یک رویکرد ترکیبی فازی برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش

ریحانه حاجتی[۱]، مجید نوجوان[۲،*]، داود محمدی تبار[۳]

[۱] کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، ، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۲] استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران(عهده‌دار مکاتبات)

[۳] استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ماه ۱۳۹۸، اصلاحیه: آبان ماه ۱۳۹۸، پذیرش: دی ماه ۱۳۹۸

چکیده

ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان و تعیین میزان خرید اقلام یکی از تصمیمات راهبردی و از اجزای مهم در مدیریت زنجیره تامین است. در این مقاله برای این منظور یک رویکرد ترکیبی جدید پیشنهاد شده است که شامل شش مرحله است. ابتدا در مرحله اول شاخصها و زیرشاخصهای ارزیابی تامین‌کنندگان با استفاده از نظرات خبرگان تعیین و در مرحله دوم روابط و درجه اهمیت آنها با استفاده از روش DEMATEL-ANP فازی، مشخص می‌شود. در مرحله سوم با در نظر گرفتن چهار گروه برای اقلام خریدنی، تامین‌کنندگان در هر گروه با استفاده از روش WASPAS فازی رتبه‌بندی می‌شوند. در مرحله چهارم یک سیستم استنتاج فازی طراحی و با استفاده از آن همه اقلام خریدنی به یکی از چهار گروه تخصیص داده می‌شوند. سپس در مرحله پنجم، برای تعیین مقدار سفارش اقلام درحالت چند محصول، چند دوره، چند تامین‌کننده، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با سه هدف: کمینه‌سازی هزینه‌ها، بیشینه‌سازی مطلوبیت خرید و تابع هدف جدید کمینه‌سازی تغییرات در تامین‌کنندگان انتخابی، طراحی می‌شود. و نهایتا در مرحله آخر برای حل مدل پیشنهادی، از روش LP متریک استفاده و با تغییر ضرایب این روش، جوابهای پارتوی مسئله تعیین می‌شود. از رویکرد پیشنهادی برای ارزیابی تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش در یک شرکت بزرگ تولیدکننده محصولات شیمیایی با تعداد زیادی از اقلام خریدنی و تامین‌کننده استفاده و با بررسی خبرگان صحت نتایج بدست آمده تایید شده است. با توجه به جامعیت رویکرد پیشنهادی، استفاده از این رویکرد دقت ارزیابی تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش را افزایش می‌دهد و از این رو کاربرد آن در سازمانها توصیه می‌گردد.

واژه‌های اصلی : انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش، DEMATEL-ANP فازی، استنتاج فازی، WASPAS فازی، برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط چند هدفه.

۱- مقدمه

ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان و تعیین میزان سفارش اقلام یکی از تصمیمات راهبردی و مهم در مدیریت زنجیره تامین است و اهمیت بسیاری در کسب سود و همچنین کیفیت تولید محصول و ارائه خدمات دارد و از این رو روشهای متنوع و زیادی برای این منظور توسط محققین توسعه داده شده است.

کنان و همکاران [۱۳] یک رویکرد یکپارچه برای حل مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان سبز و تخصیص مقدار سفارش ارائه کردند که شامل روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی [۱] (AHP) و روش تکنیک رتبه‌بندی ارجحیت بر اساس شباهت به اه حل ایده آل [۲] TOPSIS فازی و همچنین مدل برنامه‌ریزی چند هدفه بود. آنها برای حل مدل بهینه‌سازی از روش برنامه‌ریزی خطی فازی [۳] (FLP) استفاده کردند. نظری شیرکوهی و همکاران [۲۹] برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش در حالت چند سطح قیمت/چند محصول از یک رویکرد دو مرحله‌ای شامل: برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح چند هدفه فازی استفاده کردند. کلیک [۱۶] برای انتخاب تامین‌کنندگان در کارخانه تولید فیلتر هوا و در شرایط چند محصول/چند منبع از یک رویکرد ترکیبی شامل TOPSIS فازی و مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط استفاده نمودند. لئانگ پانتا و چیادامرانگ [۲۳] برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش در حالت چند کالا/چند منبع از رویکرد ترکیبی TOPSIS فازی و برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی استفاده نمودند. آین و کلیک [۲] یک رویکرد دو مرحله‌ای ترکیبی شامل روش‌های AHP

1- Analytic Hierarchy Process (AHP)

2- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

3- Fuzzy Linear Programming (FLP)

*mnojavan@azad.ac.ir

فازی و مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای انتخاب تامین‌کنندگان در حالت چند کالا/ چند منبع و با در نظر گرفتن تخفیف مقداری پیشنهاد و برای حل آن از روش سیمپلکس استفاده کردند. مقدم [۲۸] یک مدل بهینه سازی چند هدفه شامل: سود کل، مجموع قطعات نامنطبق، مجموع قطعات دارای تأخیردر تحویل و عوامل ریسک اقتصادی تأمین کنندگان پیشنهاد و از آن برای انتخاب بهترین تأمین کنندگان و پیکربندی و نوسازی تجهیزات تولید در یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته استفاده کردند. آنها مدل چند هدفه پیشنهادی را با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو ادغامی یکپارچه با سه نوع مختلف از برنامه ریزی آرمانی حل و نتایج را بررسی کردند. کبی و اتای [۴] برای ارزیابی تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش در شرایط چند منبع/چند محصول و در نظر گرفتن تخفیف مقداری و زمان تحویل، یک رویکرد دو مرحله‌ای ترکیبی شامل روش چندگانه بهینه‌سازی چند هدفه بر اساس تجزیه و تحلیل نسبت Multi MOORA [۴] فازی و مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی را پیشنهاد و برای حل این مدل از روش FLP استفاده کردند. کشاورز قرابی و همکاران [۱۵] برای ارزیابی تأمین کنندگان با توجه به معیارهای زیست محیطی از روش ارزیابی بر اساس فاصله از راه حل متوسط (EDAS) [۵] و اعداد فازی نوع ۲ و برای تخصیص سفارش یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه را پیشنهاد و بر روی پارامترهای این مدل تحلیل حساسیت انجام دادند. ترویدی و چاوهان [۳۶] یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح چند هدفه برای انتخاب یکپارچه پویا و تخصیص سفارش با تقاضای بازار پیشنهاد و برای ارزیابی مدل مثالهای متعددی طراحی و با استفاده از نرم افزار LINGO آنها را حل نمودند.

سبحان‌اللهی و همکاران [۳۵] در مسئله انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش هزینه های حمل و نقل و مقدار تخفیف را در نظر گرفته و یک مدل چند هدفه شامل: هزینه‌های کلی، نرخ تحویل به موقع، نرخ معیوب و ارزش خرید با داده‌های فازی را پیشنهاد کردند. آنها برای تبدیل آن به یک مدل تک هدفه از رویکرد بیشینه-کمینه و برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک استفاده و با استفاده از مثالهایی نتایج حاصل را بررسی کردند. چراغعلی‌پور و فرزاد [۵] یک ابزار تصمیم گیری برای حل انتخاب تامین کننده پایدار و تخصیص سفارش در یک محیط چند دوره ای، چند محصولی و چند تامین کننده با توجه به مقدار تخفیف و ریسک ناشی از خرابی پیشنهاد کردند. برای این منظور آنها ابتدا از روش بهترین بدترین (BWM) [۶] برای یافتن وزن هر معیار و وزن هر یک از تامین‌کنندگان بالقوه استفاده کردند. سپس یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط برای بیشینه‌سازی هزینه کل و بیشینه‌سازی امتیاز کلی همه تامین کنندگان در رابطه با جنبه‌های پایداری طراحی و برای حل مدل پیشنهادی از روش برنامه ریزی آرمانی استفاده کردند. انها برای بررسی عملکرد مدل از مسئله واقعی در شمال ایران استفاده و با حل آن و تحلیل حساسیت کارایی روش پیشنهادی را تأیید کردند. میرزایی و همکاران [۲۵] مسئله انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش با چند دوره، چند محصول، چند تامین کننده، چند هدفه را با در نظر گرفتن مقدار تخفیف با توجه به محدودیتهای بودجه و ظرفیت برای خریداران و تامین کنندگان توسعه دادند. آنها اهداف هزینه کل موجودی و ارزش خرید را در قالب یک مدل برنامه ریزی خطی مخلوط عدد صحیح طراحی و آنرا با استفاده از روش برنامه ریزی آرمانی فازی حل کردند. آنها نهایتاً با استفاده از مثالهای عددی برتری مدل پیشنهادی را بررسی نمودند. آزادنیا و قدیمی [۳] یک مدل کاربردی برای انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش بر اساس ابعاد سه گانه پایداری پیشنهاد دادند. آنها برای ارزیابی تامین کنندگان از نظر پایداری روش ترکیبی AHP فازی و توسعه عملکرد کیفی (QFD) [۷] فازی را بکار برده و رتبه حاصل را در یک مدل برنامه ریزی غیرخطی فازی چند هدفه عدد صحیح مختلط استفاده کردند. نهایتا آنها برای بررسی عملکرد مدل پیشنهادی آن را در یک مطالعه واقعی ازصنایع غذایی بکار بردند. لیو و همکاران [۲۱] برای حل مسائل انتخاب تامین کننده سبز و تخصیص سفارش یک مدل جدید شامل روشهای: BWM، TOPSIS فازی و برنامه ریزی خطی چند هدفه فازی پیشنهاد و عملکرد این مدل را با استفاده از داده های واقعی در یک شرکت الکترونیکی بررسی کردند.

پارک و همکاران [۳۰] یک رویکرد دو مرحله ای برای طراحی زنجیره تأمین جهانی پایدار در شرایط چند محصول چند منبع ارائه کردند که در آن از روش تئوری مطلوبیت چندشاخصه (MAUT) [۸] و مدل بهینه‌سازی چندهدفه خطی عدد صحیح استفاده شده و سپس روش پیشنهادی را در مطالعه موردی زنجیره تأمین دوچرخه بکار بردند. محمد و همکاران [۲۶] یک روش یکپارچه برای حل مسئله انتخاب مرحله تأمین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش در زنجیره تأمین گوشت شامل AHP، TOPSIS و یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه فازی پیشنهاد و از دو روش محدودیت اپسیلون و LP متریک برای به دست آوردن راه حل‌های پارتو استفاده و نتایج این دو روش را با هم مقایسه کردند. لو و همکاران [۲۲] با ادغام روشهای بهترین-بدترین (BWM)، TOPSIS فازی اصلاح‌شده و برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی برای حل مسئله انتخاب تامین‌کننده سبز و تخصیص سفارش، یک مدل جدید پیشنهاد و عملکرد روش پیشنهادی را با استفاده از داده‌های واقعی در یک شرکت الکترونیکی ارزیابی کردند. یوسفی و همکاران [۳۸] یک مدل دوبعدی ترکیبی برای انتخاب تامین کنندگان کارآمد، تخصیص سفارش و تعیین قیمت در یک زنجیره عرضه شامل یک خریدار و چند تامین کننده ارائه کردند. برای

4- Multi Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis (Multi MOORA)
5- Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS)
6- Best Worst Method (BWM)
7- Quality function deployment (QFD)
8- Multi Attribute Utility Theory (MAUT)

اینکار آنها ابتدا از روش تحلیل پوششی داده‌ها [۹] DEA برای ارزیابی تامین کنندگان استفاده و یک مدل جامع برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه مخلوط با اعداد صحیح برای به حداقل رساندن هزینه ها همزمان با ارزیابی تأمین کنندگان ارایه کردند. سپس از بازی چانه زنی و مفهوم تعادل نش برای تعیین قیمت توافق شده توسط خریدار و تامین کنندگان استفاده کردند. نهایتا با استفاده از داده‌های تحقیقات قبلی توانایی مدل را نشان دادند. آلغوز و یاپیش‌اوغلو [۱] برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص سفارش یک رویکرد ادغامی مبتنی بر TOPSIS فازی،AHP فازی نوع ۲ و برنامه‌ریزی آرمانی پیشنهاد کردند که معیارهای کیفی و کمی و همزمان محدودیت های ظرفیت، اندازه سفارش و مقدار تخفیف را در نظر میگیرد. آنها مدل را در یک مسئله واقعی استفاده و مزایای آن را نشان دادند. حسینی و همکاران [۱۰] برای انتخاب تامین کننده انعطاف پذیردر مدیریت اختلال در زنجیره تامین مدلی را مبتنی بر درستنمایی سناریوهای اختلال در انتخاب تامین کننده استفاده و یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مخلوط دو هدفه تصادفی را پیشنهاد و با بررسی مثالهایی عملکرد این مدل را بررسی کردند. کلنر و اوتز [۱۴] یک متدولوژی پشتیبان تصمیم برای انتخاب چند معیاری تامین کننده و تخصیص سفارش پیشنهاد کردند. آنها یک مدل بهینه سازی چند هدفه شامل: بیشینه سازی پایداری تامین کننده، انتخاب تامین کننده با کمترین هزینه های خرید و کمینه سازی ریسک عرضه طراحی و برای تعیین جوابهای پارتو از روش محدودیت ε استفاده و روش پیشنهادی را در صنعت خودرو بررسی کردند. اسماعیلی نجف آبادی و همکاران [۷] یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مخلوط را برای بهینه سازی انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش به طور همزمان در زنجیره های تأمین متمرکز با توجه به ریسک اختلال پیشنهاد کردند. آنها به منظور کاهش اثرات اختلال، دو سیاست حفاظتی برای تامین کنندگان انتخاب شده و سیاست تخصیص موجودی اضطراری در نظر گرفتند. محب علی‌زاده و هندفیلد [۲۷] برای ارزیابی تامین کنندگان و تخصیص مقادیر سفارش یک مدل برنامه‌ریزی خطی ادغامی چند هدفه عدد صحیح مختلط را در حالت چند دوره، چند محصول و چند وسیله حمل و نقل توسعه داده‌اند. آنها در مدل توسعه داده شده تمام جنبه‌های پایداری را در نظر گرفته وکمبود و تخفیف را نیز در مدل خود در نظرگرفتند. آنها برای حل این مدل از روش محدودیت اپسیلون و تجزیه بندرز استفاده و جوابهای پارتو را بدست آوردند. برای بررسی عملکرد مدل پیشنهادی آنها از مطالعه موردی واقعی در صنعت خودرو استفاده کردند. ایرشاد ماری و همکاران [۱۲] معیارهای کمی برگشت‌پذیری کمی برای انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش در محیط فازی را توسعه و یک رویکرد چندهدفه فازی مبتنی بر امکان و یک رویکرد حل بهینه سازی فازی تعاملی پیشنهاد و عملکرد این رویکرد را با استفاده از یک مطالعه موردی درشرکت تولید پوشاک بررسی کردند. دوآن و همکاران [۶] برای ارزیابی تامین کنندگان یک مدل ادغامی شامل: روش تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی [۱۰] (SWARA) و روش صف‌بندی گزینه‌ها [۱۱] (AQM) و جهت تخصیص میزان سفارش یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه را پیشنهاد کردند. آنها برای در نظرگرفتن عدم اطمینان در این مدلها از اعداد زبانی Z استفاده نمودند.

ربیعه و همکاران [۳۱] برای پایداری عرضه در انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص میزان سفارش در شرایط چند محصول و چند منبعی، یک مدل ادغامی شامل دلفی، TOPSIS و یک مدل بهینه سازی طراحی و آن را با دو روش محدودیت اپسیلون و روش جمع وزنی حل و نتایج این دو روش را با هم مقایسه کردند. حسینی و فلاح‌نژاد [۱۱] در یک مدل زنجیره تأمین دو سطحی برای انتخاب و تخصیص سفارش سبز در شرایط چند دوره‌ای و تک کالایی با تقاضای تصادفی، یک رویکرد ادغامی شامل روش AHP و یک مدل بهینه‌سازی ریاضی پیشنهاد و برای حل این مدل از رویکرد ترکیبی برنامه‌ریزی تصادفی و برنامه‌ریزی پویا استفاده کردند. لامبا و همکاران [۱۸] با هدف کاهش در هزینه‌های زنجیره تأمین و هزینه انتشار گازهای کربن، یک مدل غیرخطی مخلوط با عدد صحیح در شرایط چند دوره، چند محصول و چند تأمین کننده پیشنهاد و در این مدل سه سیاست مختلف برای تنظیم تولید گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته و با حل مثالهایی عملکرد این مدلها را بررسی کردند.

در این مقاله یک رویکرد ادغامی جدید برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش پیشنهاد شده است که دارای مشخصات و قابلیتهای زیر است:

- برای انتخاب و تعیین میزان سفارش در حالت وجود تعداد زیاد تامین‌کنندگان و اقلام خریدنی قابل استفاده است.
- ترکیب جدیدی از ابزارها شامل: DEMATEL-ANP، استنتاج فازی، WASPAS و مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه در آن بکار رفته است.
- عدم اطمینان در داده‌ها به صورت فازی در همه ابزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه [۱۲] (MADM) در نظر گرفته شده است.
- با توجه به اهمیت ثبات تامین‌کنندگان در زنجیره تامین، از تابع هدف جدید کمینه‌سازی تغییرات در تأمین‌کنندگان انتخابی در مدل بهینه‌سازی چند هدفه استفاده شده است.
- در یک مسئله واقعی با ابعاد بزرگ در یک شرکت تولیدکننده محصولات شیمیایی بکار گرفته شده است.

ساختار مقاله به این صورت است که ابتدا در بخش ۲ رویکرد پیشنهادی برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش ارایه و روش‌ها و مدل‌های بکار گرفته شده در این رویکرد تشریح شده است. سپس در

9- Data Envelopment Analysis (DEA)

10- Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)
11- Alternative Queuing Method (AQM)
12- Multi Attribute Decision making (MADM)

بخش ۳ از رویکرد پیشنهادی در یک شرکت تولیدکننده محصولات شیمیایی استفاده و جوابهای پارتوی این مسئله مشخص شده است. نهایتاً در بخش آخر نتیجه‌گیری آمده است.

۲- تشریح رویکرد پیشنهادی

در این مقاله برای ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارشات از یک رویکرد ترکیبی جامع استفاده شده است که روندنمای مراحل آن در شکل (۱) نشان داده شده است.
ابزارهای مورد استفاده در رویکرد پیشنهادی در ادامه تشریح شده‌اند.

۲-۱- روش DANP فازی

روش DANP فازی ترکیبی از روشهای DEMATEL و ANP فازی است و استفاده از آن منجر به کاهش قابل ملاحظه در ماتریس‌های مقایسه زوجی مورد نیاز در روش ANP استاندارد می‌شود. برای استفاده از روش DANP فازی ابتدا عوامل موجود در مسئله به صورت خوشه‌هایی مشخص شده و شبکه ارتباطی بین آنها با استفاده از نظرات خبرگان ترسیم می‌گردد. در مرحله بعد با استفاده از روش DEMATEL فازی درجه تاثیر عناصر داخلی خوشه‌ها مشخص و از آنها به جای اوزان نسبی استفاده می‌شود. سپس اوزان نسبی عناصر خارجی هر خوشه با استفاده از نظرات خبرگان و در قالب ماتریسهای مقایسه زوجی در روش ANP فازی مشخص می‌شود. نهایتاً با استفاده از اوزان نسبی حاصل از ماتریسهای مقایسه زوجی و همچنین اوزان ارتباطی حاصل از روش DEMATEL فازی ابرماتریس تشکیل و با استفاده از آن اوزان نهایی عناصر در شبکه مشخص می‌شود.
گامهای مورد نیاز در روشهای DEMATEL فازی و ANP فازی که در رویکرد ترکیبی DANP فازی از آنها استفاده شده در ادامه تشریح شده است.

۲-۱-۱ روش DEMATEL فازی

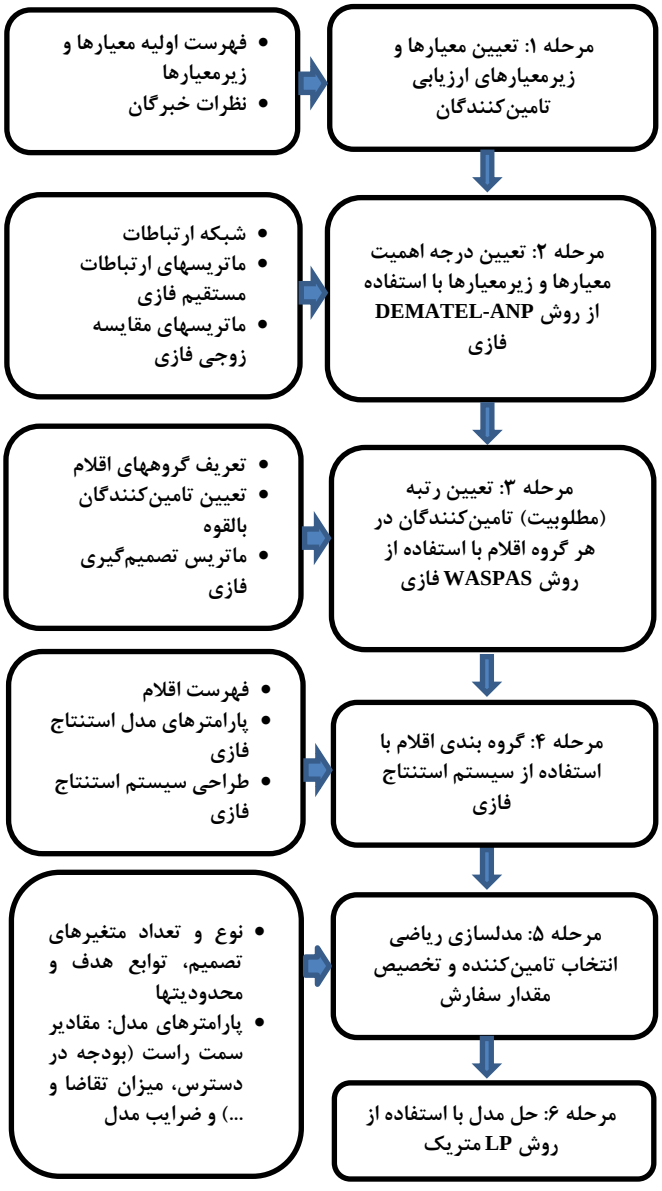
روش آزمایشگاه ارزیابی و آزمون تصمیم‌گیری [۱۳] (DEMATEL) برای تعیین روابط سیستم در یک مدل ساختاری توسط گابوس و فونتلا [۸] پیشنهاد شده است. با توجه به این که در دنیای واقعی بسیاری از معیارهای ارزیابی غیر قطعی و مبهم هستند، روش دیمتل با درنظر گرفتن داده‌های فازی توسعه داده شده است. گام‌های استفاده از روش دیمتل فازی [۲۰] در ادامه تشریح شده است.

گام ۱: تعیین معیارهای ارزیابی و طراحی مقیاس زبانی

در گام اول برای نشان دادن نظرات خبرگان در مورد تاثیر عناصر بر هم از عبارات و متغیرهای زبانی (جدول۱) استفاده می‌شود.

جدول (۱): عبارتهای زبانی و اعداد فازی متناظر در دیمتل فازی

عبارت زبانی	عدد فازی متناظر
عدم تاثیر گذاری	(۰ ، ۰/۱، ۰/۳)
تأثیر کم	(۰/۱ ، ۰/۳، ۰/۵)
تأثیر متوسط	(۰/۳ ، ۰/۵، ۰/۷)
تأثیر زیاد	(۰/۵ ، ۰/۷، ۰/۹)
تأثیر بسیار زیاد	(۰/۷ ، ۰/۹، ۱)



شکل (۱): روندنمای رویکرد پیشنهادی برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش

گام ۲: ایجاد ماتریس ارتباطات مستقیم اولیه فازی

در این گام خبرگان با استفاده از عبارات زبانی و مقادیر فازی مرتبط با آنها

13- Decision making trial and evaluation laboratory (DEMATEL)

(جدول ۱) میزان تاثیر عناصر بر هم را به صورت زوجی مشخص و ماتریس ارتباط مستقیم اولیه را تشکیل می‌دهند. ماتریس ارتباط مستقیم اولیه فازی ($\tilde{Z}$) به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\tilde{Z} = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \tilde{z}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{z}_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (۱)$$

که در رابطه بالا $\tilde{z}_{ij}$ نشان‌دهنده تاثیر مستقیم عنصر i ام برعنصر j ام بوده و به صورت یک عدد فازی مثلثی $\tilde{z}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ نشان داده می‌شود.

در حالت تصمیم‌گیری گروهی برای ادغام نظرات خبرگان در ماتریس ارتباط مستقیم اولیه، از میانگین حسابی مقادیر فازی به صورت زیر استفاده می شود:

$$\tilde{z}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) = \frac{\tilde{z}_{ij}^{1} \oplus \ldots \oplus \tilde{z}_{ij}^{P}}{P} = \left(\frac{\sum_{k=1}^{p} l_{ij}^{k}}{p}, \frac{\sum_{k=1}^{p} m_{ij}^{k}}{p}, \frac{\sum_{k=1}^{p} u_{ij}^{k}}{p}\right) \quad (۲)$$

که در رابطه بالا $\tilde{z}_{ij}^{k}$ تاثیر مستقیم عنصر i ام بر عنصر j ام توسط خبره k ام تصمیم‌گیر k $(k=1,\ldots,p)$ را نشان می‌دهد.

گام ۳: تعیین ماتریس ارتباطات مستقیم نرمال فازی

ماتریس ارتباطات مستقیم نرمال فازی ($\tilde{X}$) با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l_{ij}}{r}, \frac{m_{ij}}{r}, \frac{u_{ij}}{r}\right) \quad (۳)$$

$$r = \max_{1 \le i \le n} \sum_{j=1}^{n} u_{ij} \quad (۴)$$

گام ۴: ایجاد ماتریس ارتباطات کلی فازی

در گام چهارم برای ایجاد ماتریس ارتباطات کلی فازی ($\tilde{T}$) سه ماتریس ارتباطات کلی قطعی که هر کدام با یکی از رئوس اعداد فازی ایجاد شده‌اند تشکیل و با استفاده از روابط زیر با هم ترکیب می‌شوند:

$$\tilde{T} = (T_l, T_m, T_u) \quad (۵)$$

$$T_l = X_l(I - X_l)^{-1} \quad (۶)$$

$$T_m = X_m(I - X_m)^{-1} \quad (۷)$$

$$T_u = X_u(I - X_u)^{-1} \quad (۸)$$

که در رابطه بالا T_l ،T_u و T_m سه ماتریس ارتباطات قطعی نرمال و X_l ،X_u و X_m نیز سه ماتریس ارتباطات کلی قطعی می‌باشند که با استفاده از رئوس اعداد فازی تهیه شده‌اند. نهایتاً با فازی‌زدائی از مقادیر در ماتریس ارتباطات کلی فازی، ماتریس ارتباطات کلی قطعی با استفاده از رابطه زیر ایجاد می‌گردد:

$$M_{ij} = \frac{(Tl_{ij} + 4Tm_{ij} + Tu_{ij})}{6} \quad (۹)$$

گام ۵: رسم نمودار علی و ترسیم شبکه ارتباطات

در این گام با استفاده از مجموع مقادیر سطرها و ستون‌های ماتریس ارتباطات کلی قطعی (که به ترتیب به صورت D و R نامگذاری می‌شوند) نمودار علی ترسیم می‌گردد. برای این کار برای هر عنصر مقادیر D+R (درجه تعامل با سایر عناصر) در محور افقی و مقادیر D-R (درجه موثر بودن) در محور عمودی قرار می‌گیرند و با توجه به محل قرار گرفتن نقطه حاصل در مورد وضعیت آن عنصر تصمیم‌گیری می‌شود.

نهایتاً جهت رسم شبکه ارتباطات ابتدا یک مقدار آستانه با استفاده از میانگین مقادیر در ماتریس ارتباطات کلی قطعی تعیین و سپس شبکه ارتباطات براساس روابط قوی بین عناصر ترسیم می‌گردد.

۲-۱-۲- *فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) فازی*

فرایند تحلیل شبکه‌ای[14] (ANP) توسط ساعتی [۳۳] پیشنهاد شده و ابزار جامعی برای تعیین درجه اهمیت عناصر در یک شبکه با در نظر گرفتن وابستگی و بازخورد بین عناصر می‌باشد. با توجه به وجود ابهام در نظرات تصمیم‌گیران، روش ANP نیز با استفاده از اعداد فازی توسعه داده شده است. گامهای استفاده از ANP فازی به شرح زیر است [۳۷]:

گام ۱: تشکیل ماتریسهای مقایسات زوجی فازی

در اولین گام، ماتریس مقایسات زوجی عناصر هر خوشه با تعیین درجه اهمیت نسبی دو به دو عناصر با توجه به عنصر سطح بالاتر توسط خبرگان تعیین می‌شود. برای این منظور از متغیرهای زبانی و اعداد فازی متناظر آنها (جدول ۲) استفاده می‌شود.

جدول (۲) عبارتهای زبانی و اعداد فازی متناظر در ANP فازی

عبارت زبانی	عدد فازی متناظر	عکوس عدد فازی
یکسان	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)
کمی مهمتر	(۰/۵، ۱، ۱/۵)	(۰/۶۷، ۱، ۲)
مهمتر	(۱، ۱/۵، ۲)	(۰/۵، ۰/۶۷، ۱)
خیلی مهمتر	(۱/۵، ۲، ۲/۵)	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۷)
کاملا مهمتر	(۲، ۲/۵، ۳)	(۰/۳۳، ۰/۴، ۰/۵)
عبارت زبانی	**عدد فازی متناظر**	**معکوس عدد فازی**
یکسان	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)
کمی مهمتر	(۰/۵، ۱، ۱/۵)	(۰/۶۷، ۱، ۲)
مهمتر	(۱، ۱/۵، ۲)	(۰/۵، ۰/۶۷، ۱)
خیلی مهمتر	(۱/۵، ۲، ۲/۵)	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶۷)
کاملا مهمتر	(۲، ۲/۵، ۳)	(۰/۳۳، ۰/۴، ۰/۵)

در ماتریس مقایسه زوجی فازی $\tilde{A}$، اهمیت عنصر i ام بر عنصر j ام به صورت مقادیر فازی مثلثی $\tilde{a}_{ij}$ نشان داده می‌شود. در این ماتریسها، قطر ماتریس ($\tilde{a}_{ii}$) همواره برابر مقدار (۱، ۱، ۱) بوده و رابطه معکوسی $\tilde{a}_{ij} = \frac{1}{\tilde{a}_{ji}}$ نیز در آنها برقرار است.

برای ادغام نظرات تصمیم‌گیران در حالت تصمیم‌گیری گروهی، از

14- Analytical network process (ANP)

میانگین هندسی مقادیر فازی به صورت زیر استفاده می شود:

$$\tilde{a}_{ij} = \left(a_{ij}^{l}, a_{ij}^{m}, a_{ij}^{u}\right) \quad (۱۰)$$

$$a_{ij}^{l} = min\{l_{ij}^{1}, \dots, l_{ij}^{k}\} \quad (۱۱)$$

$$a_{ij}^{u} = max\{l_{ij}^{1}, \dots, l_{ij}^{k}\} \quad (۱۲)$$

$$a_{ij}^{m} = \left(\prod_{k=1}^{p} m_{ij}^{k}\right)^{\frac{1}{p}} \quad (۱۳)$$

که در رابطه بالا $\tilde{a}_{ij}^{k} = \left(l_{ij}^{k}, m_{ij}^{k}, u_{ij}^{k}\right)$ مشخصات قضاوت فازی تصمیم‌گیر k ($k=1,\dots,p$) را در سطر i و ستون j نشان می‌دهد.

گام ۲: بررسی سازگاری ماتریسهای مقایسه زوجی فازی

در صورت وجود ناسازگاری زیاد در قضاوتهای تصمیم‌گیران، اوزان نسبی بدست آمده از ماتریسهای مقایسه زوجی صحیح نخواهد بود و باید قضاوتها توسط خبرگان اصلاح شود. برای اندازه‌گیری سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی از روش گاگوس و بوچر [۹] و روابط زیر استفاده می‌شود:

$$w_i^m = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left(a_{ij}^{m} / \sum_{i=1}^{m} a_{ij}^{m}\right) \quad (۱۴)$$

$$w_i^g = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left(\sqrt{a_{ij}^{u}\cdot a_{ij}^{l}} / \sum_{i=1}^{m}\sqrt{a_{ij}^{u}\cdot a_{ij}^{l}}\right) \quad (۱۵)$$

$$\lambda_{max}^{g} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sqrt{a_{ij}^{l}.a_{ij}^{u}}\cdot\left(\frac{w_j^g}{w_i^g}\right) \quad (۱۶)$$

$$\lambda_{max}^{m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{m}\cdot\left(\frac{w_j^m}{w_i^m}\right) \quad (۱۷)$$

$$CI^{m} = (\lambda_{max}^{m} - n)/(n-1) \quad (۱۸)$$

$$CI^{g} = \left(\lambda_{max}^{g} - n\right)/(n-1) \quad (۱۹)$$

که در رابطه بالا λ_{max}^{g} و λ_{max}^{m} به ترتیب بزرگترین مقدار ویژه ماتریس میانی و حدی و w_i^m, w_i^g مقادیر وزنی میانی و حدی عنصر i ام در ماتریس مقایسه زوجی را نشان می‌دهند.

با استفاده از مقادیر RI^g و RI^m (که به توجه به ابعاد ماتریس در جدول ناسازگاری ماتریسهای کاملاً تصادفی مشخص می‌شوند) و مقادیر ناسازگاری محاسبه شده برای هر ماتریس مقایسه زوجی (CI^g و CI^m) و با استفاده از رابطه $CR = \frac{CI}{RI}$ دو نرخ ناسازگاری CR^g و CR^m محاسبه می‌شوند و در صورتیکه حداقل یکی از این مقادیر کمتر از ۰/۱ باشد سازگاری ماتریس قابل قبول در نظر گرفته می‌شود.

گام ۳: محاسبه اوزان نسبی فازی

در این گام اوزان نسبی عناصر در ماتریس مقایسه زوجی فازی از روش میانگین هندسی مقادیر سطر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\widetilde{W}_i = \left(W_i^l, W_i^m, W_i^u\right) = \left(\frac{\left(\prod_{j=1}^{n} l_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} l_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}, \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} m_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} m_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}, \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} u_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} u_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}\right) \quad (۲۰)$$

که در رابطه بالا $\widetilde{W}_i = \left(W_i^l, W_i^m, W_i^u\right)$ وزن نسبی عنصر i ام را به صورت یک عدد فازی مثلثی نمایش می‌دهد. نهایتاً برای تبدیل اوزان نسبی فازی به قطعی از رابطه فازی‌زدائی زیر استفاده می‌شود:

$$w_i = \left(W_i^l + W_i^m + W_i^u\right)/3 \quad (۲۱)$$

گام ۴: تشکیل ابرماتریس ناموزون

ابرماتریس یک ماتریس بخش‌بندی شده است که با توجه به روابطی که بین خوشه‌های عناصر در شبکه ارتباطی وجود دارد تشکیل و در آن هر زیرماتریس با استفاده از اوزان نسبی حاصل از ماتریسهای مقایسه زوجی عناصر در خوشه تعیین می‌شود. به عنوان نمونه در یک مسئله شامل هدف، شاخصها و زیرشاخصها که در آن ارتباطات و در نتیجه اوزان نسبی برای: شاخصها نسبت به هدف (W_{21})، شاخصها نسبت به شاخصها (W_{22})، زیرشاخصها نسبت به شاخصها (W_{32}) و زیرشاخصها نسبت به زیرشاخصها (W_{33}) وجود دارد، ابرماتریس به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\begin{array}{c|ccc} & \text{هدف} & \text{شاخص} & \text{زیرشاخص} \\ \hline \text{هدف} & 0 & 0 & 0 \\ \text{شاخص} & W_{21} & W_{22} & 0 \\ \text{زیرشاخص} & 0 & W_{32} & W_{33} \end{array} \quad (۲۲)$$

برای کاهش حجم ماتریسهای مقایسه زوجی مورد نیاز، در محاسبه اوزان نسبی W_{22} و W_{33} به جای استفاده از ماتریسهای مقایسه زوجی از مقادیر حاصل از ماتریس ارتباطات کلی روش DEMATEL فازی استفاده می‌شود. در این حالت ابرماتریس ناموزون نامیده می‌شود.

گام ۵: تبدیل ابرماتریس ناموزون به ابرماتریس موزون

در این گام برای تبدیل ابرماتریس ناموزون به ابرماتریس موزون (نرمال)، مقادیر هر ستون بر مجموع مقادیر آن ستون تقسیم می‌شود.

گام ۶: محاسبه ابرماتریس حدی

در گام ششم برای محاسبه ابرماتریس حدی و محاسبه اوزان نهایی عناصر ابرماتریس موزون به صورت افزایشی به توان رسانده شده و این افزایش توان تا زمانی که ابرماتریس حدی همگرا و تغییرات عناصر آن قابل صرف نظر کردن باشد ادامه می‌یابد.

۲-۲ روش WASPAS فازی

روش ارزیابی ادغامی جمعی و ضربی موزون [۱۵] (WASPAS) در سال ۲۰۱۲ توسط زاواداسکاس و همکاران [۳۹] معرفی شد. این روش ترکیبی از دو رویکرد مجموع وزنی (WSM) و مدل مضرب وزنی

15- Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS)

(WPM) می‌باشد. با توجه به وجود ابهام در داده‌ها روش WASPAS نیز با استفاده از مقادیر فازی توسعه داده شده است که گامهای اجرای آن به صورت زیر می باشد [۴۰]:

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی

در گام اول امتیاز گزینه‌ها در هر شاخص به صورت فازی مشخص و ماتریس تصمیم‌گیری فازی تشکیل میشود که در آن $\tilde{x}_{ij}$ امتیاز فازی گزینه i ام در شاخص j ام و w_j وزن شاخص j ام را نشان می‌دهد. برای تعیین امتیاز گزینه‌ها در هر شاخص از متغیرهای زبانی جدول (۳) استفاده می‌شود.

جدول (۳): عبارتهای زبانی و اعداد فازی متناظر در WASPAS فازی

عبارت زبانی	عدد فازی متناظر
خیلی ضعیف	(۱، ۱، ۱)
ضعیف	(۲، ۳، ۴)
متوسط	(۴، ۵، ۶)
خوب	(۶، ۷، ۸)
خیلی خوب	(۸، ۹، ۱۰)

گام ۲: تعیین ماتریس تصمیم‌گیری نرمال فازی

در این گام مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری فازی با استفاده از روابط زیر بی‌مقیاس شده و به صورت نرمال درمی‌آید:

$$\tilde{\tilde{x}}_{ij} = \begin{cases} \tilde{x}_{ij} / \max_i \left(\tilde{x}_{ij}\right) & \text{اگر شاخص مثبت، سود باشد} \\ \min_i \left(\tilde{x}_{ij}\right) / \tilde{x}_{ij} & \text{اگر شاخص منفی، هزینه باشد} \end{cases} \quad (۲۳)$$

که در رابطه بالا $\tilde{\tilde{x}}_{ij}$ امتیاز نرمال شده گزینه i ام در شاخص j ام است.

گام ۳: تشکیل ماتریسهای تصمیم‌گیری نرمال موزون فازی

در این گام ماتریس تصمیم‌گیری نرمال فازی با استفاده از اوزان شاخصها و به دو صورت ضربی و توانی به صورت موزون تبدیل شده و دو ماتریس نرمال موزون ضربی (WSM) و نرمال موزون توانی (WPM) فازی به صورت زیر تشکیل می‌شود.

$$\begin{aligned} \tilde{\hat{x}}_{ij} &= \tilde{\tilde{x}}_{ij} . w_j \\ \tilde{\hat{x}}_{ij} &= \left(\tilde{\tilde{x}}_{ij}\right)^{w_j} \end{aligned} \quad (۲۴)$$

که در رابطه بالا $\tilde{\hat{x}}_{ij}$ و $\tilde{\hat{\hat{x}}}_{ij}$ به ترتیب امتیاز نرمال شده موزون ضربی و توانی فازی گزینه i ام در شاخص j ام می‌باشند.

گام ۴: محاسبه مقادیر بهینگی برای هر گزینه

در گام چهارم برای هر گزینه دو مقدار بهینگی با استفاده از امتیازات نرمال موزون ضربی و توانی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_i &= \sum_{j=1}^{n} \tilde{\hat{x}}_{ij} \quad i = 1, \dots, m \\ \tilde{P}_i &= \prod_{j=1}^{n} \tilde{\hat{\hat{x}}}_{ij} \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (۲۵)$$

که در آن $\tilde{Q}_i$ و $\tilde{P}_i$ به ترتیب مجموع حسابی و مجموع هندسی مقادیر موزون در گزینه i ام می‌باشند.

نهایتاً با استفاده از روش فازی‌زدائی مرکز سطح و روابط زیر مقادیر بهینگی فازی به قطعی تبدیل می‌گردد:

$$Q_i = \frac{1}{3}(Q_{i\alpha} + Q_{i\beta} + Q_{i\gamma}) \quad (۲۶)$$

$$P_i = \frac{1}{3}(P_{i\alpha} + P_{i\beta} + P_{i\gamma}) \quad (۲۷)$$

گام ۵: ادغام مقادیر بهینگی و رتبه‌بندی گزینه‌ها

در گام پنجم مقادیر بهینگی قطعی هر گزینه به صورت خطی با هم ترکیب و مقدار بهینگی کلی گزینه (K_i) به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$K_i = \lambda Q_i + (1 - \lambda) P_i \quad (۲۸)$$

که در رابطه بالا λ یک مقدار در بازه [۱-۰] است که اگر چه می‌توان آن را به دلخواه مشخص کرد اما معمولاً با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{m} P_i}{\sum_{i=1}^{m} Q_i + \sum_{i=1}^{m} P_i} \quad (۲۹)$$

در نهایت گزینه‌ها براساس بزرگی مقادیر بهینگی رتبه‌بندی می شوند.

۲-۳- استنتاج فازی

رابطه بین متغیرهای ورودی و متغیر(های) خروجی ممکن است به صورت یک پایگاه دانش و قواعدی به شکل زیر نشان داده شوند:

قاعده i ام :

$$IF\ (X_1 = \tilde{x}_{i1})\ and\ (X_2 = \tilde{x}_{i2})\ and \dots and\ (X_n = \tilde{x}_{in})\ \ Then\ \ (Y = \tilde{y}_i) \quad (۳۰)$$

که در آن $\tilde{x}_{ij}$ نشان‌دهنده مقدار فازی متغیر ورودی j ام در قاعده i ام و $\tilde{y}_i$ مقدار فازی متغیر خروجی در قاعده i ام بوده و با استفاده از عبارتهای زبانی مشخص می‌شوند. برای حل مسائل با استفاده از یک پایگاه دانش مبتنی بر قواعد از روشهای استنتاج فازی استفاده می‌شود که یکی از مهمترین آنها روش استنتاج فازی ممدانی [۲۴] است. استفاده از سیستم استنتاج فازی ممدانی در تصمیم‌گیری شامل دو مرحله طراحی و کاربرد میباشد. گامهای مرحله طراحی سیستم استنتاج فازی به صورت فشرده عبارت است از:

گام ۱: تعیین متغیرهای ورودی و دامنه تغییرات هر یک و تعریف سطوح (تعداد) ارزشهای فازی و تابع درجه عضویت برای هر متغیر زبانی
گام ۲: تعیین متغیر خروجی و دامنه تغییرات آن و تعریف سطوح (تعداد) ارزشهای فازی و تابع درجه عضویت برای هر متغیر زبانی
گام ۳: تعریف قواعد برای نشان دادن رابطه مقادیر متغیرهای ورودی با مقادیر متغیر خروجی

همچنین گامهای مرحله کاربرد سیستم استنتاج فازی به صورت فشرده عبارت است از:

گام ۱: تعیین مقادیر متغیرهای ورودی به صورت قطعی
گام ۲: فازی‌سازی مقادیر متغیرهای ورودی با استفاده از مقیاس زبانی و تعیین درجه عضویت این مقادیر
گام ۳: تعیین قواعد فعال شده با توجه به مقادیر ورودی
گام ۴: تعیین وزن مقادیرخروجی قواعد فعال شده با استفاده از کمینه درجات عضویت ورودیها در آن قاعده
گام ۵: تعیین مقدار خروجی قواعد فعال شده با استفاده از کمینه تابع درجه عضویت خروجی و وزن آن
گام ۶: ادغام مقادیر خروجی به صورت فازی با استفاده از بیشینه درجه عضویت خروجی‌ها
گام ۷: تبدیل خروجی فازی به قطعی با استفاده از روشهایی مانند مرکز سطح

۲-۴- برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه

در مسائل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه با توجه به وجود چند تابع هدف معمولاً ناسازگار، امکان پیدا کردن یک جواب عملی که محدودیت‌ها را نقض نکرده و به صورت همزمان همه توابع هدف را بهینه کند (جواب ایده‌آل) وجود ندارد. بنابراین در این مسائل جوابهای پارتو (غیرمغلوب) جستجو و نهایتاً از میان این جوابها یک جواب مطلوب انتخاب می‌گردد. یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه در حالت کلی به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$Optimize\ Z = \{f_1(X), \dots, f_k(X)\} \quad (۳۱)$$

$$st.\ \ g_i(X) \le b_i \qquad \forall i \quad (۳۲)$$

$$X \ge 0 \quad (۳۳)$$

که در رابطه بالا $f_j(X)$ تابع هدف j و $g_i(X)$ محدودیت i ام می‌باشند. روشهای زیادی برای حل مسائل چندهدفه پیشنهاد شده که یکی از آنها روش LP متریک است. در این روش مسئله چندهدفه با استفاده از کمینه‌سازی میانگین موزون فاصله بی مقیاس شده توابع هدف از راه حل ایده‌آل، به مسئله تک هدفه تبدیل و با رویکردهای موجود حل می‌شوند. تابع هدف روش LP متریک به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$LP = \left\{ \sum_{j=1}^{k} \gamma_j \left| \frac{f_j(x^{*j}) - f_j(X)}{f_j(x^{*j}) - f_j(\tilde{x}^j)} \right|^p \right\}^{\frac{1}{p}} \quad (۳۴)$$

که در رابطه‌ی بالا x^{*j} نشان‌دهنده راه حل ایده‌آل برای تابع هدف j ام، γ_j درجه اهمیت تابع هدف j ام ($\gamma_j > 0$) و P درجه تاکید بر انحرافات از مقادیر ایده‌آل ($0 \le P < \infty$) می‌باشد. به ازای $p = \infty$ بزرگترین فاصله برای بهینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

۳- مطالعه موردی

از رویکرد پیشنهادی برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش در یک سازمان بزرگ تولیدی که دامنه وسیعی از محصولات شیمیایی را تولید میکند استفاده شده است. این شرکت برای تامین اقلام زیاد مورد نیاز خود با تامین کنندگان متعددی ارتباط دارد. مسئله مورد نظر در این سازمان تعیین میزان سفارش برای ۷۳ نوع اقلام خریدنی از ۷۸ تامین‌کننده مختلف در یک افق برنامه‌ریزی شامل ۱۲ دوره می‌باشد. برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از ۲۵ نفر از مدیران ارشد و میانی و کارشناسان فعال در حوزه خرید، تولید و کنترل کیفیت در این سازمان استفاده شده است. در ادامه نتایج هر مرحله از رویکرد پیشنهادی در این سازمان تشریح شده است.

مرحله ۱: تعیین معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان

برای تعیین معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان ابتدا با توجه به مطالعات قبلی یک فهرست اولیه تهیه و با استفاده از پرسشنامه، نظرات مدیران و کارشناسان قسمت خرید اخذ شده است. سپس با استفاده از این نظرات فهرست نهایی معیارها و زیرمعیارها مشخص و در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴): فهرست معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان

معیار		زیرمعیار	
نام	کد	نام	کد
کیفیت	C_1	داشتن سیستمهای کیفیت	C_{11}
		کیفیت محصول نهایی	C_{12}
		تعداد دفعات برگشت کالا	C_{13}
زمان تحویل	C_2	زمان تحویل	C_{21}
		تعداد دفعات تحقق کل سفارش	C_{22}
		شرایط و وسایل حمل و نقل	C_{23}
انعطاف پذیری	C_3	توانایی جایگزینی محصولات معیوب	C_{31}
		انعطاف‌پذیری در زمان تحویل انباشته	C_{32}
هزینه مالی	C_4	قیمت تمام شده کالا	C_{41}
		قیمت حمل و نقل کالا	C_{42}
		زمان و شرایط پرداخت به تامین‌کننده	C_{43}
تکنولوژی فنی	C_5	داشتن دانش فنی به‌روز	C_{51}
		سطح تجهیزات و فن‌آوری موجود	C_{52}
		توانایی ارسال نمونه کالا	C_{53}
ویژگی سازمانی	C_6	تجربه و اعتبار تامین‌کننده	C_{61}
		سهولت در دسترس بودن	C_{62}
		سازگاری با فرایند خریدار	C_{63}
		قابلیت اعتماد	C_{64}
		پیشینه عملکرد تامین‌کننده	C_{65}

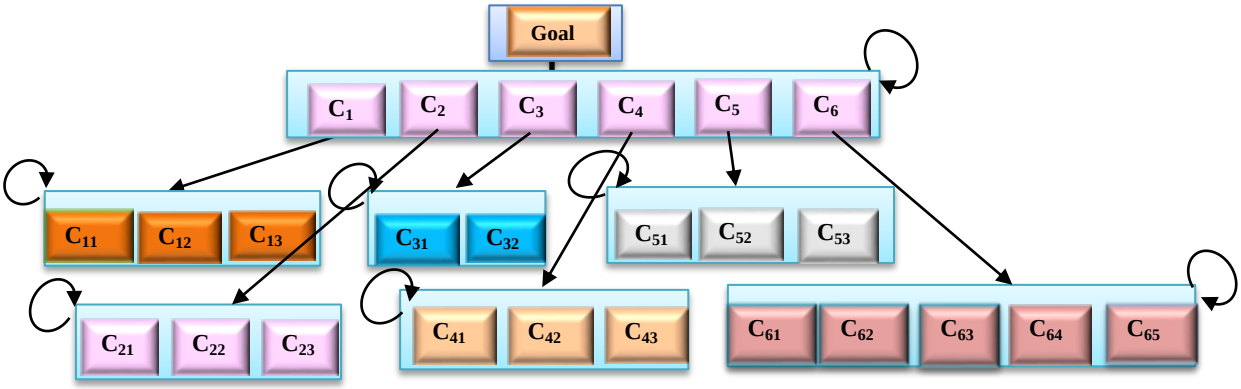
مرحله ۲: تعیین درجه اهمیت معیارها و زیرمعیارها

برای تعیین درجه اهمیت معیارها و زیر معیارها ابتدا با استفاده از نظرات خبرگان تاثیر معیارها و زیرمعیارها بر هم مشخص و ماتریس ارتباط مستقیم اولیه فازی تشکیل می‌شود. سپس با استفاده از روابط (۱) تا (۹) ماتریس ارتباطات مستقیم نرمال فازی، ماتریس ارتباطات کلی فازی و ماتریس ارتباطات کلی قطعی ایجاد می‌شود. به عنوان نمونه ماتریس ارتباطات کلی قابل قبول برای معیارهای اصلی با در نظر گرفتن مقدار آستانه ۰/۲۲۸ در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): ماتریس ارتباطات قابل قبول برای معیارهای اصلی

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	❋	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۴۶	❋	۰/۴۳
C_2	۰/۲۷	❋	❋	۰/۳۹	❋	❋
C_3	❋	۰/۲۴	❋	❋	❋	❋
C_4	۰/۲۴	۰/۲۴	❋	❋	❋	۰/۳۳
C_5	۰/۳۸	۰/۳۵	❋	۰/۴۸	❋	۰/۳۸
C_6	❋	❋	۰/۳۱	۰/۲۶	❋	❋

با استفاده از نتایج بدست آمده از ماتریس ارتباطات قابل قبول، ساختار شبکه‌ای معیارها و زیرمعیارها ترسیم و این شبکه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): شبکه معیارها و زیرمعیارها

جدول (۶): ماتریس مقایسه زوجی فازی ادغام شده معیارهای اصلی نسبت به هدف و وزن نسبی آنها

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	وزن نسبی	
							فازی	قطعی
C_1	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱/۷۸، ۲/۵)	(۱، ۲/۳۷، ۳)	(۰/۵، ۱/۸، ۳)	(۰/۵، ۱، ۲)	(۰/۵، ۱، ۲)	(۰/۱۱۵، ۰/۲۲۸، ۰/۳۴۴)	۰/۲۲۹
C_2	(۰/۴، ۰/۵۶، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۵، ۱/۱۸، ۲)	(۰/۵، ۱/۲۷، ۳)	(۰/۴، ۰/۷، ۱/۵)	(۰/۴، ۰/۷۴، ۲)	(۰/۰۸۲، ۰/۱۴۱، ۰/۲۶۳)	۰/۱۶۲
C_3	(۰/۳۳، ۰/۴۸، ۱)	(۰/۵، ۰/۸۵، ۲)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۴، ۰/۸۲، ۲)	(۰/۴، ۰/۸، ۲)	(۰/۴، ۰/۷۴، ۲/۵)	(۰/۰۷۶، ۰/۱۲۴، ۰/۲۶۸)	۰/۱۵۶
C_4	(۰/۳۳، ۰/۵۶، ۲)	(۰/۳۳، ۰/۷۹، ۲)	(۰/۵، ۱/۲۲، ۲/۵)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۴، ۰/۶۸، ۲)	(۰/۵، ۱، ۲)	(۰/۰۷۷، ۰/۱۳۷، ۰/۳۰۱)	۰/۱۷۲
C_5	(۰/۵، ۱، ۲)	(۰/۶۷، ۱/۳۴، ۲/۵)	(۰/۵، ۱/۵۲، ۲/۵)	(۰/۵، ۱/۳۵، ۲/۵)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۵، ۱/۳۴، ۲/۵)	(۰/۰۹۶، ۰/۲۰۰، ۰/۳۳۶)	۰/۲۱۰
C_6	(۰/۵، ۱، ۲)	(۰/۵، ۱/۵۳، ۲/۵)	(۰/۴، ۱/۵۳، ۲/۵)	(۰/۵، ۱، ۲)	(۰/۴، ۰/۷، ۲)	(۱، ۱، ۱)	(۰/۰۸۵، ۰/۱۶۹، ۰/۳۱۲)	۰/۱۸۹

پس از ترسیم شبکه ارتباطات و با توجه به این شبکه، جهت تعیین وزن معیارها ابتدا گروه خبرگان شامل پنج نفر از مدیران و کارشناسان متخصص، تشکیل شده و نظرات خبرگان در باره اهمیت دو به دو عناصر در قالب ماتریسهای مقایسه زوجی فازی اخذ و این نظرات با استفاده از میانگین هندسی ادغام شده‌اند. سپس با استفاده از این ماتریسها وزن نسبی عناصر محاسبه شده است. به عنوان نمونه ماتریس مقایسه زوجی فازی ادغام شده برای معیارهای اصلی نسبت به هدف و اوزان نسبی فازی و قطعی آن در جدول (۶) نشان داده شده است.

همچنین میزان ناسازگاری ماتریسهای مقایسه زوجی فازی نیز با استفـاده از روابط (۱۴) تا (۱۹) محاسبه شده و همه ماتریسهای مقایسه زوجی سازگار بوده‌اند. به عنوان نمونه مقادیر ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی فازی معیارهای اصلی نسبت به هدف به صورت $CR^m = ۰/۰۱۴۶$ و $CR^g = ۰/۰۰۰۱$ محاسبه شده است که نشان‌دهنده سازگار بودن قضاوتها در این ماتریس مقایسه زوجی فازی می‌باشد.

برای محاسبه اوزان نهایی، با استفاده از اوزان نسبی قطعی حاصل از ماتریسهای مقایسه زوجی و نیز مقادیر قطعی ماتریس ارتباطات کلی حاصل از روش دیمتل، ابرماتریس تشکیل و به صورت نرمال در می‌آید. سپس ابرماتریس موزون در نرم‌افزار Super Decision وارد و به صورت افزایشی به توان رسانده می‌شود. نهایتاً با استفاده از ابرماتریس همگرا شده اوزان نهایی زیرمعیارها تعیین می‌گردد. اوزان نهایی زیرمعیارها همراه با رتبه آنها در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول (۷): وزن و رتبه نهایی معیارها و زیرمعیارها

معیار	وزن	رتبه	زیر معیار	وزن	رتبه
C_1	۰/۲۱۲	۲	C_{11}	۰/۰۰۹	۱۶
			C_{12}	۰/۱۳۹	۱
			C_{13}	۰/۰۶۵	۸
C_2	۰/۱۵۸	۴	C_{21}	۰/۰۵۹	۹
			C_{22}	۰/۰۹۴	۳
			C_{23}	۰/۰۰۶	۱۷
C_3	۰/۱۰۸	۵	C_{31}	۰/۰۷۵	۶
			C_{32}	۰/۰۳۴	۱۲
C_4	۰/۲۰۰	۳	C_{41}	۰/۱۰۷	۲
			C_{42}	۰/۰۰۲	۱۹
			C_{43}	۰/۰۹۲	۴
C_5	۰/۰۸۵	۶	C_{51}	۰/۰۴۷	۱۱
			C_{52}	۰/۰۱۷	۱۵
			C_{53}	۰/۰۲۲	۱۴
C_6	۰/۲۳۷	۱	C_{61}	۰/۰۴۸	۱۰
			C_{62}	۰/۰۰۵	۱۸
			C_{63}	۰/۰۳۳	۱۳
			C_{64}	۰/۰۸۰	۵
			C_{65}	۰/۰۷۴	۷

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در میان معیارها ویژگی سازمانی با درجه اهمیت ۰/۲۳۷ رتبه اول را دارد. همچنین در میان زیرمعیارها نیز کیفیت محصول نهایی (C_{12}) بیشترین درجه اهمیت را دارد.

مرحله ۳: رتبه‌بندی تامین‌کنندگان در هر گروه اقلام

با توجه به تعداد زیاد اقلام خریدنی ابتدا چهار گروه، اقلام عادی (غیر ضروری)، گلوگاهی، اهرمی (پر هزینه) و راهبردی تعریف شده‌اند. سپس با استفاده از وزن (درجه اهمیت) زیرمعیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان که در مرحله ۲ مشخص شده است، ماتریس تصمیم‌گیری برای هر گروه اقلام تشکیل و در آن امتیاز تامین‌کنندگان آن نوع اقلام در هر زیر معیار به صورت فازی توسط خبرگان مشخص شده است. نهایتاً با استفاده از روش WASPAS فازی رتبه و امتیاز تامین‌کنندگان در هر گروه اقلام محاسبه شده است. جدول (۸) مقادیر مطلوبیت نهایی تامین‌کنندگان (λ=۰/۵) و رتبه‌بندی آنها را در اقلام راهبردی نشان می‌دهد.

مرحله ۴: گروه‌بندی اقلام خریدنی

با توجه به تنوع و تعداد زیاد اقلام خریدنی لازم است که این اقلام طبقه‌بندی شوند تا سیاست‌های یکسانی برای خرید اقلام در هر گروه درنظر گرفته شود. برای این منظور از استناج فازی و مدل کرالجیک [۱۷] استفاده شده است. در این مدل اقلام خریدنی بر اساس دو متغیر پیچیدگی بازار عرضه (E_1) و اهمیت خرید (E_2) به چهار گروه: استراتژیک (راهبردی)، اهرمی، گلوگاهی و عادی تقسیم می‌شوند. مقدار قطعی دو متغیر پیچیدگی بازار (E_1) و اهمیت خرید (E_2) در بازه [۰-۱۰] مشخص شده و برای هر یک از آنها دو عبارت زبانی کم و زیاد مطابق جدول (۸) تعریف شده است.

جدول (۸): عبارتهای زبانی و اعداد فازی متناظر برای متغیرهای پیچیدگی بازار و اهمیت خرید

نام متغیر	کد	کم (Low)	زیاد (High)
پیچیدگی بازار	E_1	(۰، ۲/۳ ، ۵/۶)	(۲/۳، ۵/۶، ۱۰)
اهمیت خرید	E_2	(۰، ۳ ، ۶)	(۳، ۶، ۱۰)

با توجه به مقادیر زبانی این دو متغیر و با استفاده از قواعد نشان داده شده در جدول (۹) اقلام در چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول (۹): قواعد گروه‌بندی اقلام بر اساس متغیرهای پیچیدگی بازار (E_1) و اهمیت خرید (E_2)

شماره قاعده	اگر		آنگاه
	E_1	E_2	گروه اقلام (T)
1	Low	Low	عادی (غیرضروری)
2	Low	High	گلوگاهی
3	High	Low	اهرمی (پرهزینه)
4	High	High	راهبردی

برای اندازه‌گیری مقدار هر یک از متغیرهای پیچیدگی بازار و اهمیت خرید سه شاخص اندازه‌گیری فازی در نظر گرفته شده است که این شاخص‌ها در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول (۱۰): شاخص‌های مرتبط با متغیرهای پیچیدگی بازار و اهمیت خرید

نام متغیر	کد	شاخص	کد
پیچیدگی بازار	E_1	موانع ورود	E_{11}
		انحصاری بودن محصول	E_{12}
		امکان جایگزینی محصول	E_{13}
اهمیت خرید	E_2	موقعیت جغرافیایی	E_{21}
		تاثیر قیمت محصول در هزینه کل خرید	E_{22}
		ارزش افزوده کیفیت محصول در تولید	E_{23}

مقادیر شاخص‌های مرتبط با متغیرهای پیچیدگی بازار و اهمیت خرید توسط خبرگان به صورت قطعی و در بازه [۰-۱۰] مشخص و برای هر یک از آنها سه عبارت زبانی: کم، متوسط و زیاد تعریف شده است که این مقادیر و اعداد فازی متناظر آنها در جداول (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده‌اند.

جدول (۱۱): عبارتهای زبانی و اعداد فازی متناظر برای شاخص‌های مرتبط با متغیر پیچیدگی بازار

شاخص	کم (Low)	متوسط (Medium)	زیاد (High)
E_{11}	(۰، ۱/۳، ۴)	(۱/۳، ۴/۳، ۷/۳)	(۵، ۷/۳، ۱۰)
E_{12}	(۰، ۳، ۵/۷)	(۳، ۵/۷، ۸/۳)	(۶/۷، ۹، ۱۰)
E_{13}	(۰، ۲/۷، ۴/۳)	(۲/۷، ۴/۷، ۷)	(۵، ۷، ۱۰)

جدول (۱۲): عبارتهای زبانی و اعداد فازی متناظر برای شاخص‌های مرتبط با متغیر اهمیت خرید

شاخص	کم (Low)	متوسط (Medium)	زیاد (High)
E_{21}	(۰، ۱/۳، ۴)	(۲/۷، ۵، ۷/۳)	(۶، ۸، ۱۰)
E_{22}	(۰، ۲، ۴/۷)	(۳/۳، ۶، ۸/۷)	(۷/۳۳، ۹، ۱۰)
E_{23}	(۰، ۱/۷، ۴/۳)	(۳، ۵/۳، ۷/۷)	(۶/۳، ۸، ۱۰)

رابطه متغیرهای پیچیدگی بازار و اهمیت خرید و مقادیر شاخص‌های مرتبط با آنها، با استفاده از قواعدی که توسط خبرگان مشخص شده تعیین می‌شود که تعدادی از آنها در جداول (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است.

جدول (۱۳): تعدادی از قواعد تعیین مقدار پیچیدگی بازار

شماره قاعده	اگر			آنگاه
	E_{21}	E_{22}	E_{23}	اهمیت خرید (E_2)
1	Low	Low	Low	Low
2	Low	Low	Medium	Low
3	Low	Low	High	High
⋮		⋮		⋮
26	High	High	Medium	High
27	High	High	High	High

جدول (۱۴): تعدادی از قواعد تعیین مقدار اهمیت خرید

شماره قاعده	اگر			آنگاه
	E_{11}	E_{12}	E_{13}	پیچیدگی بازار (E_1)
1	Low	Low	Low	Low
2	Low	Low	Medium	Low
3	Low	Low	High	Low
⋮		⋮		⋮
26	High	High	Medium	Low
27	High	High	High	Low

برای طراحی سیستم استنتاج فازی، اطلاعات مورد نیاز شامل پارامترها و قواعد در نرم‌افزار متلب مدل‌سازی شده است. پس از طراحی سیستم استنتاج فازی در متلب از این نرم‌افزار برای جهت تعیین گروه‌بندی هر قلم استفاده و با ورود مقادیر شاخص‌های مرتبط با پیچیدگی بازار و اهمیت خرید آن قلم به نرم‌افزار، سیستم با توجه به این مقادیر و روش استنتاج فازی ممدانی گروه قلم را تعیین می‌کند. با استفاده از سیستم استنتاج فازی تهیه شده همه اقلام خرید سازمان به چهار دسته: راهبردی، گلوگاهی، اهرمی و عادی طبقه‌بندی شده‌اند که در نتیجه از مجموع ۷۳ قلم کالای مورد بررسی، ۳۳ قلم کالای راهبردی، ۱۷ قلم کالای گلوگاهی، ۸ قلم کالای اهرمی (پرهزینه) و ۱۵ قلم کالای عادی (غیرضروری) بوده است. طبقه‌بندی نهایی اقلام در جدول (۱۵) نشان داده شده است.

جدول (۱۵): طبقه‌بندی نهایی اقلام با استفاده از استنتاج فازی

گروه قطعات	کد قطعات
راهبردی (G_1)	I_{20}, I_{21}, I_{22}, I_{23}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{29}, I_{30}, I_{31}, I_{32}, I_{33}, I_{34}, I_{35}, I_{36}, I_{37}, I_{38}, I_{39}, I_{40}, I_{41}, I_{42}, I_{43}, I_{44}, I_{45}, I_{46}, I_{47}, I_{48}, I_{49}, I_{50}, I_{51}, I_{52}
گلوگاهی (G_2)	I_3, I_{12}, I_{15}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{58}, I_{61}, I_{62}, I_{63}, I_{67}, I_{68}, I_{69}, I_{70}, I_{71}, I_{72}, I_{73}
اهرمی (G_3)	I_1, I_2, I_4, I_5, I_6, I_9, I_{11}, I_{65},
عادی (G_4)	I_7, I_8, I_{10}, I_{13}, I_{14}, I_{19}, I_{53}, I_{54}, I_{55}, I_{56}, I_{57}, I_{59}, I_{60}, I_{64}, I_{66}

مرحله ۵: مدل‌سازی ریاضی مسئله تخصیص سفارش

برای تعیین میزان سفارش هر قلم در هر دوره از هر تامین‌کننده، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی سه هدفه مخلوط اعداد صحیح پیشنهاد شده است. اندیسها، پارامترها و متغیرهای مدل پیشنهادی در جدول (۱۶) نشان داده شده است.

جدول (۱۶): اندیسها، پارامترها و متغیرهای مدل پیشنهادی

i	اندیس شمارنده محصول (i=1,…,I)
j	اندیس شمارنده تامین‌کننده (j=1,…,J)
t	اندیس شمارنده دوره (t=1,…,T)
w_{ijt}	درجه مطلوبیت تامین‌کننده j در محصول i در دوره t
d_{it}	میزان تقاضای محصول i در دوره t
p_{ijt}	هزینه خرید یک واحد محصول i از تامین‌کننده j در دوره t
b_t	مقدار بودجه دوره t
h_{it}	هزینه نگهداری هر واحد محصول i در دوره t
c_{jt}	هزینه سفارش از تامین‌کننده j در دوره t
u_{ijt}	ظرفیت تامین‌کننده j برای محصول i در دوره t
l_{ijt}	حداقل سفارش محصول i به تامین‌کننده j در دوره t
n_t	حداکثر تعداد تامین‌کنندگان در دوره t
m	یک عدد بزرگ
X_{ijt}	متغیر مقدار سفارش محصول i به تامین‌کننده j در دوره t
S_{it}	متغیر میزان موجودی محصول i در دوره t
Y_{jt}	یک متغیر دودویی که اگر تامین‌کننده j در دوره t انتخاب شود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر انتخاب می‌کند.
K_{ijt}	یک متغیر دودویی که در صورت خرید محصول i توسط تامین‌کننده j در دوره t مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر انتخاب می‌کند.

مفروضات مدل پیشنهادی عبارت است از:

- سفارشات در ابتدای هر دوره به صورت یکجا دریافت می‌شود.
- کمبود در مدل مجاز نیست.
- هزینه سفارش به تامین کننده وابسته است.
- هزینه نگهداری به نوع محصول وابسته است.
- محدودیت بودجه در هر دوره برنامه‌ریزی وجود دارد.
- حداکثر تعداد تامین‌کنندگان در همه دوره‌ها ثابت است.
- درجه مطلوبیت تامین کنندگان در هر محصول برای همه دوره‌ها ثابت است.

لازم به ذکر است که درجه مطلوبیت هر تامین‌کننده در هر محصول، با

استفاده از مطلوبیت نهایی هر تامین کننده در هر گروه اقلام (مرحله ۳) و با توجه به گروه‌بندی آن محصول (مرحله ۴) مشخص می‌شود.

با استفاده از اطلاعات داده شده، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مختلط با اعداد صحیح سه هدفه برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش پیشنهاد و در زیر نشان داده شده است.

در مدل بالا داریم:

رابطه (۳۶) تابع هدف اول بوده و کمینه‌سازی هزینه‌های کلی خرید محصولات شامل: هزینه‌های نگهداری، هزینه سفارش و هزینه خرید را نشان می‌دهد.

رابطه (۳۷) تابع هدف دوم بوده و بیشینه‌سازی مطلوبیت خرید از تامین‌کنندگان را نشان می‌دهد. در این تابع هدف برای تعیین درجه اهمیت تامین‌کنندگان در هر محصول از مطلوبیتهای بدست آمده برای تامین‌کنندگان در هر گروه اقلام در روش WASPAS فازی استفاده شده است.

رابطه (۳۸) تابع هدف سوم نیز تابع هدف جدید کمینه‌سازی تغییرات تامین‌کنندگان انتخابی در مجموع دوره‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت همکاری بلندمدت با تامین‌کنندگان و ایجاد هزینه‌هایی همچون عقد قرارداد و فسخ آن که بر اثر تغییر تامین‌کنندگان در دوره‌های مختلف برای سازمان ایجاد می‌شود، باید تغییرات در انتخاب تامین‌کنندگان در طی دوره‌های برنامه‌ریزی تا حد امکان کم باشد. از این رو در تابع هدف سوم برای اندازه‌گیری تغییرات تامین‌کنندگان از شمارش تعداد دنباله‌های مقادیر صفر و یک برای هر تامین کننده در کل دوره‌ها و جمع‌زنی تعداد دنباله‌های همه تامین‌کنندگان استفاده شده است که در آن مقادیر یک و صفر در یک دوره زمانی مشخص برای هر تامین‌کننده به ترتیب نشان‌دهنده همکاری و عدم همکاری با آن تامین‌کننده در دوره زمانی مورد نظر می‌باشد

رابطه (۳۹) محدودیت تعادل مواد را نشان می‌دهد که در آن سطح موجودی در ابتدای هر دوره باید برابر با مجموع سطح موجودی پایان دوره قبل و میزان سفارش در هر دوره و کسر تقاضای آن دوره باشد.

رابطه (۴۰) محدودیت حداقل مقدار سفارش و ظرفیت تامین کننده را نشان می‌دهد.

رابطه (۴۱) محدودیت مرتبط با خرید از تامین‌کننده انتخابی است که در آن اگر در دوره t تامین‌کننده j انتخاب شود باید حداقل یک محصول از این تامین‌کننده خریداری شده باشد.

رابطه (۴۲) نشان‌دهنده محدودیت بودجه در هر دوره است. رابطه (۴۳) حداکثر تعداد تامین‌کنندگان انتخابی در هر دوره را نشان می‌دهد. نهایتاً رابطه (۴۴) محدودیتهای مربوط به دامنه تغییرات مقادیر متغیرها می‌باشد.

مرحله ۶: حل مدل بهینه‌سازی

همانطور که قبلاً بیان گردید مسئله شامل انتخاب ۷۳ نوع اقلام خریدنی از ۷۸ تامین‌کننده مختلف در طی ۱۲ دوره می‌باشد. برای حل این مدل سه هدفه از روش LP متریک و نرم‌افزار GAMS استفاده شده است. در روش LP متریک، مسئله چندهدفه به یک مسئله تک هدفه تبدیل می‌شود که فقط یک جواب بهینه دارد، از این رو برای تعیین جوابهای پارتو (نامغلوب)، مدل LP متریک به ازای دو مقدار P=1,∞ و مقادیر

$$min\ Z_1 = \sum_i \sum_j \sum_t p_{ijt}.X_{ijt} + \sum_j \sum_t c_{jt}.Y_{jt} + \sum_i \sum_t h_{it}.S_{it} \quad (۳۶)$$

$$max\ Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_t w_{ijt}.X_{ijt} \quad (۳۷)$$

$$min\ Z_3 = \sum_j \sum_t |Y_{jt} - Y_{jt+1}| \quad (۳۸)$$

s.t:

$$S_{it} = \sum_j X_{ijt} - d_{it} + S_{i(t-1)} \qquad \forall\ i,t \quad (۳۹)$$

$$l_{ijt}.K_{ijt} \le X_{ijt} \le u_{ijt}.K_{ijt} \qquad \forall\ i,j,t \quad (۴۰)$$

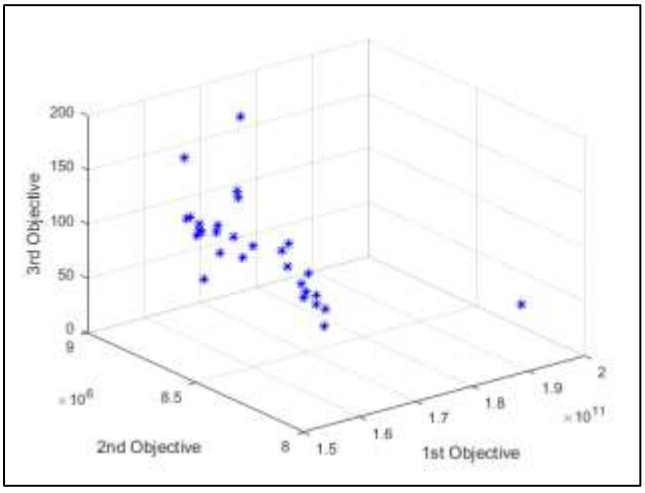
$$Y_{jt} \le \sum_i K_{ijt} \le m.Y_{jt} \qquad \forall\ j,t \quad (۴۱)$$

$$\sum_j \sum_i p_{ijt}.X_{ijt} + \sum_j c_{jt}.Y_{jt} \le b_t \qquad \forall\ t \quad (۴۲)$$

$$\sum_j Y_{jt} \le n_t \qquad \forall\ t \quad (۴۳)$$

$$X_{ijt} \ge 0, S_{it} \ge 0, Y_{jt}, K_{ijt} \epsilon \{0,1\} \quad \forall\ i,j,t \quad (۴۴)$$

$\gamma \in [0,1]$ حل و از میان جوابهای بهینه بدست آمده، جواب‌های پارتو تعیین شده است. مقادیر توابع هدف برای جوابهای پارتوی بدست آمده در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): جوابهای پارتوی مسئله پیشنهادی

همچنین مقادیر توابع هدف در جوابهای پارتو به صورت عددی نیز در

جدول (۱۷) آمده است.

جدول (۱۷): مقادیر توابع هدف در جوابهای پارتوی مسئله پیشنهادی

شماره	Z_1	Z_2	Z_3	شماره	Z_1	Z_2	Z_3
۱	۱۷۷،۷۸۴،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۳۱،۵۳۰	۶۵	۱۶	۱۷۶،۳۰۶،۰۰۰،۰۰۰	۷،۹۸۷،۷۳۷	۱۱۲
۲	۱۸۳،۲۷۶،۰۰۰،۰۰۰	۷،۶۰۲،۴۸۵	۴۵	۱۷	۱۷۷،۰۱۵،۰۰۰،۰۰۰	۷،۵۰۳،۱۰۱	۸۴
۳	۱۷۷،۴۱۷،۰۰۰،۰۰۰	۷،۷۲۲،۴۱۹	۱۰۷	۱۸	۱۷۸،۸۹۴،۰۰۰،۰۰۰	۷،۴۹۱،۷۶۳	۷۵
۴	۱۷۸،۱۷۹،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۴۰،۴۲۷	۷۱	۱۹	۱۷۹،۵۸۲،۰۰۰،۰۰۰	۷،۸۶۵،۵۰۶	۱۳۶
۵	۱۷۷،۵۷۰،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۱۶،۱۳۱	۶۰	۲۰	۱۷۵،۲۰۵،۰۰۰،۰۰۰	۷،۳۲۳،۹۰۹	۱۱۲
۶	۱۷۸،۴۳۶،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۱۸،۳۵۷	۸۰	۲۱	۱۷۷،۱۱۱،۰۰۰،۰۰۰	۷،۴۵۷،۴۸۲	۸۸
۷	۱۷۷،۴۴۵،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۲۹،۹۴۶	۸۶	۲۲	۱۷۷،۲۷۸،۰۰۰،۰۰۰	۷،۷۰۸،۹۷۲	۹۵
۸	۱۷۸،۸۳۸،۰۰۰،۰۰۰	۸،۰۹۳،۷۰۷	۷۴	۲۳	۱۷۶،۳۷۲،۰۰۰،۰۰۰	۷،۵۸۲،۶۰۰	۱۱۵
۹	۱۷۷،۰۵۵،۰۰۰،۰۰۰	۸،۰۵۹،۰۱۲	۹۶	۲۴	۱۷۶،۱۰۷،۰۰۰،۰۰۰	۷،۴۰۷،۴۷۱	۹۸
۱۰	۱۷۸،۱۳۶،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۴۴،۰۷۴	۸۷	۲۵	۱۷۵،۹۸۶،۰۰۰،۰۰۰	۷،۴۳۴،۲۸۷	۱۰۴
۱۱	۱۷۸،۱۲۷،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۴۵،۳۹۳	۸۳	۲۶	۱۷۶،۲۹۹،۰۰۰،۰۰۰	۷،۷۷۲،۸۰۴	۱۳۷
۱۲	۱۷۷،۵۰۶،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۲۰،۶۴۰	۸۸	۲۷	۱۷۶،۲۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۷،۷۶۵،۶۷۹	۱۴۲
۱۳	۱۷۷،۱۳۹،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۲۹،۳۰۵	۹۸	۲۸	۱۷۵،۸۴۵،۰۰۰،۰۰۰	۷،۴۰۰،۴۱۶	۱۱۸
۱۴	۱۷۷،۰۲۱،۰۰۰،۰۰۰	۸،۰۵۳،۰۱۶	۱۰۰	۲۹	۱۷۵،۹۷۷،۰۰۰،۰۰۰	۷،۵۳۳،۵۴۴	۱۲۳
۱۵	۱۷۶،۹۷۲،۰۰۰،۰۰۰	۸،۱۱۴،۳۷۲	۱۳۶	۳۰	۱۷۵،۵۳۹،۰۰۰،۰۰۰	۷،۳۸۲،۳۹۱	۱۱۵

از میان جوابهای پارتو با توجه به مطلوبیت مورد نظر خبرگان در سه تابع هدف؛ جواب نهم انتخاب شده است که هزینه کل آن برابر ۱۷۷،۰۵۵،۰۰۰،۰۰۰، مطلوبیت کلی خرید برابر ۸،۰۵۹،۰۱۲ و مقدار تغییرات تامین کننده برابر ۹۶ می‌باشد.

نهایتاً صحت این جواب توسط خبرگان بررسی و تایید شده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک رویکرد ترکیبی جدید از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی، استنتاج فازی و برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش پیشنهاد شده است. در این رویکرد ابتدا با استفاده از نظرات خبرگان معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی تامین‌کنندگان مشخص شده و با استفاده از روش DEMATEL-ANP فازی درجه اهمیت آنها تعیین شده است. همچنین با توجه به تنوع زیاد اقلام خریدنی با استفاده از روش استنتاج فازی (مدل کرالجیک)، اقلام خریدنی در چهار گروه اهرمی، راهبردی، گلوگاهی و عادی طبقه‌بندی شده‌اند و با استفاده از اوزان بدست آمده برای زیرمعیارها و روش WASPAS فازی تامین‌کنندگان در هر گروه رتبه‌بندی گردیده‌اند. نهایتاً برای تخصیص مقدار سفارش محصولات به تامین‌کنندگان در هر دوره یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با اعداد صحیح پیشنهاد شده است. در این مدل سه تابع هدف: کمینه‌سازی هزینه‌های خرید، بیشینه‌سازی مطلوبیت خرید و تابع هدف جدید کمینه‌سازی تغییرات تامین‌کنندگان انتخابی در نظر گرفته شده است. برای حل مدل پیشنهادی نیز از روش LP متریک استفاده شده است که در آن برای بدست آوردن جوابهای پارتو، مدل به ازای مقادیر مختلف ضرائب چندین بار حل شده است. نهایتاً از رویکرد پیشنهادی در یک سازمان بزرگ تولیدکننده محصولات شیمیایی استفاده و نتایج بدست آمده از رویکرد پیشنهادی توسط خبرگان شرکت بررسی و تایید شده است.

با توجه به جامعیت رویکرد مورد استفاده و در نظر گرفتن عدم قطعیت فازی در ارزیابی تامین‌کنندگان و بکارگیری یک مدل بهینه‌سازی سه هدفه برای تعیین میزان سفارش، استفاده از رویکرد پیشنهادی برای انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار سفارش در سازمانها توصیه می‌گردد.

منابع و مأخذ

[1] Alegoz, M., Yapicioglu, H. (2019). **Supplier Selection and Order Allocation Decisions Under Quantity Discount and Fast Service Options**, **Sustainable Production and Consumption.** 18, 179-189.

[2] Ayhan, M.B., Kilic, H.S. (2015). **A Two Stage Approach for Supplier Selection Problem in Multi-Item/ Multi-Supplier Environment With Quantity Discounts.** Computers & Industrial Engineering, 85, 1-12.

[3] Azadnia, A.H., Ghadimi, P. (2018). **An Integrated Approach of Fuzzy Quality Function Deployment and Fuzzy Multi-Objective Programming to Sustainable Supplier Selection and Order Allocation.** Journal of Optimization in Industrial Engineering, 11(1), 1-22.

[4] Çebi, F., Otay, İ. (2016.) **A two-Stage Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Order Allocation Problem With Quantity Discounts and Lead Time.** Information Sciences, 339, 143-157.

[5] Cheragh-alipour, A., Farsad, S. (2018). **A bi-objective Sustainable Supplier Selection and Order Allocation Considering Quantity Discounts Under Disruption Risks**: **A Case Study in Plastic Industry**. Computers & Industrial Engineering, 118, 237–250.

[6] Duan, C.Y., Liu, H.C., Zhang, L.J. Hua, Sh. (2019) .**An Extended Alternative Queuing Method with Linguistic Z-numbers and Its Application for Green Supplier Selection and Order Allocation.** International Journal of Fuzzy Systems, 21(8), 2510–2523.

[7] Esmaeili-Najafabadi, E., Fallah Nezhad, M.S., Pourmohammadi, H., Honarvar, M., Vahdatzad, M.A. (2019). **A Joint Supplier Selection and Order Allocation Model With Disruption Risks in Centralized Supply Chain**,

Computers & Industrial Engineering, 127, 734–748.

[8] Gabus, A., Fontela, E. (1972). **World Problems: An invitation to Further Thought Within the Framework of DEMATEL**. Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland.

[9] Gogus, O., Boucher, T.O. (1998). **Strong Transitivity, Rationality and Weak Monotonicity in Fuzzy Pairwise Comparisons.** Fuzzy Sets and Systems, 94(1): 133-144.

[10] Hosseini, S.M., Morshedlou, N., Ivanov, D., Sarder, M.D., Barkere, K. , Al Khaled, A. (2019). **Resilient Supplier Selection and Optimal Order Alocation Under Disruption Risks.** International Journal of Production Economics, 213, 124-137.

[11] Hosseini, Z.S., Fallah Nezhad. M.S. (2019). **Developing an Optimal Policy for Green Supplier Selection and Order Allocation Using Dynamic Programming.** International Journal of Supply and Operations Management, 6(2), 168-181.

[12] Irshad Mari, S., Saad Memon, M., Babar Ramzan, M., Mohsin Qureshi, S., Waqas Iqbal, M. (2019). **Interactive Fuzzy multi Criteria Decision Making Approach for Supplier Selection and Order Allocation in a Resilient Supply Chain**. Mathematics, 7, 137;1-16.

[13] Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., Diabat, A. (2013) .**Integrated Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method and Multi-Objective Programming Approach for Supplier Selection and Order Allocation in a Green Supply Chain**. Journal of Cleaner Production, 47, 355-367.

[14] Kellner, F., Utz, S. (2019). **Sustainability in Supplier Selection and Order Allocation: Combining Integer Variables With Markowitz Portfolio Theory**. Journal of Cleaner Production, 214, 462-474.

[15] Keshavarz Ghorabaee, M., Amiri, M., Kazimieras Zavadskas, E., Turskis, Z., Antucheviciene, J. (2017). **A New Multi-Criteria Model Based on Interval Type-2 Fuzzy Sets and EDAS Method for Supplier Evaluation and Order Allocation with Environmental Considerations**. Computers & Industrial Engineering, 112, 156–174.

[16] Kilic, H.S., (2013) An **Integrated Approach for Supplier Selection in Multi-Item/Multi-Supplier Environment**, Applied Mathematical Modelling, 37(14), 7752-7763.

[17] Kraljic, P. (1983). **Purchasing Must Become Supply Management.** Harvard Business Review, 61(5): 109-117.

[18] Lamba, K., Prakash Singh, S., Mishra, N. (2019) .**Integrated Decisions for Supplier Selection and Lot-Sizing Considering Different Carbon Emission Regulations in Big Data Environment**. Computers & Industrial Engineering, 128, 1052-1062.

[19] Lin, C.L., Wu, W.W. (2004). **A Fuzzy Extension of the Dematel Method for Group Decision Making**. European Journal of Operational Research, 156, 445–455.

[20] Lin, C.J., Wu, W.W. (2008). **A Causal Analytical Method for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment**. Expert Systems with Applications, 34(1): 205-213.

[21] Liou, J., Her-Shing, W., Yi-Song, S. (2018). **An Ielection and Order Allocation.** Journal of Cleaner Production, 190, 339-352.

[22] Lo, H.W., Liou, J.J.H., Wang, H.S., Tsai, Y.S. (2018). **An Integrated Model For Solving Problems in Green Supplier Selection and Order Allocation**. Journal of Cleaner Production, 190, 339-352.

[23] Luangpantao, K., Chiadamrong, N. (2015). **An Integrated Fuzzy-Linear Programming Approach for a Supplier Selection Problem: A Case with Multi-Sourcing and Multi-Product Scenarios.** Suranaree Journal of Science and Technology, 22(4), 305-322.

[24] Mamdani, E.H., Assilian, S. (1975). **An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller**. International Journal of Man-Machine Studies, 7(1): 1-13.

[25] Mirzaee, H., Naderi, B., Pasandideh, S.H.R. (2018). **A Preemptive Fuzzy Goal Programming Model for Generalized Supplier Selection and Order Allocation with Incremental Discount**. Computers & Industrial Engineering, 122, 292–302.

[26] Mohammed, A., Setchi, R., Filip, M., Harris, I., Li, X. (2018). **An Integrated Methodology For a Sustainable Two-Stage Supplier Selection and Order Allocation Problem**. Journal of Cleaner Production, 192, 99-114.

[27] Moheb-Alizadeh, H., Handfield, R. (2019). **Sustainable Supplier Selection and Order Allocation: A novel multi-Objective Programming Model With a Hybrid Solution Approach**. Computers & Industrial Engineering, 129, 192–209.

[28] Moghaddam, K.S. (2015). **Supplier Selection and Order Allocation in Closed-Loop Supply Chain Systems Using Hybrid Monte Carlo Simulation and Goal Programming**. International Journal of Production Research, 53(20), 6320–6338.

[29] Nazari-Shirkouhi, S., Shakouri, H., Javadi, B., Keramati, A. (2013). **Supplier Selection and Order Allocation Problem Using a Ttwo-Phase Fuzzy Multi-Objective Linear Programming**. Applied Mathematical Modelling, 37(22): 9308-9323.

[30] Park, K., Okudan Kremer , G.E., Ma, J. (2018). **A Regional Information-Based Multi-Attribute and Multi-Objective Decision-Making Approach for Sustainable Supplier Selection and Order Sllocation**. Journal of Cleaner Production, 187, 590-604.

[31] Rabieh, M., Fadaei Rafsanjani, A., Babaei, L., Esmaeili, M. (2019). **Sustainable Supplier Selection and Order Allocation: An Integrated Delphi Method, Fuzzy Topsis, and Multi-Objective Programming Model**. Scientia Iranica: E, 26(4), 2524-2540.

[32] Rodrigues, F., Requejo, C. (2019). **Suppliers Selection Problem with Quantity Discounts and Price Changes: A Heuristic Approach.** RAIRO-Operational Research, 53(3), 887–901.

[33] Saaty, T. L. (1996). **Decision Making with Dependence and Feedback, The Snalytic Network Process.** RWS Publications, Pittsburgh University, USA.

[34] Saaty, T.L., Vargas, L.G. (1998). **Diagnosis with Dependent Symptoms: Bayes Theorem and the Analytic Hierarchy Process**. Operations Research, 46(4): 491-502.

[35] Sobhanolahi, M.A., Mahmoodzadeh, A., Naderi, B. (2018). **A Max-Min Fuzzy Approach for Supplier Selection and Order Allocation Problem With Transportation Costs.** Journal of Industrial and Systems Engineering, 11(4), 204-215.

[36] Trivedi, A., Chauhan, A. (2017). A **Multi-Objective Integer Linear Program to Integrate Supplier Selection and Order Allocation With Market Demand in a Supply Chain.** International Journal of Procurement Management, 10(3), 335-360.

[37] Tuzkaya, U.R., Önüt, S. (2008). **A Fuzzy Analytic Network Process Based Approach to Transportation-Mode Selection Between Turkey and Germany**: **A case Study**, Information Sciences, 178(15): 3133-3146.

[38] Yousefi, S., Jahangoshai Rezaee, M., Solimanpur, M. (2019). **Supplier selection and Order Allocation Using Two-Stage Hybrid Supply Chain Model and Game-Based Order Price**. Operational Research: An International Journal, 1–36.

[39] Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., Zakarevicius, A. (2012). **Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment**. Elektronika ir Elektrotechnika, 122(6): 3-6.

[40] Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., Hajiagha, S.H.R., Hashemi, S.S. (2014). **Extension of Weighted Aggregated Sum Product Assessment With Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Numbers (WASPAS-IVIF).** Applied Soft Computing, 24: 1013-1021.