

ارایه مدل یکپارچه انتخاب تأمین کننده سبز در زنجیره تأمین ناب-چابک

فرزاد فولادی^۱، مرضیه خاکسترو^{۲*}

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

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

رسید مقاله: ۲۳ مهر ۱۳۹۷

پذیرش مقاله: ۲۹ خرداد ۱۳۹۹

چکیده

یک راه مهم برای پیاده‌سازی مدیریت زنجیره تأمین سبز، تجدیدنظر در روش‌های خرید است. در دهه کنونی چگونگی تعیین مناسب ترین تأمین کننده به عنوان یک عامل استراتژیک در زنجیره تأمین مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. ویژگی‌های تأمین کننده ناب شامل هزینه کم و کیفیت بالا و ویژگی‌های تأمین کننده چابک سرعت، انعطاف‌پذیری و کیفیت می‌باشد. این تحقیق در دو فاز به انجام رسیده است. در فاز اول از طریق روش ترکیبی تحلیل سلسه مراتبی (AHP) و ویکور (VIKOR) و با استفاده از معیارهای سبز، تأمین کنندگان رتبه‌بندی شدند. سپس در فاز دوم، مدلی چهار هدفه طراحی گردید که شامل چهار هدف کمینه‌سازی هزینه زنجیره تأمین، کمینه‌سازی میزان دیر کرد در تحويل(چابک)، کمینه‌سازی میزان ضایعات (ناب) و بیشینه‌سازی توجه به مسائل زیست محیطی می‌باشد. در ادامه، مساله چهار هدفه با روش معیار جامع تک هدفه سازی شده است و چندین مثال عددی به توصیف این استراتژی پرداخته است. الگوریتم اجرا شده نتایج خوبی را در زمان محاسباتی مناسب نشان داده است.

کلمات کلیدی: انتخاب تأمین کننده، زنجیره تأمین سبز، استراتژی ناب-چابک، عدم قطعیت.

۱ مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت مواد و جریان اطلاعات بین تسهیلاتی نظیر فروشندگان، تولیدکنندگان، مونتاژ و مرآکر توزیع می‌باشد [۱]. با ظهور بازارهای بین‌المللی و رشد آن‌ها، مدیریت زنجیره تأمین بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

انتخاب تأمین کننده، فرآیندی است که طی آن، تأمین کنندگان برای قرار گرفتن در زنجیره تأمین شرکت مورد بازنگری، ارزیابی و انتخاب قرار می‌گیرند. در واقع هدف کلی در فرآیند انتخاب تأمین کنندگان، کاهش خطرپذیری خرید، حداکثرسازی ارزش کل خرید و ایجاد روابط نزدیک و بلندمدت بین خریداران

* عهده‌دار مکاتبات

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

تأمین کنندگان می‌باشد. بنابراین انتخاب تأمین کننده به عنوان یک موضوع اساسی در حوزه زنجیره تأمین، در عملکرد کل زنجیره تأمین تأثیرگذار خواهد بود [۲].

مدیریت زنجیره تأمین پایدار سبز به عنوان یک فلسفه مهم سازمانی برای دستیابی به سود شرکت و اهداف سهم بازار از طریق کاهش خطرات و اثرات زیست محیطی و در عین حال بهبود کارایی زیست محیطی این سازمانها و شرکای آنها پدید آمده است [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 مسائل 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 [۲].

استراتژی ناب، یک جریان ارزش را از تأمین کننده به مشتری نهایی توسعه می‌دهد. استراتژی چابک به معنای استفاده از دانش بازار و مفهوم یک شرکت مجازی به منظور بهره‌برداری از فرصت‌های سودآور در بازارهای ناپایدار است [۵]. استراتژی ناب-چابک، ترکیبی از استراتژی‌های ناب و چابک در کل زنجیره تأمین است. اکثر شرکت‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که به منظور ایجاد زنجیره تأمین اثربخش و کارآ نیازمند به سنجش عملکرد استراتژی‌های متفاوت زنجیره تأمین هستند [۶].

تولید ناب سیستم تولیدی توتیو تا می‌باشد که بینان گذار و مغز متفکر آن تایی چی او هنود بود. فلسفه تولید ناب، حذف هر نوع فعالیت بدون ارزش افزوده می‌باشد. اصول تولید ناب شامل حذف ضایعات، عیوب صفر، تیم‌های چند منظوره، کاهش لایه‌های سازمانی، رهبری تیمی، بهبود مستمر و سیستم کششی می‌باشد [۷].

پاسخگویی بیشتر به نیازهای بازار فقط نیازمند سرعت نیست، بلکه همچنین نیازمند سطح بالای توانمندی مانور است که امروزه تحت بیانیه چابکی عنوان می‌شود. هدف از تولید چابک اغتائی مشتری و تولید محصول طبق نیاز او، اهرمی کردن اثر اطلاعات و افراد، تسلط بر تغییرات و عدم اطمینان و افزایش رقابت‌پذیری از طریق همکاری می‌باشد. پارادایم تولید چابک، چارچوب تکنیکی و استراتژی لازم را فراهم می‌کند و به شرکت‌ها اجازه می‌دهد رفتاری تطبیق‌پذیر و انعطاف‌پذیر با توجه به پدیدار شدن الگوهای جدید تقاضا در بازار رقابتی داشته باشند [۷].

با توجه به مطالعه و بررسی‌های صورت گرفته در بحث‌های مدیریت زنجیره تأمین و تولید ناب-چابک و انواع مدل‌های موجود و روش‌های حل آنها، امروزه جایگاه بهینه‌سازی توابع چنددهفه و روش‌های حل بهینه آنها

بسیار حائز اهمیت است. به دلیل فقدان مطالعات پیشین در زمینه مدل‌های چهار هدفه غیرخطی‌ای که بتوان به روش معیار جامع و توسط نرم‌افزار گمز به حل و بهینگی آن پرداخت، در این تحقیق سعی بر آن شده است تا ضمن بررسی و ارایه مدل‌سازی مساله انتخاب تامین‌کننده سبز چهارهدفه غیرخطی و انتخاب روش معیار جامع از بین روش‌های حل بهینه‌سازی چند هدفه به نتایجی کاربردی و عملکردی دست‌یابیم.

در بخش دوم به مروری بر ادبیات موضوع این تحقیق خواهیم داشت و سپس در بخش سوم، زمینه چگونگی انجام تحقیق، شرح مساله و مدل ریاضی پیشنهادی تشریح می‌گردد. در بخش چهارم به حل مثال عددی پرداخته و نتایج محاسباتی مثال‌های کاربردی برای حل مدل ارایه شده بیان می‌گردد و با استفاده از آن‌ها به تجزیه و تحلیل مدل پرداخته و نتایج محاسباتی حاصل از این تجزیه و تحلیل ارایه می‌شود. نهایتاً در بخش پنجم، جمع‌بندی مطالب، نتیجه‌گیری و ارایه موضوعات برای تحقیقات آتی آورده شده است.

۲ پیشینه پژوهش

در این بخش به بررسی مطالعات در حوزه تحقیق پرداخته می‌شود. بروس و همکاران^۱ در سال ۲۰۰۴، در طی پژوهشی با هدف پیدا کردن راه حلی برای دستیابی به پاسخ سریع و کاهش زمان انتظار، ویژگی‌های صنعت نساجی و پوشاك را شرح دادند و دیدگاهی از ناب، چابک و ترکیبی از آن‌ها در محدوده ادبیات موجود زنجیره‌تامین معرفی کردند [۷]. از طریق مطالعه موردی شرکت‌های نساجی و پوشاك، روش‌های مختلفی به مدیریت زنجیره‌تامین ارایه شده است. آگراوال و همکاران^۲ در سال ۲۰۰۶، در پژوهش خود چارچوبی را ارایه دادند که حساسیت بازار، یکپارچه‌سازی فرآیند، درایور اطلاعات و میزان انعطاف‌پذیری یک زنجیره‌تامین را کپسوله می‌کند. این پژوهش رابطه میان زمان انتظار، هزینه، ظرفیت، سطح سرویس‌دهی، ناب بودن و چابکی یک زنجیره‌تامین در تجارت کالاهای پرصرف را کشف کرده و با توجه به توجیهات چارچوب ارایه شده، نتیجه‌گیری می‌کند که اثر معیار برنده‌گی بازار و معیار مقدماتی بازار در سه نوع زنجیره‌تامین ناب، چابک و ناب-چابک است [۸]. لو و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۹، در پژوهش خود مدلی را ارایه دادند که کمک می‌کند بر مشکلات پردازش اطلاعات در غربالگری تعداد زیادی از تأمین‌کنندگان بهخصوص در مراحل اولیه فرآیند انتخاب غلبه کنیم. بر اساس پایه شعاعی شبکه‌های عصبی مصنوعی، این مدل تأمین‌کنندگان را قادر می‌سازد در برابر معیارهای چندگانه با استفاده از مقیاس‌های کیفی و کمی مورد ارزیابی قرار بگیرند. اثربخشی این پژوهش با استفاده از داده‌های تجربی از صنایع لوازم الکتریکی و ساخت تجهیزات چینی نشان داده شده است [۹]. مولنکف و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۰، مقاله‌ای با عنوان (زنジره‌های تأمین سبز، ناب و جهانی) را ارایه دادند که هدف آن تخمین استراتژی‌های میان زنجیره‌های تأمین سبز، ناب و جهانی است. همان‌طور که در ادبیات یافت می‌شود، تأکید بر اجرای همزمان این سه طرح کاربردی، به منظور توسعه یک

¹ Bruce et al.

² Agarwal et al.

³ Luo et al.

⁴ Mollenkopf et al.

برنامه پژوهشی جهت هدایت نظری بر اساس تحقیقات آینده، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را خبر می‌دهد. روش آن‌ها، مرور یک ادبیات وسیع است که به بررسی تحقیق و تمرین، با توجه به اجرای هم‌زمان استراتژی‌های زنجیره‌های تأمین سبز، ناب و جهانی هدایت می‌شود [۱۰]. کابرال و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۲ در طی پژوهشی، برای کمک به تصمیم‌گیری در انتخاب مناسب‌ترین شیوه‌ها و KPI‌ها که در زنجیره تأمین اجرا می‌شوند یک مدل یکپارچه فرآیند شبکه تحلیلی LARG پیشنهاد کردند و برای تعیین صحت مدل در یک رویکرد اکتشافی، یک مطالعه موردی در یک زنجیره تأمین خودروساز ارایه شده است [۱۱]. آیهان و کلیک^۲ در سال ۲۰۱۵، در مقاله‌ای با عنوان "یک رویکرد دو فازی برای مساله انتخاب تأمین کننده در محیط چند آیتم/چند تأمین کننده با مقادیر تخفیف"، یک روش یکپارچه شامل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP) ارایه کردند. پژوهش آن‌ها به طور عمده در دو مرحله عمل می‌کند. ابتدا، وزن نسبی هر معیار برای هر نوع از اقلام از طریق روش F-AHP تعیین می‌شود. در مرحله دوم، این خروجی‌ها به عنوان ورودی در مدل MILP برای تعیین تأمین کننده‌ها و مقادیر جهت ارایه، استفاده می‌شود. این مطالعه به طور عمده در دو مرحله عمل می‌کند. در مرحله اول، وزن نسبی هر معیار برای هر نوع از اقلام از طریق روش F-AHP تعیین می‌شود. در مرحله دوم، این خروجی‌ها به عنوان ورودی در مدل MILP برای تعیین تأمین کننده‌ها و مقادیر جهت ارایه، استفاده می‌شود. به منظور اعتبارسنجی مدل، یک برنامه در یک شرکت موتور دندن‌های اجرا شد و نتایج عددی مساله برای انتخاب بهترین تأمین کننده از میان ۶ جایگزین، برای تهیه ۵ آیتم مربوط به ۴ معیار، یعنی قیمت، کیفیت، عملکرد زمان تحويل، و عملکرد پس از فروش، در صورت مقادیر تخفیف، نشان داده شده است [۱۲]. عبدالهی و همکاران^۳ در سال ۲۰۱۶، در پژوهش خود یک چارچوب برای انتخاب تأمین کننده بر اساس ویژگی‌های ناب و چابک از تأمین کنندگان، جهت بیشتر رقابتی کردن بازار و انعطاف‌پذیری برای غلبه بر تغییر در تقاضا، تأمین کننده و غیره، ارایه دادند. هدف پژوهش آن‌ها، انتخاب تأمین کننده مناسب بر اساس مفهوم دو ویژگی ذکر شده می‌باشد. آن‌ها ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری (MCDM) را برای حل مساله انتخاب تأمین کننده استفاده کردند. با توجه به تعامل بین معیارها، فرایند شبکه تحلیلی (ANP) برای تعیین وزن هر معیار برای هر گزینه (تأمین کننده)، و سپس تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای رتبه‌بندی آن‌ها استفاده شده است. علاوه بر این، برای تعیین وابستگی دقیق بین معیارهای پیشنهادشده، آزمایش تصمیم‌گیری فازی و آزمایشگاه ارزیابی اعمال گردیده است. برای نشان دادن کاربرد و امکان‌سنجی، این چارچوب در یک مورد واقعی اجرا شده است [۱۳]. موکادم^۴ در سال ۲۰۱۷، مقاله‌ای با هدف این که چگونه استراتژی‌های تولید توسط شرکت‌های تجاری بر معیارهای انتخاب تأمین کننده تاثیر می‌گذارند، ارایه داد. او در پژوهش خود از استراتژی بررسی برای درک تجربی استدلال پژوهش استفاده کرد. ابتدا، تجزیه و تحلیل عوامل برای تایید ساختار زیرین معیار انتخاب تأمین کننده استفاده و سپس، تجزیه و تحلیل رگرسیون ساده برای تست فرضیه‌های پژوهش به کار گرفته شد [۱۴].

¹ Cabral et al.² Ayhan & Kilic³ Abdollahi et al.⁴ Mokadem

صفایی و همکاران در سال ۱۳۹۰، به ارزیابی مقایسه‌ای میان استراتژی‌های زنجیره‌تأمین ناب، چاپک و ناب-چاپک در شرکت دیزل سنگین ایران پرداختند. بدین منظور از رویکرد ترکیبی AHP و DEMATEL استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که استراتژی ناب-چاپک از عملکرد بهتری برخوردار است [۱۵]. توکلی و همکاران در سال ۱۳۹۰، به بررسی قابلیت پیاده‌سازی استراتژی ناب-چاپک در سازمان‌های خدماتی پرداختند. به منظور ارزیابی از مطالعه موردی استفاده نمودند. بدین منظور، رستوران فست فود زنجیره‌ای و بیمارستان فوق تخصصی انتخاب شدند. نتایج حاصل شده از تحقیق بیانگر مناسب بودن اجرای استراتژی در سازمان‌های خدماتی بوده است [۱۶]. بنی‌هاشمی و غضنفری در سال ۱۳۹۴، به ارزیابی عملکرد زنجیره‌تأمین ناب-چاپک در صنعت سیمان کشور پرداختند. بررسی عملکرد از طریق دو پارادایم ناب و چاپک بودن صورت پذیرفت. معیارهای عملکردی بر اساس مبانی نظری بدست آورده شد و سپس بر اساس رویکرد AHP فازی، معیارها الیت‌بندی شدند. نتایج حاصل از پژوهش بدین صورت است که کیفیت به عنوان مهم‌ترین معیار در نظر گرفته شده است [۱۷]. اسحاقی‌نیا و والمحمدی در سال ۱۳۹۵، به بررسی انتخاب مناسب‌ترین استراتژی زنجیره‌تأمین در صنعت خودروسازی پرداختند. در این تحقیق از یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی جهت ارتباط با مساله انتخاب استراتژی در زنجیره‌تأمین استفاده شده است [۱۸]. قربانپور و همکاران در مطالعه‌ای به منظور کاهش خطرات محیطی، افزایش عملکرد زیست محیطی و دستیابی به مزیت رقابتی در حوزه صنایع نفتی ایران، به ارایه یک مدل ساختاری اقدامات مدیریت زنجیره‌تأمین سبز پرداختند [۱۹]. همایونفر و همکاران در سال ۱۳۹۷، رویکرد ترکیبی MADM فازی را ارایه دادند که در آن از روش دلفی فازی برای شناسایی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده سبز استفاده کردند و سپس با استفاده از AHP فازی اولویت‌بندی معیارها را انجام دادند و بعد از آن بر اساس روش ویکور فازی اقدام به انتخاب تأمین‌کننده در شرکت سایپا به عنوان مطالعه موردی نمودند [۲۰]. در ادامه به روشناسی تحقیق پرداخته می‌شود.

۳ روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در دو فاز انجام می‌گیرد. در فاز اول، تعدادی تأمین‌کننده شناسایی می‌شوند. در ادامه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری معیارهای چندگانه (در اینجا ویکور) تأمین‌کننده‌گان ترتیب‌بندی می‌شوند و تعدادی با اولویت بالاتر انتخاب می‌شوند. سپس در فاز دوم، به منظور تخصیص سفارش به تأمین‌کننده‌گان منتخب در فاز اول، مدلی چهاره‌دفه ارایه می‌گردد که شامل چهار هدف کمینه‌سازی میزان زنجیره‌تأمین، کمینه‌سازی میزان دیرکرد در تحويل(چاپک)، کمینه‌سازی میزان ضایعات (ناب) و بیشینه‌سازی توجه به مسایل زیست محیطی می‌باشد. بعد از کدنویسی مدل پیشنهادی در نرم‌افزار گمز، برای بهینه‌سازی مدل و با توجه به چندهدفه و غیر خطی بودن، از موتور حل BARON نرم‌افزار گمز و با استفاده از روش معیار جامع به حل بهینه این مساله پرداخته می‌شود. در آخر، مثال عددی جهت نشان دادن کاربردی بودن مدل پیشنهادی و رویکرد حل آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه فازهای انجام تحقیق تشریح می‌گردد.

۱-۳ فاز اول: انتخاب تأمین کنندگان

یک زنجیره تأمین دو سطحی را در نظر بگیرید که شامل یک تولیدکننده و چندین تأمین کننده است. تأمین کنندگان دارای ظرفیت تأمین محدود می‌باشند و مواد اولیه مختلف با یک نرخ ثابت تأمین می‌کنند به گونه‌ای که هر تأمین کننده یک نوع مواد اولیه موردنیاز تولیدکننده را تأمین می‌کند و سپس مواد اولیه‌شان را با یک دوره بازپرسازی مشترک به صورت پیوسته به خریدار می‌دهد. هر تأمین کننده در فاصله معینی نسبت به خریدار قرار دارد. هدف از این فاز تعیین تأمین کنندگان منتخب می‌باشد. در این تحقیق از روش ویکور به منظور رتبه‌بندی تأمین کنندگان استفاده می‌شود.

• معیارهای انتخاب تأمین کننده سبز

هو و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۰، با بررسی مقالات موجود در زمینه ارزیابی تأمین کنندگان در بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ معیارهای مورداستفاده در انتخاب تأمین کنندگان را اولویت‌بندی کردند. معیارهای کیفیت، زمان تحویل دهی و قیمت به ترتیب پرکاربردترین معیارها هستند. در بخش‌های بعد با استفاده از این معیارها به انتخاب تأمین کنندگان پرداخته می‌شود [۲۱].

جدول ۱. معیارهای انتخاب تأمین کننده سبز

کد معیار	عنوان معیار	کد زیرمعیار	عنوان زیرمعیار	تعریف و شاخص اندازه گیری	دامنه قابل قبول
C1	معیارهای محصولی	SC1	کیفیت	نرخ برگشتی (کل اقلام خریداری شده/اقلام برگشتی)	پیوسته بین ۰ تا ۱
		SC2	زمان تحویل	زمان بین ارسال سفارش و دریافت آن	پیوسته (با واحد روز)
		SC3	قیمت	قیمت واحد محصول + هزینه حمل و نقل	پیوسته
C2	معیارهای زیست‌محیطی	SC4	وضعیت سیستم مدیریت محیط‌زیست	میزان انطباق سیستم مدیریتی با استاندارد ISO 14001	۱: داشتن گواهینامه ۳: در دست اجرا (بیش از ۵۰٪) ۵: در دست اجرا (کمتر از ۵۰٪) ۷: هیچ اقدامی انجام نشده است

¹ Ho et al.

		SC5	طراحی محصولات منجر کاهش یا منع به مواد از استفاده خطرناک یا سمی شد	میزان به کارگیری مواد و روش‌های تولید دوستدار محیط‌زیست در طراحی محصول	۱: رعایت استانداردهای زیست‌محیطی فراتر از استانداردهای اجباری ۳: رعایت استانداردهای اجباری زیست‌محیطی ۵: عدم رعایت الزامات زیست‌محیطی در طراحی
		SC6	نحوه فروش ضایعات و مواد صرف شده	توان بازیافت محصولات برگشتی	۱: داشتن سیستم لجستیک معکوس ۳: داشتن امکان بازیافت محصول ۷: نداشتن روشی برای بازیافت
		SC7	به کارگیری تکنولوژی‌های پاک در تولید توسط شرکت‌ها	خرید مواد و تکنولوژی‌ها مطابق با الزامات زیست‌محیطی	۱: ارزیابی کلیه تأمین‌کنندگان بر اساس الزامات زیست‌محیطی ۳: داشتن سیستم ارزیابی تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای زیست‌محیطی و ارزیابی بیش از ۵۰٪ تأمین‌کنندگان بر این اساس ۵: داشتن سیستم ارزیابی تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای زیست‌محیطی و ارزیابی کمتر از ۵۰٪ تأمین‌کنندگان بر این اساس ۷: انتخاب بدون توجه به الزامات زیست‌محیطی

۳-۲ فاز دوم: تعیین مقدار سفارش برای تأمین‌کنندگان منتخب

در فاز اول، تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای کیفیت، زمان تحویل دهی و قیمت اولویت‌بندی می‌شوند. سپس از میان آن‌ها تعدادی را انتخاب می‌کنیم و برای فاز دوم برای آن‌ها مقدار سفارش تعیین می‌کنیم. خریدار و تأمین‌کنندگان در بازارهای مشخصی فعالیت می‌کنند و هیچ‌گونه رقبه در مقابل یکدیگر وجود ندارد. با توجه به اینکه مقدار تقاضا را در شرایط عدم قطعیت در نظر گرفتیم، لذا برای آن سناریو تعیین می‌کنیم. هر کدام از تأمین‌کنندگان مواد اولیه خاصی را تأمین می‌کنند. از طرفی دیگر محصول نهایی تولید شده توسط تولید کننده ترکیبی از مواد اولیه تأمین شده توسط تأمین‌کنندگان می‌باشد. هدف از این فاز تعیین مقدار سفارش مواد اولیه از تأمین‌کنندگان می‌باشد.

• مفروضات مساله

مفروضات زیر را برای مدل مربوطه در نظر گرفته می‌شود:

۱. سیستم شامل یک خریدار و چند تأمین کننده می‌باشد.
 ۲. کاهش کیفیت کالا در طول مسیر (در مراکز توزیع تغییر کیفیت رخ نمی‌دهد)
 ۳. در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت تولید مواد اولیه برای تأمین کننده‌گان
 ۴. هر تأمین کننده تنها یک نوع خاص از مواد اولیه را تأمین می‌کند.
 ۵. مجاز نبودن کمبود در مدل
 ۶. وسایل حمل و نقل به لحاظ ظرفیت حمل یکسان می‌باشد.
- در ادامه به منظور ارایه مدل ریاضی پارامترها، متغیرها، اهداف و محدودیت‌ها مساله بیان می‌شود.

• اندیس‌ها

i : اندیس مربوط به تأمین کننده‌گان منتخب ($I = 1, 2, \dots, I$)

j : اندیس مربوط به کالاهای تأمین شده توسط تأمین کننده‌گان ($J = 1, 2, \dots, J$)

k : اندیس مربوط به سطوح قیمت بر حسب تخفیف‌های مقداری ($K = 1, 2, \dots, K$)

u : اندیس مربوط به سناریو تقاضا ($U = 1, 2, \dots, U$)

• پارامترها

پارامترهای تعریف شده در این مطالعه به شرح زیر می‌باشند:

k : تعداد سطوح قیمت بر حسب تخفیف‌های مقداری مربوط به تأمین کننده‌گان

S_{ij} : ظرفیت تأمین کننده λ ام در تأمین کالای λ ام

D_{ju} : تقاضا برای کالای λ ام بر اساس سناریو u ام

DLR_{ij} : نرخ دیر کرد تحويل مربوط به تأمین کننده λ ام در تأمین کالای λ ام

DR_{ij} : نرخ معیوب بودن مربوط به تأمین کننده λ ام در تأمین کالای λ ام

b_{ijk} : مقدار حد بالای فاصله تخفیف مقداری برای کالای λ ام از تأمین کننده λ ام در سطح قیمت k ام ($b_{ijk} = 0$)

C_{ijk} : قیمت هزینه خرید یک واحد کالای λ ام از تأمین کننده λ ام در سطح قیمت k ام

r_{ij} : هزینه حمل و نقل یک واحد کالا برای کالای λ ام از تأمین کننده λ ام

N_i : ضریب مربوط به تکنولوژی پاک برای تأمین کننده λ ام ($0 \leq N_i \leq 1$)

M_i : ضریب مربوط به زیست تخریب پذیر برای تأمین کننده λ ام ($0 \leq M_i \leq 1$)

M : یک عدد خیلی بزرگ

• متغیرهای تصمیم

X_{iju} : مقدار سفارش برای کالای λ ام از تأمین کننده λ ام بر اساس سناریوی u ام

XX_{ijk} : مقدار سفارش برای کالای λ ام از تأمین کننده λ ام در سطح قیمت k ام بر اساس سناریوی u ام

Y_{iju} : اگر سطح قیمت k ام برای کالای λ ام مربوط به تأمین کننده λ ام بر اساس سناریوی u ام انتخاب شود مقدار یک می‌گیرد، در غیر این صورت مقدار صفر.

• مدل ریاضی مساله

$$\min z_{\gamma} = \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} C_{ijk} * XX_{ijk} * Y_{ijk} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} r_{ij} * X_{iju} \quad (1)$$

$$\min z_{\tau} = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} DLR_{ij} * X_{iju} \quad (2)$$

$$\min z_{\tau} = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} DR_{ij} * X_{iju} \quad (3)$$

$$\min z_{\varsigma} = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} N_i * X_{iju} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} M_i * X_{iju} \quad (4)$$

s.t.

$$\sum_{i \in I} X_{iju} = D_{ju} \quad \forall j \in J, \forall u \in U \quad (5)$$

$$X_{iju} \leq S_{ij} \quad \forall i \in \forall j \in J, \forall u \in U \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} XX_{ijk} = X_{iju} \quad \forall i \in \forall j \in J \quad (7)$$

$$M * Y_{ijk} \geq XX_{ijk} \quad \forall i \in \forall j \in J, \forall k \in K, \forall u \in U \quad (8)$$

$$b_{ijk} + M * (Y_{ijk} - 1) \leq XX_{ijk} \quad \forall i \in \forall j \in J, \forall k \in K, \forall u \in U \quad (9)$$

$$XX_{ijk} \leq b_{ijk} + M * (1 - Y_{ijk}) \quad \forall i \in \forall j \in J, \forall k \in K, \forall u \in U \quad (10)$$

$$X_{iju} \geq 0 \quad \forall i \in \forall j \in J, \forall u \in U \quad (11)$$

$$Y_{ijk} \in \{0, 1\} \text{ binary integers} \quad \forall i \in \forall j \in J, \forall k \in K, \forall u \in U \quad (12)$$

- (۱) هدف اول این مدل، کمینه کردن هزینه‌ها است که شامل: هزینه خرید کالا از تأمین‌کنندگان و هزینه حمل و نقل می‌شود.
- (۲) هدف دوم این مدل، کمینه کردن زمان دیر کرد تحويل کالا توسط تأمین‌کنندگان است.
- (۳) هدف سوم این مدل، کمینه کردن تعداد کالاهای معیوب تأمین شده توسط تأمین‌کنندگان می‌باشد.
- (۴) هدف چهارم، مربوط به زنجیره تأمین سبز می‌شود.
- (۵) این محدودیت بیانگر این موضوع است که کل کالای تأمین شده توسط تأمین‌کنندگان مختلف می‌باشد.
- (۶) این محدودیت تضمین می‌کند که مقدار کالای تأمین شده برای هر تأمین‌کنندگان نباید از حد معینی فراتر رود.
- (۷) تضمین می‌کند که مجموع کلی مقدار کالای نوع j تهیه شده از تأمین‌کننده i در سطح قیمت k می‌باشد.
- (۸) اگر مقدار کالای نوع j تهیه شده از تأمین‌کننده i در سطح قیمت k انتخاب شود، YY_{ijk} باشد.

مقدار یک، در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد. (۹) این محدودیت و محدودیت بعد سطح قیمتی k به ازای کالای زمربوط به تأمین کنندگان ۱ بر اساس سناریوی π ام را تعیین می‌کند. (۱۰) این محدودیت و محدودیت قبل سطح قیمتی k به ازای کالای زمربوط به تأمین کنندگان ۱ بر اساس سناریوی π ام را تعیین می‌کند. (۱۱) و (۱۲) متغیرهای مدل مثبت و یا دودویی هستند.

• روش حل مدل ریاضی پیشنهادی

با توجه به این که مدل ریاضی پیشنهادی در بخش قبلی دارای بعد کمی می‌باشد، برای حل مساله به طور دقیق در ابعاد کوچک از نرم‌افزار GAMS و حل کننده BARON استفاده شده است. از طرفی از آنجایی که مدل چندهدفه می‌باشد، از طریق روش معیار جامع اقدام به تک هدفه‌سازی و حل مدل ریاضی نموده‌ایم. در ادامه به منظور بررسی کارایی مدل ریاضی ارایه شده، مثال عددی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۴ مثال عددی

انتخاب تأمین کنندگان یکی از کلیدی‌ترین تصمیمات در زنجیره تأمین است که تأثیر به سزاگی بر هزینه‌های تولید محصول خواهد داشت. اهمیت حفظ محیط‌زیست توجه دولت‌ها، مشتریان و سازمان‌ها را به خود جلب نموده و منجر به اهمیت یافتن رعایت الزامات زیست‌محیطی در تولید محصولات گشته است. از آنجایی که بخش عمده‌ای از مواد و اجزای تشکیل‌دهنده محصولات از تأمین کنندگان بیرونی هستند، توجه به معیارهای زیست‌محیطی در فرایند تأمین را مهم می‌نماید.

در این بخش جهت درک بهتر متداول‌وزیری ارایه شده یک مثال عددی ارایه می‌گردد. فرض کنید یک واحد صنعتی جهت ارزیابی تأمین کنندگان خود برای خرید محصول A، ۶ گزینه دارد که باید از بین آن‌ها با توجه به معیارهای ذکر شده در بخش قبل بهترین گزینه (ها) را انتخاب نماید، که در این چارچوب پس از تعیین سلسله مراتب وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش AHP و رتبه‌بندی گزینه‌ها توسط روش ویکور انجام می‌گیرد. قابل ذکر است مراحل اجرای مثال عددی مطابق با فازها و زیربخش‌های آن اجرا می‌گردد.

در وهله نخست، اطلاعات مربوط به هر تأمین کننده در قالب معیارهای ۷گانه تدوین می‌گردد. این اطلاعات که ماتریس تصمیم را تشکیل می‌دهند در جدول ۲ آورده شده است. داده‌های این جدول به عنوان اطلاعات پایه در گام‌های بعدی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

جدول ۲. ماتریس تصمیم

معیارها	معیارهای محصولی			معیارهای زیست‌محیطی			
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7
کد زیر معیار							
عنوان زیر معیار	قیمت	زمان تحویل	کیفیت	به کارگیری	توان	طراحی	وضیعت
تأمین کننده ۱	۰/۰۵	۴۵	۵۰	تکنولوژی	سازیافت	سیز	مدیریت
تأمین کننده ۲	۰/۰۳	۳۰	۴۸	۰/۰۱	۳	۳	۳

تامین کننده ۳	۰/۰۶	۴۰	۴۵	۳	۵	۱	۷
تامین کننده ۴	۰/۰۵	۴۰	۵۰	۱	۱	۳	۳
تامین کننده ۵	۰/۰۳	۴۷	۵۲	۷	۵	۳	۵
تامین کننده ۶	۰/۰۴	۳۰	۴۶	۱	۳	۱	۳

در فاز اول، با استفاده از روش AHP وزن دهی به معیار و زیرمعیارها انجام می‌گیرد و سپس از طریق روش ویکور رتبه‌بندی گزینه‌ها صورت می‌پذیرد. در ادامه نحوه عملکرد رویکرد ترکیبی AHP و ویکور به منظور اولویت‌بندی گزینه‌ها تشریح می‌شود.

یکی از کاربردهای روش AHP وزن دهی به معیارهای تصمیم‌گیری، از طریق مقایسات زوجی است. پس از تعیین سلسله مراتب معیارها، برای تعیین وزن معیارها از طریق گام‌های زیر عمل می‌شود [۲۲].

۱) مقایسات زوجی، ۲) محاسبه وزن معیارها، ۳) محاسبه وزن زیر معیارها، ۴) محاسبه نرخ ناسازگاری.

مطابق با گام‌های روش AHP برای تعیین اوزان معیارها، پس از تشکیل ماتریس‌های مقایسات زوجی معیارها و زیر معیارها، وزن آن‌ها محاسبه می‌شود. وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. وزن نهایی زیرمعیارها

کد معیار	وزن معیار	کد زیر معیار	وزن نسبی زیر معیار	وزن نهایی زیر معیار
C1	۰/۷۵	SC1	۰/۴۹	۰/۳۷
		SC2	۰/۳۱	۰/۲۳
		SC3	۰/۲۱	۰/۱۵
C2	۰/۲۵	SC4	۰/۰۶	۰/۰۱
		SC5	۰/۲۷	۰/۰۷
		SC6	۰/۵۵	۰/۱۴
		SC7	۰/۱۳	۰/۰۳

در ادامه، نرخ سازگاری براساس تعداد معیار محاسبه شده است.

جدول ۴. مقدار ثابت IIR بر اساس تعداد معیارها

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
I.I.R	۰	۰	۰/۰۵۸	۰/۰۹	۰/۰۱۲	۰/۰۴	۰/۰۲

از آنجا که ناسازگاری همواره وجود دارد، نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ مورد قبول بوده و در غیر این صورت اولویت‌بندی و مقایسات زوجی مجدداً انجام خواهد شد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌کنید، نرخ ناسازگاری برای تمامی معیارها مورد قبول بوده است.

پس از تعیین وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس گام‌های روش ویکور و با توجه به شاخص ویکور انجام می‌شود. روش ویکور یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل یک مساله‌ی تصمیم‌گیری گسته با معیارهای نامتناسب (واحدهای اندازه‌گیری مختلف) و متعارض است. هدف از این روش تمرکز و رتبه‌بندی و انتخاب از بین یک مجموعه از گزینه‌ها در مساله‌ی با معیارهای متعارض است [۲۳].

مراحل روش ویکور به شرح زیر است:

(۱) تشکیل ماتریس تصمیم (۲) تعیین بردار وزن معیارها (۳) تعیین نقطه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی (۴) محاسبه مقدار سودمندی (S) و مقدار تاسف (R) برای هر گزینه (۵) محاسبه شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه (۶) مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر Q, R, S

نتایج حاصل از اجرای رویکرد ویکور در جداول ۵ و ۶ قابل مشاهده است:

جدول ۵. شاخص ویکور

گزینه‌ها	Q
تأمین کننده ۱	۰/۰
تأمین کننده ۲	۰/۹۲۰
تأمین کننده ۳	۰/۱۱۵
تأمین کننده ۴	۰/۱۱۲
تأمین کننده ۵	۰/۶۲۶
تأمین کننده ۶	۰/۷۵۰

جدول ۶. رتبه‌بندی تأمین کننده

	Q	S	R	رتبه
تأمین کننده ۱	۰/۰	۰/۳۳۲	۰/۱۲۳	۱
تأمین کننده ۲	۰/۶۲۶	۰/۷۴۲	۰/۳۷۰	۵
تأمین کننده ۳	۰/۱۱۵	۰/۳۹۱	۰/۱۵۰	۳
تأمین کننده ۴	۰/۹۲۰	۰/۴۴۱	۰/۳۷۲	۶
تأمین کننده ۵	۰/۱۱۲	۰/۴۵۵	۰/۱۲۳	۲
تأمین کننده ۶	۰/۷۵۰	۰/۸۲۰	۰/۲۴۷	۴

بعد از رتبه‌بندی گزینه‌ها، تعداد ۳ گزینه با اولویت بالاتر انتخاب و برای تخصیص سفارش وارد مدل می‌شوند. در ادامه می‌بایست عملکرد مدل ارایه شده مورد مطالعه قرار گیرد. در این مرحله پارامترها تنظیم می‌شوند. داده‌های مربوط به پارامترهای مدل با استفاده از نرمافزار گمز به صورت فرضی و تصادفی با روش توزیع یکنواخت کدنویسی شده و به دست آمده‌اند. در جدول ۷ بازه‌های داده‌های تصادفی مشاهده می‌شوند.

جدول ۷. بازه‌های داده‌های تصادفی

پارامترها	دامنه تغییرات
K	۳
S _{ij}	(۱۰، ۵۰)
D _{ju}	(۲۰، ۸۰)
DLR _{ij}	(۰/۲، ۰/۹)
DR _{ij}	(۰/۲، ۰/۹)
b _{ijk}	(۲۰، ۸۰)
C _{ijk}	(۵، ۲۰)
r _{ij}	(۵، ۲۰)
M _i	(۰/۲، ۰/۹)

نحوه انتخاب بازه‌های داده‌ها و پارامترهای مدل ارایه شده با توجه به پرسش از نخبگان به دست آمده است. مدل ارایه شده در این تحقیق چهار هدفه می‌باشد، لذا برای حل مدل در نرم‌افزار گمز نیاز به استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه است. در این تحقیق از روش معیار جامع استفاده شده است. در این روش، تابع هدف که همواره حداقل نمودن آن مورد توجه است به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$L-P = \text{MIN} \left[\frac{Z_i - Z_{i^*}^*}{Z_{i^*}^*} \right]^P \quad (13)$$

با توجه به کدنویسی این روش در نرم‌افزار گمز، ابتدا گمز مقادیر بهینه هر یک از توابع هدف را بدون در نظر گرفتن دیگری حل می‌کند و در آخر طبق رابطه (۱۳) و با جایگذاری توابع هدف و مقادیر بهینه آنها در این رابطه، تبدیل به مدل تک هدفه می‌شود، که به عنوان Z_{GAMS} تعریف شده است. درصد میزان انحراف از مقدار بهینه به صورت زیر محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است که تابع هدف روش معیار جامع از نوع حداقل‌سازی است و به صورت بازه‌ای بین صفر و یک می‌باشد بنابراین Z_{L-P}^* برابر با صفر است.

$$\% \text{Diviation Obj.} = \frac{Z_{\text{GAMS}} - Z_{L-P}^*}{Z_{\text{GAMS}}} \times 100 \quad (14)$$

با افروzen داده‌های ورودی و پس از حل، مقادیر تابع هدف بهینه، روش معیار جامع حاصل از این مثال‌ها با زمان‌های سی پی یو آنها به دست می‌آید و درصد انحراف از L-P متريک بهینه محاسبه می‌گردد. نتایج در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. نتایج حاصل از حل مدل

k	%Diviation Obj	CPU times
۳	۰/۳	۱/۲۲
۳	۱۰/۲	۱/۳۲
۳	۱۰/۹	۱/۵۲
۳	۲۰/۲	۱/۶۳

۳	۴/۰	۱/۷۵
---	-----	------

در این جدول به ازای تعداد مختلف و تصادفی از محصولات، تابع هدف بهینه حاصل از روش معیار جامع متفاوتی به دست آمده است. جدول فوق درصد انحراف از L-P متريک بهينه و زمان‌های سی پی یو را نشان می‌دهد که با افزایش محصولات، زمان‌های سی پی یو افزایش می‌يابد.

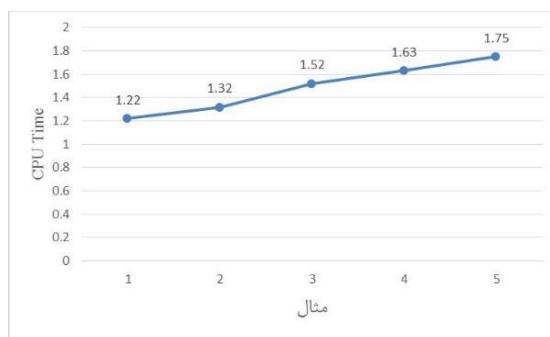
جدول ۹ پنج نمونه عددی را به تفکیک مقادیر چهار هدفه توابع نشان می‌دهد.

جدول ۹. توابع هدف مثال‌های موردبررسی

شماره مثال	Z_{Cost}	Z_{DLR}	Z_{DR}	Z_{GSM}	Z_{L-P}
۱	۸۴۳	۲۱	۲۸	۵۳/۶	۰/۰۰۲
۲	۸۶۰	۱۹	۲۵	۵۵/۹	۰/۱۰۲
۳	۷۸۰	۱۹	۲۵	۵۶/۹	۰/۱۰۹
۴	۱۱۷۰	۳۲/۱	۴۱/۸	۸۵/۴	۰/۰۲۲
۵	۱۵۲۵	۴۲	۵۳	۱۱۰	۰/۰۴۰

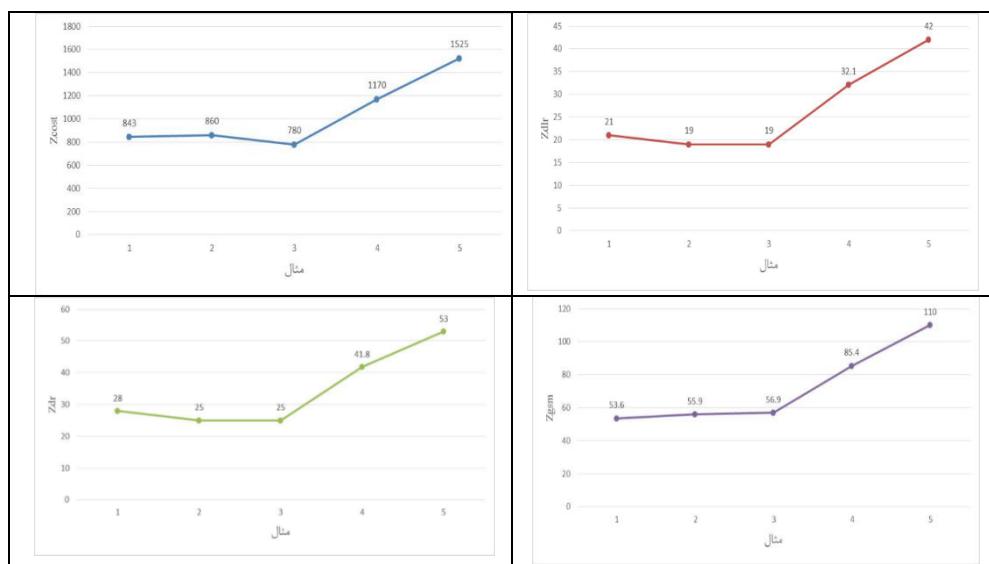
در ادامه، نتایج حاصل از حل مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد:

تحلیل اول: روند تغییرات زمان‌های سی پی یو در شکل ۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل ۱ قابل مشاهده است با افزایش حجم مساله (افزایش تعداد تأمین‌کننده‌ها و افزایش تعداد نوع کالا)، مقدار زمان سی پی یو افزایش پیدا می‌کند که بیانگر روند منطقی حل مساله و صحت مدل پیشنهادی می‌باشد.



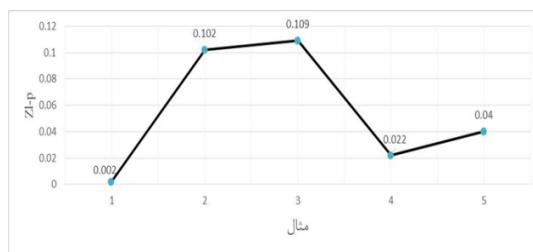
شکل ۱. روند تغییرات زمان سی پی یو

تحلیل دوم: روند تغییرات چهار تابع هدف در شکل ۲ قابل مشاهده و مقایسه است. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، روند تغییرات مقادیر چهار تابع هدف مشابه یکدیگر می‌باشد. دلیل این روند را این‌گونه می‌توان تحلیل نمود که با افزایش تعداد تأمین‌کننده‌گان (i) مقدار توابع هدف دارای روندی نزولی و در مقابل با افزایش تعداد انواع محصولات (j) (از مثال سوم به بعد) شاهد روندی صعودی برای توابع هدف خواهیم بود. با توجه به این روندها می‌توان این‌طور استنباط کرد که به ازای مثال سوم ($i=5, j=5$) بهترین شرایط برای حل مساله در حالتی که مدل به ازای هر کدام از توابع هدف به صورت جداگانه مد نظر باشد، برقرار است.



شکل ۲. روند تغییرات چهار تابع هدف

تحلیل سوم: روند تغییرات تابع هدف روش معیار جامع (Z_{L-P}) به ازای ۵ مثال در شکل ۳ نشان داده شده است. طبق شکل ۳، مثال اول دارای کمترین مقدار تابع هدف معیار جامع می‌باشد. از آنجایی که طبق روش معیار جامع بر آنیم تا تعادلی میان چهار تابع هدف برقرار کنیم، در نتیجه بر خلاف تحلیل دوم که بهترین شرایط برای حل مساله را مثال سوم بیان نموده‌ایم، مثال اول به عنوان بهترین شرایط برای حل مساله انتخاب می‌شود. همچنین همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، هر چقدر مقدار هدف روش معیار جامع به صفر نزدیک‌تر باشد به شرایط بهینگی نیز نزدیک‌تر می‌شویم، لذا این نکته تاییدی بر تحلیل سوم است.

شکل ۳. روند تغییرات Z_{L-P}

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

با افزایش اهمیت محیط‌زیست، سخت‌گیرانه شدن قوانین زیست‌محیطی کشورها در زمینه تولید و واردات و توجه مشتریان نهایی به موضوع محیط‌زیست و مسئولیت‌پذیری سازمان‌ها در این خصوص معیارهای زیست‌محیطی به معیارهای سنتی ارزیابی تأمین کنندگان افزوده شده است. از سویی دیگر، تحقیقات قبلی در مورد این موضوع به طور عمده شامل بهینه‌سازی تک هدفه بوده که در آن تنها هدف به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره تأمین و یا به حداقل رساندن کل مزایای زنجیره تأمین بوده است. با توجه به این مسائل، در این تحقیق یک روش ترکیبی به

منظور انتخاب تأمین کننده سبز و تخصیص مقدار سفارش به تأمین کنندگان منتخب ارایه شده است. در بخش انتخاب تأمین کننده از معیارهای سبز استفاده شده است که با استفاده از رویکرد ترکیبی AHP و ویکور اقدام به رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌شود. در ادامه، اطلاعات تأمین کنندگان منتخب به عنوان پارامتر وارد مدل ریاضی می‌شود. مدل ریاضی ارایه شده، یک مدل ریاضی چهارهدفه برای حل یک مساله تولید ناب چابک در زنجیره تأمین دوستخی با یک تولیدکننده و چندین تأمین کننده همراه با چند محصول است. این مدل ریاضی از نوع غیرخطی است که علاوه بر هزینه تأمین کالا، میزان معیوب بودن و دیر کرد در تحویل کالا را نیز حداقل کرده و تابع هدف مربوط به ایجاد زنجیره تأمین سبز را همچنین بیشینه می‌کند. به منظور توصیف کارایی این روش مثال عددی بیان شده است. نتایج حاصل از مدل از نظر زمان محاسباتی و کارایی مورد بررسی قرار گرفته است. الگوریتم اجرا شده نتایج خوبی را در زمان محاسباتی مناسب نشان داده است که بیان کننده عملکرد خوب رویکرد پیشنهادی است. همچنین مقدار بهینه تابع هدف به ازای مقادیر مختلف برای تعداد محصول مورد بررسی قرار گرفته است، که تحلیل‌های صورت گرفته بر اساس آن کمک شایانی به مدیران در امر تصمیم‌گیری در هنگام استفاده از مدل ارایه شده می‌نماید.

به منظور تحقیقات بیشتر، پیشنهاد می‌شود مدل چندهدفه ارایه شده با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه دیگر نظری برنامه‌ریزی آرمانی و اپسیلون محدودیت مورد مطالعه قرار گیرد. در نظر گرفتن زمان تدارک غیر صفر، علاوه بر این با توجه به غیرخطی بودن مدل چندهدفه 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 فراابتکاری و مطالعه توابع تقاضای دیگر برای مدل ارایه شده می‌تواند آن را به واقعیت نزدیک تر سازد.

منابع

- [۲] پویا، ع.، علیزاده، ع.، (۱۳۹۳). حل مساله انتخاب تأمین کننده با استفاده از مدل ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی - ویکور. پژوهش‌های مدیریت منابع انسانی، ۴(۴).
- [۱۵] صفائی قادریکلایی، ع.، اکبرزاده، ز.، احمدی، ا.، (۱۳۹۰). ارزیابی مقایسه ای استراتژی های زنجیره تأمین ناب، چابک و ناب-چابک. پژوهشنامه مدیریت اجرایی، ۳(۶)، ۸۱-۱۰۰.
- [۱۶] توکلی، ا.، فریبرز رحیم نیا، ف.، مقدسیان، م.، (۱۳۹۲). استراتژی ناب چابک در سازمان های خدماتی: رویکردی مقایسه‌بی. مهندسی صنایع و مدیریت شریف. ۲۹(۱)، ۱۳-۲۱.
- [۱۷] بنی هاشمی، ع.، غضنفری، م.، (۱۳۹۴). استراتژی ارزیابی اثربخشی عملکرد زنجیره تأمین ناب/چابک در جهت توسعه صنعت سیمان کشور. مدیریت فردا، ۴۵(۱۳)، ۱۳۱-۱۴۰.
- [۱۸] اسحاقی نیا، م.، والحمدی، چ.، (۱۳۹۵). انتخاب مناسب ترین استراتژی زنجیره تأمین ناب-چابک برای تولید با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره تابسیس فازی (صنعت خودروسازی)، کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت، تهران، دبیرخانه کنفرانس.
- [۱۹] قربانپور، ا.، پویا، ع.، ناظمی، ش.، ناجی عظیمی، ز.، (۱۳۹۵). طراحی مدل ساختاری اقدامات مدیریت زنجیره تأمین سبز با استفاده از رهیافت مدل سازی ساختاری تفسیری فازی. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۳(۴)، ۲۰-۱.

[۲۰] همایون فر، م.، گودرزوند چگینی، م.، دانشور، ا.، (۱۳۹۷). الیت بندی تامین کنندگان زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد ترکیبی MCDM فازی . تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۵ (۲)، ۴۱-۶۱.

- [1] Thomas, D. J., Griffin, P. M. (1996). Coordinated supply chain management. *European journal of operational research*, 94(1), 1-15.
- [3] Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K., (2008). Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation. *International journal of production economics*, 111 (2), 261–273
- [4] Farahani, Z. R., Asgari, N., & Davarzani, H., (2009). Supply chain and logistics in national, international and governmental environment. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [5] Naylor, J. Ben, M. Naim, and D. Berry, Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 62, pp. 107–118, 1999.
- [6] Gunasekaran, A., Patel, C., and Tirtiroglu, E., (2001). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, 21(1), 71–87.
- [7] Bruce, M., Daly, L., and N. Towers, (2004). Lean or agile: a solution for supply chain management in the textiles and clothing industry? *Int. J. Oper. Prod. Manag.* 24(2), 151-170.
- [8] Agarwal, A., Shankar, R., and Tiwari, M., K., (2006). Modeling the metrics of lean, agile and leagile supply chain: An ANP-based approach. *Eur. J. Oper. Res.*, 173(1) 211-225.
- [9] X. Luo, C. Wu, D. Rosenberg, and D. Barnes, (2009). Supplier selection in agile supply chains: An information-processing model and an illustration. *J. Purch. Supply Manag.* vol. 15, no. 4, pp. 249-262.
- [10] Mollenkopf, D., Stolze, H., Tate, W. L., and Ueltschy, M., (2010). Green, lean, and global supply chains. *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.* 40(1), 14-41.
- [11] Cabral, A., Grilo, A., and Cruz-Machado, V., (2012). A decision-making model for lean, agile, resilient and green supply chain management. *Int. J. Prod. Res.*, 50(17), 4830-4845.
- [12] Ayhan, M. B., & Kilic, H. S. (2015). A two stage approach for supplier selection problem in multi-item/multi-supplier environment with quantity discounts. *Computers & Industrial Engineering*. 85.
- [13] Abdollahi, M. Arvan, M., and Razmi, J., (2016). An integrated approach for supplier portfolio selection: Lean or agile? *Expert Syst. Appl.*, 42 (1), 679-688.
- [14] Mokadem, M. El., (2017). The classification of supplier selection criteria with respect to lean or agile manufacturing strategies. *J. Manuf. Technol.* 28(2), 235-249.
- [21] Ho, W., Xu, X., and Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *Eur. J. Oper. Res.*, 202(1), 16-24.
- [22] 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 Dec.
- [23] San Cristobal, J. R., (2011). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in spain: The Vikor method. *Renew. Energy*, 36(2), 498-502.