دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال هفتم، شماره سی و دوم، مهر و آبان ۱۴۰۰
شماره شاپا: ۲۵۸۸-۵۸۸X

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
پژوهش‌های نوین در ریاضی

رتبه‌بندی تامین‌کنندگان با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و مدل جدید کارایی متقاطع در حضور خروجی‌های نامطلوب

مهدی سلطانی‌فر[*]، حمید شرفی[۲]، سید محمد زرگر[۳]، مهدی همایونفر[۴]

[۱و۳] استادیار گروه علوم پایه، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
[۲] گروه ریاضی کاربردی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۱] استادیار، مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۹

چکیده

تحلیل پوششی داده‌ها[1]، روشی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی است که برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU's) که وظایف یکسانی انجام داده و دارای چندین ورودی و چندین خروجی هستند، به کار می‌رود. به دلیل دیدگاه خوشبینانه DEA در ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری متجانس، حصول چندین واحد با نمره کارایی نسبی حداکثر (برابر واحد)، بسیار محتمل است. لذا مدل‌های رتبه‌بندی برای تمایز بین واحدهای کارا ارائه گردید. کارایی متقاطع، یکی از سودمندترین ابزار برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری در تحلیل پوششی داده‌ها است. این مدل دارای دو نقص اساسی در اجرا است. نخست آنکه در حضور جواب‌های بهین دگرین، نتایج متفاوتی به دست می‌دهد؛ و دوم آنکه در استفاده از میانگین حسابی برای تجمیع نتایج ماتریس کارایی متقاطع، دلیل قانع کننده‌ای ارائه نشده است. در این مقاله در خصوص تجمیع نتایج کارایی متقاطع در حضور خروجی‌های نامطلوب، روش جدیدی با الهام گرفتن از فرآیند رای‌گیری ترجیحی و ایده مطرح شده در روش تاپسیس[2]، ارائه شده است. سپس نتایج برای رتبه‌بندی تامین‌کنندگان در حضور خروجی‌های نامطلوب به کار گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، روش کارایی متقاطع، رای‌گیری ترجیحی، خروجی‌های نامطلوب، روش تاپسیس.

* عهده دار مکاتبات
E-mail: soltanifar@khayam.ut.ac.ir, soltanifarmahdi@gmail.com

1. Data Envelopment Analysis (DEA)
2. TOPSIS

۱. مقدمه

امروزه، زنجیره تأمین نقش مشخص و معینی در دنیای کسب‌وکار داشته و عامل موفقیت بین بازارها محسوب می‌گردد. بنابراین، محققان تلاش می‌کنند تا عوامل مهم موفقیت زنجیره تأمین را مورد بررسی قرار دهند [۱].

در سال‌های اخیر، منبع‌یابی و فرآیندهای تولید بیشتر و بیشتر پیچیده شده‌اند و در بسیاری از صنایع نیز جهانی‌سازی صورت گرفته است. در نتیجه، زنجیره‌های تأمین نیازمند تعداد بیشتری از تأمین‌کنندگان خدمات لجستیک هستند که در مواد، اطلاعات و جریان‌های مالی به یکدیگر وابسته هستند. به دلیل اینکه تأمین یک نیازمندی اساسی برای هر فعالیت تولیدی است، یکپارچگی و هماهنگی تأمین کنندگان خدمات لجستیک هسته اصلی موفقیت اقتصادی شرکت‌های تولیدی محسوب می‌شوند [۲].

به صورت کلی، مسائل اقتصادی، فشارهای اجتماعی، قوانین دولتی، نگرانی‌های زیست محیطی و تجارت الکترونیکی همگی سازمان‌ها را به اقدام مقتضی براساس زنجیره تأمین پایدار سوق داده و پیچیدگی و طبیعت مهارت‌محور زنجیره‌تأمین، شرکت‌ها را به سمت انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب سوق می‌دهد. ولی این تنها شروع داستان انتخاب تأمین‌کننده است [۳]. می‌توان گفت زمانی که شرکت تصمیم به انتخاب تأمین‌کنندگان می‌گیرد، سؤالات بزرگی مطرح می‌شوند: مناسب‌ترین تأمین‌کننده کدام است؟ انتخاب یک تأمین‌کننده از بین تعداد بیشماری از تأمین‌کنندگان و انواع گسترده‌ای از آنها در برابر درجات متفاوت قابلیت‌ها و پتانسیل‌ها یک چالش چندوجهی و پیچیده است که نیازمند زمان کافی و رویکرد راه‌حل تصمیم‌گیری چندمعیاری است [۴].

تأمین‌کنندگان دارای تأثیر اساسی روی عملکرد زنجیره تأمین و مالی شرکت هستند و یافتن بهترین تأمین‌کنندگان وظیفه کلیدی خریداران است. به دلیل تأثیر فزاینده‌ی نقش تأمین‌کنندگان در رقابت‌پذیری شرکت، پیچیدگی انتخاب بهترین شرکا نیز بیشتر شده است [۵]. انتخاب بهترین تأمین‌کننده یکی از مهمترین بخش‌های مدیریت زنجیره تأمین است. همه تصمیمات و انتخاب‌ها روی بخش مدیریت تأمین تأثیرگذار است [۶].

به دلیل اینکه تأمین‌کنندگان مواد خام، خدمات و محصولات نهایی را به عنوان ورودی به زنجیره تأمین سازمانی فراهم می‌کنند، فعالیت‌های آنها برای کمک به سازمان‌ها در راستای دستیابی به مزیت رقابت پایدار حیاتی است و سازمان خریدار نیازمند ارزیابی و انتخاب محتاطانه تأمین‌کننده است [۷].

شاخص ارزیابی تأمین‌کننده و روش‌های آن سنگ بنای مقالات مرتبط با ارزیابی و انتخاب تأمین کننده است. این شاخص‌ها جوانبی را در نظر می‌گیرند که برای سازمان خریدار مهم است، درحالی که این روش‌ها به خریدار کمک می‌کنند تا قضاوت‌های متفاوت ارزیاب‌ها را جمع‌آوری کرده و شاخص‌ها را با یکدیگر مقایسه کنند [۵]. بنابر آنچه در خصوص اهمیت انتخاب تأمین‌کننده گفته شد هدف پژوهش پیش رو رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان با روشی جدید و ترکیبی است. در این مقاله قرار است با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و مدل جدید کارایی متقاطع در حضور خروجی‌های نامطلوب به رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان بپردازیم.

۲. پیشینه تحقیق و ادبیات موضوع

۲-۱ زنجیره تامین

زنجیره‌های تامین به‌طور فزاینده‌ای در معرض افزایش رقابت، کمبود منابع، قوانین و مقررات سختگیرانه و تغییر در خواسته‌های ذینفعان قرار دارند [۸].

منابع و قابلیت‌های تأمین‌کننده در زنجیره تأمین

شرکت در صورتی حیاتی است که شرکت تصمیم به همکاری و مشارکت با تأمین‌کننده بگیرد. شرکت‌های خریدار می‌توانند از زمان، هزینه، کیفیت، انعطاف پذیری، تحویل، نوآوری یا قابلیت‌های فناوری شرکت‌های تأمین‌کننده سود ببرند. بنابراین، شرکت‌های خریدار منابع و قابلیت‌های تأمین‌کننده را در تصمیمات خود جهت انتخاب آنها لحاظ می‌کنند؛ در نتیجه، تصمیمات راهبردی انتخاب تأمین‌کننده منابع مهم مزیت رقابتی برای خریدار هستند [۹]. عملکرد خرید نقش کلیدی را در بستن شکاف بین انتظارات از کیفیت و عملکرد کیفی در شرکت ایفا می‌کند [۱۰]. هر شرکت خریدار با سه سناریوی متفاوت برای خرید مواجه خواهد شد: در سناریوی اول، محصول کاملاً جدیدی بایستی از یک تأمین کننده ناشناخته خریداری شود. در سناریوی دوم، شرکت خریدار محصول جدید را از تأمین‌کننده شناخته شده خریداری کرده یا محصول موجود را از تأمین‌کننده جدید خریداری می‌کند. محصول یا تأمین کننده نیز می‌توانند مشخص و شناخته شده باشند. در آخرین و ساده‌ترین سناریو، شرکت خریدار یک محصول مشخص را از تأمین‌کننده شناخته شده خریداری می‌کند [۱۱]. انتخاب تأمین‌کننده فرآیندی است که شرکت‌ها، تأمین‌کنندگان را شناسایی، غربال، ارزیابی، تحلیل کرده و نهایتاً با آنها ارتباط می‌گیرند. این فرآیند نیازمند منابع مالی و انسانی قابل ملاحظه‌ای برای هر شرکت است. شرکت‌ها انتظار تأمین کنندگان مناسب و خدمات با کیفیت بالا را دارند [۱۲]. بدون استفاده از روش ارزیابی ریسک تأمین‌کننده ساختاریافته، پایداری تأمین‌کننده تنها به صورت تصادفی کسب می‌گردد که ممکن است به تأثیرات معکوس روی شهرت و اعتبار شرکت منجر گردد [۱۳].

بعد از مطالعه دیکسون (۱۹۶۶) که معیارهای کلی زنجیره تأمین را معرفی کرد، بسیاری از مقالات سعی در شناسایی شاخص‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان به صورت عملی و نظری کرده‌اند [۱۴]. کیفیت، قیمت، تحویل و خدمات اغلب مؤلفه‌های مهم ارزیابی تأمین‌کننده هستند [۵، ۱۵]. این مقالات آشکار کرده‌اند که اهمیت فزاینده تأمین‌کنندگان، مهارت‌ها و قابلیت‌های تأمین‌کننده را ارزشمند ساخته‌اند [۵]. هزینه‌های کلی مالکیت، در ارزیابی تأمین‌کننده اهمیت هزینه‌ها و محرک‌های هزینه را برجسته‌تر می‌کند؛ زیرا هدف مشخص کردن هزینه حقیقی خرید یک کالا یا خدمات خاص از یک تأمین‌کننده ویژه است. فرآیندهای داخلی و خارجی و هزینه‌های مرتبط با آنها برای خریدار نیز بایستی بررسی شود [۵،۱۶]. شاخص مدیریت سنتی منعکس‌کننده اولویت‌هایی است که برای رسیدن به اهداف کسب‌وکار مهم تلقی می‌شوند مانند قیمت پایین جهت دستیابی به هزینه‌های پایین. از دهه ۱۹۹۰ به بعد، همراه با این شاخص‌های مدیریت، مقالات معیار تأمین‌کننده سبز را مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۷]. دیکسون ۲۳ معیار کلی برای انتخاب تأمین‌کننده بیان کرد که شامل کیفیت (توانایی هر تأمین‌کننده برای دستیابی به ویژگی‌های کیفی)، موعد تحویل (توانایی هر تأمین‌کننده برای دستیابی به زمان‌بندی تحویل)، سابقه تاریخی عملکرد، سیاست‌های ضمانت و خسارت‌دهی، تأسیسات و ظرفیت تولید، قیمت، توان فنی (شامل تسهیلات برای تحقیق و توسعه)، وضعیت مالی شرکت، سازگاری با فرایند خریدار (قبول رویه و دستورالعمل خریدار از سوی تأمین‌کننده)، سیستم ارتباطی، موقعیت در صنعت در بین رقبا، تمایل به داد و ستد، مدیریت و سازماندهی، کنترل‌های عملیاتی، خدمات پس از فروش، طرز برخورد فروشنده با سازمان، تصور ما از فروشنده، توانایی بسته‌بندی، سابقه روابط کاری، موقعیت جغرافیایی، سابقه تجاری، برنامه‌های آموزشی، ارتباط دو طرفه بود. لهمن و اوشاقنسی

[۱۸] عواملی چون نحوه تأمین مالی، قابلیت اطمینان محصول، قیمت، آسانی تحویل سفارش، ویژگی‌های فنی محصول، انعطاف‌پذیری و انطباق با نیازهای سازمان خریدار، خدمات فنی، ترجیحات کاربر اصلی کالا، آموزش‌های پیشنهادی تأمین‌کننده، زمان لازم برای آموزش تأمین‌کننده، اعتبار کلی تأمین‌کننده، تحویل به موقع، سهولت نگهداری محصول و خدمات پس از فروش را به عنوان معیار انتخاب تأمین کننده بیان کردند. کیسر و همکاران [۱۹] تحویل سریع، خط تولید گسترده، قیمت، تخفیفات نقدی و حجمی، اطمینان به کیفیت و تحویل و عوامل دیگری را در قالب ۶ ویژگی راحتی، اقتصادی، شایستگی، اعتمادپذیری، ارتباط درون سازمانی و ویژگی‌های خدمات دسته‌بندی کردند. دمپسی [۲۰] به عواملی چون تسهیلات و ظرفیت تولید، سیستم‌های کنترل عملیاتی، موقعیت مالی، سوابق کارکنان تأمین کننده، سیستم ارتباطی و غیره به عنوان معیار انتخاب تأمین‌کننده اشاره کرد. بیلیسیک و همکاران [۲۱] قابلیت نیروی انسانی، انجام توسعه‌های تکنولوزیکی، تحقق زمان‌های تحویل، قابلیت فرآیند وکیفیت، موقعیت‌های بحرانی را به عنوان معیارهای انتخاب تأمین‌کننده بیان کردند.

بر اساس مرور ادبیات معیارهای انتخاب تأمین‌کننده، در این مقاله سعی شده است تا عواملی مورد بررسی قرار گیرد که پوشاننده عوامل مختلف انتخاب تأمین‌کننده باشد. بر این اساس هزینه عملیاتی، چابکی سیستم تولید، کارایی سیستم تولید و ساعات آموزش کارکنان به عنوان معیارهای انتخاب تأمین‌کننده انتخاب شده است. چابکی سیستم تولید به معنای توانایی تولید و فروش موفق حجم گسترده‌ای از محصولات با هزینه پایین، کیفیت بالا، تنوع اندازه دسته‌ها و کمترین تأخیر زمانی ممکن است که برای مشتریان ارزش ایجاد می‌کند [۲۲].

در مدلسازی فرآیند انتخاب تأمین‌کننده اغلب دو روش پذیرفته شده‌اند. اولین روش مشخص کردن نیازهای خریداران و تأمین‌کنندگان با استفاده از مدلسازی ریاضیاتی مستقیم است، در این دسته‌بندی، از مکانیسم‌های طراحی برای مرتبط ساختن خریداران و تأمین‌کنندگان استفاده می‌کنند. دومین روش توسعه یک فرآیند تصمیم‌گیری هیبرید یا ترکیبی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری است. در این طبقه‌بندی، انتخاب تأمین‌کننده معمولاً به عنوان یک فرآیند چندمرحله‌ای مدلسازی شده است که مستلزم مذاکره گروهی، مدیریت ریسک‌ها یا عدم قطعیت‌ها، ادغام اطلاعات و رده‌بندی یا طبقه‌بندی تأمین‌کنندگان است. هیبرید کردن تکنیک‌های متعدد می‌تواند موارد منطبق را حل و فصل کند [۱۲]. در این روش سه نوع رویکرد برای تعامل با مشکل انتخاب تأمین‌کننده مورد شناسایی قرار گرفته‌اند: تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاری، تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضیاتی و روش‌های هوش مصنوعی[۲۳]. تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاری مجموعه‌ای از راه‌حل‌های جایگزین را براساس چندین خصوصیت مورد ارزیابی قرار داده و سپس بهترین راه‌حل جایگزین را انتخاب می‌کنند. برخی از پرکاربردترین تکنیک‌ها در این دسته فرآیند سلسله مراتب تحلیلی، فرآیند شبکه تحلیلی و روش‌های ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایده‌آل (تاپسیس) است [۲۴]و[۲۵]. تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضیات متشکل از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی متفاوت با کارکردهای متفاوت و مجموعه‌ای از محدودیت‌ها هستند. هدف از ارزیابی در تابع هدف و محدودیت‌های تولید با توجه به ارزش‌های شاخص وارد شده به این محدودیت‌ها تعریف می‌گردد. گسترده‌ترین تکنیک شناخته‌شده در این گروه تحلیل پوششی داده ها ، برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی تصادفی و

برنامه‌ریزی هدف است [۲۳]. روش‌های هوش مصنوعی مستلزم یافتن راه‌حل‌های تقریبی برای مسائل بهینه‌سازی پیچیده به عنوان بخشی از علوم کامپیوتری است. تکنیک اصلی در این گروه شبکه‌های عصبی، نظریه مجموعه راف، نظریه سیستم‌گری و منطق فازی است [۱۰]. تحلیل پوششی داده‌ها یکی از متداول‌ترین روش‌های غیرپارامتری برای ارزیابی عملکرد نهادهاو دیگر فعالیت‌ها رایج در زمینه‌های مختلف است. علت مقبولیت گسترده این روش نسبت به سایر روش‌ها، امکان بررسی روابط پیچیده و اغلب نامعلوم بین چندین ورودی و چندین خروجی است [۲۶].

محمدنژاد چاری و صفایی قادیکلایی [۲۷] به شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای انتخاب تأمین کنندگان در زنجیره تأمین لارج با مطالعه موردی صنایع غذایی و لبنی کالا پرداختند و برای تعیین میزان اهمیت و رتبه‌بندی شاخص‌ها از فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی بهره گرفتند که درک بهتر مفاهیم فازی به کار رفته در آن با مطالعه مقاله رحمانی و همکاران[۲۸] امکان‌پذیر است. عزیزی و همکاران [۲۹] انتخاب تأمین‌کننده را بر اساس دیدگاه‌های خوشبینانه و بدبینانه انجام دادند. آنها از رویکرد مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان در حضور عوامل غیرقابل کنترل و داده‌های نا دقیق ارائه کردند که هر دو دیدگاه خوشبینانه و بدبینانه را در نظر می‌گیرند. دودکانلوی میلان و جعفرزاده قوشچی [۳۰] مدلی یکپارچه برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان بر مبنای زیان معیارها و ساختار ترجیحی تصمیم‌گیرنده ارائه کردند. در این مقاله نویسندگان از رویکرد یکپارچه‌ی تحلیل سلسله مراتبی، تابع زیان تاگوچی، برنامه‌ریزی آرمانی با انتخاب چندگانه و تابع مطلوبیت استفاده کردند.

فاضلی و همکاران [۳۱] به بررسی عملکرد تأمین‌کنندگان کالا و پیمانکاران زنجیره تأمین شرکت گاز استان چهارمحال بختیاری با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد مهم‌ترین عاملی که باید مورد توجه تأمین‌کنندگان قرار گیرد عامل توان تأسیساتی و مهم‌ترین شاخص مربوط به پیمانکاران ماشین‌آلات تجهیزات است. کرباسیان و همکاران [۳۲] شاخص‌های انتخاب تأمین‌کنندگان چابک و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان را با استفاده از معادلات ساختاری-تفسیری سطح‌بندی کردند و با استفاده از روش ترکیبی تاپسیس فازی و تحلیل سلسله مراتبی فازی رتبه‌بندی کردند. در این رتبه‌بندی سرعت تحویل، کاهش هزینه و قیمت به ترتیب از بالاترین رتبه برخوردار بودند. چای و انجای [۱۲] به بررسی تکنیک‌های تصمیم‌گیری در انتخاب تأمین‌کننده در بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ پرداختند. در این پژوهش مقالاتی که تکنیک‌های مختلف تصمیم گیری را مورد استفاده قرار دادند انتخاب و دسته‌بندی شدند. فی و همکاران [۳۳] در پژوهشی به انتخاب تأمین‌کنندگان در صنعت اتومبیل هند پرداختند. آنها برای رتبه‌بندی و انتخاب تأمین‌کننده از روش تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده کردند. به نظر آنها روش‌های فازی برای مشکلات انتخاب تأمین کننده روش دقیق‌تر و موثرتر است. جوهر و همکاران [۳۴] یک مدل جدید مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها را برای اعمال تکامل متفاوت جهت انتخاب یک تأمین‌کننده پایدار مناسب را پیشنهاد کرده است. راوت و همکاران [۳۵] مدلی را براساس تحلیل پوششی داده‌ها و شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت محاسبه بیشینه بهره‌وری ارائه کرده است. به علاوه، آنها ادعا می‌کنند که مدلشان دقیق‌تر، مؤثرتر و برای انتخاب تأمین کننده پایدار سیستماتیک‌تر است. ایزدخواه و همکاران [۳۶] مدل تحلیل پوششی داده‌ها پایه‌ای را پیشنهاد کرد که در آن پیشنهادات تخفیف حجمی در بازه زمانی و داده‌های فازی مجدداً فرموله شدند.

حاتمی و همکاران [۳۷] مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی را برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار و ارزیابی با استفاده از ارزیابی کارآیی متقاطع انعطاف پذیری پیشنهاد کرد. رستمی و همکاران [۳۸] یک روش تصمیم‌گیری گروهی فازی با بهره‌بردن از روش VIKIR، برای انتخاب تامین کننده ارائه دادند. در این مقاله نیز یک روش انتخاب تامین کننده در حضور خروجی‌های نامطلوب ارائه خواهد شد.

۲-۱ تحلیل پوششی داده‌ها و مدل‌های رتبه‌بندی

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[4]) توسط چارنز و همکاران [۳۹] برای یافتن مجموعه‌ی مشترکی از وزن‌ها در تعیین کارایی نسبی پیشنهاد گردید. این روش مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی است و برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU's[5]) که وظایف یکسانی انجام داده و دارای چندین ورودی و چندین خروجی هستند، به کار می‌رود. در DEA، یک مرز یا الگو به عنوان مبنای مقایسه، از واحدهای تصمیم‌گیری که دارای بهترین عملکرد هستند ساخته شده و سپس کارایی واحدها نسبت به آن مرز سنجیده می‌شود. مرز یافت شده توسط این روش، یکی از بهترین مرزهای کارایی شناخته شده است. تحلیل پوششی داده‌ها به هر واحد تصمیم‌گیری اجازه می‌دهد تا مجموعه‌ای از وزن‌ها را برگزیند که آن واحد را در مطلوب‌ترین وضعیت ممکن نسبت به دیگر واحدها نشان دهد. این دیدگاه خوشبینانه، حصول چندین واحد با نمره کارایی نسبی حداکثر (برابر واحد)، را بسیار محتمل می‌سازد. مدل‌های پایه تحلیل پوششی داده‌ها امکان تمایز بین واحدهای کارا (واحد با نمره کارایی نسبی برابر ۱) را فراهم نمی‌سازد. لذا پژوهشگران اقدام به ارائه مدل‌های رتبه‌بندی نمودند. نیکول و زیلا [۴۰] مدل‌های رتبه‌بندی را در شش دسته تقسیم بندی کردند. دسته اول مدل‌های ایر کارایی نام دارند که می‌توان به مدل‌های ارائه شده توسط اندرسون و پیترسون [۴۱]، محرابیان و همکاران [۴۲] اشاره کرد. در این مدل‌ها واحد تصمیم‌گیری کارا از فرآیند ارزیابی حذف شده و تغییر مرز کارایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. دسته دوم بر پایه الگویابی طراحی شده است. در این دسته واحدی رتبه بالاتری دارد که بیشتر به عنوان الگو برای واحدهای دیگر معرفی گردد. این ایده توسط تورگرسن و همکاران [۴۳] به کار گرفته شد. در دسته سوم از تکنیک‌های آماری چند متغیره استفاده می‌شود. به عنوان نمونه فریدمن و استرن [۴۴] از این تکنیک‌ها برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری استفاده نمودند. دسته چهارم واحدهای ناکارا را از طریق میزان ناکارآمدی آنها، رتبه‌بندی می‌کند. باردهان و همکاران [۴۵] از این ایده برای رتبه‌بندی استفاده نمودند. در دسته پنجم مدل‌های رتبه‌بندی، از ترکیب مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و بهینه‌سازی چند معیاره برای رتبه بندی بهره گرفته شد. گولانی [۴۶] مدل‌هایی در قالب این دسته ارائه نمودند و بالاخره دسته ششم مدل‌های رتبه‌بندی بر پایه ماتریس کارایی متقاطع طراحی شده‌اند. سکستون و همکاران [۴۷] از جمله ارائه‌دهندگان مدل‌هایی با این ایده هستند. کاربردهای دیگری از روش‌های رتبه‌بندی را می‌توان در مقالات حسین‌زاده لطفی و همکاران [۴۹و۴۸]، پیکانی و همکاران[۵۰]، برزگری‌نژاد و همکاران [۵۱] و نیز مروری از روش‌های رتبه‌بندی را در مقاله حسین‌زاده لفی و همکاران [۵۲] یافت. در بخش بعد در خصوص مدل‌های کارایی متقاطع، محسنات و معایب آن‌ها توضیحاتی ارائه خواهد شد.

[4] Data Envelopment Analysis
[5] Decision Making Units

۲-۲ رتبه‌بندی کارایی متقاطع در تحلیل پوششی داده‌ها

در مدل‌های ارائه شده بر پایه ماتریس کارایی متقاطع، فرآیند خودارزیابی[6] جای خود را به فرآیند رقیب‌گونه[7] خواهد داد. اندرسون و همکاران [۴۱] نشان دادند در این ایده، حذف طرح‌های وزنی غیر واقعی، بدون نیاز به محدودیت‌های وزنی حاصل از به‌کارگیری حوزه تخصصی صورت می‌پذیرد.

فرض کنید مجموعه‌ای از n واحد تصمیم‌گیری متجانس با m ورودی و s خروجی در دست است. همچنین فرض کنید برای واحد تصمیم‌گیری مفروض $x_{ij}, (i = 1,2 \dots m); \mathrm{j}, (\mathrm{j} = 1,2, \dots, \mathrm{n})$، مقدار ورودی iام و $y_{rj}, (r = 1,2 \dots s)$، مقدار خروجی rام باشد. کارایی متقاطع در تحلیل پوششی داده‌ها، معمولا بر پایه دو مرحله است. در مرحله اول یکی از مدل‌های پایه DEA مانند مدل CCR ارائه شده توسط چارنز و همکاران [۳۹] برای محاسبه مقدار کارایی نسبی و نیز اوزان ورودی‌ها و خروجی‌ها برای دستیابی به این کارایی نسبی برای هر واحد تصمیم‌گیری محاسبه می‌گردد. این مهم، بر اساس مدل CCR، از حل مدل (۱) محاسبه خواهد شد.

$$
\begin{aligned}
&E_{oo}^{*} = \max \textstyle\sum_{r=1}^{s} u_{ro} y_{ro} \\
&s.t. \\
&\textstyle\sum_{i=1}^{m} v_{io} x_{io} = 1 \\
&\textstyle\sum_{r=1}^{s} u_{ro} y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_{io} x_{ij} \le 0\,; \\
&j = 1,2, \dots, n \\
&u_{ro} \ge 0;\ r = 1,2, \dots, s. \\
&v_{io} \ge 0;\ i = 1,2, \dots, m.
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

پس از حل مدل (۱) و یافتن جواب بهینه، مقدار کارایی متقاطع سایر واحدهای تصمیم‌گیری، بر پایه واحد تصمیم‌گیری o، از طریق فرمول (۲) محاسبه خواهد شد.

$$E_{oj} = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_{ro}^{*} y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_{io}^{*} x_{ij}};\ j = 1,2, \dots, n \qquad (۲)$$

که در آن (*)، نشان دهنده مقادیر بهینه مدل (۱) است. در مرحله دوم از طریق محاسبه میانگین حسابی مقادیر فرمول (۲)، مقدار کارایی متقاطع هر واحد تصمیم‌گیری از طریق فرمول (۳)، محاسبه خواهد شد.

$$\bar{E}_j = \frac{1}{n} \sum_{o=1}^{n} E_{oj}\,; j = 1,2, \dots, n \qquad (۳)$$

استفاده از ماتریس کارایی متقاطع علی‌رغم محسنات فراوان، دارای دو نقص عمده است. نخست، همانطور که دویل و گرین [۵۳] اشاره نمودند، وجود جواب‌های بهینه دگرین در مدل‌های پایه تحلیل پوششی داده‌ها باعث تغییر در رتبه واحدهای تصمیم‌گیری می‌گردد. به عبارت دیگر انتخاب جواب‌های بهینه مختلف، باعث تغییر در رتبه سایر واحدهای تصمیم‌گیری خواهد شد. دویل و گرین [۵۴] ایده استفاده از مدل‌های ثانویه را برای کاهش اثرات این نقص پیشنهاد نمودند. ایشان از طریق دو دیدگاه خوشبینانه[8] و بدبینانه[9] اقدام به ارائه مدل‌های ثانویه و انتخاب وزن، نمودند. سلطانی‌فر و شاه‌قبادی با بیان مدل‌های ثانویه مختلف و نیز بسط ایده برخی نویسندگان برای ارائه مدل‌های ثانویه جدید، یک روش جدید برای انتخاب بهترین مدل ثانویه با دیدگاه خوشبینانه ارائه نمودند.

مصطفی داوطلب علیایی [۵۵] با استفاده از یک ملاک جدید، اقدام به ارائه یک مدل ثانویه نمود. نقص دوم در به کار بردن میانگین حسابی برای تجمیع نتایج ماتریس کارایی متقاطع است. چه توجیهی وجود دارد که میانگین حسابی، معیار مناسبی برای تجمیع نتایج ماتریس کارایی متقاطع است؟ چرا از معیارهای دیگری همچون میانگین

[6] Self-evaluation
[7] Peer evaluation
[8] Benevolent
[9] Aggressive

هندسی[10]، میانگین وینزوری[11]،میانگین پیراسته[12]، نما[13]، مد[14] و یا سایر روش‌های موجود استفاده نشده است؟ ظرافت انگیز و همکاران [۵۶] برای پاسخ به این سوال روشی جدید برای تجمیع نتایج ماتریس کارایی متقاطع با تکیه بر فرآیند رای‌گیری ترجیحی توضیح داده شده در بخش بعد، ارائه نمودند. در روش ایشان، ضمن استفاده از دیدگاه‌های خوشبینانه دویل و گرین [۵۴] نتایج ماتریس کارایی متقاطع با روشی غیر از استفاده از میانگین حسابی و بر پایه فرآیند رای‌گیری ترجیحی، تجمیع و مقادیر کارایی متقاطع خوشبینانه محاسبه شده و در نهایت ملاک تصمیم-گیری بر پایه ایده الهام گرفته شده از فرآیند تاپسیس خواهد بود.

۳-۲ رای‌گیری ترجیحی

مساله "انتخاب" با استفاده از تجمیع آراء رای‌دهندگان یکی از مهمترین مسائل تصمیم‌گیری گروهی است که تا کنون مدل‌های متعددی برای آن ارائه شده است. در مدل‌های رای‌گیری کلاسیک، تجمیع آرا بدون در نظر گرفتن جایگاه رای‌گیری است. لذا نتیجه، منعکس کننده خواست رای‌دهندگان نخواهد بود. در سال ۱۹۹۰ مدلی توسط کوک و کرس ارائه گردید که ارزش جایگاه‌های رای‌گیری در آن مد نظر قرار گرفت. فرآیندی را در نظر گیرید که در آن بخواهیم m نماینده از بین n کاندید $m \le n$، با تجمیع آراء رای‌دهندگان انتخاب کنیم. در این فرآیند یک برگه رای‌گیری شامل m جایگاه در اختیار هر رای‌دهنده قرار داده و از ایشان می‌خواهیم منتخبین خود را در این جایگاه‌ها قرار دهند. بدیهی است هر رای‌دهنده کاندیدهای با شایستگی بیشتر برای انتخاب را در جایگاه‌های مقدم‌تر قرار خواهند داد. اگر $w_{ip}, (i = 1,2, \dots, m; p = 1,2, \dots, n)$، تعداد آراء کسب شده توسط کاندید p در جایگاه رای‌گیری i باشد، می‌توان از حل مدل (۴)، که در سال ۱۹۹۰ توسط کوک و کرس [۵۷] ارائه گردید، یک نمره کارایی برای هر کاندید به دست آورد که مبنایی برای رتبه‌بندی کاندیداها خواهد بود. به وضوح این مدل حالت خاصی از مدل تحلیل پوششی داده‌های موسوم به مدل مضربی بازده به مقیاس ثابت است که در آن هر کاندید نقش یک واحد تصمیم‌گیرنده متجانس و آراء تجمیع شده هر کاندید نقش خروجی این واحد را ایفا می‌کنند. همچنین کلیه واحدهای تصمیم گیرنده دارای تک ورودی برابر ۱ هستند. ضمنا برای نمایش تفاوت بین جایگاه‌های رای‌گیری از قیود کنترل وزن با تابع شدت تشخیص مناسب هر مساله استفاده شده است.

$$\begin{aligned} & E_p = \max \sum_{i=1}^{m} \tau_i w_{ip} \\ & s.t \\ & \sum_{i=1}^{m} \tau_i w_{ij} \le 1, j = 1,2, \dots, n \\ & \tau_i - \tau_{i+1} \ge d(i, \varepsilon), i = 1,2, \dots, m-1 \\ & \tau_m \ge d(m, \varepsilon) \end{aligned} \qquad (۴)$$

در مدل (۴)، $\varepsilon \ge 0$ و $d(., \varepsilon)$، تابعی نانزولی و نامنفی است و به "تابع شدت تشخیص[15]" معروف است. این تابع میزان فاصله جایگاه‌های رای‌گیری از هم را مشخص می‌کند و توسط سیستم مدیریتی انتخابات تعیین می‌گردد. مدل (۴) در پژوهش‌های مختلف کاربرد فراوانی داشته داشته است. برای مطالعه بیشتر در خصوص مدل‌های DEA/AR، می‌توان به مقاله جهانشاهلو و همکاران [۵۸] مراجعه نمود.

[10] Geometric Mean
[11] Winsorised mean
[12] InterQuartile Mean- IQM
[13] Median
[14] Mode

[15] discrimination function

سلطانی‌فر و حسین زاده لطفی [۵۹] فرآیند تحلیل سلسله مراتبی رای‌گیری را با استفاده از مدل (۴) طراحی و آن را برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم گیری در تحلیل پوششی داده‌ها به کار بردند. سلطانی‌فر و همکاران [۶۰] با استفاده از مدل رای گیری، مدل‌های مختلف رتبه‌بندی در تحلیل پوششی داده‌ها را اولویت‌بندی نموده و از این فرآیند برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری در تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نمودند. سلطانی‌فر و شاه قبادی [۶۱] بهترین مدل ثانویه در فرآیند کارایی متقاطع را با استفاده از مدل رای‌گیری (۴)، با دیدگاه خوشبینانه بدست آوردند. سلطانی‌فر [۶۲] مدل‌های مختلف وزن مشترک را با استفاده از مدل (۴) رتبه‌بندی نمودند. سلطانی‌فر و شاه‌قبادی [۶۳] با استفاده از مدل (۴) اقدام به دسته‌بندی ورودی‌ها و خروجی‌ها در تحلیل پوششی داده‌ها نمودند. شرفی و همکاران [۶۴] با در نظر گرفتن سطح نابرابر قدرت در بین رای‌دهندگاه و معرفی فرآیند رای‌گیری جدید، اقدام به رتبه‌بندی شرکت‌های صنایع پتروشیمی کردند. سلطانی‌فر [۶۵] با استفاده از مدل رای‌گیری گروهی ارائه شده توسط سلطانی‌فر (تحت چاپ) اقدام به طراحی روش تحلیل سلسله مراتبی گروهی نمود. ایزدخواه و فیروزی‌پور [۶۶] فرآیند رای‌گیری ارائه شده در مدل (۴) را برای ارزیابی پایداری تأمین کنندگان به کار بردند. در بخش بعد، در خصوص خروجی‌های نامطلوب در تحلیل پوششی داده‌ها و کارایی متقاطع در حضور چنین خروجی‌هایی، مطالبی ارائه خواهیم کرد.

۲-۴ کارایی متقاطع در حضور خروجی‌های نامطلوب

در مدل‌های DEA، همواره فرض بر آن است که خروجی‌های مشخص شده برای واحدهای تصمیم گیری به گونه‌ای هستند که افزایش آن‌ها باعث افزایش کارایی نسبی واحد تصمیم‌گیری می‌شود. به عبارتی این خروجی‌ها، مطلوب تلقی شده و نشان دهنده مدیریت مطلوب در واحد هستند؛ اما در دنیای واقعی همیشه این فرض برقرار نیست. گازهای سمی و آلوده تولیدی صنایع، پرداخت مالیات در مراکز تجـاری، وام‌های معوقه در بانک‌ها از جمله خروجی‌های یک واحد تصمیم‌گیری هستند که افزایش آن‌ها مطلوب هیچ مدیری نیست. به چنین خروجی‌هایی خروجی نامطلوب گویند. برای اعمال این واقعیت در ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری، پژوهش‌های فراوانی تاکنون صورت پذیرفته است. پیتمن [۶۷] مدل ارائه شده توسط کاوز و همکاران [۶۸] را به منظور ارزیابی در حضور خروجی‌های مطلوب و نامطلوب گسترش داد. فار و همکاران [۶۹] یک مدل غیرخطی برای افزایش خروجی‌های مطلوب و کاهش خروجی‌های نامطلوب ارائه دادند. سیفورد و ژو [۷۰] با رویکردی غیر مستقیم و انجام تغییراتی بر روی مدل CCR، حضور خروجی‌های نامطلوب را در ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیری در نظر گرفتند. این مدل توسط کریمی و خرم برای ارائه یک هدف ثانویه در فرآیند کارایی متقاطع به کار گرفته شد. چامبرز و همکاران [۷۱] رویکرد مستقیم را انتخاب نمودند که این رویکرد توسط چانگ و همکاران [۷۲] بسط داده شد. دونگ [۷۳] و همچنین لیو و همکاران [۷۴] نیز روش‌هایی برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری در حضور خروجی‌های نامطلوب ارائه دادند. مسلما در تمامی این مدل‌ها نیز بحث تمایز بین کاندیداهای کارا مطرح و استفاده از مدل‌های رتبه‌بندی مناسب، ضروری است. لیو و همکاران [۷۵] استفاده از کارایی متقاطع را برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری در تحلیل پوششی داده‌ها در حضور خروجی‌های نامطلوب ارائه دادند. خلاصه فرآیند ارائه شده توسط ایشان در ادامه ذکر خواهد شد.

مساله تشریح شده در بخش ۲-۲ که منجر به ارائه مدل (۱) شد را در نظر گیرید. فرض کنید علی‌رغم s خروجی مطلوب، k خروجی نامطلوب هم داشته باشیم. به عبارت دیگر فرض کنید $y_{rj}^{g}, (r = 1,2, \dots s)$ و $y_{pj}^{b}, (p = 1,2, \dots, k)$ به ترتیب خروجی‌های مطلوب و نامطلوب واحد تصمیم‌گیری jام باشد. مدل (۵) برای ارزیابی عملکرد چنین واحدهای تصمیم‌گیری ارائه گردید. که در این مدل $\widehat{\boldsymbol{y}}_p = -\boldsymbol{y}_p^b + \boldsymbol{w}_p, (p = 1,2, \dots, k)$ و $\boldsymbol{w}_p$، یک بردار n بعدی مناسب است که اجازه می‌دهد کلیه خروجی‌های نامطلوب منفی، مثبت شوند. همچنین α و β، پارامترهایی هستند که کوچکترین درصد ε_o^* را نشان می‌دهند و به ترتیب در ارزیابی متناظر خروجی‌های مطلوب و نامطلوب می‌توانند استفاده شوند.

$$
\begin{aligned}
&E_{oo}^{*} = \max \textstyle\sum_{r=1}^{s} \mu_{ro} y_{ro}^{g} + \sum_{p=1}^{k} \varphi_{po} \hat{y}_{po}^{b} \\
&s.t. \\
&\textstyle\sum_{i=1}^{m} \omega_{io} x_{io} = 1 \\
&\textstyle\sum_{r=1}^{s} \mu_{ro} y_{rj}^{g} + \sum_{p=1}^{k} \varphi_{po} \hat{y}_{pj}^{b} - \\
&\textstyle\sum_{i=1}^{m} \omega_{io} x_{ij} \le 0 \,;\, j = 1,2, \dots, n \\
&\textstyle\sum_{r=1}^{s} \mu_{ro} y_{ro}^{g} \ge \alpha \times \varepsilon_o^* \\
&\textstyle\sum_{p=1}^{k} \varphi_{po} \hat{y}_{po}^{b} \ge \beta \times \varepsilon_o^* \\
&\mu_{ro} \ge 0;\ r = 1,2, \dots, s. \\
&\varphi_{po} \ge 0;\ p = 1,2, \dots, k. \\
&\omega_{io} \ge 0;\ i = 1,2, \dots, m.
\end{aligned}
\qquad (۵)
$$

بالاخره ε_o^*، مقدار بهینه مدل (۶) خواهد بود.

$$
\begin{aligned}
&\varepsilon_o^{*} = \max \varepsilon_o \\
&s.t. \\
&\textstyle\sum_{i=1}^{m} \omega_{io} x_{io} = 1 \\
&\textstyle\sum_{r=1}^{s} \mu_{ro} y_{rj}^{g} + \sum_{p=1}^{k} \varphi_{po} \hat{y}_{pj}^{b} - \\
&\textstyle\sum_{i=1}^{m} \omega_{io} x_{ij} \le 0 \,;\, j = 1,2, \dots, n \\
&\textstyle\sum_{r=1}^{s} \mu_{ro} y_{ro}^{g} \ge \alpha \times \varepsilon_o \\
&\textstyle\sum_{p=1}^{k} \varphi_{po} \hat{y}_{po}^{b} \ge \beta \times \varepsilon_o \\
&\mu_{ro} \ge 0;\ r = 1,2, \dots, s. \\
&\varphi_{po} \ge 0;\ p = 1,2, \dots, k. \\
&\omega_{io} \ge 0;\ i = 1,2, \dots, m.
\end{aligned}
\qquad (۶)
$$

حال اگر $(\boldsymbol{\mu}_o^*, \boldsymbol{\varphi}_o^*, \boldsymbol{\omega}_o^*)$، جواب بهینه مدل (۵) باشد، کارایی متقاطع واحد تصمیم‌گیری jام با در نظر گرفتن واحد تصمیم‌گیری o، به عنوان واحد تحت ارزیابی، از طریق فرمول (۷) قابل محاسبه است.

$$
E_{oj} = \frac{\sum_{r=1}^{s} \mu_{ro}^{*} y_{rj}^{g} + \sum_{p=1}^{k} \varphi_{po}^{*} y_{pj}^{b}}{\sum_{i=1}^{m} \omega_{io}^{*} x_{ij}}; \quad j = 1,2, \dots, n \qquad (۷)
$$

در نهایت، از طریق محاسبه میانگین حسابی مقادیر فرمول (۷)، مقدار کارایی متقاطع هر واحد تصمیم گیری از طریق فرمول (۸)، محاسبه خواهد شد.

$$
\bar{E}_j = \frac{1}{n} \sum_{o=1}^{n} E_{oj} \,;\, j = 1,2, \dots, n \qquad (۸)
$$

این فرآیند توسط آقایی [۷۶] برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری در حضور خروجی‌های نامطلوب و عدم قطعیت داده‌ها، استفاده شد.

۳. روش پیشنهادی

در بخش ۲-۴، روش لیو و همکاران [۷۵] برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری در حضور خروجی‌های نامطلوب، با استفاده از ماتریس کارایی متقاطع ارائه شد. این روش نیز همانند روش کارایی متقاطع یادآوری شده در بخش ۲-۲، دارای دو نقص عمده است. نخست آنکه در حضور جواب‌های بهین دگرین، نتایج متفاوتی به دست می‌دهد؛ و دوم آنکه در استفاده از میانگین حسابی برای تجمیع نتایج ماتریس کارایی متقاطع دلیل قانع کننده‌ای ارائه نشده است. در این بخش، در خصوص تجمیع نتایج کارایی متقاطع در حضور خروجی‌های نامطلوب، روش جدیدی با الهام گرفتن از فرآیند رای‌گیری ترجیحی و ایده‌ی مطرح شده در روش تاپسیس،[16] ارائه شده است، به گونه‌ای که هر دو نقص ذکر شده را با تجمیع ایده‌های سایر پژوهشگران، پوشش دهد.

[16] TOPSIS

این روش در قالب مراحل ذیل پیشنهاد می‌گردد:

فرض کنید مجموعه‌ای از n واحد تصمیم‌گیری متجانس با m ورودی، s خروجی مطلوب و k خروجی نامطلوب در دست است. به عبارت دیگر فرض کنید برای واحد تصمیم‌گیری مفروض j، $x_{ij}, (i = 1,2, \dots m)$ و $y_{rj}^{g}, (r = 1,2, \dots s)$ به ترتیب ورودی‌ها، $y_{pj}^{b}, (p = 1,2, \dots, k)$ خروجی‌های مطلوب و خروجی‌های نامطلوب واحد تصمیم‌گیری jام باشد.

مرحله اول. مقدار کارایی نسبی واحد تصمیم‌گیری o، (o=1,2,…,n) را از حل مدل (۵) بیابید. فرض کنید E_{oo}^{*}، مقدار بهینه این مدل باشد.

مرحله دوم. مقدار کارایی متقاطع واحد تصمیم‌گیری jام با در نظر گرفتن واحد تصمیم‌گیری o، به عنوان واحد تحت ارزیابی، را از طریق فرمول (۹) یافته و ماتریس کارایی متقاطع جدول (۱) را تشکیل دهید. لازم به ذکر است این مدل، به عنوان مدل هدف ثانویه دیدگاه خوشبینانه، بر پایه مدل ارائه شده توسط دویل و گرین [۵۳] و برای پوشش دادن به نقص نخست مطرح شده در روش کارایی متقاطع، طراحی شده است.

$$E_{oj} = \max \sum_{r=1}^{s} \mu_{ro} y_{rj}^{g} + \sum_{p=1}^{k} \varphi_{po} \hat{y}_{pj}^{b}$$
$$s.t.$$
$$\sum_{i=1}^{m} \omega_{io} x_{ij} = 1 \qquad (۹)$$
$$\sum_{r=1}^{s} \mu_{ro} y_{ro}^{g} + \sum_{p=1}^{k} \varphi_{po} \hat{y}_{po}^{b} - E_{oo}^{*} \sum_{i=1}^{m} \omega_{io} x_{ij} = 0$$
$$\sum_{r=1}^{s} \mu_{ro} y_{rj}^{g} + \sum_{p=1}^{k} \varphi_{po} \hat{y}_{pj}^{b} - \sum_{i=1}^{m} \omega_{io} x_{ij} \le 0\,;\ j = 1,2, \dots, n, j \neq o$$
$$\sum_{r=1}^{s} \mu_{ro} y_{ro}^{g} \ge \alpha \times \varepsilon_{o}^{*}$$
$$\sum_{p=1}^{k} \varphi_{po} \hat{y}_{po}^{b} \ge \beta \times \varepsilon_{o}^{*}$$
$$\mu_{ro} \ge 0;\ r = 1,2, \dots, s.$$
$$\varphi_{po} \ge 0;\ p = 1,2, \dots, k.$$
$$\omega_{io} \ge 0;\ i = 1,2, \dots, m.$$

مرحله سوم. هر واحد تصمیم‌گیری را بر اساس نمره کسب شده آن در هر ستون، نسبت به واحد تصمیم‌گیری ستونی اولویت‌بندی کرده و نتایج اولویت‌بندی را در جدول (۲) تجمیع می‌نماییم، که در آن J_l^t، (t=1,2,...,n ،l=1,2,…,n)؛ مجموعه اندیسی است که در آن اندیس‌ها، واحد تصمیم گیری tام در اولویت lام قرار گرفته است.

مرحله چهارم. بر اساس مقاله ابراهیم‌نژاد و باقرزاده [۷۷] که الهام‌گرفته شده از روش تاپسیس[17] است، دو واحد تصمیم‌گیری ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی تعریف می‌کنیم، که ممکن است واحدهای تصمیم گیری مجازی باشند. این دو واحد تصمیم‌گیری، واحدهایی هستند که در ستون‌های ماتریس جدول (۲)، به ترتیب بزرگترین و کوچکترین کارایی متقاطع تجمیع‌شده را داشته باشند. جدول (۳) نشان‌دهنده این واحدها است.

جدول ۱. ماتریس کارایی متقاطع

	DMU1	DMU2	…	DMU0	…	DMUn
DMU1	E_{11}	E_{21}	…	E_{01}	…	E_{n1}
DMU2	E_{12}	E_{22}	…	E_{02}	…	E_{n2}
.	.	.	.		.	.
.	.	.	.		.	.
.	.	.	.		.	.
DMU0	E_{10}	E_{20}	…	E_{00}	…	E_{n0}
.	.	.				.
.	.	.	…		…	.
.	.	.				.
DMUn	E_{1n}	E_{2n}	…	E_{0j}	…	E_{nn}

[17] TOPSIS

جدول ۲. ماتریس اولویت‌بندی نتایج ماتریس کارایی متقاطع

	1^{th}	2^{th}	…	l^{th}	…	n^{th}
DMU1	$\sum_{j\in J_1^1} E_{j1}$	$\sum_{j\in J_2^1} E_{j1}$	…	$\sum_{j\in J_l^1} E_{j1}$	…	$\sum_{j\in J_n^1} E_{j1}$
DMU2	$\sum_{j\in J_1^2} E_{j2}$	$\sum_{j\in J_2^2} E_{j2}$	…	$\sum_{j\in J_l^2} E_{j2}$	…	$\sum_{j\in J_n^2} E_{j2}$
.	.	.	.		.	.
.	.	.	.		.	.
.	.	.	.		.	.
DMUt	$\sum_{j\in J_1^t} E_{jt}$	$\sum_{j\in J_2^t} E_{jt}$	…	$\sum_{j\in J_l^t} E_{jt}$	…	$\sum_{j\in J_n^t} E_{jt}$
.	.	.				.
.	.	.	…		…	.
.	.	.				.
DMUn	$\sum_{j\in J_1^n} E_{jn}$	$\sum_{j\in J_2^n} E_{jn}$	…	$\sum_{j\in J_l^n} E_{jn}$	…	$\sum_{j\in J_n^n} E_{jn}$

جدول ۳. واحدهای تصمیم‌گیری ایده‌آل مثبت و منفی

	1^{th}	2^{th}	…	l^{th}	…	n^{th}
Ideal DMU	$\max_t \sum_{j\in J_1^t} E_{jt}$	$\max_t \sum_{j\in J_2^t} E_{jt}$	…	$\max_t \sum_{j\in J_l^t} E_{jt}$	…	$\max_t \sum_{j\in J_n^t} E_{jt}$
Anti-Ideal DMU	$\min_t \sum_{j\in J_1^t} E_{jt}$	$\min_t \sum_{j\in J_2^t} E_{jt}$	…	$\min_t \sum_{j\in J_l^t} E_{jt}$	…	$\min_t \sum_{j\in J_n^t} E_{jt}$

مرحله پنجم. مدل رای‌گیری (۴) را برای تجمیع نتایج جداول (۲) و (۳)، به کار می‌بریم. فرض کنید $\bar{E}_j, j = 1,2,\dots,n$، نتیجه اجرای مدل (۴)، برای تجمیع نتایج جدول (۲) و $\bar{E}_-, \bar{E}_+$، نتیجه اجرای مدل (۴)، برای تجمیع نتایج جدول (۳)، باشد. لازم به ذکر است در مدل (۴)، می‌توان از توابع شدت تشخیص ارائه شده توسط نوگوچی و همکاران [۷۸] استفاده نمود.

مرحله ششم. رتبه‌بندی هر واحد تصمیم‌گیری را بر اساس نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل، که از طریق فرمول (۱۰)، قابل محاسبه است، می‌یابیم. بدیهی است واحدی که شاخص نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل در آن بیشتر باشد، در اولویت بهتری قرار خواهد گرفت.

$$cl_j = \frac{\bar{E}_j - \bar{E}_-}{(\bar{E}_j - \bar{E}_-) + (\bar{E}_+ - \bar{E}_j)} \qquad (۱۰)$$

۴. رتبه‌بندی تامین‌کنندگان با روش پیشنهادی

به منظور رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شرکت پارس خزر در مرحله اول شاخص‌های مناسب برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان با مطالعه مبانی نظری گردآوری شدند. از آنجایی‌که اهمیت شاخص‌های ارزیابی از صنعتی به صنعت دیگر متفاوت است، با توجه به نظر خبرگان (۱۰ نفر از مدیران ارشد شرکت پارس خزر)، ۹ شاخص دارای اهمیت بیشتر از میان شاخص‌های گردآوری شده، انتخاب گردیدند. در ادامه، شاخص‌های انتخاب شده با توجه به نظر خبرگان در قالب منظرهای چهارگانه کارت امتیازدهی متوازن(BSC[18])، طبقه‌بندی شدند. دسته‌بندی شاخص‌ها در قالب دو دسته ورودی‌ها و خروجی‌ها نشان می‌دهد که شاخص‌های ورودی به ترتیب شامل: هزینه عملیاتی (مالی)، کارایی سیستم (فرایند داخلی)، چابکی سیستم (فرایند داخلی) و ساعات آموزش (رشد و یادگیری) و شاخص‌های خروجی شامل: فروش (مالی)، رضایت مشتری (مشتری)، سهم بازار (مشتری)، کیفیت/ نقص در محصول (فرایند داخلی) و رضایت کارکنان (رشد و یادگیری) هستند که در این میان، "کیفیت/ نقص در محصول" عامل نامطلوب به‌شمار می‌رود. جدول

(۴) داده‌های مربوط به ارزیابی ۲۸ تأمین‌کننده شرکت پارس خزر را بر اساس شاخص‌های نهایی نشان می‌دهد. اجرای مدل (۵) و مدل (۹) بر روی داده‌های این جدول، نتایج جدول (۵) را به عنوان ماتریس کارایی متقاطع مساله به دنبال خواهد داشت. با پیاده‌سازی مرحله سوم و چهارم روش پیشنهادی، جدول (۶) و (۷) بدست خواهد آمد. در پایان مرحله پنجم که تعیین فاصله نسبی تا گزینه ایده‌آل و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری است در جدول (۶) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌کنید این روش موفق به حصول یک رتبه‌بندی کامل برای واحدهای تصمیم‌گیری شد که با توجه به حجم مساله در نوع خود قابل توجه است.

جدول ۴. شاخص‌های ارزیابی تامین‌کنندگان در قالب ورودی‌ها و خروجی‌ها[18]

واحد تصمیم گیرنده	ورودی‌ها				خروجی‌ها				
	هزینه عملیاتی	چابکی سیستم تولید	کارایی سیستم تولید	ساعات آموزش کارکنان	فروش	سهم نسبی بازار	رضایت مشتری	رضایت شغلی کارکنان	کیفیت (نقص در محصول)
1	740	4.02	21.9	60	1070	0.45	0.7	60	4500
2	570	3.12	25.8	70	750	0.29	0.75	90	1800
3	1330	3.82	14.6	74	1830	0.81	0.65	92	4400
4	840	3.87	18.7	79	1140	0.34	0.9	95	1300
5	890	3.72	19.2	68	1200	0.47	0.8	75	3150
6	1250	3.22	25.4	80	1690	0.64	0.85	80	9000
7	740	4.38	7.9	75	960	0.31	0.78	90	5400
8	670	4.18	14.3	67	1080	0.49	0.68	70	1100
9	680	2.82	16.3	64	1020	0.82	0.75	88	4050
10	1160	3.82	32.8	78	1600	0.61	0.73	90	3000
11	840	4.02	12.7	70	1130	0.39	0.8	65	4600
12	1160	3.32	16.1	72	1530	0.37	0.75	70	3700
13	810	3.97	24.6	65	1080	0.31	0.84	68	3800
14	810	4.48	11.1	67	1160	0.36	0.79	65	1250
15	520	2.87	31.3	60	820	0.16	0.92	70	1250
16	880	4.68	64.7	74	1325	0.40	0.65	72	5700
17	760	3.12	7.1	77	1050	0.35	0.7	69	7500
18	570	3.62	12.1	68	890	0.39	0.65	69	2300
19	590	3.47	21.7	71	860	0.28	0.82	66	3750
20	990	2.92	12.9	64	1440	0.75	0.6	65	1700
21	740	3.32	7.1	60	1020	0.40	0.62	62	1420
22	790	3.65	14.2	68	1130	0.45	0.70	82	1670
23	670	3.60	21.1	76	960	0.42	0.81	73	4480
24	800	3.82	10.8	69	1130	0.54	0.74	64	3500
25	700	3.55	30.6	73	1040	0.42	0.76	75	1600
26	1110	3.77	16.3	64	1420	0.64	0.85	68	2100
27	830	4.00	17.9	73	1170	0.41	0.67	70	5100
28	890	4.24	45.9	65	1240	0.51	0.68	64	6550

[18] Balance Score Card

جدول ۵. ماتریس کارایی متقاطع ارزیابی تامین‌کنندگان

	DMU 1	DMU 2	DMU 3	DMU 4	DMU 5	DMU 6	DMU 7	DMU 8	DMU 9	DMU 10	DMU 11	DMU 12	DMU 13	DMU 14
DMU1	0.96	0.5	0.39	0.76	0.96	0.44	0.24	0.48	0.39	0.95	0.81	0.68	0.96	0.66
DMU2	0.81	1	0.23	0.97	0.82	0.88	0.28	0.62	0.25	0.85	0.83	0.71	0.82	0.59
DMU3	0.96	0.36	1	0.68	0.99	0.49	0.45	0.32	0.47	1	0.74	0.89	0.99	0.51
DMU4	0.88	0.72	0.4	0.99	0.93	0.79	0.45	0.68	0.31	0.9	0.97	0.86	0.93	0.82
DMU5	0.92	0.53	0.48	0.84	0.95	0.62	0.34	0.56	0.44	0.92	0.91	0.84	0.95	0.74
DMU6	0.93	0.22	0.5	0.56	0.94	0.01	0.24	0.01	0.26	0.93	0.82	0.96	0.94	0.41
DMU7	0.82	0.54	0.47	1	0.9	0.34	1	0.44	0.24	0.85	1	0.77	0.9	0.7
DMU8	1	0.6	0.56	0.98	0.99	0.76	0.43	1	0.41	1	0.86	0.71	0.99	0.78
DMU9	1	0.71	0.53	1	1	0.69	0.47	0.6	1	1	1	0.95	1	0.81
DMU10	0.93	0.45	0.38	0.65	0.91	0.6	0.23	0.41	0.38	0.96	0.65	0.73	0.91	0.47
DMU11	0.89	0.46	0.6	0.84	0.94	0.45	0.45	0.47	0.34	0.87	0.99	0.84	0.94	0.78
DMU12	0.91	0.37	0.49	0.7	0.95	0.64	0.38	0.4	0.27	0.92	0.87	1	0.95	0.62
DMU13	0.91	0.52	0.29	0.81	0.94	0.51	0.24	0.47	0.26	0.89	0.89	0.75	0.94	0.71
DMU14	0.95	0.51	0.57	0.98	1	0.71	0.52	0.74	0.28	0.93	1	0.79	1	1
DMU15	1	0.77	0.15	1	1	1	0.18	0.57	0.12	0.97	1	0.82	1	0.68
DMU16	0.95	0.3	0.15	0.44	0.8	0.26	0.1	0.24	0.15	0.96	0.43	0.42	0.8	0.27
DMU17	0.84	0.39	0.48	0.78	0.88	0.21	0.71	0.19	0.32	0.84	0.98	0.9	0.88	0.53
DMU18	0.92	0.69	0.52	1	0.92	0.75	0.5	0.85	0.37	0.92	0.89	0.75	0.92	0.78
DMU19	0.88	0.66	0.28	0.88	0.89	0.59	0.27	0.57	0.27	0.85	0.93	0.78	0.89	0.71
DMU20	1	0.42	0.83	0.78	1	1	0.45	0.66	0.54	1	0.82	0.98	1	0.67
DMU21	0.91	0.53	0.66	1	0.96	0.94	0.7	0.82	0.42	0.92	0.98	0.88	0.96	0.92
DMU22	0.93	0.66	0.6	0.96	0.96	0.81	0.5	0.78	0.43	0.96	0.89	0.82	0.96	0.8
DMU23	0.88	0.62	0.37	0.84	0.88	0.5	0.3	0.52	0.4	0.86	0.89	0.78	0.88	0.7
DMU24	0.93	0.51	0.63	0.88	0.95	0.59	0.52	0.62	0.49	0.9	0.97	0.86	0.95	0.82
DMU25	0.92	0.68	0.28	0.8	0.88	0.79	0.22	0.64	0.3	0.92	0.75	0.69	0.88	0.55
DMU26	0.94	0.39	0.71	0.82	1	0.73	0.37	0.55	0.48	0.92	1	0.95	1	0.75
DMU27	0.89	0.46	0.46	0.72	0.89	0.39	0.34	0.4	0.35	0.9	0.76	0.71	0.89	0.64
DMU28	0.94	0.29	0.22	0.5	0.86	0.22	0.12	0.18	0.25	0.93	0.55	0.53	0.86	0.38

	DMU 15	DMU 16	DMU 17	DMU 18	DMU 19	DMU 20	DMU 21	DMU 22	DMU 23	DMU 24	DMU 25	DMU 26	DMU 27	DMU 28
DMU1	0.41	0.94	0.31	0.48	0.77	0.35	0.19	0.7	0.81	0.82	0.92	0.68	0.91	0.96
DMU2	0.7	0.77	0.2	0.68	0.87	0.2	0.2	0.88	0.86	0.73	0.84	0.52	0.85	0.77
DMU3	0.23	0.97	0.46	0.32	0.56	0.49	0.3	0.8	0.72	0.87	0.95	0.66	0.95	0.99
DMU4	0.61	0.86	0.42	0.73	0.89	0.32	0.33	0.94	0.94	0.88	0.89	0.61	0.89	0.87
DMU5	0.44	0.89	0.42	0.56	0.79	0.42	0.29	0.81	0.86	0.85	0.89	0.77	0.89	0.93
DMU6	0	0.92	0.34	0.01	0.63	0.01	0	0.49	0.76	0.8	0.94	0.33	0.93	0.95
DMU7	0.31	0.79	0.75	0.45	1	0.29	0.37	0.76	1	0.99	0.81	0.52	0.82	0.8
DMU8	0.51	1	0.5	0.89	0.92	0.48	0.52	0.92	0.94	1	1	0.73	1	0.94
DMU9	0.49	0.94	0.43	0.6	1	0.61	0.29	0.96	1	1	1	0.73	1	0.94
DMU10	0.35	0.94	0.23	0.41	0.55	0.32	0.17	0.73	0.67	0.72	0.94	0.56	0.93	0.94
DMU11	0.35	0.87	0.57	0.47	0.88	0.4	0.33	0.7	0.93	0.93	0.87	0.64	0.87	0.9
DMU12	0.31	0.91	0.47	0.43	0.63	0.4	0.31	0.69	0.78	0.83	0.9	0.64	0.91	0.95
DMU13	0.43	0.87	0.28	0.5	0.8	0.22	0.2	0.73	0.84	0.79	0.86	0.63	0.86	0.93
DMU14	0.55	0.93	0.65	0.75	0.92	0.38	0.58	0.88	0.96	1	0.9	0.71	0.91	0.96
DMU15	1	0.94	0.18	0.58	1	0.09	0.1	0.84	1	0.79	1	0.53	1	1
DMU16	0.24	0.97	0.1	0.26	0.43	0.11	0.05	0.47	0.5	0.51	0.95	0.29	0.93	0.91
DMU17	0.14	0.84	1	0.19	0.91	0.22	0.16	0.52	1	1	0.91	0.35	0.91	0.8

DMU18	0.56	0.92	0.51	1	1	0.45	0.51	0.85	1	1	0.97	0.62	0.97	0.85
DMU19	0.56	0.85	0.27	0.64	0.99	0.22	0.23	0.7	0.98	0.85	0.91	0.57	0.91	0.84
DMU20	0.34	1	0.5	0.59	0.67	1	0.53	0.84	0.81	0.93	1	0.73	1	1
DMU21	0.47	0.9	0.86	0.81	0.86	0.52	1	0.97	0.94	1	0.9	0.73	0.91	0.91
DMU22	0.5	0.92	0.51	0.8	0.82	0.53	0.48	1	0.89	0.92	0.93	0.72	0.94	0.91
DMU23	0.46	0.85	0.31	0.52	0.93	0.34	0.2	0.69	0.94	0.86	0.91	0.58	0.91	0.83
DMU24	0.46	0.91	0.67	0.62	0.91	0.56	0.48	0.76	0.95	1	0.91	0.74	0.91	0.91
DMU25	0.61	0.91	0.24	0.6	0.76	0.24	0.23	0.77	0.8	0.75	0.96	0.53	0.95	0.88
DMU26	0.42	0.9	0.52	0.54	0.75	0.67	0.4	0.8	0.84	0.88	0.87	1	0.87	1
DMU27	0.32	0.9	0.39	0.4	0.72	0.39	0.21	0.67	0.8	0.83	0.91	0.56	0.91	0.86
DMU28	0.19	0.93	0.15	0.28	0.53	0.19	0.05	0.49	0.59	0.6	0.9	0.43	0.88	0.94

جدول ۶. ماتریس اولویت‌بندی نتایج ماتریس کارایی متقاطع ارزیابی تامین‌کنندگان

	1^{th}	2^{th}	3^{th}	4^{th}	5^{th}	6^{th}	7^{th}	8^{th}	9^{th}	10^{th}	11^{th}	12^{th}	13^{th}	14^{th}
DMU1	0	0	0	0	2.87	0	0	0	0.95	2.6	0.39	0.92	0	0
DMU2	1	0.7	0	0.88	0	0.88	0.68	0	1.6	0	0	0	0.87	0
DMU3	1	1	0.97	0.99	0.47	2.93	2.33	0.95	0.45	0	0.66	0	1.56	0.87
DMU4	0	0	0.72	2.36	0	2.4	0.79	0	2.78	0	1.67	0	0.88	0
DMU5	0	0.77	0	0	0	0.44	0	0	0	0.42	1.55	3.66	1.37	3.88
DMU6	0	0	0.96	0	0	0	0.95	0	0.94	0	0.93	3.28	0	1.89
DMU7	3	0	1.75	1	0	0	0	0.99	0.37	0	0.54	0	0	0.7
DMU8	1	1.89	2	2.51	0.92	1	4.46	2.67	1.91	1.54	0.5	0	0.43	0
DMU9	4	3	4.57	1.71	3.49	0	0.94	0.47	0	2.57	0.6	0.69	0	0.43
DMU10	0	0	0	0	0	0	0.96	0.94	0.93	0.94	1.87	0.38	0	0
DMU11	0	0	0	0	0	2.16	0	0.78	0.93	0.78	1.24	0.88	1.57	0.84
DMU12	1	0	0	0	0	0	0	0.95	0	0	0	1.82	3.03	1.29
DMU13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.71	1.82	1.15
DMU14	2	0.58	2	1	2.65	0.96	4.26	1.55	1.64	0.93	0.71	0	0	0.38
DMU15	3	4.77	2	3	0.97	0.94	0	0	0	0.84	0	0	1.97	0
DMU16	0	0	0	0.97	0	0.96	0.95	0.95	0	0.93	0	0	0	0
DMU17	1	2.71	0	0	0	0.9	0	0.98	0.91	0	0	0	0.91	0
DMU18	3	1.85	0	0	4.13	1.07	0	0.85	2.48	0	0.52	0	2.21	0
DMU19	0	0	0	0	1.55	0.98	0.66	0.64	0	0	1.81	0.57	0.71	1.82
DMU20	7	4.36	0.53	1.73	0	0	0.66	0	0.84	1.43	0	1.03	0	0
DMU21	1	2.74	3.27	1.66	1	1.25	0.98	3.22	0	0	1.41	0.53	0	0.86
DMU22	1	0	0	1.59	1.34	1.28	1.53	3.79	2.42	0.96	2.78	0	0.93	1.71
DMU23	0	0	0	0	0	0.93	0	0	0.62	0.4	0	0.94	0.46	0.89
DMU24	0	0	2.05	1.75	0.63	0	1.48	0.95	0.62	3.35	1.91	2.25	0.91	0.93
DMU25	0	0	0.61	0	0	3.38	0	0.64	0	0	0.6	0	0	1.68
DMU26	2	0.67	1.71	2.43	1	0	0.52	0.4	0.94	1.48	0	1.68	0	0
DMU27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0.35
DMU28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.86	0.93	0.94	0	0

	15^{th}	16^{th}	17^{th}	18^{th}	19^{th}	20^{th}	21^{th}	22^{th}	23^{th}	24^{th}	25^{th}	26^{th}	27^{th}	28^{th}
DMU1	0.35	0.91	1.39	1.91	1.91	1.14	0.76	1.69	0	0	0	0.68	0	0
DMU2	0.86	0	0	0	1.11	0.2	0.59	0	0	1.67	1.16	0	4.19	2.35
DMU3	0	0	0	0	0	0.49	0	0	0	1.83	2.62	0	0	0
DMU4	0.42	0.61	2.16	0.71	0	0.9	1.77	0	1.74	0	0.88	0	0	0
DMU5	0	2.47	2.62	0	0	0.89	0	1.78	0	0	0	0	0	0

DMU6	0	0	0	0.34	0	0	1.62	0	1.13	0.76	0	1.47	0.33	0.27
DMU7	0	1.23	0	0.77	0.29	2.68	0	0.31	0.52	0.34	0	1.1	2.41	1.63
DMU8	0	0	0	0.86	0	0	0	0	0.71	0	0	0	0	0
DMU9	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU10	0.6	0	0.32	0.73	2.73	0.83	1.14	0.41	0.17	0.46	1.13	2.59	0	0
DMU11	2.22	0	0	0.35	2.29	0	2.04	0.87	0.87	1.74	0	0	0	0
DMU12	0	0.92	0.87	0	1.73	2.44	0.69	1.1	1.79	1	0	0	0	0
DMU13	0.43	2.67	2.88	0.98	1.66	0	1.6	1.67	0.79	0	0	1.71	0	0
DMU14	0.79	0.51	0	0.9	1.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU15	0	0.68	0	0	0	0	0	1.32	0	0	0.1	0.36	0.24	0.12
DMU16	0.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0.24	0.5	0.67	0.2	5.72
DMU17	0.48	1.23	0	0	0	0.78	0	0	1.14	0.16	2.28	3.02	0.54	0.84
DMU18	0.62	1.81	0	1.83	0	0.75	0	0	0.85	0	0	0	0	0
DMU19	0	1.6	0.85	0.57	0	1.24	2	0.27	1.16	1.7	0.85	0	0	0
DMU20	0	0	0.67	0	0.78	1.97	0.42	0.67	0	0	0	0	0	0
DMU21	0	0	2.72	1.83	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU22	1.71	0.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU23	4.21	1.38	1.36	0.3	1.01	0	0.37	0	0.69	3.49	1.68	0	0	0
DMU24	1.27	0.91	0.59	0.91	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DMU25	1.83	0	0.23	1.11	0.76	1.11	1.33	0.55	1.99	1.77	0.9	0	0	0
DMU26	2.38	1.24	0	1.74	0	0.75	0	0.39	0	0	1.73	0	0	0
DMU27	0	0	2.1	2.41	1.54	0.56	1.94	5.76	1.96	0.67	0	0	0	0
DMU28	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0.88	0	1.14	2.39	4.9	0

جدول ۷. واحدهای تصمیم‌گیری ایده‌آل مثبت و منفی ارزیابی تامین‌کنندگان

	1^{th}	2^{th}	3^{th}	4^{th}	5^{th}	6^{th}	7^{th}	8^{th}	9^{th}	10^{th}	11^{th}	12^{th}	13^{th}	14^{th}
	7	4.77	4.57	3	4.13	3.38	4.46	3.79	2.78	3.35	2.78	3.66	3.03	3.88
Anti Ideal-DMU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	15^{th}	16^{th}	17^{th}	18^{th}	19^{th}	20^{th}	21^{th}	22^{th}	23^{th}	24^{th}	25^{th}	26^{th}	27^{th}	28^{th}
	4.21	2.67	2.88	2.41	2.73	2.68	2.04	5.76	1.99	3.49	2.62	3.02	4.9	5.72
Anti Ideal-DMU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول ۸. نتایج نهایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در ارزیابی تامین‌کنندگان

	DMU 1	DMU 2	DMU 3	DMU 4	DMU 5	DMU 6	DMU 7	DMU 8	DMU 9	DMU 10	DMU 11	DMU 12	DMU 13	DMU 14
cl	0.089 137	0.141 907	0.198 962	0.129 418	0.097 393	0.072 226	0.254 6	0.284 338	0.494 727	0.065 331	0.0851	0.117 135	0.057 537	0.29495 8
رتبه	18	14	11	15	17	22	9	7	2	24	21	16	26	6

	DMU 15	DMU 16	DMU 17	DMU 18	DMU 19	DMU 20	DMU 21	DMU 22	DMU 23	DMU 24	DMU 25	DMU 26	DMU 27	DMU 28
cl	0.4213 18	0.059 6	0.1801 32	0.3255 54	0.0856 99	0.5765 85	0.2995 53	0.2006 24	0.0673 27	0.1543 53	0.0884 83	0.2589 11	0.0491 17	0.0414 05
رتبه	3	25	12	4	20	1	5	10	23	13	19	8	27	28

۵. نتیجه‌گیری

اهمیت نقش زنجیره تامین در دنیای کنونی بر هیچ محققی پوشیده نیست. رتبه‌بندی تامین‌کنندگان در مطالعه مسائل زنجیره تامین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها را برای این مهم انتخاب کردیم. اما از آنجا که مساله مورد بحث دارای یک خروجی نامطلوب بود، لذا به ناچار مدل‌های مناسب برای خروجی‌های نامطلوب را مورد مطالعه قرار داده و از یکی از بهترین و جدیدترین آنها برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری ایتفاده نمودیم. برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری در مورد بحث روش کارایی متقاطع انتخاب شد و سعی شد ضعف‌های این روش رتبه‌بندی با ارائه یک فرآیند جدید پوشش داده شود. در نهایت روش پیشنهادی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان شرکت پارس خزر مورد استفاده قرار گرفت و یک رتبه‌بندی کامل از واحدهای تصمیم‌گیری به‌دست آمد.

۶. سپاسگزاری

از انجمن ایرانی تحلیل پوششی داده‌ها جهت حمایت در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

فهرست منابع

1. Gupta P, Govindan K, Mehlawat MK, Kumar S (2016) Aweighted possibilistic programming approach for sustainable vendor selection and order allocation in fuzzy environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 86(58):1785–1804.

2. Kirschstein, T., Meisel, F. (2019). A multi-period multi-commodity lot-sizing problem with supplier selection, storage selection and discounts for the process industry. *European Journal of Operational Research*. 279: 393-406.

3. Jauhar, S. K. & Pant, M. (2017). Integrating DEA with DE and MODE for sustainable supplier selection. *Journal of Computational Science. Volume 21, July 2017, Pages 299-306.*

4. Kannan D, de Sousa Jabbour ABL, Jabbour CJC (2014) Selecting green suppliers based on GSCM practices: using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *European Journal of operational research*. 233(2):432- 447.

5. Dobos, I., Vörösmarty, Gyö. (2018). Inventory-related costs in green supplier selection problems with Data Envelopment Analysis (DEA), *International Journal of Production Economics* (2018), doi: 10.1016/ j.ijpe. 2018.03.022.

6. Zarbakhshnia, N., Jamali Jaghdani, (2018). Sustainable supplier evaluation and selection with a novel two stage DEA model in the presence of uncontrollable inputs and undesirable outputs: a plastic case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 97 (5-8): 2933-2945.

7. Bai, ch., Kusi-Sarpong, S., Badri Ahmadi H., Sarkis J. (2019): Social sustainable supplier evaluation and selection: a group decision-support approach, *International Journal of Production Research*, 2019.1574042.

۸. همایون‌فر، مهدی؛ امیر تیموری، علیرضا (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد متوازن تأمین‌کنندگان با رویکرد ترکیبی دیماتل- تحلیل پوششی داده‌ها در حضور عوامل نامطلوب. پژوهش‌های نوین در ریاضی. ۵ (۱۸): ۳۱-۴۸.

9. Badorf, F., Wagner, S. M., Hoberg, K.,Papier, F. (2019), How Supplier Economies of Scale Drive Supplier Selection Decisions, *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 55, Issue3, July 2019, Pages 45-67.

10. Anderson, T. R., Hollingsworth, K. B., Inman, L. B., (2002). The fixed weighting nature of a cross evaluation model. *Journal of Productivity Analysis*, 18(1), 249–255.

10. Rashidi, K., Cullinane, K., (2018). A Comparison of Fuzzy DEA and Fuzzy TOPSIS in Sustainable Supplier Selection: Implications for Sourcing Strategy, *Expert Systems With Applications*, doi: https:// doi.org/ 10.1016/ j.eswa.2018.12.025.

11. Van Weele, A. J. (2014). Purchasing and supply chain management: Analysis, strategy, planning and practice. (6th ed.) Cengage Learning EMEA.

12. Chai, J., Ngai, E. W.T. (2019). Decision-Making Techniques in Supplier Selection: Recent Accomplishments and What Lies Ahead, *Expert Systems With Applications* (2019), doi: https://doi.org/ 10.1016/ j.eswa.2019.112903.

13. Alikhani, R. Torabi, S.A. Altay N, Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria, *International Journal of Production*

Economics (2018), doi: 10.1016/ j.ijpe. 2018.11.018.

14. Wu, M.Y., Weng, Y.C. 2010. A study of supplier selection factors for high-tech industries in the supply chain. *Total Quality Management*, 21(4), 391-413.

15. Ho, W., Xu, X., Dey, P. K. 2010. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, *202*(1), 16-24.

16. Ellram, L.M. 1995. Total cost of ownership: an analysis approach for purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *25*(8), 4-23.

17. Rezaei, J., Nispeling, T., Sarkis, J., Tavasszy L. 2016. A supplier selection life cycle approach integrating traditional and environmental criteria using the best worst method. *Journal of Cleaner Production,* 135, 577-588.

18. Lehman, D., & O'Shaughnessy, J. (1982). Decision criteria used in buying different categories of products. *Journal of purchasing and materials management*, 18(1), pp.9-14.

19. Kiser, G. E., Rao, C. P., & Rao, S. R. (1975). Vendor Attribute Evaluations of Buying Center Members Other Than Purchasing Executives. *Industrial Marketing Management*, 4: pp_45-54.

20. Dempsy, W. A. (1978). Vendor selection and the buying process. *Industrial mraketing management*, 7(4), pp. 257-267.

21. Bilisik, M. E., Caglar, N., & Bilisik, O. N. (2012). A comparative performance analyze model and supplier positioning in performance maps for supplier selection and evaluation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58: 1434 – 1442.

۲۲. باورصاد، بلقیس، گنجعلی، سمیه، رحیمی، فرج الله، مهرابی، علی (۱۳۹۵). الگوی فرآیندی ارتقای عملکرد مالی شرکت بر اساس تولید به هنگام، چابکی و مدیریت کیفیت جامع. مطالعات مدیریت راهبردی. ۲۷ : ۱۰۷-۱۲۳.

23. Chai, J., Liu, J.N.K., Ngai, E.W.T. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems with Applications*, 40 (10), 3872-3885.

24. Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision making techniques and applications–Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications, 42*, 4126-4148.

25. Ghaemi Nasab, F., Rostamy-Malkhalifeh, M., (2010) Extension of TOPSIS for Group Decision-Making Based on the Type-2 Fuzzy Positive and Negative Ideal Solutions, *Int. J. Industrial Mathematics* Vol. 2, No. 3 (2010) 199-213.

۲۶. سیدبویر، سهیلا؛ مقبولی، مهناز، مطرود، فاطمه (۱۳۹۸). خروجی‌های با تأخیر زمانی: مدلی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها. پژوهش‌های نوین در ریاضی. ۵ (۲۰): ۷۱- ۸۰.

۲۷. محمدنژاد چاری، فاطمه؛ صفایی قادیکلایی، عبدالحمید (۱۳۹۵). شناسایی و رتبه بندی معیارهای انتخاب تامین کنندگان در زنجیره تامین لارج (مطالعه موردی: صنایع غذایی و لبنی کاله). مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن. ۱۳ (۴): ۱۰۲- ۱۲۰.

28. Rahmani, A., Hosseinzadeh Lotfi, F., Rostamy-Malkhalifeh, M., Allahviranloo, T., (2016). A New Method for

Defuzzification and Ranking of Fuzzy Numbers Based on the Statistical Beta Distribution, *Advances in Fuzzy Systems* Volume 2016, Article ID 6945184, 8 pages.

۲۹. عزیزی، حسین؛ امیرتیموری، علیرضا؛ فرضی پورصائن، رضا (۱۳۹۶). انتخاب تأمین‌کننده بزاساس دیدگاه‌های خوشبینانه و بدبینانه. مجله مدیریت توسعه و تحول. ۳۱: ۱۱-۲۰.

۳۰. دودکانلوی میلان، مهران، جعفرزاده قوشچی، سعید (۱۳۹۶). ارایه مدلی یکپارچه برای ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان بر مبنای زیان معیارها و ساختار ترجیحی تصمیم گیرنده. تحقیق در عملیات در کاربردهای آن. ۱۴ (۴): ۴۵-۶۵.

۳۱. فاضلی فارسانی, مهین, ذیگلری, فاطمه, اسدی, شهرام. (۱۳۹۴). بررسی عملکرد تامین کنندگان کالا و پیمانکاران زنجیره تامین شرکت گاز استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها . *فصلنامه علمی پژوهشی پژوهش‌های مدیریت راهبردی*، ۲۱(۵۸): ۱۰۱-۱۱۶.

۳۲. کرباسیان, مهدی, جوانمردی, محمد, خبوشانی, اعظم, زنجیرچی, محمود. (۱۳۹۰). کاربرد مدل (ISM) جهت سطح‌بندی شاخص‌های انتخاب تامین‌کنندگان چابک و رتبه‌بندی تامین‌کنندگان با استفاده از روش TOPSIS-AHPفازی .*مدیریت تولید و عملیات*. ۲ (۱): ۱۰۷-۱۳۴.

33. Fei, L., Deng, Y., Hu, Y. (2018). DS-VIKOR: A New Multi-criteria Decision-Making Method for Supplier Selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 21 (1): 157-175.

34. Jauhar SK, Pant M, Abraham A (2014) A novel approach for sustainable supplier selection using differential evolution: a case on pulp and paper industry. *In Intelligent Data analysis and its Applications*, Volume II (pp. 105-117). Springer, Cham

35. Raut RD, Kamble SS, Kharat MG, Joshi H, Singhal C, Kamble SJ (2017) A hybrid approach using data envelopment analysis and artificial neural network for optimising 3PL supplier selection. *Int J Logist Syst Manage* 26(2):203–223

36. Izadikhah M, Saen RF, Ahmadi K (2017) How to assess sustainability of suppliers in volume discount context? A new data envelopment analysis approach. *Transp Res Part D: Transp Environ* 51: 102–121.

37. Hatami-Marbini A, Agrell PJ, Tavana M, Khoshnevis P (2017) A flexible cross-efficiency fuzzy data envelopment analysis model for sustainable sourcing. *J Clean Prod* 142:2761–2779 .

38. Roostaee, R., Izadikhah, M., Hosseinzadeh Lotf, F., Rostamy-Malkhalifeh, M., (2012) A Multi-Criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making Method for Supplier Selection with VIKOR Method, *International Journal of Fuzzy System Applications*, 2(1), 1-17.

39. Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 1978; 2:429-44.

40. Nicole A, Lea F, Zilla SS. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European Journal of Operational Research* 2002; 140:249-65.

41. Andersen P, Petersen NC. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science* 1993;39(10):1261-94.

42. Mehrabian S, Alirezaee MR,

Jahanshahloo GR. A complete efficiency ranking of decision making units in data envelopment analysis. *Computational Optimization and Applications* 1999; 14:261-6.

43. Torgersen AM, Forsund FR, Kittelsen SAC. Slack-adjusted efficiency measures and ranking of efficient units. *The Journal of Productivity Analysis* 1996; 7: 379-98.

44. Friedman L, Sinuany-Stern Z. Scaling units via the canonical correlation analysis and the data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 1997;100(3):629-37.

45. Bardhan I, Bowlin WF, Cooper WW, Sueyoshi T. Models for efficiency dominance in data envelopment analysis. Part I: additive models and MED measures. *Journal of the Operations Research Society of Japan* 1996;39:322- 32.

46. Golany B. An interactive MOLP procedure for the extension of data envelopment analysis to effectiveness analysis. *Journal of the Operational Research Society* 1988; 39(8):725-34.

47. Sexton TR, Silkman RH, Hogan AJ. Data envelopment analysis: critique and extensions. In: Silkman RH, editor. Measuring efficiency: *an assessment of data envelopment analysis*, vol. 32. San Francisco: Jossey-Bass; 1986. p. 73-105.

48. Hosseinzadeh Lotfi, F., Rostamy-Malkhalifeh, M., Aghayi, N., Ghelej Beigi, Z., Gholami, K., (2013) An improved method for ranking alternatives in multiple criteria decision analysis, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (2013) 25-33.

49. Hosseinzadeh Lotf, F., Navabakhs, M., Tehranian, A., Rostamy-Malkhalifeh, M., Shahverdi., (2007) Ranking Bank Branches with Interval Data The Application of DEA, *International Mathematical Forum*, 2,2007,no.9,429–440.

50. Peykania, P., Mohammadi, E., Rostamy-Malkhalifeh, M., Hosseinzadeh Lotf, F., (2019) Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach for Ranking of Stocks with an Application to Tehran Stock Exchange, *Advances in mathematical finance & applications*, 4(1), (2019), 31-43.

51. Barzegarinegad, A., Jahanshahloo, G., Rostamy-Malkhalifeh, M., (2014) A Full Ranking for Decision Making Units Using Ideal and Anti-Ideal Points in DEA, Hindawi Publishing Corporation, *The Scientific World Journal*, Volume 2014, Article ID 282939, 8 pages.

52. Hosseinzadeh Lotfi, F., Jahanshahloo, G. R., Khodabakhshi, M., Rostamy-Malkhlifeh, M., Moghaddas, Z. Vaez-Ghasemi, M., (2013) A Review of Ranking Models in Data Envelopment Analysis, *Journal of Applied Mathematics*, Volume 2013, Article ID 492421, 20 pages.

53. Doyle, J., Green, R., (1994). Efficiency and cross efficiency in DEA: Derivations, meanings and the uses. *Journal of the Operational Research Society*, 45(5), 567 578.

54. Doyle JR, Green RH. Cross-evaluation in DEA: improving discrimination among DMUs. *INFOR* 1995; 33: 205-22.

55. Davtalab-Olyaie, M. (2018): A secondary goal in DEA cross-efficiency evaluation: A “one home run is much better than two doubles” criterion, *Journal of the Operational Research Society,* Volume 70, 2019 - Issue , Pages 807-816.

56. Zerafat Angiz, M. Mustafa, A.

(2014), Classifying Inputs and Outputs in Data Envelopment Analysis Based on TOPSIS Method and a Voting Model, *International Journal of Business Analytics* (IJBAN) 1 (2), 48-63.,

64. H. Sharafi, F. Hosseinzadeh Lotfi, Gh. Jahanshahloo, M. Rostamy-malkhalifeh, M. Soltanifar, S. Razipour-GhalehJough, Ranking of petrochemical companies using preferential voting at unequal levels of voting power through data envelopment analysis, *Mathematical Sciences*, volume 13, pages287–297(2019).

65. M. Soltanifar, (2017), A new group voting analytical hierarchy process method using preferential voting. *JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH AND ITS APPLICATIONS (JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS)*, Volume 14, Issue 3540016, Pages 1-13.

66. M. Izadikhah, R. Farzipoor Saen., (2019), Solving voting system by data envelopment analysis for assessing sustainability of suppliers, *Group Decis Negot* 28: 641.

67. Pittman, R. W., (1983). Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs. *Economic Journal*, 93 (372), 883-891.

68. Caves, D. W., Christensen, L. R., Diewert, E., (1982). Multilateral comparisons of output, input and productivity using superlative index numbers. *The Economic Journal*, 92 (365), 73-86.

69. Fare, R., Grosskopf, S., Lovell, C. A. K., (1989). Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach. *The Review of Economics and Statistics*, 71, 90– 98.

Kamali, M. J. Cross-ranking of Decision Making Units in Data Envelopment Analysis, *Applied Mathematical Modelling* 37 (2013) 398–405.

57. Cook, M. Kress, A. A data envelopment model for aggregating preference rankings, *Manage. Sci*. 36 (1990) 1302–1310.

58. Jahanshahloo, G.R., Sanei, M., Rostamy-Malkhalifeh, M., Saleh, H., (2009) A comment on "A fuzzy DEA/AR approach to the selection of flexible manufacturing systems", *Computers & Industrial Engineering*, Volume 56, Issue 4, May 2009, Pages 1713-1714.

59. M. Soltanifar and F. Hosseinzadeh Lotfi., (2011).The voting analytic hierarchy process method for discriminating among efficient decision making units in data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering* 60 (4), 585-592.

60. M. Soltanifar, A. Ebrahimnejad, MM. Farrokhi., (2010) Ranking of different ranking models using a voting model and its application in determining efficient candidates, *International Journal of Society Systems Science* 2 (4), 375-389.

61. M. Soltanifar, S. Shahghobadi, Selecting a benevolent secondary goal model in data envelopment analysis cross-efficiency evaluation by a voting model, *Socio-Economic Planning Sciences* 47 (2013) 65-74.

62. M. Soltanifar, (2011), Ranking of different common set of weights models using a voting model and its application in determining efficient DMUs, *International Journal of Advanced Operations Management* 3 (3-4), 290-308.

63. M. Soltanifar, S. Shahghobadi.,

70. Seiford, L. M., Zhu, J., (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142 (1), 16-20.

71. Chambers, R. G., Chung, Y., Fare, R., (1996). Benefit and distance function. *Journal of Economic Theory*,70(2),407-419.

72. Chung, Y. H., Fare, R., Grosskopf, S., (1997). Productivity and undesirable outputs a directional distance function approach. *Journal of Environmental Management,* 51 (3), 229-240.

73. Dong, G., (2013). A complete ranking of DMUs with undesirable outputs restrictions in DEA models. *Mathematical and Computer Modelling,*58(5-6),1102-1109

74. Liu, W., Zhongbao, Z., Ma, Ch., Liu, D., Shen, W., (2015). Two-stage DEA models with undesirable input intermediate-outputs. *Omega*, 56, 74- 87.

75. Liu, X., Chu, J., Yin, P., Sun, J., (2016), DEA cross-efficiency evaluation considering undesirable output and ranking priority: a case study of eco-efficiency analysis of coal-fired power plants, *Journal of Cleaner Production*, 142 (2), 1-9.

76. Aghayi, N. Ranking Efficient DMUs in Two-stage Network DEA with Common Weights method, *Journal of new researches in mathematics*, Volume 3, Issue 11, July and August 2017, Page 19-30.

77. A, Ebrahimnejad, M.R. Bagherzadeh, Data envelopment analysis approach for discriminating efficient candidates in voting systems by considering the priority of voters, *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics* Volume 45 (1) (2016), 165–180

78. Noguchi, H., Ogawa, M. Ishii, H. The appropriate total ranking method using DEA for multiple categorized purposes, *Journal of Computational and Applied Mathematics* 146 (1) (2002) 155–166.