

ارایه مدل ترکیبی کنترل موجودی تحت کنترل فروشنده همراه با انتخاب تأمین کننده سبز در شرایط عدم قطعیت

سارا رضایی^۱، مرضیه خاکستری^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی، دانشکده اقتصاد، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشگاه خوارزمی، دانشکده اقتصاد، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۲ دی ۱۳۹۶

پذیرش مقاله: ۵ شهریور ۱۳۹۸

چکیده

در دهه کنونی چگونگی تعیین مناسب ترین تامین کننده به عنوان یک عامل استراتژیک در زنجیره تامین مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. از طرفی دیگر، سازمان ها به بررسی اقدامات لازم جهت به کارگیری مدیریت زنجیره تامین سبز، برای بهبود عملکرد زیست محیطی و اقتصادی خود می پردازند. یک راه مهم برای پیاده سازی مدیریت زنجیره تامین سبز، تجدید نظر در روش های خرید می باشد. رویکرد مدیریت موجود توسط فروشنده یک ابتکار تجاری می باشد که تأمین کنندگان می توانند به موجودی در واحدهای نگهداری کالای خریداران رسیدگی کنند. در این تحقیق، یک مدل ریاضی دو هدفه برای یک مساله سیستم موجودی تحت کنترل فروشنده در زنجیره تامین سبز دو سطحی با دو تامین کننده و یک خریدار توسعه داده شده است. این مدل، هزینه سیستم موجودی تحت کنترل فروشنده را حداقل کرده و مقدار تابع هدف مربوط به ایجاد زنجیره تامین سبز را بیشینه می کند. سپس، مساله دو هدفه با روش معیار جامع تک هدفه سازی شده است و با مثال عددی به توصیف کارایی این مدل پرداخته شده است. الگوریتم اجرا شده نتایج خوبی را در زمان محاسباتی مناسب نشان داده است. همچنین با اتخاذ این رویکرد به تصمیم گیران و مدیران در انتخاب بهینه و کارا و کم هزینه (تعداد محصولات و تعداد خرده فروشان و سیکل های بازسازی و...) در بحث مدیریت موجودی توسط فروشنده کمک شایانی می شود.

کلمات کلیدی: مدیریت زنجیره تامین سبز، موجودی تحت کنترل فروشنده، مساله انتخاب تامین کننده، بهینه سازی چند هدفه.

۱ مقدمه

با پیشرفت در فرایندهای تولید و به کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع دریافته اند که برای ادامه حضور در بازارهای رقابتی تنها بهبود فرایندهای داخلی و انعطاف پذیری در توانایی های شرکت کافی نیست؛ بلکه تأمین کنندگان قطعات و مواد نیز باید موادی با بهترین کیفیت و کم ترین هزینه تولید کنند.

* عهده دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: m.khakestari@khu.ac.ir

توزیع کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه بازار تولید کننده داشته باشند. با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیره تأمین و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد. مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت مواد و جریان اطلاعات بین تسهیلاتی نظیر فروشندگان، تولید کنندگان، مونتاژ و مراکز توزیع می‌باشد [۱]. با ظهور بازارهای بین‌المللی و رشد آن‌ها، مدیریت زنجیره تأمین بیش تر مورد توجه قرار گرفته است.

جهان امروز با مسایلی چون گرم شدن زمین، انواع آلودگی‌ها، افزایش مقدار گازهای گلخانه‌ای و... مواجه است که این مسایل به طور بالقوه می‌تواند منجر به انقراض نوع بشر شود؛ بنابراین حفظ محیط زیست و استراتژی‌های مربوط به آن خیلی زود در اولویت برنامه‌ها، به عنوان یک نوآوری مهم سازمانی قرار گرفت. سازمان از یک طرف باید به سوددهی و مزیت رقابتی، از طرف دیگر به از بین بردن یا به حداقل رساندن ضایعات (انرژی، تولید گازهای گلخانه‌ای، شیمیایی/خطرناک، مواد زائد جامد) توجه می‌کرد. اینجا بود که ایده زنجیره تأمین سبز مطرح شد و خیلی زود نظر همگان را به خود جلب کرد.

مدیریت زنجیره تأمین سبز، یکپارچه کننده مدیریت زنجیره تأمین با الزامات زیست محیطی در تمام مراحل طراحی محصول، انتخاب و تأمین مواد اولیه، تولید و ساخت، فرایندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و بالاخره پس از مصرف، مدیریت بازیافت و مصرف مجدد برای بیشینه کردن میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین است [۲، ۳]. در این رویکرد کلیه اثرات بوم‌شناختی (علم عادت و نحوه زندگی موجودات و تعامل آن‌ها با محیط) هر فعالیت در مراحل مختلف عمر محصول مانند مفهوم محصول، طراحی، تهیه مواد خام، ساخت و تولید، مونتاژ، نگهداری، بسته‌بندی، حمل و نقل و استفاده مجدد محصول اندازه‌گیری و در طراحی محصول لحاظ می‌شود [۴].

مدیریت صحیح تأمین کنندگان از مهم‌ترین مسایل در حوزه زنجیره تأمین است؛ زیرا هزینه مواد خام و خرید، هزینه اصلی یک محصول را تشکیل می‌دهد و اغلب شرکت‌ها باید میزان قابل توجهی از درآمد خود را برای خرید از تأمین کنندگان صرف نمایند. از این رو برای شرکت‌هایی که درصد زیادی از درآمدهای فروش را برای خرید مواد و قطعات از تأمین کنندگان صرف می‌کنند و هزینه مواد سهم به سزایی از هزینه کل آن‌ها را شامل می‌شود، شناسایی و حفظ رابطه با تأمین کنندگان مناسب، امری بسیار مهم تلقی می‌شود، به طوری که حدود ۶۰ درصد زمان تولید کنندگان صرف تأمین مواد اولیه و قطعات می‌گردد. همچنین حدود ۷۰ درصد از هزینه‌های تولیدی شرکت‌ها به خرید کالا و خدمات مربوط می‌شود [۵].

یکی از مفاهیم معروف به کار گرفته شده در زنجیره تأمین، مدل‌های موجودی تحت کنترل فروشنده^۱ (VMI) می‌باشد [۶، ۷]. VMI برنامه‌ای است که به عنوان یکی از موفق‌ترین رویکردهایی است که یکپارچگی زنجیره تأمین را تقویت می‌کند. VMI یک رویکرد صنعتی برای همکاری زنجیره تأمین است که در آن تولید کننده موجودی در دست خرده‌فروش را مدیریت می‌کند و در مورد زمان و مقدار بازپرسازی تصمیم‌گیری می‌کند. تحت برنامه VMI، فروشنده قادر به تعیین زمان‌بندی و مقدار بازپرسازی است و به داده‌های مربوط به

¹ Vendor Managed Inventory - VMI

تقاضا و موجودی خرده فروش دسترسی دارد. متعاقباً، فروشنده می تواند برنامه های بلندمدت خود را هماهنگ کند و جریان روزبه روز کالاها و مواد را کنترل کند. از طرفی دیگر، خرده فروشان متحمل هزینه سفارش دهی نمی شوند و به وسیله توافقات قراردادی در برابر هزینه های اضافی موجودی محفوظ می مانند [۸].

با توجه به مطالعه و بررسی های صورت گرفته در بحث های مدیریت زنجیره تأمین و موجودی تحت کنترل فروشنده و انواع مدل های موجود و روش های حل آن ها، امروزه جایگاه بهینه سازی توابع چندهدفه و روش های حل بهینه آن ها در زمینه کنترل موجودی توسط فروشنده بسیار حایز اهمیت است. در این تحقیق سعی بر آن شده است تا ضمن بررسی و توسعه مدل سازی مساله انتخاب تامین کننده سبز و انتخاب روش معیار جامع از بین روش های حل بهینه سازی چندهدفه به نتایجی کاربردی و عملکردی دست یابیم.

۲ پیشینه پژوهش

سارکیس^۱ در سال ۲۰۰۲، در مقاله ای تحت عنوان "ارزیابی شیوه های کسب و کار آگاه به محیط زیست"، شیوه های تجارت منطق با محیط زیست را به ۵ جزء اصلی طبقه بندی کرد: طراحی برای محیط زیست (طراحی سبز)، تجزیه و تحلیل چرخه عمر، مدیریت زیست محیطی کیفیت جامع، زنجیره تأمین سبز و گواهینامه های مربوط به محیط زیست مانند ایزو ۱۴۰۰۰ [۳]. چيو و همکاران^۲ در سال ۲۰۰۸، برای انتخاب تأمین کنندگان سبز از شش معیار و ۲۴ زیرمعیار و روش تحلیل سلسله مراتبی^۳ فازی استفاده کرده اند. این پژوهش به مقایسه میزان اهمیت انتخاب تأمین کنندگان سبز در صنایع الکترونیک امریکا، ژاپن و تایوان در چین پرداخته است [۹]. لی^۴ و همکاران در سال ۲۰۰۹، در پژوهش خود، در ابتدا با استفاده از روش دلفی معیارهای ارزیابی تأمین کنندگان سنتی و سبز شناسایی کردند و سپس از روش AHP برای تعیین اهمیت معیارهای انتخاب شده و عملکرد تأمین کنندگان سبز استفاده کردند. در نهایت پس از به دست آوردن اوزان شاخص ها، روش تاپسیس^۵ فازی را برای انتخاب بهترین تأمین کننده به کار گرفته اند [۱۰]. هسو^۶ و همکاران در سال ۲۰۱۳، به شناسایی معیارهای مؤثر بر مدیریت کردن جهت بهبود عملکرد تأمین کنندگان در مدیریت زنجیره تأمین سبز پرداختند و با توجه به روابط متقابل بین معیارها، روش دیمتل^۷ را برای بررسی اهمیت و رابطه علی بین متغیرها به کار گرفتند [۱۱]. یه و چوآننگ^۸ در سال ۲۰۱۱، در مقاله ای تحت عنوان "استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای انتخاب تأمین کننده در مشکلات زنجیره تأمین سبز"، دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه را برای انتخاب تأمین کننده سبز توسعه دادند که شامل ۴ موضوع هزینه، زمان، کیفیت محصول و نمره ارزیابی سبز می شود [۱۲]. کنان^۹ و همکاران در سال ۲۰۱۳، از روش تاپسیس فازی برای رتبه بندی تأمین کنندگان در زنجیره تأمین سبز در یک شرکت الکترونیکی برزیلی

¹ Sarkis

² Chiou

³ Analytical Hierarchy process - AHP

⁴ Lee

⁵ Topsis

⁶ Hsu

⁷ Decision Making Trial and Evaluation - DEMATEL

⁸ Yeh and Chuang

⁹ Kenan

استفاده کردند [۱۳]. گاویندان^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۳، ابتدا معیارهای سنتی و زیست محیطی با بررسی متون و بر اساس نیاز شرکت مشخص کردند. سپس روش طراحی بدیهی فازی نیازهای تولید کننده و تأمین کننده را ارزیابی کردند و در نهایت با توجه به چند گانه بودن معیارها از یک مدل بهینه سازی چند هدفه فازی استفاده کردند [۱۴].

قربانپور و همکاران در مطالعه ای برای کاهش خطرات محیطی، افزایش عملکرد زیست محیطی و دستیابی به مزیت رقابتی در حوزه صنایع نفتی ایران، به ارایه یک مدل ساختاری اقدامات مدیریت زنجیره تأمین سبز پرداختند. [۴]

همایونفر و همکاران در سال ۱۳۹۷، رویکرد ترکیبی MADM فازی را ارایه دادند که در آن از روش دلفی فازی برای شناسایی معیارهای انتخاب تأمین کننده سبز استفاده کردند و سپس با استفاده از AHP فازی اولویت بندی معیارها را انجام دادند و بعد از آن بر اساس روش ویکور فازی اقدام به انتخاب تأمین کننده در شرکت سایپا به عنوان مطالعه موردی نمودند [۱۵].

از آنجایی که رویکرد مدیریت موجودی توسط فروشنده در کنترل موجودی به عنوان یک سیاست بهینه ساز معرفی شده است و همچنین کمبود پژوهش در حوزه انتخاب تأمین کننده با توجه به مسایل زیست محیطی، این پژوهش به ارایه یک مدل ترکیبی کنترل موجودی با مدل انتخاب تأمین کننده سبز در یک زنجیره تأمین دو سطحی می پردازد. در این تحقیق یک مدل ریاضی دو هدفه برای حل یک مساله VMI در زنجیره تأمین دو سطحی با دو تأمین کننده و یک خریدار همراه با چند محصول فرموله و توسعه داده شده است. این مدل پویای ریاضی از نوع غیرخطی است که هزینه سیستم VMI را حداقل کرده و تابع هدف مربوط به ایجاد زنجیره تأمین سبز را بیشینه می کند.

۳ بیان مساله

انتخاب تأمین کنندگان یکی از کلیدی ترین تصمیمات در زنجیره تأمین است که تأثیر به سزایی بر هزینه های تولید محصول خواهد داشت. از سویی اهمیت حفظ محیط زیست، توجه دولت ها مشتریان و سازمان ها را به خود جلب نموده و منجر به اهمیت یافتن رعایت الزامات زیست محیطی در تولید محصولات گشته است از آنجایی که بخش عمده ای از مواد و اجزای تشکیل دهنده محصولات از تأمین کنندگان بیرونی تأمین می شوند توجه به معیارهای زیست محیطی در فرایند تأمین مهم می نماید. در این تحقیق، یک مدل ریاضی دو هدفه برای حل مساله سیستم موجودی تحت کنترل فروشنده VMI در زنجیره تأمین دو سطحی با دو تأمین کننده و یک خریدار توسعه داده شده است. این مدل، هزینه سیستم VMI را حداقل کرده و مقدار سود مربوط به ایجاد زنجیره تأمین سبز را ماکزیمم می کند.

¹ Govindan

۴ روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در دو فاز انجام می‌گیرد. در فاز اول، تعدادی تأمین‌کننده شناسایی می‌شود. در ادامه با استفاده از روش تاپسیس که از روش‌های تصمیم‌گیری معیارهای چندگانه^۱ می‌باشد، تأمین‌کنندگان اولویت‌بندی می‌شوند و تعدادی با اولویت بالاتر انتخاب می‌شوند. سپس وارد فاز دوم می‌شویم. در این فاز، به ارایه یک مدل ترکیبی کنترل موجودی با مدل انتخاب تأمین‌کننده سبز در یک زنجیره تأمین دو سطحی و با وجود چند محصول و برای بیشینه کردن سود و کمینه کردن هزینه‌های زنجیره می‌پردازیم. زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک خریدار و تعدادی تأمین‌کننده (به‌دست آمده از فاز اول) می‌باشد. مدل ریاضی ارایه شده از نوع مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی است. در این مدل ریاضی فرض شده است که هزینه نگهداری فروشنده کم‌تر از خریدار می‌باشد. افزون بر آن، فروشنده از یک تأمین‌کننده بیرونی سفارش کالا می‌دهد. در این مدل به جای آنکه مشتری میزان موجودی خود را کنترل نموده و اقدام به سفارش‌دهی نماید، تأمین‌کننده این کار را انجام می‌دهد. فرمول‌بندی مساله، مدل‌های ارایه شده در گذشته را توسعه می‌دهد تا بسیاری از ویژگی‌های دیگر زنجیره تأمین برای ارایه مدلی واقع‌بینانه‌تر را در برگیرد. در این پژوهش، دوره بازپرسازی معمول به ازای تأمین‌کننده و خریدارانش در نظر گرفته شده است. سپس مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار GAMS به حل جواب بهینه می‌پردازد. در آخر، مثال عددی جهت نشان دادن کاربردی بودن مدل پیشنهادی و رویکرد حل آن مورد بررسی قرار گرفته می‌شود. در ادامه فازهای تحقیق و زیربخش‌های آن تشریح می‌گردد.

۴-۱ فاز اول: انتخاب تأمین‌کنندگان

یک زنجیره تأمین دوسطحی را در نظر بگیرید که شامل یک خریدار و چندین تأمین‌کننده است. ظرفیت تأمین تأمین‌کنندگان نیز محدود می‌باشد و مواد اولیه مختلف را با یک نرخ ثابت تأمین می‌کنند به گونه‌ای که هر تأمین‌کننده یک نوع مواد اولیه موردنیاز خریدار را تأمین می‌کند و سپس مواد اولیه‌شان را با یک دوره بازپرسازی مشترک به صورت پیوسته به خریدار می‌دهد. هر تأمین‌کننده در فاصله معینی نسبت به خریدار قرار دارد. هدف از این فاز تعیین تأمین‌کنندگان منتخب می‌باشد. بدین منظور از روش‌های تصمیم‌گیری معیارهای چندگانه استفاده می‌شود. در این تحقیق از روش TOPSIS برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده می‌شود.

۴-۱-۱ معیارهای انتخاب تأمین‌کننده سبز

هو^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۵، با بررسی مقالات موجود در زمینه ارزیابی تأمین‌کنندگان در بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ معیارهای مورد استفاده در انتخاب تأمین‌کنندگان را اولویت‌بندی کرده‌اند [۹]. در تحقیق آن‌ها معیارهای کیفیت، زمان تحویل‌دهی و قیمت به ترتیب پرکاربردترین معیارها هستند که در این فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

¹ Multi Criteria Decision Making

² Ho

۴-۱-۲ روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش های تصمیم گیری چندمعیاره چارچوبی است که به تصمیم گیرندگان از میان مجموعه ای متناهی از متغیرها (یا اقدامات یا اشیا یا راه حل ها یا کاندیدها) با توجه به معیارها (یا صفات یا ویژگی ها) یک یا چند مورد را به طور آگاهانه توصیه می کند. یکی از این روش ها، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. AHP از مقایسات زوجی در کنار قضاوت کارشناس برای سنجش ویژگی های کیفی یا ناملموس استفاده می کند [۱۶، ۱۷]. روش دیگری که در این تحقیق استفاده می شود، روش تاپسیس است. منطق زیربنای روش TOPSIS تعریف راه حل های ایده آل مثبت و ایده آل منفی است و اساس آن بر این است که گزینه منتخب کوتاه ترین فاصله را تا راه حل ایده آل داشته باشد [۱۸]. در این تحقیق، ابتدا با استفاده از روش AHP برای معیارهای بیان شده در زیربخش قبل وزن دهی صورت می گیرد و سپس با استفاده از روش تاپسیس^۱ اقدام به اولویت بندی می کنیم تا تأمین کنندگان منتخب مشخص شوند و در فاز دوم مقدار سفارش برای آن ها تعیین می شود.

۴-۲ فاز دوم: تعیین مقدار سفارش برای تأمین کنندگان منتخب

در فاز اول، تأمین کنندگان بر اساس معیارهای کیفیت، زمان تحویل دهی و قیمت اولویت بندی می شوند. سپس از میان آن ها تعدادی را انتخاب می کنیم و برای فاز دوم برای آن ها مقدار سفارش تعیین می کنیم. خریدار و تأمین کنندگان در بازارهای مشخصی فعالیت می کنند و هیچ گونه رقابتی در مقابل یکدیگر وجود ندارد. از آنجایی که سیستم VMI در این سیستم در جریان است هر کدام از تأمین کنندگان منتخب بر روی داده های مربوط به موجودی خریدار نظارت دارند. هر کدام از تأمین کنندگان مواد اولیه خاصی را تأمین می کنند. هدف از این فاز تعیین مقدار سفارش مواد اولیه از تأمین کنندگان می باشد. بدین منظور مدلی ریاضی توسعه داده شده است.

• مدل ریاضی

• مفروضات مساله

مفروضات زیر برای مدل مربوطه در نظر گرفته می شود:

۱. سیستم شامل یک خریدار و دو تأمین کننده می باشد.

۲. کاهش کیفیت کالا در طول مسیر (در مراکز توزیع تغییر کیفیت رخ نمی دهد).

۳. هر تأمین کننده تنها یک نوع خاص از مواد اولیه را تأمین می کند.

۴. مجاز نبودن کمبود در مدل

۵. در نظرگیری افق زمانی یک ساله

در ادامه برای ارایه مدل ریاضی پارامترها، متغیرها، اهداف و محدودیت ها مساله بیان می شود.

• اندیس ها

اندیس های به کار گرفته شده در این مطالعه به شرح زیر می باشند:

j : اندیس مربوط به مواد اولیه ($j = 1, 2, \dots, J$)

¹ Topsis

• پارامترها

پارامترهای تعریف شده در این مطالعه به شرح زیر می باشند:

T_j : هزینه به کارگیری تامین کننده برای تامین محصول j ام

D_j : میزان تقاضا برای محصول j ام

A_j : هزینه سفارش دهی محصول j ام

h_j : هزینه نگهداری محصول j ام

C_j : هزینه خرید محصول j ام

L_j : حداقل میزان سفارش از محصول j ام

U_j : حداکثر میزان سفارش از محصول j ام

N_j : ضریب مربوط به زیست تخریب پذیر ($0 \leq N_j < 1$)

M_j : ضریب مربوط به تکنولوژی پاک ($0 \leq M_j < 1$)

• متغیرهای تصمیم

Q_j : مقدار سفارش از محصول j ام

y_{j1} : یک، اگر محصول j ام توسط تامین کننده ۱ تامین شود؛ صفر، در غیر این صورت.

y_{j2} : یک، اگر محصول j ام توسط تامین کننده ۲ تامین شود؛ صفر، در غیر این صورت.

• مدل ریاضی مساله

$$\min Z_{VMI} = \sum_{j \in J} \left[\frac{\tilde{D}_j}{Q_j} A_j + \frac{h_j}{r} Q_j + C_j Q_j + T_j (y_{j1} + y_{j2}) \right] \quad (1)$$

$$\max Z_{GSC} = \sum_{j \in J} N_j Q_j (y_{j1} + y_{j2}) + \sum_{j \in J} M_j Q_j (y_{j1} + y_{j2}) \quad (2)$$

s.t.

$$L_j \leq Q_j \leq U_j \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} Q_j \leq V \quad (4)$$

$$y_{j1} + y_{j2} = 1 \quad (5)$$

$$Q_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$y_{j1}, y_{j2} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (7)$$

تابع هدف (۱)، مربوط به هزینه ایجاد سیستم VMI می باشد که شامل هزینه های سفارش دهی تامین کنندگان،

هزینه نگهداری موجودی تقبل شده توسط تامین کنندگان، هزینه تامین مواد اولیه توسط تامین کنندگان می باشد.

تابع هدف (۲) مربوط به ایجاد زنجیره تامین سبز می شود. محدودیت (۳)، محدودیت مربوط حداقل مقدار و

حداکثر مقدار برای سفارش دهی به ازای هر محصول را از تأمین‌کنندگان نشان می‌دهد. محدودیت (۵) حداکثر مقدار سفارش دهی کل را محدود می‌کند. محدودیت (۶) و (۷) علامت متغیر مساله را نشان می‌دهد. حال برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در مساله از رویکرد منطق فازی استفاده می‌شود که پارامتر تقاضا به صورت عدد فازی دوزنقه‌ای در نظر گرفته می‌شود که باید با نماد $\tilde{D}$ ، در مدل مشخص شود.

۵ روش حل

با توجه به این که مدل ریاضی پیشنهادی در بخش‌های قبلی دارای بعد کمی می‌باشد، برای حل مساله به‌طور دقیق در ابعاد کوچک از نرم‌افزار GAMS و حل‌کننده CPLEX استفاده شده است. از طرفی از آنجایی که مدل دوهدفه می‌باشد، از طریق روش معیار جامع برای حل مدل بهینه‌سازی دو هدفه اقدام می‌شود و سپس به تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده خواهیم پرداخت.

• روش معیار جامع

روشی که در این تحقیق برای حل مدل مورد استفاده قرار گرفته است، روش معیار جامع می‌باشد. منظور از این روش حداقل کردن انحراف توابع هدف موجود در یک مدل چند هدفه نسبت به حل ایده‌آل آن‌هاست. از آنجاکه ممکن است هیچ جواب منحصر به فردی که برای تمامی توابع بهینه باشد وجود نداشته باشد، هر تابع هدف به‌طور مجزا بهینه‌سازی می‌گردد. سپس در مدل، فاصله این توابع هدف با جواب‌های ایده‌آل کمینه می‌گردد. یک مساله برنامه‌ریزی دو هدفه بیشینه‌سازی را در نظر می‌گیریم و فرض کنید که f_1^* و f_2^* حل‌های بهینه هر یک از توابع هدف وقتی می‌باشند که به‌صورت تکی در مدل ظاهر شوند. در روش معیار جامع، فاصله متریک L-P به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$L - P = \text{Min} \left[\left(\frac{f_1^* - f_1}{f_1^*} \right)^p + \left(\frac{f_2^* - f_2}{f_2^*} \right)^p \right]^{1/p} \quad (8)$$

با قرار دادن فاصله L-P متریک به‌جای دو تابع هدف مدل برنامه‌ریزی دو هدفه مزبور را می‌توان به‌وسیله الگوریتم‌های مرسوم حل برنامه‌ریزی خطی و یا غیرخطی حل نمود [۱۹].

۶ مثال عددی

در این بخش جهت درک بهتر روش ارایه شده یک مثال عددی ارایه می‌گردد. فرض کنید یک واحد صنعتی جهت ارزیابی تأمین‌کنندگان خود برای خرید محصول A، ۶ گزینه دارد که باید از بین آن‌ها با توجه به معیارهای ذکر شده در بخش ۴-۱، بهترین گزینه (ها) را انتخاب نماید، که این چارچوب پس از تعیین سلسله مراتب وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش AHP و رتبه‌بندی گزینه‌ها توسط روش TOPSIS انجام می‌گیرد. اطلاعات مربوط به هر تأمین‌کننده در قالب معیارهای ۷ گانه تدوین می‌گردد. این اطلاعات که ماتریس تصمیم را

تشکیل می‌دهند در جدول ۱ آورده شده است. داده‌های این جدول به عنوان اطلاعات پایه در گام‌های بعدی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

جدول ۱. ماتریس تصمیم

کد زیر معیار	معیارهای محصولی			معیارهای زیست محیطی			
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7
عنوان زیر معیار	کیفیت	زمان تحویل	قیمت	وضعیت مدیریت	طراحی سبز	داشتن بازایافت	خرید مواد و تکنولوژی
تأمین کننده ۱	۰/۰۵	۴۵	۵۰	۵	۳	۳	۳
تأمین کننده ۲	۰/۰۳	۳۰	۴۸	۳	۳	۵	۵
تأمین کننده ۳	۰/۰۶	۴۰	۴۵	۳	۵	۱	۷
تأمین کننده ۴	۰/۰۵	۴۰	۵۰	۱	۱	۳	۳
تأمین کننده ۵	۰/۰۳	۴۷	۵۲	۷	۵	۳	۵
تأمین کننده ۶	۰/۰۴	۳۰	۴۶	۱	۳	۱	۳

۶-۱ تعیین وزن معیارها و زیر معیارها

مطابق روش AHP، اوزان معیارها، پس از تشکیل ماتریس‌های مقایسات زوجی معیارها و زیر معیارها به دست می‌آید که در جداول ۲ تا ۵ آورده شده‌اند.

جدول ۲. وزن زیر معیارهای محصولی

	SC1	SC2	SC3	M1	W1
SC1	۱	۲	۲	۱/۵۹	۰/۴۹
SC2	۰/۵	۱	۲	۱/۰۰	۰/۳۱
SC3	۰/۵	۰/۵	۱	۰/۶۳	۰/۲۰

جدول ۳. وزن معیارها

	C1	C2	M1	W1
C1	۱	۳	۱/۷۳	۰/۷۵
C2	۰/۳۳	۱	۰/۵۸	۰/۲۵

جدول ۴. وزن زیر معیارهای زیست محیطی

	SC4	SC5	SC6	SC7	M1	W1
SC4	۱	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۰۶
SC5	۵/۰۰	۱	۰/۳۳	۳/۰۰	۱/۴۹	۰/۲۷
SC6	۷/۱۴	۳	۱	۴/۰۰	۳/۰۵	۰/۵۵
SC7	۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۱	۰/۷۱	۰/۱۳

جدول ۵. وزن نهایی زیر معیارها

وزن نهایی زیر معیار	وزن نسبی زیر معیار	کد زیر معیار	وزن معیار	کد معیار
۰/۳۷	۰/۴۹	SC1	۰/۷۵	C1
۰/۲۳	۰/۳۱	SC2		
۰/۱۵	۰/۲۰	SC3		
۰/۰۱	۰/۰۶	SC4	۰/۲۵	C2
۰/۰۷	۰/۲۷	SC5		
۰/۱۴	۰/۵۵	SC6		
۰/۰۳	۰/۱۳	SC7		

۲-۶ رتبه بندی گزینه ها با روش TOPSIS

پس از تعیین وزن نهایی معیارها و زیر معیارها رتبه بندی گزینه ها بر اساس روش TOPSIS انجام می گردد. نتایج در جدول ۶ تا ۸ آمده است.

جدول ۶. ماتریس بی مقیاس

زیر معیار	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7
تأمین کننده ۱	۰/۴۶	۰/۴۷	۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۲۷
تأمین کننده ۲	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۴۰	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۶۸	۰/۴۵
تأمین کننده ۳	۰/۵۵	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۵۷	۰/۱۴	۰/۶۲
تأمین کننده ۴	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۴۱	۰/۲۷
تأمین کننده ۵	۰/۲۷	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۴۱	۰/۴۵
تأمین کننده ۶	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۱۰	۰/۳۴	۰/۱۴	۰/۲۷

جدول ۷. ماتریس وزن دار

وزن	۰/۴۸	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۰۳
زیر معیار	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7
تأمین کننده ۱	۰/۱۶۸۹	۰/۱۰۹۲	۰/۰۶۱۷	۰/۰۰۷۲	۰/۰۲۲۸	۰/۰۵۶۰	۰/۰۰۸۵
تأمین کننده ۲	۰/۱۰۱۳	۰/۰۷۲۸	۰/۰۵۹۳	۰/۰۰۴۳	۰/۰۲۲۸	۰/۰۹۳۳	۰/۰۱۴۲
تأمین کننده ۳	۰/۲۰۲۷	۰/۰۹۷۰	۰/۰۵۵۶	۰/۰۰۴۳	۰/۰۳۸۵	۰/۰۱۸۷	۰/۰۱۹۹
تأمین کننده ۴	۰/۱۶۸۹	۰/۰۹۷۰	۰/۰۶۱۷	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۷۶	۰/۰۵۶۰	۰/۰۰۸۵
تأمین کننده ۵	۰/۱۰۱۳	۰/۱۱۴۰	۰/۰۶۴۲	۰/۰۱۰۱	۰/۰۳۸۰	۰/۰۵۶۰	۰/۰۱۴۲
تأمین کننده ۶	۰/۱۳۵۱	۰/۰۷۲۸	۰/۰۵۶۸	۰/۰۰۱۴	۰/۰۲۲۸	۰/۰۱۸۷	۰/۰۰۸۵
ایده ال	۰/۱۰۱۳	۰/۰۷۲۸	۰/۰۵۵۶	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۷۶	۰/۰۱۸۷	۰/۰۰۸۵
ضد ایده ال	۰/۲۰۲۷	۰/۱۱۴۰	۰/۰۶۴۲	۰/۰۱۰۱	۰/۰۳۸۰	۰/۰۹۳۳	۰/۰۱۹۹

پس از تهیه ماتریس وزن دار و محاسبه نقاط ایده‌ال و ضد ایده‌ال مطابق رابطه شاخص محاسبه می‌شود و در نهایت رتبه نهایی معیارها مشخص می‌شود.

جدول ۸. رتبه‌بندی نهایی معیارها

رتبه نهایی	CL	d_i^+	d_i^-	
۶	۰/۳۸	۰/۰۹	۰/۰۵	تأمین کننده ۱
۳	۰/۵۹	۰/۰۸	۰/۱۱	تأمین کننده ۲
۵	۰/۴۱	۰/۱۱	۰/۰۸	تأمین کننده ۳
۴	۰/۴۴	۰/۰۸	۰/۰۶	تأمین کننده ۴
۲	۰/۶۳	۰/۰۶	۰/۱۱	تأمین کننده ۵
۱	۰/۷۵	۰/۰۴	۰/۱۱	تأمین کننده ۶

نتایج حاکی از آن است که تأمین کننده ۶ بالاترین رتبه را میان تأمین کنندگان کسب نموده است. و پس از آن تأمین کننده ۵ حایز رتبه دوم شده است. تأثیر معیار کیفیت که بافاصله نسبتاً زیادی از سایر معیارها بیش‌ترین وزن را به خودش اختصاص داده است بر انتخاب گزینه‌ها کاملاً مشهود است همچنین در میان معیارهای زیست‌محیطی معیار قابلیت بازیافت محصولات که وزن بالایی میان معیارها دارد در انتخاب میان گزینه‌های ۲ و ۵ به عنوان گزینه دوم تأثیرگذار بوده و منجر به انتخاب گزینه ۵ به عنوان گزینه دوم شده است؛ لذا باآنکه وزن معیارها زیست‌محیطی در مقابل معیار اصلی کیفیت ناچیز است؛ اما در شرایط یکسان کیفی این معیارها تأثیر خود را نشان داده‌اند.

۶-۳ تنظیم پارامترهای مدل پیشنهادی

داده‌های مربوط به پارامترها با استفاده از نرم‌افزار گمز به صورت فرضی و تصادفی با روش توزیع یکنواخت کدنویسی شده و به دست آمده‌اند. در جدول ۹ بازه‌های داده‌های تصادفی مشاهده می‌شوند.

جدول ۹. بازه‌های داده‌های تصادفی

پارامترها	دامنه تغییرات
$\tilde{D}$	(۱۲۰۰-۱۸۰۰-۱۰۰۰-۲۰۰۰)
C_i	(۱۵۰-۲۵۰)
A_i	(۵۰-۱۰۰)
h_i	(۲۰-۳۰)
N_i	(۰-۱)
M_i	(۰-۱)
T_i	(۳۰-۴۰)
L_i	(۱-۱۰)
U_i	(۵۰۰-۸۰۰)

نحوه انتخاب بازه‌های داده‌ها و پارامترهای مدل توسعه یافته با توجه به نظر نخبگان به دست آمده است. جهت دیفازی کردن عدد فازی مربوط به تقاضا از رویکرد یاگر استفاده می‌شود [۲۰].

حال جهت اعمال محدودیت‌های دی فازی سازی توسط یاگر^۱ داریم:

$$D = \left\lfloor \frac{(\tilde{D}^l + \tilde{D}^u)}{2} + \frac{(\tilde{D}^B - \tilde{D}^a)}{4} \right\rfloor$$

$$= \left\lfloor \frac{(1200 + 1800)}{2} + \frac{(2000 - 1000)}{4} \right\rfloor = 1750$$

با وارد کردن داده‌های ورودی در مدل کدنویسی شده نتایج عددی حاصل می‌شود که در ادامه بیان شده است.

۶-۴ محاسبات عددی

برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی یک روش حل دقیق مورد نیاز است. به همین منظور و با توجه به غیرخطی بودن مدل، در این تحقیق از نرم افزار گمز با موتور حل BARON برای یافتن جواب استفاده می‌شود. در این تحقیق برای نشان دادن کاربردی بودن مدل پیشنهادی، (۱۰) مثال عددی با اندازه‌های متفاوتی از محصولات نهایی توسط داده‌های تصادفی جدول ۹ انتخاب شده‌اند. مثال‌های عددی با نرم افزار GAMS 24.3.3 توسط لپ تاپ با مشخصات فنی AMD FX-8800P با CPU 3.4 GHZ، RAM 8GB، حل شده‌اند.

۶-۵ اعمال روش معیار جامع

در مدل پیشنهادی دو نوع تابع هدف داریم:

۱- حداقل سازی هزینه سیستم VMI (Z_{VMI}) و ۲- حداکثر سازی ایجاد زنجیره تأمین سبز (Z_{GSC})

در این روش با فرض $P=1$ و با توجه به کدنویسی آن در نرم افزار گمز، ابتدا نرم افزار مقادیر بهینه هر یک از توابع هدف را بدون در نظر گرفتن دیگری حل می‌کند و سپس طبق رابطه (۸) و با جای گذاری توابع هدف و مقادیر بهینه آن‌ها در این رابطه، تبدیل به مدل تک هدفه می‌شود (که در گمز به عنوان Z_{GAMS} تعریف شده است) و جواب بهینه نسبی برای مثال‌های مختلف به دست می‌آید. درصد میزان انحراف از مقدار بهینه به صورت رابطه (۹) محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که تابع هدف روش معیار جامع از نوع حداقل سازی است و به صورت بازه‌ای بین صفر و یک می‌باشد؛ بنابراین Z_{L-P}^* برابر با صفر است.

$$\% \text{Deviation Obj.} = \frac{Z_{GAMS} - Z_{L-P}^*}{Z_{GAMS}} \times 100 \quad (9)$$

با افزودن داده‌های ورودی و پس از حل، مقادیر تابع هدف بهینه روش معیار جامع حاصل از این مثال‌ها با CPU times آن‌ها به دست می‌آید و درصد انحراف از L-P متریک بهینه محاسبه می‌گردد. نتایج در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

¹ Yager

جدول ۱۰. نتایج حاصل از حل مدل

شماره مثال	%Diviation Obj.	CPU times
۱	۴/۲۱۳۵۴۵	۰/۰۳۱
۲	۵/۳۲۱۳۷۱	۰/۰۱۵
۳	۳/۳۸۲۴۲۲	۰/۱۲
۴	۳/۸۵۷۴۹۸	۰/۱۹
۵	۳/۴۲۷۰۸۶	۱/۲۲۸
۶	۲/۸۴۱۸۷۷	۱/۹۲۹
۷	۲/۴۰۷۰۲۷	۲/۳۰۱
۸	۲/۵۶۵۴۹۹	۲/۸۸۷
۹	۲/۱۶۸۱۸۳	۵/۴۵۷
۱۰	۲/۱۶۸۱۸۳	۸/۷۲۱

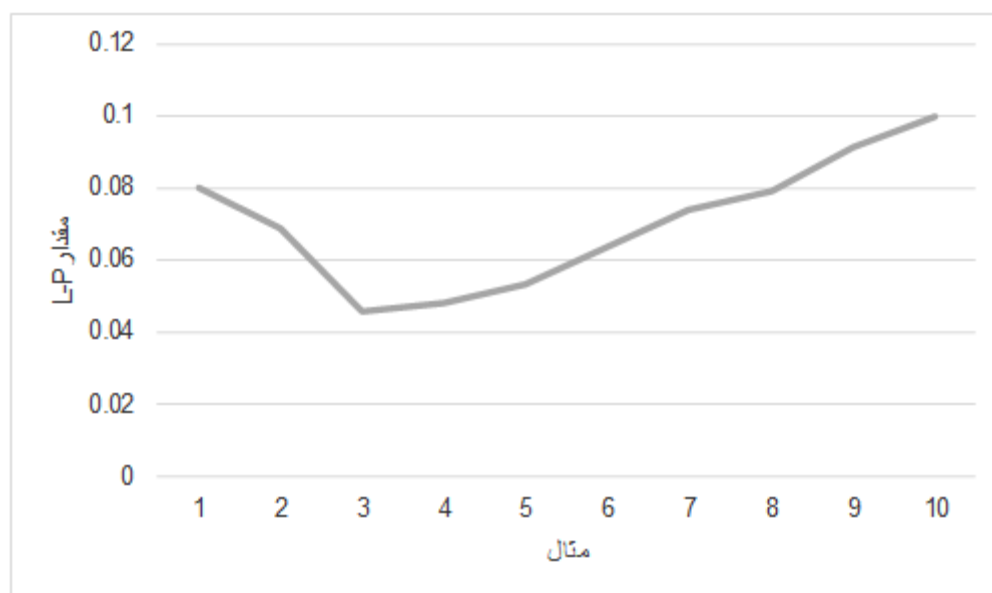
در این جدول به ازای تعداد متفاوتی از محصولات، تابع هدف بهینه حاصل از روش معیار جامع به دست آمده است. جدول فوق مقایسه بین درصد انحراف از L-P متریك بهینه و CPU times را نشان می‌دهد که با افزایش تعداد محصولات، CPU times افزایش می‌یابد. این روند افزایشی نشان‌دهنده منطقی بودن حل مدل می‌باشد.

در جدول ۱۱ ده نمونه عددی را به تفکیک مقادیر دو هدفه توابع نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌دانید Z_{VMI} همان تابع هدف اول مقدار بهینه هزینه سیستم VMI و Z_{GSC} تابع هدف دوم مقدار بهینه مربوط به ایجاد زنجیره تأمین سبز مدل پیشنهادی است. از آن‌جا که نمی‌توان همزمان دو تابع هدف را بهینه کرد، بر اساس مقدار Z_{L-P}^* می‌توان بهترین حالت را برای حل مساله پیدا کرد.

جدول ۱۱. توابع هدف مثال‌های مورد بررسی

شماره مثال	Z_{VMI}	Z_{GSC}	Z_{L-P}^*
۱	۱۷۵۰۴/۸۶۸	۲۹۵۷/۳۰۲	۰/۰۸۱۶۸۱۸۳
۲	۱۵۶۳۲/۳۲۵	۳۱۵۰/۲۳۰۰	۰/۰۶۴۰۷۰۲۷
۳	۱۴۶۵۰/۲۸۹	۲۵۶۹/۴۵۲	۰/۰۴۴۲۷۰۸۶
۴	۱۴۹۱۴/۳۸۵	۳۰۱۴/۰۱۲	۰/۰۵۵۶۵۴۹۹
۵	۱۱۵۶۶/۹۳۱	۲۶۴۲/۸۸۶	۰/۰۶۸۴۱۸۷۷
۶	۸۴۳۳/۲۴۶	۲۴۰۳/۴۱۲	۰/۰۷۳۸۲۴۲۲
۷	۸۶۵۸/۹۵۴	۲۴۹۱/۹۵۸	۰/۰۷۹۳۷۴۹۳
۸	۴۲۴۶/۱۰۳۲	۲۰۵۵/۳۵۶	۰/۰۸۲۱۱۳۵۴۵
۹	۶۰۱۲/۳۶۸	۲۳۶۵/۱۵۴	۰/۰۹۳۵۷۴۹۸
۱۰	۳۲۶۸/۹۸۴	۲۲۳۹/۸۴۷	۰/۰۹۸۲۱۳۷۱

در شکل ۱ مقادیر L-P متریک‌های مثال‌های عددی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، مثال ۳، مقدار کم‌ترین را دارد.



شکل ۱. مقدار Z_{L-P}^* به ازای مثال‌های مختلف

۷ نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این تحقیق یک مدل ریاضی دو هدفه برای حل یک مساله VMI در زنجیره تأمین دو سطحی با دو تولید کننده و یک خریدار همراه با چند محصول فرموله و توسعه داده شده است. این مدل پویای ریاضی از نوع غیرخطی است که هزینه سیستم VMI را حداقل کرده و مقدار مربوط به ایجاد زنجیره تأمین سبز را نیز بیشینه می‌کند. سپس، مساله دو هدفه با روش معیار جامع تک هدفه‌سازی شده است و چندین مثال عددی برای توصیف کفایت این استراتژی ارایه شده است. الگوریتم اجرا شده نتایج خوبی را در زمان محاسباتی مناسب نشان داده است. همچنین با اتخاذ این رویکرد به تصمیم گیران و مدیران در انتخاب کارا و کم هزینه در بحث مدیریت موجودی توسط فروشنده کمک شایانی می‌شود.

زمینه‌های متعددی برای توسعه مدل ارایه شده وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مواردی نظیر فازی نمودن پارامترهای تابع تقاضا به صورت‌های دیگر نظیر مثلثی و استفاده از دیگر روش‌های حل مسایل چند هدفه یا تلفیق آن‌ها اشاره نمود. حل و بهینه‌سازی این گونه مدل‌ها با استفاده از توان‌های بالاتر روش معیار جامع نیز می‌تواند در کارا بودن جواب‌ها مؤثر باشد. در نظر گرفتن زمان تدارک غیرصفر، علاوه بر این با توجه به غیرخطی بودن مدل چند هدفه ارایه الگوریتم و نتایج محاسباتی می‌تواند یک مطالعه ارزشمند برای رسیدن به جواب‌های بهتر باشد. با افزایش تعداد سطوح زنجیره تأمین، در نظر گرفتن حالت فازی برای برخی از پارامترها، استفاده از دیگر روش‌های حل فرا ابتکاری و مطالعه توابع تقاضای دیگر برای مدل ارایه شده می‌تواند آن را به واقعیت نزدیک‌تر سازد.

منابع

- [۵] پویا، ع.، علیزاده، ع.، (۱۳۹۳). حل مساله انتخاب تامین کننده با استفاده از مدل ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی - ویکور. پژوهش‌های مدیریت منابع انسانی، (۴)، ۴۶-۲۳.
- [۱۵] همایون فر، م.، گودرزوند چگینی، م.، دانشور، ا.، (۱۳۹۷). الویت بندی تامین کنندگان زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد ترکیبی MCDM فازی. تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضی کاربردی)، ۱۵ (۲)، ۶۱-۴۱.
- [1] Thomas, D. J., Griffin, P. M. (1996). Coordinated supply chain management. *European journal of operational research*, 94(1), 1-15.
- [2] Sarkis J., Talluri S. (2002). A model for strategic supplier selection. *Journal of Supply Chain Management*, 38(1), 18-28.
- [3] Ghorbanpoor A, Pooya A, Nazemi S, Najiazimi Z. (2017). The Design Structural Model of Green Supply Chain Management Practices to Using Fuzzy Interpretive Structural Modeling Approach. *Journal of Operational Research and Its Applications*, 13 (4), 1-20.
- [4] Farahani, Z. R., Asgari, N., Davarzani, H. (2009). Supply chain and logistics in national, international and governmental environment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-7908-2156-7_2.
- [6] Disney, S. M., Towill, D. R. (2002). A procedure for the optimization of the dynamic response of a Vendor Managed Inventory system. *Computers & Industrial Engineering*, 43(2), 27-58.
- [7] Cheung, K. L., Lee, H. L. (2002). The Inventory Benefit of Shipment Coordination and Stock Rebalancing in a Supply Chain. *Management Science*, 48(2), 300-306.
- [8] Guan, R., Zhao, X. (2010). On contracts for VMI program with continuous review (r, Q) policy. *European Journal of Operational Research*, 207(2), 656-667.
- [9] Ho, W., Xu, X. Dey, P.K., (2015). Multi-criteria decision-making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 16-24.
- [10] Lee A.H., Kang H.Y., Hsu C.F., Hung H.C. (2009). A Green Supplier Selection model for High-Tech Industry. *Expert systems with applications*, 36, 7917-7927.
- [11] Hsu C.W., Kuo T.C., Chen C.H., Hu A.H. (2013). Using DEMATEL to develop a Carbon Management Model of supplier selection in Green Supply Chain Management. *Journal of cleaner production*, 36, 164-172.
- [12] Griffin, A., (1997). PDMA research on new product development practices: updating trends and benchmarking best practices. *Journal of Product Innovation Management*, 14, 429-458.
- [13] Kannan D., Jabbour A., Jabbour C. (2013). Selecting green suppliers based on GSCM practices: using Fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *European Journal of operational research*, 233, 432-447.
- [14] Govindan K., Kannan D., Rajendran S. (2013). Fuzzy Axiomatic Design approach based green supplier selection: a case study from Singapore. *Journal of cleaner production*, 1-15.
- [16] Chiou C.Y., Hsu C.W., Hwang W.Y. (2008). Comparative investigation on Green Supplier Selection of the American, Japanese and Taiwanese electronics industry in China. *International conference on IE&EM, IEEE 8-11 Dec, 1909-1914*.
- [17] Amiri M, Hadinejad F, malekkhoyan S. (2017). Evaluation and Prioritization of Suppliers Adopting a Combined Approach of Entropy, Analytic Hierarchy process, and Revised PROMETHEE (Case Study: YOUTAB Company). *Journal of Operational Research and Its Applications*, 14 (4), 1-20
- [18] Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods. In *Multi-criteria decision making methods: A comparative study*, Springer, Boston, MA. 5-21.
- [19] Marler, R. T., & Arora, J. S. (2004). Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Structural and multidisciplinary optimization*, 26(6), 369-395.
- [20] Yager, R. R. (1981). Concepts, theory, and techniques a new methodology for ordinal multiobjective decisions based on fuzzy sets. *Decision Sciences*, 12(4), 589-600.