H., Saman, M. Z. M., Wong, K. Y., (۲۰۱۵). Sustainable supplier selection and order lotsizing: An integrated multi-objective decision-making process. *International Journal of Production Research*, ۵۳(۲), ۳۸۳-۴۰۸.
- [۲۱] Lu, H., Jiang, S., Song, W., & Ming, X. (۲۰۱۸). A rough multi-criteria decision-making approach for sustainable supplier selection under vague environment. *Sustainability*, 10(۸), ۲۶۲۲
- [۲۲] Li, J., Fang, H., & Song, W. (۲۰۱۹). Sustainable supplier selection based on SSCM practices: A rough cloud TOPSIS approach. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. ۲۲۲, pp. ۶۰۶-۶۲۱).
- [۲۳] Ecer, F., & Pamucar, D. (۲۰۲۰). Sustainable supplier selection: A novel integrated fuzzy best worst method (F-BWM) and fuzzy CoCoSo with Bonferroni (CoCoSo'B) multi-criteria model. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. ۲۶۶, p. ۱۲۱۹۸۱).



- [۲۴] Zimmer, K., Fröhling, M., Schultmann, F., (۲۰۱۶). Sustainable supplier management - A review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. *International Journal of Production Research*, ۵۴(۵), ۱۴۱۲-۱۴۴۲.
- [۲۵] Habibi, A., Jahantigh, F. F., & Sarafrazi, A. (۲۰۱۵). Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items. *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*, ۵(۲), ۱۳۰-۱۴۳.
- [۲۶] Zhu, G.-N., Hu, J., & Ren, H. (۲۰۲۰). A fuzzy rough number-based AHP-TOPSIS for design concept evaluation under uncertain environments. In *Applied Soft Computing* (Vol. ۹۱, p. ۱۰۶۲۲۸).
- [۲۷] Pamucar, D., Petrovic, I., & Cirovic, G. (۲۰۱۸). Modification of the Best-Worst and MABAC methods: A novel approach based on interval-valued fuzzy-rough numbers. *Expert Systems with Applications*, ۹۱, ۸۹-۱۰۶.
- [۲۸] Zhu, G.-N., Ma, J., & Hu, J. (۲۰۲۲). A fuzzy rough number extended AHP and VIKOR for failure mode and effects analysis under uncertainty. In *Advanced Engineering Informatics* (Vol. ۵۱, p. ۱۰۱۴۵۴).
- [۲۹] Turskis, Z., Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., & Kosareva, N. (۲۰۱۵). A Hybrid Model Based on Fuzzy AHP and Fuzzy WASPAS for Construction Site Selection. In *International Journal of Computers Communications & Control* (Vol. ۱۰, Issue ۶, p. ۱۱۳).
- [۳۰] Sremac, S., Stević, Ž., Pamučar, D., Arsić, M., & Matic, B. (۲۰۱۸). Evaluation of a Third-Party Logistics (۳PL) Provider Using a Rough SWARA-WASPAS Model Based on a New Rough Dombi Agregator. In *Symmetry* (Vol. ۱۰, Issue ۸, p. ۳۰۵).