

# طراحی مدل ریاضی یکپارچه برای زنجیره تأمین با حلقه بسته

عادل آذر<sup>۱\*</sup>، مریم کولیایی<sup>۲</sup>، محمدرضا امینی<sup>۳</sup>، علی رجب زاده قطری<sup>۴</sup>

۱. استاد مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۴. دانشیار مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پذیرش: ۹۴/۱۲/۱

دریافت: ۹۴/۱۱/۲۱

## چکیده

دنیای امروزی بیشتر از هر زمانی رقابتی شده است و صنعت به‌طور فزاینده‌ای به مدیریت زنجیره تأمین به‌عنوان یک سلاح رقابتی می‌نگرد؛ بنابراین به‌منظور بقا در چنین محیط رقابتی برای سازمان‌های با کالای قابل بازیافت، مدیریت زنجیره تأمین با حلقه بسته به مسئله‌ای ضروری تبدیل شده است، به‌عبارت دیگر، عواملی همچون افزایش رقابت بین سازمان‌ها و کاهش هزینه‌ها در کنار مقررات و قوانین دولتی و افزایش آگاهی عمومی توجه مشتریان و سازمان‌ها را به مسائل بازیافت جلب کرده است. هدف این پژوهش ارائه یک روش یکپارچه برای زنجیره تأمین با حلقه بسته است که شامل دو مرحله است. در مرحله اول، چارچوبی برای معیارهای انتخاب تأمین‌کننده و پیمانکار در زنجیره‌های معکوس پیشنهاد می‌شود. به‌علاوه، از روش فازی برای ارزیابی آنها بر اساس معیارهای کمی و کیفی استفاده شده است. خروجی این مرحله ارزش هر یک از تأمین‌کننده‌ها و پیمانکارها برحسب قطعات است. در مرحله دوم یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه عدد صحیح مختلط چند دوره‌ای ارائه می‌شود، به‌طوری که انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص کالا به آنها (تصمیمات استراتژیک)، انتخاب پیمانکار و تخصیص کالا به آنها (تصمیم‌های تاکتیکی) و تعداد بهینه قطعات و محصولات در CLSC (تصمیم‌های عملیاتی) را تعیین کند. توابع هدف به ترتیب حداکثر کردن سود، حداقل کردن هزینه کارخانه و هزینه نگهداری موجودی سطح اطمینان قطعات و همین‌طور حداکثر ساختن ارزش تأمین‌کننده‌ها و پیمانکاران است و تابع هدف دیگر

مربوط به تخصیص کالا بین پیمانکاران یا انجام کار بازیافت توسط خود کارخانه است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین با حلقه بسته CLSC، برنامه‌ریزی چندهدفه، تئوری مجموعه فازی، برنامه‌ریزی آرمانی.

## ۱- مقدمه

بازارهای رو به رشد و انتظارات فزاینده مشتریان به‌عنوان عوامل مهم تأثیرگذار بر سازمان‌ها محسوب شده و موجب می‌شوند تا آنها به دنبال کسب مزیت رقابتی از طریق مرکز بر زنجیره تأمین خود باشند. از طرفی در محیط رقابتی امروز، رقابت دیگر به‌صورت شرکت به شرکت تعریف نمی‌شود، بلکه به‌صورت یک زنجیره تأمین در برابر زنجیره تأمین دیگر بیان می‌گردد [۱، صص ۱-۱۷]. در چنین محیط رقابتی، موفقیت نهایی کسب‌وکارها به توانایی مدیر در تلفیق شبکه پیچیده‌ای از روابط این زنجیره بستگی دارد. مدیریت زنجیره تأمین، وظیفه یکپارچه‌سازی واحدهای سازمانی در طول زنجیره تأمین و هماهنگ‌سازی جریان‌های مواد، اطلاعات و مالی به‌منظور برآوردن تقاضای مشتریان نهایی و باهدف بهبود رقابت‌پذیری را دارا هست [۲].

ملاحظات زیست‌محیطی و قوانین و مقررات دولتی مضاف بر مباحث رقابتی باعث شده است تا توجه سازمان‌ها بیشتر از گذشته به مسائل زیست‌محیطی جلب شود. یکی از مواردی که در این راستا از سوی متخصصان اجرایی و جوامع علمی مورد توجه قرار گرفته است، توجه به مسئله بازیافت مواد است که به‌صورت زنجیره تأمین معکوس یا زنجیره تأمین با حلقه بسته نمایان شده است. سازمان‌هایی که زنجیره تأمین با حلقه بسته را مدنظر قرار داده‌اند، نسبت به همتایان خود در موقعیت رقابتی بهتری قرار گرفته‌اند و همچنین توجه به این مسئله بر سوددهی آنها نیز اثراتی را داشته است. تحقیقات نشان می‌دهد این فعالیت‌ها باعث ایجاد درآمدهای حاصل از کاهش مصرف مواد اولیه و ایجاد ارزش‌افزوده حاصل از محصولات اصلاح شده می‌شود [۳، صص ۹۳۰-۹۳۹].

عناصر زنجیره تأمین عبارتند از تأمین‌کنندگان بالقوه، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروش‌ها، مشتریان و غیره [۴]. از آن جایی که انتخاب یک تأمین‌کننده قابل اعتماد، تولیدکنندگان را قادر می‌سازد که هزینه موجودی کالا را کاهش و کیفیت کالا و سطح خدمت ارائه‌شده را بهبود بخشند [۵، صص ۷۴-۸۸] و انتخاب نادرست آنها می‌تواند برای از بین بردن

منابع مالی و فنی یک زنجیره تأمین کافی باشد، بنابراین این مسئله قابل درک است که تولیدکننده‌ها نسبت به انتخاب تأمین‌کننده به‌طور فزاینده‌ای نگران باشند. از طرف دیگر با ظهور فلسفه JIT و چابکی در تولید و تمایل شرکت‌ها به این نوع تولید، انتخاب تأمین‌کننده جنبه‌ای استراتژیک نیز یافته است [۶، صص ۵۱-۷۶].

مسئله انتخاب تأمین‌کننده برای مدیران دشوار است، زیرا انتخاب بهترین تأمین‌کننده چیزی فراتر از در نظر گرفتن تنها یک معیار هزینه و قیمت است و به عوامل کمی و کیفی متعددی وابسته است [۷، صص ۱۶-۲۴؛ ۸، صص ۵۵۹-۵۶۸] به‌عبارت دیگر انتخاب تأمین‌کننده یک مسئله انتخاب چند معیاره (MCDM) است که عملکرد هر یک از تأمین‌کننده‌ها برحسب هر معیار متفاوت است. هدف از انتخاب تأمین‌کننده، شناسایی تأمین‌کننده‌ای است که بالاترین پتانسیل را جهت تأمین نیازهای شرکت با یک هزینه قابل قبول دارا باشد [۹، صص ۷۲۱-۷۲۵].

از طرف دیگر، با توجه به برخی ملاحظات مانند هزینه، ظرفیت، توان، دانش و تخصص ممکن است سازمان‌ها ترجیح دهند بخشی از کار خود را به پیمانکاران محول کنند که در این صورت انتخاب یک پیمانکار مناسب با اثرات مثبتی که بر هزینه تمام‌شده، کیفیت و... دارد می‌تواند منجر به کسب مزیت رقابتی برای سازمان‌ها شود.

بنابراین بررسی زنجیره تأمین در دو مرحله ضرورت دارد، به طوری که در مرحله اول چارچوبی مقتضی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده و پیمانکار فراهم شود و در مرحله دوم مدل ریاضی برای زنجیره تأمین با حلقه بسته فراهم شود.

ادامه مقاله به شیوه زیر سازمان‌دهی شده است؛ در ابتدا ادبیات پژوهش ارائه شده است. در بخش‌های ۳ و ۴ روش پژوهش، تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش بیان شده است. در بخش ۵ نیز بحث و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

## ۲- ادبیات تحقیق

### ۲-۱- ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده

با وجود ادبیات علمی بسیار جامع، ارزیابی و انتخاب صحیح تأمین‌کنندگان مواد اولیه، در بسیاری از صنایع با چالش فراوانی مواجه است. ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان فرایندی است که در طی آن تأمین‌کنندگان به‌عنوان یک جزء از زنجیره تأمین، مورد تحلیل، ارزیابی و انتخاب قرار می‌گیرند

[۱۰]. با توجه به تأثیر انتخاب تأمین‌کننده بر موفقیت لجستیک و زنجیره تأمین توجه خاصی به مسئله انتخاب تأمین‌کننده شده است و پژوهشگران تاکنون مقالات زیادی در این زمینه نوشته اند. جین و همکاران (۲۰۰۹) رویکردهای اصلی مرتبط با تأمین‌کننده شامل انتخاب تأمین‌کننده، روابط تأمین‌کننده- خریدار، انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده - خریدار در روابط را بر مبنای خلاصه‌ای از پژوهش‌های موجود قبل از ۲۰۰۷ مرور کردند [۱۱، صص ۳۰۱۳-۳۰۲۹]. هو و همکاران (۲۰۱۰) مرور ادبیاتی از رویکردهای تصمیم‌گیری برای انتخاب و ارزیابی تأمین‌کننده ارائه دادند. آنها مقالات سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ را بررسی و نتیجه‌گیری کردند که رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره بهتر از رویکردهای سنتی مبتنی بر هزینه هستند [۷، صص ۱۶-۲۴]. چای و همکاران (۲۰۱۳) مرور ادبیاتی از مقالات منتشر شده از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ در ارتباط با کاربردهای تصمیم‌گیری برای تأمین‌کننده ارائه دادند و برحسب سه چشم‌انداز روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)، روش برنامه‌ریزی ریاضی (MP) و روش هوش مصنوعی (AI)، به شناسایی روش‌های تصمیم‌گیری پرداختند: بر طبق آذر و همکاران (۲۰۱۱) مسئله انتخاب تأمین‌کننده در ادبیات معمولاً به‌عنوان مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره در نظر گرفته می‌شود. بنابراین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره زیادی برای حل این مسئله ایجاد شده است [۸، صص ۵۵۹-۵۶۸]. آنها یک مدل BSC برای استراتژی انتخاب تأمین‌کننده ارائه دادند و از روش تاپسیس و ویکور برای حل آن استفاده کردند. به‌علاوه، تئوری مجموعه فازی با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) برای مواجهه با عدم قطعیت در فرایند انتخاب تأمین‌کننده ترکیب می‌شود، به‌عنوان مثال بوتانی و ریزی (۲۰۰۶)، از تاپسیس فازی برای انتخاب بهترین تأمین‌کننده استفاده کردند [۱۲، صص ۲۹۴-۳۰۸]. به‌علاوه، چان و کومار در سال ۲۰۰۷ از روش AHP فازی استفاده کردند [۱۳، صص ۴۳۱-۴۱۷]. ونگ و همکاران (۲۰۰۹)، روش‌های AHP و تاپسیس را برای انتخاب بهترین تأمین‌کننده ترکیب کردند [۱۴، صص ۳۷۷-۳۸۶]. امین و ژانگ (۲۰۱۲) یک روش جدید بر مبنای اعداد زبانی و مثلثی فازی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان پیشنهاد دادند که برای ارزیابی تأمین‌کنندگان در حالت تکرر قطعات و معیارها، نسبت به سایر روش‌ها مزایای از قبیل کاهش زمان و محاسبات و درنهایت افزایش کارایی را داشت [۱۵، صص ۸۶۳۹-۸۶۴۸] که در این پژوهش به دلیل زیاد بودن معیارها و قطعات مورد استفاده قرار گرفته است.

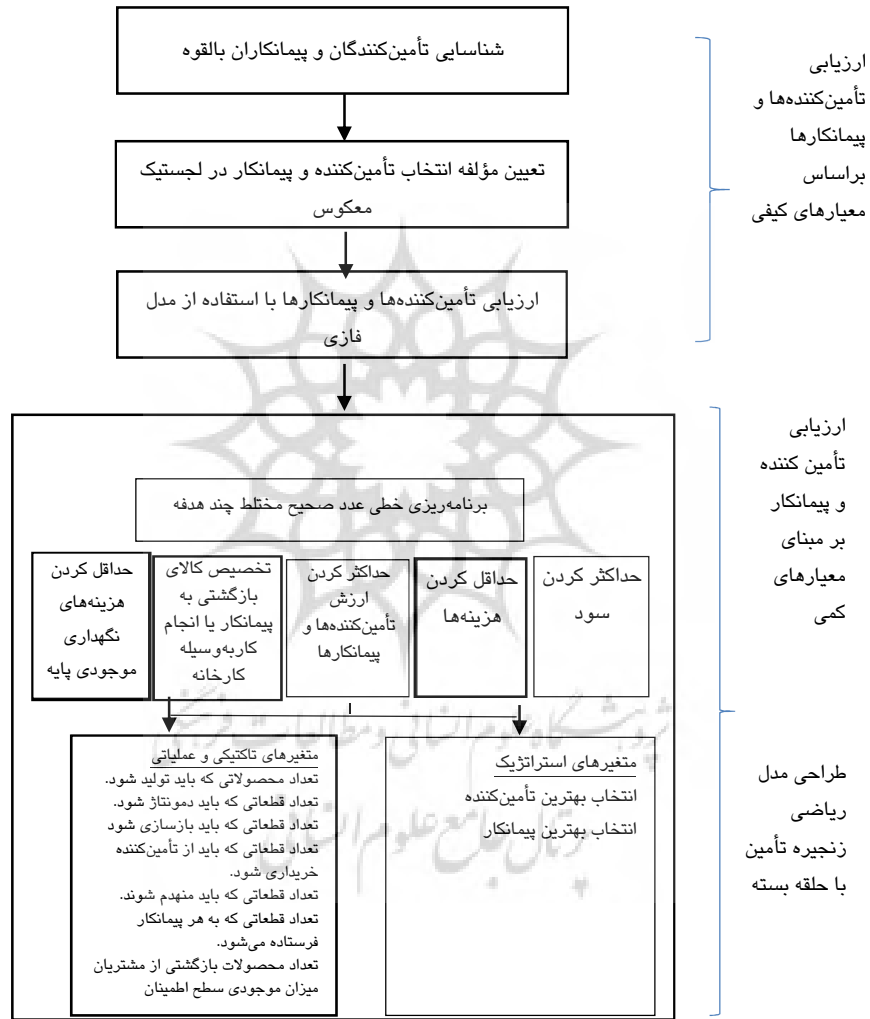
## ۲-۲- مدلسازی ریاضی

در زمینه مدلسازی زنجیره تأمین مقالات زیادی نوشته شده است [۱۶، صص ۵۲۸۸-۵۲۹۸؛ ۱۹، ص ۱۴]. لو و بوستل در سال ۲۰۰۷ یک مسئله مکانیابی با دو سطح را پیشنهاد دادند که در آن باید سه نوع تسهیلات در یک سیستم مشخص لجستیک معکوس مکانیابی شوند. آنها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را پیشنهاد دادند که به‌طور همزمان جریان «مستقیم» و «معکوس» و همین‌طور رابطه متقابل آنها را در نظر می‌گرفت. آنها یک الگوریتم بر مبنای هیوریستیک لاگرانژی پیشنهاد کردند [۲۰، صص ۲۹۹-۳۲۳]. کو و ایوانز یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط را پیشنهاد دادند که چند دوره‌ای، چند پله‌ای و چند محصولی است. آنها جریان مستقیم و معکوس را همزمان در نظر گرفتند [۲۱، صص ۳۴۶-۳۶۶]. Xanthopoulos & Iakovou, (2009) یک مدل دو مرحله‌ای برای لجستیک معکوس طراحی کردند. در مرحله اول، مدل تصمیم‌گیری مؤلفه‌های مناسب را شناسایی می‌کرد و در مرحله دوم به‌منظور پیکربندی شبکه یک مدل بهینه‌سازی چند دوره‌ای به کار گرفته شده بود [۲۲، صص ۱۷۰۲-۱۷۱۱]. گوپتا و ایوانز در سال ۲۰۰۹ یک رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی برای مدلسازی زنجیره تأمین با حلقه بسته پیشنهاد دادند [۲۳، صص ۷۱۳-۷۳۵]. پیشوایی و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلف دو هدفه ارائه دادند که در آن تابع هدف اول به حداقل رساندن هزینه‌های کل و تابع هدف دوم حداکثر کردن قدرت پاسخگویی شبکه لجستیک است. سپس توسط الگوریتم ممتیک<sup>۱</sup> حل شده است [۲۴، صص ۱۱۰۰-۱۱۱۲] توکلی مقدم و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس ارائه دادند [۲۵، صص ۴۳-۶۳]. طلوعی و همکاران (۲۰۱۴)، یک مدل ریاضی چند هدفه طراحی کردند که هزینه موجودی و تولید، میزان ضایعات و مدت زمان فرایند بر روی محصولات بازگشتی حداقل شود و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل پژوهش خود استفاده کردند [۲۶، صص ۱-۱۲].

## ۳- روش پژوهش

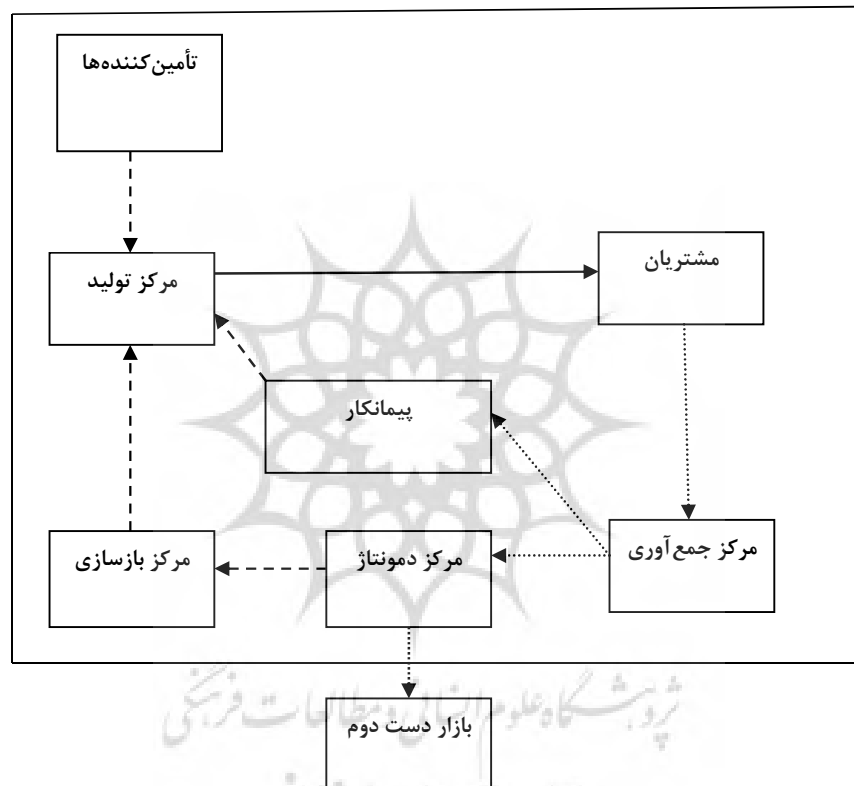
چارچوب مدلسازی پژوهش در شکل ۱ نمایش داده شده است. براساس مدل پیشنهادی برای انتخاب بهترین تأمین‌کننده و پیمانکار مقرر شد که در ابتدا شرکت تولیدکننده تأمین‌کنندگان، پیمانکارها و همچنین شاخص‌ها و مؤلفه‌های ارزیابی آنها را شناسایی و سپس، تصمیم‌گیرنده های اصلی تأمین‌کنندگان و پیمانکارها را با استفاده از مدل فازی ارزیابی کنند. نتیجه این

مرحله، ارزش (اهمیت) تأمین‌کنندگان و پیمانکارها بر مبنای سنجه‌های کیفی است. در مرحله بعد، مدل ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته طراحی می‌شود که یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چندهدفه است. در این مرحله، متغیرهای تصمیم مرتبط محاسبه می‌شوند.



شکل ۱ چارچوب مدل پیشنهاد شده

از آن جایی که اولین گام در جهت مدلسازی یک زنجیره تأمین، شناسایی اجزا و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر است، بنابراین در ابتدای کار زنجیره تأمین شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور و کار لجستیک معکوس آن بررسی می‌شود. نمای کلی این زنجیره در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲ مدل مفهومی زنجیره تأمین شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور

در این زنجیره مواد اولیه و قطعات از تأمین‌کنندگان مختلف خریداری شده و در انباری به مساحت ۱۷۶۵ مترمربع واقع در کارخانه انبار می‌شوند. مواد خام با توجه به نیاز در فرایند

تولید قرار می‌گیرند. پس از تکمیل فرایند تولید، محصول نهایی به انبار محصول و یا از کارخانه به مشتری ارسال می‌شود. آسیب‌پذیر بودن شیشه باعث می‌شود که علاوه بر محصولاتی که معیوب محسوب می‌شوند، درصدی از آن نیز در طی مسیر ارسال به مشتری دچار خسارت شود. به علاوه پس از استفاده محصول توسط مشتری، برخی از قطعات به کار رفته در آنها دارای ارزش اقتصادی بوده و قابلیت بازیافت دارند، به عبارت دیگر از آن جایی که شیشه خام صد در صد قابل بازیافت و دیگر مواد خام به کار رفته چون نقره و فیلم پلیمری، پایه آینه از ارزش نسبتاً بالایی برخوردارند، وجود سازوکار لجستیک معکوس و برگرداندن دوباره این مواد به چرخه تولید توجیه اقتصادی خواهد داشت. بنابراین محصولات بازگشتی در مرکز جمع‌آوری ذخیره و پس از آن به مراکز دمونتاز و بازسازی - به منظور انجام عملیات دمونتاز و بازسازی محصول - فرستاده خواهد شد. با توجه به اینکه ظرفیت مراکز جمع‌آوری، دمونتاز و بازسازی محدود بوده و با توجه به بحث هزینه انجام کار توسط دمونتاز و بازسازی و مقوله کیفیت ممکن است برخی از امور دمونتاز و بازسازی از سوی پیمانکار صورت پذیرد، به این منظور تحلیل اقتصادی برای تخصیص محصولات بازگشتی به پیمانکار یا انجام کار توسط خود کارخانه ضرورت می‌یابد؛ بنابراین محصولات بازگشت داده شده به چرخه یا توسط خود کارخانه و یا پیمانکار و یا به صورت ترکیبی بازسازی شده و دوباره به چرخه تولیدی بازمی‌گردند. این قطعات بازگشتی و مهم‌تر اینکه پیش‌بینی صحیح از تعداد قطعات بازگشتی از دوره قبل، پیش‌بینی کننده مقدار خرید قطعات از تأمین‌کننده‌ها در دوره بعد از آن است. در ارتباط با ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده‌ها (مرحله اول) مراحل زیر به ترتیب انجام می‌پذیرد:

۱. شناسایی تأمین‌کنندگان بالقوه

۲. تعیین معیارهای مناسب برای انتخاب تأمین‌کننده

۳. ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از مدل فازی و تعیین بهترین تأمین‌کننده

در گام اول، در مجموع ۲۰ تأمین‌کننده بالقوه شناسایی شدند که پس از ارزیابی و پالایش اولیه، تعداد ۱۳ تأمین‌کننده برای تأمین قطعات مورد نیاز شرایط لازم را داشتند که باید در ادامه براساس معیارهای چندگانه کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار بگیرند. بنابراین در گام دوم باید معیارهای مناسب برای انتخاب تأمین‌کننده شناسایی شوند، به این منظور نخست از سطوح تلفیق ارائه شده توسط قدسی‌پور و ابراین [۲۷، صص ۱۹۹-۲۱۲] استفاده شد و در آن



معیارهای مهم در انتخاب تأمین‌کننده را برحسب ۵ سطح تلفیق خریدار - تأمین‌کننده ارائه دادند که استراتژی‌ها شامل عدم تلفیق، تلفیق لجستیک، تلفیق عملیاتی، تلفیق فرایند و محصولات با تأمین‌کننده و مشارکت در کسب‌وکار می‌باشند. بر مبنای این دسته‌بندی، استراتژی‌هایی اتخاذ شده‌اند که در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس این جدول مدیران سیستم سطح ۴ را برگزیدند. بنابراین استراتژی انتخاب و ارزیابی تأمین‌کننده را انتخاب کردند. سپس با اعضای کمیته ارزیابی جلسه‌ای برای تعیین معیارهای موردنظر تنظیم شد. با استفاده از نظرات گروه ارزیاب که شامل ۳ نفر (مدیریت کارخانه و نمایندگانی از بخش‌های خرید، کیفیت) و مشاوره با اساتید دانشگاه تربیت مدرس و بررسی ادبیات و مقالات مرتبط دسته‌بندی جدیدی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان ارائه گردید که شامل معیارهای کمی و کیفی است. در گام سوم که این تأمین‌کنندگان باید براساس یک روش فازی رتبه‌بندی شوند و این رتبه‌ها در واقع نتایج حاصل از اجرای مرحله اول مدل پژوهش می‌باشند که داده‌های آن به‌عنوان پارامترهای ورودی در مرحله دوم وارد مدل ریاضی می‌شود تا در یکی از توابع هدف که مرتبط با انتخاب بهترین تأمین‌کننده‌ها و تخصیص قطعه به آنها است، مورد استفاده قرار بگیرد. نحوه محاسبه اطلاعات به‌وسیله این روش فازی در ادامه این بخش ارائه خواهد شد.

جدول ۱ سطوح تلفیق و استراتژی‌های اتخاذ شده

سطوح تلفیق	توصیف	استراتژی
عدم تلفیق	قیمت و کیفیت مهم هستند.	انتخاب تأمین‌کننده
تلفیق لجستیک	علاوه بر قیمت و کیفیت، عناصر همکاری و ظرفیت چابکی مثل قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری مهم هستند.	انتخاب و ارزیابی تأمین‌کننده
تلفیق عملیاتی	چشم‌انداز ظرفیت مدیریتی نیز باید لحاظ شود.	انتخاب و ارزیابی تأمین‌کننده
تلفیق فرایندها و محصولات با تأمین‌کننده	علاوه بر معیارهای فوق، منابع انسانی تأمین‌کننده مثل توانایی مدیریت باید لحاظ شود.	انتخاب و ارزیابی تأمین‌کننده
مشارکت در کسب‌وکار	علاوه بر عوامل فوق، هدایت‌های استراتژیک تأمین‌کننده باید لحاظ شود.	انتخاب، ارزیابی و توسعه تأمین‌کننده



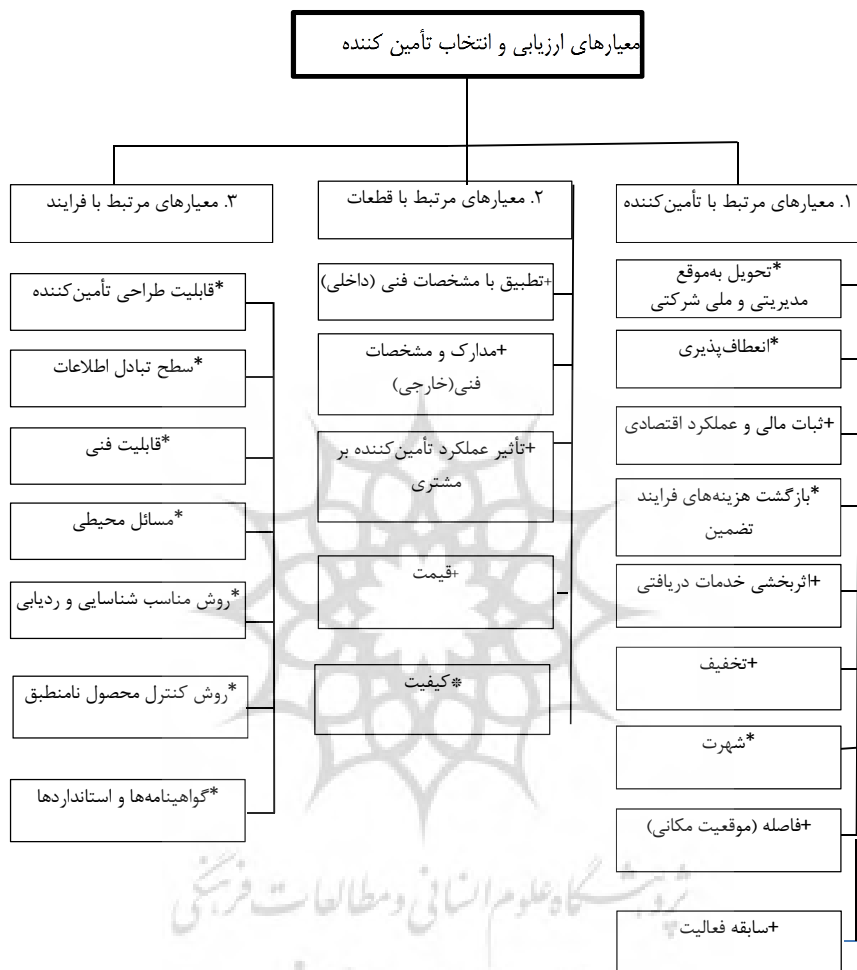
### ۳-۱- مدل سطح استراتژیک: ارزیابی تأمین‌کننده‌ها

همان طور که ذکر شد، در این مرحله با استفاده از تکنیک فازی سعی خواهد شد تا تأمین‌کنندگان و پیمانکاران باهم مقایسه و از نظر توجه به معیارهای مختلف رتبه‌بندی گردند. گام‌های اساسی در رابطه با این رتبه‌بندی به شرح زیر است:

در این بخش از یک روش بر مبنای متغیرهای زبانی و اعداد زبانی فازی (TFNs) برای ارزیابی تأمین‌کنندگان استفاده می‌شود. خروجی این قسمت، ارزش تأمین‌کنندگان است. در این مدل، سه تا پنج تصمیم‌گیرنده می‌توانند در فرایند تصمیم‌گیری مداخله کنند. فرض کنید که  $N$  تصمیم‌گیرنده ( $n=1,2,\dots,N$ ) و  $M$  مؤلفه ( $m=1,2,\dots,m$ ) وجود داشته باشد. علاوه بر آن  $J$  تأمین‌کننده بالقوه ( $j=1,2,\dots,J$ ) وجود داشته باشد که  $I$  قطعه ( $i=1,2,\dots,I$ ) را تولید می‌کنند. تولیدکننده به‌منظور تولید محصول این قطعات را مونتاژ می‌کند. مراحل این بخش به شرح زیر است:

مرحله ۱. معیارهای مناسب شناسایی و تعریف می‌شوند. پس از مطالعه و بازنگری ادبیات موضوع و مقالات منتشر شده در حوزه انتخاب تأمین‌کننده، طیف وسیعی از معیارهای مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده شناسایی شد، سپس با استفاده از روش میدانی و مصاحبه با خبرگان و کارشناسان، گروه ارزیابی شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور و متخصصان مرتبط دانشگاهی، شاخص‌های شناسایی شده غربال شد. در نهایت نیز در این پژوهش از چارچوب ذیل برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده به‌خصوص در شرکت‌های تولیدی ارائه شد. چارچوب بر مبنای دسته‌بندی‌های معیارهای مرتبط با تأمین‌کننده ( $Ca_1$ )، معیارهای مرتبط با قطعات ( $Ca_2$ ) و معیارهای مرتبط با فرایند ( $Ca_3$ ) هم طراحی شدند. در شکل ۳ این چارچوب ارائه شده است.

پرونده علمی و مطالعات فرآیندی  
پرتال جامع علوم انسانی



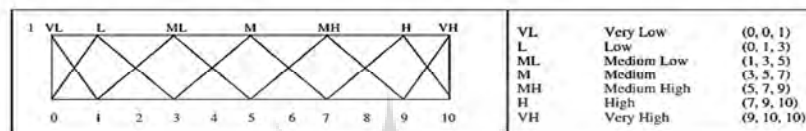
شکل ۳ نمودار معیارهای ارزیابی تأمین کننده‌ها  
\*معیارهای کیفی، + معیارهای کمی

مرحله ۲. مجموعه  $U = \{VL, L, ML, M, MH, H, VH\}$ ، مجموعه زبانی برای بیان نظرات در مورد گروه معیار در نظر گرفته می‌شود. این مقیاس از [۱۵، صص ۸۶۴۸-۸۶۳۹] اتخاذ شده



است. متغیرهای زبانی مجموعه U را با استفاده از اعداد زبانی فازی می‌توان کمی نمود (شکل ۴). هر یک از تصمیم‌گیرندگان با استفاده از این مجموعه به‌طور جداگانه هر یک از دسته‌ها را ارزش‌دهی می‌کنند ( $ca_x$ ) انگر اهمیت دسته x است و  $x=1,2,3$ . سپس هر یک از نظرات با معادله (۱) ادغام می‌شوند و ارزش دسته‌ها جمع می‌شوند.

$$(1) ca_x = \frac{ca_{x1} + ca_{x2} + \dots + ca_{xN}}{N}$$



شکل ۴. مقیاس زبانی فازی

مرحله ۳.  $W_{xmN}$  بیانگر اهمیت معیار m در دسته x است که توسط تصمیم‌گیرنده N است. اهمیت هر معیار با استفاده از معادله (۲) به دست می‌آید.

$$(2) W_{xm} = \frac{W_{xm1} + W_{xm2} + \dots + W_{xmN}}{N}$$

مرحله ۴. فرض کنید  $Su_{xmkN}$  بیانگر ارزیابی تأمین‌کننده k برحسب معیار m در دسته x باشد که ارزیاب N داده است. هر تصمیم‌گیرنده به‌طور جداگانه به هر یک از معیارها ارزش‌دهی می‌کند. ارزش کلی که به تأمین‌کننده K برحسب معیار m در دسته X ( $Su_{xmk}$ ) با معادله (۳) به دست می‌آید.

$$(3) SU_{xmj} = \frac{SU_{xmj1} + SU_{xmj2} + \dots + SU_{xmjN}}{N}$$

مرحله ۵. در این مرحله ارزش دسته‌ها، ارزش معیارها و ارزش کلی در هم ضرب می‌شوند. فرمول در معادله (۴) آورده شده است. در این معادله اعداد زبانی فازی هستند. اکنون اعداد باید از حالت فازی خارج شوند. در این پژوهش از یک روش ساده برای دفاعی کردن اعداد استفاده شده است. اعداد دفازی شده از  $a_{ik}=(a,n,b)$  با استفاده از معادله (۵) به دست می‌آیند [۵۳].

$$(4) a_j = \sum_{x=1}^r \sum_{m=1}^M C_{ax} \times W_{xm} \times SU_{xmj}$$

$$(۵) be_j = \frac{a+n+b}{3}$$

مرحله ۶. ارزش‌های نرمال شده (اهمیت) تأمین‌کنندگان برحسب هر معیار با معادله (۶) محاسبه می‌شود. اکنون می‌توان تأمین‌کنندگان را رتبه‌بندی کرد.

$$(۶) t_j = \frac{be_j}{\sum_{j=1}^k be_j}$$

به‌منظور ارزیابی پیمانکار نیز مراحل فوق تکرار خواهد شد.

### ۲-۳-۲- مدل سطح تاکتیکی و عملیاتی - مدلسازی ریاضی

#### ۱-۲-۳- مفروضات طراحی مدل

در طراحی مدل تحقیق، مفروضاتی وجود دارد که عبارتند از:

(۱) تصادفی بودن ماهیت پارامترهای نامطمئن

(۲) تبعیت تغییر پذیری داده‌های نامطمئن از توزیع متقارن

(۳) خطی بودن روابط بین متغیرهای مدل

#### ۲-۲-۳- اندیس‌های مدل سطح عملیاتی

به‌طور خلاصه اندیس‌ها در جدول ۲ نمایش داده شده است:

جدول ۲ اندیس‌های مدل

G	J	S	M	I	K	D	T	اندیس
آرمان (تابع هدف)	تأمین (عرضه) کننده	پیمانکار	محصول	قطعه	مشتری	مرکز	دوره زمانی	تعریف
						دمونتاز		

#### ۳-۳- متغیرهای مدل

متغیرهای مدل در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۳ متغیرهای مدل

نماد متغیرهای اصلی	تعریف
$Q_{tij}$	مقدار قطعه $i$ خریداری شده از تأمین‌کننده $j$ در دوره $t$
$Q'_{ti}$	مقدار قطعه $i$ سالم تحویل گرفته شده از تمامی تأمین‌کننده‌ها در دوره $t$
$X_{tm}$	مقدار محصول $m$ تولید شده در دوره $t$
$X_{tmk}$	مقدار محصول $m$ حمل شده از مرکز تولید به مشتری $k$ در دوره $t$
$V_{tmk}$	مقدار محصول $m$ حمل شده از مشتری $k$ به مکان جمع‌آوری در دوره $t$
$SV_{tms}$	مقدار محصول بازگشتی $m$ ارسال شده مرکز جمع‌آوری به پیمانکار $s$ در دوره $t$
$S_{tmd}$	مقدار محصول قابل بازیافت $m$ ارسال شده از مرکز جمع‌آوری به مرکز دمونتاز $d$ در دوره $t$
$N_{ti}$	مقدار قطعه $i$ ارسال شده از مرکز دمونتاز $d$ به مرکز بازسازی در دوره $t$
$D_{tis}$	تعداد قطعه $i$ ارسال شده از پیمانکار $s$ به مرکز تولید در دوره $t$
$Q_{ti}$	موجودی سطح اطمینان برای قطعه $i$ در مرکز تولید و در دوره $t$
$Y_{tij}$	متغیر صفر و یک به منظور انتخاب یا عدم انتخاب تأمین‌کننده $j$ در دوره $t$ برای خرید قطعه $i$
$Z_{ts}$	متغیر صفر و یک به منظور انتخاب یا عدم انتخاب پیمانکار $s$ در دوره $t$
$d_g^+$	متغیر انحراف از آرمان (انحراف مثبت)
$d_g^-$	متغیر انحراف از آرمان (انحراف منفی)

### ۳-۴- پارامترهای مدل عملیاتی

#### ۳-۴-۱- هزینه‌های حمل و نقل مستقیم

$h_{tij}$  هزینه حمل قطعه  $i$  از تأمین‌کننده  $j$  به مرکز تولید در دوره  $t$   
 $p_{tmk}$  هزینه حمل یک واحد محصول  $m$  از مرکز تولید به مشتری  $k$  در دوره  $t$

#### ۳-۴-۲- هزینه‌های حمل و نقل معکوس

$a_{tmd}$  هزینه حمل یک واحد محصول بازگشتی  $m$  از مرکز جمع‌آوری به مرکز دمونتاز  $d$  در دوره  $t$

$a_{ti}$  هزینه حمل هر قطعه  $i$  از مرکز دمونتاز  $d$  به مرکز بازسازی در دوره  $t$

$a'_{ti}$  هزینه حمل هر قطعه  $i$  از مرکز بازسازی به مرکز تولید در دوره  $t$

$S_{tms}$  هزینه حمل محصول بازگشتی  $m$  از مرکز جمع‌آوری به پیمانکار  $s$  در دوره  $t$  (sv)  
 $S'_{tms}$  هزینه حمل از پیمانکار  $s$  به مرکز تولید برحسب محصول  $m$  در دوره  $t$

### ۳-۴-۳- پارامترهای تشویقی برای بازیافت

$u_{tmk}$  هزینه انگیزشی و جمع‌آوری محصول  $m$  بازگشتی از مشتری  $k$  به مرکز جمع‌آوری در دوره  $t$

### ۳-۵- ظرفیت تجهیزات

$ca_{tm}$  ظرفیت تولید مرکز تولید برای محصول  $m$  در دوره  $t$   
 $US_{tmd}$  ظرفیت مرکز دمونتاز  $d$  برای محصول  $m$  در دوره  $t$   
 $US_{tms}$  ظرفیت پیمانکار  $s$  برای محصول  $m$  در دوره  $t$   
 $ca_{tr}$  ظرفیت مرکز بازسازی برای قطعه  $I$  در دوره  $t$

### ۳-۶- نرخ‌های بازگشت در لجستیک معکوس

$\beta_{tmk}$  نرخ بازگشت محصول استفاده شده  $m$  از منطقه مشتری  $k$  در دوره  $t$   
 $\alpha_{tis}$  نرخ قطعات  $I$  بازگشتی از پیمانکار  $s$  در دوره  $t$   
 $\gamma_{tmd}$  نرخ کالای معیوب  $m$  در مرکز دمونتاز  $d$  در دوره  $t$   
 $\Theta_{ti}$  نرخ قطعه معیوب  $I$  در مرکز بازسازی در دوره  $t$

### ۳-۷- پارامترهای تولید، تقاضا و نگهداری

$r_{tij}$  هزینه خرید قطعه  $i$  از تأمین‌کننده  $j$  در دوره  $t$   
 $f_{tij}$  هزینه ثابت مربوط به تأمین‌کننده  $j$  برحسب قطعه  $i$   
 $p'_{tm}$  سود فروش محصول  $m$  به مشتریان در دوره  $t$   
 $f_{ts}$  هزینه ثابت مربوط به پیمانکار  $s$   
 $p_{tm}$  هزینه تولید هر واحد محصول  $m$  در دوره  $t$   
 $h_{ti}$  هزینه نگهداری قطعه  $i$  در مرکز تولید در دوره  $t$

$n_{tim}$  تعداد قطعه  $i$  در هر واحد محصول  $m$  در دوره  $t$   
 $d_{tmk}$  تقاضای منطقه مشتری  $k$  برای محصول  $m$  در دوره  $t$   
 $Q_{tji}$  حداقل مقدار خرید از تأمین‌کننده  $j$  برای قطعه  $i$  در دوره  $t$   
 $u_{tji}$  مجموعه ظرفیت تخصیصی از جانب تأمین‌کننده  $j$  برای قطعه  $i$  در دوره  $t$   
 $U_{stms}$  مجموعه ظرفیت تخصیصی از جانب پیمانکار  $s$  برای محصول  $m$  در دوره  $t$   
 $l_{stms}$  حداقل مقدار محصول  $m$  ارسال‌شده برای پیمانکار  $s$  در دوره  $t$   
 $def_{tij}$  نرخ خرابی قطعه  $i$  برای تأمین‌کننده  $j$  در دوره  $t$

### ۳-۸- پارامترهای بازتولید

$b_{tmd}$  هزینه دمونتاز محصول  $m$  در مرکز دمونتاز  $d$  در دوره  $t$   
 $b_{tji}$  هزینه بازسازی قطعه  $i$  در مرکز بازسازی  $j$  در دوره  $t$   
 $o_{tms}$  هزینه بازتولید محصول  $m$  توسط پیمانکار  $s$  در دوره  $t$   
 $p''_{tim}$  سود فروش قطعه غیرقابل بازسازی  $i$  به بازار دست دوم در دوره  $t$

### ۳-۹- پارامترهای اخذ شده از مرحله اول مدل

$t_{tij}$  ارزش (وزن) تأمین‌کننده  $j$  برای قطعه  $i$  در دوره  $t$   
 $t_{tms}$  ارزش (وزن) پیمانکار  $s$  برای محصول  $m$  در دوره  $t$

### ۴- صورت‌بندی کامل مدل چندهدفه برای شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور

با توجه به شبکه زنجیره تأمین و فرضیات، اندیس‌ها، متغیر و پارامترهای بالا مدل ریاضی ما به صورت زیر خواهد بود:

$$Min Z_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M p'_{tm} X_{tm}$$



$$\begin{aligned}
 MinZ_{\gamma} &= \sum_{t=\backslash}^T \sum_{i=\backslash}^I \sum_{j=\backslash}^J (r_{tij} + h_{tij}) Q_{tij} \\
 &\quad + \sum_{t=\backslash}^T \sum_{j=\backslash}^J f_{tij} Y_{tij} \\
 &\quad + \sum_{t=\backslash}^T \sum_{m=\backslash}^M p_{tm} X_{tm} \\
 &\quad + \sum_{t=\backslash}^T \sum_{M=\backslash}^M \sum_{k=\backslash}^K p_{tmk} X_{tmk} + \sum_{t=\backslash}^T \sum_{m=\backslash}^M \sum_{k=\backslash}^K u_{(t-1)mk} V_{(t-1)mk} \\
 MinZ_{\gamma} &= \sum_{t=\backslash}^T \sum_{m=\backslash}^M \sum_{s=\backslash}^S (s_{(t-1)ms} + o_{(t-1)ms} + s'_{(t-1)ms}) SV_{(t-1)ms} \\
 &\quad + \sum_{t=\backslash}^T \sum_{s=\backslash}^S f_s Z_{(t-1)s} \\
 &\quad + \sum_{t=\backslash}^T \sum_{m=\backslash}^M \sum_{d=\backslash}^D [(b_{(t-1)md} + a_{(t-1)md}) S_{(t-1)md} \\
 &\quad + \sum_{t=\backslash}^T \sum_{i=\backslash}^I (b_{(t-1)i} + a_{(t-1)i} + a'_{(t-1)i}) N_{(t-1)i} \\
 &\quad + \sum_{t=\backslash}^T \sum_{i=\backslash}^I \gamma_{(t-1)md} n_{(t-1)im} S_{(t-1)md} p''_{(t-1)im} \\
 MaxZ_{\xi} &= \sum_{t=\backslash}^T \sum_{i=\backslash}^I \sum_{j=\backslash}^J t_{tij} Q_{tij} + \sum_{t=\backslash}^T \sum_{m=\backslash}^M \sum_{s=\backslash}^S t_{(t-1)ms} SV_{(t-1)ms}
 \end{aligned}$$



$$\text{Min} Z_o = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I h_{ti} Q_{ti}$$

Subject to

$$[\gamma] \sum_{m=1}^M n_{tim} X_{tm} = Q_{(t-1)i} + (1 - \theta) N_{(t-1)i} + Q'_{ti} + D_{(t-1)is} \quad \forall i, t$$

$$[\gamma] \sum_{m=1}^M \alpha_{tis} n_{(t-1)im} S V_{(t-1)ms} = D_{(t-1)is} \quad \forall i, s$$

$$[\gamma] (1 - \gamma) \times N_{(t-1)im} \times \sum_{d=1}^D S_{(t-1)md} = N_{(t-1)i} \quad \forall i, t, m$$

$$[\epsilon] \sum_{k=1}^K V_{(t-1)mk} = \sum_{d=1}^D S_{(t-1)md} + \sum_{s=1}^S S V_{(t-1)ms} \quad \forall m, t$$

$$[\delta] X_{tm} = \sum_{k=1}^K X_{tmk} \quad \forall mt$$

$$[\gamma] \beta_{tmk} X_{tmk} = V_{tmk} \quad \forall m, k, t$$

$$[\gamma] d_{tmk} \leq X_{tmk} \quad \forall t, m, k$$

$$[\lambda] Q'_{ti} = \sum_{j=1}^J \frac{Q_{tij}}{(1 - def_{tij})} \quad \forall t, i$$

$$[\gamma] l Q_{tij} Y_{tj} \leq Q_{tij} \leq u Q_{tij} Y_{tj} \quad \forall i, j, t$$

$$[\gamma] l S_{tms} Z_{ts} \leq S V_{tms} \leq U S_{tms} Z_{ts} \quad \forall m, s, t$$

$$[\gamma] S_{tmd} \leq U S_{tmd} \quad \forall m, t, d$$

$$[۱۲] N_{ti} \leq ca_{tr} \quad \forall i, t$$

$$[۱۳] X_{tm} \leq ca_{tm} \quad \forall m, t$$

$$Q_{tij}, Q'_{ti}, X_{tm}, X_{tmk}, V_{tmk}, SV_{tms}, S_{tmd}, Q_{ti} \geq \cdot \text{ and integer } \forall i, j, t, m, k, d$$

$$Y_{tij}, Z_{ts} = \cdot \text{ or } ۱$$

#### ۱-۴- توابع هدف

تابع هدف اول سود شرکت را حداکثر می‌کند، تابع هدف دوم به‌طور کلی هزینه‌های زنجیره مستقیم و برخی از زنجیره معکوس حداقل می‌کند شامل ۵ هزینه کلی به شرح زیر است:

(۱) هزینه خرید؛

(۲) هزینه سفارش دهی؛

(۳) هزینه تولید محصول؛

(۴) هزینه حمل از مرکز تولید به مشتری؛

(۵) هزینه انگیزشی بازگشت محصول-لازم به ذکر است که با توجه به اینکه به مابقی هزینه‌های زنجیره معکوس به‌صورت مسئله تخصیص نگریسته می‌شود، این هزینه‌ها در تابع هدف سوم حداقل خواهند شد-

در تابع هدف سوم تخصیص محصول بازگشتی  $m$  به پیمانکار یا انجام امور دمونتاز و بازسازی محصول بازگشتی  $m$  توسط کارخانه را بر اساس کمینه کردن هزینه‌های آن در دوره  $t$  بررسی می‌شود.

به‌طور کلی در تابع هدف چهارم، ارزش (وزن) هر یک از تأمین‌کنندگان و پیمانکاران که از مرحله قبل مدل حاصل شده است، حداکثر می‌شود.

در نهایت تابع هدف پنجم، هزینه نگهداری موجودی پایه را حداقل می‌کند.

#### ۲-۴- محدودیت‌های مدل عملیاتی

محدودیت‌های مدل عملیاتی به‌طور کلی از دو دسته محدودیت‌های تعادلی و محدودیت‌های ظرفیت تشکیل شده است.

##### ۱-۲-۴- محدودیت‌های تعادلی

محدودیت تعادلی اول تا سوم: این محدودیت، محدودیت تعادلی برای مرکز تولید است. محدودیت تعادلی چهارم: این محدودیت نشان می‌دهد که مجموعه محصول بازگشتی  $m$  ارسال‌شده از منطقه مشتریان  $k$  به مرکز جمع‌آوری با حاصل جمع محصولات ارسال شده برای مجموعه پیمانکاران  $s$  و مراکز دمونتاز  $d$  در دوره  $t-1$  برابر است. محدودیت تعادلی پنجم: به‌طور خلاصه محدودیت فوق بیانگر این است که تولید براساس تقاضا صورت می‌پذیرد و مجموعه همه کالاهای تولید شده با مجموعه همه محصولات ارسال شده به هر یک از منطقه مشتریان  $K$  در دوره  $t$  برابر است. محدودیت تعادلی ششم: این محدودیت بیانگر این است که محصول  $m$  که از مرکز توزیع به مشتری  $k$  در دوره  $t$  می‌رود، با نرخ  $\beta$  به مرکز جمع‌آوری و چرخه بازمی‌گردد و این نرخ برای هر محصول و هر مشتری متفاوت است. محدودیت تعادلی هفتم: این محدودیت تضمین می‌کند که تقاضای مشتریان در هر دوره برآورده شود. محدودیت تعادلی هشتم: این محدودیت نرخ نقص را در کالای خریداری شده از تأمین‌کننده در نظر می‌گیرد و به عبارتی زنجیره تأمین را یک زنجیره ناقص یا defective به شمار می‌آورد که به دنیای واقعی نزدیک‌تر است.

##### ۲-۲-۴- محدودیت‌های ظرفیت

محدودیت‌های نهم تا سیزدهم به‌ترتیب محدودیت‌های ظرفیت برای هر یک از تأمین‌کننده‌ها، پیمانکارها، مرکز دمونتاز، مرکز بازسازی و مرکز تولید را نشان می‌دهد.

##### ۳-۲-۴- ضرایب اهمیت در تابع هدف

با بهره‌گیری از نظر خبرگان شرکت و با استفاده از پرسشنامه مقایسات زوجی آرمان‌ها، تمامی آرمان‌ها دوبه‌دو مورد مقایسه قرار گرفته و وزن هر آرمان در جدول  $\epsilon$  آمده است.

جدول ۴ وزن هر آرمان در تابع هدف

آرمان	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
وزن	۰/۱۸	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۲۰

### ۵- تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

نتایج حل مدل. به‌منظور حل مدل طراحی شده، نخست تعداد متغیرها، محدودیت‌ها، اندیس‌ها و همچنین نوع آنها در جداول ۴ و ۵ مشخص و سپس به نتایج حل اشاره خواهد شد. حجم مدل برای شرکت تولیدی شیشه ایمنی به نور براساس جدول ۵ است.

جدول ۵ حجم مدل

اندیس	T	D	K	I	M	S	J	G
تعریف	دوره زمانی	مرکز دمونتاژ	مشتری	قطعه	محصول	پیمانکار	تأمین (عرضه)	آرمان (تابع هدف)
تعداد	۳	۲	۴	۱۰	۳	۵	۱۳	۴

جدول ۶ نوع و تعداد متغیرها

شرح	نوع	تعداد
متغیرها	اصولی	۱۱۷۹
	انحراف	از
	آرمان	۱۰
	کل	
محدودیت‌ها	اصولی	۱۰۰۵
	آرمانی	۵
	کل	۱۰۱۰
		۱۰۱۰

### ۵-۱- نتایج حل مرحله اول مدل: انتخاب تأمین‌کننده و پیمانکار

بر مبنای روش فازی ارائه شده رتبه نهایی تأمین‌کننده‌ها در جدول ۷ ارائه شده‌اند.

جدول ۷ رتبه نهایی تأمین‌کننده ز برحسب قطعه i

تأمین‌کننده/ قطعه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۱	۰	۰	۰	۰	۰.۱۵	۰.۲	۰.۶۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰	۰.۴۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۵۲	۰	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۰.۴۱	۰	۰	۰.۵۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۰	۰	۰.۴۲	۰	۰.۳۱	۰	۰	۰.۲۷	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۰.۳۹	۰	۰.۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۳۱	۰	۰	۰	۰
۶	۰	۰.۴۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۵۲	۰
۷	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۴۵	۰	۰	۰.۵۵	۰	۰	۰	۰
۹	۰	۰	۰	۰.۱۱	۰.۸۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۴۹	۰	۰.۵۱	۰	۰	۰	۰

رتبه‌های نهایی هر یک از تأمین‌کنندگان در جدول بالا قابل مشاهده است که به عنوان پارامتر ورودی تابع هدف سوم به همراه رتبه‌های هر یک از پیمانکاران در مدل ریاضی استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که سایر مراحل ارزیابی تأمین‌کننده بر مبنای روش فازی در پیوست ارائه خواهد شد.

### ۵-۲- نتایج حل مدل در سطح استراتژیک

با توجه به نتایج گسترده، مهم‌ترین آنها، یعنی آرمان‌ها و تابع هدف در سطح کلان و در قالب جدول ۸ ارائه خواهد شد:

جدول ۸ میزان تحقق هر آرمان

ردیف	شماره آرمان	نوع آرمان	نوع انحراف	مقدار بهینه هدف	مقدار آرمان پس از حل	مقدار انحراف $d_i^-$ , $d_i^+$	میزان تحقق آرمان
۱	اول	Max	$d_1^-$	۴۸۸۸۰۰۰۰۰۰	۲۴۵۵۲۶۰۰۰۰	۲۴۳۲۷۴۰۰۰۰۰	۵۰.۲%
۲	دوم	Min	$d_2^+$	۷۰۶۶۱۴۵۱۶۳۰۹.۵۴	۷۰۶۶۱۴۵۱۶۳۰۹.۵۴	۰	۱۰۰%
۳	سوم	Min	$d_3^+$	۳۶۹۴۰۳۹۷۲.۱۲	۳۶۹۴۰۳۹۷۲.۱۲	۰	۱۰۰%
۴	چهارم	Max	$d_4^-$	۱۱۲۰۰۰	۸۹۰۰۰	۰.۲۲۹۴۹	۷۹.۵%
۵	پنجم	Min	$d_5^+$	۲۴۲۴۰۲۲۸۴۴۵۷۴.۹۲	۲۴۸۱۱۸۹۰۶۴۴۶۸.۸۳	۵۷۱۶۶۲۱۹۸۹۴	۹۷.۶%

### ۳-۵- نتایج حل مدل در سطح عملیاتی

برخی از نتایج مدل در سطح عملیاتی و در جداول‌های ۹-۱۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۹ مقدار محصولات ارسال شده به هر یک از مشتریان در دوره دوم

$X_{tmk}$	$X_{211}$	$X_{221}$	$X_{231}$	$X_{212}$	$X_{222}$	$X_{232}$	$X_{213}$	$X_{223}$	$X_{233}$	$X_{214}$	$X_{224}$	$X_{234}$
مقدار	۴۸۵۰۰	۴۱۷۰۰۰	۹۴۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۲۷۰۰۰	۲۷۰۰۰	۳۷۱۰۰	۱۱۰۰۰	۱۱۰۰۰	۲۴۰۰۰	۱۱۰۰۰	۲۹۰۰۰

جدول ۱۰ مقدار تولید در دوره دوم

$X_{tm}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$
مقدار	۱۲۴۶۰۰	۵۶۶۰۰۰	۱۶۱۰۰۰

جدول ۱۱ مقدار کالای بازگشتی از هر یک از مشتریان در دوره دوم

$V_{tmk}$	$V_{211}$	$V_{221}$	$V_{231}$	$V_{212}$	$V_{222}$	$V_{232}$	$V_{213}$	$V_{223}$	$V_{233}$	$V_{214}$	$V_{224}$	$V_{234}$
مقدار	۰	۰	۰	۰	۰	۳۴۷۱۰	۱۲۰۷۰	۶۰۰۲۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۱۲ مقدار خرید قطعه از همه تأمین‌کننده‌ها در دوره دوم

$Q'_{ti}$	$Q'_{21}$	$Q'_{22}$	$Q'_{23}$	$Q'_{24}$	$Q'_{25}$	$Q'_{26}$	$Q'_{27}$	$Q'_{28}$	$Q'_{29}$	$Q'_{210}$
مقدار	۳۹۶۹۰۱	۲۹۴۳۶	۵۱۲۰۵۸	۶۸۰۵۷	۱۳۶۳۱۲	۳۸۶۱۴	۱۹۶۲۹	۲۹۴۶۱۲	۳۰۳۰۰	۵۶۶۸۷

## ۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بهره‌گیری از دانش مدلسازی ریاضی با کمک نظر خبرگان به طراحی مدل ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته پرداخته شد که در آن هم منطق علی و هم ذهنیت تصمیم‌گیرندگان رعایت شده است. با توجه به موارد بیان شده در بخش قبل، می‌توان نتیجه گرفت که به‌کارگیری این مدل می‌تواند بهبود فراوانی را در میزان دستیابی به آرمان‌ها و همچنین میزان تابع هدف حاصل کند.

با توجه به جواب‌های حاصل از مدل و استفاده از نظر خبرگان در مورد جواب‌های حاصل شده و مقایسه آن با وضع موجود، کارایی مدل تحقیق در بهبود تصمیم‌گیری‌های زنجیره تأمین با حلقه بسته برای شرکت مورد مطالعه تأیید شد. در مجموع استفاده از مدل آرمانی تحقیق، نتایج مثبت زیادی برای شرکت‌های استفاده‌کننده در پی دارد که می‌توان موارد زیر را بیان کرد:

از آن جایی که ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص کالا به آنها، با برنامه‌ریزی تولید و توزیع و بازگشت مجدد کالا به زنجیره یکپارچه شده است، پس علاوه بر تمامی مزایایی که از کلی‌نگری ناشی از یکپارچه‌سازی زنجیره به دست می‌آید، می‌توان پذیرفت که خرید کالا طبق مدل برحسب نیاز زنجیره و با در نظر گرفتن عواملی همچون میزان موجودی پایه، مقدار قطعات بازگشتی به زنجیره، صورت می‌پذیرد و در نتیجه موجودی مواد اولیه خام در انبار مواد اولیه کاهش یافته و این عدم انباشت موجودی هزینه‌های نگهداری مواد اولیه در انبار را کاهش داده است، باعث کاهش قیمت تمام‌شده کالا می‌گردد و در نهایت برای سازمان سود چشمگیری را در پی خواهد داشت.

از آن جایی که اکثر مقالات موجود در ادبیات تنها به بررسی حوزه تصمیمات استراتژیک در مدلسازی زنجیره تأمین با حلقه بسته پرداخته‌اند، مقالات اندکی در زمینه طراحی مدل ریاضی لجستیک معکوس، مدل‌های دو یا چندهدفه ارائه داده‌اند [۲۹؛۲۸؛۲۴]، استفاده از مدل آرمانی طراحی شده این اجازه را به شرکت می‌دهد تا به‌جای دنبال کردن یک هدف خاص برای مثال کاهش هزینه‌ها، چندین هدف مختلف و گاه متضاد را در هم‌زمان نظر بگیرد که مدل به دنیای واقع نزدیک‌تر باشد. بدیهی است که مدل فوق با توجه به اوزان اهمیت اهداف و سایر محدودیت‌ها تا آنجا که ممکن است اهداف موردنظر را برآورده می‌سازد.



از جمله فواید دیگر توجه به زنجیره تأمین با حلقه بسته می‌توان به حداکثرسازی استفاده از منابع طبیعی، کاهش قیمت تمام شده محصولات، افزایش رضایت مشتری و کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی اشاره کرد. لذا طراحی کارای مدل ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته می‌تواند منجر به ایجاد یک مزیت رقابتی پایدار برای سازمان شود. به محققان و علاقه‌مندان پیشنهاد می‌شود تا در مطالعات خود به بررسی موارد ذیل بپردازند:

- ۱) استفاده از سایر فنون وزندهی به معیارهای ارزیابی تأمین‌کننده‌ها
- ۲) اکثر محققان به منظور طراحی مدل‌های ریاضی زنجیره تأمین با حلقه بسته سعی نموده‌اند تا هزینه‌های کلی طراحی شبکه و هزینه‌های اضافی منتج شده از اختلالات را کمینه کنند. گرچه در نظر گرفتن اهداف دیگری هم چون پاسخگویی و مسئولیت اجتماعی در کنار تابع هزینه می‌تواند منجر به خروجی‌های ارزشمند با کاربرد بالا در دنیای واقعی شود، بنابراین توسعه مدل‌هایی با توانایی‌های مذکور می‌تواند به عنوان یک خط‌مشی جذاب برای تحقیقات تبدیل شود.
- ۳) در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهایی که ماهیت غیرقطعی دارند.

## ۷- پی‌نوشت

1. Memetic

## ۸- منابع

- [1] Azar A., Hoseini A. (2015) "Design of multi-product production planning model in supply chain based on goal programming approach", *Motaleat-E Modiriat Sanati*, Vol. 12, No. 34, pp. 1-17.
- [2] Ahmadi Nadoshan A. (2012) *Desihn of robust optimization mathematical model for logistic chain*, Tehran: Tarbiat Modares University.
- [3] Cruz-Rivera R. J, Ertel (2009) "Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico", *Eur. J. Oper. Res.*, Vol. 196, No.



- 3, pp. 930–939.
- [4] Roudi S. (2011) *Designing mathematical model for supply chain* (Case Study: Saba Ten Faram ), Tehran: Tarbiat Modares University.
- [5] Agha Mohammadali Kermani M., Hakimi M., Ali Ahmadi M. H. (2009) "Supplier selection in supply chain: Fuzzy approach", *Modiriat-E Farda*, Vol. 21, pp. 74–88.
- [6] Azar A., Rabieh M., Yazdi-Mohammad M., Haghghi M. F. F., (2011) "Fuzzy\_robust multi-objective mathematical sourcing model: An approach in risk management of Iran Khodro supply chain", *Pazhoheshha\_E Modiriat Iran*, Vol. 15, No. 1, pp. 51–76.
- [7] X. Xu W. Ho, P. K. Dey (2010) Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review", *Eur. J. Oper. Res.*, Vol. 202, No. 1, pp. 16–24.
- [8] Azar A., Olfat L., Khosravani F., Jalali R. (2011) "A BSC method for supplier selection strategy using TOPSIS and VIKOR: A case study of Gate Saz (part maker) industry", *Manag. Sci. Lett.*, Vol. 1, No. 4, pp. 559–568.
- [9] Feng D., Chen L., Jiang M. (2005) "Vendor selection in supply chain system: An approach using fuzzy decision and AHP" in *Services Systems and Services Management, Proceedings of ICSSSM'05. 2005 International Conference on*, 2005, Vol. 1, pp. 721–725.
- [10] Kleemann F. C. (2011) "An evaluation of supplier selection methods in strategic procurement".
- [11] Jain V., Wadhwa S., Deshmukh S. G. (2009) "Selecting supplier-related issues in modelling a dynamic supply chain: Potential, challenges and direction for future research", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 47, No. 11, pp. 3013–3039.
- [12] Bottani E, Rizzi A. (2006) "A fuzzy TOPSIS methodology to support outsourcing of logistics services", *Supply Chain Manag. An Int. J.*, Vol. 11, No. 4, pp. 294–308.

- [13] Chan F. T. S., Kumar N. (2007) "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach", *Omega*, Vol. 35, No. 4, pp. 417–431.
- [14] Wang J. W., Cheng C. H., Huang K. C. (2009) "Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection", *Appl. Soft Comput. J.*, Vol. 9, No. 1, pp. 377–386.
- [15] Amin S. H., Razmi J. (2009) "An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation", *Expert Syst. Appl.*, Vol. 36, No. 4, pp. 8639–8648.
- [16] Azar, A., Andalib D. (2012) "Production planning modeling: A fuzzy multi-objective fractional programming approach", *African J. Bus. Manag.*, Vol. 6, No. 15, pp. 5288–5298.
- [17] Esfandiari N., Seifbarghy M. (2013) "Modeling a stochastic multi-objective supplier quota allocation problem with price-dependent ordering", *Appl. Math. Model.*, Vol. 37, No. 8, pp. 5790–5800.
- [18] Wang H. F., Hsu H. W. (2010) "A closed-loop logistic model with a spanning-tree-based genetic algorithm", *Comput. Oper. Res.*, Vol. 37, No. 2, pp. 376–389.
- [19] Solvang W. D., Deng Z., Solvang B. (2007) "A closed-loop supply chain model for managing overall optimization of eco-efficiency", *POMS 18th Annu. Conf.*, p. 14.
- [20] Lu Z., Bostel N. (2007) "A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities", *Comput. Oper. Res.*, Vol. 34, No. 2, pp. 299–323.
- [21] Ko H. J., Evans G. W. (2007) "A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs", *Comput. Oper. Res.*, Vol. 34, No. 2, pp. 346–366.
- [22] Xanthopoulos A., Iakovou E. (2009) "On the optimal design of the disassembly and recovery processes", *Waste Manag.*, Vol. 29, No. 5, pp. 1702–1711.
- [23] Gupta A., Evans G. W. (2009) "A goal programming model for the operation of

- closed-loop supply chains", *Eng. Optim.*, Vol. 41, No. 8, pp. 713–735.
- [24] Pishvae M. S., Farahani R. Z., Dullaert W. (2010) "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design", *Comput. Oper. Res.*, Vol. 37, No. 6, pp. 1100–1112.
- [25] Tavakoli Moghadam R., Omidi Rekavandi M., Ghodrat-nama A., and <sup>۱</sup> (2013) "Mathematical model for integrated design of forward and reverse chain", Vol. 17, No. 4, pp. 43–63.
- [26] Toloee Ashlaghi A., Ehtesham Rasi R., Nazemi J., Alborzi J. (2014), "Design of mathematical model for production planning process optimization and inventory control in reverse chain", *Tos's and Tahavol*, No. 18, pp. 1–12.
- [27] Ghodsypour S.H., O'Brien C. (1998) "A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming", *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 56–57, pp. 199–212.
- [28] Du F., Evans G.W. (2008) "A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service", *Comput. Oper. Res.*, Vol. 35, No. 8, pp. 2617–2634.
- [29] Pati R. K., Vrat P., Kumar P. (2008) "A goal programming model for paper recycling system", *Omega*, Vol. 36, No. 3, pp. 405–417.