

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

فرزاد فولادی<sup>۱</sup>، مرضیه خاکستری<sup>۲\*</sup>

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 پیاده سازی مدیریت زنجیره تأمین سبز، تجدیدنظر در روش های 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. ویژگی های تأمین کننده ناب شامل هزینه کم و کیفیت بالا و ویژگی های تأمین کننده چابک سرعت، انعطاف پذیری و کیفیت می باشد. این تحقیق در دو فاز به انجام رسیده است. در فاز اول از طریق روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ویکور (VIKOR) و با استفاده از معیارهای سبز، تأمین کنندگان رتبه بندی شدند. سپس در فاز دوم، مدلی چهار هدفه طراحی گردید که شامل چهار هدف کمینه سازی هزینه زنجیره تأمین، کمینه سازی میزان دیرکرد در تحویل (چابک)، کمینه سازی میزان ضایعات (ناب) و بیشینه سازی توجه به مسایل زیست محیطی می باشد. 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 مراکز توزیع می باشد [۱]. با ظهور بازارهای بین المللی 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 می گیرند. در واقع هدف کلی در فرآیند انتخاب تأمین کنندگان، کاهش خطرپذیری خرید، حداکثرسازی ارزش کل خرید و ایجاد روابط نزدیک و بلندمدت بین خریداران

\* عهده دار مکاتبات

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

تأمین کنندگان می باشد. 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 بوم شناختی (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، بسته بندی، حمل و نقل و استفاده مجدد محصول اندازه گیری و در طراحی محصول لحاظ می شود [۴].

مدیریت صحیح تأمین کنندگان از مهم ترین مسایل در حوزه زنجیره تأمین است، زیرا هزینه مواد خام و خرید، هزینه اصلی یک محصول را تشکیل می دهد و اغلب شرکتها باید میزان قابل توجهی از درآمد خود را برای خرید از تأمین کنندگان صرف نمایند. از این رو برای شرکت هایی که درصد زیادی از درآمدهای فروش را برای خرید مواد و قطعات از تأمین کنندگان صرف می کنند و هزینه مواد سهم به سزایی از هزینه کل آنها را شامل می شود، شناسایی و حفظ رابطه با تأمین کنندگان مناسب، امری بسیار مهم تلقی می شود، به طوری که حدود ۶۰ درصد زمان تولید کنندگان صرف تأمین مواد اولیه و قطعات می گردد. همچنین حدود ۷۰ درصد از هزینه های تولیدی شرکتها به خرید کالا و خدمات مربوط می شود [۲].

استراتژی ناب، یک جریان ارزش را از تأمین کننده به مشتری نهایی توسعه می دهد. استراتژی چابک به معنای استفاده از دانش بازار و مفهوم یک شرکت مجازی به منظور بهره برداری از فرصت های سود آور در بازارهای ناپایدار است [۵]. استراتژی ناب-چابک، ترکیبی از استراتژی های ناب و چابک در کل زنجیره تأمین است. اکثر شرکتها به این نتیجه رسیده اند که به منظور ایجاد زنجیره تأمین اثربخش و کارا نیازمند به سنجش عملکرد استراتژی های متفاوت زنجیره تأمین هستند [۶].

تولید ناب سیستم تولیدی تویوتا می باشد که بنیان گذار و مغز متفکر آن تایی چی اوهنو بود. فلسفه تولید ناب، حذف هر نوع فعالیت بدون ارزش افزوده می باشد. اصول تولید ناب شامل حذف ضایعات، عیوب صفر، تیم های چند منظوره، کاهش لایه های سازمانی، رهبری تیمی، بهبود مستمر و سیستم کششی می باشد [۷].

پاسخگویی بیشتر به نیازهای بازار فقط نیازمند سرعت نیست، بلکه همچنین نیازمند سطح بالای توانمندی مانور است که امروزه تحت بیانیه چابکی عنوان می شود. هدف از تولید چابک اغنائ مشتری و تولید محصول طبق نیاز او، اهرمی کردن اثر اطلاعات و افراد، تسلط بر تغییرات و عدم اطمینان و افزایش رقابت پذیری از طریق همکاری می باشد. پارادایم تولید چابک، چارچوب تکنیکی و استراتژی لازم را فراهم می کند و به شرکتها اجازه می دهد رفتاری تطبیق پذیر و انعطاف پذیر با توجه به پدیدار شدن الگوهای جدید تقاضا در بازار رقابتی داشته باشند [۷].

با توجه به مطالعه و بررسی های صورت گرفته در بحث های مدیریت زنجیره تأمین و تولید ناب-چابک و انواع مدل های موجود و روش های حل آنها، امروزه جایگاه بهینه سازی توابع چندهدفه و روش های حل بهینه آنها

بسیار حایز اهمیت است. به دلیل فقدان مطالعات پیشین در زمینه مدل‌های چهار هدفه غیرخطی ای 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 دست یابیم.

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<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۴، در طی پژوهشی با هدف پیدا کردن راه‌حلی برای دستیابی به پاسخ سریع و کاهش زمان انتظار، ویژگی‌های صنعت نساجی و پوشاک را شرح دادند و دیدگاهی از ناب، چابک و ترکیبی از آن‌ها در محدوده ادبیات موجود زنجیره‌تأمین معرفی کردند [۷]. از طریق مطالعه موردی شرکت‌های نساجی و پوشاک، روش‌های مختلفی به مدیریت زنجیره‌تأمین ارایه شده است. آگراوال و همکاران<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۶، در پژوهش خود چارچوبی را ارایه دادند که حساسیت بازار، یکپارچه‌سازی فرآیند، درایور اطلاعات و میزان انعطاف‌پذیری یک زنجیره‌تأمین را کپسوله می‌کند. این پژوهش رابطه میان زمان انتظار، هزینه، ظرفیت، سطح سرویس‌دهی، ناب بودن و چابکی یک زنجیره‌تأمین در تجارت کالاهای پرمصرف را کشف کرده و با توجه به توجیحات چارچوب ارایه شده، نتیجه‌گیری می‌کند که اثر معیار برندگی بازار و معیار مقدماتی بازار در سه نوع زنجیره‌تأمین ناب، چابک و ناب-چابک است [۸]. لو و همکاران<sup>۳</sup> 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 لوازم‌الکتریکی و ساخت تجهیزات چینی نشان داده شده است [۹]. مولنکف و همکاران<sup>۴</sup> در سال ۲۰۱۰، مقاله‌ای با عنوان (زنجیره‌های 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

<sup>1</sup> Bruce et al.

<sup>2</sup> Agarwal et al.

<sup>3</sup> Luo et al.

<sup>4</sup> 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<sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۵، در مقاله‌ای با عنوان "یک رویکرد دو فاز برای مساله انتخاب تأمین‌کننده در محیط چند آیتم/چند تأمین‌کننده با مقادیر 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 تأمین‌کننده‌ها 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 تأمین‌کننده‌ها و مقادیر جهت ارایه، استفاده می‌شود. به منظور اعتبارسنجی مدل، یک برنامه در یک شرکت موتور دنده‌ای اجرا شد و نتایج عددی مساله برای انتخاب بهترین تأمین‌کننده از میان ۶ جایگزین، برای تهیه ۵ آیتم مربوط به ۴ معیار، یعنی قیمت، کیفیت، عملکرد زمان تحویل، و عملکرد پس از فروش، در صورت مقادیر تخفیف، نشان داده شده است [۱۲]. عبدالهی و همکاران<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۶، در پژوهش خود یک چارچوب برای انتخاب تأمین‌کننده بر اساس ویژگی‌های ناب و چابک از تأمین‌کنندگان، جهت بیشتر رقابتی کردن بازار و انعطاف‌پذیری برای غلبه بر تغییر در تقاضا، تأمین‌کننده و غیره، ارایه دادند. هدف پژوهش آن‌ها، انتخاب تأمین‌کننده مناسب بر اساس مفهوم دو ویژگی ذکر شده می‌باشد. آن‌ها ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری (MCDM) را برای حل مساله انتخاب تأمین‌کننده استفاده کردند. با توجه به تعامل بین معیارها، فرایند شبکه تحلیلی (ANP) برای تعیین وزن هر معیار برای هر گزینه (تأمین‌کننده)، 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<sup>۴</sup> در سال ۲۰۱۷، مقاله‌ای با هدف این که چگونه استراتژی‌های تولید توسط شرکت‌های تجاری بر معیارهای انتخاب تأمین‌کننده 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 تأمین‌کننده استفاده و سپس، تجزیه و تحلیل رگرسیون ساده برای تست فرضیه‌های پژوهش به کار گرفته شد [۱۴].

<sup>1</sup> Cabral et al.

<sup>2</sup> Ayhan & Kilic

<sup>3</sup> Abdollahi et al.

<sup>4</sup> Mokadem

صفایی و همکاران در سال ۱۳۹۰، به ارزیابی مقایسه‌ای میان استراتژی‌های زنجیره‌تأمین ناب، چابک و ناب-چابک در شرکت دیزل سنگین ایران پرداختند. بدین منظور از رویکرد ترکیبی AHP و DEMATEL استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که استراتژی ناب-چابک از عملکرد بهتری برخوردار است [۱۵]. توکلی و همکاران در سال ۱۳۹۰، به بررسی قابلیت پیاده‌سازی استراتژی ناب-چابک 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-چابک در صنعت سیمان کشور پرداختند. بررسی عملکرد از طریق دو پارادایم ناب و چابک بودن صورت پذیرفت. معیارهای عملکردی بر اساس مبانی نظری بدست آورده شد و سپس بر اساس رویکرد AHP فازی، معیارها الویت‌بندی 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 ارائه یک مدل ساختاری اقدامات مدیریت زنجیره‌تأمین سبز پرداختند [۱۹]. همایونفر و همکاران در سال ۱۳۹۷، رویکرد ترکیبی MADM فازی را ارائه 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) تأمین‌کنندگان ترتیب‌بندی می‌شوند و تعدادی با اولویت بالاتر انتخاب می‌شوند. سپس در فاز دوم، به منظور تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان منتخب در فاز اول، مدلی چهارهدفه ارائه می‌گردد که شامل چهار هدف کمینه‌سازی هزینه زنجیره‌تأمین، کمینه‌سازی میزان دیرکرد در تحویل (چابک)، 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.

### ۳-۱ 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 می باشند و مواد اولیه مختلف با یک نرخ ثابت تأمین می کنند به گونه ای که هر تأمین کننده یک نوع مواد اولیه مورد نیاز تولیدکننده را تأمین می کند و سپس مواد اولیه شان را با یک دوره بازسازی مشترک به صورت پیوسته به خریدار می دهد. هر تأمین کننده در فاصله معینی نسبت به خریدار قرار دارد. هدف از این فاز تعیین تأمین کنندگان منتخب می باشد. در این تحقیق از روش ویکور به منظور رتبه بندی تأمین کنندگان استفاده می شود.

#### • معیارهای انتخاب تأمین کننده سبز

هو و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۰، با بررسی مقالات موجود در زمینه ارزیابی تأمین کنندگان در بین سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ معیارهای مورد استفاده در انتخاب تأمین کنندگان را اولویت بندی کرده اند. معیارهای کیفیت، زمان تحویل دهی و قیمت به ترتیب پرکاربردترین معیارها هستند. در بخش های بعد با استفاده از این معیارها به انتخاب تأمین کنندگان پرداخته می شود [۲۱].

#### جدول ۱. معیارهای انتخاب تأمین کننده سبز

کد	عنوان	کد	عنوان زیرمعیار	تعریف و شاخص اندازه گیری	دامنه قابل قبول
معیار	معیار	زیرمعیار			
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 زیست محیطی	SC4	وضعیت سیستم مدیریت محیط زیست	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

<sup>1</sup> Ho et al.

		SC5	طراحی محصولات منجر کاهش یا منع به مواد از استفاده خطرناک یا سمی شود	میزان به کارگیری مواد و روش های تولید دوستدار محیط زیست در طراحی محصول	۱: رعایت استانداردهای زیست محیطی فراتر از استانداردهای اجباری ۳: رعایت استانداردهای اجباری زیست محیطی ۵: عدم رعایت الزامات زیست محیطی در طراحی
		SC6	نحوه فروش ضایعات و مواد مصرف شده	توان بازیافت محصولات برگشتی	۱: داشتن سیستم لجستیک معکوس ۳: داشتن امکان بازیافت محصول ۷: نداشتن روشی برای بازیافت
		SC7	به کارگیری تکنولوژی های پاک در تولید توسط شرکتها	خرید مواد و تکنولوژی ها مطابق با الزامات زیست محیطی	۱: ارزیابی کلیه تأمین کنندگان بر اساس الزامات زیست محیطی ۳: داشتن سیستم ارزیابی تأمین کنندگان بر اساس معیارهای زیست محیطی و ارزیابی بیش از ۵۰٪ تأمین کنندگان بر این اساس ۵: داشتن سیستم ارزیابی تأمین کنندگان بر اساس معیارهای زیست محیطی و ارزیابی کمتر از ۵۰٪ تأمین کنندگان بر این اساس ۷: انتخاب بدون توجه به الزامات زیست محیطی

### ۳-۲ 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 آنها تعدادی را انتخاب می کنیم و برای فاز دوم برای آنها مقدار سفارش تعیین می کنیم. خریدار و تأمین کنندگان در بازارهای مشخصی فعالیت می کنند و هیچ گونه رقابتی در مقابل یکدیگر وجود ندارد. با توجه به اینکه مقدار تقاضا را در شرایط عدم قطعیت در نظر گرفتیم، لذا برای آن سناریو تعیین می کنیم. هر کدام از تأمین کنندگان مواد اولیه خاصی را تأمین می کنند. از طرفی دیگر محصول نهایی تولید شده توسط تولیدکننده ترکیبی از مواد اولیه تأمین شده توسط تأمین کنندگان می باشد. هدف از این فاز تعیین مقدار سفارش مواد اولیه از تأمین کنندگان می باشد.

#### • مفروضات مساله

مفروضات زیر را برای مدل مربوطه در نظر گرفته می شود:

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

#### • اندیس ها

- $i$ : اندیس مربوط به تأمین کنندگان منتخب ( $i = 1, 2, \dots, I$ )
- $j$ : اندیس مربوط به کالاهای تأمین شده توسط تأمین کنندگان ( $j = 1, 2, \dots, J$ )
- $k$ : اندیس مربوط به سطوح قیمت بر حسب تخفیف های 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 می باشند:
- $k$ : تعداد سطوح قیمت بر حسب تخفیف های مقداری مربوط به تأمین کنندگان
- $S_{ij}$ : ظرفیت تأمین کننده  $i$ م در تأمین کالای  $j$ ام
- $D_{ju}$ : تقاضا برای کالای  $j$ ام بر اساس سناریو  $u$ ام
- $DLR_{ij}$ : نرخ دیرکرد تحویل مربوط به تأمین کننده  $i$ م در تأمین کالای  $j$ ام
- $DR_{ij}$ : نرخ معیوب بودن مربوط به تأمین کننده  $i$ م در تأمین کالای  $j$ ام
- $b_{ijk}$ : مقدار حد بالای فاصله تخفیف مقداری برای کالای  $j$ ام از تأمین کننده  $i$ م در سطح قیمت  $k$ ام ( $b_{ij0} = 0$ )
- $C_{ijk}$ : قیمت هزینه خرید یک واحد کالای  $j$ ام از تأمین کننده  $i$ م در سطح قیمت  $k$ ام
- $r_{ij}$ : هزینه حمل و نقل یک واحد کالا برای کالای  $j$ ام از تأمین کننده  $i$ م
- $N_i$ : ضریب مربوط به تکنولوژی پاک برای تأمین کننده  $i$ م ( $0 \leq N_i \leq 1$ )
- $M_i$ : ضریب مربوط به زیست تخریب پذیر برای تأمین کننده  $i$ م ( $0 \leq M_i \leq 1$ )
- $M$ : یک عدد خیلی بزرگ

#### • متغیرهای تصمیم

- $X_{iju}$ : مقدار سفارش برای کالای  $j$ ام از تأمین کننده  $i$ م بر اساس سناریوی  $u$ ام
- $XX_{ijku}$ : مقدار سفارش برای کالای  $j$ ام از تأمین کننده  $i$ م در سطح قیمت  $k$ ام بر اساس سناریوی  $u$ ام
- $Y_{ijku}$ : اگر سطح قیمت  $k$ ام برای کالای  $j$ ام مربوط به تأمین کننده  $i$ م بر اساس سناریوی  $u$ ام انتخاب شود مقدار یک می گیرد، در غیر این صورت مقدار صفر.

• مدل ریاضی مساله

$$\min z_1 = \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} C_{ijk} * XX_{ijku} * Y_{ijku} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} r_{ij} * X_{iju} \quad (1)$$

$$\min z_2 = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} DLR_{ij} * X_{iju} \quad (2)$$

$$\min z_3 = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} DR_{ij} * X_{iju} \quad (3)$$

$$\min z_4 = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} N_i * X_{iju} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} M_i * X_{iju} \quad (4)$$

s.t.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

مقدار یک، در غیر این صورت مقدار صفر می گیرد. (۹) این محدودیت و محدودیت بعد سطح قیمتی  $k$  به ازای کالای  $j$  مربوط به تأمین کنندگان  $i$  بر اساس سناریوی  $u$  ام را تعیین می کند. (۱۰) این محدودیت و محدودیت قبل سطح قیمتی  $k$  به ازای کالای  $j$  مربوط به تأمین کنندگان  $i$  بر اساس سناریوی  $u$  ام را تعیین می کند. (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 می باشد، برای حل مساله به طور دقیق در ابعاد کوچک از نرم افزار GAMS و حل کننده BARON استفاده شده است. از طرفی از آنجایی که مدل چندهدفه می باشد، از طریق روش معیار جامع اقدام به تک هدفه سازی و حل مدل ریاضی نموده ایم. در ادامه به منظور بررسی کارایی مدل ریاضی ارایه شده، مثال عددی را مورد بررسی قرار می دهیم.

### ۴ مثال عددی

انتخاب تأمین کنندگان یکی از کلیدی ترین تصمیمات در زنجیره تأمین است که تأثیر به سزایی بر هزینه های تولید محصول خواهد داشت. 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 هستند، توجه به معیارهای زیست محیطی در فرایند تأمین را مهم می نماید.

در این بخش جهت درک بهتر متدولوژی ارایه شده یک مثال عددی ارایه می گردد. فرض کنید یک واحد صنعتی جهت ارزیابی تأمین کنندگان خود برای خرید محصول A، ۶ گزینه دارد که باید از بین آن ها با توجه به معیارهای ذکر شده در بخش قبل بهترین گزینه (ها) را انتخاب نماید، که در این چارچوب پس از تعیین سلسله مراتب وزن دهی به معیارها با استفاده از روش AHP و رتبه بندی گزینه ها توسط روش ویکور انجام می گیرد.

قابل ذکر است مراحل اجرای مثال عددی مطابق با فازها و زیربخش های آن اجرا می گردد.

در وهله نخست، اطلاعات مربوط به هر تأمین کننده در قالب معیارهای ۷ گانه تدوین می گردند. این اطلاعات که ماتریس تصمیم را تشکیل می دهند در جدول ۲ آورده شده است. داده های این جدول به عنوان اطلاعات پایه در گام های بعدی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

جدول ۲. ماتریس تصمیم

معیارها	معیارهای محصولی			معیارهای زیست محیطی			
	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7
کد زیر معیار							
عنوان زیر معیار	قیمت زمان تحویل کیفیت			وضعیت مدیریت	طراحی سبز	توان بازیافت	به کارگیری 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

در فاز اول، با استفاده از روش AHP وزن‌دهی 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 وزن‌دهی 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 مسأله‌ی تصمیم‌گیری گسسته 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 مسأله‌ی 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 S, R, Q

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

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

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 حداقل سازی است و به صورت بازه‌ای بین صفر و یک می‌باشد بنابراین  $Z_{L-P}^*$  برابر با صفر است.

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

با افزودن 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  $L-P$  متریک بهینه محاسبه می‌گردد. نتایج در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. نتایج حاصل از حل مدل

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

۳	۴/۰	۱/۷۵
---	-----	------

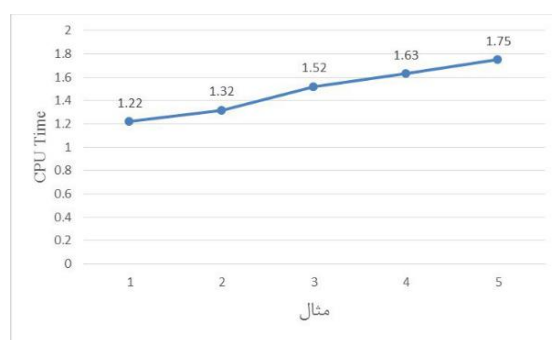
در این جدول به ازای تعداد مختلف و تصادفی از محصولات، تابع هدف بهینه حاصل از روش معیار جامع متفاوتی به دست آمده است. جدول فوق درصد انحراف از L-P متریک بهینه و زمان‌های سی پی یو را نشان می‌دهد که با افزایش محصولات، زمان‌های سی پی یو افزایش می‌یابد. جدول ۹ پنج نمونه عددی را به تفکیک مقادیر چهار هدفه توابع نشان می‌دهد.

جدول ۹. توابع هدف مثال‌های مورد بررسی

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

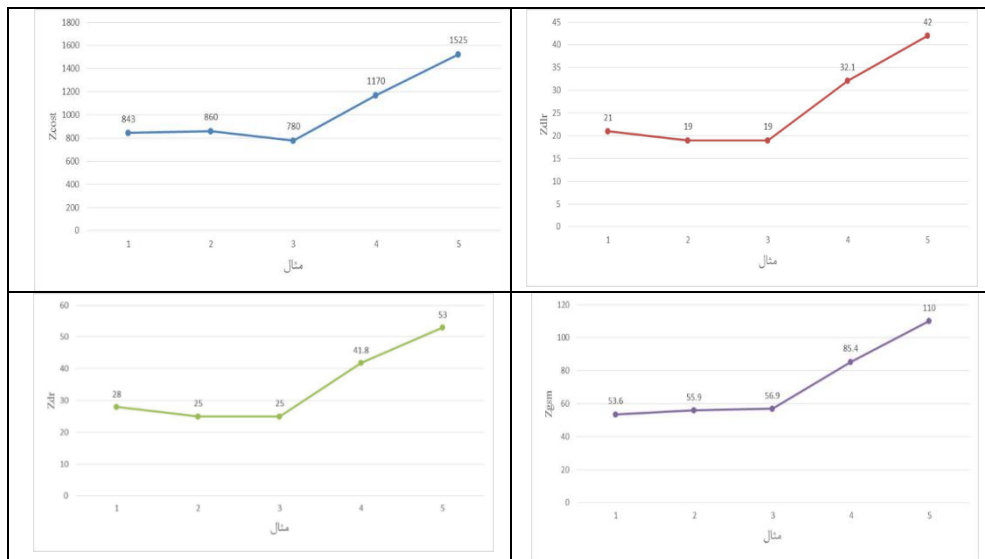
در ادامه، نتایج حاصل از حل مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد:

**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 تأمین کننده‌ها و افزایش تعداد نوع کالا)، مقدار زمان سی پی یو افزایش پیدا می‌کند که بیانگر روند منطقی حل مساله و صحت مدل پیشنهادی می‌باشد.



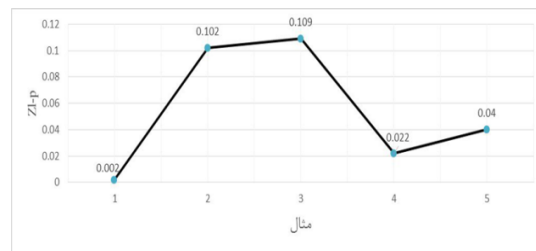
شکل ۱. روند تغییرات زمان سی پی یو

**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 این گونه می‌توان تحلیل نمود که با افزایش تعداد تأمین کنندگان ( $i$ ) 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 ( $j=۲, i=۵$ ) 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 تأمین‌کنندگان افزوده شده است. از سویی دیگر، تحقیقات قبلی در مورد این موضوع به‌طور عمده شامل بهینه‌سازی تک هدفه بوده که در آن تنها هدف به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره تأمین و یا به حداکثر رساندن کل مزایای زنجیره تأمین بوده است. با توجه به این مسایل، 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 رتبه بندی گزینه ها می شود. در ادامه، اطلاعات تأمین کنندگان منتخب به عنوان پارامتر وارد مدل ریاضی می شود. مدل ریاضی ارایه شده، یک مدل ریاضی چهارهدفه برای حل یک مساله تولید ناب چابک در زنجیره تأمین دوسطحی با یک تولید کننده 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 دیرکرد در تحویل کالا را نیز حداقل کرده و تابع هدف مربوط به ایجاد زنجیره تأمین سبز را همچنین بیشینه می کند. 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 تحلیل های صورت گرفته بر اساس آن کمک شایانی به مدیران در امر تصمیم گیری در هنگام استفاده از مدل ارایه شده می نماید.

به منظور تحقیقات بیشتر، پیشنهاد می شود مدل چندهدفه ارایه شده با استفاده از روش های بهینه سازی چندهدفه دیگر نظیر برنامه ریزی 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 می تواند یک مطالعه ارزشمند برای رسیدن به جواب های بهتر باشد. با افزایش تعداد سطوح زنجیره تأمین، در نظر گرفتن حالت فازی برای برخی از پارامترها، استفاده از دیگر روش های حل فرا ابتکاری و مطالعه توابع تقاضای دیگر برای مدل ارایه شده می تواند آن را به واقعیت نزدیک تر سازد.

## منابع

- [۲] پویا، ع.، علیزاده، ع.، (۱۳۹۳). حل مساله انتخاب تامین کننده با استفاده از مدل ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی - ویکور. پژوهش های مدیریت منابع انسانی، ۴(۴).
- [۱۵] صفائی قادیکلایی، 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 مقایسه یی. 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. ۱۳(۴۵)، ۱۳۱-۱۴۰.
- [۱۸] اسحاقی نیا، م.، والمحمدی، چ.، (۱۳۹۵). انتخاب مناسب ترین استراتژی زنجیره تأمین ناب-چابک برای تولید با استفاده از تصمیم گیری چند معیاره تاپسیس 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). الویت 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. Manag.* 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.