

## مدل ریاضی چند هدفه انتخاب تأمین‌کننده سبز (مورد مطالعه: زنجیره تأمین ایران خودرو)

لیلا بابایی<sup>۱</sup>، مسعود ربیعه<sup>۲\*</sup>، احسان نیک بخش<sup>۳</sup>، مهدی اسماعیلی<sup>۴</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
- ۲- استادیار، گروه مدیریت صنایع، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
- ۳- استادیار، گروه مهندسی سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۴- کارشناسی ارشد مدیریت اجرایی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۱

دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۱۴

### چکیده

در چند دهه گذشته، به علت بروز آثار مخرب زیست‌محیطی سازمان‌ها بر جوامع، فشارهای زیادی از جانب دولت‌ها و گروه‌های مردم‌نهاد بر سازمان‌ها برای رعایت جوانب زیست‌محیطی در فعالیت‌های آنان و به‌ویژه زنجیره‌های تأمین آنها وارد شده است. برای دستیابی به زنجیره‌تأمین محیط‌زیست دوست یا سبز، نقش تأمین‌کنندگان - به عنوان نقطه شروع زنجیره تأمین - بسیار مهم است. بنابراین برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان، علاوه بر معیارهای سنتی مانند قیمت، تحویل، کیفیت و... استفاده از شاخص‌هایی جدید که علاوه در برگیری مسائل زیست‌محیطی، متناسب با صنعت مورد نظر باشند، ضرورت دارد. در این پژوهش با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح چند هدفه برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز و تخصیص سفارش در شرایط چند محصولی، منبع‌یابی

چندگانه و تک دوره‌ای ارائه می‌شود. مورد مطالعه این تحقیق بخشی از زنجیره تأمین ایران خودرو است که در آن فرایندهای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش مربوط به تعداد ۳۱ قطعه از چهار نوع محصول نهایی که به وسیله ۴۵ تأمین‌کننده عرضه می‌شوند، بررسی می‌شود. مدل ریاضی پیشنهادی برای زنجیره تأمین مورد مطالعه ۵۰۷ محدودیت و ۴۴۹ متغیر تصمیم دارد. مدل ریاضی پیشنهادی با استفاده از روش محدودیت اِپسیلون حل شده و ارزش کل خرید سبز محاسبه می‌شود. نتایج حل و تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی بر مورد مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش اهمیت مسائل زیست‌محیطی در زنجیره تأمین مورد مطالعه، ارزش کل خرید سبز افزایش پیدا می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** انتخاب تأمین‌کننده سبز، تخصیص سفارش، مدل ریاضی عدد صحیح چند هدفه، روش محدودیت اِپسیلون.

#### ۱- مقدمه

از بین فعالیت‌های زنجیره تأمین، تدارک مواد و ملزوماتی که برای تولید کالا یا ارائه خدمات در سازمان مورد نیازند، اهمیت ویژه‌ای دارد. صاحبان نظران معتقدند که ۶۰ تا ۸۰ درصد زمان و هزینه‌های صرف شده در فرایند تولید، مربوط به تأمین اجزا و قطعات مورد نیاز است. به همین جهت بخش خرید و تدارکات زنجیره تأمین دارای نقش کلیدی در کارایی و اثربخشی سازمان است و می‌تواند تأثیر مستقیمی روی کاهش هزینه‌ها، سودآوری و انعطاف‌پذیری سازمان داشته باشد [۱]. این مسئله برای خودروسازان اهمیتی مضاعف دارد، زیرا هر خودرو از هزاران قطعه تشکیل می‌شود و با توجه به تنوع تولیدات و تعدد تأمین‌کنندگان، موضوع ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان مطمئن همواره یکی از چالش‌های اصلی یک مدیر زنجیره تأمین خودرو است. در محیط رقابتی امروز، شرکت‌های خودروسازی ناگزیرند تا با بهبود عملکرد تحویل به موقع محصولات خود، نیازمندی‌های مشتریان را در زمان مورد انتظار، تحقق بخشند. بنابراین خودروسازان به منافع مهم روابط مبتنی بر همکاری با تأمین‌کننده پی برده‌اند.

از سوی دیگر در دو دهه گذشته با حادث شدن بحران کمبود منابع طبیعی، از بین رفتن جنگل‌ها، کمبود آب، تخریب لایه اوزون، شیوع بیماری‌های ناشی از

تولید پسماندهای صنعتی و....، موضوع حفظ محیط زیست اهمیت زیادی پیدا کرده است. این موضوع باعث افزایش توجه محققان و مدیران زنجیره تأمین به موضوع مدیریت زنجیره تأمین سبز شده است. مفهوم «سبز» تجسمی از محصولات، فرایندها، سیستم ها و فناوری های سازگار با محیط زیست است که فعالیت های مربوط به کسب و کار را تحت تأثیر قرار می دهد [۲]. هدف زنجیره تأمین سبز حذف یا حداقل کردن آثار منفی محیطی (آلودگی هوا، آب و خاک) و اتلاف منابع (انرژی، مواد و محصولات) در کل مراحل فرایند تولید، از استخراج و تأمین مواد خام تا استفاده نهایی و مصرف محصولات است [۳]. علاوه بر این، قوانین دولتی، افزایش آگاهی عمومی و فشار مصرف کنندگان موجب شده است که کسب و کارها در مورد تأثیرات زیست محیطی عملیات خود احتیاط و دقت بیشتری به خرج دهند [۴]. امروزه بنگاه های اقتصادی برای بقا در بازار جهانی نمی توانند به راحتی موضوعات زیست محیطی را نادیده بگیرند؛ به همین دلیل مدیران زنجیره تأمین باید با تأمین کنندگانی همکاری کنند که بتوانند کالا و خدمات مورد نیاز را با قیمت پایین تر، کیفیت بالاتر و زمان تحویل کوتاه تر فراهم کرده ولی در عین حال به مسئولیت های زیست محیطی خود توجه بیشتری داشته باشند [۵]. اغلب مدل های ریاضی موجود در بحث انتخاب تأمین کننده سبز و پایدار، بیشتر از اینکه به ارائه کاربرد عملی در دنیای واقعی بپردازند، مثال فرضی و عددی ارائه کرده اند و این موضوع همیشه یکی از اصلی ترین محدودیت های مطالعاتی این حوزه بوده که به وسیله محققان ذکر شده است [۶]. در مورد مطالعات تجربی انجام شده در این حوزه نیز می توان گفت که بیشتر آنها بر بخش حمل و نقل، صنعت نساجی و کالاهای مصرفی معمول تمرکز دارند، در حالی که تحقیقات تجربی در زمینه صنعت خودرو، صنایع شیمیایی و الکترونیک محدودند [۷]. بنابراین در این مطالعه با به کار بردن مجموعه ای از معیارهای اقتصادی و زیست محیطی، یک مدل ریاضی جامع برای حل مسئله انتخاب تأمین کننده سبز و تعیین میزان تخصیص سفارش به آنها با استفاده از داده ها و مستندات مورد مطالعه واقعی ارائه می شود. در ادامه این مقاله، در بخش دوم مروری اجمالی بر مبانی نظری و پیشینه تحقیق به تفکیک معیارها و

روش‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان صورت می‌گیرد. در بخش سوم روش‌شناسی پژوهش، مدل ریاضی و حل آن ارائه خواهد شد. در بخش چهارم تحلیل حساسیت و در پایان نیز نتیجه‌گیری، پیشنهادات تحقیقات آینده و محدودیت‌های تحقیق بیان می‌شود.

## ۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

### ۲-۱- معیارهای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان

اگرچه مطالب زیادی در مورد روش‌های ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در مبانی نظری و پیشینه موجود است، اما تحقیقات به نسبت کمتری با تأکید بر معیارهای این انتخاب انجام شده‌است. در بین معیارهای انتخاب تأمین‌کننده، قیمت<sup>۱</sup>، کیفیت<sup>۲</sup>، تحویل<sup>۳</sup> و انعطاف‌پذیری<sup>۴</sup> نسبت به سایر معیارهای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطالعه مبانی نظری موضوع نشان می‌دهد که بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، تأکید بر معیار هزینه/ قیمت بیشتر بوده است، همچنین در دهه ۱۹۹۰ معیارهای انعطاف‌پذیری و پاسخگویی<sup>۵</sup> نسبت به مشتری در این زمینه غالب بوده‌اند و در سال‌های اخیر نیز معیارهای زیست‌محیطی ارزیابی تأمین‌کنندگان دارای اهمیت شده‌اند [۸]. نخستین تحقیق در زمینه انتخاب تأمین‌کنندگان توسط دیکسون<sup>۶</sup> در سال ۱۹۶۶ انجام شد. در این پژوهش ۲۳ معیار ارزیابی تأمین‌کنندگان شناسایی و رتبه‌بندی شد که از بین آنها کیفیت و تحویل به موقع و پیشینه عملکرد تأمین‌کنندگان بیشترین اهمیت را دارند. پس از آن وبر<sup>۷</sup> و همکاران مروری بر ۷۴ مقاله منتشر شده بین سال‌های ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۰ انجام دادند و نتیجه گرفتند که قیمت، عملکرد تحویل، کیفیت و شایستگی فنی مهم‌ترین عوامل در حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده هستند [۱]. هو<sup>۸</sup> و همکاران در مروری که بر مقالات منتشر شده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ در حوزه ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان انجام دادند، رایج‌ترین معیارهای مورد استفاده در این مقالات را استخراج کردند که به ترتیب عبارتند از کیفیت، تحویل، قیمت/ هزینه، قابلیت‌های تولید، خدمات، مدیریت، تکنولوژی، تحقیق و توسعه،

توان مالی، انعطاف پذیری، شهرت، رابطه، ریسک، امنیت و محیط زیست [۹]. گویندان<sup>۱</sup> و همکاران با تمرکز بر مطالعات منتشر شده بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۱ در زمینه انتخاب تأمین کننده سبز، مرور ادبیات بسیار جامع و با ارزشی را انجام داده و از جهات مختلف مطالعات موجود را بررسی کرده‌اند. یکی از نتایج تحقیق ایشان این است که رایج‌ترین معیار مورد استفاده برای ارزیابی عملکرد تأمین کننده سبز، معیار «سیستم مدیریت زیست محیطی<sup>۱</sup>» است [۶]. بسیاری از محققان برای ارزیابی تأمین کنندگان، عوامل و رویکردهای زیست محیطی را لحاظ کرده‌اند. معیارهای به کار رفته در برخی از تحقیقات این زمینه در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

جدول ۱ معیارهای استفاده شده در برخی از مطالعات موجود در زمینه انتخاب تأمین کننده سبز

| منبع                                    | معیارهای ارزیابی                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| پاناموراتی <sup>۱۱</sup> و همکاران [۱۰] | قیمت، کیفیت، تکنولوژی، تجهیزات تولیدی، توانایی مالی، خدمات، مدیریت و سازمان، رابطه، قابلیت‌های محیطی                                                              |
| تسنگ و چپو <sup>۱۲</sup> [۱۱]           | کیفیت، مدیریت و سازمان، تحویل، خدمات، رابطه، انعطاف پذیری، طراحی سبز، تحقیق و توسعه سبز، سیستم مدیریت زیست محیطی، محصولات سبز                                     |
| تسنگ و چپو [۱۱]                         | تحویل، عملکرد مالی، روابط، کیفیت، قیمت، طراحی سبز، گواهی ایزو ۱۴۰۰۰، تأمین سبز، تولید پاک                                                                         |
| ژو <sup>۱۳</sup> و همکاران [۱۲]         | قیمت، کیفیت، تکنولوژی، مدیریت و سازمان، تحویل، رابطه، انعطاف پذیری، سیستم مدیریت محیط، مصرف منابع، محصولات سبز، کنترل آلودگی                                      |
| یه و چوانگ <sup>۱۴</sup> [۱۳]           | عملکرد زیست محیطی، طراحی سبز، مدیریت زنجیره تأمین سبز، بازیافت و هزینه رفع آلودگی                                                                                 |
| میرغفوری و همکاران [۲]                  | تأمین و خرید سبز، تولید سبز، بسته بندی سبز، حمل و نقل و توزیع سبز، هزینه‌های تولید سبز                                                                            |
| هاشمی و همکاران [۴]                     | قیمت، تحویل، تکنولوژی، مصرف منابع، تولید آلودگی، تعهد مدیریت                                                                                                      |
| یزدانی [۱۴]                             | قابلیت‌های زیست محیطی، قیمت، تحویل، طراحی سبز، مواد اولیه دوستدار طبیعت، سیستم مدیریت زیست محیطی، آموزش کارکنان، برنامه مدیریت ضایعات، نرخ استفاده مجدد و بازیافت |
| کائو و همکاران [۱۵]                     | هزینه‌های زیست محیطی، فعالیت‌های بازیافت، مصرف انرژی، برنامه لجستیک معکوس، مدیریت پسماند، گواهینامه‌های زیست محیطی                                                |
| کشاوری و همکاران [۱۶]                   | میزان تولید آلودگی، مصرف منابع، طراحی زیست محیطی، سیستم مدیریت زیست محیطی، تعهد مدیران به مدیریت زنجیره تأمین سبز، استفاده از تکنولوژی سبز و مواد اولیه سبز       |
| بنائیان و همکاران [۱۷]                  | سطح خدمات، کیفیت، قیمت، سیستم مدیریت زیست محیطی                                                                                                                   |

مشاهده می‌شود که مهم‌ترین معیارهای زیست‌محیطی به کار رفته در مطالعات ذکر شده، سیستم مدیریت زیست‌محیطی و پس از آن طراحی سبز (محیطی) و تولید سبز (پاک) هستند. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که مسئله انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله چند معیاره شامل معیارهای کمی و کیفی است. همچنین تعداد و اهمیت معیارها به استراتژی شرکت، سیستم تولیدی و موقعیت شرکت بستگی دارد.

## ۲-۲- روش‌های ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان

در مورد روش‌های استفاده شده در مبانی نظری موضوع ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان دسته‌بندی‌های مختلفی وجود دارد. اولین دسته‌بندی انجام شده مربوط به وبر و همکاران بوده که آنها این روش‌ها را به سه دسته مدل‌های وزن‌دهی خطی، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی و رویکردهای آماری/احتمالی طبقه‌بندی کردند [۱]. هو و همکاران در مروری که بر مقالات منتشر شده در مورد انتخاب تأمین‌کننده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ انجام دادند، روش‌های ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده را به دو دسته کلی رویکردهای منفرد و رویکردهای تلفیقی تقسیم‌بندی کردند [۹]. چی<sup>۱۵</sup> و همکاران مروری بر ۱۲۳ مقاله منتشر شده در نشریات بین‌المللی بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ در مورد موضوع انتخاب تأمین‌کننده انجام دادند و در این مطالعه ۲۶ تکنیک تصمیم‌گیری موجود در ادبیات ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده را به دسته کلی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، برنامه‌ریزی ریاضی و هوش مصنوعی تقسیم کردند. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که پرکاربردترین روش مورد استفاده برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)<sup>۱۶</sup> است. از بین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره نیز روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۱۷</sup> بیشترین کاربرد را در این حوزه دارد [۱۸]. در مطالعه انجام شده توسط ایلدیز و یایلا<sup>۱۸</sup> مروری بر مقالات مربوط به انتخاب تأمین‌کننده منتشر شده در بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ انجام شده است. تمرکز تحقیق آنها بر استفاده از تکنیک‌های MCDM در حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش است. ایشان روش‌های مورد استفاده در مطالعات را به سه دسته کلی شامل روش‌های منفرد، ترکیبی و ترکیبی فازی تقسیم کردند [۱۹]. عزیز و همکاران موضوع ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان را با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با مرزهای

کارا و ناکارا و در حضور خروجی‌های نامطلوب و داده‌های نادقیق مورد بررسی قرار می‌دهند [۲۰]. علاوه بر تحقیقات فوق، تحقیقات متعددی در سال‌های اخیر به‌طور خاص به حل مسأله انتخاب تأمین‌کننده سبز و طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته و سبز پرداخته‌اند که در ادامه مروری بر آنها می‌شود.

آذر و همکاران یک روش جامع دو مرحله‌ای برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه کردند. در مرحله اول، چارچوبی برای معیارهای انتخاب تأمین‌کننده و پیمانکار ارائه شده و در مرحله دوم یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و پیمانکاران و تعیین میزان تخصیص به آنها ارائه شده است [۲۱]. فرخ و همکاران برای مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته به شرایط عدم قطعیت، یک رویکرد برنامه‌ریزی فازی استوار ارائه کردند [۲۲]. هو<sup>۱۹</sup> و همکاران با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره، یک رویکرد جامع برای انتخاب تأمین‌کننده سبز در صنعت الکترونیک کشور تایوان ارائه کردند [۲۳]. کانان و همکاران تأمین‌کنندگان صنایع الکترونیک کشور برزیل را بر اساس عملکرد زیست‌محیطی و با استفاده از روش تاپسیس فازی<sup>۲۰</sup> رتبه‌بندی کردند [۲۴]. بنائیان و همکاران یک تحلیل مقایسه‌ای در مورد انتخاب تأمین‌کننده سبز با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی شامل تاپسیس، ویکور<sup>۲۱</sup> و تحلیل رابطه‌ای خاکستری<sup>۲۲</sup> انجام دادند [۱۷]. همچنین یکی از نتایج با ارزش مرور ادبیات انجام شده توسط گویندان و همکاران این است که متداول‌ترین رویکردهای مورد استفاده در مطالعات انتخاب تأمین‌کننده سبز (منتشر شده بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۱) روش‌های مبتنی بر تئوری فازی است [۶].

با مرور مبانی نظری موضوع انتخاب تأمین‌کننده سنتی و سبز نتیجه گرفته می‌شود که تفاوتی بنیادی بین روش‌های مورد استفاده در این دو حالت از نظر روش‌شناختی وجود ندارد؛ بلکه تفاوت اصلی آنها در مورد معیارهای ارزیابی و انتخاب است. همچنین تعداد و نوع معیارهای مورد استفاده برای انجام ارزیابی تأمین‌کنندگان به زنجیره تأمین مورد مطالعه بستگی دارد. همان‌طور که ذکر شد در تحقیقات موجود، پرکاربردترین روش‌های به کار رفته در بحث ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده، روش‌های MCDM است. با توجه به اینکه تمرکز تحقیق حاضر بر مدل‌های ریاضی چند هدفه برای حل مسأله انتخاب تأمین‌کننده سبز است، در ادامه چند نمونه از مطالعات این حوزه به همراه ویژگی‌های مدل ریاضی آنها در جدول ۲ ارائه می‌شود.

جدول ۲ ویژگی‌های برخی از مدل‌های ریاضی چند هدفه انتخاب تأمین‌کننده سبز

| منبع                               | معیارهای ارزیابی                                                            | رویکرد                                              | توابع هدف                                                                            | محدودیت‌ها                                                                                        |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مفاخری و همکاران [۲۵]              | قیمت، کیفیت، تحویل، هزینه‌های زیست‌محیطی، طراحی سبز، سیستم مدیریت محیط      | ترکیبی (AHP و مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه)       | کمیته‌سازی هزینه، بیشینه‌سازی تابع مطلوبیت فرایند تأمین                              | تقاضا، ظرفیت تولید، موجودی                                                                        |
| شاو <sup>۳۳</sup> و همکاران [۲۶]   | میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، هزینه، کیفیت و تحویل                         | ترکیبی (FAHP و مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه فازی) | کمیته‌سازی هزینه، تعداد کالای مرجوعی، تأخیر با تحویل و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای | تقاضا، ظرفیت تولید، انتشار کربن، بودجه تخصیص داده شده به هر یک از تأمین‌کنندگان برای تهیه ملزومات |
| کانان <sup>۳۳</sup> و همکاران [۲۷] | میزان تولید آلودگی، میزان مصرف منابع، طراحی زیست‌محیطی و سیستم مدیریت محیطی | ترکیبی (FTOPSIS و مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه)   | کمیته‌سازی هزینه کل، بیشینه‌سازی تابع مطلوبیت فرایند تأمین                           | تقاضا، ظرفیت تولید، حداکثر تعداد کالای معیوب قابل قبول                                            |
| وو و بارنس [۲۸]                    | هزینه، کنترل آلودگی، مصرف منابع، کیفیت                                      | ترکیبی (ANP و مدل ریاضی چند هدفه)                   | کمیته‌سازی هزینه کل، کمیته‌سازی آلودگی، بیشینه‌سازی کیفیت و کمیته‌سازی مصرف منابع    | تقاضا، ظرفیت تولید، حداکثر نرخ معیوب قابل قبول                                                    |

هدف تحقیق حاضر انتخاب تأمین‌کنندگان قطعات خودرو به گونه‌ای که عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی در زنجیره تأمین بیشینه شود. در این تحقیق مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی متناسب با مورد مطالعه (زنجیره تأمین ایران خودرو) در دو دسته اقتصادی و زیست‌محیطی لحاظ شده است. استفاده از داده‌های واقعی در طراحی و حل مدل یکی از مزیت‌های این تحقیق نسبت به مطالعات مشابه است. همچنین براساس مرور ادبیات انجام شده، اغلب معیارهای اقتصادی در نظر گرفته شده (مانند PPM و شاخص C/100 و مقاومت به روز پرداخت و ...) تاکنون در تحقیق دیگری مورد استفاده قرار نگرفته‌اند که استفاده از آنها و نحوه مدلسازی آن از نوآوری‌های تحقیق محسوب می‌شود. علاوه بر این پرکاربردترین معیارهای زیست‌محیطی مورد استفاده در مبانی نظری، در این تحقیق به کار رفته‌اند. برای حل مدل پیشنهادی براساس معیارهای استخراج و تأیید شده توسط روش دلفی، یک مدل ریاضی چند



هدفه عدد صحیح طراحی شده و با استفاده از داده‌های واقعی زنجیره تأمین مورد مطالعه حل شده است.

### ۳- روش‌شناسی پژوهش

#### ۳-۱- تعریف مسئله

در این تحقیق به منظور انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب و تعیین میزان بهینه تخصیص سفارش به آنها با لحاظ معیارهای اقتصادی (هزینه‌ای و غیر هزینه‌ای) و معیارهای محیط‌زیستی از مدلسازی ریاضی استفاده می‌شود. اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای انجام پژوهش از طریق مصاحبه با کارشناسان شرکت مورد مطالعه، اسناد و داده‌های موجود در سازمان جمع‌آوری شده است. در این تحقیق پس از شناخت کافی از موضوع پژوهش و بررسی موقعیت شرکت، مدل ریاضی مناسب طراحی شده و سپس با استفاده از داده‌های موجود، پارامترهای مدل ریاضی محاسبه شده‌اند. در نهایت مدل ریاضی مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز با استفاده از نرم‌افزار لینگو<sup>۲۵</sup> حل شده است. مورد مطالعه پژوهش، زنجیره تأمین شرکت ایران‌خودرو است که مدیریت سیستم تأمین قطعات مورد نیاز این زنجیره و ارتباط با تأمین‌کنندگان بر عهده شرکت سایکو است. در حقیقت، شرکت سایکو عهده‌دار طراحی فنی و تأمین قطعات شرکت ایران‌خودرو است. مأموریت این شرکت تأمین مواد اولیه، قطعات و مجموعه‌های خودرو برای گروه صنعتی ایران‌خودرو و بازارهای هدف داخلی و جهانی از طریق مدیریت مؤثر فرایند تأمین از طراحی تا مونتاژ و شناسایی و ارتقای مزیت‌های رقابتی شبکه تأمین تا سطوح جهانی جهت دستیابی به اهداف استراتژیک گروه ایران‌خودرو است. شرکت سایکو در حال حاضر با ۵۵۰ تأمین‌کننده داخلی و خارجی، تأمین مواد اولیه، قطعات و مجموعه‌های خودروهای سواری را برای گروه صنعتی ایران‌خودرو در حوزه‌های تولید و خدمات پس از فروش برعهده دارد. در شرکت مورد مطالعه تمام سفارش‌گذاری‌ها براساس سیستم کانبان انجام می‌شود و حجم کارت کانبان برای تمام تأمین‌کنندگان یکسان بوده و ضربی از بسته‌بندی است و تعداد کارت کانبان در گردش براساس زمان انتظار تأمین و عملکرد تأمین‌کنندگان به ازای هر قطعه و تأمین‌کنندگان مشخص می‌شود.

برای انجام این پژوهش تعداد ۴۵ تأمین‌کننده انتخاب شدند که ۳۱ قطعه را از ۴ نوع محصول نهایی (خودرو) تولید و تأمین می‌کنند. برخی از تأمین‌کنندگان تنها یک قطعه

و برخی از آنها چند نوع قطعه را تأمین می‌کنند. برای انجام ارزیابی تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن شرایط زنجیره تأمین مورد مطالعه و نظر خبرگان و کارشناسان، مجموعه‌ای از معیارها در دو بعد اقتصادی و زیست محیطی لحاظ شده‌اند. این معیارها و تعاریف آنها در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده‌اند.

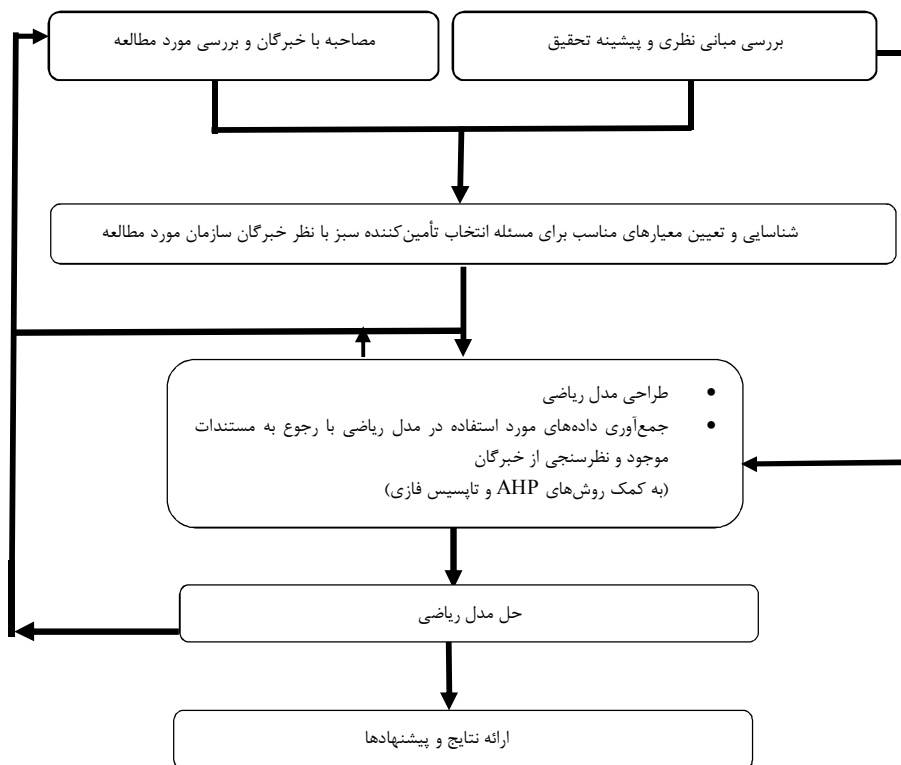
همان طور که مشاهده می‌شود، معیارهای اقتصادی با توجه به ماهیت آن به دو دسته کلی هزینه‌ای و غیرهزینه‌ای تقسیم شده‌اند. در مورد معیارهای اقتصادی غیر هزینه‌ای، معیارهای کیفیت و ظرفیت تولید در محدودیت‌های مدل و بقیه در تابع هدف ظاهر می‌شوند. برای برخی از معیارهای به کار رفته در مدل، با توجه به ارزیابی‌های سالانه‌ای که انجام می‌شود، داده عددی در شرکت مورد مطالعه موجود است و برای برخی نیز که کیفی هستند، با استفاده از روش تاپسیس فازی ارزش‌گذاری انجام می‌شوند. این معیارهای کیفی عبارتند از سطح تکنولوژی، اجرای سیستم مدیریت زیست محیطی و طراحی و تولید سبز. برای تعیین مقادیر این معیارهای کیفی با توجه به قضاوت کارشناسان شرکت، پرسشنامه تاپسیس فازی طراحی شده و در اختیار خبرگان شرکت قرار گرفت تا عملکرد هر یک از تأمین‌کنندگان را برحسب معیارهای کیفی با استفاده از اعداد فازی ارزیابی کنند. همچنین وزن نسبی توابع هدف با استفاده از روش AHP محاسبه شده است. شکل ۱ نشان‌دهنده مراحل انجام تحقیق است.

### جدول ۳ معیارها و زیرمعیارهای زیست محیطی به کار رفته برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده سبز

| معیارها                       | زیر معیارها                       | نوع  | تعریف                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------|-----------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| اجرای سیستم مدیریت زیست محیطی | دارا بودن گواهی ایزو ۱۴۰۰۱        | مثبت | سیستم مدیریت زیست محیطی بخشی از کل سیستم مدیریت است که شامل ساختار سازمانی، فعالیت‌های طرح‌ریزی، مسئولیت‌ها، اعمال، روش‌ها، فرایندها و منابع برای تهیه، اجرا، حصول، بازنگری و حفظ خط مشی زیست محیطی است. |
|                               | اجرای سیاست‌های پیشگیری از آلودگی | مثبت |                                                                                                                                                                                                          |
|                               | برنامه‌ریزی برای اهداف زیست محیطی | مثبت |                                                                                                                                                                                                          |
|                               | تخصیص مسئولیت‌های زیست محیطی      | مثبت |                                                                                                                                                                                                          |
| طراحی و تولید سبز             | طراحی سبز                         | مثبت | طراحی محصول متناسب با الزام‌های زیست محیطی                                                                                                                                                               |
|                               | تولید سبز                         | مثبت | تولید محصولات دوستانه طبیعت                                                                                                                                                                              |

**جدول ۴ معیارها و زیرمعیارهای اقتصادی به کار رفته برای ارزیابی و انتخاب تأمین کننده سبز**

| معیارهای اقتصادی هزینه‌ای      |                                      |      |                                                                                                              |
|--------------------------------|--------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| معیارها                        | زیرمعیارها                           | نوع  | تعریف                                                                                                        |
| انحراف از قیمت برنامه‌ریزی شده | -                                    | منفی | میزان تفاوت قیمت ارائه شده به وسیله هر تأمین کننده نسبت به قیمت متداول در صنعت                               |
| هزینه گارانتی                  | -                                    | منفی | هزینه‌ای که بابت رفع نقص قطعات معیوب پرداخت می‌شود.                                                          |
| معیارهای اقتصادی غیر هزینه‌ای  |                                      |      |                                                                                                              |
| معیارها                        | زیر معیارها                          | نوع  | تعریف                                                                                                        |
| کیفیت                          | PPM خط تولید <sup>۲۶</sup>           | منفی | شاخص کیفی تعداد قطعات برگشتی                                                                                 |
|                                | شاخص <sup>۲۷</sup> C/100             | منفی | شاخص کیفی تعداد قطعات برگشتی                                                                                 |
| عملکرد تحویل                   | توقف خط تولید                        | منفی | مجموع مدت زمانی که سازمان موجب توقف خط تولید مشتری می‌شود.                                                   |
|                                | تأخیر حجمی کانتینر                   | منفی | تأخیر تأمین کننده در زمان تحویل سفارش                                                                        |
| سطح تکنولوژی                   | دانش                                 | منفی | تحویل در زمان تعیین شده اما با مقدار کمتر از سفارش                                                           |
|                                | قابلیت‌های فنی                       | مثبت | سطح دانش تأمین کننده در برآورده کردن نیازهای فعلی و آتی زنجیره تأمین                                         |
| مقاومت به روز پرداخت           | -                                    | مثبت | سطح قابلیت‌های فنی تأمین کننده در برآورده کردن نیازهای فعلی و آتی زنجیره تأمین                               |
|                                | -                                    | مثبت | تعداد روزهایی که یک شرکت تأمین کننده پس از ارسال قطعات به شرکت برای دریافت هزینه به شرکت خریدار مهلت می‌دهد. |
| ظرفیت تولیدی                   | -                                    | مثبت | حداکثر توان تولید تأمین کنندگان به ازای هر قطعه                                                              |
| کنترل‌های عملیاتی              | -                                    | مثبت | اعمال خاص که برای نظارت و مدیریت فعالیت‌ها، فرایندها، محصولات و خدمات در سطح عملیاتی سازمان انجام می‌شود.    |
| شاخص کیفی تأمین                | حجم تأمین به کل تأمین سال            | مثبت | درصد تأمین از هر تأمین کننده نسبت به کل قطعات خریداری شده                                                    |
|                                | توان فراهم‌آوری مواد اولیه           | مثبت | قابلیت‌های تأمین کننده در فراهم کردن مواد اولیه با کیفیت برای تولید قطعات خود                                |
| روابط بلندمدت                  | توانایی تأمین از تأمین کنندگان خارجی | مثبت | میزان همکاری با تأمین کنندگان خارج از کشور و کیفیت آن شرکت‌ها                                                |
|                                | -                                    | مثبت | سابقه همکاری‌های قبلی با تأمین کننده                                                                         |



شکل ۱ مراحل انجام تحقیق

برای طراحی مدل ریاضی مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز مفروضاتی لحاظ شده است. اولین فرض برآورده شدن تقاضا برای هر قطعه به‌طور کامل است؛ یعنی برای هیچ قطعه‌ای کمبود مجاز نیست. فرض دیگر قطعی بودن پارامترهای ظرفیت تولید و تقاضا برای هر قطعه است. مورد دیگر این است که عملکرد زیست‌محیطی به قطعات انتخابی بستگی نداشته و برحسب تأمین‌کنندگان محاسبه شده است و برای درستی این فرض قطعات مشابه گزینش شده‌اند. در برخی از تحقیقات حوزه انتخاب تأمین‌کننده سبز، مقدار پارامترهای زیست‌محیطی (مانند میزان انتشار کربن یا آلودگی) را به ازای هر قطعه محاسبه کرده‌اند؛ اما در این تحقیق با توجه به ماهیت معیارهای زیست‌محیطی و قطعات، مقدار پارامترهای مذکور به ازای هر تأمین‌کننده محاسبه شده‌اند. فرض چهارم مجاز بودن تأمین یک قطعه از تأمین‌کنندگان مختلف

است. مورد آخر این است که یک تأمین‌کننده در صورتی انتخاب می‌شود که میزان تخصیص به آن از حد مجاز تعیین شده به وسیله شرکت بیشتر باشد. این فرض از تخصیص مقادیر سفارش خیلی کم که از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست، جلوگیری می‌کند. برای این منظور برای هر تأمین‌کننده درصدی از تقاضای کل هر قطعه به عنوان کف سفارش تعریف شده است و مدل به‌گونه‌ای طراحی شده است که برای مقادیر کمتر از حداقل سفارش، تخصیصی صورت نمی‌گیرد. همچنین مدل مذکور تک دوره‌ای و چند محصولی بوده و مسئله برای مجموعه‌ای از قطعات مورد استفاده در چهار نوع محصول نهایی (خودرو) مدل می‌شود.

مدلسازی این تحقیق با استفاده از مدل ریاضی مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تعیین میزان تخصیص سفارش ارائه شده توسط آزادنیان و همکاران [۲۹] به عنوان مدل مبنا و با استفاده از مجموعه‌ای از معیارها و زیرمعیارهای جدید طراحی شده است. معیارهای مورد استفاده در مدل آزادنیان و همکاران شامل سه دسته اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. همچنین مدل ایشان در حالت چند محصولی، چند دوره‌ای و منبع‌یابی چندگانه طراحی شده و دارای چهار تابع هدف کمینه‌سازی هزینه کل، بیشینه‌سازی عملکرد اقتصادی غیرهزینه‌ای، بیشینه‌سازی عملکرد زیست‌محیطی و بیشینه‌سازی عملکرد اجتماعی کل فرایند تأمین است. محدودیت‌های مدل مذکور شامل تقاضا، ظرفیت تولید، هزینه سفارش، فضای انبار و موجودی پایان دوره است. مدل ریاضی این تحقیق از لحاظ دسته‌بندی معیارهای اقتصادی به دو گروه کلی هزینه‌ای و غیرهزینه‌ای و شکل کلی توابع هدف اقتصادی و زیست‌محیطی شبیه مدل مبنا است. اما هدف تحقیق حاضر حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز است و معیارهای اجتماعی لحاظ نشده است. همچنین مدل در شرایط چند محصولی، تک دوره‌ای و منبع‌یابی چندگانه طراحی شده است. تفاوت دیگر دو مطالعه در مورد مطالعه است. مورد مطالعه تحقیق آزادنیان و همکاران صنعت پلاستیک است و مورد مطالعه این تحقیق صنعت خودرو است. وجه تمایز اصلی این تحقیق با مدل مبنا در استفاده از مجموعه‌ای از معیارهای متفاوت و جدیدی است که تاکنون در هیچ مطالعه‌ای به کار نرفته‌اند. همچنین نحوه مدلسازی محدودیت‌های مربوط به معیارهای جدید متفاوت هستند.

### ۳-۲- مدلسازی ریاضی مسئله

نمادگذاری‌های استفاده شده برای مدل ریاضی این تحقیق عبارتند از:  
اندیس‌های مدل:

|                      |                 |     |
|----------------------|-----------------|-----|
| $i = 1, 2, \dots, m$ | نوع قطعه        | $i$ |
| $j = 1, 2, \dots, n$ | تأمین‌کننده     | $j$ |
| $k = 1, 2, \dots, K$ | نوع محصول نهایی | $k$ |

#### پارامترهای مدل:

|               |                                                                                     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $\delta_{ij}$ | میزان انحراف قیمت پیشنهادی تأمین‌کننده $i$ از قیمت برنامه‌ریزی شده برای قطعه $i$ ام |
| $g_{ij}$      | هزینه گارانتی مربوط به قطعه $i$ که به وسیله تأمین‌کننده $j$ ارائه می‌شود.           |
| $D_{ik}$      | میزان تقاضا برای قطعه $i$ که برای تولید محصول نوع $k$ به کار می‌رود.                |
| $CA_{ij}$     | ظرفیت تولید تأمین‌کننده $j$ ام برای قطعه $i$ ام                                     |
| $PPM_{ij}$    | مقدار شاخص کیفیت PPM (شاخص قطعات برگشتی) تأمین‌کننده $j$ ام برای قطعه $i$ ام        |
| $APPM_i$      | حداکثر مقدار شاخص PPM مورد قبول برای قطعه $i$                                       |
| $C_{ij}$      | مقدار شاخص کیفیت $C/100$ (شاخص قطعات برگشتی) تأمین‌کننده $j$ ام برای قطعه $i$ ام    |
| $AC_i$        | حداکثر مقدار شاخص $C/100$ مورد قبول برای قطعه $i$                                   |
| $DL_{ij}$     | امتیاز تأمین‌کننده $j$ ام در معیار عملکرد تحویل برای قطعه $i$ ام                    |
| $T_j$         | امتیاز تأمین‌کننده $j$ ام در معیار سطح تکنولوژی                                     |
| $R_j$         | امتیاز تأمین‌کننده $j$ ام در معیار مقاومت به‌روز پرداخت                             |
| $CO_j$        | امتیاز تأمین‌کننده $j$ ام در معیار کنترل‌های عملیاتی لجستیک                         |
| $LR_j$        | امتیاز تأمین‌کننده $j$ ام در معیار روابط بلندمدت                                    |
| $CS_j$        | امتیاز تأمین‌کننده $j$ ام در معیار شاخص کیفی تأمین                                  |
| $E_j$         | امتیاز تأمین‌کننده $j$ ام بر حسب معیارهای زیست‌محیطی                                |

$L_{ij}$  حداقل درصد تقاضای قطعه  $i$  که از تأمین کننده  $j$  خریداری می شود

متغیرهای تصمیم:

$X_{ij}$  تعداد قطعه  $i$  که از تأمین کننده  $j$  خریداری می شود.

$Y_{ij}$  متغیر صفر و یک عدم تخصیص یا تخصیص سفارش به تأمین کننده  $j$  برای تأمین قطعه  $i$

### ۳-۲-۱- توابع هدف

مدل ریاضی این تحقیق دارای سه تابع هدف است که در روابط (۱) تا (۳) آمده اند. معیارهای اقتصادی هزینه‌ای در تابع هدف اول ظاهر می شوند. براساس این تابع هدف، مجموع هزینه‌ها (انحراف از قیمت برنامه ریزی شده و هزینه گارانتی) حداقل می شود. رابطه (۲) در برگیرنده معیارهای اقتصادی غیر هزینه‌ای است که براساس آن عملکرد اقتصادی غیر هزینه‌ای حداکثر می شود. در این رابطه جمله اول نشان دهنده مجموع عملکرد تأمین کنندگان انتخابی در معیار عملکرد تحویل است. جملات بعدی به ترتیب عملکرد تأمین کنندگان را در معیارهای سطح تکنولوژی، مقاومت به روز پرداخت، کنترل‌های عملیاتی، روابط بلندمدت و شاخص کیفی تأمین است. لازم به ذکر است که از بین معیارهای اقتصادی غیرهزینه‌ای غیر از معیار عملکرد تحویل که برحسب قطعه محاسبه می شود، برای بقیه آنها داده‌ها برحسب تأمین کننده موجودند. به همین دلیل جملات تابع هدف دوم برای این دسته از معیارها بر مجموع تقاضا تقسیم شده‌اند که همه جملات مقیاس یکسان داشته باشند. رابطه (۳) نیز امتیاز زیست محیطی کل فرایند تأمین را حداکثر می کند که از مجموع حاصل ضرب امتیاز زیست محیطی هر تأمین کننده در مقدار تخصیص به دست می آید. لازم به ذکر است که مدلسازی مسئله بر اساس دو ذینفع اصلی مشتری نهایی زنجیره تأمین (شرکت ایران خودرو) و عموم جامعه انجام شده است. به صورت خاص توابع هدف اول و دوم پاسخگوی ذینفع مشتری نهایی و تابع هدف سوم پاسخگوی ذینفع جامعه هستند. ضمن اینکه مشتری نهایی به صورت غیر مستقیم از عملکرد بهتر زیست محیطی تأمین کنندگان خود منتفع می شود.

### ۳-۲-۲- محدودیت‌ها

رابطه (۴) بیانگر محدودیت تقاضا است. این محدودیت تضمین می‌کند که تقاضای هر قطعه کاملاً برآورده شود. محدودیت‌های کیفیت (معیارهای PPM و C/100) با استفاده از روابط (۵) و (۶) بیان شده‌اند. بر اساس این دو محدودیت تنها قطعاتی انتخاب می‌شوند که حداقل استانداردهای کیفی مدنظر را دارا باشند. در رابطه (۷) محدودیت حداقل مقدار سفارش به هر تأمین‌کننده ارائه شده است. این محدودیت از انتخاب تأمین‌کنندگانی با میزان سفارش خیلی کم جلوگیری کرده و انتخاب هر تأمین‌کننده تنها زمانی میسر خواهد شد که میزان تخصیص از حداقل تعیین شده بیشتر باشد. براساس رابطه (۸) مقدار تخصیص هر قطعه به هر تأمین‌کننده باید کمتر از ظرفیت تولیدی آن تأمین‌کننده باشد. روابط (۹) و (۱۰) نیز نوع متغیرهای تصمیم مدل ریاضی را مشخص می‌کنند.

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \cdot X_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij} \cdot X_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n DL_{ij} \cdot X_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}} + \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n CO_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n LR_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n CS_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}}$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_j \cdot X_{ij} \quad (3)$$

S.t:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = \sum_{k=1}^K D_{ik} \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n PPM_{ij} \cdot X_{ij} \leq \sum_{k=1}^K APPM_i \cdot D_{ik} \quad \forall i \quad (5)$$



$$\sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \leq \sum_{k=1}^K AC_i \cdot D_{ik} \quad \forall i \quad (6)$$

$$X_{ij} \geq Y_{ij} \cdot L_{ij} \sum_{k=1}^K D_{ik} \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$X_{ij} \leq CA_{ij} \cdot Y_{ij} \quad \forall i, j \quad (8)$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ and integer} \quad \forall i, j \quad (9)$$

$$Y_{ij} = . \text{ or } 1 \quad \forall i, j \quad (10)$$

همان طور که ذکر شد، مدل ارائه شده در این تحقیق چند محصولی و تک دوره‌ای بوده و از نوع چند هدفه و عدد صحیح آمیخته است. حل چنین مدلی نیازمند یک روش حل مسائل چند هدفه است که در ادامه روش حل مورد استفاده ارائه خواهد شد.

### ۳-۳- حل مدل ریاضی

روش برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه یک روشی تحلیلی بوده و در مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه کاربرد زیادی دارد. در مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه بیشتر از یک تابع هدف وجود دارد و معمولاً یک جواب بهینه وجود ندارد که به‌طور همزمان تمامی توابع هدف را بهینه سازد. بنابراین هدف این خواهد بود که مجموعه‌ای از جواب‌های پارتو برای مسئله به دست بیاید. هرچند که هر یک از این جواب‌های پارتو برای یکی از توابع هدف جواب بهینه هستند، اما دست‌کم یکی از توابع هدف دیگر را از مقدار بهینه دور می‌کنند. دو روش مرسوم برای حل برنامه‌ریزی چند هدفه، روش‌های ضرایب وزنی و محدودیت افسیلون هستند. روش حل مدل ریاضی چند هدفه در این تحقیق روش محدودیت -

اپسیلون تقویت شده (AUGMECON)<sup>۲۸</sup> است. مزیت این روش در ارائه فقط جواب‌های بهینه پارتوی مناسب و اجتناب از جواب‌های ناکارآمد است [۲۹]. قالب کلی مسئله بهینه‌سازی چندهدفه با این روش به صورت زیر است [۲۹]:

$$\begin{aligned} & \text{Max } (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \\ & \text{St : } x \in S \end{aligned} \quad (11)$$

در رابطه فوق، S نشان‌دهنده منطقه موجه است. برای حل مدل فوق با روش محدودیت اپسیلون نخست یکی از توابع هدف را به عنوان تابع هدف اصلی در نظر می‌گیریم. هر بار با در نظر گرفتن یکی از توابع هدف مسئله را حل کرده و جواب‌های بهینه را به دست می‌آوریم. پس از آن غیر از تابع هدف اصلی، بقیه توابع را در محدودیت قرار داده و مسئله را به شکل زیر تبدیل می‌کنیم:

$$\text{Max } \left( f_1(x) + \theta \left( \frac{s_2}{r_2} + \frac{s_3}{r_3} + \dots + \frac{s_i}{r_i} + \dots + \frac{s_n}{r_n} \right) \right) \quad (12)$$

St:

$$f_2(x) - s_2 = \varepsilon_2$$

$$f_3(x) - s_3 = \varepsilon_3$$

.

.

.

$$f_n(x) - s_n = \varepsilon_n$$

$$s_i \in R^+$$

$$x \in S$$

$$i \in [2, n]$$

جواب‌های بهینه مدل از طریق متغیرهای پارامتریک سمت راست محدودیت‌های اضافه شده (اپسیلون‌ها) به دست می‌آیند. دامنه تغییرات جواب تابع هدف i ام است:

$$r_i = PIS_{f_i} - NIS_{f_i} \quad (13)$$

که در رابطه فوق  $PIS_{f_i}$  بهترین جواب برای تابع هدف  $i$  ام (راه حل ایده آل مثبت<sup>۲۹</sup>) و  $NIS_{f_i}$  بدترین جواب برای تابع هدف  $i$  ام (راه حل ایده آل منفی<sup>۳۰</sup>) هستند. جواب های ایده آل مثبت و منفی برای هر تابع هدف، بهترین و بدترین جواب به دست آمده از حل مدل با لحاظ تنها همان تابع هدف و بدون در نظر گرفتن سایر توابع هدف است. همچنین  $\theta$  یک عدد بسیار کوچک بین  $0/001$  و  $0/000001$  بوده و  $s_i$  متغیر کمکی متناظر با تابع هدف  $i$  ام است. اگر  $r_i$  به  $l_i$  فاصله مساوی تقسیم شود، تعداد  $l_i+1$  نقطه مختلف به دست می آید که مقدار هر نقطه از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\varepsilon_i^\gamma = NIS_{f_i} + \frac{r_i}{l_i} \times \gamma \quad (14)$$

در رابطه فوق  $\gamma$  شماره نقطه است. این روش حل باید برای همه بردارهای  $\varepsilon$  حل شود. بنابراین تعداد  $\prod_{i=2}^n (l_i + 1)$  زیر مسئله بهینه ایجاد می شود. برای تسهیل فرایند تصمیم گیری در انتخاب بهترین راه حل های بهینه پارتو و مقایسه روش های حل می توان از رویکرد فازی به شکل زیر استفاده کرد [۲۹]:  
برای توابع هدف کمینه سازی مقدار تابع عضویت از رابطه ۱۵ و برای توابع هدف بیشینه سازی مقدار تابع عضویت با استفاده از رابطه ۱۶ محاسبه می شود:

$$\alpha_i^l = \begin{cases} 1 & f_i^l \leq f_i^{\min} \\ \frac{f_i^{\max} - f_i^l}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} & f_i^{\min} \leq f_i^l \leq f_i^{\max} \\ 0 & f_i^l \geq f_i^{\max} \end{cases} \quad (15)$$

$$\alpha_i^l = \begin{cases} 0 & f_i^l \leq f_i^{\min} \\ \frac{f_i^{\max} - f_i^l}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} & f_i^{\min} \leq f_i^l \leq f_i^{\max} \\ 1 & f_i^l \geq f_i^{\max} \end{cases} \quad (16)$$

در روابط فوق مقدار تابع هدف  $i$  ام در  $l$  امین جواب بهینه پارتو و  $\alpha_i^l$  مقدار تابع عضویت  $f_i^l$  هستند. همچنین مقدار کل تابع عضویت برای  $l$  امین جواب بهینه پارتو از رابطه زیر به دست می‌آید که در واقع نشان‌دهنده ارزش کلی به دست آمده از حل مدل است. در رابطه ۱۷،  $W_i$  بیانگر وزن نسبی توابع هدف است که با نظر کارشناسان شرکت و با استفاده از روش AHP به دست آمده است. جوابی که دارای بیشترین مقدار TVGP<sup>l</sup> (ارزش کل خرید سبز) باشد، به عنوان بهترین راه‌حل انتخاب می‌شود:

$$\text{TVGP}^l = \sum_{i=1}^n W_i \alpha_i^l \quad (17)$$

با استفاده از رویکرد فوق و با در نظر تابع هدف دوم (عملکرد اقتصادی غیرهزینه‌ای) به عنوان تابع هدف اصلی، مسئله به شکل زیر تبدیل می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n DL_{ij} \cdot X_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n R_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}} + \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n CO_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n LR_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n CS_j \cdot \frac{X_{ij}}{\sum_{k=1}^K D_{ik}} \\ & + \delta \cdot \left( \frac{S_1}{r_1} + \frac{S_3}{r_3} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

s. t:

$$-\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \cdot X_{ij} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij} \cdot X_{ij} - s_1 = \varepsilon_1 \quad \forall i, j \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_j \cdot X_{ij} - s_3 = \varepsilon_3 \quad \forall i, j \quad (20)$$

(۱۰) - (۴)

سپس هر یک از توابع هدف فرعی (توابع اول و سوم) بدون در نظر گرفتن سایر توابع بهینه‌سازی می‌شوند و بهترین و بدترین راه‌حل و دامنه تغییرات برای آنها محاسبه می‌شود. نتایج انجام این مرحله در جدول ۵ آمده است. لازم به ذکر است که تابع هدف اول به علت کمینه‌سازی بودن نخست در یک منفی ضرب شده است. در مرحله بعد با تقسیم بازه‌های تغییرات به ۶ قسمت، برای هر بازه ۷ نقطه حاصل می‌شود که در مجموع برای دو تابع هدف فرعی ۴۹ نقطه پارتو حاصل می‌شود. با استفاده از رابطه ۱۴ مقادیر اپسیلون برای نقاط پارتو محاسبه می‌شود. از بین ۴۹ نقطه مذکور، ۴۱ نقطه موجه و بقیه غیر موجه شدند که برای این نقاط مقادیر تخصیص به دست آمد. همچنین مقادیر اپسیلون، توابع هدف و TVGP برای نقاط موجه مطابق جدول ۷ هستند. نقطه‌ای که دارای بیشترین مقدار TVGP است، جواب بهینه مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز خواهد بود. همچنین وزن نسبی توابع هدف که در محاسبه TVGP به کار رفته‌اند، با نظر کارشناسان شرکت مورد مطالعه با استفاده از روش AHP محاسبه شده است که در جدول ۶ قابل مشاهده است.

جدول ۵ جواب‌های به دست آمده با حل مدل با در نظر گرفتن تک‌تک توابع هدف

| تابع هدف سوم | تابع هدف اول |             |
|--------------|--------------|-------------|
| ۳۰۸۵۹۴       | -۴۰۴۳۳۴۸     | بهترین جواب |
| ۲۷۷۲۲۷/۱     | -۵۱۹۴۱۹۲     | بدترین جواب |
| ۳۱۳۶۶/۹      | ۱۱۴۹۸۴۴      | مقادیر I    |

جدول ۶ وزن نسبی توابع هدف به دست آمده از AHP

| توابع هدف | اقتصادی | اقتصادی غیر هزینه‌ای | زیست محیطی |
|-----------|---------|----------------------|------------|
| وزن       | ۰/۵۶۸   | ۰/۳۳۴                | ۰/۰۸۸      |

مشاهده می‌شود که جواب بهینه مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز در ردیف ۴ جدول ۷ با رنگ متفاوت مشخص شده است. مبنای انتخاب این نقطه به عنوان نقطه بهینه، حداکثر بودن مقدار TVGP است.

#### ۴- تحلیل حساسیت

برای تحلیل حساسیت مدل و بررسی تأثیر تغییر پارامترها بر تغییرات مدل، سه حالت در نظر گرفته می‌شود.

##### ۴-۱- ارزیابی تأثیرگذاری تابع هدف زیست‌محیطی بر سیستم

برای بررسی تأثیر تابع هدف زیست‌محیطی بر مدل، مسئله با حذف این تابع هدف و با لحاظ دو تابع هدف هزینه‌ای و اقتصادی غیر هزینه‌ای حل می‌شود. همان طور که در بخش ۳-۳ روش حل محدودیت اپسیلون توضیح داده شد، لازم است که یکی از دو تابع هدف را به عنوان تابع اصلی در نظر گرفت و دیگری را به محدودیت تبدیل کرد. با نظر گرفتن تابع هدف دوم به عنوان تابع اصلی و تقسیم بازه‌های تغییرات به ۶ قسمت، ۷ جواب پارتو حاصل می‌شود که همه آنها در منطقه موجه هستند. مقادیر جواب بهینه و TVGP در این حالت در جدول ۸ به صورت مقایسه‌ای با جواب حل اصلی مدل ارائه شده است. با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌شود که با حذف تابع هدف زیست‌محیطی، برای  $Z_1$  جواب بدتر (باتوجه به کمینه‌سازی این تابع هدف) و برای  $Z_2$  جواب بهتری حاصل شده است. اما با توجه به کاهش مقدار TVGP در این حالت می‌توان نتیجه گرفت که لحاظ تابع هدف زیست‌محیطی تأثیر مثبتی در مقدار ارزش فرایند خرید سبز دارد. همچنین بیشترین میزان تغییر در TVGP و کمترین میزان تغییر مربوط به تابع هدف دوم است. همچنین در هر دو حالت از بین ۴۵ تأمین‌کننده به تعداد ۳۵ تأمین‌کننده تخصیص صورت گرفته است و حذف تابع زیست‌محیطی تأثیری بر تعداد تأمین‌کنندگان منتخب ندارد.

جدول ۷ مقادیر توابع هدف و TVGP برای نقاط موجه حل مدل اصلی

| ردیف | $\varepsilon_1$ | $\varepsilon_2$ | Z           | Z            | Z          | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | $\alpha_3$ | TVGP    |
|------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|------------|------------|------------|------------|---------|
| ۱    | ۴۲۳۵۹۸۸/۶۶۷     | ۲۷۷۲۲۷/۱        | ۴۲۳۵۹۸۸/۳۷۳ | ۲۰۹۴۷۴۰۵/۸۲۲ | ۲۹۱۷۸۶/۰۶۳ | -۰/۹۹۳     | -۰/۰۳۳     | .          | -۰/۵۷۵  |
| ۲    | ۴۲۳۵۹۸۸/۶۶۷     | ۲۸۲۴۵۴/۹۱۷      | ۴۲۳۵۹۸۸/۳۷۳ | ۲۰۹۴۷۴۰۵/۸۲۲ | ۲۹۱۷۸۶/۰۶۳ | -۰/۹۹۳     | -۰/۰۳۳     | .          | -۰/۵۷۵  |
| ۳    | ۴۲۳۵۹۸۸/۶۶۷     | ۲۸۷۶۸۲/۷۳۳      | ۴۲۳۵۹۸۸/۳۷۳ | ۲۰۹۴۷۴۰۵/۸۲۲ | ۲۹۱۷۸۶/۰۶۳ | -۰/۹۹۳     | -۰/۰۳۳     | .          | -۰/۵۷۵  |
| ۴    | ۴۲۳۵۹۸۸/۶۶۷     | ۲۹۲۹۱۰/۵۵       | ۴۲۳۵۹۸۷/۹۳۶ | ۲۰۹۳۰۳۳۲/۴۴۷ | ۲۹۲۹۱۰/۵۷۷ | -۰/۹۹۳     | -۰/۰۳۴     | -۰/۹۳۳     | -۰/۶۵۸  |
| ۵    | ۴۲۳۵۹۸۸/۶۶۷     | ۲۹۸۱۳۸/۳۶۷      | ۴۲۳۵۹۸۸/۵۴۸ | ۲۰۶۸۲۳۶۸/۰۸۱ | ۲۹۸۱۳۸/۳۷۲ | -۰/۹۹۳     | -۰/۰۵۳     | -۰/۶۲      | -۰/۶۳۷  |
| ۶    | ۴۲۳۵۹۸۸/۶۶۷     | ۳۰۳۳۶۶/۱۸۳۷     | ۴۲۳۳۳۸/۳۲۹  | ۱۹۳۴۷۲۶۶/۶۴۶ | ۳۰۳۳۶۶/۱۸۴ | ۱          | -۰/۱۶۰     | -۰/۳۱۱     | -۰/۶۵۱  |
| ۷    | ۴۴۲۷۶۲۹/۳۳۳     | ۲۷۷۲۲۷/۱        | ۴۴۲۷۶۲۸/۰۴  | ۲۱۲۵۹۱۶۷/۳۵۲ | ۲۹۲۵۱۰/۵۴۸ | -۰/۶۱۴۳    | -۰/۰۰۹     | -۰/۹۵۷     | -۰/۴۳۶  |
| ۸    | ۴۴۲۷۶۲۹/۳۳۳     | ۲۸۲۴۵۴/۹۱۷      | ۴۴۲۷۶۲۷/۰۴  | ۲۱۲۵۹۱۶۷/۳۵۲ | ۲۹۲۵۱۰/۵۴۸ | -۰/۶۱۴۳    | -۰/۰۰۹     | -۰/۹۵۷     | -۰/۴۳۶  |
| ۹    | ۴۴۲۷۶۲۹/۳۳۳     | ۲۸۷۶۸۲/۷۳۳      | ۴۴۲۷۶۲۸/۰۴  | ۲۱۲۵۹۱۶۷/۳۵۲ | ۲۹۲۵۱۰/۵۴۸ | -۰/۶۱۴۳    | -۰/۰۰۹     | -۰/۹۵۷     | -۰/۴۳۶  |
| ۱۰   | ۴۴۲۷۶۲۹/۳۳۳     | ۲۹۲۹۱۰/۵۵       | ۴۴۲۷۶۲۸/۶۶۶ | ۲۱۲۵۸۱۰۲/۳۲۲ | ۲۹۲۹۱۱/۳۹۷ | -۰/۶۱۴۳    | -۰/۰۰۹     | -۰/۹۳۳     | -۰/۴۳۴  |
| ۱۱   | ۴۴۲۷۶۲۹/۳۳۳     | ۲۹۸۱۳۸/۳۶۷      | ۴۴۲۷۶۲۸/۰۳  | ۲۱۱۰۷۶۶۷/۷۷۸ | ۲۹۸۱۳۸/۴۸۰ | -۰/۶۱۴۳    | -۰/۰۲۱     | -۰/۶۲۲     | -۰/۴۱۱  |
| ۱۲   | ۴۴۲۷۶۲۹/۳۳۳     | ۳۰۳۳۶۶/۱۸۳      | ۴۴۲۷۶۲۶/۸۱  | ۱۹۴۴۶۳۵۳/۱۷۰ | ۳۰۳۳۶۶/۱۹۱ | -۰/۶۱۴۳    | -۰/۱۴۵     | -۰/۳۱۱     | -۰/۴۲۶  |
| ۱۳   | ۴۴۲۷۶۲۹/۳۳۳     | ۳۰۸۵۹۴          | ۴۳۷۴۲۲۵/۲۹۱ | ۸۰۴۶۳۶۶/۳۵۳  | ۳۰۸۵۹۴۱    | -۰/۷۲۰     | .          | ۱          | -۰/۴۹۷  |
| ۱۴   | ۴۶۱۹۲۷۰         | ۲۷۷۲۲۷/۱        | ۴۵۶۰۵۲۳/۱۲۳ | ۲۱۳۱۷۸۹۸/۶۷۶ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۳۵۲     | -۰/۰۰۵     | -۰/۸۹۱     | -۰/۳۸۰  |
| ۱۵   | ۴۶۱۹۲۷۰         | ۲۸۲۴۵۴/۹۱۷      | ۴۵۶۰۵۲۳/۱۲۳ | ۲۱۳۱۷۸۹۸/۶۷۶ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۳۵۲     | -۰/۰۰۵     | -۰/۸۹۱     | -۰/۳۸۰  |
| ۱۶   | ۴۶۱۹۲۷۰         | ۲۸۷۶۸۲/۷۳۳      | ۴۵۶۰۵۲۳/۱۲۳ | ۲۱۳۱۷۸۹۸/۶۷۶ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۳۵۲     | -۰/۰۰۵     | -۰/۸۹۱     | -۰/۳۸۰  |
| ۱۷   | ۴۶۱۹۲۷۰         | ۲۹۲۹۱۰/۵۵       | ۴۵۶۰۵۲۳/۱۲۳ | ۲۱۳۱۷۸۹۸/۶۷۶ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۳۵۲     | -۰/۰۰۵     | -۰/۸۹۱     | -۰/۳۸۰  |
| ۱۸   | ۴۶۱۹۲۷۰         | ۲۹۸۱۳۸/۳۶۶      | ۴۵۹۶۳۳۱/۹۴۵ | ۲۱۲۰۶۹۴۶/۳۰  | ۲۹۸۱۳۸/۳۹۳ | -۰/۳۱      | -۰/۰۱۳     | -۰/۶۲۲     | -۰/۳۱۹  |
| ۱۹   | ۴۶۱۹۲۷۰         | ۳۰۳۳۶۶/۱۸۳      | ۴۵۶۱۸۸۸/۰۴  | ۱۹۵۱۷۰۸۱/۹۴۹ | ۳۰۳۳۶۶/۱۹۱ | -۰/۳۳۷     | -۰/۱۴۰     | -۰/۳۱۱     | -۰/۳۶۷  |
| ۲۰   | ۴۶۱۹۲۷۰         | ۳۰۸۵۹۴          | ۴۵۸۸۰۲۹/۴۷۰ | ۸۱۵۲۸۴۹/۳۴۴  | ۳۰۸۵۹۴۱    | -۰/۲۹۸     | -۰/۹۹۲     | ۱          | -۰/۵۹۸  |
| ۲۱   | ۴۸۱۰۹۱۰/۶۶۷     | ۲۷۷۲۲۷/۱        | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | ۱          | -۰/۸۹۱     | -۰/۴۶۳  |
| ۲۲   | ۴۸۱۰۹۱۰/۶۶۷     | ۲۸۲۴۵۴/۹۱۷      | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | .          | -۰/۸۹۱     | -۰/۱۱۹  |
| ۲۳   | ۴۸۱۰۹۱۰/۶۶۷     | ۲۸۷۶۸۲/۷۳۳      | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | .          | -۰/۸۹۱     | -۰/۱۱۹  |
| ۲۴   | ۴۸۱۰۹۱۰/۶۶۷     | ۲۹۲۹۱۰/۵۵       | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | .          | -۰/۸۹۱     | -۰/۱۱۹  |
| ۲۵   | ۴۸۱۰۹۱۰/۶۶۷     | ۲۹۸۱۳۸/۳۶۷      | ۴۷۳۸۸۶۹/۰۶۴ | ۲۱۲۷۸۶۶۸/۰۴۴ | ۲۹۸۱۳۸/۳۷۸ | .          | -۰/۰۰۸     | -۰/۶۲۲     | -۰/۰۵۸  |
| ۲۶   | ۴۸۱۰۹۱۰/۶۶۷     | ۳۰۳۳۶۶/۱۸۳      | ۴۷۱۰۷۲۴/۸۲۴ | ۱۹۵۸۸۸۰۳/۹۶۳ | ۳۰۳۳۶۶/۱۹۱ | -۰/۵۵۶     | -۰/۱۳۵     | -۰/۳۱۱     | -۰/۱۰۵  |
| ۲۷   | ۴۸۱۰۹۱۰/۶۶۷     | ۳۰۸۵۹۴          | ۴۷۳۰۵۶۵/۵۹۰ | ۸۲۲۵۵۷۱/۳۸۸  | ۳۰۸۵۹۴۱    | -۰/۱۶۴     | -۰/۹۸۶     | ۱          | -۰/۴۳۷  |
| ۲۸   | ۵۰۰۲۵۵۱/۳۳۳     | ۲۷۷۲۲۷/۱        | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | ۱          | -۰/۸۹۱     | -۰/۴۶۳  |
| ۲۹   | ۵۰۰۲۵۵۱/۳۳۳     | ۲۸۲۴۵۴/۹۱۷      | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | .          | -۰/۸۹۱     | -۰/۱۱۹  |
| ۳۰   | ۵۰۰۲۵۵۱/۳۳۳     | ۲۸۷۶۸۲/۷۳۳      | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | .          | -۰/۸۹۱     | -۰/۱۱۹  |
| ۳۱   | ۵۰۰۲۵۵۱/۳۳۳     | ۲۹۲۹۱۰/۵۵       | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | .          | -۰/۸۹۱     | -۰/۱۱۹  |
| ۳۲   | ۵۰۰۲۵۵۱/۳۳۳     | ۲۹۸۱۳۸/۳۶۷      | ۴۷۳۸۸۶۹/۰۶۴ | ۲۱۲۷۸۶۶۸/۰۴۴ | ۲۹۸۱۳۸/۳۷۸ | .          | -۰/۰۰۸     | -۰/۶۲۲     | -۰/۰۵۸  |
| ۳۳   | ۵۰۰۲۵۵۱/۳۳۳     | ۳۰۳۳۶۶/۱۸۳      | ۴۷۱۰۷۲۴/۸۲۴ | ۱۹۵۸۸۸۰۳/۹۶۳ | ۳۰۳۳۶۶/۱۹۱ | -۰/۵۵۶     | -۰/۱۳۵     | -۰/۳۱۱     | -۰/۱۰۵  |
| ۳۴   | ۵۰۰۲۵۵۱/۳۳۳     | ۳۰۸۵۹۴          | ۴۷۳۰۵۶۵/۵۹۰ | ۸۲۲۵۵۷۱/۳۸۸  | ۳۰۸۵۹۴۱    | -۰/۱۶۴     | -۰/۹۸۶     | ۱          | -۰/۴۳۷  |
| ۳۵   | ۵۱۹۴۱۹۲         | ۲۷۷۲۲۷/۱        | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | ۱          | -۰/۸۹۱     | -۰/۴۶۳  |
| ۳۶   | ۵۱۹۴۱۹۲         | ۲۸۲۴۵۴/۹۱۷      | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | .          | -۰/۸۹۱     | -۰/۱۱۹  |
| ۳۷   | ۵۱۹۴۱۹۲         | ۲۸۷۶۸۲/۷۳۳      | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | .          | -۰/۸۹۱     | -۰/۱۱۹  |
| ۳۸   | ۵۱۹۴۱۹۲         | ۲۹۲۹۱۰/۵۵       | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | ۲۱۳۸۹۶۲۰/۶۹۰ | ۲۹۳۶۱۰/۹۳۱ | -۰/۷۰۷     | .          | -۰/۸۹۱     | -۰/۱۱۹  |
| ۳۹   | ۵۱۹۴۱۹۲         | ۲۹۸۱۳۸/۳۶۷      | ۴۷۳۸۸۶۹/۰۶۴ | ۲۱۲۷۸۶۶۸/۰۴۴ | ۲۹۸۱۳۸/۳۷۸ | .          | -۰/۰۰۸     | -۰/۶۲۲     | -۰/۰۵۷۶ |
| ۴۰   | ۵۱۹۴۱۹۲         | ۳۰۳۳۶۶/۱۸۳      | ۴۷۱۰۷۲۴/۸۲۴ | ۱۹۵۸۸۸۰۳/۹۶۳ | ۳۰۳۳۶۶/۱۹۱ | -۰/۵۵۶     | -۰/۱۳۵     | -۰/۳۱۱     | -۰/۱۰۵  |
| ۴۱   | ۵۱۹۴۱۹۲         | ۳۰۸۵۹۴          | ۴۷۳۰۵۶۵/۵۹۰ | ۸۲۲۵۵۷۱/۳۸۸  | ۳۰۸۵۹۴۱    | -۰/۱۶۴     | -۰/۹۸۶     | ۱          | -۰/۴۳۷  |

**جدول ۸ مقایسه جواب بهینه مدل و مقدار TVGP در دو حالت مدل دو هدفه و سه هدفه**

| TVGP  | $Z_2$        | $Z_1$       |                  |
|-------|--------------|-------------|------------------|
| ۰/۶۵۸ | ۲۰۹۳۰۳۳۲/۴۴۷ | ۴۲۳۵۹۸۷/۹۳۶ | مدل اصلی         |
| ۰/۵   | ۲۱۳۸۹۶۲۱/۶۹  | ۴۷۰۳۰۵۹/۲۵۳ | حذف تابع هدف سوم |
| ۰/۲۴  | ۰/۰۲۱        | ۰/۱۱        | درصد تغییرات     |

**۲-۴- تغییر وزن توابع هدف**

در این حالت با تغییر وزن توابع هدف، ۷ سناریوی مختلف را در نظر گرفته و برای هر کدام مقادیر بهینه و TVGP محاسبه می‌شوند. سناریوهای بررسی شده مطابق جدول ۹ هستند. لازم به ذکر است که  $W_3, W_2, W_1$  به ترتیب وزن توابع هدف اقتصادی هزینه‌ای، اقتصادی غیر هزینه‌ای و زیست‌محیطی هستند. با توجه به جدول ۶ مشاهده می‌شود که در این مسئله بیشترین مقدار به دست آمده برای ارزش کل خرید سبز مربوط به حالتی است که تابع زیست‌محیطی دارای وزن نسبی بیشتری است (سناریوی ۶). با توجه به اینکه وزن‌های واقعی به دست آمده از نظرات خبرگان شرکت مورد مطالعه، تفاوت عمده‌ای با وزن‌های سناریوی ۶ دارند، می‌توان نتیجه گرفت که با تغییر در رویکردها و استراتژی‌های شرکت، مبنی بر اهمیت بیشتر قائل شدن برای مسائل زیست‌محیطی، علاوه بر کسب منافع بلندمدت برای سازمان و جامعه می‌توان در کوتاه‌مدت نیز ارزش فرایند تأمین را افزایش داد. در واقع رعایت الزام‌های زیست‌محیطی در مدیریت زنجیره تأمین، یک موقعیت برنده - برنده برای زنجیره تأمین و جامعه ایجاد کرده و از طریق بهبود رقابت و جلب نظر مشتری نهایی، موجب کسب مزیت رقابتی در بازار جهانی می‌شود.

**جدول ۹ مقادیر TVGP به دست آمده با تغییر وزن توابع هدف**

| سناریو ۱ | سناریو ۲ | سناریو ۳ | سناریو ۴ | سناریو ۵ | سناریو ۶ | سناریو ۷ |       |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| ۰/۳۳۳    | ۰/۵      | ۰/۵      | ۰/۲      | ۰/۳      | ۰/۲      | ۰/۳      | $W_1$ |
| ۰/۳۳۳    | ۰/۳      | ۰/۲      | ۰/۵      | ۰/۵      | ۰/۳      | ۰/۲      | $W_2$ |
| ۰/۳۳۳    | ۰/۲      | ۰/۳      | ۰/۳      | ۰/۲      | ۰/۵      | ۰/۵      | $W_3$ |
| ۰/۷۶۳    | ۰/۶۹۳    | ۰/۷۸۳    | ۰/۸۵۵    | ۰/۷۸۵    | ۰/۸۵۷    | ۰/۷۸۸    | TVGP  |



### ۳-۴- تغییر پارامترهای کیفی و حداقل درصد سفارش

در این حالت با تغییر پارامترهای کیفیت قابل قبول ( $PPM_{ij}$  و  $C_{ij}$ ) و همچنین پارامتر حداقل درصد سفارش هر قطعه به هر تأمین کننده ( $L_{ij}$ )، میزان تغییر در جواب بهینه بررسی شده و مقادیر تخصیص محاسبه می‌شوند. برای انجام این کار ۴ سناریوی مختلف به شرح زیر لحاظ می‌شوند:

سناریو ۱: افزایش ۱۰ درصدی مقدار پارامترهای  $C$

سناریو ۲: افزایش ۱۰ درصدی مقدار پارامترهای  $PPM$

سناریو ۳: کاهش ۱۰ درصدی مقدار پارامترهای  $L$

سناریو ۴: افزایش همزمان مقدار پارامترهای  $C$  و  $PPM$  به میزان ۱۰ درصد

جواب بهینه حل مدل در ۴ حالت فوق و مقادیر TVGP در هر حالت در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰ نتیجه حل مدل در حالت‌های مختلف تغییر پارامترها

| TVGP  | $Z_3$      | $Z_2$        | $Z_1$       |                      |
|-------|------------|--------------|-------------|----------------------|
| ۰/۶۵۸ | ۲۹۲۹۱۰/۵۷۷ | ۲۰۹۳۰۳۲۲/۴۴۷ | ۴۲۳۵۹۸۷/۹۳۶ | جواب بهینه سناریو ۱  |
| .     | .          | .            | .           | درصد اختلاف سناریو ۱ |
| ۰/۷۵۳ | ۲۹۸۱۳۸/۳۶۷ | ۱۷۲۲۱۲۴۶/۱۴  | ۴۰۴۴۳۴۸     | جواب بهینه سناریو ۲  |
| ۰/۱۴۴ | ۰/۰۱۷      | ۰/۱۷۷        | ۰/۰۴۵       | درصد اختلاف سناریو ۲ |
| ۰/۷۲۲ | ۲۹۲۹۱۰/۶۸۹ | ۱۹۳۰۰۶۲۹/۴۶  | ۴۰۴۴۳۴۸     | جواب بهینه سناریو ۳  |
| ۰/۰۹۷ | .          | ۰/۰۷۷        | ۰/۰۴۵       | درصد اختلاف سناریو ۳ |
| ۰/۷۵۳ | ۲۹۸۱۳۸/۳۶۷ | ۱۷۲۲۱۲۴۶/۱۴  | ۴۰۴۴۳۴۸     | جواب بهینه سناریو ۴  |
| ۰/۱۴۴ | ۰/۰۱۷      | ۰/۱۷۷        | ۰/۰۴۵       | درصد اختلاف سناریو ۴ |

لازم به ذکر است که در جدول ۱۰، نسبت اختلاف نشان‌دهنده قدر مطلق اختلاف مقدار هدف هر سناریو با مقدار هدف در حل مدل اصلی تقسیم بر مقدار هدف در حل مدل اصلی است. در جدول ۱۰ می‌توان مشاهده کرد که مدل نسبت به تغییرات پارامتر  $C$  حساسیت ندارد، به همین جهت حالت‌های ۲ و ۴ جواب‌های یکسانی حاصل کرده‌اند. همچنین با افزایش پارامتر PPM مقادیر تابع هدف دوم و TVGP تقریباً با همان نسبت افزایش یافته است. این حالت بدین دلیل رخ می‌دهد که با افزایش مقادیر PPM، تأمین‌کنندگان کمتری شرایط لازم برای تخصیص را کسب می‌کنند و شرایط انتخاب آنها سخت‌تر می‌شود.

#### ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش روزافزون معضلات زیست‌محیطی در جوامع، لزوم توجه به این مسائل در عملیات سازمان‌ها و زنجیره‌های تأمین بر کسی پوشیده نیست. یکی از گام‌های اساسی در جهت سبز شدن زنجیره‌های تأمین، انتخاب تأمین‌کنندگانی است که الزام‌های زیست‌محیطی را در فرایند طراحی و تولید خود رعایت می‌کنند. به همین جهت در این تحقیق مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز در زنجیره تأمین ایران‌خودرو مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی تأمین‌کنندگان مجموعه‌ای از معیارها در دو بعد اقتصادی و زیست‌محیطی در نظر گرفته شد و بر مبنای آنها مدل ریاضی چند هدفه عدد صحیح طراحی شد. برای حل مدل ریاضی از روش محدودیت افسیلون استفاده شد و با استفاده از یک رویکرد فازی، مقادیر ارزش کل خرید سبز (TVGP) برای جواب‌های پارتو محاسبه شد و جواب بهینه پارتو با بالاترین مقدار TVGP مشخص شد. برای تحلیل حساسیت مدل، سه حالت مختلف لحاظ شد. در حالت اول با حذف تابع هدف زیست‌محیطی، مدل ریاضی مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز به یک مدل دو هدفه تبدیل شده و فرایند حل انجام شد. با مقایسه نتایج دو حالت مذکور مشاهده شد که اگرچه تعداد تأمین‌کنندگان منتخب در دو حالت یکسان بود، اما مقدار شاخص TVGP، که در رویکرد حل ارائه شده ملاک بهینگی پاسخ است، در حالت حذف تابع هدف زیست‌محیطی کاهش چشمگیری نسبت به مقدار این شاخص در حل مدل اصلی داشت. دومین تحلیل انجام شده در این تحقیق مربوط به تغییرات وزن توابع هدف است. نظر به اینکه خبرگان شرکت

مورد مطالعه در مقایسه با توابع اقتصادی، ضریب اهمیت بسیار کمتری را برای تابع هدف زیست‌محیطی قائل شدند (جدول ۶)، بنابراین در این تحلیل با هدف یافتن بهترین حالت ممکن برای مقدار TVGP هفت حالت مختلف برای ضرایب اهمیت توابع لحاظ شده و بر مبنای آنها مقادیر شاخص TVGP محاسبه شدند. همان طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، بهترین حالت ممکن برای ارزش کل خرید سبز حالتی است که در آن ضریب اهمیت تابع هدف زیست‌محیطی بیشتر از دو تابع دیگر است. از دو مورد مذکور می‌توان نتیجه گرفت که در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی در حل مدل انتخاب تأمین‌کننده، علاوه بر ایجاد سود برای مصرف‌کننده نهایی و جامعه، می‌تواند به نفع مشتری و کل زنجیره تأمین باشد. در سومین تحلیل انجام شده، اثر تغییرات سه پارامتر مهم مدل بر جواب بهینه بررسی شده و چهار سناریو تعریف شد. از این تحلیل مشخص شد که تغییر پارامتر  $PPM$  (که یک پارامتر کیفی بوده و نشان‌دهنده تعداد کالای مرجوعی به دلیل وجود نقص است)، بیشترین تأثیر را روی جواب بهینه دارد. از آنجا که پارامتر  $PPM$  یک معیار بسیار مهم برای شرکت مورد مطالعه در ارزیابی تأمین‌کنندگان است، نتیجه به دست آمده نشان از دقت و صحت مدل ارائه شده دارد.

نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که اگر چه در حال حاضر بسیاری از شرکت‌ها و زنجیره‌های تأمین در ایران توجه خاصی به مسائل زیست‌محیطی ندارند اما در آینده نه چندان دور تشدید اجبار رعایت الزام‌های محیط زیستی روز به روز بیشتر خود را نشان خواهد داد، بنابراین شرکت‌ها و زنجیره‌های تأمینشان باید ضرایب اهمیت بیشتری را برای مسائل زیست‌محیطی لحاظ نموده چرا که در غیر این صورت با پرداخت جرایم سنگین مواجه شده یا اینکه به نوعی دیگر متضرر خواهند شد. چه در شرایط فعلی و چه در شرایط آتی مدل ساخته شده معتبر بوده و کارکرد خود را خواهد داشت. فقط در آینده نه چندان دور ضریب اهمیت تابع هدف سبز بیشتر خواهد شد چیزی که در هفت سناریوی طرح شده روی آن صحبت شد.

محدودیت عمده تحقیق حاضر عدم وجود اطلاعات زیست‌محیطی دقیق در مورد تأمین‌کنندگان مورد نظر و لزوم استفاده از روش‌های قضاوتی است. به عنوان پیشنهادها کاربردی و مدیریتی تحقیق حاضر می‌توان گفت مدل ارائه شده در این تحقیق می‌تواند در زمینه انتخاب تأمین‌کنندگانی که علاوه بر تأمین مواد و ملزومات

با کیفیت در زمان مناسب، الزام‌های زیست‌محیطی را نیز رعایت می‌کنند، راهگشا باشد. نکته دیگر که باید مورد توجه قرار گیرد، اهمیت موضوع تحقیق در زنجیره تأمین خودرو است. بالا بودن کیفیت خودروهای تولیدی نقش بسزایی در کاهش آلودگی، کاهش صدمات جانی و مالی ناشی از تصادفات رانندگی و افزایش طول عمر خودروها دارد. دسترسی به این مهم بدون همکاری با تأمین‌کنندگانی که موارد کیفی و زیست‌محیطی را در طراحی و تولید محصولاتشان رعایت کنند، مقدور نخواهد بود. این مسئله به‌خصوص در کشور ما که در حال توسعه است و به‌ویژه در مورد زنجیره تأمین ایران خودرو، که بخش اعظم سهم بازار داخلی را در اختیار دارد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. شرکت سایکو که متولی مدیریت زنجیره تأمین ایران خودرو است، می‌تواند با استفاده از مدل ارائه شده در مطالعه حاضر و نتایج حاصل از آن اقدام به ارزیابی موقعیت تأمین‌کنندگان کرده و براساس نتایج ارزیابی، اقدام به ارتقای عملکرد تأمین‌کنندگان در حوزه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی نماید تا بتوانند نیازمندی‌های مشتریان و سازمان‌های قانون‌گذار را برآورده سازد.

همچنین با توجه به اهمیت انتخاب تأمین‌کننده و افزایش لزوم توجه به موضوع محیط‌زیست به‌ویژه در زنجیره تأمین خودرو می‌توان مواردی را جهت تحقیقات آینده و بسط موضوع انتخاب تأمین‌کننده سبز پیشنهاد داد. یکی از تغییراتی که می‌توان در مدل ایجاد کرد طراحی مدل ریاضی در حالت چند دوره‌ای و لحاظ بعد زمانی در مسئله است. مورد دیگر در نظر گرفتن عدم قطعیت در محاسبه پارامترهای مدل به‌ویژه تقاضا و ظرفیت است. الگو گرفتن از مدل ریاضی ارائه شده برای سایر سازمان‌ها با استفاده از معیارهای ارزیابی خاص آنها نیز می‌تواند یک زمینه تحقیقاتی دیگر باشد. پیشنهاد مطالعاتی دیگر طراحی مدل ریاضی در حالتی است که بتوان معیارهای زیست‌محیطی را برحسب قطعه محاسبه کرد؛ برای مثال مدل می‌تواند در مواردی که میزان انتشار کربن یا آلودگی ناشی از تولید هر محصول قابل اندازه‌گیری باشد، بسط داده شود. استفاده از سایر روش‌های موجود برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان یا محاسبه وزن توابع هدف یا حل مدل به جای روش‌های به کار رفته در این پژوهش نیز می‌تواند به عنوان پیشنهاد تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرد. همچنین می‌توان با افزودن معیارهای اجتماعی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در قالب انتخاب تأمین‌کننده پایدار مسئله را فرموله کرد.

## ۷- پی‌نوشت‌ها

1. Price
2. Quality
3. Delivery
4. Flexibility
5. Responsiveness
6. Dickson
7. Weber
8. Ho
9. Govindan
10. Environmental Management System (EMS)
11. Punniyamoorthy
12. Tseng & Chiu
13. Zhu
14. Yeh & Chuang
15. Chai
16. Multi Criteria Decision Making
17. Analytical Hierarchy Process
18. Yildiz & Yayla
19. Hu
20. Fuzzy TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)
21. VIKOR
22. Grey Relational Analysis
23. Shaw
24. Kannan
25. LINGO
26.  $PPM = 10^6 \times$  (مجموع کل قطعات دریافتی ایران‌خودرو در یک سال گذشته / مجموع برگشتی‌ها در یک سال گذشته)
27.  $C/100 \times 100$  (مجموع خودروهای تحویلی در دوره گارانتی / مجموع برگشتی‌های ساپکو از خدمات پس از فروش در دوره گارانتی) =
28. The augmented  $\varepsilon$ -constraint method
29. Positive Ideal Solution
30. Negative Ideal Solution
31. Total Value Of Green Purchasing

## ۶- منابع

- [1] Rabieh M., Azar A., Modarres Yazdi M., Fetanat Fard Haghighi M. (2011) "Designing a multi-objective robust multi-sourcing mathematical model, An approach for reducing the risk of supply chain (Case study: Supply Chain of IRAN KHODRO Company) "; *Industrial Management's Perspective*, 1: 57-77, (in Persian).

- [2] Mirghafouri S.H., Sadeghi Arani Z., Azizi F. (2014) "Present a model for green supplier selection with multi-criteria decision making approach (Case study: Ceramic and tile companies in Yazd); *Journal of Environmental Researches*, 5(10):83-96 (in Persian).
- [3] Hervani A.A., Helms M.M., Sarkis J. (2005) "Performance measurement for green supply chain management"; *Benchmarking: An International Journal*, 12(4): 331–353.
- [4] Hashemi S.H., Karimi A., Tavana M. (2014) "An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved grey relational analysis"; *Int. J. Production Economics*, 159(1): 178-191.
- [5] Lee A.H.I., Kang H.Y., Hsu C.F., Hung H.C. (2009) "A green supplier selection model for high-tech industry"; *Expert Systems with Applications*, 36(4): 7917-7927.
- [6] Govindan K., Rajendran S., Sarkis J., Murugesan P. (2015) "Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review"; *Journal of Cleaner Production*, 98: 66-83.
- [7] Brandenburg M., Govindan K., Sarkis J., Seuring S. (2014) "Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions"; *European Journal of Operational Research*, 233(2): 299–312.
- [8] Huang S.H., Keskar H. (2007) "Comprehensive and configurable metrics for supplier selection"; *Int. J. Production Economics*, 105(2): 510–523.
- [9] Ho W., Xu X., Dey P. K. (2010) "Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review"; *European Journal of Operational Research*, 202 (1) :16–24.
- [10] Punniyamoorthy M., Mathiyalagan P., Parthiban P. (2011) "A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection"; *Expert Systems with Applications*, 38 (1): 458–474.
- [11] Tseng M.L., Chiu A.S.F. (2013) "Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences"; *Journal of Cleaner Production*, 40(2): 22-31.

- [12] Zhu Q., Dou Y., Sarkis J. (2010) "A portfolio-based analysis for green supplier management using the analytical network process", *Supply Chain Management: An International Journal*; 15(4): 306–319.
- [13] Yeh W.C., Chuang M.C. (2011) "Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems"; *Expert Systems with Applications*, 38(4): 4244-4253.
- [14] Yazdani M. (2014) "An integrated MCDM approach to green supplier selection"; *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 5 (3):443–458.
- [15] Cao Q., Wu J., Liang CH. (2015) "An intuitionistic fuzzy judgement matrix and TOPSIS integrated multi-criteria decision making method for green supplier selection"; *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 28 (1): 117–126.
- [16] Keshavarz Ghorabae M., Zavadskas EK, Amiri M., Esmaili A. (2016) "Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets"; *Journal of Cleaner Production*, 137: 213-229.
- [17] Banaeian N., Mobli H., Fahimnia B., Nielsen I.E., Omid M. (2016) "Green Supplier Selection Using Fuzzy Group Decision Making Methods: A Case Study from the Agri-Food Industry"; *Computers and Operation Research*, DOI:10.1016/j.cor.2016.02.015.
- [18] Chai J., Liu J.N.K., Ngai E.W.T. (2013) "Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature"; *Expert Systems with Applications* 40(10): 3872–3885.
- [19] Yildiz A., Yayla A.Y. (2015) " Multi-Criteria Decision-Making Methods for Supplier Selection: A Literature Review"; *South African Journal of Industrial Engineering*, 26(2): 158-177.
- [20] Azizi H., Amir Teymouri A.R., Kord Rostami S. (2016) "A data envelopment analysis approach with efficient and inefficient frontiers for supplier selection in the presence of both undesirable outputs and imprecise data"; *Modern Researches in Decision Making*, 1(2): 139-170 (in Persian).

- [21] Azar A., Koliaee M., Amini M.R., Rajabzadeh Ghatari A. (2014) "Designing An Integrated Mathematical model for Closed loop Supply Chain"; *Management Researches in Iran*, 20(1) : 1-32 (in Persian).
- [22] Farokh M., Azar A., Jandaghi GH. (2016) "A novel robust fuzzy programming approach for closed loop supply chain design"; *Modern Researches in Decision Making*, 1(3): 131-160 (in Persian).
- [23] Hu A.H., Hsu C.W., Chen SH. (2010) "Incorporating carbon management into supplier selection in the green supply chain: evidence from an electronics manufacturer in Taiwan"; *In: Proceedings of 16th annual international sustainable development research conference. Hong Kong.*
- [24] Kannan D., Jabbour A.B., Jabbour C.J.CH. (2014) "Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company"; *European Journal of Operational Research*, 233(2): 432-447.
- [25] Mafakheri F., Breton M., Ghoniem A. (2011) "Supplier selection-order allocation: A two stage multiple criteria dynamic programming approach"; *International Journal of Production Economics*, 132(1): 52-57.
- [26] Shaw K., Shankar R., Yadav S.S., Lakshman S. Thakur L.S. (2012) "Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain"; *Expert Systems with Applications*, 39(9): 8182-8192.
- [27] Kannan D., Khodaverdi R., Olfat L., Jafarian A., Diabat A. (2013) "Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain"; *Journal of Cleaner Production*, 47: 355-367.
- [28] Wu CH., Barnes D. (2016) "An integrated model for green partner selection and supply chain construction"; *Journal of Cleaner Production*, 112: 2114-2132.



- [29] Azadnia A. M., Zameri Mat Saman M., Wong K. Y. (2015) "Sustainable supplier selection and order lot-sizing: an integrated multi-objective decision-making process"; *International Journal of Production Research*, 53(2): 383–408.