نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال دهم، شماره بیست و یکم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، صفحه ۱۵۱-۱۶۹

www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/IER.2023.27176.2106

ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار با ترکیبی از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره و بهره‌گیری از تابع زیان تاگوچی در تعیین امتیازات نهایی

مرضیه صانعی[۱]، مهدی سیف‌برقی[۲*]

۱. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۰/۱۲/۱۱

پذیرش ۱۴۰۱/۷/۰۵

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

زنجیرهٔ‌تأمین

انتخاب تأمین‌کنندگان

تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه

دیمتل فازی

فرآیند شبکهٔ تحلیلی

خلاصه

در شرایط رقابتی امروز، مدیریت تأمین نقش به‌سزایی در دستیابی به یک زنجیره‌تأمین کارآمد دارد. از مهم‌ترین اهداف مدیریت تأمین انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار و تعیین سهم بهینه اختصاص یافته به آن‌ها جهت برآورده‌سازی نیازهای سازمان می‌باشد. فرآیند انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار از تعیین عوامل مؤثر بر این نوع تصمیم آغاز می‌شود. با توجه به اینکه اهمیت همه این عوامل برای سازمان‌ها یکسان نیست، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تعیین وزن این عوامل استفاده می‌شود. در این پژوهش از سه روش دیمتل فازی، ترکیب روش فرآیند شبکه تحلیلی و روش دیمتل فازی نوع ۱و ترکیب روش فرآیند شبکه تحلیلی و دیمتل فازی نوع ۲ برای تعیین وزن معیارهای مؤثر بهره گرفته شده است. همچنین برای تعیین امتیاز تأمین‌کنندگان از رویکرد نوآورانه ترکیبی تابع زیان تاگوچی فازی و تشابه با راه‌حل ایده‌آل فازی استفاده می‌شود. در رویکرد ترکیبی، ابتدا کارشناسان به تأمین‌کنندگان نسبت به عملکرد آن‌ها در شرایط مختلف سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و ... امتیاز می‌دهند و بر این اساس تابع زیان تاگوچی فازی محاسبه می‌شود. باتوجه به اینکه تابع زیان بار منفی دارد، توابع زیان تاگوچی معکوس شده و به‌عنوان ورودی روش تاپسیس فازی به‌کار می روند. در این پژوهش حساسیت روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ذکر شده برای محاسبه وزن معیارها نسبت به شرایط مختلف بررسی می‌شود. همچنین امتیاز تأمین‌کنندگان براساس عملکرد آن‌ها در بدترین شرایط، شرایط نرمال و بهترین شرایط محاسبه می‌شود.

۱. مقدمه

اگرچه شاخص‌های موفقیت برای سازمان‌ها و شرکت‌های تولیدی عموماً هزینه‌های تولید پایین‌تر، زمان‌های چرخه کوتاه‌تر، زمان تحویل کوتاه‌تر، میزان موجودی کمتر، ویژگی‌های با کیفیت بالا با رضایت بالای مشتری، هستند؛ اما تمامی‌آین موارد برای بیان موفقیت سازمان به خودی خود کافی نیستند از این‌رو مدیریت زنجیره‌تأمین که یک موضوع مهم برای سازمان‌ها تبدیل شده است [۱,۲]. سیستم‌های مدیریت زنجیره‌تأمین امروزه پایه هر سازمانی هستند [۳]. مدیریت زنجیره‌تأمین، مدیریت جریان کالا و خدمت، شامل جابجایی و انبارش مواد اولیه، کار درجریان ساخت و کالاهای آماده از نقطه مبدأ تا نقطه مصرف است. شبکه‌ها و کانال به‌هم پیوسته برای ارائه محصولات و خدمات مورد نیاز مشتریان در یک زنجیره‌تأمین ترکیب می‌شوند [۴]. باتوجه‌به افزایش قیمت انرژی، آلودگی صنعتی، کمبود مواد اولیه و منابع طبیعی در سال‌های اخیر، شرکت‌ها توجه بیشتری به زنجیره‌های تأمین خود برای افزایش بهره‌وری، واکنش به تغییر بازار و درنتیجه رقابت‌پذیری نشان داده‌اند [۵]. انتخاب و ارزیابی تأمین‌کننده می‌تواند

* نویسنده مسئول: مهدی سیف برقی

تلفن: ۸۵۶۹۲۹۳۹-۰۲۱؛ پست الکترونیکی: m.seifbarghy@alzahra.ac.ir

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌ها برای موفقیت یک سازمان باشد [۶]، که در این رابطه برخی کارشناسان اعلام کرده‌اند ۵۰ تا ۷۰ درصد هزینه زنجیره‌تأمین مربوط به مواد اولیه خریداری ار تأمین‌کنندگان است [۷] به‌طور کلی، مسأله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش به آن‌ها، به انتخاب بهترین مجموعه تأمین‌کنندگان اشاره دارد درحالی‌که به‌طور همزمان طرح تخصیص سفارش را به تأمین‌کنندگان منتخب با فرض برآورده کردن الزامات و محدودیت‌های خاص تأمین‌کنندگان و سازمان درنظر می‌گیرد [۸,۹].

انتخاب تأمین‌کننده به‌طور کلی یک فرآیند ارزیابی طولانی است و شامل دو مرحله می‌باشد: ۱) تعیین معیارهای مورد نظر جهت انتخاب تأمین‌کنندگان و درجه اهمیت این معیارها نسبت به یکدیگر. ۲) شناسایی تأمین‌کنندگان مورد نظر و ارزیابی آن‌ها باتوجه به تکنیک‌ها و روش‌های موجود [۷]. تأمین‌کنندگان براساس چندین معیار مانند قیمت، مدت زمان تحویل، کیفیت محصول و مواردی دیگری مانند امکانات، تحقیق و توسعه، توانایی و غیره ارزیابی می‌شوند توجه به معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی نیز برای دستیابی به زنجیره‌تأمین پایدارحائز اهمیت است. برای انتخاب تأمین‌کنندگان احتمالی، شرکت توانایی هر تأمین‌کننده را برای برآوردن مداوم و مقرون به‌صرفه نیازهایش با استفاده از معیارهای انتخاب و اقدامات مناسب ارزیابی می‌کند [۱۰]. غالباً این ارزشیابی‌ها، نیاز به بررسی دارند برای مثال، یک تأمین‌کننده ممکن است قطعات ارزان قیمت با کیفیت متوسط یا پایین را ارائه دهد، درحالی‌که یک تأمین‌کننده دیگر ممکن است قطعات با کیفیت بالاتر را با مدت زمان تحویل نامشخص ارائه دهد. علاوه برآن اهمیت هر معیار می‌تواند متفاوت باشد و این معیارها روی هم تأثیرگذار باشند برای مثال تکنولوژی مورد استفاده تأمین‌کننده روی قیمت مواد اثرگذار باشد. بنابراین، تکنیکی مورد نیاز است که بتواند نگرش تصمیم‌گیرنده را نسبت به اهمیت هر معیار تنظیم کند و عوامل کیفی و کمی و تأثیرگذاری معیارها بر روی هم را شامل شود [۶]. همچنین باتوجه به این نکته که الزامات محیط مانع از تصمیم‌گیری دقیق می‌شود و بسیاری از مسائل دنیای واقعی ماهیت فازی دارند [۱۱]، تعیین اهمیت معیارها و درنهایت امتیاز تأمین‌کنندگان با رویکردهای تئوری فازی می‌تواند نتایج خوبی به‌همراه داشته باشد. ویژگی اصلی آن این است که چارچوبی انعطاف‌پذیر فراهم می‌کند که در آن می‌توان بسیاری از مسائل را به‌دلیل عدم دقت، به‌طور رضایت‌بخشی برطرف کرد [۱۱].

در این مطالعه، به مسأله انتخاب تأمین‌کننده پایدار در شرایط عدم قطعیت خواهیم پرداخت. ابتدا برای داشتن تأمین‌کنندگان پایدار، معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تعیین می‌شوند. سپس با استفاده از تکنیک‌های دیمتل فازی، ترکیب روش فرآیند شبکه تحلیلی و روش دیمتل فازی نوع ۱و ترکیب روش فرآیند شبکه تحلیلی و روش دیمتل فازی نوع ۲ وزن معیارها مشخص می‌شود و با درنظرگرفتن شرایط مختلف اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و ... با استفاده از روش ترکیبی تابع زیان تاگوچی فازی-تاپسیس فازی، امتیاز تأمین‌کنندگان با توجه به عملکرد آن‌ها در شرایط مطلوب و نامطلوب و شرایط نرمال محاسبه می‌شود.

نوآوری پژوهش استفاده از تابع زیان تاگوچی به‌صورت فازی می‌باشد که امتیاز تأمین‌کنندگان را با توجه به عملکرد آن‌ها در شرایط مختلف اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و غیره محاسبه می‌کند. همچنین در این مقاله رویکرد مقایسه‌ای به‌کار رفته است که حساسیت روش‌های مختلف را در نسبت به شرایط متفاوت جامعه مشخص می‌کند.

ساختار کلی این پژوهش به‌طور خلاصه، به‌صورت زیر می‌باشد: در بخش (۲) به بررسی مبانی نظری و پیشینه تحقیقات انجام شده در زمینه مسأله ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پرداخته می‌شود. در بخش (۳) به بیان رویکرد پیشنهادی برای مسأله مورد مطالعه پرداخته می‌شود و همچنین روش حل مسأله مورد نظر تشریح خواهد شد. در بخش (۴) نتایج عددی حاصل براساس داده‌های صنعت تولید لامپ ارئه خواهد شد و در بخش (۵) به نتیجه پژوهش و پیشنهادات آتی پرداخته خواهد شد.

۲. مبانی نظری و مرور ادبیات

در این بخش به بررسی مبانی نظری تحقیق و مرور تحقیقات پیشین و مقایسه این تحقیق با آن‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۱. مدیریت زنجیره‌تأمین پایدار

مفهوم زنجیره‌تأمین، عملکرد و نیز مدیریت آن اولین‌بار در اواخر دهه ۱۹۸۰ مطرح شده و به‌طور گسترده در دهه ۱۹۹۰ مورد استفاده قرار گرفت [۱۲]. یک زنجیره‌تأمین شامل تمام مراحلی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در تحقق درخواست مشتری دخیل هستند. زنجیره‌تأمین نه تنها شامل تولید کننده و تأمین‌کنندگان می‌شود، بلکه شامل حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشان و خود مشتریان نیز می‌شود [۱۲,۱۳]. زنجیره‌های تأمین پیچیده هستند و از سازمان‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که در سطوح مختلف و جغرافیای مختلف پراکنده شده‌اند. درواقع، مدیریت زنجیره‌تأمین شامل جابجایی و انبارش مواد اولیه، کالای درجریان ساخت و کالاهای نهایی از مبدأ تا نقطه مصرف است [۴,۵]. هدف زنجیره‌تأمین برقراری ارتباط مستمر بین اجزای اصلی آن است، زیرا زمانی‌که تمامی اجزای درگیر در زنجیره‌تأمین به‌طور هماهنگ با یکدیگر همکاری می‌کنند، مدیران می‌توانند اطمینان حاصل کنند که در مقایسه با هزینه پرداخت شده از منافع زیادی نیز برخوردار خواهند شد [۱۴]. باتوجه به افزایش قیمت انرژی، آلودگی‌های صنعتی، کمبود مواد اولیه و منابع طبیعی در سال‌های اخیر، شرکت‌ها توجه بیشتری به زنجیره‌های تأمین خود برای افزایش بهره‌وری، واکنش نسبت به تغییر بازار و درنتیجه ماندن در رقابت داشته‌اند [۵]. مدیریت زنجیره‌تأمین از حوزه‌ای که به‌طور مبهم تنها به مسائل عملیاتی و اقتصادی می‌پرداخت پیشرفت کرده و به‌طور جامع به مسائل گسترده‌تر زیست‌محیطی و اجتماعی که سازمان‌های امروزی با آن مواجه هستند، می‌پردازد [۱۵]. تشدید رقابت، قوانین سختگیرانه دولتی، و افزایش مسائل زیست‌محیطی، شرکت‌ها را مجبور کرده

پایداری را در طراحی زنجیره‌تأمین خود بهبود بخشند [۱۶]. «پایداری را می‌توان به‌عنوان توانایی یک سازمان در تصمیم‌گیری بر وضعیت فعلی تعریف کرد به‌طوری‌که این تصمیمات هیچ‌گونه تأثیر مخربی بر وضعیت آتی محیط طبیعی، جوامع و دوام کسب‌وکار نداشته باشد [۵]». دستیابی به پایداری نیاز به ادغام ویژگی‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در فرآیندهای تولید و زنجیره‌های تأمین دارد [۱۶,۱۷]. سیورینگ و مولر [۱۸] مدیریت زنجیره‌تأمین پایدار را به‌عنوان" مدیریت مواد، اطلاعات و جریان‌های سرمایه و همچنین هم‌کاری بین شرکت‌ها در طول زنجیره‌تأمین درحالی‌که اهداف از هر سه بعد توسعه پایدار، یعنی اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، را درنظر می‌گیرند که از نیازهای مشتری و ذینفعان مشتق شده‌اند" بیان کردند [۱۷]. هدف پایداری اقتصادی این است که درآمد در جریان را بیشینه کند و در عین حال، دارایی‌ها یا سرمایه‌ای را که این درآمد را به‌همراه دارد به حداقل برساند [۵,۱۹] پایداری اجتماعی بر حقوق انسان‌ها، آموزش نیروی انسانی و غیره تمرکز دارد [۵]. پایداری زیست‌محیطی تقریباً با میزان کاهش منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و ایجاد آلودگی مرتبط است؛ درواقع پایداری زیست‌محیطی تضمین می‌کند، فعالیت‌های انسان در جهت قوانین محیط‌زیست باشد [۵,۲۰].

۲-۲. انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار

در طراحی زنجیره‌تأمین، مسأله انتخاب تأمین‌کننده، شناسایی اندازه سفارش و تخصیص سفارش تصمیمات میان مدتی هستند که باید به‌طور جداگانه اتخاذ شوند [۲۶]. پس از انتخاب تأمین‌کنندگان واجد شرایط، موضوع مهم دیگر تدارکات، نحوه تخصیص سهم سفارش است، زیرا این موضوع مستقیماً هزینه و ارزش خرید را تعیین می‌کند. بنابراین، انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش برای عملکرد درست شرکت بسیار مهم است [۲۷]. تخصیص سفارش با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه صورت می‌گیرد [۲۸]. از اهداف بسیار مهم برنامه‌ریزی چندهدفه، کاهش هزینه‌های زنجیره‌تأمین می‌باشد زنجیره‌تأمین یک محصول با ورود مواد اولیه آغاز می‌شود و با تولید، توزیع و تحویل محصولات به مشتریان خاتمه می‌یابد. در محاسبه بهای تمام شده یک محصول، علاوه‌بر هزینه‌های معمول تولید (هزینه تبدیل مواد اولیه به محصول نهایی)، هزینه‌های دیگری مانند هزینه‌های سفارش، حمل‌ونقل محصول برای تحویل به مشتری و خدمات ارائه می‌شود [۲۹]. در طی فرآیند انتخاب تأمین‌کننده، به حداقل رساندن هزینه تنها هدف نیست، به‌خصوص در محیط رقابتی موجود، عوامل دیگری مانند کیفیت مواد اولیه و تحویل به‌موقع نیز مهم هستند که منجربه تحویل با کیفیت و به‌موقع محصولات می‌شود. همچنین باتوجه به تشدید شایستگی بازار و افزایش نگرانی‌های اجتماعی و زیست‌محیطی مشتریان، پایداری به یک نقطه کانونی برای اکثر سازمان‌ها تبدیل شده است. بنابراین، ادغام انتظارات پایدار مشتریان در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده برای تولیدکنندگان برای باقی ماندن در بازار رقابتی ضروری شده است [۳۰]. انتخاب تأمین‌کننده پایدار فرآیند شناسایی شرکای تأمین مناسب یک سازمان با سودمندترین حالت اقتصادی است و در عین حال از اثرات مختلف عملیات آن بر جامعه و محیط زیست می‌کاهد. بنابراین نقش به‌سزایی در حرکت سازمان به سمت توسعه پایدار دارد [۳۱].

۲-۳. تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[1]) یک روش تصمیم‌گیری علمی برای انواع مختلف ورودی‌های مرتبط با دیدگاه‌های مختلف تصمیم‌گیرندگان و اطلاعات مربوط به هزینه و درامد می‌باشد [۲۱]. در مسائل پیچیده تصمیم‌گیری، به‌طور کلی هیچ راه‌حل واضحی وجود ندارد، و به‌همین دلیل لازم است از ترجیحات تصمیم‌گیرندگان برای تمایز بین راه‌حل‌ها استفاده شود [۲۱,۲۲] MCDM به تصمیماتی می‌پردازد که شامل انتخاب بهترین گزینه از بین چندین نامزد بالقوه باتوجه به چندین معیار یا است که ممکن است مشخص یا مبهم باشد [۲۳]. اگرچه تقسیم‌بندی‌های متنوعی برای MCDM وجود دارد ولی مهم‌ترین آن‌ها براساس این است که است که راه‌حل‌های مسأله به‌طور صریح (روش مستقیم) یا به‌طور ضمنی تعریف شده (روش غیرمستقیم) هستند. در حالت اول، تعداد محدودی از گزینه‌ها وجود دارد و هر گزینه با توجه به معیارهای خاص و به‌ویژه تعریف شده، «کمی» می‌شود. هدف MCDM شناسایی راه‌حل بهینه و همچنین مرتب‌سازی/طبقه‌بندی گزینه‌ها است. در مورد دوم، گزینه‌ها به صراحت مشخص نیستند اما به‌طور کلی تعداد زیادی گزینه وجود دارد که در این مور د با حل یک مدل ریاضی می‌توان به گزینه مطلوب دست پیدا کرد [۲۱]. در ادبیات تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه برای حالت اول از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2])، فرآیند شبکه تحلیلی (ANP[3])، روش بهترین-بدترین (BWM[4])، حذف و انتخاب واقعیت ترجمه (ELECTRE[5])، روش نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS[6])، تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[7]) و غیره نام برد

۲-۴. تحقیقات پیشین

گورن[8] [۵]، برای مسأله انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش به آن‌ها، یک چارچوب تصمیم‌گیری ارائه می‌کند. پس از انتخاب معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، ابتدا با استفاده از روش دیمتل فازی، اهمیت معیارهارا به‌دست می‌آورد و سپس با روش تابع زیان تاگوچی فازی امتیاز تأمین‌کنندگان را محاسبه می‌کند. سپس مقادیر امتیاز تأمین‌کنندگان به‌عنوان ورودی برای تعیین مقادیر بهینه

1. Multiple-criteria decision-making
2. Analytic Hierarchy Process
3. Analytic network process
4. Best-Worst Method
5. Elimination and Choice Translating Reality
6. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
7. Data envelopment analysis
8. Goren

سفارش که باید به هر تأمین‌کننده با استفاده از بهینه‌سازی دوهدفه تخصیص داده می‌شود. در مدل دوهدفه فروش از دست رفته درنظر گرفته شده است. هرمانسیاه [۲۴]، پژوهشی تحت عنوان «پیاده‌سازی سیستم‌های پشتیبانی تصمیم در ارزیابی تأمین‌کننده سیمان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (F-AHP)» انجام دادند. در این پژوهش بیان شده است که انتخاب تأمین‌کنندگان براساس معیارهای قیمت پایین، در به‌دست آوردن حداکثر عملکرد کارآمد نیست، باید سایر معیارهای مرتبط با اهداف شرکت را نیز در انتخاب تأمین‌کنندگان درنظر گرفت. معیارهایی نظیر، عملکرد ناپایدار تأمین‌کننده، ازجمله تأخیر، نوسان قیمت و تحویل که مطابق با سفارشات نیست، باید درنظر گرفته شوند. در این پژوهش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، اولویت معیارهای ارزیابی به‌ترتیب معیارهای کیفی، معیار تحویل، معیار قیمت، معیارهای خدمات، معیارهای قابلیت تولید و معیارهای ویژگی های تأمین‌کننده است. لیو و همکاران [۲۵]، پژوهشی تحت عنوان «یک مدل ارزیابی تأمین‌کننده براساس تقاضای مشتری در مدیریت پروژه پلت‌فرم ضد جعل ردیابی بلاک چین» انجام دادند. این پژوهش، انتخاب تأمین‌کننده را در ابتدای مدیریت پروژه ارزیابی می‌کند تا یک سیستم ارزیابی مربوط به پلت‌فرم‌های ضد جعل ردیابی بلاک چین (BTAP[1]) ایجاد کند. در ابتدا، ۲۰ معیار ارزیابی را از چهار بعد نمای کلی پلت‌فرم، فناوری هسته، پشتیبانی برنامه و مدیریت عملیات تعیین می‌کند. بر این اساس تصمیم‌گیری چندمعیاره، فناوری هسته مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در انتخاب پروژه BTAP است. همچنین، نقش پشتیبانی برنامه در ارزیابی را نمی‌توان نادیده گرفت. لیو و همکاران [۲۶]، پژوهشی تحت عنوان «تصمیم‌گیری چند ویژگی (MADM[2]) متداول‌ترین روش مورد استفاده برای ارزیابی تأمین‌کننده سبز و بهبود عملکرد» انجام دادند. این پژوهش یک مدل مبتنی‌بر داده MADM را توسعه می‌دهد که از قوانین/الگوهای بالقوه مشتق شده از مقدار زیادی از داده‌ها برای کمک به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا تأمین‌کنندگان سبز مناسب را انتخاب کنند و استراتژی‌های بهبود سیستمی را برای کمک به رسیدن به سطح آرزو ارائه دهند. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند به‌طور مؤثر به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا مشکل انتخاب تأمین‌کننده سبز را حل کنند و استراتژی‌هایی برای بهبود ابداع کنند. وانگ و همکاران [۲۷]، پژوهشی تحت عنوان «مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده در پروژه نیروگاه بادی ویتنام» انجام دادند. بسیاری از نیروگاه‌های بادی در ویتنام ساخته می‌شوند. یکی از مهم‌ترین تجهیزات نیروگاه بادی، توربین بادی است. انتخاب تأمین‌کنندگان توربین بادی یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده و چندمعیاره (MCDM) است که می‌تواند هزینه‌های تهیه تجهیزات را کاهش دهد و به دریافت به‌موقع محصولات کمک کند. در این پژوهش، یک مدل MCDM فازی برای فرآیند انتخاب تأمین‌کننده توربین بادی در شرایط محیط فازی پیشنهاد می‌کنند. ابتدا همه عوامل برای انتخاب تأمین‌کننده توربین بادی با معیارهای مرجع عملیات زنجیره‌تأمین و بررسی ادبیات پژوهش شناسایی می‌شوند. یک مدل فرآیند شبکه تحلیلی فازی (FANP[3]) برای تعیین وزن همه معیارها در مرحله دوم استفاده شده است و از تکنیک اولویت سفارش براساس شباهت به یک مدل راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS[4]) برای رتبه‌بندی همه تأمین‌کنندگان بالقوه در مرحله نهایی استفاده شده است. این مقاله یک رویکرد جدید برای تصمیم‌گیرنده انعطاف‌پذیر و عملی است. گئو و همکاران [۲۸]، پژوهشی تحت عنوان «ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده سبز در تولید پوشاک با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی» انجام دادند. در این پژوهش یک روش سلسله مراتبی سیستماتیک از معیارهای ارزیابی تأمین‌کننده سبز برای تولید پوشاک براساس اصل TBL[5] ارائه شده است. تعاریف این معیارها براساس مصاحبه تخصصی، بررسی و مرور ادبیات جامع جمع‌آوری شده است. نتایج پژوهش نشان داد که چارچوب پیشنهادی می‌تواند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده سبز در تولید پوشاک را به‌طور مؤثر اداره کند. خوئی و جمیلی و همکاران [۲۹]، پژوهشی تحت عنوان «ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در زنجیره‌تأمین با استفاده از روش ترکیبی Vikor–FQFD[6] در شرکت‌های داروسازی (مطالعه موردی: شرکت داروسازی برکت)» انجام دادند. هدف این پژوهش، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار می‌باشد. این پژوهش یک مطالعه توصیفی بوده و از جنبه هدف کاربردی می‌باشد. داده‌های پژوهش از طریق بررسی مبانی نظری، مصاحبه با خبرگان و پرسشنامه جمع‌آوری شده است. شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان با رویکرد FQFD وزن‌دهی و اولویت‌بندی شدند که شاخص‌های قدرت و ثبات مالی و فنی، اصول چابکی در زنجیره‌تأمین و توانایی‌های مدیریتی به‌ترتیب از مهم‌ترین شاخص‌های پایدار تأمین‌کنندگان و شاخص‌های وجود سیاست‌های مرجوعی، سابقه فعالیت و به‌کارگیری اصول زنجیره‌تأمین سبز کم‌اهمیت‌ترین شاخص‌های ارزیابی پایداری تأمین‌کنندگان در شرکت‌های داروسازی متناسب با یافته‌های این پژوهش می‌باشند. معزز و همکاران [۳۰]، پژوهشی تحت عنوان «ارزیابی تأمین‌کنندگان تاب‌آور با استفاده از سیستم نسبی فازی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای» انجام دادند. این پژوهش با هدف ارائه چارچوبی جهت ارزیابی تأمین‌کنندگان تاب‌آور انجام گرفته است. روش تحقیق از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه با کارشناسان و خبرگان شرکت و تهیه پرسشنامه به شناسایی عوامل مؤثر در انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که معیارها و عوامل تأثیرگذار در انتخاب

1. Blockchain tracing anti-counterfeiting platforms
2. Multiple Attribute Decision Making
3. Fuzzy ANP
4. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
5. Triple bottom line
6. Fuzzy Quality function deployment

تأمین‌کننده تاب‌آور، شامل فاکتورهای اصلی عملکرد، حداقل‌سازی ریسک، پاسخ‌گویی، پشتوانه فنی و قدرت می‌باشد. در این تحقیق با انجام مقایسات زوجی بین عوامل و با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای، وزن این معیارها تعیین گردیده است. براساس نتایج به‌دست آمده از روش سیستم نسبی فازی، شرکت الکترونیک خودرو شرق به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب شده است. سپهری مهر و نظری و همکاران [۳۱]، پژوهشی تحت عنوان «شناسایی و وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در اداره تدارکات پتروشیمی بندر امام براساس رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره» انجام دادند. این پژوهش با هدف ارائه مدلی جهت تحلیل و ارزیابی تأمین‌کنندگان در اداره تدارکات پتروشیمی بندر امام برمبنای روش تحلیل سلسله مراتبی با داده‌های غیرقطعی به انجام رسید. نتایج تحقیق منجر به شناسایی ۴ معیار اصلی (معیار تأمین‌کننده، معیار عملکرد محصول، معیار عملکرد خدمت، معیار هزینه) و ۲۷ عامل گردید و رتبه آن‌ها تعیین شد. به‌طور کلی، در میان این چهار بعد، معیارهای عملکرد محصول و عملکرد خدمت حائز بالاترین رتبه هستند. این بدان معنی است که در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده، می‌باید به شاخص‌های زیرمجموعه این دو بعد توجه بیشتری صورت گیرد. سهیلی فر و همکاران [۳۲]، پژوهشی تحت عنوان «ارزیابی تأمین‌کنندگان مواداولیه مصرفی در صنایع دریایی با درنظر گرفتن عوامل پایداری با استفاده از FQFD» انجام دادند. این پژوهش با هدف رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شرکت تولیدکننده محصولات شیمیایی در زمینه صنعت کشتی‌سازی، پتروشیمی و سایر صنایع با درنظر گرفتن معیارهای پایداری انجام گرفته است. این تحقیق با مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه با خبرگان نیازمندی‌های مشتریان و معیارهای پایدار تأثیرگذار در انتخاب تأمین‌کننده شناسایی شد. درنهایت با استفاده از FQFD به رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان پرداخته است. عزیزی و جاهد و همکاران [۳۳]، پژوهشی تحت عنوان «مدل‌های تصمیم برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در حضور داده‌های اصلی و ترتیبی، محدودیت‌های وزنی و عوامل غیرقابل کنترل: یک رویکرد مبتنی بر DEA[1] با مرز دوگانه» انجام دادند. این پژوهش یک رویکرد جدید «تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه» را برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پیشنهاد کرده است. رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه، می‌تواند بهترین تأمین‌کننده را در حضور محدودیت‌های وزنی، عوامل غیرقابل کنترل، و داده‌های اصلی و ترتیبی شناسایی کند. در این رویکرد، پیشنهاد می‌شود که هر دو کارایی خوشبینانه و بدبینانه نسبی را در قالب یک کارایی میانگین هندسی ادغام کنیم. کارایی میانگین هندسی نشان‌دهنده‌ی عملکرد کلی هر تأمین‌کننده می‌باشد. مشاهده می‌شود که کارایی میانگین هندسی قدرت افتراق بیشتری نسبت به هر کدام از دو کارایی خوشبینانه و بدبینانه دارد. فلاح و جعفری و همکاران [۳۴]، پژوهشی تحت عنوان «ارزیابی تأمین‌کنندگان در شرایط عدم اطمینان با ترکیب روش‌های دمپستر شافر و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره» انجام دادند. هدف این پژوهش ارائه روشی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در شرایط عدم اطمینان است. در این تحقیق شاخص‌های ارزیابی از ماتریس بالقوه تأمین‌کنندگان استخراج و پس از تعیین اهمیت شاخص‌ها با استفاده از روش بهترین-بدترین، درجه عدم اطمینان با تحلیل رابطه‌ای خاکستری محاسبه و درنهایت برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان از روش دمپستر شافر استفاده شده است. در بعد توانمندی، شاخص‌های کیفیت و ظرفیت انبار و در بعد تمایل، شاخص‌های تمایل به نشر اطلاعات و توافق متقابل به‌ترتیب مهم‌ترین و کم اهمیت‌ترین شاخص می‌باشند. درنهایت شاخص‌های ارائه شده عمومی بوده و می‌تواند در صنایع و شرایط مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

۳. روش‌های به‌کار گرفته شده در تحقیق

در مسأله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش به آن‌ها، انتخاب معیارهای مؤثر نقش اساسی دارد. پس از انتخاب معیارها، تعیین وزن معیارهای مؤثر، از قسمت‌های مهم فرآیند تصمیم‌گیری می‌باشد. در این فصل روش‌های دیمتل فازی (F-DEMATEL)، F-DANP[2]1 و F-DANP2 برای تعیین وزن معیارها تشریح داده شده است. پس از آن روش‌های تابع زیان تاگوچی فازی و تاپسیس فازی برای به‌دست آوردن امتیاز نهایی تأمین‌کنندگان توضیح داده می‌شود. امتیازهای به‌دست آمده از این روش می‌تواند مستقیماً مورد استفاده تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد یا به‌عنوان ورودی برای سایر مدل‌های تصمیم مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۱. انتخاب معیارهای مؤثر در انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار

همان‌طور که در مرور ادبیات ذکر شد، برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار، نیاز به ادغام ویژگی‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌باشد. هدف پایداری اقتصادی این است که درآمد در جریان را بیشینه کند و در عین حال، دارایی‌ها یا سرمایه‌ای را که این درآمد را به‌همراه دارد به حداقل برساند [۵,۱۹]. پایداری اجتماعی بر حقوق انسان‌ها، آموزش نیروی انسانی و غیره تمرکز دارد [۵]. پایداری زیست‌محیطی تقریباً با میزان کاهش منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و ایجاد آلودگی مرتبط است؛ درواقع پایداری زیست‌محیطی تضمین می‌کند، فعالیت‌های انسان در جهت قوانین محیط زیست باشد [۵,۲۰]. برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار، ابتدا باید معیارهای پایدار مشخص شوند. در این پژوهش، معیارها در سه گروه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی براساس مرور ادبیات این حوزه و همچنین نظرات کارشناسان شرکت طبقه‌بندی شده‌اند.

۳-۲. تعیین وزن معیارها

برای تعیین وزن معیارها از سه روش F-DEMATEL، F-DANP1، F-DANP2 استفاده شده است.

۳-۲-۱. تعیین وزن معیارها به روش F-DEMATEL

یمتل یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی‌بر ارزیابی برای تعیین روابط علی مستقیم و غیرمستقیم بین معیارها و اهمیت آن روابط است

1. Data Envelopment Analysis

2. Fuzzy DEMATEL and ANP

[۳۷-۳۵]. این روش در سال ۱۹۹۷ به‌منظور دسترسی به راه‌حل‌های مناسب برای مسائل پیچیده جهانی به‌وجود آمد [۳۸]. از مزایای روش دیمتل می‌توان به درنظر گرفتن ارتباطات متقابل اشاره کرد؛ که نسبت به روش ANP، شفافیت بیشتری در انعکاس ارتباطات متقابل بین معیارها نشان می‌دهد. مزیت دیگر استفاده از این روش ساختاردهی به عومل پیچیده در قالب گروه‌های علت و معلولی می‌باشد؛ که تصمیم‌گیرنده در شرایط بهتری از درک روابط بین معیارها قرار می‌گیرد. تجزیه و تحلیل دیمتل براساس دو ماتریس مقایسات زوجی است که از نتایج حاصل از پرسشنامه محاسبه می‌شود. ماتریس اول را ماتریس نرمال رابطه مستقیم می‌نامند که میزان تأثیر مستقیم بین معیارها را نشان می‌دهد. ماتریس دوم ماتریس رابطه کل (T) نامیده می‌شود که مجموع تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم بین معیارها را نشان می‌دهد.

همچنین یک شبکه علّی با استفاده از تأثیراتی که بیشتر از مقدار آستانه در ماتریس رابطه کل (T) هستند ساخته می‌شود [۳۷,۳۹]. مقدار آستانه توسط تحلیلگر تصمیم تعریف می‌شود [۳۷].

مراحل دیمتل فازی به شرح زیر است: [۵,۳۷]

جدول (۱). مقیاس زبانی فازی برای روش دیمتل [۵,۴۰]

مفهوم علامت	مقدار	مقدار فازی
بدون تأثیر (N)	۰	(۰,۰,۰/۲۵)
تأثیر خیلی کم (VL)	۱	(۰,۰/۲۵,۰/۵)
تأثیر کم (L)	۲	(۰/۲۵,۰/۵,۰/۷۵)
تأثیر زیاد (H)	۳	(۰/۵,۰/۷۵,۱)
تأثیر خیلی زیاد (VH)	۴	(۰/۷۵,۱,۱)

مرحله ۱) محاسبه ماتریس رابطه مستقیم: ماتریس رابطه مستقیم $\tilde{A}$ نظر کارشناسان در مورد تأثیر معیارهای تصمیم بر یکدیگر و دارای درایه‌های فازی مثلثی و به‌صورت $\tilde{A} = (a_{ij}^l, a_{ij}^m, a_{ij}^u)$ می‌باشند که براساس مقیاس‌های فازی جدول (۱) امتیازدهی می‌شوند. درصورتی که کارشناسان متعدد باشند، میانگین پاسخ آن‌ها برای هر تأثیر در ماتریس رابطه مستقیم ثبت می‌شود [۳۷] .فرض کنیم $\tilde{A}^n$ نظر هر کارشناس در مورد تأثیر معیارهای تصمیم بر یکدیگر است. با فرض اینکه N کارشناس در مورد روابط بین معیارها نظر داده باشند، ماتریس رابطه مستقیم $\tilde{A}$ (میانگین نظرات کارشناسان) به‌صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\tilde{A} = \frac{\tilde{A}^1 + \tilde{A}^2 + \cdots + \tilde{A}^n}{n} \quad (۱)$$

مرحله ۲) محاسبه ماتریس رابطه مستقیم نرمال شده: همچنین ماتریس رابطه مستقیم نرمال شده $\widetilde{M}$ مطابق رابطه (۲) با تقسیم مقادیر ماتریس رابطه مستقیم $\tilde{A}$ بر مقدار بیشینه مجموع سطرها و ستون‌ها به‌دست می‌آید: [۳۷]

$$\widetilde{M} = \tilde{A} \times min\left(\frac{1}{max\sum_{i=1}^{n} a_{ij}^u}, \frac{1}{max\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^u}\right) \quad (۲)$$

مرحله ۳) محاسبه ماتریس رابطه کل: ماتریس رابطه کل $\tilde{T}$ مجموع روابط مستقیم و غیرمستقیم را نشان می‌دهد [۳۷,۴۱] و براساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\tilde{T} = \widetilde{M}(I - \widetilde{M})^{-1} \quad (۳)$$

I ماتریس همانی است.

برای هر معیار ، مجموع ردیف ($\widetilde{D}_i$) و مجموع ستون ($\widetilde{R}_i$) مرتبط محاسبه می‌شود. $\widetilde{D}_i$ نشان‌دهنده مجموع تأثیر مستقیم و غیرمسقیم معیار i بر سایر معیارهاست و به‌عنوان تأثیر ارسال شده نامیده می‌شود. $\widetilde{R}_i$ نشان‌دهنده مجموع تأثیر دریافت شده سایر معیارها بر معیار i می‌باشد و به‌عنوان تأثیر دریافت شده نامیده می‌شود. [۵,۳۷]

$\widetilde{D}_i + \widetilde{R}_i$ تأثیرکل ارسال شده و دریافت شده هر معیار i و میزان اهمیت آن را بیان می‌کند.

$\widetilde{D}_i - \widetilde{R}_i$ تأثیر خالص معیار i را نشان می‌دهد. مثبت بودن $\widetilde{R}_i$ نشان‌دهنده تأثیرگذار بودن معیار و منفی بودن آن بیان‌کننده تأثیرپذیر بودن آن است.

همچنین وزن معیارها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۵]. وزن‌های نهایی معیارها با بدون مقیاس کردن وزن‌های حاصل از رابطه (۴) براساس رابطه (۵) به‌دست می‌آید.

$$w_i = \sqrt{(D_i + R_i)^{def^2} + (D_i - R_i)^{def^2}} \quad (۴)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (۵)$$

برای فازی‌زدایی F-DEMATEL، از روش CFCS استفاده شده است. مراحل روش CFCS به‌صورت زیر می‌باشد:

مرحله ۱) نرمال‌سازی: فرض کنید که $\tilde{t}_{ij} = \left(t_{ij}^l, t_{ij}^m, t_{ij}^u\right)$ به‌ازای $j = 1,2,\ldots,n$ درایه‌های ماتریس $\tilde{T}$ هستند. رابطه (۶) بیشترین مقدار عدد فازی ($\tilde{t}_{ij}$ (U) و رابطه (۷) نشان‌دهنده کمترین مقدار آن (L) است. مقدار Δ در رابطه (۱۰) تفاضل مقدار L از مقدار U را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر l'_{ij}، m'_{ij} و u'_{ij} به‌ترتیب براساس رابطه‌های (۹)، (۱۰) و (۱۱) به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$U = max_{1\le j\le n} t_{ij}^u \quad (۶)$$

$$L = min_{1\le j\le n} t_{ij}^l \quad (۷)$$

$$\Delta = U - L \quad (۸)$$

$$l'_{ij} = \frac{t_{ij}^l - L}{\Delta} \quad (۹)$$

$$m'_{ij} = \frac{t_{ij}^m - L}{\Delta} \quad (۱۰)$$

$$u'_{ij} = \frac{t_{ij}^u - L}{\Delta} \quad (۱۱)$$

مرحله ۲) محاسبه مقدار نرمال پایین براساس رابطه (۱۲) و مقدار نرمال بالا براساس رابطه (۱۳)

$$l''_{ij} = \frac{m'_{ij}}{1 + m'_{ij} - l'_{ij}} \quad (۱۲)$$

$$u''_{ij} = \frac{u'_{ij}}{1 + u'_{ij} - m'_{ij}} \quad (۱۳)$$

مرحله ۳) محاسبه مقدار قطعی نرمال شده کل براساس رابطه (۱۴)

$$x_{ij}^{crisp} = \frac{l_{ij}^{"} - (l_{ij}^{"} \times l_{ij}^{"}) + (u_{ij}^{"} \times u_{ij}^{"})}{1 - l_{ij}^{"} + u_{ij}^{"}} \quad (۱۴)$$

۳-۲-۲. تعیین وزن معیارها به روش DANP۱

روش فرآیند شبکه تحلیلی (ANP) توسط دکتر ساعتی در سال ۱۹۹۹ مطرح شد [۴۲] و هدف آن حل مسائل وابستگی متقابل بین معیارها بود. اساس هر دو روش AHP و ANP بر پایه مقایسات زوجی می‌باشد؛ اما این دو روش تفاوت‌های عمده با هم دارند. تفاوت عمده این دو روش در ساختار تعریف مدل و ارتباطات معیارها می‌باشد که در روش AHP، این ارتباط به‌صورت مستقل است اما در روش ANP، هم می‌تواند مستقل و هم وابسته باشد.

طبق اصل همبستگی در روش AHP تمام عوامل سطح پایین‌تر باید صرفاً به عوامل سطح بالاتر وابستگی داشته باشند اما در مسائل دنیای واقعی ممکن است بین عوامل یک سطح و بین عوامل یک بالاتر با سطح پایین‌تر نیز واستگی وجود داشته باشد [۳۸]. این موضوع در روش ANP پوشش داده شده است. روش AHP، دارای ساختار غیرخطی است که می‌تواند تأثیر معیارها بر هم را شامل شود. باتوجه به اینکه در روش ANP به‌تنهایی، تأثیر هر خوشه بر دیگری را به‌طور یکسان درنظر می‌گیرد، از روش DEMATEL برای تعیین تأثیر معیارها بر هم استفاده می‌کنیم. از روش DEMATEL برای تعیین تأثیر متقابل معیارها و از روش ANP برای یافتن مهترین معیارهای تأثیر گذار استفاده می‌شود [۴۳].

در روش‌های ANP، گام اولیه مقایسه معیارها در کل سیستم برای تشکیل یک سوپرماتریس اولیه با مقایسه‌های زوجی است. از روش دیمتل برای تعیین تأثیر این معیارها برهم برای نرمال‌سازی سوپرماتریس اولیه در ANP به هدف شبیه‌سازی با دنیای واقعی استفاده می‌کنیم. اصطلاحاً به ANP بهبودیافته DANP گفته می‌شود [۴۱]. مراحل روش DANP به‌صورت زیر می‌باشد:

مرحله ۱) تشکیل سوپرماتریس اولیه (T_c): سوپر ماتریس اولیه از ماتریس کل فازی‌زدایی شده به روش CFCS حاصل از روش F-DEMATEL ساخته می‌شود.

مرحله ۲) تشکیل سوپرماتریس نرمال (T_c^{α})

مرحله ۳) تشکیل سوپرماتریس ناموزون (W)

مرحله ۴) تشکیل سوپرماتریس وزن‌دار (W^{α})

مرحله ۵) به توان رساندن ماتریس وزن‌دار تا همگرایی به اعداد ثابت به ازای هر معیار

۳-۲-۳. تعیین وزن معیارها به روش DANP۲

تفاوت این روش با روش F-DANP1 در طریقه فازی‌زدایی می‌باشد. همان‌طور که توضیح داده شده در روش F-DANP1 از ماتریس ارتباطات کل فازی‌زدایی شده با روش CFCS برای انجام مراحل ANP استفاده می‌شود، اما در روش F-DANP2، ماتریس ارتباطات کل به‌صورت فازی وارد روش ANP می‌شود. دلیل استفاده از این روش، تحلیل تأثیر روش فازی‌زدایی بر نتایج مسأله مورد مطالعه می‌باشد. در روش DANP۲ تمام مراحل بالا به‌صورت فازی بر روی ماتریس ارتباطات کل انجام می‌شود و سوپر ماتریس وزن‌دار فازی حاصل می‌شود. سوپر ماتریس وزن‌دار فازی تا رسیدن به وزن‌های ثابت برای هر معیار، به توان می‌رسد. درنهایت وزن‌های فازی حاصل شده مطابق رابطه (۱۵) با استفاده روش میانگین موزون، به‌صورت رابطه (۱۶) فازی‌زدایی می‌شود. $\widetilde{W}^{\alpha}$ نشان‌دهنده وزن‌های فازی به‌دست آمده و W^{α} نشان دهنده مقادیر وزن‌های فازی‌زدایی شده است .

$$\widetilde{W}^{\alpha} = (W^{\alpha l}, W^{\alpha m}, W^{\alpha u}) \quad (۱۵)$$

$$W^{\alpha} = \frac{W^{\alpha l} + (4 \times W^{\alpha m}) + W^{\alpha u}}{6} \quad (۱۶)$$

۳-۳. تعیین امتیاز تأمین‌کنندگان

پس از به‌دست آوردن وزن معیارها، امتیاز تأمین‌کنندگان براساس نمره هر تأمین‌کننده نسبت به هر معیار مشخص می‌شود. در این تحقیق برای تعیین امتیاز تأمین‌کنندگان از روش ترکیبی تابع زیان تاگوچی فازی و تاپسیس فازی استفاده شده است. نتیجه هریک از این روش‌ها، اعداد فازی مثلثی هستند که وارد مدل برنامه‌ریزی می‌شوند.

۳-۳-۱. تابع زیان تاگوچی فازی

تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه تلاش می‌کند تا معیارهای متضاد در تصمیم‌گیری را شناسایی کند و آن‌ها را در یک تصمیم کلی به‌صورتی ترکیب کند تا تعادل را فراهم شود [۴۴]. دکتر گنیچی تاگوچی[1] [۴۵] مجموعه‌ای از روش‌ها را برای اعمال آمار برای افزایش کیفیت فرآیند و محصول پس از جنگ جهانی دوم ایجاد کرده است که شامل آزمایش‌های متعامد، طراحی پارامتر و تلرانس و توابع زیان است [۴۴]. تا زمان مطالعات اخیر، فلسفه تاگوچی به‌عنوان یک رویکرد مؤثر صرفاً برای مهندسی کیفیت و طراحی آزمایش پذیرفته شده است. یکی از ایده‌های اصلی فلسفه تاگوچی این است که باید محصولات و فرآیند ها به‌ترتیبی طرح‌ریزی شوند که نسبت به منابع خارجی تغییرپذیر، پایدار باشند. همچنین در این روش عملکرد، بهتر از تطبیق مشخصات است. درواقع تاگوچی روشی پایدار برای دست‌یابی به محصولات و خدمات با کیفیت برمبنای اصول آماری غیر حساس به نویز طراحی کرده است. در دهه‌های گذشته، توابع زیان تاگوچی به‌عنوان یک رویکرد تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه استفاده شده است [۵]. توابع زیان تاگوچی عمدتاً به دو گروه توابع یک‌طرفه و دوطرفه تقسیم می‌شوند [۴۶]. توابع زیان تاگوچی یک‌طرفه نیز به زیرگروه به‌عنوان حد یک‌طرفه کمینه و حد یک‌طرفه بیشینه طبقه‌بندی می‌شوند. در توابع دوطرفه، تغییر از مقدار هدف در هر دو جهت مجاز است. در توابع یک‌طرفه، انحراف از مقدار هدف در یک جهت مجاز است. سه تابع اصلی تاگوچی را می‌توان به‌صورت زیر طبقه‌بندی کرد [۵].

- مقدار اسمی بهترین است:

این حالت در مواردی به‌کار می رود که مشخصه کیفی، مقدار هدف مشخصی داشته باشد. در این حالت تغییرات می‌تواند از دو طرف مقدار

1. Genichi Taguchi

هدف انجام گیرد. مقدار تابع زیان تاگوچی در این حالت به‌صورت رابطه (۱۷) می‌باشد.

$$L(y) = k(y-m)^2 \quad (۱۷)$$

$L(y)$ نشان‌دهنده مقدارتابع زیان تاگوچی، به‌علت انحراف از مقدار هدف مشخصه کیفی مورد نظر می‌باشد. y نشان‌دهنده مقدار مشخصه کیفی است و m مقدار هدف آن می‌باشد. k ثابت تاگوچی است و زمانی‌که وارد معادله تابع زیان تاگوچی می‌شود، مقدار زیان در مقدار هدف برابر صفر و در حدود مشخص شده برابر ۱۰۰ می‌باشد. [۴۴]

- مقدار کوچکتر بهتر است:

در این حالت مقدار مشخصه غیرمنفی و مقدار هدف برابر صفر می‌باشد. این تابع را تابع حد یک‌طرفه بیشینه می‌نامند و براساس رابطه (۱۸) محاسبه می‌شود.

$$L(y) = k(y)^2 \quad (۱۸)$$

همچنین k به‌صورت رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود.

$$k = 100/(USL)^2 \quad (۱۹)$$

- مقدار بزرگتر بهتر است:

در این حالت، مشخصه غیرمنفی با مقدار هدف بی‌نهایت می‌باشد. این تابع را تابع حد یک‌طرفه کمینه می‌نامند و براساس رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود. k برای این حالت از طریق رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود.

$$L(y) = k/y^2 \quad (۲۰)$$

$$k = 100 \times (LSL)^2 \quad (۲۱)$$

در روش فازی تابع زیان تاگوچی، امتیاز تأمین‌کنندگان را در سه حالت بدترین شرایط، شرایط نرمال و بهترین شرایط توسط کارشناسان داده می‌شود. باتوجه به مزیت یا ریسک بودن معیار، تابع زیان تاگوچی در شرایط مختلف محاسبه می‌شود و سه ماتریس تابع زیان تاگوچی حاصل می‌شود. باتوجه به اینکه تابع زیان بار منفی دارد و هرچه مقدار این زیان کمتر باشد برای ما مطلوب‌تر است، ماتریس‌ها را معکوس می‌کنیم. ماتریس‌های معکوس شده توابع زیان تاگوچی به‌عنوان ورودی وارد روش تاپسیس فازی می‌شوند.

۳-۳-۲. تاپسیس فازی

این تکنیک اولین‌بار توسط هوانگ و همکاران[1] [۴۷] معرفی شد و به‌عنوان یکی از بهترین تکنیک‌های MCDM شناخته می‌شود [۴۸]. الگوریتم تاپسیس یک تکنیک تصمیم‌گیری چند شاخصه جبرانی بسیار قوی برای الویت‌بندی گزینه‌ها از طریق نزدیک بودن به جواب ایده‌آل می‌باشد که به نوع تکنیک امتیازدهی، حساسیت بسیار کمی داشته و پاسخ‌های حاصل از آن تغییر زیادی نمی‌کند. همچنین این روش دارای سرعت مناسبی برای رسیدن به گزینه ایده‌آل می‌باشد و وزن‌های به‌دست آمده در مراحل قبل را پذیرا می‌باشد [۴۹] مفهوم اصلی این روش انتخاب بهترین گزینه از بین چندین گزینه است. هدف آن این است که باید کوتاه‌ترین فاصله را تا راه‌حل ایده‌آل مثبت (PIS[2]) و دورترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل منفی (NIS[3]) داشته باشد. تا نه‌تنها تا حد امکان سود داشته باشد، بلکه تا حد امکان از ریسک نیز جلوگیری کند [۵۰،۵۱]. تاپسیس برای کمک به تصمیم‌گیرندگان استفاده می‌شود تا راه‌حل پارتو نهایی را از مجموعه‌ای از راه‌حل‌های پارتو که از بهینه‌سازی مدل چندهدفه فازی توسعه یافته به‌دست آمده است، انتخاب کنند [۵۲،۵۳]. امتیاز نهایی تأمین‌کنندگان به روش تاپسیس به‌صورت زیر به دست می‌آید: [۵۴،۵۵]

مرحله ۱) ماتریس تصمیم نرمال شده را محاسبه کنید.

ماتریس‌های معکوس شده در روش تاگوچی را با استفاده از رابطه (۲۲) نرمال می‌کنیم:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{\tilde{f}_{ij}}{\sqrt{\sum_i \tilde{f}_{ij}^{\,2}}} \quad (۲۲)$$

مرحله ۲) ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی را محاسبه کنید.

با ضرب وزن‌های به‌دست آمده در مرحله قبل برای معیارها در ماتریس‌های تصمیم نرمال شده مطابق رابطه (۲۳)، ماتریس تصمیم نرمال شده وزنی به‌دست می‌آید.

$$\tilde{v}_{ij} = w_j \tilde{r}_{ij} \quad (۲۳)$$

مرحله ۳) بهترین و بدترین گزینه (PIS[4] و NIS[5]) را تعیین کنید.

باتوجه به اینکه ماتریس اولیه تصمیم ماتریس معکوس شده تابع زیان تاگوچی می‌باشد، مقادیر ماتریس بار مثبت دارند. برای هر سه شرایط بدترین، بهترین و شرایط نرمال ایده‌آل مثبت هر معیار برابر با حداکثر مقدار معیار در ماتریس‌ها و ایده‌آل منفی هر معیار برابر حداقل مقدار معیار در ماتریس‌ها است. رابطه (۲۴) و (۲۵) به‌ترتیب گزینه PIS و NIS را نشان می‌دهند.

$$\tilde{A}^+ = \{\tilde{v}_1^+, \dots, \tilde{v}_n^+\} = \left\{\max_i \tilde{v}_{ij} \mid j \epsilon J\right\} \quad (۲۴)$$

$$\tilde{A}^- = \{\tilde{v}_1^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} = \left\{\min_i \tilde{v}_{ij} \mid j \epsilon J\right\} \quad (۲۵)$$

مرحله ۴) فاصله بین هر گزینه و بهترین گزینه و همچنین فاصله بین هر گزینه و بدترین گزینه را محاسبه کنید. (فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی)

در این گام میزان فاصله هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل حساب می‌شود. میزان فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت به‌صورت رابطه (۲۶) محاسبه می‌شود:

$$\tilde{d}^+ = \sqrt{\sum_j \left(\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_j^+\right)^2} \quad (۲۶)$$

میزان فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی به‌صورت رابطه (۲۷) محاسبه می‌شود:

$$\tilde{d}^- = \sqrt{\sum_j \left(\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_j^-\right)^2} \quad (۲۷)$$

1. Hwang et al
2. Positive ideal solution
3. Negetive ideal Solution
4. Positive-ideal solution
5. Negative-ideal solution

مرحله ۵) تعیین نسبت نزدیکی به گزینه ایده‌آل برای هریک از گزینه‌ها نسبت نزدیکی به گزینه ایده‌آل که با نماد $\widetilde{CL}_i$ نمایش داده می‌شود و براساس رابطه (۲۸) محاسبه می‌شود.

$$\widetilde{CL}_i = \frac{\tilde{d}^-}{\tilde{d}^+ + \tilde{d}^-} \quad (۲۸)$$

۴. مطالعه موردی

به‌طور کلی مسأله ارزیابی تأمین‌کنندگان در قالب مطالعات موردی در تحقیقات متعددی مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند که دو نمونه از آن‌ها در صنعت فولاد و حوزه انتخاب تأمین‌کننده در لجستیک معکوس می‌باشد که به نوعی در جهت ارتقای پایداری سیستم انتخاب می‌باشد [۵۶,۵۷]. برای مطالعه موردی در این تحقیق از نظرات کارشناسان شرکت گسترش صنعت کم مصرف انرژی خاورمیانه (لامپ شمسه) بهره بردیم. موقعیت جغرافیایی این شرکت تولیدکننده، در کشور ایران و شهرستان خوانسار قرار دارد. مأموریت این شرکت تأمین ادوات و وسایل به‌روز روشنایی برای مصرف‌کننده‌ی خانگی است تا بتوانند مطابق استانداردهای روز دنیا بهره‌وری مصرف انرژی الکتریکی خود را ارتقا داده و حداکثر صرفه‌جویی در مصرف برق بدون کاهش سطح رفاه و برخورداری به‌عمل آورد. این شرکت به تولید محصولات روشنایی شامل انواع مختلف لامپ‌های CFL، LED و پنل‌های نوری می پردازد. تأمین‌کنندگان قطعات مورد نیاز تولید معمولاً خارجی و در کشور چین واقع هستند. در این مطالعه موردی به ارزیابی چهار تأمین‌کننده اصلی قطعات تولید لامپ و پنل‌های نوری پرداخته می‌شود.

۴-۱. محاسبه امتیاز تأمین‌کنندگان

همان‌طور که اشاره شد براساس فراوانی در مرور ادبیات مقالات پیشین و همچنین نظرات کارشناسان شرکت لامپ شمسه، ۱۳ معیار مؤثر اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مطابق جدول (۲) انتخاب شدند.

- قیمت محصولات (C1): عرضه محصولات با قیمت مناسب [۵۸].
- کیفیت محصولات (C2): عرضه محصولات با کیفیت مناسب [۵۸].
- مدت زمان تحویل (۳C): عرضه محصولات در مدت زمان تحویل کم [۵۸] (منظور از مدت زمان تحویل، فاصله بین شروع سفارش‌دهی و تحویل محصولات است [۵]).
- رضایت مشتری (C4): نشان‌دهنده اینکه مشتریان چقدر از محصولات، خدمات و قابلیت‌های یک کسب‌وکار راضی هستند [۵۹].
- پاسخ‌گویی (C5): پاسخ سریع به خواسته‌های مشتری و تغییرات بازار [۶۰].
- هزینه طراحی محصول (C6): طراحی محصول با هزینه بهینه.
- موقعیت مالی (C7): این معیار به جنبه‌های مالی مرتبط با تأمین‌کننده می پردازد [۵۸].
- درصد مرجوعی (C8): نسبت محصولات ورودی مرجوع شده توسط واحد کنترل کیفیت به کل محصولات ورودی [۶۱].
- حقوق و منافع کارکنان (C۹): نگرانی در مورد عوامل مرتبط و الزامات کارکنان برای دستیابی به اثربخشی پایدار در بلندمدت [۵۸].
- آموزش کارمندان (C10): آموزش کارمندان برای کسب مهارت مرتبط به شغلشان جهت بهبود عملکرد.
- طراحی سبز (C۱۱): طراحی محصول مطابق روش‌های سازگار با محیط‌زیست [۵۸].
- کنترل آلودگی (C۱۲): ایجاد آلودگی کم و کنترل شده در محیط و هوا.
- عوامل خطرناک بر محیط کار و جامعه (C13): عوامل کاری، فرآیندها و تعاملاتی که می‌توانند برای کارکنان خطرناک باشند.

کارشناسان شرکت براساس جدول (۱)، ماتریس تصمیم تشکیل دادند و براساس میانگین نظرات کارشناسان وزن معیارها از روش‌های F-DEMATEL، F-DANP1 و F-DANP2 محاسبه شد. جداول حل در پیوست آورده شده‌اند. ماتریس تصمیم فازی نشان‌دهنده میانگین وزن کارشناسان در حد پایین، حد متوسط و حد بالا به‌ترتیب در جدول (۶)، جدول (۷) و جدول (۸) آورده شده است. همچنین ۴ کارشناس براساس عملکرد هر تأمین‌کننده نسبت به هر معیار در بدترین شرایط، شرایط نرمال و بهترین شرایط بین ۰ تا ۱۰۰ به تأمین‌کنندگان امتیاز دادند. میانگین امتیاز کارشناسان محاسبه شده و به‌عنوان ورودی سه روش گفته شده، استفاده شده است. براساس این داده‌ها ماتریس کل فازی F-DEMATEL محاسبه شده و به‌صورت زیر حاصل می‌شود. جدول (۹)، ماتریس کل فازی نشان‌دهنده تأثیر معیارها بر هم در حد پایین، جدول (۱۰)، ماتریس کل فازی نشان‌دهنده تأثیر معیارها بر هم در حد متوسط و جدول (۱۱)، ماتریس کل فازی نشان‌دهنده تأثیر معیارها بر هم در حد بالا را نشان می‌دهد ماتریس کل فازی‌زدایی شده به روش CFCS به‌صورت جدول (۱۲) می‌باشد.

همان‌طور که گفته شد، جمع سطری به‌عنوان D و جمع ستونی به‌عنوان R شناخته می‌شود. جدول (۱۳)، نشان‌دهنده مقادیر D و R به‌ازای هر معیار و وزن نهایی معیارها به روش F-DEMATEL که متأثر از مقادیر D+R و D-R می‌باشد را نشان می‌دهد.

در روش F-DANP1، ماتریس فازی کل فازی‌زدایی شده به روش CFCS، به‌عنوان ورودی روش ANP استفاده می‌شود. سوپر ماتریس وزن‌دار به‌صورت جدول (۱۴) حاصل می‌شود. از به توان رساندن سوپر ماتریس وزن‌دار، وزن معیارها محاسبه می‌شود.

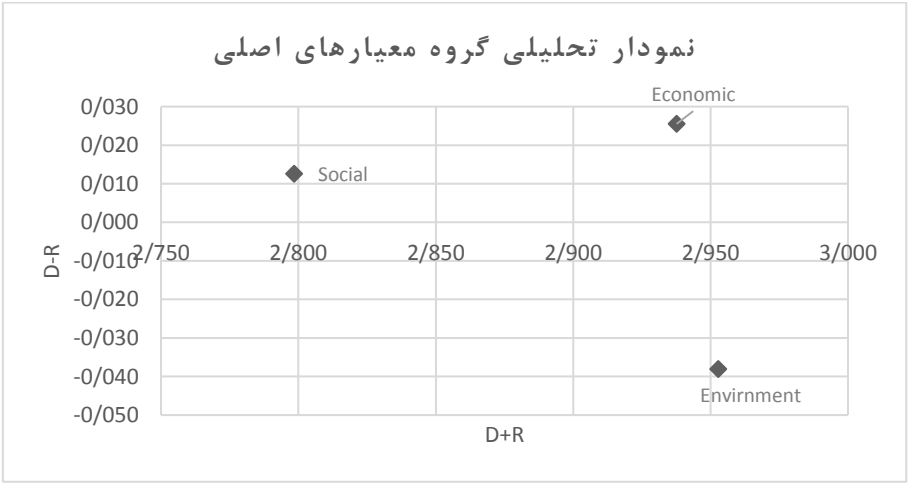
در روش F-DANP2 ماتریس فازی حاصل از روشش F-DEMATEL وارد روش ANP می‌شود و درنهایت سه عدد سوپرماتریس وزن‌دار حاصل می‌شود. در این روش فازی‌زدایی پس از به توان رساندن ماتریس‌ها تا همگرایی به اعداد مشخص و با روش میانگین موزون انجام می‌گیرد. وزن نهایی هر معیار به هر سه روش در جدول (۳) مشاهده می‌شود.

جدول (۲). مرور ادبیات در تعیین معیارهای پایدار

گروه		معیارها	منابع													
			[۶۲]	[۵۹]	[۶۳]	[۶۴]	[۶۵]	[۶۶]	[۶۷]	[۶۱]	[۶۸]	[۶۹]	[۷۰]	[۵۸]	[۷۱]	[۵]
اقتصادی	C1	قیمت محصولات	*	*	*	*		*		*	*	*	*	*	*	*
	C2	کیفیت محصولات		*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
	C3	مدت زمان تحویل		*						*				*	*	*
	C4	رضایت مشتری		*					*				*			
	C5	پاسخ‌گویی											*			*
	C6	هزینه طراحی محصول	*													
	C7	موقعیت مالی			*								*	*	*	
	C8	درصد مرجوعی								*						
اجتماعی	C9	منافع و حقوق کارکنان	*	*	*	*					*	*	*	*	*	
	C10	آموزش کارمندان									*		*			
زیست‌محیطی	C11	طراحی سبز		*				*	*	*			*	*	*	*
	C12	کنترل آلودگی	*		*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	
	C13	عوامل خطرناک بر محیط کار و جامعه	*													

جدول (۳). وزن معیارهای مؤثر بر حسب درصد و براساس چهار روش F-DEMATEL، F-DANP1 و F-DANP2

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
$W_i^{FDEMTEL}$	۷/۸	۷/۷	۷/۲	۷/۷	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۵	۷/۴	۷/۵	۷/۹	۷/۸	۷/۷
W_i^{FDANP1}	۴/۳	۴/۳	۳/۹	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۴/۳	۴/۲	۱۵/۹	۱۶/۱	۱۱/۳	۱۱/۶	۱۱/۵
W_i^{FDANP2}	۴/۴	۴/۴	۳/۸	۴/۴	۴/۲	۴/۲	۴/۴	۴/۲	۱۵/۴	۱۵/۶	۱۱/۴	۱۱/۹	۱۱/۸



شکل (۱). نمودار تحلیل گروه معیارهای اصلی براساس روش F-DANP1

شکل (۱) تحلیلی براساس شاخص های D+R و D-R در روش F-DANP1 برای گروه معیارهای اصلی است. این نمودار نشان‌دهنده اهمیت بیشتر معیارهای زیست‌محیطی و اقتصای نسبت به معیارهای اجتماعی برای انتخاب تأمین‌کنندگان است. همچنین این نمودار نشان‌دهنده این است که معیارهای اقتصادی و اجتماعی معیارهایی تأثیرگذار و معیارهای زیست‌محیطی با وجود اهمیت بالا که از شاخص

D+R استنباط می‌شود، معیارهایی تأثیرپذیر در انتخاب تأمین‌کنندگان این شرکت هستند. برای محاسبه تابع زیان تاگوچی ابتدا باید دسته‌بندی معیار درخصوص مزیت یا ریسک بودن آن مشخص شود. جدول (۴) نشان‌دهنده مزیت و ریسک بودن و همچنین دامنه تغییرات و حدود بالا و پایین معیارهاست. براساس این اطلاعات ضریب ثابت زیان محاسبه می‌شود.

کارشناسان نسبت به عملکرد تأمین‌کنندگان در بدترین شرایط، شرایط نرمال و بهترین شرایط امتیاز می‌دهند. جدول نشان‌دهنده میانگین نظرات کارشناسان می‌باشد. w، n و b به‌ترتیب نشان‌هنده بدترین شرایط، شرایط نرمال و بهترین شرایط می‌باشد. براساس داده‌های جدول (۱۶)، تابع زیان تاگوچی مطابق جدول (۱۵) محاسبه می‌شود.

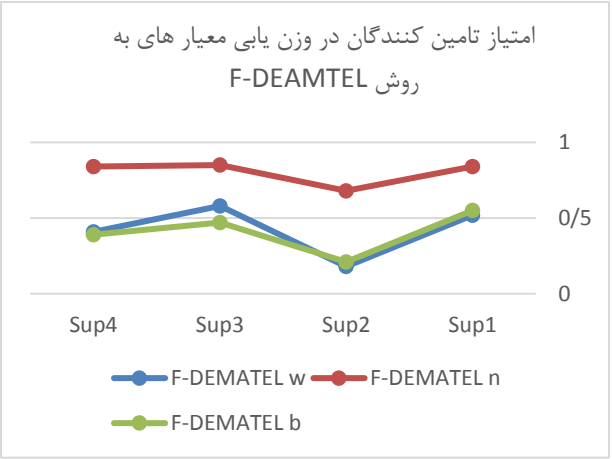
با توجه به اینکه مقدار محاسبه شده از جنس زیان می‌باشد، داده‌ها به‌صورت معکوس شده مطابق جدول (۱۷) وارد روش تاپسیس فازی می‌شوند. مراحل تاپسیس فازی روی هریک از ماتریس‌های فازی تابع زیان تاگوچی اعمال می‌شود. درنهایت سه وزن برای هر تأمین‌کننده به‌صورت جدول (۵) به‌دست می‌آید.

جدول (۴). معیارهای مزیت و ریسک و دامنه تغییرات و ضریب ثابت زیان برای هرمعیار

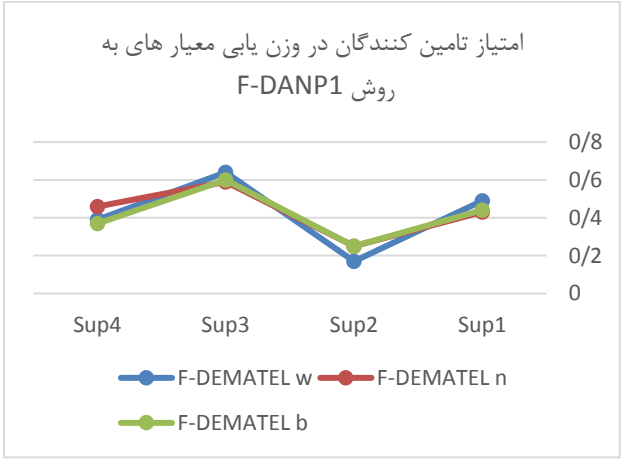
معیارها	دسته‌بندی	مقدار مطلوب (٪۱۰۰)	دامنه تغییرات	حد پایین (برای مزایا) حد بالا (برای ریسک‌ها)	ضریب ثابت زیان
C۱	ریسک	۰	۱۰۰-۰	۰	۱۰۰۰۰
C۲	مزایا	۱۰۰	۱۰۰-۶۵	۷۵	۵۶/۲۵
C۳	ریسک	۰	۱۰۰-۰	۰	۱۰۰۰۰
C۴	مزایا	۱۰۰	۱۰۰-۷۵	۷۰	۴۹
C۵	مزایا	۱۰۰	۱۰۰-۷۰	۷۰	۴۹
C۶	ریسک	۰	۱۰۰-۰	۰	۱۰۰۰۰
C۷	مزایا	۱۰۰	۱۰۰-۶۰	۶۵	۴۲/۲۵
C۸	ریسک	۰	۱۰۰-۰	۰	۱۰۰۰۰
C۹	مزایا	۱۰۰	۱۰۰-۷۵	۷۵	۵۶/۲۵
C۱۰	مزایا	۱۰۰	۱۰۰-۷۵	۷۵	۵۶/۲۵
C۱۱	مزایا	۱۰۰	۱۰۰-۸۰	۸۰	۶۴
C۱۲	مزایا	۱۰۰	۱۰۰-۸۰	۸۰	۶۴
C۱۳	ریسک	۰	۱۰۰-۰	۰	۱۰۰۰۰

جدول (۵). امتیاز نهایی تأمین‌کنندگان

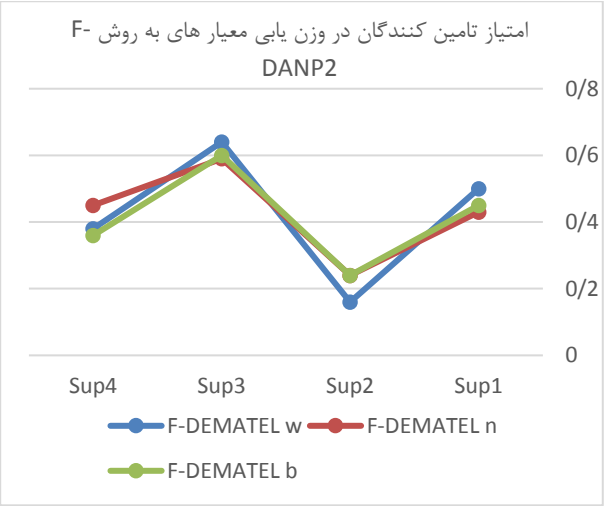
روش	F-DEMATEL			F-DANP1			F-DANP2		
شرایط		w	n	b	w	n	b	w	n	b
تأمین‌کنندگان	Sup۱	۰/۵۲	۰/۸۴	۰/۵۵	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۵۰	۰/۴۳	۰/۴۵
	Sup۲	۰/۱۸	۰/۶۸	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۲۴
	Sup۳	۰/۵۸	۰/۸۵	۰/۴۷	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۶۰	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۶۰
	Sup۴	۰/۴۱	۰/۸۴	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۴۵	۰/۳۶



شکل (۲). امتیاز تأمین‌کنندگان در وزن‌یابی معیارهای به روش F-DEAMTEL



شکل (۳). امتیاز تأمین‌کنندگان در وزن‌یابی معیارهای به روش F-DANP1



شکل (۴). امتیاز تأمین‌کنندگان در وزن‌یابی معیارهای به روش F-DANP2

۵. نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

امتیازهای فازی به‌دست آمده برای هر تأمین‌کننده نشان‌دهنده امتیاز آن تأمین‌کننده در شرایط مختلف است. برای مثال این نتایج نشان می‌دهد که در وزن‌یابی معیارها به روش F-DEMATEL اگرچه تأمین‌کنندگان ۱ و ۴ در شرایط نرمال عملکرد یکسان و نسبتاً مطلوبی دارند اما در شرایط بحرانی تأمین‌کننده ۱ عملکرد بهتری نسبت به تأمین‌کننده چهارم نشان می‌دهد. همچنین این نمودار نشان‌دهنده این است که عملکرد تأمین‌کننده ۲ در شرایط بحرانی نسبت به سایر تأمین‌کنندگان ضعیف‌تر می‌باشد. همچنین در شرایط مساعد عملکرد خوبی به نسبت شرایط از خود نشان نمی‌دهد. همچنین شکل (۲) نشان می‌دهد امتیاز تأمین‌کنندگان در شرایط زمانی‌که از روش وزن‌یابی معیارها به روش F-DEMATEL استفاده کردیم، با هم تفاوت چشم‌گیری دارند و در شرایط نرمال امتیاز بالاتری نسبت به بهترین و بدترین شرایط کسب کرده‌اند. مطابق شکل (۳) و شکل (۴) امتیاز تأمین‌کنندگان در شرایط مختلف تفاوت چندانی ندارند و می‌توان گفت شرایط بر روی وزن تأمین‌کنندگان تأثیر چندانی نخواهد داشت. در هر سه روش تأمین‌کننده سوم بیشترین امتیاز و تأمین‌کننده دوم کمترین امتیاز را کسب کرده است. همچنین با توجه به نزدیکی امتیازها در دو روش وزن‌یابی F-DANP1 و F-DANP2 مشاهده می‌کنیم روش فازی‌زدایی تأثیر بسیار کمی بر جواب‌های مسأله دارد اگرچه بین این دو روش فازی‌زدایی روش CFCS، نسبت به شرایط مختلف تغییر کمتری از خود نشان می‌دهد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت روش F-DANP جواب‌های با ثبات‌تری به نسبت روش F-DEMATEL ارائه می‌دهد و با اطمینان بیشتری می‌توان از نتایج حاصل از این روش در مسائلی مانند تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان استفاده نمود. برای مطالعات آتی می‌توان از نتایج حاصل در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه استفاده کرد. داده‌های فازی حاصل شده می‌توانند به روش‌های مختلف نظیر روش میانگین موزون فازی‌زدایی بشوند و همچنین می‌توان از این داده‌ها به‌صورت فازی در مدل‌های برنامه‌ریزی به‌کار برد. همچنین می‌توان روش F-DANP را با سایر روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه مبتنی‌بر مقایسات زوجی مقایسه کرد.

مراجع

[1] Goker, N., M. Dursun, and Y.E. Albayrak.(2020) Agile supplier evaluation using a fuzzy decision making procedure based on fuzzy measure and fuzzy integral. in Advances in Intelligent Systems and Computing..

[2] Dursun, M., O.J.W.T.o.I.S. Ogunclu. (2021). Applications, Agile supplier evaluation using hierarchical TOPSIS method. 18: p. 12-19.

[3] Barbosa-Póvoa, A.P., C. da Silva, and A. Carvalho.(2018). Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective. European Journal of Operational Research 268(2): p. 399-431.

[4] Harland, C. M. J. B. E. D. o. O. M. U. B. (1996). Supply chain management, purchasing and supply management, logistics, vertical integration, materials management and supply chain dynamics .

[5] Gören, H. G. J. J. o. C. P. (2018). A decision framework for sustainable supplier selection and order allocation with lost sales. 183, 1156-1169.

[6] Bhutta, K. S., & Huq, F. J. S. C. M. a. i. j. (2002). Supplier selection problem: a comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches.

[7] Amiri, M. and F.J.J.o.O.R.I.I.A.-L.A.U. Hadinejad. (2017). Evaluation and prioritization of suppliers adopting a combined approach of entropy, analytic hierarchy process, and revised Promethee (Case study: Youtab Company .14(4): p. 1-20.

[8] Aissaoui, N., et al.(2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review, 34(12): p. 3516-3540.

[9] Jia, R., et al. (2020) Sustainable supplier selection and order allocation: Distributionally robust goal programming model and tractable approximation. 140: p. 106267.

[10] Kahraman, C., U. Cebeci, and Z.J.L.i.m. Ulukan. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP.

[11] Cheng, C.-H. and Y.J.E.j.o.o.r. Lin. (2002). Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. 142(1): p. 174-186.

[12] Hugos, M.H. (2018). Essentials of supply chain management: John Wiley & Sons.

[13] Chopra, S. and P.J.P.M. Meindl. (2001). Supply chain management: strategy, planning, and operation .

[14] Hemmati, M., S.H.R.J.J.o.A.I. Pasandideh, and H. Computing, A bi-objective supplier location, supplier selection and order allocation problem with green constraints: scenario-based approach. 2021. 12(8): p. 8205-8228.

[15] Fahimnia, B., J. Sarkis ,and H.J.I.J.o.P.E. Davarzani. (2015) Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. 162: p. 101-114.

[16] Zhang, L.-J., et al. (2020). Green supplier evaluation and selections: a state-of-the-art literature review of models, methods, and applications.

[17] Bastas, A. and K.J.J.o.c.p. Liyanage, Sustainable supply chain quality management: A systematic review. 2018.

181: p. 726-744.

[18] Seuring, S. and M.J.J.o.c.p. Müller.(2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. 16(15): p. 1699-1710.

[19] Molamohamadi, Z., et al.(2013). Supplier selection in a sustainable supply chain. 1(3).

[20] Morelli, J.J.J.o.e.s. (2011). Environmental sustainability: A definition for environmental professionals. .1(1): p. 2.

[21] Labianca, C., S. De Gisi, and M. Notarnicola. (2022). Chapter 11 - Multi-criteria decision-making, in Assessing Progress Towards Sustainability, C. Teodosiu, S. Fiore, and A. Hospido, Editors., Elsevier. p. 219-243.

[22] Langemeyer, J., et al. (2016). Bridging the gap between ecosystem service assessments and land-use planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). Environmental Science & Policy. 62: p. 45-56.

[23] Uzun, B., et al. (2021). Chapter 2 - Theoretical aspects of multi-criteria decision-making (MCDM) methods, in Applications of Multi-Criteria Decision-Making Theories in Healthcare and Biomedical Engineering, I. Ozsahin, D.U. Ozsahin, and B. Uzun, Editors., Academic Press. p. 3-40.

[24] Hermansyah, M.J.J. (2021). Implementation of Decision Support Systems In Cement Supplier Evaluation Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP). 8(1): p. 28-39.

[25] Liu, A., et al. (2020). A supplier evaluation model based on customer demand in blockchain tracing anti-counterfeiting platform project management. 5(3): p. 172-194.

[26] Liou, J.J., et al. (2019) Data-driven hybrid multiple attribute decision-making model for green supplier evaluation and performance improvement. 241: p. 118321.

[27] Wang, C.-N., C.-Y. Yang, and H.-C.J.M. Cheng,.(2019).Fuzzy multi-criteria decision-making model for supplier evaluation and selection in a wind power plant project. 7(5): p. 417.

[28] Guo, Z., et al. (2017). Green supplier evaluation and selection in apparel manufacturing using a fuzzy multi-criteria decision-making approach. 9(4): p. 650.

[۲۹] خوئی، محمد امین، جمیلی، امین (۱۴۰۰)، مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد سنندج، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در زنجیره‌تأمین با استفاده از روش ترکیبی Vikor–FuzzyQFD در شرکت‌های داروسازی (مطالعه موردی: شرکت داروسازی برکت)، ۱۸۸-۲۰۷.

[۳۰] معزز، هاشم، فتحی، محمد رضا و رمضانی کرمانی، داوود (۱۴۰۰). ارزیابی تأمین‌کنندگان تاب‌آور با استفاده از سیستم نسبی فازی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست،۲۱۲-۲۰۱.

[۳۱] سپهری مهر، پرویز و نظری، فریبا (۱۳۹۹). شناسایی و وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در اداره تدارکات پتروشیمی بندر امام براساس رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره، ۶۶-۵۱.

[۳۲] همایون فر، مهدی، گودرزوند چگینی، مهرداد و دانشور، امیر (۱۳۹۷). الویت‌بندی تأمین‌کنندگان زنجیره‌تأمین سبز با استفاده از رویکرد ترکیبی MCDM فازی، ۶۱-۴۱.

[۳۳] عزیزی، حسین و جاهد، رسول (۱۳۹۸). مدل‌های تصمیم برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در حضور داده‌های اصلی و ترتیبی، محدودیت‌های وزنی و عوامل غیرقابل کنترل: یک رویکرد مبتنی‌بر DEA با مرز دوگانه. دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، ۲۳-۱.

[۳۴] فلاح لاجیمی، حمیدرضا وجعفری، زهرا (۱۳۹۸). ارزیابی تأمین‌کنندگان در شرایط عدم اطمینان با ترکیب روش‌های دمپستر شافر و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. پژوهشنامه ی مدیریت اجرایی علمی-پژوهشی، ۱۵۰-۱۱۵.

[35] Dalalah, D., M. Hayajneh, and F.J.E.s.w.a. Batieha. (2011). A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. 38(7): p. 8384-8391.

[36] Lin, C.-J. and W.-W.J.E.S.w.A. Wu. (2008). A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. 34(1): p. 205-213.

[37] Kaya, R., & Yet, B. J. E. S. w. A. (2019). Building Bayesian networks based on DEMATEL for multiple criteria decision problems: A supplier selection case study. 134, 234-248.

[۳۸] منظور، داوود، رجبی، سجاد، عندلیب، محمد وکدخدامرادی, وحید (۱۳۹۷). به‌کارگیری روش DANP در سنجش تعاملات بین بخشی و نظام اولویت‌های اقتصاد ایران. نشریه علمی (فصلنامه) پژوهش‌های اقتصاد صنعتی، ۴۲-۱۹.

[39] Chang, B., C.-W. Chang, and C.-H.J.E.s.w.A. Wu. (2011). Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. 38(3): p. 1850-1858.

[40] Li, R.-J.J.C. and M.w. Applications. (1999). Fuzzy method in group decision making. 38(1): p. 91-101.

[41] Hsu, C.-H., et al. (2012). The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR. 66: p. 95-111.

[42] Thomas, S.L.J.I. (1999). Kobe Japan, Fundamental of the Analytic Network Process.

[43] Zamani, A.A., et al., Alternative Water Resources Selection to Supply Drinking Water in Flood Disasters by Multicriteria Decision-Making Techniques (DANP and VIKOR). Journal of Environmental and Public Health, 2022. 2022: p. 5445786.

[44] Festervand, T.A., R.B. Kethley, and B.D.J.J.o.M.C.D.A. Waller. (2001) The marketing of industrial real estate: application of Taguchi loss functions. 10(4): p. 219-228.

[45] Taguchi, G., Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes. 1986.

[46] Pi, W.-N. and C.J.T.I.J.o.A.M.T. Low. (2006). Supplier evaluation and selection via Taguchi loss functions and an AHP. 27(5-6): p. 625-630.

[47] Hwang, C.-L., et al. (1993). A new approach for multiple objective decision making.. 20(8): p. 889-899.

[48] Tirkolaee, E. B., Mardani, A., Dashtian, Z., Soltani, M., & Weber, G.-W. (2020). A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design. Journal of Cleaner Production, 250, 119517. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019 . 119517.

[۴۹] پریزادی، طاهر، اسدی، صالح، مولائی قلیچی، محمد و شیخی، حجت

(۱۳۹۱). بررسی و تحلیل قابلیت های مزایای نسبی توسعه منطقه‌ای در بنادر شمال ایران با استفاده از تلفیق تکنیک‌های TOPSIS و ELECTRE، برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۲۹-۱۵.

[50] Aouadni, S. and A. Rebai. A hybrid method for solving supplier selection and order allocation problem. in 3rd International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2016. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[51] Hwang, C.-L., Y.-J. Lai, and T.-Y. Liu. (1993). A new approach for multiple objective decision making. Computers & Operations Research,. 20(8): p. 889-899.

[52] Mohammed, A., et al. (2018) An integrated methodology for a sustainable two-stage supplier selection and order allocation problem. Journal of Cleaner Production. 192: p. 99-114.

[53] Ramesh, S., S. Kannan, and S.J.A.S.C. Baskar. (2012). Application of modified NSGA-II algorithm to multi-objective reactive power planning. 12)2 :(p. 741-753.

[54] Hemmati, M. and S.H.R. Pasandideh. (2021). A bi-objective supplier location, supplier selection and order allocation problem with green constraints: scenario-based approach. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing,. 12(8): p .8205-8228.

[55] Opricovic, S. and G.-H. Tzeng. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research. 156(2): p. 445-455.

[۵۶] اردوان، علی، عالم تبریز، اکبر، ربیعه، مسعود، زندیه، مصطفی (۱۳۹۷). انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار با رویکرد تئوری خاکستری: مورد مطالعه صنعت فولاد. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۱۳(۶)، ۱۷۷-۱۶۵.

[۵۷] عیدی، علیرضا، فلاح، جمشید (۱۳۹۷). استفاده از یک روش ترکیبی جدید مبتنی‌بر DEMATEL فازی و TOPSIS گروهی فازی برای انتخاب تأمین‌کنندگان در شبکه لجستیک معکوس. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۱۳(۶)، ۲۱۷-۲۳۱.

[58] Luthra, S., et al., An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains. (2017). Journal of Cleaner Production,. 140: p. 1686-1698.

[59] Nguyen, T.-L., et al. (2022). A Novel Integrating Data Envelopment Analysis and Spherical Fuzzy MCDM Approach for Sustainable Supplier Selection in Steel Industry. 10(11): p. 1897.

[60] Ebrahim, Z., N.A. Ahmad, and M.R. Muhamad. (2014). Understanding responsiveness in manufacturing operations. in International Symposium on Research in Innovation and Sustainability.

[61] Govindan, K., R. Khodaverdi, and A.J.J.o.C.p. Jafarian. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. 47: p. 345-354.

[62] Tirkolaee, E.B., et al. (2020). A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design. Journal of Cleaner Production,. 250: p. 119517.

[63] Guarnieri, P., F.J.R. Trojan. (2019). Conservation, and Recycling, Decision making on supplier selection based on social, ethical, and environmental criteria: A study in the textile industry. 141: p. 347-361.62.

[64] Alavi, B., et al. (2021). A dynamic decision support system for sustainable supplier selection in circular economy. 27: p. 905-920.

[65] Vahidi, F., S.A. Torabi, and M.J.J.o.C.P. Ramezankhani. (2018). Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. 174: p. 1351-1365.

[66] Memari, A. et al. (2019) Sustainable supplier selection: A multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. 50: p. 9-24.

[67] Govindan, K., et al. (2020). An integrated hybrid approach for circular supplier selection and closed loop supply chain network design under uncertainty.. 242: p. 118317.

[68] Salimian, S., S.M. Mousavi, and J.J.S. (2022) Antucheviciene, An Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Model Based on Extended VIKOR and MARCOS for Sustainable Supplier Selection in Organ Transplantation Networks for Healthcare Devices. 14(7): p. 3795.

[69] Demiralay, E., T.J.C.L. Paksoy, and S. Chain. (2022) Strategy Development for Supplier Selection Process with Smart and Sustainable Criteria in Fuzzy Environment: p. 100076.

[70] Tong, L.Z., J. Wang, and Z.J.J.o.C.P. Pu. (2022). Sustainable supplier selection for SMEs based on an extended PROMETHEE Ⅱ approach. 330: p. 129830.

[71] Kannan, D. (2018). Role of multiple stakeholders and the critical success factor theory for the sustainable supplier selection process. International Journal of Production Economics,. 195: p. 391-418.

پیوست. جداول مقاله

جدول (۶). ماتریس تصمیم فازی نشان‌دهنده تأثیر معیارها بر هم حد پایین a_{ij}^{l}

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
C۱	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۳۸
C۲	۰/۴۴	۰/۰۰	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹
C۳	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۳۱
C۴	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸
C۵	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹
C۶	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹
C۷	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹
C۸	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۰۰	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸
C۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱
C۱۰	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۰۰	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۸
C۱۱	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۶۹
C۱۲	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۰۰	۰/۶۹
C۱۳	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۶۹	۰/۳۸	۰/۰۰

جدول (۷). ماتریس تصمیم فازی نشان‌دهنده تأثیر معیارها بر هم حد متوسط a_{ij}^{m}

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
C۱	۰/۰۰	۰/۹۴	۰/۵۶	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۵۶	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۶۳
C۲	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۵۶	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۹۴	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۴
C۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۵۶
C۴	۰/۹۴	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳
C۵	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴
C۶	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۹۴	۰/۰۰	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴
C۷	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴
C۸	۰/۹۴	۰/۶۹	۰/۵۶	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳
C۹	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۵۶
C۱۰	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳
C۱۱	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۵۶	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۶۳
C۱۲	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۶۳
C۱۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۰۰

جدول (۸). ماتریس تصمیم فازی نشان‌دهنده تأثیر معیارها بر هم حد بالا a_{ij}^{u}

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
C۱	۰/۲۵	۱/۰۰	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۱	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۸
C۲	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰
C۳	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۱
C۴	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۲۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸
C۵	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۲۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
C۶	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۲۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
C۷	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۲۵	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۱/۰۰
C۸	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸
C۹	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۲۵	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۸۱
C۱۰	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۸
C۱۱	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۲۵	۱/۰۰	۱/۰۰
C۱۲	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۲۵	۰/۸۸
C۱۳	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸	۱/۰۰	۰/۲۵

جدول (۹). ماتریس کل فازی نشان‌دهنده تأثیر معیارها بر هم حد پایین t_{ij}^{l}

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
C۱	۰/۰۴۲	۰/۰۹۷	۰/۰۵۸	۰/۰۷۷	۰/۰۶۹	۰/۰۹۵	۰/۰۶۷	۰/۰۹۵	۰/۰۶۶	۰/۰۶۸	۰/۰۹۷	۰/۱۰۰	۰/۰۷۶
C۲	۰/۰۷۴	۰/۰۳۹	۰/۰۵۷	۰/۰۷۴	۰/۰۶۸	۰/۰۷۳	۰/۰۹۴	۰/۰۷۲	۰/۰۶۴	۰/۰۹۰	۰/۰۷۱	۰/۰۷۳	۰/۰۹۷
C۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۲۶	۰/۰۶۸	۰/۰۶۱	۰/۰۶۳	۰/۰۸۹	۰/۰۵۶	۰/۰۵۴	۰/۰۵۹	۰/۰۵۹	۰/۰۶۶	۰/۰۶۱
C۴	۰/۰۹۴	۰/۰۷۵	۰/۰۶۱	۰/۰۳۸	۰/۰۹۲	۰/۰۹۴	۰/۰۷۰	۰/۰۷۳	۰/۰۶۴	۰/۰۶۶	۰/۰۷۱	۰/۰۷۳	۰/۰۷۳
C۵	۰/۰۷۷	۰/۱۰۲	۰/۰۶۷	۰/۰۸۳	۰/۰۴۳	۰/۱۰۰	۰/۱۰۲	۰/۰۷۴	۰/۰۷۱	۰/۰۹۷	۰/۱۰۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶
C۶	۰/۰۸۲	۰/۰۸۱	۰/۰۶۶	۰/۰۸۱	۰/۰۹۷	۰/۰۴۳	۰/۱۰۱	۰/۰۹۸	۰/۰۷۰	۰/۰۷۱	۰/۱۰۲	۰/۱۰۴	۰/۱۰۵
C۷	۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۰۹۰	۰/۰۷۵	۰/۰۷۷	۰/۰۹۷	۰/۰۴۴	۰/۰۷۲	۰/۰۹۴	۰/۰۶۹	۰/۱۰۰	۰/۱۰۲	۰/۱۰۳
C۸	۰/۰۹۰	۰/۰۷۱	۰/۰۵۲	۰/۰۶۹	۰/۰۶۳	۰/۰۶۴	۰/۰۶۵	۰/۰۳۲	۰/۰۵۵	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۸	۰/۰۶۷
C۹	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵	۰/۰۵۸	۰/۰۶۴	۰/۰۶۳	۰/۰۶۴	۰/۰۹۰	۰/۰۸۸	۰/۰۲۹	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲
C۱۰	۰/۰۶۹	۰/۰۹۴	۰/۰۶۰	۰/۰۶۸	۰/۰۹۱	۰/۰۶۲	۰/۰۶۹	۰/۰۷۱	۰/۰۶۳	۰/۰۳۴	۰/۰۶۹	۰/۰۹۶	۰/۰۷۲
C۱۱	۰/۰۹۹	۰/۰۹۸	۰/۰۵۹	۰/۰۹۹	۰/۰۷۰	۰/۰۶۷	۰/۰۷۳	۰/۰۷۲	۰/۰۹۲	۰/۰۶۹	۰/۰۴۲	۰/۱۰۰	۰/۱۰۱
C۱۲	۰/۰۹۴	۰/۰۶۹	۰/۰۶۰	۰/۰۹۳	۰/۰۶۶	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸	۰/۰۶۷	۰/۰۶۳	۰/۰۶۴	۰/۰۶۹	۰/۰۳۹	۰/۰۹۵
C۱۳	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۵۹	۰/۰۹۲	۰/۰۶۴	۰/۰۶۵	۰/۰۶۶	۰/۰۶۴	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۹۲	۰/۰۶۹	۰/۰۳۷

جدول (۱۰). ماتریس کل فازی نشان‌دهنده تأثیر معیارها بر هم حد متوسط t_{ij}^{m}

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
C۱	۰/۱۸۴	۰/۲۵۸	۰/۲۰۲	۰/۲۳۸	۰/۲۲۶	۰/۲۵۳	۰/۲۳۰	۰/۲۵۱	۰/۲۱۷	۰/۲۲۰	۰/۲۵۹	۰/۲۶۶	۰/۲۴۲
C۲	۰/۲۳۱	۰/۱۷۶	۰/۱۹۷	۰/۲۳۰	۰/۲۱۹	۰/۲۲۸	۰/۲۵۱	۰/۲۲۵	۰/۲۱۰	۰/۲۳۷	۰/۲۲۸	۰/۲۳۵	۰/۲۵۸
C۳	۰/۲۰۷	۰/۲۰۸	۰/۱۳۵	۰/۲۱۱	۰/۲۰۱	۰/۲۰۵	۰/۲۳۳	۰/۱۹۷	۰/۱۸۹	۰/۱۹۶	۰/۲۰۴	۰/۲۱۵	۰/۲۱۰
C۴	۰/۲۵۰	۰/۲۳۲	۰/۲۰۱	۰/۱۷۴	۰/۲۴۳	۰/۲۴۷	۰/۲۲۸	۰/۲۲۵	۰/۲۱۰	۰/۲۱۳	۰/۲۲۹	۰/۲۳۵	۰/۲۳۴
C۵	۰/۲۴۹	۰/۲۷۳	۰/۲۲۱	۰/۲۵۳	۰/۱۸۹	۰/۲۶۸	۰/۲۷۳	۰/۲۴۱	۰/۲۳۱	۰/۲۵۸	۰/۲۷۴	۰/۲۸۲	۰/۲۸۲
C۶	۰/۲۵۰	۰/۲۵۰	۰/۲۱۸	۰/۲۴۹	۰/۲۶۰	۰/۱۹۰	۰/۲۶۹	۰/۲۶۱	۰/۲۲۷	۰/۲۳۰	۰/۲۷۱	۰/۲۷۸	۰/۲۷۸
C۷	۰/۲۴۲	۰/۲۴۲	۰/۲۳۹	۰/۲۴۱	۰/۲۳۸	۰/۲۶۱	۰/۱۹۲	۰/۲۳۵	۰/۲۴۸	۰/۲۲۷	۰/۲۶۷	۰/۲۷۴	۰/۲۷۴
C۸	۰/۲۳۶	۰/۲۱۸	۰/۱۸۴	۰/۲۱۶	۰/۲۰۵	۰/۲۰۹	۰/۲۱۳	۰/۱۵۶	۰/۱۹۲	۰/۲۰۵	۰/۲۱۴	۰/۲۲۰	۰/۲۱۹
C۹	۰/۲۱۳	۰/۲۱۳	۰/۱۹۱	۰/۲۱۲	۰/۲۰۶	۰/۲۱۰	۰/۲۳۸	۰/۲۳۱	۰/۱۴۷	۰/۲۰۱	۰/۲۱۰	۰/۲۱۶	۰/۲۱۵
C۱۰	۰/۲۲۳	۰/۲۴۸	۰/۱۹۸	۰/۲۲۲	۰/۲۳۹	۰/۲۱۵	۰/۲۲۴	۰/۲۲۱	۰/۲۰۷	۰/۱۶۰	۰/۲۲۴	۰/۲۵۵	۰/۲۳۱
C۱۱	۰/۲۶۲	۰/۲۶۲	۰/۲۰۶	۰/۲۶۱	۰/۲۲۹	۰/۲۲۹	۰/۲۳۸	۰/۲۳۱	۰/۲۴۴	۰/۲۲۴	۰/۱۸۸	۰/۲۶۹	۰/۲۶۹
C۱۲	۰/۲۴۷	۰/۲۲۳	۰/۱۹۸	۰/۲۴۶	۰/۲۱۵	۰/۲۲۰	۰/۲۲۳	۰/۲۱۷	۰/۲۰۶	۰/۲۰۹	۰/۲۲۴	۰/۱۷۹	۰/۲۵۳
C۱۳	۰/۲۱۸	۰/۲۱۸	۰/۱۹۳	۰/۲۴۰	۰/۲۱۰	۰/۲۱۴	۰/۲۱۷	۰/۲۱۱	۰/۲۰۲	۰/۲۰۴	۰/۲۴۲	۰/۲۲۴	۰/۱۷۳

جدول (۱۱). ماتریس کل فازی نشان‌دهنده تأثیر معیارها بر هم حد بالا t_{ij}^{u}

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
C۱	۱/۷۵۸	۱/۸۱۸	۱/۷۱۲	۱/۷۹۱	۱/۷۹۰	۱/۸۰۰	۱/۸۱۲	۱/۷۹۱	۱/۷۵۴	۱/۷۷۲	۱/۸۱۹	۱/۸۴۶	۱/۸۲۸
C۲	۱/۷۸۲	۱/۷۳۰	۱/۶۸۶	۱/۷۶۴	۱/۷۶۳	۱/۷۶۳	۱/۷۹۹	۱/۷۵۴	۱/۷۲۸	۱/۷۵۵	۱/۷۸۳	۱/۸۰۹	۱/۸۱۰
C۳	۱/۷۱۸	۱/۷۱۸	۱/۵۸۰	۱/۷۰۱	۱/۷۰۰	۱/۷۰۱	۱/۷۳۵	۱/۶۸۷	۱/۶۶۱	۱/۶۸۳	۱/۷۱۴	۱/۷۴۴	۱/۷۳۲
C۴	۱/۸۰۱	۱/۷۹۱	۱/۷۰۰	۱/۷۲۳	۱/۷۸۲	۱/۷۸۳	۱/۷۹۹	۱/۷۶۴	۱/۷۳۸	۱/۷۵۵	۱/۷۹۳	۱/۸۱۹	۱/۸۱۱
C۵	۱/۸۶۴	۱/۸۷۴	۱/۷۷۰	۱/۸۴۶	۱/۷۹۴	۱/۸۵۵	۱/۸۸۲	۱/۸۳۶	۱/۸۰۸	۱/۸۳۶	۱/۸۷۵	۱/۹۰۳	۱/۸۹۴
C۶	۱/۸۴۶	۱/۸۴۶	۱/۷۵۲	۱/۸۲۸	۱/۸۳۶	۱/۷۷۶	۱/۸۶۳	۱/۸۲۷	۱/۷۹۰	۱/۸۰۸	۱/۸۵۷	۱/۸۸۴	۱/۸۷۶
C۷	۱/۸۴۵	۱/۸۴۴	۱/۷۶۰	۱/۸۲۷	۱/۸۲۵	۱/۸۳۵	۱/۸۰۱	۱/۸۱۶	۱/۷۹۹	۱/۸۰۷	۱/۸۵۵	۱/۸۸۲	۱/۸۷۴
C۸	۱/۷۴۶	۱/۷۳۶	۱/۶۴۳	۱/۷۱۹	۱/۷۱۸	۱/۷۱۸	۱/۷۴۳	۱/۶۵۸	۱/۶۷۹	۱/۷۰۱	۱/۷۳۷	۱/۷۶۳	۱/۷۵۵
C۹	۱/۷۴۴	۱/۷۴۴	۱/۶۵۶	۱/۷۲۷	۱/۷۲۶	۱/۷۲۷	۱/۷۶۱	۱/۷۲۷	۱/۶۴۱	۱/۷۰۹	۱/۷۴۰	۱/۷۶۶	۱/۷۵۸
C۱۰	۱/۷۸۱	۱/۷۹۱	۱/۶۹۱	۱/۷۶۴	۱/۷۷۲	۱/۷۵۸	۱/۷۸۹	۱/۷۵۴	۱/۷۲۸	۱/۶۹۴	۱/۷۸۲	۱/۸۱۸	۱/۸۰۱
C۱۱	۱/۸۳۶	۱/۸۳۶	۱/۷۲۸	۱/۸۱۸	۱/۸۰۷	۱/۸۰۳	۱/۸۳۴	۱/۷۹۸	۱/۷۸۱	۱/۷۸۹	۱/۷۷۶	۱/۸۶۴	۱/۸۵۵
C۱۲	۱/۸۰۰	۱/۷۹۰	۱/۶۹۹	۱/۷۸۲	۱/۷۷۱	۱/۷۷۲	۱/۷۹۷	۱/۷۶۳	۱/۷۳۶	۱/۷۵۳	۱/۷۹۱	۱/۷۶۶	۱/۸۱۹
C۱۳	۱/۷۷۲	۱/۷۷۲	۱/۶۸۲	۱/۷۶۴	۱/۷۵۴	۱/۷۵۴	۱/۷۸۰	۱/۷۴۵	۱/۷۱۹	۱/۷۳۶	۱/۷۸۳	۱/۷۹۹	۱/۷۴۰

جدول (۱۲). ماتریس کل فازی‌زدایی شده به روش CFCS

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
C۱	۰/۴۵۲	۰/۵۲۲	۰/۴۵۸	۰/۵۰۱	۰/۴۹۰	۰/۵۱۵	۰/۴۹۸	۰/۵۱۲	۰/۴۷۷	۰/۴۸۳	۰/۵۲۳	۰/۵۳۳	۰/۵۱۱
C۲	۰/۴۹۴	۰/۴۴۲	۰/۴۵۱	۰/۴۹۱	۰/۴۸۱	۰/۴۸۹	۰/۵۱۴	۰/۴۸۴	۰/۴۶۸	۰/۴۹۵	۰/۴۹۲	۰/۵۰۲	۰/۵۲۱
C۳	۰/۴۶۶	۰/۴۶۶	۰/۳۸۳	۰/۴۶۶	۰/۴۵۷	۰/۴۶۱	۰/۴۹۰	۰/۴۵۲	۰/۴۴۱	۰/۴۵۱	۰/۴۶۳	۰/۴۷۷	۰/۴۷۰
C۴	۰/۵۱۳	۰/۴۹۷	۰/۴۵۶	۰/۴۳۸	۰/۵۰۴	۰/۵۰۸	۰/۴۹۴	۰/۴۸۶	۰/۴۶۹	۰/۴۷۵	۰/۴۹۴	۰/۵۰۴	۰/۵۰۲
C۵	۰/۵۲۰	۰/۵۴۲	۰/۴۸۱	۰/۵۲۰	۰/۴۶۱	۰/۵۳۴	۰/۵۴۳	۰/۵۰۹	۰/۴۹۶	۰/۵۲۳	۰/۵۴۳	۰/۵۵۴	۰/۵۵۲
C۶	۰/۵۱۹	۰/۵۱۹	۰/۴۷۶	۰/۵۱۵	۰/۵۲۵	۰/۴۵۹	۰/۵۳۸	۰/۵۲۴	۰/۴۹۱	۰/۴۹۶	۰/۵۳۸	۰/۵۴۸	۰/۵۴۶
C۷	۰/۵۱۱	۰/۵۱۲	۰/۴۹۵	۰/۵۰۸	۰/۵۰۵	۰/۵۲۶	۰/۴۶۵	۰/۵۰۱	۰/۵۰۹	۰/۴۹۳	۰/۵۳۴	۰/۵۴۴	۰/۵۴۳
C۸	۰/۴۹۴	۰/۴۷۸	۰/۴۳۴	۰/۴۷۳	۰/۴۶۳	۰/۴۶۷	۰/۴۷۴	۰/۴۱۴	۰/۴۴۶	۰/۴۶۱	۰/۴۷۴	۰/۴۸۳	۰/۴۸۱
C۹	۰/۴۷۴	۰/۴۷۵	۰/۴۴۱	۰/۴۷۰	۰/۴۶۵	۰/۴۶۹	۰/۴۹۸	۰/۴۸۷	۰/۴۰۳	۰/۴۵۸	۰/۴۷۱	۰/۴۸۰	۰/۴۷۸
C۱۰	۰/۴۸۸	۰/۵۱۰	۰/۴۵۲	۰/۴۸۴	۰/۴۹۹	۰/۴۷۷	۰/۴۹۰	۰/۴۸۲	۰/۴۶۵	۰/۴۲۲	۰/۴۸۹	۰/۵۲۰	۰/۴۹۸
C۱۱	۰/۵۲۷	۰/۵۲۸	۰/۴۶۴	۰/۵۲۴	۰/۴۹۵	۰/۴۹۵	۰/۵۰۸	۰/۴۹۶	۰/۵۰۴	۰/۴۸۸	۰/۴۵۸	۰/۵۳۸	۰/۵۳۷
C۱۲	۰/۵۱۰	۰/۴۸۹	۰/۴۵۳	۰/۵۰۷	۰/۴۷۹	۰/۴۸۳	۰/۴۹۰	۰/۴۷۹	۰/۴۶۶	۰/۴۷۲	۰/۴۹۰	۰/۴۵۰	۰/۵۱۹
C۱۳	۰/۴۸۲	۰/۴۸۲	۰/۴۴۷	۰/۵۰۰	۰/۴۷۲	۰/۴۷۶	۰/۴۸۳	۰/۴۷۲	۰/۴۶۰	۰/۴۶۵	۰/۵۰۴	۰/۴۹۲	۰/۴۴۱

جدول (۱۳). مقادیر D و R به‌ازای هر معیار و وزن نهایی معیارها به روش F-DEMATEL

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
D	۶/۴۷	۶/۳۲	۵/۹۴	۶/۳۴	۶/۷۸	۶/۶۹	۶/۶۵	۶/۰۴	۶/۰۷	۶/۲۸	۶/۵۶	۶/۲۹	۶/۱۸
R	۶/۴۵	۶/۴۶	۵/۸۹	۶/۴۰	۶/۳۰	۶/۳۶	۶/۴۹	۶/۳۰	۶/۱۰	۶/۱۸	۶/۴۷	۶/۶۳	۶/۶۰
D+R	۱۲/۹۲	۱۲/۷۹	۱۱/۸۳	۱۲/۷۴	۱۳/۰۷	۱۳/۰۵	۱۳/۱۳	۱۲/۳۴	۱۲/۱۷	۱۲/۴۶	۱۳/۰۳	۱۲/۹۱	۱۲/۷۸
D-R	۰/۰۲	-۰/۱۴	۰/۰۵	-۰/۰۶	۰/۴۸	۰/۳۳	۰/۱۶	-۰/۲۶	-۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۹	-۰/۳۴	-۰/۴۲
$W_i^{FDEMTEL}$	۰/۰۷۸	۰/۰۷۷	۰/۰۷۲	۰/۰۷۷	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹	۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۰۷۵	۰/۰۷۹	۰/۰۷۸	۰/۰۷۷

جدول (۱۴). سوپر ماتریس وزن‌دار محاسبه شده به روش F-DANP1

معیارها	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
C۱	۰/۰۳۸	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۲
C۲	۰/۰۴۴	۰/۰۳۸	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۴۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
C۳	۰/۰۳۸	۰/۰۳۹	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۴۱	۰/۰۳۹	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹
C۴	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۳۷	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴
C۵	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۳	۰/۰۴۱	۰/۰۳۷	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۲
C۶	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳	۰/۰۳۷	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
C۷	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۳۷	۰/۰۴۲	۰/۰۳۸	۰/۰۴۳	۰/۰۴۵	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳
C۸	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱	۰/۰۳۷	۰/۰۴۴	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۲
C۹	۰/۱۶۱	۰/۱۶۰	۰/۱۶۱	۰/۱۵۸	۰/۱۶۱	۰/۱۶۴	۰/۱۵۹	۰/۱۴۶	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳	۰/۱۶۶	۰/۱۶۲	۰/۱۶۲
C۱۰	۰/۱۶۳	۰/۱۶۶	۰/۱۶۳	۰/۱۶۶	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳	۰/۱۵۹	۰/۱۶۶	۰/۱۶۴	۰/۱۴۸	۰/۱۶۱	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴
C۱۱	۰/۱۱۶	۰/۱۱۳	۰/۱۱۴	۰/۱۱۴	۰/۱۱۴	۰/۱۱۴	۰/۱۱۴	۰/۱۱۴	۰/۱۱۵	۰/۱۱۳	۰/۱۰۱	۰/۱۱۳	۰/۱۱۸
C۱۲	۰/۱۱۸	۰/۱۱۵	۰/۱۱۷	۰/۱۱۷	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۱۱۷	۰/۱۱۷	۰/۱۲۰	۰/۱۱۹	۰/۱۰۴	۰/۱۱۶
C۱۳	۰/۱۱۳	۰/۱۱۹	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶	۰/۱۱۷	۰/۱۱۵	۰/۱۱۸	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰	۰/۱۰۴

جدول (۱۵). میانگین امتیاز کارشناسان در مورد عملکرد هر تأمین‌کننده نسبت به هر معیار دربدترین شرایط، شرایط نرمال و بهترین شرایط

معیارها		C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
w		10	۸۰	۷	۷۶	۷۳	۹	۶۵	۶	۷۵	۷۵	۸۵	۸۰	۷
n	$S^1$1	۸	۹۰	۶	۸۸	۷۷	۶	۶۵	۵	۷۵	۷۵	۸۹	۸۴	۵
b		۳	۱۰۰	۵	۹۹	۸۰	۶	۶۵	۳	۷۶	۷۵	۹۲	۹۵	۳

1. Supllier

معیارها		C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
	w	۱۰	۷۵	۱۰	۷۰	۷۸	۱۰	۶۷	۸	۷۹	۷۵	۸۰	۸۰	۹
S2	n	۱۰	۷۵	۹	۷۱	۸۲	۷	۷۵	۷	۸۶	۷۵	۸۰	۸۰	۷
	b	۶	۷۵	۸	۸۲	۸۵	۷	۸۲	۵	۹۲	۷۵	۸۰	۸۰	۵
	w	۱۰	۷۵	۵	۷۰	۷۰	۸	۶۵	۹	۷۵	۷۵	۸۰	۸۰	۶
S3	n	۱۰	۷۶	۴	۷۰	۷۳	۵	۷۲	۸	۷۷	۷۷	۸۳	۸۰	۴
	b	۹	۸۶	۳	۷۰	۷۶	۵	۷۹	۶	۸۳	۸۷	۸۶	۸۰	۲
	w	۱۰	۷۵	۷	۷۴	۸۵	۷	۶۵	۱۰	۸۴	۷۵	۸۰	۸۰	۸
۴S	n	۱۰	۷۵	۶	۸۶	۸۹	۴	۶۵	۹	۹۱	۷۵	۸۰	۸۰	۶
	b	۱۰	۷۵	۵	۹۷	۹۲	۴	۶۵	۸	۹۷	۷۵	۸۲	۸۰	۴

جدول (۱۶). تابع زیان تاگوچی برای هر تأمین‌کننده نسبت به هر معیار در سه شرایط بدترین، نرمال و بهترین

معیارها		C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
	w	۱۰۰/۰	۸۷/۹	۴۹/۰	۸۴/۸	۹۱/۹	۸۱/۰	۱۰۰/۰	۳۶/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۸۸/۶	۱۰۰/۰	۴۹/۰
$S^1$1	n	۶۴/۰	۶۹/۴	۳۶/۰	۶۳/۳	۸۲/۶	۳۶/۰	۱۰۰/۰	۲۵/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۸۰/۸	۹۰/۷	۲۵/۰
	b	۹/۰	۵۶/۳	۲۵/۰	۵۰/۰	۷۶/۶	۳۶/۰	۱۰۰/۰	۹/۰	۹۷/۴	۱۰۰/۰	۷۵/۶	۷۰/۹	۹/۰
	w	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۸۰/۵	۱۰۰/۰	۹۴/۱	۶۴/۰	۹۰/۱	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۸۱/۰
S2	n	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۸۱/۰	۹۷/۲	۷۲/۹	۴۹/۰	۷۵/۱	۴۹/۰	۷۶/۱	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۴۹/۰
	b	۳۶/۰	۱۰۰/۰	۶۴/۰	۷۲/۹	۶۷/۸	۴۹/۰	۶۲/۸	۲۵/۰	۶۶/۵	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲۵/۰
	w	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲۵/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۶۴/۰	۱۰۰/۰	۸۱/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۳۶/۰
S3	n	۱۰۰/۰	۹۷/۴	۱۶/۰	۱۰۰/۰	۹۱/۹	۲۵/۰	۸۱/۵	۶۴/۰	۹۴/۹	۹۴/۹	۹۲/۹	۱۰۰/۰	۱۶/۰
	b	۸۱/۰	۷۶/۱	۹/۰	۱۰۰/۰	۸۴/۸	۲۵/۰	۶۷/۷	۳۶/۰	۸۱/۷	۷۴/۳	۸۶/۵	۱۰۰/۰	۴/۰
	w	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۴۹/۰	۸۹/۵	۶۷/۸	۴۹/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۷۹/۷	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۶۴/۰
S4	n	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۳۶/۰	۶۶/۳	۶۱/۹	۱۶/۰	۱۰۰/۰	۸۱/۰	۶۷/۹	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۳۶/۰
	b	۱۰۰/۰	۱۰۰/۰	۲۵/۰	۵۲/۱	۵۷/۹	۱۶/۰	۱۰۰/۰	۶۴/۰	۵۹/۸	۱۰۰/۰	۹۵/۲	۱۰۰/۰	۱۶/۰

جدول (۱۷). تابع زیان تاگوچی معکوس شده و ورودی روش تاپسیس فازی

معیارها		C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳
	w	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۲۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۲۸	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰
S۱	m	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴	۰/۰۲۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۲۸	۰/۰۱۰	۰/۰۴۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۴۰
	b	۰/۱۱۱	۰/۰۱۸	۰/۰۴۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۳	۰/۰۲۸	۰/۰۱۰	۰/۱۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	۰/۱۱۱
	w	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲
S2	m	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۱۴	۰/۰۲۰	۰/۰۱۳	۰/۰۲۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰
	b	۰/۰۲۸	۰/۰۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۲۰	۰/۰۱۶	۰/۰۴۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۴۰
	w	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۴۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۲۸
S3	m	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۶۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۴۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۶۳
	b	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۱۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۴۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۲۵۰
	w	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۵	۰/۰۲۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۶
S4	m	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۲۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۶	۰/۰۶۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۲۸
	b	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	۰/۰۴۰	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۰۶۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۶۳

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2022, Volume 10., No. 21., pp. 151-169
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/IER.2023.27176.2106

Evaluation and Selection of Sustainable Suppliers by Using a Mix of MCDM Techniques and Utilizing Taguchi Loss Function in Determination of Final Scores

M. Saneei[1], M. Seifbarghy[2*]

[1.] Master of Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran

[2.] Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Alzahra University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 02 Mar 2022
Accepted 03 October 2022

***Keywords*:**

Supply Chain
Supplier Selection
MCDM
Fuzzy DEMATEL
ANP

ABSTRACT

In today's competitive world, supply management plays a significant role in achieving an efficient supply chain. One of the most important goals of supply management is to select sustainable suppliers and determine the optimal order allocated to suppliers. The process of selecting a sustainable supply begins with the determination of the criteria which are effective on the decision. Considering that the importance of all these criteria is not the same for organizations, multi-criteria decision-making methods are used to determine the weights of these critera. In this paper, three methods of Fuzzy DEMATEL, combination of analytical network process method and fuzzy DEMATEL type 1 and combination of analytic network process method and Fuzzy DEMATEL type 2 are used to determine the weights of effective criteria. Also, to determine the scores of suppliers, the innovative combined approach of fuzzy Taguchi loss function and fuzzy method of similarity to the ideal solution is used. In the hybrid approach, first, experts give scores to suppliers for their performance in different political, economic, social conditions, and based on this, the fuzzy Taguchi loss function is calculated. Considering that the loss function has a negative charge, the Taguchi loss functions are inverted and used as the input of the fuzzy TOPSIS method. In this paper, the sensitivity of the mentioned multi-criteria decision-making methods in calculating the weights of the criteria is examined with different conditions. The scores of suppliers are calculated based on their performances in the worst, normal and best conditions.

[*] Corresponding author. M. Seifbarghy
Tel.:021-85692939; E-mail address: m.seifbarghy@alzahra.ac.ir