

## ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان پایدار در محیط فازی شهودی با رویکرد ترکیبی چندمعیاره بهترین بدترین و ویکور

مصطفی خواجه<sup>۱</sup>، مقصود امیری<sup>۲\*</sup>، لعلیا الفت<sup>۳</sup>، مصطفی زندیه<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علامه طباطبائی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

۲- استاد، دانشگاه علامه طباطبائی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشگاه شهید بهشتی، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، تهران، ایران

رسید مقاله: ۱۲ آذر ۱۳۹۷

پذیرش مقاله: ۳۰ شهریور ۱۳۹۸

### چکیده

تامین مواد اولیه پایدار همواره از جمله نگرانی‌های شرکت‌های تولیدی است. با توجه به افزایش آگاهی زیست‌محیطی و اجتماعی، انتخاب تامین کننده پایدار از اولویت‌های سازمان‌ها گردیده است. با توجه به ابهام و تردید موجود در تصمیم‌گیری افراد به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت کاربرد فراوانی یافته است. تحقیق حاضر سعی دارد با استفاده از رویکرد ترکیبی چندمعیاره فازی یک مدل تصمیم‌گیری برای ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان پایدار ارائه دهد. بدین منظور در مرحله نخست با مرور تحقیقات گذشته، شاخص‌های موثر در انتخاب تامین کنندگان پایدار مشخص گردیده و با استفاده از روش دلفی فازی اقدام به غربال‌سازی شاخص‌ها از دید خبرگان گردید. در مرحله بعد به کمک رویکرد بهترین بدترین فازی شهودی وزن هریک از شاخص‌ها استخراج گردید. در ادامه از تکنیک ویکور فازی شهودی برای ارزیابی تامین کنندگان موجود استفاده گردید. به منظور بررسی قابلیت مدل ارائه شده از یک مطالعه واقعی در صنعت تولید باتری‌های سربی اسیدی استفاده گردید. در نهایت با انجام تحلیل حساسیت و مقایسه نتایج مدل با رویکرد تاپسیس فازی شهودی کارایی رویکرد پیشنهادی ارزیابی شد.

**کلمات کلیدی:** تامین کننده پایدار، مجموعه فازی شهودی، دلفی فازی، بهترین بدترین، ویکور

### ۱ مقدمه

انتخاب تامین کننده پایدار یکی از مهم‌ترین وظایف عملیاتی در توسعه مدیریت زنجیره تامین پایدار به شمار می‌رود. مدیریت زنجیره تامین پایدار حاصل ترکیب دو مفهوم توسعه پایدار و مدیریت زنجیره تامین است [۱]. توسعه پایدار به عنوان توسعه‌ای تعریف شده که نیازهای حال را بدون درخطر انداختن توانمندی نسل‌های آینده جهت برطرف کردن نیازمندی‌هایشان تامین نماید. بدین منظور علاوه بر در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی و

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: mg\_amiri@yahoo.com

زیست محیطی، توجه به مسایل اجتماعی نیز ضروری به نظر می‌رسد. به منظور رسیدن به چنین توسعه‌ای، صنایع نیازمند طراحی، برنامه‌ریزی و اجرای زنجیره‌های تامین خود منطبق با مفاهیم پایداری می‌باشند تا بتوانند پایداری را در تمامی مجریان زنجیره تامین گسترش دهند [۲].

به اعتقاد سیورینگ و مولر، زنجیره تامین پایدار را می‌توان مدیریت جریان مواد اولیه، اطلاعات و سرمایه دانست که در راستای مشارکت تمامی اعضای زنجیره تامین است. در این زنجیره، اهداف سه گانه توسعه پایدار شامل اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی که از نیازمندی‌های مشتریان و سهامداران نشأت گرفته است، مدنظر قرار دارد [۳]. از جمله مزایای زنجیره‌های تامین پایدار می‌توان به کاهش قابل توجه ضایعات، صرفه جویی ملموس در هزینه‌ها، افزایش درآمد و سهم بازار و استخدام کارکنان با استعداد اشاره نمود [۴].

یک زنجیره تامین در صورتی می‌تواند پایداری خود را تضمین نماید که بتواند تمامی اعضای زنجیره را به سمت پایداری در فعالیت‌هایشان تشویق نماید. در این میان، توسعه همکاری با تامین کنندگان در مسایل اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی حایز اهمیت است [۵]. ترکیب شاخص‌های پایداری اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی به طور هم‌زمان در فرآیند انتخاب تامین کننده از جمله دغدغه‌های سازمان‌های تولیدی به شمار می‌رود [۶]. اشتباه در انتخاب تامین کننده باعث نابودی تمامی موقعیت مالی و عملیاتی کل زنجیره تامین می‌گردد. در شرایط به شدت رقابتی دنیای امروز، تولید محصولات با هزینه کمتر و کیفیت بالاتر بدون داشتن تامین کنندگان برجسته، کاری تقریباً غیرممکن است. موفقیت یک زنجیره تامین تا میزان زیادی بستگی به انتخاب تامین کنندگان قدرتمند دارد [۷].

انتخاب تامین کننده یک مساله تصمیم‌گیری چند شاخصه است که عوامل متضاد بسیاری از قبیل قیمت، کیفیت و تحویل بر آن تاثیر گذار است. همچنین، مساله انتخاب تامین کننده در سیستم زنجیره تامین ترکیبی از انواع مختلف عدم قطعیت است. یک مدل تصمیم‌گیری مناسب علاوه بر توانایی مقابله با ابهام و عدم قطعیت موجود در قضاوت‌های فردی بایستی بتواند با تخصیص امتیازهای منطقی، رتبه‌بندی مناسبی از گزینه‌های تصمیم‌گیری دهد. با توجه به ماهیت غیرقطعی موقعیت‌های تصمیم‌گیری، پژوهشگران و محققین به منظور تحت کنترل درآوردن عدم قطعیت و کسب نتایج قابل اتکا، منطق فازی را در فنون تصمیم‌گیری ادغام نموده‌اند [۸].

با توجه به پیچیدگی موجود در دستگاه‌های پشتیبان تصمیم، به کارگیری گروهی از متخصصین و کارشناسان به منظور بررسی تمامی جوانب یک مساله تصمیم‌گیری امری اجتناب‌ناپذیر است. در دهه اخیر، استفاده از مسایل تصمیم‌گیری با معیارهای چند گانه به وسیله ارزیابی گروهی از تصمیم‌گیران گسترش یافته است [۹]. در بسیاری از شرایط واقعی تصمیم‌گیرندگان با توجه به وجود ابهام در شرایط تصمیم‌گیری نمی‌توانند ترجیحات خود را بیان دارند. در این شرایط تصمیم‌گیری در محیط فازی تا حد زیادی ضروری به نظر می‌رسد [۱۰].

در پژوهش حاضر از طریق بررسی ادبیات تحقیق، شاخص‌های ارزیابی تامین کننده پایدار شناسایی شده و با استفاده از رویکرد دلفی فازی شاخص‌های تاثیرگذار مشخص می‌گردد. در مرحله بعد با استفاده از تئوری گراف و روش بهترین بدترین فازی شهودی اوزان هریک از شاخص‌های تامین کنندگان پایدار استخراج شده و در نهایت

با بهره‌گیری از رویکرد ویکور فازی شهودی تامین‌کنندگان مختلف رتبه‌بندی می‌گردند. بنابراین هدف نهایی تحقیق حاضر، ارائه یک مدل ترکیبی نوین و علمی برای ارزیابی تامین‌کنندگان در محیط فازی شهودی است.

## ۲ مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

### ۲-۱ ارزیابی تامین‌کنندگان در زنجیره تامین پایدار

زنجیره تامین پایدار را می‌توان به صورت سیستم‌های شبکه‌ای درهم تنیده مشتمل بر نهادهای متنوعی توصیف کرد که ارسال محصولات از تامین‌کنندگان به مشتریان و بازگشت آنها را مدیریت نموده و در عین حال تأثیرات اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را تحت پایش قرار می‌دهند. امروزه، رفتار چنین سیستم‌هایی در سازمان‌هایی که با مسایل پایداری درگیر هستند از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار شده است [۱۱]. علی‌رغم شهرت موضوع مدیریت زنجیره تامین پایدار، این مفهوم از نظر تئوری و مفاهیم مدیریتی کمتر درک گردیده است. وجود همپوشانی بسیار بین زنجیره تامین سبز و پایدار موجب شده مفاهیمی از قبیل مسئولیت‌پذیری اجتماعی و مسایل مربوط به جنبه اجتماعی زنجیره تامین کمتر مورد توجه قرار گیرد [۱۲].

انتخاب تامین‌کننده از جمله تصمیمات راهبردی در هر زنجیره تامین است. آنچه می‌توان از مقالات مختلف برداشت نمود اهمیت روزافزون این مساله و تأثیر آن بر اثربخشی و کارایی کل زنجیره تامین است [۱۳]. هندفیلد و همکاران [۱۴] شاخص‌های زیست محیطی انتخاب تامین‌کنندگان را با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی رتبه‌بندی نموده و در نهایت به بررسی نقاط قوت و ضعف روش AHP پرداختند. به منظور ارزیابی تامین‌کنندگان سبز، لی و همکاران [۱۵] از ترکیب رویکرد دلفی و تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده نمودند. وانگ و همکاران [۱۶] با به کارگیری رویکرد تاپسیس سلسله مراتبی فازی به ارزیابی و رتبه‌بندی تامین‌کنندگان پرداختند. در تحقیق آن‌ها شاخص‌های زیست محیطی و اجتماعی مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. بوران و همکاران [۱۷] رویکرد تاپسیس فازی شهودی گروهی را جهت انتخاب تامین‌کننده در فضای عدم قطعیت ارائه نمودند. گائو و همکاران [۱۸] با بهره‌گیری از رویکرد تاپسیس فازی شهودی به ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده پرداختند.

ژانگ و همکاران [۱۹] به منظور رتبه‌بندی تامین‌کنندگان خدمات فناوری اطلاعات از رویکرد آنتروپی فازی شهودی فاصله‌ای استفاده نمودند. بویوکژان و سیفسی [۲۰] با بهره‌گیری از تکنیک دیمتل فازی به بررسی روابط بین شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مرتبط با فعالیت‌های مدیریت زنجیره تامین سبز پرداخته و به کمک رویکرد تحلیل شبکه‌ای به وزن‌دهی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها با در نظر گرفتن تعاملات بین آن‌ها اقدام نمودند. در نهایت با استفاده از روش تاپسیس فازی تامین‌کنندگان مختلف را رتبه‌بندی نمودند. روستایی و همکاران [۲۱] با بهره‌گیری از رویکرد ویکور در محیط فازی شهودی گروهی به ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان پرداخته و به منظور تعیین فاصله بین دو عدد فازی شهودی از رویکرد فاصله همینگ نرمال شده<sup>۱</sup> استفاده نمودند. شن و

<sup>1</sup>normalized hamming distance

همکاران [۲۲] در تحقیق خود با به کارگیری تئوری مجموعه فازی سعی در ارزش گذاری ادراکات ذهنی خبرگان نموده و از طریق روش تاپسیس فازی برای عملکرد هر تامین کننده در زنجیره تامین سبز یک امتیاز تعیین نمودند. کشاورز و همکاران [۲۳] با استفاده از رویکرد تصمیم گیری کوپراس گروهی بر مبنای مجموعه فازی نوع دوم فاصله ای به حل مساله انتخاب تامین کننده پرداختند. کائور [۲۴] با بهره گیری از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و ادغام اعداد فازی شهودی مساله انتخاب تامین کننده را مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق نیز همانند تحقیق کشاورز و همکاران، شاخص های مورد بررسی تنها اقتصادی بوده و سایر جنبه های پایداری مورد بررسی قرار نگرفته اند.

امیری و همکاران [۲۵] با استفاده از رویکرد ترکیبی آنتروپی، تحلیل سلسله مراتبی و پرامیتی به ارزیابی و اولویت بندی تامین کنندگان شرکت یوتاب پرداختند. در این تحقیق به جنبه های زیست محیطی و اجتماعی انتخاب تامین کننده توجه نشده است. همایون فر و همکاران [۲۶] رویکردی ترکیبی مبتنی بر روش تصمیم گیری چند شاخصه فازی جهت ارزیابی و اولویت بندی تامین کنندگان شرکت سایا ارایه نمودند. در این تحقیق به منظور غربال شاخص ها از رویکرد دلفی فازی بهره گرفته شد. به منظور تعیین اوزان شاخص ها از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی فازی و جهت رتبه بندی تامین کنندگان از رویکرد ویکور فازی استفاده شده است. در تحقیق انجام شده معیارهای اجتماعی مدنظر قرار نگرفته اند.

لی و وو [۲۷] به توسعه رویکرد تاپسیس فازی شهودی پرداخته و رویکرد خود را در مساله انتخاب تامین کننده سبز مورد استفاده قرار دادند. ماکوئی و همکاران [۲۸] از رویکرد ترکیبی تحلیل رابطه خاکستری و تاپسیس در محیط فازی شهودی جهت ارزیابی و انتخاب تامین کننده در صنعت دارویی استفاده نمودند. وود [۲۹] با بهره گیری از ادبیات موضوع، ۳۰ معیار برای ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان تجهیزات و پروژه های توسعه صنعت پتروشیمی تعیین نمود و سپس با استفاده از رویکردهای منعطف آنتروپی، تاپسیس فازی و تاپسیس فازی شهودی معیارهای سی گانه را وزن دهی و در نهایت شرکت های تامین کننده را رتبه بندی نمود. لوترا و همکاران [۳۰] بیست و دو شاخص برای انتخاب تامین کننده پایدار با استفاده از ادبیات تحقیق و تایید خبرگان استخراج نموده و با بهره گیری از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی شاخص های مختلف را وزن دهی نموده و در نهایت با استفاده از روش ویکور تامین کنندگان مختلف را رتبه بندی نمودند. ژاو و همکاران [۳۱] به منظور انتخاب تامین کننده از رویکرد ترکیبی آنتروپی شانون و ویکور توسعه یافته در فضای فازی شهودی استفاده نمودند که تنها شاخص های اقتصادی مدنظر قرار گرفته است. حمدان و چیتو [۳۲] مدلی را جهت تخصیص بهینه تامین کنندگان ارایه نموده که پس از تعیین شاخص های سنتی و سبز به منظور تعیین اهمیت نسبی هر کدام از شاخص ها از رویکرد تاپسیس و به منظور تعیین وزن نسبی هر یک از شاخص های فرعی از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی بهره بردند. در نهایت به منظور تعیین تخصیص بهینه از مدل سازی چند هدفه استفاده گردید. گوپتا و باروا [۳۳] با بهره گیری از رویکرد بهترین بدترین و تاپسیس فازی بهترین تامین کننده در میان کسب و کارهای کوچک و متوسط را از نظر نوآوری سبز رتبه بندی نمودند. لئو و همکاران [۳۴] به منظور انتخاب تامین کننده سبز از یک رویکرد دو مرحله ای استفاده نمودند. در مرحله اول با استفاده از رویکرد بسط تابع کیفیت روابط بین نیازمندی های

مشتري و استراتژی‌های سازمان تعیین گردید. همچنین به منظور وزن‌دهی به شاخص‌های کیفی از روش بهترین بدترین و از آنتروپی شانون جهت تعیین وزن معیارهای کمی استفاده شد. در مرحله دوم با بهره‌گیری از بهینه‌سازی چندهدفه فازی بر اساس تحلیل نسبت به رتبه‌بندی تامین‌کنندگان پرداخته شد.

## ۲-۲ شاخص‌های ارزیابی تامین‌کنندگان پایدار

تحقیقات بسیاری درباره شاخص‌های پایداری تامین‌کنندگان انجام گرفته است. وبر و همکاران [۳۵] با مرور معیارها و روش‌های انتخاب تأمین‌کننده بدین نتیجه رسیدند که ۶۲ درصد از مقالات در این حوزه به بیش از یک معیار انتخاب تأمین‌کننده اشاره نموده‌اند. باین وجود مساله انتخاب تأمین‌کننده یک مساله چندمعیاره بوده و جهت یافتن تأمین‌کنندگان بهینه بایستی مبادله‌ای بین عوامل ملموس و غیرملموس متضاد ایجاد گردد. از جمله تحقیقات مروری مهم می‌توان به تحقیق آهی و سیرسی [۳۶] اشاره نمود. آن‌ها در تحقیق خود با به کارگیری تحلیل محتوای ساختاری ۴۴۵ مقاله معیارهای ارزیابی زنجیره تامین پایدار و سبز بدین نتیجه رسیدند که پرتکرارترین شاخص‌ها شامل کیفیت، انتشار آلاینده‌های هوا، انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده از انرژی و مصرف انرژی بودند. از میان ۲۵۵۵ معیار به دست آمده ۶۶ درصد تنها یک بار مورد استفاده قرار گرفته بودند و بسیاری از شاخص‌های معرفی شده تنها به منظور اندازه‌گیری یک مساله مورد استفاده قرار گرفته بودند. به عنوان مثال ۷۵ شاخص مختلف برای سنجش مسایل مرتبط با آب به کاررفته بودند. زیمر و همکاران [۱۳] با مرور تحقیقات انجام شده تأمین‌کننده پایدار، معیارهای مرتبط با انتخاب تأمین‌کننده را به سه دسته معیارهای اقتصادی شامل عملکرد مالی، موقعیت‌سازمانی، توانمندی‌ها و انتظارات بیرونی، معیارهای زیست‌محیطی مشتمل بر عملکردها و فعالیت‌های زیست‌محیطی و معیارهای اجتماعی شامل کارکردهای داخلی و خارجی مسایل اجتماعی و عملکردهای اجتماعی تقسیم‌بندی نمودند. از نظر فلاح‌پور و همکاران [۳۷] هزینه، کیفیت، تحویل و خدمات و انعطاف‌پذیری در زیرمجموعه معیارهای اقتصادی؛ سیستم مدیریت زیست‌محیطی، محصول و انبارش سبز، طراحی زیست‌محیطی و حمل‌ونقل و فناوری سبز به عنوان معیارهای زیست‌محیطی و در نهایت معیارهای اجتماعی شامل حقوق نیروی کار، ایمنی و سلامت نیروی انسانی و فعالیت‌های حمایتی است.

با مرور نظری ادبیات ارزیابی پایداری تامین‌کنندگان، ۲۲ شاخص در سه معیار اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به دست آمد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

## ۲-۳ فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه در انتخاب تامین‌کننده پایدار

مساله انتخاب تأمین‌کننده از آنجا که ضامن موفقیت بلندمدت یک کسب و کار می‌گردد از اهمیت بالایی نزد محققین و پژوهشگران برخوردار است. با توجه به اهمیت موفقیت بلندمدت شرکت‌ها اولین تحقیق در ارتباط با مساله انتخاب تأمین‌کننده توسط دیکسون ارائه شده است [۱۳]. با گسترش روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، اقبال عمومی محققین نسبت به این روش‌ها افزایش یافت. امروزه، رویکردهای مختلفی در انتخاب تأمین‌کننده

مورد استفاده قرار می گیرد. علاوه بر تحقیقات بیان شده در بخش های قبلی می توان به برخی از تحقیقات جدید در مورد انتخاب تامین کننده پایدار اشاره نمود.

#### جدول ۱. شاخص های ارزیابی پایداری تامین کنندگان

| شاخص                            | منابع مورد استفاده |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |
|---------------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
|                                 | [۴۳]               | [۴۲] | [۴۱] | [۴۰] | [۳۹] | [۳۸] | [۳۷] | [۳۰] | [۲۰] | [۱۵] | [۱۳] | [۶] | [۵] |
| کیفیت                           | *                  | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *   | *   |
| مدیریت هزینه                    |                    |      | *    | *    | *    | *    | *    | *    |      |      | *    | *   | *   |
| تحويل                           |                    |      | *    | *    | *    |      | *    | *    | *    | *    | *    | *   | *   |
| انعطاف پذیری                    | *                  | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *   | *   |
| توانمندی فنی و مالی             |                    |      | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *   | *   |
| ظرفیت تسهیلات                   |                    |      |      |      |      | *    |      | *    |      |      |      |     |     |
| شهرت                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      | *    |     |     |
| سیستم مدیریت زیست محیطی         | *                  | *    | *    |      |      | *    | *    | *    |      |      |      |     |     |
| تعهد مدیریت به مسائل زیست محیطی | *                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | *   |     |
| انتشار آلاینده های زیست محیطی   | *                  | *    | *    |      |      | *    | *    | *    |      | *    | *    | *   |     |
| حمل و نقل سبز                   | *                  |      | *    |      |      |      | *    |      |      |      |      |     |     |
| تحقیق و توسعه سبز               | *                  | *    |      |      |      |      | *    | *    |      |      |      |     |     |
| مصرف منابع                      | *                  | *    | *    |      | *    | *    | *    |      |      |      |      | *   |     |
| طراحی زیستی                     | *                  | *    | *    |      |      | *    | *    |      |      |      |      |     |     |
| انبارش سبز                      |                    |      |      |      |      |      | *    |      |      |      |      |     |     |
| افشای اطلاعات به ذینفعان        |                    | *    |      |      |      | *    |      | *    |      |      | *    | *   |     |
| تاثیر جوامع محلی                |                    |      | *    |      | *    |      |      |      |      |      |      |     |     |
| حقوق کارکنان                    |                    | *    |      |      |      |      | *    | *    |      |      |      | *   |     |
| مشارکت در رویدادهای اجتماعی     |                    |      | *    |      |      |      |      |      |      |      |      | *   |     |
| سلامت و بهداشت کارکنان          |                    | *    |      |      | *    | *    | *    | *    |      |      |      | *   |     |
| تبعیض جنسیتی                    |                    |      | *    |      |      |      | *    |      |      |      | *    |     |     |
| حقوق سهامداران                  |                    |      |      |      |      | *    |      |      |      |      | *    | *   |     |

امین دوست و همکاران [۳۸] با بهره گیری از مدل رتبه بندی بر اساس سیستم استنتاج فازی رویکردی برای ارزیابی و انتخاب تامین کننده پایدار ارائه نمود. در نظر گرفتن هم زمان شاخص های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی از نوآوری های تحقیق ایشان به شمار می رود. فلاح پور و همکاران [۳۷] یک مدل پشتیبان تصمیم برای انتخاب تامین کننده پایدار ارائه نمودند. در این مدل به منظور تعیین اوزان شاخص های اصلی و فرعی از رویکرد برنامه ریزی ترجیحی فازی بهره گرفته شد. در نهایت با استفاده از روش تاپسیس فازی تامین کنندگان مختلف در صنعت نساجی رتبه بندی گردیدند. آزاد نیا و همکاران [۶] با ارائه یک رویکرد ترکیبی مساله انتخاب تامین کننده پایدار و تخصیص بهینه را به صورت هم زمان حل نمودند. در این رویکرد، جهت وزن دهی به شاخص ها از روش فازی موزون قانونمند، جهت رتبه بندی تامین کنندگان از رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و در نهایت

به منظور انجام تخصیص بهینه از برنامه ریزی ریاضی چندهدفه استفاده گردید. سن و همکاران [۴۴] به بررسی مساله انتخاب تامین کننده پایدار در محیط فازی شهودی با بهره گیری از رویکردهای تصمیم گیری چند شاخصه پرداخته اند. در این تحقیق، سه رویکرد تاپسیس فازی شهودی، مورای فازی شهودی و تحلیل رابطه خاکستری فازی شهودی مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین وزن هر یک از شاخص ها از ترکیب نظرات هر یک از خبرگان توسط عملگر موزون فازی شهودی استفاده گردید. آواشتی و همکاران [۵] به منظور انتخاب تامین کننده پایدار از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی و ویکور در محیط فازی بهره بردند. از جمله نوآوری های تحقیق آن ها استفاده از تامین کنندگان چندلایه ای و ارزیابی هم زمان تامین کنندگان اصلی و فرعی بود. خان و همکاران [۴۵] در تحقیق خود با بهره گیری از رویکرد وزن دهی آنتروپی فازی و سیستم استنتاج فازی به ارزیابی و انتخاب تامین کننده پایدار و رتبه بندی تامین کنندگان پرداختند.

### ۳ روش شناسی پژوهش

تحقیق حاضر از آنجا که به دنبال شناسایی و توصیف شاخص های ارزیابی پایداری تامین کنندگان در یک شرکت تولید کننده باتری های سربی اسیدی است از نظر هدف کاربردی و از نظر نحوه جمع آوری داده ها، توصیفی - پیمایشی است. از آنجا که شناسایی شاخص ها در طول تحقیق انجام می گردد در دسته تحقیقات اکتشافی به شمار می رود. با توجه به هدف اصلی این پژوهش که شناسایی شاخص های تامین کننده پایدار و اولویت بندی تامین کنندگان پایدار است فرآیند اجرایی پژوهش به صورت شکل ۱ است.

### ۴ رویکرد ترکیبی پیشنهادی

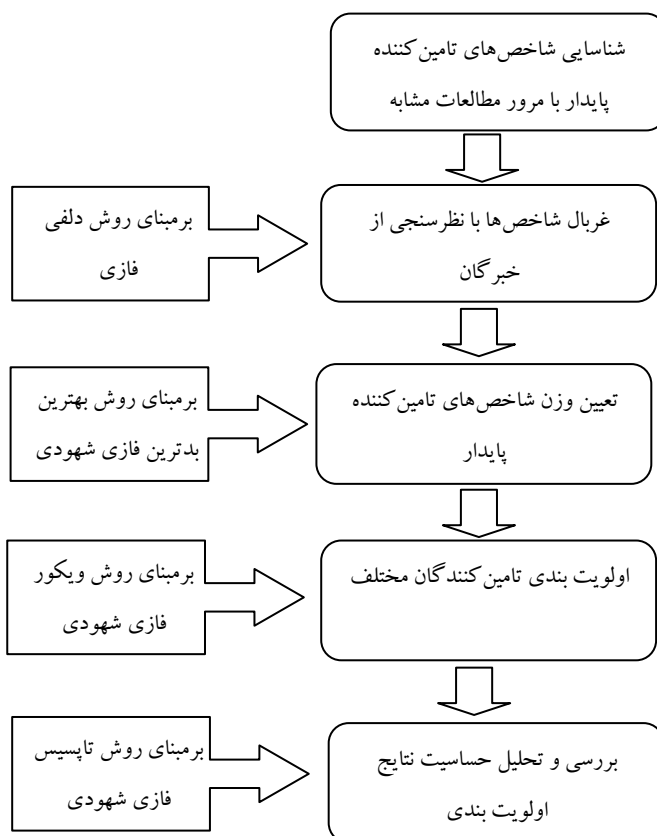
در تحقیق حاضر، از میان روش های متداول جهت تعیین اوزان معیارهای ارزیابی انتخاب تامین کننده پایدار از رویکرد بهترین بدترین در محیط فازی شهودی استفاده گردیده است. در این روش علاوه بر استفاده از مقایسات زوجی مورد استفاده در روش تحلیل سلسله مراتبی از مدل های ریاضی جهت تعیین اوزان بهینه بهره برده شده است که دقت محاسبات را افزایش می دهد. همچنین به منظور رتبه بندی تامین کنندگان مختلف از رویکرد ویکور فازی شهودی استفاده گردیده است. در ادامه به تشریح روش های مورد استفاده در این تحقیق پرداخته می شود.

### ۴-۱ روش دلفی فازی

روش دلفی نخستین بار توسط دالکی و هلمر در شرکت راند در دهه ۱۹۵۰ توسعه یافت. این روش مشتمل بر مصاحبه هایی ساختاریافته است که از ایده های افراد خبره بهره می گیرد. این رویکرد یک روش تصمیم گیری گروهی خبره محور بوده که به دنبال دستیابی به یک اجماع بر روی یک موضوع خاص است [۴۶].

با توجه به وجود ابهام در نظرات خبرگان، در سال ۱۹۹۳، ایشی کاوا و همکارانش [۴۷] رویکرد دلفی فازی را ارائه دادند که برگرفته از رویکرد دلفی و منطق فازی بود. گام های روش دلفی فازی عبارت اند از:

**گام اول:** شناسایی شاخص های ارزیابی پایداری تامین کنندگان با مرور جامع مبانی نظری تحقیق



شکل ۱. فرآیند اجرایی پژوهش

**گام دوم:** گردآوری نظرات کارشناسان تصمیم گیر. در این گام پس از شناسایی شاخص‌های ارزیابی پایداری تامین کنندگان، گروهی از متخصصین مرتبط با موضوع پژوهش شکل گرفته و پرسشنامه‌ای به منظور تعیین مرتبط بودن شاخص‌های شناسایی شده با موضوع اصلی برای آن‌ها ارسال گردید. برای بیان اهمیت هر شاخص از متغیرهای زبانی موجود در جدول ۲ استفاده شده است. در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی استفاده گردیده است.

جدول ۲. واژگان کلامی و مقادیر فازی مثلثی متناظر آن‌ها

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

**گام سوم:** تایید شاخص‌های پراهمیت: ابتدا مقادیر فازی مثلثی نظرات خبرگان محاسبه گردیده و سپس میانگین فازی نظرات پاسخ‌دهندگان محاسبه می‌گردد. فرض کنید نظر هر فرد نسبت به هر شاخص به صورت یک عدد فازی  $W = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  بیان گردد که در آن  $i$  تعداد خبرگان و  $j$  تعداد شاخص‌های موردبررسی است. میانگین فازی نظرات خبرگان به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$W_j = (\min_i a_{ij}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ij}, \max_i c_{ij}) \quad (1)$$

همچنین با استفاده از روش مرکز ثقل، مقدار میانگین فازی زدایی شده هر شاخص محاسبه گردید. در نهایت مقدار ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه مقایسه می گردد. در صورتی که مقدار ارزش اکتسابی کمتر از مقدار آستانه باشد شاخص مورد نظر از مجموعه شاخص ها حذف می گردد در غیر این صورت این شاخص مورد تایید قرار می گیرد. مقدار آستانه برابر ۷ در نظر گرفته شده است.

#### ۴-۲ مجموعه فازی شهودی

از زمان معرفی مجموعه فازی توسط زاده [۴۸]، مجموعه های متنوعی مبتنی بر عدم قطعیت توسعه یافته است. با توجه به محدودیت دانش و کمبود زمان، افراد در مواجهه با مساله ای که دارای عدم قطعیت است با تردید روبه رو می گردند. آتاناسوف [۴۹] مجموعه فازی شهودی را در سال ۱۹۸۶ معرفی نمود که متشکل از سه تابع عضویت، عدم عضویت و تردید بود. از این مجموعه می توان به عنوان ابزاری منعطف و عملی در مواجهه با محیط فازی و نامطمئن بهره برد.

مجموعه فازی شهودی را می توان به عنوان روشی جایگزین برای تعریف یک مجموعه فازی در مواردی در نظر گرفت که اطلاعات موجود به اندازه کافی جهت تعریف مفهوم عدم اطمینان در مجموعه فازی کلاسیک توانمند نیست. در حالت کلی، تئوری مجموعه های فازی شهودی یک حالت عمومیت یافته از مجموعه های فازی است. در نتیجه، انتظار می رود این مجموعه ها بتوانند به طور اثربخشی جهت رویه های تصمیم گیری بشری و هر گونه فعالیت مرتبط با قضاوت های خبرگان مورد استفاده قرار گیرد [۴۴].

در این بخش برخی از تعاریف مرتبط با مجموعه های فازی شهودی ارائه می گردد.

**تعریف ۱** مجموعه فازی شهودی [۵۰]. فرض کنید مجموعه  $X$  مرجع باشد. مجموعه فازی شهودی  $A$  بر روی مجموعه  $X$  به صورت زیر تعریف می گردد:  $A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)) | x \in X\}$  که توابع  $\mu_A(x)$  و  $\nu_A(x)$  به ترتیب درجه عضویت و عدم عضویت می باشند و دارای مقداری بین صفر و یک می باشند. بین دو تابع عضویت و عدم عضویت رابطه زیر برقرار است:  $\mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$ . همچنین درجه ابهام به صورت  $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$  تعریف می گردد.

**تعریف ۲** روابط ریاضی بین مجموعه های فازی شهودی. دو عدد فازی شهودی به صورت  $A = (u_A, v_A)$  و  $B = (u_B, v_B)$  در نظر بگیرید عملیات ریاضی برای این دو عدد را می توان به صورت زیر تعریف کرد [۵۱-۵۴]:

$$A + B = (u_A + u_B - u_A u_B, v_A v_B) \quad (2)$$

$$A * B = (u_A u_B, v_A + v_B - v_A v_B) \quad (3)$$

$$A - B = \left( \frac{u_A - u_B}{1 - u_B}, \frac{v_A}{v_B} \right) \quad (4)$$

$$\frac{A}{B} = \left( \frac{u_A}{u_B}, \frac{v_A - v_B}{1 - v_B} \right) \quad (5)$$

$$\lambda A = (1 - (1 - u_A)^\lambda, v_A^\lambda), \lambda > 0. \quad (6)$$

$$A^\lambda = (u_A^\lambda, 1 - (1 - v_A)^\lambda), \lambda > 0. \quad (7)$$

**تعریف ۳**  $A \leq B$  است اگر و تنها اگر  $v_A \geq v_B$  و  $u_A \leq u_B$  باشد [۵۵].

**تعریف ۴** یک رابطه ترجیحی فازی شهودی<sup>۱</sup> (IFPR) به صورت  $A = (u_{ij}, v_{ij})$  تعریف می گردد که  $u_{ij}$  میزان ترجیح گزینه  $x_i$  بر  $x_j$  است و  $v_{ij}$  میزان عدم ترجیح گزینه  $x_i$  بر  $x_j$  است. مجموع  $u_{ij}$  و  $v_{ij}$  بین صفر و یک است [۵۶].

**تعریف ۵** رابطه ترجیحی ضربی شهودی<sup>۲</sup> (IMPR) به صورت  $R = (\rho_{ij}, \sigma_{ij})$  تعریف می گردد که  $\rho_{ij}$  میزان ترجیح گزینه  $x_i$  بر  $x_j$  است و  $\sigma_{ij}$  میزان عدم ترجیح گزینه  $x_i$  بر  $x_j$  است. مقدار  $\rho_{ij}$  و  $\sigma_{ij}$  بین ۱/۹ تا ۹ بوده و حاصل ضرب دو مقدار  $\rho_{ij}$  و  $\sigma_{ij}$  برابر یک است [۵۷].

**تعریف ۶** رابطه بین IFPR و IMPR به صورت زیر است [۵۷]:

$$u_{ij} = \frac{1}{4} (1 + \log_4 \rho_{ij}), v_{ij} = \frac{1}{4} (1 + \log_4 \sigma_{ij}) \quad (8)$$

**تعریف ۷** به منظور تجمیع نظرات فردی، عملگر میانگین موزون فازی شهودی<sup>۳</sup> (IFWA) توسط ژاو [۵۶] معرفی گردید. این عملگر به صورت زیر تعریف می گردد:

$$IFWA_{\lambda} (r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(s)}) = ((1 - \prod_{k=1}^s (1 - u_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}), \prod_{k=1}^s (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^s (1 - u_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^s (v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k})_{n \times n} \quad (9)$$

که  $\lambda_k$  وزن تصمیم گیر  $k$  است.

**تعریف ۸** فرض کنید  $G = (N, O, Q)$  یک شبکه جهت دار باشد که  $N$  بیان گر مجموعه گره ها یا معیارها،  $O$  مجموعه تمامی بردارهای  $a_{ij}$  و  $Q$  مجموعه وزن مرتبط با تمامی ترجیحات است. وزن بردار  $a_{ij}$  بیان گر میزان ترجیح نسبی معیار  $C_i$  نسبت به معیار  $C_j$  است [۵۷].

**تعریف ۹** درجه خروجی گره  $i$  برابر با تعداد بردارهای خروجی از گره  $i$  است که با نماد  $D_i^{out}$  نشان داده می شود. درجه ورودی گره  $i$  برابر با تعداد بردارهای ورودی به گره  $i$  گفته می شود و با نماد  $D_i^{in}$  نمایش داده می شود [۵۷].

### ۴-۳ روش بهترین بدترین فازی شهودی

روش بهترین بدترین نخستین بار توسط رضایی [۵۸-۵۹] ارائه گردید. این روش مبتنی بر انجام مقایسات زوجی است و در مقایسه با روش تحلیل سلسله مراتبی میزان مقایسات زوجی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در این روش، ابتدا بهترین و بدترین معیار از بین معیارهای موردنظر انتخاب گردیده و سپس مقایسات زوجی

<sup>1</sup> Intuitionistic Fuzzy Preference Relation

<sup>2</sup> Intuitionistic Multiplicative Preference Relation

<sup>3</sup> Intuitionistic Fuzzy Weighted Averaging

<sup>4</sup> Xu

به صورت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها و سایر معیارها نسبت به بدترین معیار انجام می گیرد. در نهایت با بهره گیری از مدل سازی ریاضی و حل آن، وزن های بهینه هر یک از شاخص ها به دست می آید.

از زمان ارایه این روش تاکنون بهبودهایی بر این روش انجام شده است. از نقاط ضعف این روش ارایه جواب های محلی به جای بهینه است. به منظور رفع این مشکل، رویکردهای فازی ارایه گردید. مویو و همکاران [۵۷] با ترکیب تئوری گراف و روش بهترین بدترین رویکردی برای تصمیم گیری گروهی چندمعیاره در محیط فازی شهودی ارایه نمودند. در این تحقیق از رویکرد ارایه شده توسط مویو و همکاران جهت وزن دهی به معیارها استفاده شده است.

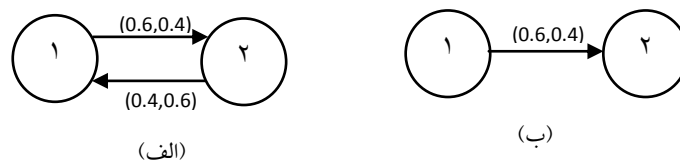
مراحل این روش عبارت اند از [۵۷-۶۰]:

**مرحله اول:** در این مرحله یک ساختار سلسله مراتبی شامل هدف، معیارها و گزینه های مساله تصمیم گیری گروهی چندمعیاره ایجاد می گردد و گروهی از متخصصین برای ارزیابی گزینه ها انتخاب می گردد.

**مرحله دوم:** در این مرحله مقایسات زوجی بین معیارها انجام می گیرد. این مقایسات در بازه  $1/9$  تا  $9$  انجام می شود که بیان گر ترجیح یک معیار نسبت به معیار دیگر توسط تصمیم گیرنده یا کارشناس است. با استفاده از رابطه (۸) IMPR به IFPR تبدیل می شود. در نهایت با استفاده از رابطه (۹) IFPR های فردی تجمیع می گردند.

**مرحله سوم:** الگوریتم انتخاب بهترین و بدترین معیارها. بدین منظور ابتدا لازم است یک شبکه جهت دار ترسیم گردد. هر معیار به منزله یک گره در نظر گرفته می شود و با یک بردار رابطه بین دو معیار (گره) نشان داده می شود. فرض کنید تنها دو معیار جهت مقایسه وجود دارد و مقایسات ترجیحی فازی شهودی آن ها به صورت

$$a_{12} = (0/6, 0/4) \text{ و } a_{21} = (0/4, 0/6) \text{ است و در شکل (۲-الف) نشان داده شده است.}$$



شکل ۲. مقایسه بین دو معیار

جهت مقایسه دو مقدار IFPR با توجه به تعریف ۳ تنها نیاز به نیمی از اطلاعات است. بدین منظور از شرط  $u_{ij} \geq u_{ji}$  یا  $v_{ij} \leq v_{ji}$  استفاده می شود. همان طور که از شکل ۲ مشخص است  $u_{12} \geq u_{21}$  در نتیجه شکل (۲-ب) به دست می آید. طبق تعریف ۹،  $D_i^{out} = 1$ ،  $D_j^{out} = 0$  است که می توان نتیجه گرفت بهترین معیار، معیار ۱ و بدترین معیار، معیار ۲ است.

با توجه به توضیحات بالا، الگوریتم انتخاب بهترین و بدترین معیار را می توان به صورت زیر بیان داشت: ابتدا، بردارهایی که حایز شرط  $v_{ij} \leq v_{ji}$  یا  $u_{ij} \geq u_{ji}$  می باشند را در نظر بگیرید. سپس برای هر گره، درجه خروجی و ورودی را طبق تعریف ۹ محاسبه نمایید. در نهایت، بیشترین مقدار  $D_i^{out}$  بیان گر بهترین معیار و کمترین مقدار  $D_i^{out}$  بدترین معیار انتخاب می گردند. در صورتی که برای دو گره مقادیر درجات خروجی یکسان باشند، بر اساس درجات ورودی (هر چه کمتر بهتر) رتبه بندی انجام می شود.

**مرحله چهارم:** تشکیل مدل‌های ریاضی با درجات عضویت و عدم عضویت و استخراج وزن فازی شهودی هر یک از معیارها. بدین منظور از مدل‌های ریاضی (۱۰) و (۱۱) استفاده می‌گردد. با حل این مدل‌های ریاضی بردار وزنی فازی شهودی هر یک از معیارها به صورت  $W^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)^T = ((\phi_1^*, \varphi_1^*), (\phi_2^*, \varphi_2^*), \dots, (\phi_n^*, \varphi_n^*))^T$  به دست می‌آید که شامل درجات عضویت و عدم عضویت فازی شهودی است.

$$\begin{aligned} \min \zeta \\ \text{s.t.} \\ \left| \frac{\varphi_{best}}{\varphi_j} - q^{(\tau v_{best,j} - 1)} \right| \leq \zeta \\ \left| \frac{\varphi_j}{\varphi_{worst}} - q^{(\tau v_{j,worst} - 1)} \right| \leq \zeta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \varphi_j &= 1 \\ \varphi_{best} &\leq \dots \leq \varphi_j \leq \dots \leq \varphi_{worst} \\ \varphi_j &\geq 0, \zeta \geq 0, \forall j \in N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min \xi \\ \text{s.t.} \\ \left| \frac{\phi_{best}}{\phi_j} - q^{(\tau \mu_{best,j} - 1)} \right| \leq \xi \\ \left| \frac{\phi_j}{\phi_{worst}} - q^{(\tau \mu_{j,worst} - 1)} \right| \leq \xi \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \phi_j &= 1 \\ \phi_{best} &\geq \dots \geq \phi_j \geq \dots \geq \phi_{worst} \\ \phi_j &\geq 0, \xi \geq 0, \forall j \in N \end{aligned} \quad (11)$$

**مرحله پنجم:** محاسبه نرخ ناسازگاری. مویو و همکاران [۶۰] سه روش برای بررسی سازگاری ارایه نمودند که در این مقاله از روش سازگاری ضربی<sup>۱</sup> استفاده گردیده است. بدین منظور برای هر کدام از مقادیر ترجیح و عدم ترجیح یک شاخص سازگاری ضربی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود و در نهایت نرخ ناسازگاری<sup>۳</sup> (CR) محاسبه می‌گردد. در صورتی که ناسازگاری محاسبه شده کمتر یا مساوی ۰/۱ باشد [۵۸-۵۹]، ماتریس IFPR سازگار است. در جدول ۳ شاخص‌های سازگاری ضربی آورده شده‌اند. به منظور محاسبه نرخ ناسازگاری از رابطه (۱۲) استفاده می‌گردد.

$$CR = \max \left\{ \frac{\xi^*}{CI_\downarrow}, \frac{\zeta^*}{CI_\uparrow} \right\} \quad (12)$$

جدول ۳. شاخص‌های سازگاری ضربی

|                 | ۰/۹    | ۰/۸    | ۰/۷    | ۰/۶    | ۰/۵    | $\mu_{best,worst}$ |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| $CI_\downarrow$ | ۲/۱۱۸۰ | ۲/۰۷۲۴ | ۲/۰۲۰۹ | ۱/۹۶۱۷ | ۱/۸۹۲۵ | ۱/۸۰۹۰             |
|                 | ۰/۵    | ۰/۴    | ۰/۳    | ۰/۲    | ۰/۱    | $v_{best,worst}$   |
| $CI_\uparrow$   | ۱/۸۰۹۰ | ۱/۷۰۴۲ | ۱/۵۶۳۹ | ۱/۳۵۳۱ | ۰/۹۲۵۵ | -                  |

#### ۴-۴ روش ویکور فازی شهودی

روش ویکور نخستین بار توسط اپریکویک معرفی گردید و سپس توسط اپریکویک و تسنگ توسعه یافت. با معرفی نظریه فازی، رویکردهای فازی و فازی شهودی این روش ارایه گردید. روش ویکور و تاپسیس از آنجا که

<sup>۱</sup> Multiplicative consistency

<sup>۲</sup> Multiplicative consistency index

<sup>۳</sup> Consistency Ratio

بر پایه نزدیکی به جواب ایده آل بنانهاده شده اند دارای شباهت می باشند. هر چند روش تاپسیس دونقطه مرجع (ایده آل و ضد ایده آل) را معرفی می نماید اما از اهمیت نسبی فواصل از این دونقطه چشم پوشی کرده است. روش نرمال سازی در روش تاپسیس برداری بوده درحالی که در روش ویکور به صورت خطی نرمال سازی انجام می گیرد. در نرمال سازی در روش ویکور واحد سنجش معیار اهمیت ندارد درحالی که روش تاپسیس به واحد سنجش معیار حساس است [۶۱].

گام های روش ویکور فازی شهودی به صورت زیر است [۶۲]:

**گام ۱:** برای ارزیابی گزینه ها با توجه به معیارهای مورد نظر گروهی از خبرگان ( $K=1, \dots, k$ ) را در نظر بگیرید. اهمیت نسبی هر تصمیم گیر بر اساس واژگان زبانی فازی شهودی ارزیابی می گردد. وزن هر تصمیم گیر به صورت  $D_k = (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$  در نظر گرفته می شود. اهمیت هر تصمیم گیر با رابطه (۱۳) قابل محاسبه است.

$$\lambda_k = \frac{\left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^K \left( \mu_k + \pi_k \left( \frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}, \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1 \quad (13)$$

**گام ۲:** در این مرحله  $m$  گزینه  $A_j = (A_1, A_2, \dots, A_m)$  بر اساس  $n$  شاخص  $C_j = (C_1, C_2, \dots, C_n)$  با استفاده از عبارات کلامی جدول ۴ مورد ارزیابی قرار می گیرند. در نهایت با استفاده از رابطه (۹) ماتریس تصمیم گروهی خبرگان ایجاد می شود.

جدول ۴. متغیرهای زبانی برای ارزیابی گزینه ها

| متغیر زبانی    | خیلی ضعیف (VP) | ضعیف (P)     | تقریباً ضعیف (MP) | متوسط (F)    | تقریباً خوب (MG) | خوب (G)      | خیلی خوب (VG) |
|----------------|----------------|--------------|-------------------|--------------|------------------|--------------|---------------|
| عدد فازی شهودی | (۰/۱ و ۰/۹)    | (۰/۲ و ۰/۷۵) | (۰/۳۵ و ۰/۶)      | (۰/۵ و ۰/۴۵) | (۰/۶۵ و ۰/۳۵)    | (۰/۸ و ۰/۱۵) | (۰/۹ و ۰/۱)   |

**گام ۳:** تعیین راه حل ایده آل مثبت<sup>۱</sup> (PIS) فازی شهودی  $r_j^+$  و راه حل ایده آل منفی<sup>۲</sup> (NIS) فازی شهودی  $r_j^-$ . فرض کنید  $J_1$  شاخص سود و  $J_2$  شاخص هزینه باشد. نحوه محاسبه  $r_j^+$  و  $r_j^-$  به صورت روابط (۱۴) و (۱۵) است.

$$r_j^+ = \begin{cases} (\max_{1 \leq i \leq m} \{\mu_{ij}\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{\nu_{ij}\}) = (\mu_j^+, \nu_j^+), & j \in J_1 \\ (\min_{1 \leq i \leq m} \{\mu_{ij}\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{\nu_{ij}\}) = (\mu_j^+, \nu_j^+), & j \in J_2 \end{cases} \quad (14)$$

$$r_j^- = \begin{cases} (\min_{1 \leq i \leq m} \{\mu_{ij}\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{\nu_{ij}\}) = (\mu_j^-, \nu_j^-), & j \in J_1 \\ (\max_{1 \leq i \leq m} \{\mu_{ij}\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{\nu_{ij}\}) = (\mu_j^-, \nu_j^-), & j \in J_2 \end{cases} \quad (15)$$

**گام ۴:** امتیاز میانگین گروهی فازی شهودی<sup>۱</sup> ( $S_i$ ) و مقدار امتیاز گروهی تأسف فازی شهودی<sup>۲</sup> ( $R_i$ ) برای هر یک از گزینه ها با توجه به تعریف (۲) محاسبه می گردد. وزن فازی شهودی هر یک از شاخص ها ( $w_j$ ) با استفاده از رویکرد بهترین بدترین فازی شهودی محاسبه می گردد. نحوه محاسبه  $S_i$  و  $R_i$  به صورت روابط (۱۶) و (۱۷) است.

<sup>1</sup>Positive Ideal Solution

<sup>2</sup>Negative Ideal Solution

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{(r_j^+ - r_{ij})}{(r_j^+ - r_j^-)}, \quad S_i \in [0, 1] \quad (16)$$

$$R_i = \max_j \left[ w_j \frac{(r_j^+ - r_{ij})}{(r_j^+ - r_j^-)} \right], \quad R_i \in [0, 1] \quad (17)$$

گام ۵: محاسبه مقدار  $Q_i$  برای هر یک از گزینه‌ها با استفاده از رابطه (۱۸).

$$Q_i = \frac{k(S_i - S^+)}{(S^- - S^+)} + \frac{(1-k)(R_i - R^+)}{(R^- - R^+)} \quad (18)$$

که در این رابطه:

$$S^+ = (\min_{1 \leq i \leq m} \{\mu_s\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{v_s\}), S^- = (\max_{1 \leq i \leq m} \{\mu_s\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{v_s\})$$

$$R^+ = (\min_{1 \leq i \leq m} \{\mu_R\}, \max_{1 \leq i \leq m} \{v_R\}), R^- = (\max_{1 \leq i \leq m} \{\mu_R\}, \min_{1 \leq i \leq m} \{v_R\})$$

همچنین  $k$  وزن استراتژی تصمیم‌گیری است که در این تحقیق مقدار آن ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

گام ۶: رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر  $S, R, Q$  به صورت ترتیب صعودی بر اساس تعریف ۳.

گام ۷: فرض کنید گزینه  $A_i$  متناظر با بهترین گزینه  $Q_{[i]}$  باشد. این گزینه راه‌حل سازشی خواهد بود اگر دارای شرایط زیر باشد:

شرط اول (مزیت پذیرش): به عبارتی اگر  $Q_{[i]} - Q_{[i+1]} \geq DQ, DQ = \frac{1}{m-1}$  برقرار باشد می‌توان گفت شرط مزیت پذیرش برای گزینه  $A_i$  برقرار است.  $m$  تعداد گزینه‌های مورد بررسی است.

شرط دوم (ثبات پذیرش): گزینه  $A_i$  دارای بهترین رتبه در بین مقادیر  $S$  و  $R$  باشد.

## ۵ تجزیه و تحلیل داده‌ها

### ۵-۱ شناسایی معیارهای ارزیابی تامین کنندگان پایدار با استفاده از روش دلفی فازی

به منظور تایید شاخص‌های ارزیابی پایداری تامین کنندگان، ۲۲ شاخص با استفاده از مرور مبانی نظری به دست آمد که با استفاده از پرسشنامه مخصوص روش دلفی فازی از خبرگان خواسته شد مطابق مراحل این روش به سؤالات پاسخ دهند. کمیته خبرگان مشتمل بر ۱۰ نفر از کارشناسان صنعت و اساتید دانشگاه بوده که در زمینه‌ی زنجیره تامین صنعت باتری تخصص داشتند.

<sup>1</sup>Intuitionistic fuzzy average group score value

<sup>2</sup>Intuitionistic fuzzy worst group score value

جدول ۵. نتایج دور دوم روش دلفی فازی برای انتخاب معیارهای ارزیابی تامین کننده پایدار

| شاخص                            | میانگین فازی مثلی | میانگین فازی زدایی شده | تفاوت میانگین نظرات | تایید یا رد |
|---------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|-------------|
| کیفیت                           | (۵ و ۸/۸ و ۹)     | ۷/۹                    | ۰/۱                 | تایید       |
| مدیریت هزینه                    | (۵ و ۸/۸ و ۹)     | ۷/۹                    | ۰                   | تایید       |
| تحويل                           | (۵ و ۸/۲ و ۹)     | ۷/۶                    | ۰/۱                 | تایید       |
| انعطاف پذیری                    | (۵ و ۸/۸ و ۹)     | ۷/۹                    | ۰/۱                 | تایید       |
| توانمندی فنی و مالی             | (۵ و ۸/۲ و ۹)     | ۷/۶                    | ۰/۱                 | تایید       |
| ظرفیت و تسهیلات                 | (۱ و ۷/۲ و ۹)     | ۶/۱                    | ۰/۱                 | رد          |
| شهرت                            | (۱ و ۷ و ۹)       | ۶                      | ۰/۱                 | رد          |
| سیستم مدیریت زیست محیطی         | (۳ و ۸ و ۹)       | ۷                      | ۰                   | تایید       |
| حمل و نقل سبز                   | (۱ و ۵/۲ و ۹)     | ۵/۱                    | ۰/۲                 | رد          |
| انتشار آلاینده های زیست محیطی   | (۵ و ۸/۴ و ۹)     | ۷/۷                    | ۰/۱                 | تایید       |
| تعهد مدیریت به مسایل زیست محیطی | (۵ و ۸/۲ و ۹)     | ۷/۶                    | ۰/۱                 | تایید       |
| تحقیق و توسعه سبز               | (۵ و ۸/۴ و ۹)     | ۷/۲                    | ۰/۱                 | تایید       |
| مصرف منابع                      | (۵ و ۸/۴ و ۹)     | ۷/۹                    | ۰/۱                 | تایید       |
| طراحی زیستی                     | (۵ و ۸/۶ و ۹)     | ۷/۸                    | ۰/۲                 | تایید       |
| انبارش سبز                      | (۱ و ۶/۴ و ۹)     | ۵/۷                    | ۰/۲                 | رد          |
| افشای اطلاعات به ذینفعان        | (۵ و ۸/۲ و ۹)     | ۷/۶                    | ۰/۲                 | تایید       |
| تاثیر جوامع محلی                | (۵ و ۸/۶ و ۹)     | ۷/۸                    | ۰/۱                 | تایید       |
| حقوق کارکنان                    | (۵ و ۸/۸ و ۹)     | ۷/۹                    | ۰                   | تایید       |
| مشارکت در رویدادهای اجتماعی     | (۵ و ۸/۶ و ۹)     | ۷/۸                    | ۰/۱                 | تایید       |
| سلامت و بهداشت کارکنان          | (۳ و ۸/۲ و ۹)     | ۷/۱                    | ۰/۱                 | تایید       |
| تبعیض جنسیتی                    | (۱ و ۵/۲ و ۹)     | ۵/۱                    | ۰/۲                 | رد          |
| حقوق سهامداران                  | (۳ و ۸ و ۹)       | ۷                      | ۰/۱                 | تایید       |

به اعتقاد چنگ و لین در صورتی که اختلاف بین دو مرحله نظرسنجی روش دلفی فازی کمتر از ۰/۲ باشد، فرآیند نظرسنجی متوقف می گردد [۶۳]. بر این اساس تفاوت مقادیر دی فازی مرحله دو و یک برای شاخص های تایید شده کمتر از ۰/۲ بوده است که در جدول ۵ نتایج بیان شده است. در نهایت ۱۷ معیار به عنوان معیارهای ارزیابی پایداری تامین کنندگان مورد تایید قرار گرفت که به همراه کد آن ها به شرح زیر می باشند:

کیفیت ( $C_{11}$ )، مدیریت هزینه ( $C_{12}$ )، تحويل ( $C_{13}$ )، انعطاف پذیری ( $C_{14}$ )، توانمندی فنی و مالی ( $C_{15}$ )، سیستم مدیریت زیست محیطی ( $C_{21}$ )، انتشار آلاینده های زیست محیطی ( $C_{22}$ )، تعهد مدیریت به مسایل زیست محیطی ( $C_{23}$ )، تحقیق و توسعه سبز ( $C_{24}$ )، مصرف منابع ( $C_{25}$ )، طراحی زیستی ( $C_{26}$ )، افشای اطلاعات به ذینفعان ( $C_{31}$ )، تاثیر جوامع محلی ( $C_{32}$ )، حقوق کارکنان ( $C_{33}$ )، مشارکت در رویدادهای اجتماعی ( $C_{34}$ )، سلامت و بهداشت کارکنان ( $C_{35}$ ) و حقوق سهامداران ( $C_{36}$ ).

## ۵-۲ وزن دهی شاخص ها با استفاده از روش بهترین بدترین فازی شهودی

در این بخش با بهره گیری از روش بهترین بدترین فازی شهودی وزن هر یک از شاخص های ارزیابی تامین کنندگان پایدار محاسبه می گردد. پس از استخراج ماتریس مقایسات زوجی هر یک از خبرگان بر اساس روابط ترجیحی فازی شهودی با استفاده از رابطه (۹) نظرات فردی به یک نظر گروهی تبدیل گردید. در جدول ۶ ماتریس تجمیعی معیارهای فرعی اقتصادی آورده شده است. اهمیت هر یک از خبرگان باهم برابر و معادل ۰/۲ در نظر گرفته شده است.

جدول ۶. ماتریس تجمیعی روابط ترجیحی فازی شهودی معیارهای فرعی اقتصادی

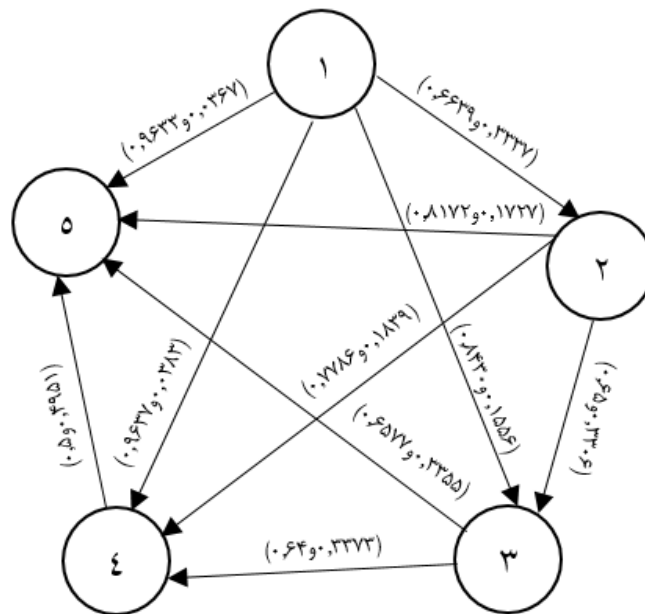
| $C_{15}$          | $C_{14}$          | $C_{13}$          | $C_{12}$          | $C_{11}$          |          |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| (۰/۹۶۳۳ و ۰/۰۳۶۷) | (۰/۹۶۳۷ و ۰/۰۳۸۳) | (۰/۸۴۳۰ و ۰/۱۵۵۶) | (۰/۶۶۳۹ و ۰/۳۳۳۷) | (۰/۵ و ۰/۵)       | $C_{11}$ |
| (۰/۸۱۷۲ و ۰/۱۷۲۷) | (۰/۷۷۸۶ و ۰/۱۸۳۹) | (۰/۶۵ و ۰/۳۳۰۶)   | (۰/۵ و ۰/۵)       | (۰/۳۳۳۷ و ۰/۶۶۳۹) | $C_{12}$ |
| (۰/۶۵۷۷ و ۰/۳۳۵۵) | (۰/۶۴ و ۰/۳۳۷۳)   | (۰/۵ و ۰/۵)       | (۰/۳۳۰۶ و ۰/۶۵)   | (۰/۱۵۵۶ و ۰/۸۴۳۰) | $C_{13}$ |
| (۰/۵ و ۰/۴۹۵۱)    | (۰/۵ و ۰/۵)       | (۰/۳۳۷۳ و ۰/۶۴)   | (۰/۱۸۳۹ و ۰/۷۷۸۶) | (۰/۰۳۸۳ و ۰/۹۶۳۴) | $C_{14}$ |
| (۰/۵ و ۰/۵)       | (۰/۴۹۵۱ و ۰/۵)    | (۰/۳۳۵۵ و ۰/۶۵۷۷) | (۰/۱۷۲۷ و ۰/۸۱۷۲) | (۰/۰۳۶۷ و ۰/۹۶۳۳) | $C_{15}$ |

جهت تعیین بهترین و بدترین معیار از ترسیم شبکه جهت دار استفاده می گردد. در شکل ۳ شبکه جهت دار برای معیارهای فرعی اقتصادی نمایش داده شده است. نتیجه نهایی درجه خروجی و ورودی و بهترین و بدترین زیرمعیارهای فرعی اقتصادی به صورت جدول ۷ محاسبه می گردد. در نهایت ترتیب اولویت بندی این معیارها به صورت زیر درمی آید:  $C_{11} > C_{12} > C_{13} > C_{14} > C_{15}$ .

در نهایت با استفاده از مدل های ریاضی (۱۰) و (۱۱) وزن های بهینه هر یک از معیارهای اصلی و فرعی پایداری تامین کننده تعیین گردید. جهت حل مدل های ریاضی از نرم افزار لینگو نسخه ۱۷ استفاده گردیده است. نرخ ناسازگاری حاصل از حل مدل های ریاضی برای تمامی ماتریس های IFPR تجمیعی کمتر از ۰/۱ به دست آمد که نشان دهنده سازگاری قابل قبول ماتریس ها است.

جدول ۷. تعیین بهترین و بدترین زیرمعیار فرعی اقتصادی

| معیار فرعی | درجه ورودی $D_1^{in}$ | درجه خروجی $D_1^{out}$ | بهترین معیار | بدترین معیار |
|------------|-----------------------|------------------------|--------------|--------------|
| $C_{11}$   | ۰                     | ۴                      |              |              |
| $C_{12}$   | ۱                     | ۳                      |              |              |
| $C_{13}$   | ۲                     | ۲                      | $C_{11}$     | $C_{15}$     |
| $C_{14}$   | ۳                     | ۱                      |              |              |
| $C_{15}$   | ۴                     | ۰                      |              |              |



شکل ۳. شبکه جهت‌دار IFPR تجمیعی

در نهایت با استفاده از رابطه (۲) وزن نهایی هریک از زیرمعیارهای پایداری در ابعاد سه گانه محاسبه گردید. جدول ۸ اوزان نهایی هریک از معیارها و زیرمعیارها را نشان داده است.

جدول ۸. وزن‌های بهینه معیارهای اصلی و فرعی پایداری تامین کننده

| معیار اصلی | وزن فازی شهودی  | معیار فرعی | وزن محلی        | رتبه‌بندی | وزن نهایی       | رتبه‌بندی |
|------------|-----------------|------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| $C_1$      | (۰/۵۸۵ و ۰/۰۸۳) | $C_{11}$   | (۰/۴۹۵ و ۰/۰۴۱) | ۱         | (۰/۲۹۰ و ۰/۰۳۸) | ۱         |
|            |                 | $C_{12}$   | (۰/۲۶۵ و ۰/۰۸۳) | ۲         | (۰/۱۵۵ و ۰/۰۷۶) | ۲         |
|            |                 | $C_{13}$   | (۰/۱۱۴ و ۰/۱۷۶) | ۳         | (۰/۰۶۷ و ۰/۱۶۱) | ۳         |
|            |                 | $C_{14}$   | (۰/۰۶۳ و ۰/۳۴۹) | ۴         | (۰/۰۳۷ و ۰/۳۲)  | ۴         |
|            |                 | $C_{15}$   | (۰/۰۶۳ و ۰/۳۵۲) | ۵         | (۰/۰۳۷ و ۰/۳۲۳) | ۵         |
| $C_2$      | (۰/۳۱۳ و ۰/۲۱۸) | $C_{21}$   | (۰/۴۳۳ و ۰/۰۳۶) | ۱         | (۰/۱۳۵ و ۰/۲۴۵) | ۳         |
|            |                 | $C_{22}$   | (۰/۲۲۶ و ۰/۰۷۴) | ۲         | (۰/۰۷۱ و ۰/۲۷۶) | ۴         |
|            |                 | $C_{23}$   | (۰/۱۲۷ و ۰/۱۴۰) | ۳         | (۰/۰۴۰ و ۰/۳۲۷) | ۷         |
|            |                 | $C_{24}$   | (۰/۰۹۳ و ۰/۱۷۶) | ۴         | (۰/۰۲۹ و ۰/۳۵۵) | ۱۰        |
|            |                 | $C_{25}$   | (۰/۰۶۷ و ۰/۲۵)  | ۵         | (۰/۰۲۱ و ۰/۴۱۳) | ۱۲        |
|            |                 | $C_{26}$   | (۰/۰۵۴ و ۰/۳۲۴) | ۶         | (۰/۰۱۷ و ۰/۴۷۱) | ۱۳        |
|            |                 |            |                 |           |                 |           |
| $C_3$      | (۰/۱۰۲ و ۰/۷)   | $C_{31}$   | (۰/۴۰۸ و ۰/۰۳۸) | ۱         | (۰/۰۴۲ و ۰/۷۱۱) | ۶         |
|            |                 | $C_{32}$   | (۰/۲۲۸ و ۰/۰۶۴) | ۲         | (۰/۰۲۳ و ۰/۷۱۹) | ۱۱        |
|            |                 | $C_{33}$   | (۰/۱۴۲ و ۰/۰۹۶) | ۳         | (۰/۰۱۴ و ۰/۷۲۸) | ۱۴        |
|            |                 | $C_{34}$   | (۰/۰۶۵ و ۰/۲۱۲) | ۵         | (۰/۰۰۷ و ۰/۷۶۳) | ۱۶        |
|            |                 | $C_{35}$   | (۰/۱۰۷ و ۰/۱۳۸) | ۴         | (۰/۰۱۱ و ۰/۷۴۱) | ۱۵        |
|            |                 | $C_{36}$   | (۰/۰۴۹ و ۰/۴۵۲) | ۶         | (۰/۰۰۵ و ۰/۸۳۶) | ۱۷        |

### ۵-۳ ارزیابی تامین کنندگان پایدار با استفاده از روش ویکور فازی شهودی

در این بخش چهار تامین کننده مواد اولیه باتری های سربی اسیدی با استفاده از تکنیک ویکور فازی شهودی مورد ارزیابی قرار می گیرند. در این بخش ابتدا تامین کنندگان شرکت با توجه به معیارهای ۱۷ گانه ارزیابی که در روش دلفی فازی مورد توافق خبرگان قرار گرفته بودند، توسط ۵ تن از خبرگان شرکت مورد ارزیابی واقع شدند. ماتریس حاصل از نظرات فردی خبرگان به صورت جدول ۹ نشان داده شده است.

جدول ۹. ماتریس فازی شهودی هریک از خبرگان

| C <sub>36</sub> | C <sub>35</sub> | C <sub>34</sub> | C <sub>33</sub> | C <sub>32</sub> | C <sub>31</sub> | ... | C <sub>21</sub> | C <sub>15</sub> | C <sub>14</sub> | C <sub>13</sub> | C <sub>12</sub> | C <sub>11</sub> |                |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| G               | MG              | VG              | F               | F               | MG              | ... | VG              | G               | MG              | MG              | F               | MP              | A <sub>1</sub> |
| MG              | MG              | F               | G               | F               | G               | ... | MG              | F               | VG              | MP              | VG              | G               | A <sub>2</sub> |
| G               | G               | MG              | VG              | MG              | VG              | ... | G               | MG              | G               | F               | MG              | VG              | A <sub>3</sub> |
| P               | MG              | MG              | G               | F               | F               | ... | MG              | F               | MP              | MG              | F               | MP              | A <sub>4</sub> |
| G               | VG              | VG              | F               | P               | G               | ... | G               | VG              | MG              | MG              | G               | F               | A <sub>1</sub> |
| VG              | G               | F               | G               | F               | F               | ... | MP              | MG              | MG              | F               | MG              | MG              | A <sub>2</sub> |
| MG              | VG              | MG              | VG              | MG              | MG              | ... | F               | G               | G               | MG              | G               | G               | A <sub>3</sub> |
| P               | F               | F               | G               | G               | F               | ... | MG              | MG              | MP              | F               | F               | F               | A <sub>4</sub> |
| F               | G               | MP              | G               | VG              | P               | ... | G               | VG              | G               | F               | MG              | MP              | A <sub>1</sub> |
| F               | MG              | P               | VG              | F               | F               | ... | F               | F               | G               | MP              | G               | G               | A <sub>2</sub> |
| MG              | G               | MP              | MG              | MG              | MG              | ... | MG              | MG              | VG              | F               | VG              | VG              | A <sub>3</sub> |
| F               | P               | F               | P               | F               | G               | ... | MG              | G               | MG              | MG              | MG              | MG              | A <sub>4</sub> |
| MG              | VG              | VG              | G               | MG              | F               | ... | VG              | G               | F               | VG              | MG              | F               | A <sub>1</sub> |
| F               | MG              | G               | MG              | F               | MG              | ... | F               | G               | VG              | MP              | VG              | F               | A <sub>2</sub> |
| MG              | G               | VG              | G               | MG              | G               | ... | MG              | VG              | MG              | F               | MG              | MG              | A <sub>3</sub> |
| MG              | MG              | MG              | P               | MG              | MP              | ... | MP              | MP              | MP              | F               | F               | P               | A <sub>4</sub> |
| F               | G               | G               | MP              | P               | F               | ... | VG              | MG              | F               | MP              | F               | MP              | A <sub>1</sub> |
| MG              | G               | MG              | MG              | F               | G               | ... | F               | MG              | VG              | MG              | VG              | G               | A <sub>2</sub> |
| G               | VG              | G               | G               | MG              | VG              | ... | MG              | G               | G               | G               | MG              | VG              | A <sub>3</sub> |
| F               | F               | MP              | F               | G               | MG              | ... | F               | F               | MP              | MG              | F               | MP              | A <sub>4</sub> |

به منظور تجميع ماتریس نظرات خبرگان از رابطه (۹) استفاده می شود. جدول ۱۰ بیان گر این ماتریس تجميعی است. سپس مقادیر ایده آل مثبت و منفی فازی شهودی برای هر معیار مشخص گردیده که به ترتیب در دو سطر آخر جدول ۱۰ آورده شده اند.

جدول ۱۰. ماتریس فازی شهودی تجمیعی

|         | $C_{11}$ (مثبت)         | $C_{12}$ (مثبت)         | $C_{13}$ (مثبت)         | ... | $C_{36}$ (مثبت)          |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----|--------------------------|
| $A_1$   | (۰/۳۹۲ و ۰/۵۸۵ و ۰/۰۲۳) | (۰/۵۸۶ و ۰/۳۶۱ و ۰/۰۵۳) | (۰/۶۴۴ و ۰/۳۳۱ و ۰/۰۲۵) | ... | (۰/۵۸۵ و ۰/۳۲۳ و ۰/۰۹۳)  |
| $A_4$   | (۰/۶۷۸ و ۰/۲۶۹ و ۰/۰۵۳) | (۰/۸۴۲ و ۰/۱۴۸ و ۰/۰۱۱) | (۰/۴۳۰ و ۰/۵۴۵ و ۰/۰۲۶) | ... | (۰/۵۸۰ و ۰/۳۱۴ و ۰/۰۱۰۶) |
| $A_7$   | (۰/۸۴۲ و ۰/۱۴۸ و ۰/۰۱۱) | (۰/۷۲۴ و ۰/۲۴۴ و ۰/۰۳۲) | (۰/۵۵۹ و ۰/۳۸۸ و ۰/۰۵۳) | ... | (۰/۶۵۶ و ۰/۲۸۰ و ۰/۰۶۴)  |
| $A_8$   | (۰/۳۹۸ و ۰/۵۶۸ و ۰/۰۳۴) | (۰/۴۸۴ و ۰/۴۶۶ و ۰/۰۵۰) | (۰/۵۴۶ و ۰/۴۰۴ و ۰/۰۵۱) | ... | (۰/۳۰۷ و ۰/۵۶۲ و ۰/۰۱۳۱) |
| $r_j^+$ | (۰/۸۴۲ و ۰/۱۴۸ و ۰/۰۱۱) | (۰/۸۴۲ و ۰/۱۴۸ و ۰/۰۱۱) | (۰/۶۴۴ و ۰/۳۳۱ و ۰/۰۲۵) | ... | (۰/۶۵۶ و ۰/۲۸۰ و ۰/۰۶۴)  |
| $r_j^-$ | (۰/۳۹۲ و ۰/۵۸۵ و ۰/۰۲۳) | (۰/۴۸۴ و ۰/۴۶۶ و ۰/۰۵۰) | (۰/۴۳۰ و ۰/۵۴۵ و ۰/۰۲۶) | ... | (۰/۳۰۷ و ۰/۵۶۲ و ۰/۰۱۳۱) |

با استفاده از روابط (۱۶) الی (۱۸)، مقدار فازی شهودی شاخص‌های  $R$ ،  $S$  و  $Q$  محاسبه گردیده و در نهایت با استفاده از تعریف ۳ رتبه‌بندی نهایی تامین‌کنندگان به دست آمد. همان‌طور که از مقادیر جدول ۱۱ قابل مشاهده است رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها به صورت  $A_4 > A_7 > A_1 > A_8$  می‌گردد.

در بررسی شرط اول و دوم از گام ۷ می‌توان بیان داشت: با توجه به شرط مزیت پذیرش خواهیم داشت  $Q_{[7]} - Q_{[1]} = 0/76 \geq \frac{1}{17-1} = 0/0625$ . که می‌توان شرط مزیت پذیرش را قبول نمود. همان‌طور که از جدول ۱۱ می‌توان برداشت کرد گزینه سوم در هر سه مقدار  $R$ ،  $S$  و  $Q$  دارای رتبه اول است.

جدول ۱۱. نتایج محاسباتی برای رویکرد ویکور فازی شهودی

| گزینه | $S_i$                   | رتبه | $R_i$                   | رتبه | $Q_i$                   | رتبه |
|-------|-------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|
| $A_1$ | (۰/۴۹۱ و ۰ و ۰/۵۰۹)     | ۳    | (۰/۶۷۳ و ۰/۰۳۸ و ۰/۲۹۰) | ۴    | (۰ و ۰ و ۱)             | ۳    |
| $A_4$ | (۰/۴۶۲ و ۰ و ۰/۵۳۸)     | ۲    | (۰/۶۴۰ و ۰/۱۶۱ و ۰/۱۹۹) | ۲    | (۰/۰۵۴ و ۰/۱۰۴ و ۰/۳۹۲) | ۲    |
| $A_7$ | (۰/۶۸۱ و ۰/۰۰۶ و ۰/۳۱۲) | ۱    | (۰/۶۰۸ و ۰/۲۷۶ و ۰/۱۱۷) | ۱    | (۰ و ۰/۹۲۹ و ۰/۰۷۱)     | ۱    |
| $A_8$ | (۰/۴۰۶ و ۰ و ۰/۵۹۴)     | ۴    | (۰/۶۶۴ و ۰/۰۴۷ و ۰/۲۸۹) | ۳    | (۰ و ۰ و ۱)             | ۴    |

## ۶ تحلیل حساسیت

از آنجاکه وزن استراتژی نقشی مهم در رتبه‌بندی گزینه‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی ویکور فازی شهودی ایفا می‌کند به منظور تحلیل حساسیت وزن  $k$  مقادیری بین صفر تا یک در نظر گرفته شد و تغییرات رتبه‌بندی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل بر اساس مقادیر مختلف وزن استراتژی در جدول ۱۲ آورده شده است. همان‌طور که قابل مشاهده است گزینه  $A_4$  در تمامی موارد به عنوان برترین گزینه است و می‌توان بیان داشت رویکرد پیشنهادی ویکور فازی شهودی دارای ثبات در نتایج است.

همچنین به منظور بررسی کارایی رویکرد ویکور فازی شهودی پیشنهادی، از رویکرد تاپسیس فازی شهودی بوران و همکاران [۱۷] استفاده گردید. نتایج محاسباتی حاصل، در جدول ۱۳ آورده شده است. همان‌گونه که قابل مشاهده است رتبه اول به  $A_4$  و رتبه چهارم به  $A_8$  اختصاص یافته است.

**جدول ۱۲.** تحلیل حساسیت ویکور فازی شهودی بر اساس مقادیر مختلف k

| $A_f$ | $A_p$ | $A_s$ | $A_i$ | $Q_1$                   | k     |
|-------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_i$ |
| ۴     | ۱     | ۲     | ۳     | (۰/۴۸۰ و ۰/۳۳۴ و ۰/۱۸۵) | $A_p$ |
|       |       |       |       | (۰ و ۰/۸۷۶ و ۰/۱۲۴)     | $A_s$ |
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_f$ |
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_i$ |
| ۴     | ۱     | ۲     | ۳     | (۰/۴۹۲ و ۰/۱۸۷ و ۰/۳۲۱) | $A_p$ |
|       |       |       |       | (۰ و ۰/۹۰۲ و ۰/۰۹۸)     | $A_s$ |
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_f$ |
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_i$ |
| ۴     | ۱     | ۲     | ۳     | (۰/۵۰۴ و ۰/۱۰۴ و ۰/۳۹۲) | $A_p$ |
|       |       |       |       | (۰ و ۰/۹۲۹ و ۰/۰۷۱)     | $A_s$ |
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_f$ |
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_i$ |
| ۳     | ۱     | ۲     | ۴     | (۰/۵۱۵ و ۰/۰۵۸ و ۰/۴۲۷) | $A_p$ |
|       |       |       |       | (۰ و ۰/۹۵۷ و ۰/۰۴۳)     | $A_s$ |
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_f$ |
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_i$ |
| ۳     | ۱     | ۲     | ۳     | (۰/۵۲۶ و ۰/۰۳۲ و ۰/۴۴۲) | $A_p$ |
|       |       |       |       | (۰ و ۰/۹۵۸ و ۰/۰۱۵)     | $A_s$ |
|       |       |       |       | (۱ و ۰)                 | $A_f$ |

**جدول ۱۳.** نتایج محاسباتی رویکرد تاپسیس فازی شهودی

| رتبه بندی | $CC_i$ | $S^-$ | $S^+$ | گزینه ها |
|-----------|--------|-------|-------|----------|
| ۳         | ۰/۴۶۲  | ۰/۱۱۲ | ۰/۱۳۱ | $A_i$    |
| ۲         | ۰/۵۴۵  | ۰/۱۲۷ | ۰/۱۰۶ | $A_p$    |
| ۱         | ۰/۶۸۸  | ۰/۱۵۶ | ۰/۰۷۱ | $A_s$    |
| ۴         | ۰/۲۶۲  | ۰/۰۵۸ | ۰/۱۶۲ | $A_f$    |

## ۷ نتیجه گیری و پیشنهادها

انتخاب تامین کننده پایدار، از جمله فعالیت هایی است که تاثیر قابل توجهی بر فعالیت های عملیاتی کل سازمان دارد. انتخاب بهترین تامین کننده که قادر به تهیه قطعات و مواد اولیه مورد نیاز سازمان با توجه به نیازمندی های سازمانی باشد یک تصمیم چالشی است. همچنین ارایه یک سیستم پشتیبان تصمیم برای تصمیم گیران سازمانی می تواند کمک شایانی به عملیات منبع یابی پایدار نماید.

تحقیق حاضر، با ارایه یک رویکرد ترکیبی فازی شهودی چندمعیاره مشتمل بر روش بهترین بدترین و ویکور به بررسی انتخاب تامین کننده پایدار در محیط عدم قطعیت پرداخته است. به منظور بررسی کارایی روش ارایه شده نتایج حاصل با رویکرد تاپسیس فازی شهودی مقایسه گردید که نتایج نشان داد تامین کننده سوم در هر دو روش به عنوان بهترین تامین کننده می باشد.

این تحقیق، با بررسی شکاف تحقیقاتی موجود در تحقیقات سن و همکاران [۴۴] و معماری و همکاران [۶۴] سعی نمود رویکردی ترکیبی ارایه نماید. در این تحقیقات، هر چند ابعاد پایداری تامین کننده مورد بررسی قرار گرفت اما معیارهای پایداری در این تحقیقات، با رویکردی مانند دلفی فازی غربال نگردیده اند. همچنین جهت وزن دهی به معیارها از تکنیک خاصی استفاده نگردیده و تنها از نظرات خبرگان استفاده شده در صورتی که در تحقیق حاضر بدین منظور رویکرد بهترین بدترین فازی شهودی به کار برده شده است. در نهایت رویکرد ویکور فازی شهودی جهت اولویت بندی تامین کنندگان مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

از جمله محدودیت های تحقیق حاضر نادیده گرفتن روابط درونی معیارها با یکدیگر است. به عنوان تحقیقات آینده پیشنهاد می گردد با استفاده از رویکرد دیمتل روابط درونی متغیرها تایید گردیده و با استفاده از روش تحلیل شبکه ای فازی شهودی وزن هر یک از معیارها سنجیده گردد. همچنین می توان به جای روش بهترین بدترین فازی شهودی از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی استفاده نمود و نتایج را با تحقیق حاضر مقایسه نمود.

## منابع

- [۹] گیتی نورد، ح.، موسوی، س.م.، وحدانی، ب.، قادری، ح.، (۱۳۹۶). روش تصمیم گیری جدید بر مبنای شاخص انتخاب ارجحیت فازی تردیدی برای انتخاب پیمانکار در صنعت ساخت و ساز. مطالعات مدیریت صنعتی، ۴۵، ۱۲۱-۱۴۴.
- [۱۰] دهقان خلیلی، ی.، محمدی، ع.، (۱۳۹۶). ارزیابی صنایع منتخب بورس اوراق بهادار با استفاده از رویکرد برنامه ریزی خطی و تصمیم گیری چند شاخصه. پژوهش های نوین در تصمیم گیری، ۲(۲)، ۱۳۳-۱۵۳.
- [۲۵] امیری، م.، هادی نژاد، ف.، ملک خویان، ش.، (۱۳۹۶). ارزیابی و اولویت بندی تامین کنندگان با رویکرد ترکیبی آنتروپی، تحلیل سلسله مراتبی و پرامیتی اصلاح شده (مطالعه موردی: شرکت یوتاب). مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۴(۴)، ۲۰-۱.
- [۲۶] همایون فر، م.، گودرزوند چگینی، م.، دانشور، ا.، (۱۳۹۷). الویت بندی تامین کنندگان زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد ترکیبی MCDM فازی. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۵(۲)، ۴۱-۶۱.
- [۶۱] امیری، م.، (۱۳۸۶). تصمیم گیری گروهی برای انتخاب ابزار ماشین با استفاده از روش ویکور فازی. مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۶(۶)، ۱۶۷-۱۸۸.

- [1] Jafarzadeh Ghoushchi, S., Dodkanloi Milan, M., Jahangoshai Rezaee, M., (2018). Evaluation and selection of sustainable suppliers in supply chain using new GP-DEA model with imprecise data. Journal of Industrial Engineering International, 14(3), 613-625.
- [2] Mota, B., Gomes, M. I., Carvalho, A., Barbosa-Povoa, A. P., (2018). Sustainable supply chains: An integrated modeling approach under uncertainty. Omega (United Kingdom), 77, 32-57.
- [3] Seuring, S., Müller, M., (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. Journal of Cleaner Production, 16(15), 1699-1710.
- [4] Büyükköçkan, G., Berkol, Ç., (2011). Designing a sustainable supply chain using an integrated analytic network process and goal programming approach in quality function deployment. Expert Systems with Applications, 38(11), 13731-13748.
- [5] Awasthi, A., Govindan, K., Gold, S., (2018). Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. International Journal of Production Economics, 195, 106-117.

- [6] Azadnia, A. H., Saman, M. Z. M., Wong, K. Y., (2015). Sustainable supplier selection and order lot-sizing: An integrated multi-objective decision-making process. *International Journal of Production Research*, 53(2), 383–408.
- [7] Izadikhah, M., (2012). Group Decision Making Process for Supplier Selection with TOPSIS Method under Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Numbers. *Advances in Fuzzy Systems*, 2012, 2.
- [8] Mirjani, M., Wahab, M. I. M., Li, K. W., (2013). A multicriteria supplier selection framework with interval - Valued intuitionistic fuzzy assessment. *10th International Conference on Service Systems and Service Management* (pp. 731–736).
- [11] Barbosa-Póvoa, A. P., da Silva, C., Carvalho, A., (2018). Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective. *European Journal of Operational Research*, 268(2), 399–431.
- [12] Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., Wamba, S. F., (2017). World class sustainable supply chain management: Critical review and further research directions. *International Journal of Logistics Management*, 28(2), 332–362.
- [13] Zimmer, K., Fröhling, M., Schultmann, F., (2016). Sustainable supplier management - A review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. *International Journal of Production Research*, 54(5), 1412–1442.
- [14] Handfield, R., Walton, S. V., Sroufe, R., Melnyk, S. A., (2002). Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 141(1), 70–87.
- [15] Lee, A. H. I., Kang, H.-Y., Hsu, C.-F., Hung, H.-C., (2009). A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 7917–7927.
- [16] Wang, J.-W., Cheng, C.-H., & Huang, K.-C., (2009). Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection. *Applied Soft Computing*, 9(1), 377–386.
- [17] Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., Akay, D., (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363–11368.
- [18] Guo, Z., Qi, M., Zhao, X., (2010). A New Approach Based on Intuitionistic Fuzzy Set for Selection of Suppliers. *Sixth IEEE International Conference on Natural Computation* (Vol. 7, pp. 3715–3718).
- [19] Zhang, Q., Huang, Y., (2012). Intuitionistic Fuzzy Decision Method for Supplier Selection in Information Technology Service Outsourcing. *Emerging Research in Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 315(15), 432–439.
- [20] Büyükköçkan, G., Çifçi, G., (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000–3011.
- [21] Roostaei, R., Izadikhah, M., Lotfi, F. H., Rostamy-Malkhalifeh, M., (2012). A Multi-Criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making Method for Supplier Selection with VIKOR Method. *International Journal of Fuzzy System Applications*, 2(1), 1–17.
- [22] Shen, L., Olfat, L., Govindan, K., Khodaverdi, R., Diabat, A., (2013). A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences. *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 170–179.
- [23] Keshavarz Ghorabae, M., Amiri, M., Sadaghiani, J. S., Goodarzi, G. H., (2014). Multiple criteria group decision-making for supplier selection based on COPRAS method with interval type-2 fuzzy sets. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75(5-8), 1115–1130.
- [24] Kaur, P., (2014). Selection of vendor based on Intuitionistic fuzzy analytical hierarchy process. *Advances in Operations Research*, 2014.
- [27] Li, M., Wu, C., (2015). Green supplier selection based on improved intuitionistic fuzzy TOPSIS model. *Metallurgical and Mining Industry*, 7(6), 193–205.
- [28] Makui, A., Gholamian, M. R., Mohammadi, E., (2016). A hybrid intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making approach for supplier selection. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 9(20), 61–73.
- [29] Wood, D. A., (2016). Supplier selection for development of petroleum industry facilities, applying multi-criteria decision making techniques including fuzzy and intuitionistic fuzzy TOPSIS with flexible entropy weighting. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 28, 594–612.
- [30] Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K., Garg, C. P., (2017). An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 140, Part, 1686–1698.
- [31] Zhao, J., You, X. Y., Liu, H. C., Wu, S. M., (2017). An extended VIKOR method using

- intuitionistic fuzzy sets and combination weights for supplier selection. *Symmetry*, 9(9), 169.
- [32] Hamdan, S., Cheaitou, A., (2017). Supplier selection and order allocation with green criteria: An MCDM and multi-objective optimization approach. *Computers & Operations Research*, 81, 282–304.
- [33] Gupta, H., Barua, M. K., (2017). Supplier selection among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 152, 242–258.
- [34] Liu, A., Xiao, Y., Ji, X., Wang, K., Tsai, S. B., Lu, H., Cheng, J., Lai, X., Wang, J., (2018). A novel two-stage integrated model for supplier selection of green fresh product. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7), 2371.
- [35] Xia, W., Wu, Z., (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*, 35(5), 494–504.
- [36] Ahi, P., Searcy, C., (2015). An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 86, 360–377.
- [37] Fallahpour, A., Udoncy Olugu, E., Nurmaya Musa, S., Yew Wong, K., Noori, S., (2017). A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 105, 391–410.
- [38] Amindoust, A., Ahmed, S., Saghafein, A., Bahreininejad, A., (2012). Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing*, 12(6), 1668–1677.
- [39] Bai, C., Sarkis, J., (2010). Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 252–264.
- [40] Faisal, M. N., Al-Esmail, B., Sharif, K. J., (2017). Supplier selection for a sustainable supply chain. *Benchmarking: An International Journal*, 24(7), 1956–1976.
- [41] Govindan, K., Khodaverdi, R., Jafarian, A., (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. *Journal of Cleaner Production*, 47, 345–354.
- [42] Rabbani, M., Foroozesh, N., Mousavi, S. M., Farrokhi-Asl, H., (2017). Sustainable supplier selection by a new decision model based on interval-valued fuzzy sets and possibilistic statistical reference point systems under uncertainty. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 1–17.
- [43] Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Amiri, M., Esmaeili, A., (2016). Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets. *Journal of Cleaner Production*, 137, 213–229.
- [44] Sen, D. K., Datta, S., Mahapatra, S. S., (2018). Sustainable supplier selection in intuitionistic fuzzy environment: a decision-making perspective. *Benchmarking*, 25(2), 545–574.
- [45] Khan, S. A., Kusi-Sarpong, S., Arhin, F. K., Kusi-Sarpong, H., (2018). Supplier sustainability performance evaluation and selection: A framework and methodology. *Journal of Cleaner Production*, 205, 964–979.
- [46] Ocampo, L., Ebisa, J. A., Ombe, J., Geen Escoto, M., (2018). Sustainable ecotourism indicators with fuzzy Delphi method – A Philippine perspective. *Ecological Indicators*, 93, 874–888.
- [47] Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tomizawa, G., Tatsuta, R., Mieno, H., (1993). The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy Sets and Systems*, 55(3), 241–253.
- [48] Zadeh, L. A., (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- [49] Atanassov, K. T., (2017). Intuitionistic Fuzzy. *Fuzzy Sets and Systems*, 351(1), 121–128.
- [50] Atanassov, K. T., (1994). New operation defined over the intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 61(2), 137–142.
- [51] Atanassov, K. T., Nikolov, N. G., Aladjov, H. T., (2001). Remark on two operations over intuitionistic fuzzy sets. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 9(1), 71–75.
- [52] Chen, T. Y., (2007). Remarks on the subtraction and division operations over intuitionistic fuzzy sets and interval-valued fuzzy sets. *International Journal of Fuzzy Systems*, 9(3), 169–172.
- [53] De, S. K., Biswas, R., Roy, A. R., (2000). Some operations on intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(3), 477–484.
- [54] Van Nieuwenhuyse, I., Vandaele, N., (2006). The impact of delivery lot splitting on delivery reliability in a two-stage supply chain. *International Journal of Production Economics*, 104(2), 694–708.
- [55] Burillo, P., Bustince, H., (1996). Fuzzy Entropy on intuitionistic fuzzy sets and on interval-valued fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 78(3), 305–316.

- [56] Xu, Z., (2007). Intuitionistic preference relations and their application in group decision making. *Information Sciences*, 177(11), 2363–2379.
- [57] Mou, Q., Xu, Z., Liao, H., (2016). An intuitionistic fuzzy multiplicative best-worst method for multi-criteria group decision making. *Information Sciences*, 374, 224–239.
- [58] Rezaei, J., (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega (United Kingdom)*, 53, 49–57.
- [59] Rezaei, J., (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega (United Kingdom)*, 64, 126–130.
- [60] Mou, Q., Xu, Z., Liao, H., (2017). A graph based group decision making approach with intuitionistic fuzzy preference relations. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 138–150.
- [62] Mousavi, S. M., Vahdani, B., Behzadi, S. S., (2016). Designing a model of intuitionistic fuzzy VIKOR in multi-attribute group decision-making problems. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 13(1), 45-65.
- [63] Cheng, C. H., Lin, Y., (2002). Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142(1), 174-186.
- [64] Memari, A., Dargi, A., Jokar, M. R. A., Ahmad, R., Rahim, A. R. A., (2019). Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 9-24.