

اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۸، شماره ۱۱۲، زمستان ۱۳۹۹

DOI: 10.30490/AEAD.2021.341743.1196

## طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی در صنایع لبنی

اعظم خبوشانی<sup>۱</sup>، ام‌البنین یوسفی<sup>۲</sup>، مهدی فدایی<sup>۳</sup>، ایرج سلطانی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۱۳

### چکیده

یکی از فعالیت‌های مؤثر در مدیریت زنجیره تأمین سازمان‌ها طراحی یک ساختار شبکه زنجیره کارآ و کاربردی است که نقش مهم و به‌سزایی در موفقیت آنها ایفا می‌کند. با افزایش ملاحظات زیست‌محیطی و قوانین اجتماعی، سازمان‌ها ملزم می‌شوند که در طراحی زنجیره تأمین خود، علاوه بر

---

۱- دانشجوی دکتری مدیریت دولتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. (khabooshani\_2761@yahoo.com)

۲- نویسنده مسئول و استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، شاهین شهر، اصفهان، ایران.

(yousefi\_1302@yahoo.com)

(fadaeemahdi@gmail.com)

۳- استادیار دانشگاه پیام نور، واحد اصفهان، اصفهان، ایران.

(soltan134@gmail.com)

۴- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

اهداف اقتصادی، این گونه ملاحظات پایداری را نیز در نظر گیرند. با این رویکرد، در مطالعه حاضر، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با در نظر گرفتن معیارهای پایداری در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته صنایع لبنی ارائه شد. نخست، مهم‌ترین شاخص‌های پایداری با ابعاد سه‌گانه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی استخراج و اثرگذارترین شاخص‌ها به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره دیمتل (DEMATEL) انتخاب شدند. سپس، برای طراحی زنجیره پایدار، یک مدل عدد صحیح مختلط چندهدفه ارائه شد که اهداف آن همان شاخص‌های حاصل از روش دیمتل بودند. شاخص‌های حاصل از تکنیک دیمتل، شامل هزینه کل از بعد اقتصادی، مصرف آب و مصرف انرژی از بعد زیست‌محیطی و فرصت‌های شغلی از بعد اجتماعی می‌باشد که به عنوان توابع هدف مدل پیشنهادی تعریف شده‌اند. در ادامه، این مدل به کمک روش L-P متریک و با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل شد و مجموعه جواب‌های بهینه پارتویی به دست آمد. در پایان، پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در صنایع شیر پگاه اصفهان در سال ۱۳۹۸ صورت گرفت. اجرای مدل منجر به یافتن هفت دسته جواب بهینه پارتویی شد که از آن میان، کمترین میزان هزینه حدود هفتاد میلیون ریال در ماه، کمترین میزان مصرف آب حدود ۷۶۰ مترمکعب در ماه، کمترین میزان مصرف انرژی حدود ۹۶۳ مگاوات در ماه و بیشترین میزان فرصت‌های اشتغال حدود ۳۹ هزار نفر ساعت در ماه به دست آمد.

**کلیدواژه‌ها:** زنجیره تأمین پایدار، تصمیم‌گیری چندهدفه، روش دیمتل (DEMATEL)، صنایع لبنی.

طبقه‌بندی JEL: C19, D81, Q01

## مقدمه

رقابت شدید در بازارهای امروز و تغییر سریع ترجیحات مشتریان، سازمان‌ها را بر آن می‌دارد که همراه با توسعه سریع فناوری و جهانی شدن، در قالب اعضای زنجیره تأمین، با یکدیگر همکاری کنند. در حقیقت، رقابت واقعی بین شرکت‌ها نیست، بلکه بین زنجیره‌هاست (Christopher and Holweg, 2011). زنجیره تأمین دربرگیرنده تمامی فعالیت‌های مربوط به انتقال و جریان مواد، ضایعات و اطلاعات از اولین تأمین‌کننده تا آخرین مصرف‌کننده است و مدیریت زنجیره تأمین وظیفه یکپارچه‌سازی این فعالیت‌ها را بر عهده دارد. در زنجیره تأمین

طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

حلقه بسته، زنجیره مستقیم شامل همه فرآیندها از تأمین کنندگان مواد اولیه تا مشتریان نهایی و زنجیره معکوس شامل فعالیت‌های جمع آوری، بازیافت و امحای مواد یکپارچه‌سازی می‌شود (Pishvae and Razmi, 2012). با توجه به افزایش ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی در سازمان‌ها، طراحی شبکه زنجیره تأمین بدون در نظر گرفتن و ادغام ملاحظات یادشده با رویکرد اقتصادی امکان‌پذیر نیست (Resat and Unsal, 2019). توسعه پایدار<sup>1</sup> توسعه‌ای است که در آن، هم‌زمان سه بعد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در نظر گرفته شده و پایداری در زنجیره تأمین نیز در پی بهینه‌سازی مدیریت زنجیره در هر سه بعد است. بنا به تعریف، «پایداری» برآورده کردن نیازهای نسل فعلی بدون آسیب رساندن به نسل‌های آتی برای تأمین نیازهایشان است (Elkington, 2000). پیاده‌سازی پایداری در زنجیره تأمین به‌عنوان مسئله‌ای حیاتی برای سازمان تلقی و ادغام مفهوم پایداری در زنجیره تأمین به دغدغه اصلی صاحبان صنایع و جامعه دانشگاهی تبدیل شده است (Tseng and Hung, 2014). یکی از عواملی که نقشی عمده در پایداری زنجیره تأمین دارد، طراحی شبکه زنجیره تأمین است. طراحی شبکه زنجیره تأمین از مهمترین تصمیماتی است که در سطح کلان و راهبردی زنجیره تأمین اتخاذ می‌شود (Pishvae et al., 2014).

اهداف اقتصادی در زنجیره تأمین پایدار شامل کاهش هزینه‌های زنجیره و افزایش سود است. اهداف اجتماعی نیز بیانگر جنبه‌هایی از فعالیت زنجیره تأمین است که بر مسائل انسانی مانند ایمنی، رفاه، سلامت و اشتغال اثرگذار است؛ در نهایت، مسائل زیست‌محیطی اثر گزاهای گلخانه‌ای، کاهش لایه اوزن، کمبود آب شیرین، بیابان‌زایی، کمبود خاک مرغوب، آلودگی هوا، باران‌های اسیدی، جنگل‌زدایی، نابودی تنوع زیستی و دفع زباله سمی را شامل می‌شود (Jafarnejad and Bana Molaei, 2014).

نگرانی‌های اجتماعی و زیست‌محیطی درباره تأثیرات زنجیره تأمین مواد غذایی بر محیط زیست منجر به فشار فزاینده‌ی ذی‌نفعان به منظور بهبود عملکرد پایداری چرخه عمر

---

1. sustainable development

محصول از مزرعه تا مشتری شده است. صنعت مواد غذایی از اولین صنایعی است که به جنبه‌های پایداری، آلودگی و استانداردها و مسائل مربوط به ضایعات توجه کرده است (Yakovleva et al., 2010). با این همه، همچنان چالش‌های زیادی در این حوزه باقی است؛ افزایش نیاز غذایی و امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های دولت‌ها در دهه‌های اخیر است. کشاورزی و صنایع غذایی نقش مهمی در امنیت غذایی و اقتصاد بازی می‌کنند (Ghasemi et al., 2017). صنعت لبنیات یکی از صنایع غذایی و تبدیلی در ایران است که با سهم چهار درصدی جزو پرمصرف‌ترین صنایع غذایی از لحاظ انرژی است. پیش‌بینی شده است که در سال ۲۰۳۰، در کشورهای در حال توسعه، سرانه مصرف لبنیات به ۱۷۹ کیلوگرم خواهد رسید. در حال حاضر، این صنعت ۲۲ درصد سهم در بین زیرگروه‌های صنایع غذایی و یازده درصد سهم هزینه‌های خوراکی اصلی خانوار را به خود اختصاص داده است. طبق سند چشم‌انداز توسعه بخش صنعت، معدن و تجارت کشور، پیش‌بینی شده است که در سال ۱۴۰۴، نسبت اشتغال زنجیره تأمین فرآورده‌های غذایی به اشتغال در این بخش هشت درصد باشد، که ۱/۲ درصد از این سهم مربوط به صنایع لبنی است. مطابق این سند، زنجیره تأمین صنایع غذایی متعهد به عرضه فرآورده‌های غذایی سالم، ایمنی و مغذی برای همگان است. با توجه به اهمیت فرآورده‌های لبنی، وجود راهبردهای حمایت از زنجیره تأمین لبنیات همواره مورد توجه همه دولت‌ها و از آن جمله دولت‌های ایران بوده است (Fatemi Amin and Mortazaei, 2014). ضرورت مصرف محصولات لبنی بر سلامت انسان‌ها، عمر کوتاه محصولات تولیدی، ماهیت فسادپذیری محصول، محدودیت نگهداری و اهمیت نوع روش حمل‌ونقل این نوع محصولات باعث شده است که در طراحی زنجیره تأمین محصولات لبنی، حالت حلقه بسته در نظر گرفته شود؛ و محصولات فاسد از خرده‌فروشان جمع‌آوری و بازرسی و به مراکز بازیافت یا انهدام ارسال شود (Sgarbossa and Russo, 2017).

تاکنون پژوهش‌های گوناگون در زمینه طراحی زنجیره تأمین در داخل و خارج کشور صورت گرفته، که معمولاً به بررسی عوامل مؤثر بر زنجیره تأمین و یا طراحی شبکه زنجیره تأمین پرداخته‌اند؛ از آن میان، نخست، برخی از پژوهش‌های داخلی در پی یادآوری می‌شود. زارعیان جهرمی و همکاران (Zareian Jahromi et al., 2014)، در پژوهشی با عنوان «مدل بهینه سازی چندهدفه استوار در طراحی زنجیره تأمین پایدار» و با هدف دستیابی به شبکه پایدار از طریق حداقل سازی هزینه کل زنجیره تأمین و اثرات زیست‌محیطی، به طراحی پایدار برای شبکه لجستیک چندمحصولی در شرایط عدم قطعیت با رویکرد استوار برای مدل سازی عدم قطعیت پرداختند. قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2017)، در پژوهشی با عنوان «شناسایی و اولویت بندی شاخص‌های پایداری در صنایع کشاورزی»، با استفاده از روش فرآیند سلسله‌مراتبی، به اولویت بندی شاخص‌های پایداری پرداختند و نتایج نشان داد که شاخص‌های بهره‌وری و تمرکز بازار، مصرف آب، مصرف انرژی، بازیافت زباله، حجم استخدام و تعادل در استخدام از بالاترین میزان اهمیت در صنعت کشاورزی برخوردارند. باورصاد و همکاران (Bavarsad et al., 2018)، در پژوهشی با عنوان «ارائه مدل زنجیره تأمین پایدار در صنایع دریایی، مطالعه موردی: سازمان صنایع دریایی»، به بررسی تأثیر فشار مشتری و نوآوری به صورت جداگانه بر زنجیره تأمین پرداختند؛ نتایج تحلیل داده‌ها با استفاده از معادلات ساختاری نشان داد که چه فشار مشتری و چه نوآوری تأثیر مثبت و معنی‌دار بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار دارند و عوامل کلیدی برای موفقیت زنجیره تأمین پایدار به‌شمار می‌روند. در پی، برخی از مطالعات خارجی صورت گرفته در همین زمینه نیز یادآوری می‌شود. ذگردی و همکاران (Zegordi et al., 2011)، در پژوهشی با عنوان «طراحی شبکه لجستیک معکوس خدمات پس از فروش»، به ارائه مدل عدد صحیح مختلط دوهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس خدمات پس از فروش پرداختند؛ هدف تحقیق جایابی تسهیلات با حداقل سازی هزینه‌های شبکه بود و حل مدل با استفاده از روش اپسیلون محدودیت صورت گرفت. چابین و همکاران (Chaabane et al., 2012)، در پژوهشی با عنوان «طراحی زنجیره

تأمین پایدار بر اساس طرح انتشار تجارت»، با هدف حداقل سازی عوامل اقتصادی و زیست محیطی، به توسعه یک مدل برنامه ریزی مختلط عدد صحیح دوهدفه پرداختند و برای حل مدل، از روش اپسیلون محدودیت استفاده کردند. حسن زاده امین و ژانگ (Hassanzadeh Amin and Zhang, 2013)، در پژوهشی با عنوان «طراحی مدل زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت»، مدلی دوهدفه در شرایط عدم قطعیت را بررسی کردند و به بهینه سازی اهداف اقتصادی و زیست محیطی و همچنین، به تعیین مکان بهینه مراکز تولید و بازیافت با وجود عدم قطعیت پرداختند؛ در مدل ارائه شده، با بهره گیری از رویکرد برنامه ریزی احتمالی مبتنی بر سناریو، مراکز تولید و مشتریان در زنجیره تأمین مستقیم و مراکز بازیافت در زنجیره معکوس قرار گرفتند.

افزون بر این، پیشوایی و همکاران (Pishvae et al., 2014)، در پژوهشی با عنوان «یک الگوریتم تجزیه بندرز تسریع شده برای طراحی شبکه زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت: مطالعه موردی زنجیره تأمین سرنگ و سرسوزن»، یک مدل سه هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار در صنعت تولید دارو ارائه دادند؛ هدف تحقیق تعیین مکان و ظرفیت بهینه واحدهای تولید و تعیین میزان بهینه محصول ارسالی در هر کدام از مراحل انتقال بود و برای حل مدل، از الگوریتم تجزیه بندرز استفاده شد. آزاده و همکاران (Azadeh et al., 2015) نیز در پژوهشی با عنوان «مدل برنامه ریزی خطی چندهدفه فازی جهت بهینه سازی زنجیره تأمین گاز طبیعی با رویکرد کاهش گازهای گلخانه ای»، با هدف تعیین جریان کالای ارسالی بین بخش های مختلف زنجیره با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست محیطی، با بهره گیری از مدل سازی برنامه ریزی خطی فازی، به بررسی و ارزیابی و همچنین، بهینه سازی زنجیره تأمین گاز طبیعی پرداختند. مرادی نسب و امین ناصری (Moradi Nasab and Amin-Naseri, 2016)، در پژوهشی با عنوان «طراحی مدل جامع زنجیره تأمین چنددوره ای در صنعت نفت»، به ارائه یک مدل برنامه ریزی مختلط صحیح چنددوره ای برای طراحی شبکه زنجیره تأمین نفت پرداختند. هدف این مطالعه مکان یابی تسهیلات و تعیین مسیر خطوط انتقال با استفاده از پیشینه سازی

درآمد کل شبکه بود و در آن، از رویکرد برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو استفاده شد. آلوای و همکاران (Allaoui et al., 2018)، در پژوهشی با عنوان «طراحی زنجیره تأمین پایدار در صنعت کشاورزی با رویکرد دومرحله‌ای تصمیم‌گیری چندهدفه»، با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های کل و مقدار انتشار گاز کربن به‌عنوان عامل زیست‌محیطی و با بهره‌گیری از روش اسپلون محدودیت برای حل مدل، به ارائه یک مدل ترکیبی دومرحله‌ای زنجیره تأمین پایدار با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندهدفه پرداختند. صاحب‌جمع‌نیا و همکاران (Sahebjamnia et al., 2018) نیز در پژوهشی با عنوان «طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار حلقه بسته در صنعت تایر»، با هدف بهینه‌سازی هزینه‌های کل و اثرات زیست‌محیطی تولید، فرآیند و حمل‌ونقل، و با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی اعداد صحیح، به مدل‌سازی زنجیره تأمین پرداختند و برای حل مدل، از روش‌های فرا ابتکاری استفاده کردند.

با توجه به نتایج بررسی مطالعات پیشین در زمینه طراحی زنجیره تأمین، مشاهده می‌شود که در زمینه پایداری زنجیره تأمین، دو دسته تحقیق وجود دارند؛ دسته اول، به بررسی روابط عوامل مؤثر بر زنجیره تأمین پایدار پرداخته‌اند که در برخی از این تحقیقات، ارزیابی شاخص‌های پایداری نیز صورت گرفته است؛ و دسته دوم، به مدل‌سازی شبکه زنجیره تأمین و ارائه راه حل برای آن پرداخته‌اند. به نظر می‌رسد که در بخش‌های زنجیره تأمین صنایع غذایی و طراحی شبکه حلقه بسته پایدار، شکاف‌های تحقیقاتی قابل توجه وجود دارد. از آنجا که اهمیت شاخص‌های پایداری در صنایع مختلف متفاوت است، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری برای انتخاب این شاخص‌ها مهم است؛ و البته تحقیقات اندکی در این زمینه وجود دارد. همچنین، با توجه به تعداد مقالات حلقه بسته پایدار که در آنها، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است، این موضوع یک مسئله جدید در صنعت یادشده محسوب می‌شود. اکثر محققان به دنبال کمینه‌سازی هزینه کلی بوده‌اند، در حالی که عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی و انسان‌ها خسارات جبران‌ناپذیر را ایجاد می‌کند و پیگیری اهداف دیگری از قبیل اثرات زیست‌محیطی و مسئولیت اجتماعی و آثار و پیامدهای اجتماعی در کنار تابع هزینه می‌تواند

نتایج ارزشمند به دست دهد. پژوهش حاضر به ارائه یک مدل چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در صنعت لبنی کشور با در نظر گرفتن معیارهای سه گانه پایداری می پردازد. با بهره گیری از این مدل، بهینه سازی جریان ارسالی کالا توسط تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مراکز بازاریافت و دفع بررسی شده، بهترین روش برای حمل و نقل کالا در مسیر شبکه زنجیره تأمین تعیین می شود. بدین منظور، در مرحله اول، با مرور ادبیات موضوع و استفاده از نظرات خبرگان دانشگاه و صنایع لبنی، مهمترین شاخص های پایداری در این صنعت در قالب ابعاد سه گانه اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی استخراج شده و در مرحله دوم، مؤثرترین شاخص ها به کمک روش تصمیم گیری چندمعیاره دیمتل<sup>۱</sup> انتخاب شده اند و در مرحله سوم نیز به منظور طراحی زنجیره تأمین، یک مدل برنامه ریزی ریاضی چندهدفه چندمحصولی عدد صحیح ارائه شده است. مهم ترین متغیرهای تصمیم در این مدل را «میزان جریان کالا بین اجزای مختلف شبکه» و «روش های حمل و نقل» تشکیل می دهند؛ محدودیت هایی نظیر ظرفیت تسهیلات و وسایل حمل و نقل از جمله محدودیت های مهم در نظر گرفته شده در مدل به شمار می رود؛ توابع هدف این مدل را نیز شاخص های خروجی از مرحله اول تشکیل می دهند. در ادامه، مدل پیشنهادی با استفاده از روش L-P متریک و به کمک نرم افزار GAMS حل شده است. در پایان، مدل ارائه شده با استفاده از داده های مربوط به سال ۱۳۹۸ برای صنایع شیر پگاه اصفهان پیاده سازی و نتایج تجزیه و تحلیل شده است.

## مواد و روش ها

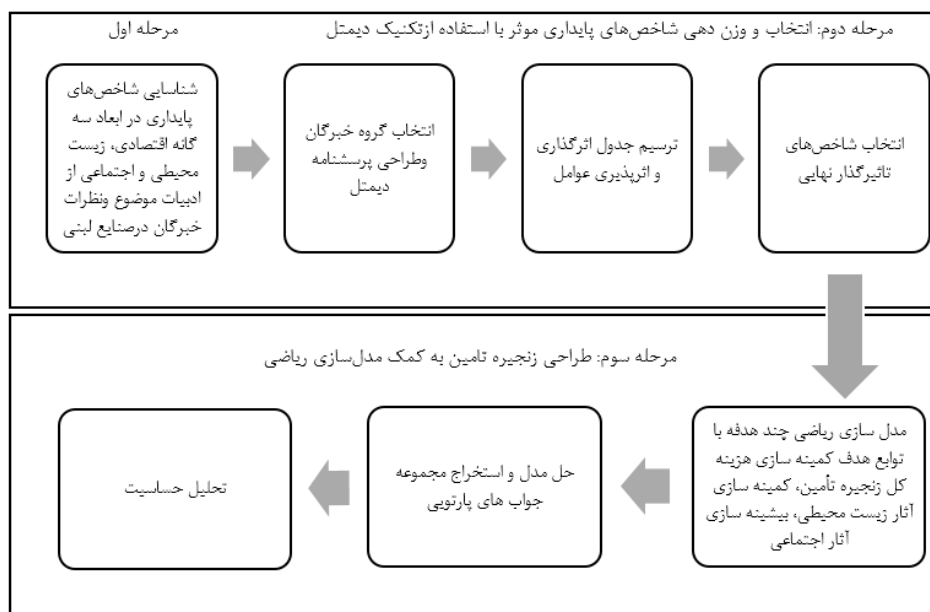
پژوهش حاضر، از حیث هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، از نوع پیمایشی است؛ همچنین از لحاظ روش گردآوری اطلاعات، از نوع میدانی است. در پژوهش حاضر، از یک رویکرد ترکیبی در طراحی زنجیره تأمین استفاده می شود (شکل ۱). در مرحله اول، شناسایی شاخص های پایداری در ابعاد سه گانه اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی بر اساس مرور

1. Decision Making Trial and Evaluation (DEMATEL)



طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

ادبیات موضوع و نظرات خبرگان صورت می گیرد و در مرحله دوم، با استفاده از روش دیمتل، تحلیل شاخص های پایداری انجام می پذیرد و اثرپذیری و اثرگذاری هر کدام از شاخص ها و همچنین، ارتباطات درونی و بیرونی آنها مشخص می شود و سپس، شاخص ها بر حسب اثرگذاری غربال و مؤثرترین آنها برای مرحله سوم انتخاب می شوند. در مرحله سوم، به منظور بهینه سازی هزینه های کل زنجیره تأمین، اثرات زیست محیطی و آثار اجتماعی، یک مدل ریاضی سه هدفه ارائه و حل می شود.



### شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

#### مرحله اول: شناسایی شاخص های پایداری در ابعاد سه گانه

هر کدام از ابعاد سه گانه پایداری را با شاخص های گوناگون می توان اندازه گیری و ارزیابی کرد؛ برای نمونه، در بعد زیست محیطی، از شاخص هایی نظیر مصرف آب، مصرف انرژی، تولید پسماند و ... یا در بعد اجتماعی، از شاخص هایی مانند فرصت های شغلی ایجاد شده یا رضایت کارکنان و ... می توان استفاده کرد. از آنجا که اهمیت این شاخص ها در صنایع

مختلف متفاوت است، برای هر صنعت، این شاخص‌ها منحصر به فرد محسوب می‌شوند و شناسایی آنها از روش‌هایی نظیر بررسی ادبیات موضوع و یا استفاده از نظرات خبرگان امکان‌پذیر است. در این مرحله، به منظور شناسایی شاخص‌های مورد استفاده در صنایع لبنی، ابتدا با مطالعه ادبیات موضوع، شاخص‌های پایداری به تفکیک هر کدام از ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی استخراج شدند. در ادامه، ضمن مصاحبه حضوری، این شاخص‌ها در اختیار گروه خبرگان صنایع لبنی قرار گرفت تا شاخص‌های قابل کاربرد در این صنعت مشخص شود. بدین منظور، هر کدام از اعضای گروه موافقت یا عدم موافقت خود با انتخاب هر کدام از شاخص‌های مستخرج از ادبیات موضوع را اعلام کرد و شاخص‌های دارای بیشترین توافق انتخاب شدند.

#### مرحله دوم: انتخاب و وزن‌دهی پایداری مؤثر با استفاده از روش دیمتل

شاخص‌های انتخاب شده در مرحله قبل در زیرگروه‌های صنایع لبنی، با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن صنعت، متفاوت‌اند و همچنین، شاخص‌ها از یکدیگر مستقل بوده و میزان اثرگذاری و اثرپذیری متفاوت دارند و علاوه بر آن، محاسبه میزان این شاخص‌ها وقت‌گیر بوده و در مواردی، جمع‌آوری اطلاعات آنها دشوار است. از این رو، در این مرحله، با استفاده از روش دیمتل، شاخص‌های مؤثر انتخاب و درجه اهمیت آنها در قالب ضرایب وزنی محاسبه می‌شود. شاخص‌های منتخب تشکیل‌دهنده توابع هدف سه‌گانه مرحله بعد بوده و اوزان آنها نیز وزن توابع هدف را در مرحله بعد تشکیل می‌دهند.

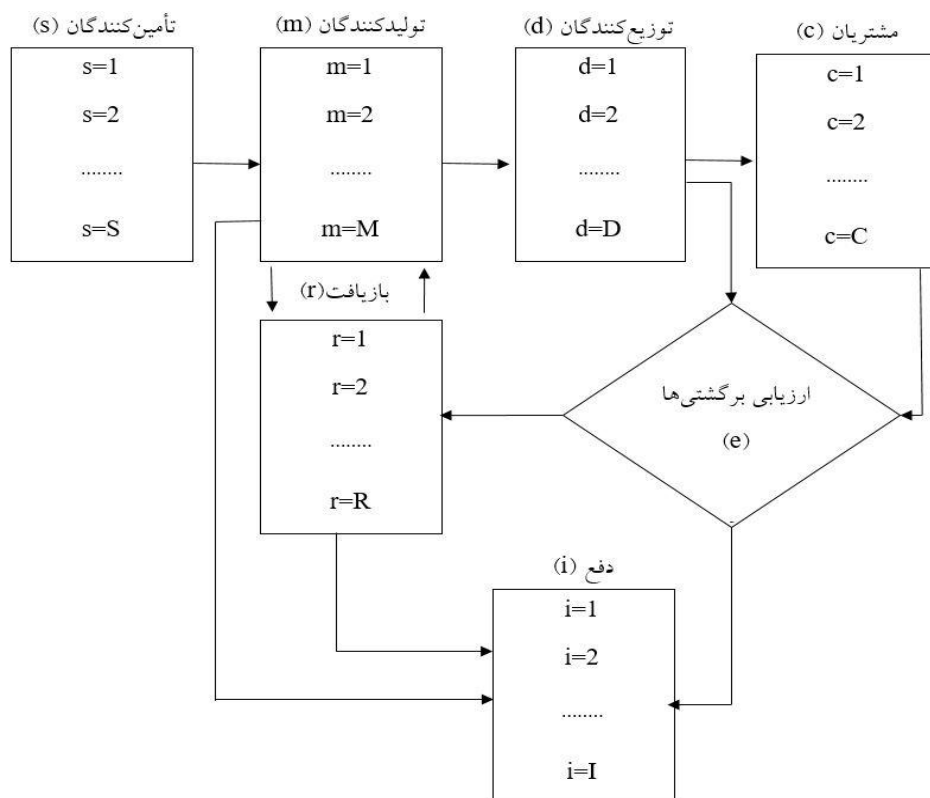
در روش دیمتل، ابتدا ماتریس تأثیرگذاری معیارها ( $N$ ) به دست می‌آید. بدین منظور، از پرسشنامه دیمتل استفاده می‌شود که در آن، شاخص‌ها در سطرها و ستون‌های یک ماتریس مربعی قرار می‌گیرند و از خبرگان زیرگروه مورد مطالعه خواسته می‌شود که میزان اثرگذاری شاخص‌های موجود در سطر بر شاخص‌های موجود در ستون را مطابق طیف پنج‌گانه ای (صفر تا چهار) امتیازدهی کنند. میزان اثرگذاری درج شده در ماتریس یادشده میانگین نظرات افراد گروه است. ماتریس ارتباطات کامل از رابطه  $T = N(I - N)^{-1}$  به دست آمده که در آن،  $I$

طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

ماتریس همانی است. در این ماتریس، بردار R جمع عناصر هر کدام از ستون‌ها و نشانگر میزان تأثیرپذیری هر عامل از سایر عوامل و بردار D جمع عناصر هر کدام از سطرها و نشانگر میزان تأثیرگذاری هر عامل بر سایر عوامل سیستم است. بردار D+R بیان‌کننده مجموع تأثیرات گذاشته شده و پذیرفته شده معیارهاست و بردار D-R نشان‌دهنده قدرت تأثیرگذاری هر عامل است، که چنانچه مثبت باشد، معیار «علت» و در غیر این صورت، معیار «معلول» محسوب می‌شود. هرچه D-R بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده تأثیرگذاری بیشتر است. بنابراین، انتخاب شاخص‌های تأثیرگذار با استفاده از ستون D-R صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که این عدد مبنای محاسبه وزن شاخص‌ها نیز محسوب می‌شود (Asgharpour, 2003)

#### مرحله سوم: طراحی زنجیره تأمین به کمک مدل سازی ریاضی

مطالعه حاضر به طراحی ساختار شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چندسطحی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، مشتریان و واحدهای بازاریافت و دفع در صنایع لبنی پرداخته است. شکل ۲ جریان مستقیم و معکوس موجود در زنجیره را نشان می‌دهد. این ساختار برآمده از پژوهش‌های پیشین در زمینه ساختار زنجیره تأمین در صنایع غذایی و صنایع لبنی است. تأمین‌کنندگان، مواد اولیه را به تولیدکنندگان ارسال و تولیدکنندگان نیز کالای تولیدشده را به توزیع‌کنندگان ارسال می‌کنند تا از طریق آنها، به دست مشتریان برسد. مراکز ارزیابی برگشتی‌ها، با انجام آزمایش‌های کنترل کیفی روی برگشتی‌هایی که از سوی مشتریان یا توزیع‌کنندگان دریافت می‌کند، آنها را به مراکز بازاریافت یا دفع منتقل می‌کنند. محصول برگشتی در مراکز بازاریافت، در صورت قابل بازاریافت بودن، به جریان تولید بازگشته و در غیر این صورت، به مراکز دفع ارسال می‌شود. در فرآیند تولید نیز با توجه به نتایج آزمایش‌های کنترل کیفی، امکان ارسال محصول به هر کدام از مراکز بازاریافت یا دفع در جریان ساخت یا در مرحله نهایی وجود دارد.



مأخذ: سگاروسا و روسو (Sgarbossa and Russo, 2017)؛ طالعی‌زاده و همکاران (Taleizadeh et al., 2019)

شکل ۲. ساختار زنجیره تأمین حلقه بسته در صنعت لبنی

### مفروضات

۱. مسئله دارای یک شبکه حلقه بسته است که جریان‌های مستقیم و معکوس را در نظر می‌گیرد.
۲. تقاضای مشتریان ثابت در نظر گرفته شده است.
۳. هر کدام از تأمین کنندگان می‌تواند تقاضای بیش از یک تولید کننده را برآورده کند.
۴. تقاضای هر کدام از مشتریان می‌تواند توسط بیش از یک مرکز توزیع تأمین شود.
۵. مدل چندمحصولی در نظر گرفته شده است.
۶. ظرفیت هر کدام از تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان، مشتریان، واحدهای باز یافت و واحدهای دفع محدود است.

۷. در جریان شبکه، ارسال بین سطوح متوالی زنجیره تأمین امکان پذیر است.
۸. در هر سطح، بین تسهیلات (بین مراکز بازیافت مختلف یا مراکز توزیع مختلف) جریان کالا وجود ندارد.
۹. گزینه‌های حمل و نقل برای تسهیلات در لایه‌های مختلف یکسان است.
۱۰. مکان‌های بالقوه برای تسهیلات در هر سطح معلوم در نظر گرفته شده است.
۱۱. کمبود کالا مجاز نیست (در صورت مواجه شدن مشتریان با کمبود کالا، هزینه زیادی به زنجیره وارد می‌شود).
۱۲. تنها یک مرکز ارزیابی برگشتی‌ها وجود دارد و برگشت محصول فقط از سوی مشتریان و مراکز توزیع صورت می‌گیرد.
۱۳. مدل برای یک دوره زمانی در نظر گرفته شده است.
۱۴. جریان کالا از مراکز بازیافت فقط به سوی مراکز تولید و دفع در نظر گرفته شده است.
۱۵. انتخاب نوع وسیله حمل و نقل مستقل از نوع محصول است.

#### مجموعه‌های مدل ریاضی

$(s=1,2,\dots,S)$	S مجموعه تأمین کنندگان
$(m=1,2,\dots,M)$	m مجموعه تولید کنندگان
$(d=1,2,\dots,D)$	d مجموعه مراکز توزیع
$(c=1,2,\dots,C)$	C مجموعه مشتریان
$(r=1,2,\dots,R)$	r مجموعه مراکز بازیافت
$(i=1,2,\dots,I)$	i مجموعه مراکز دفع
$(v=1,2,3)$	v مجموعه وسایل حمل و نقل
$(a=1,2,\dots,A)$	a مجموعه مواد خام
$(b=1,2,\dots,B)$	b مجموعه محصولات
$e=1$	e مراکز ارزیابی
$f, f' = s, m, d, c, r, i$	f و f' تسهیلات زنجیره تأمین

پارامترهای مدل ریاضی

$f, f'$  مسافت بین تسهیلات

$C_{SmaV}^{SM}$  هزینه حمل و نقل واحد ماده اولیه نوع a از s به m با روش v در واحد زمان

$C_{mdbv}^{MD}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از m به d با روش v در واحد زمان

$C_{dcbv}^{DC}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از d به c با روش v در واحد زمان

$C_{cebv}^{CE}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از c به e با روش v در واحد زمان

$C_{ribv}^{RI}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از r به i با روش v در واحد زمان

$C_{rmbv}^{RM}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از r به m با روش v در واحد زمان

$C_{mrbv}^{MR}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از m به r با روش v در واحد زمان

$C_{mibv}^{MI}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از m به i با روش v در واحد زمان

$C_{debv}^{DE}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از d به e با روش v در واحد زمان

$C_{eibv}^{EI}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از e به i با روش v در واحد زمان

$C_{erbv}^{ER}$  هزینه حمل و نقل واحد محصول نوع b از e به r با روش v در واحد زمان

$fc_c^M$  هزینه ثابت راه اندازی تولید کننده m

$fc_d^D$  هزینه ثابت راه اندازی توزیع کننده d

$fc_r^R$  هزینه ثابت راه اندازی واحد بازیافت r

$fc_i^I$  هزینه ثابت راه اندازی واحد دفع i

$VC_{mb}^M$  هزینه تغییر تولید واحد محصول نوع b

$VC_{db}^D$  هزینه متغیر توزیع واحد محصول نوع b

طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

- $VC_{rb}^R$  هزینه متغیر بازیافت واحد محصول نوع b
- $et^v$  اثر زیست محیطی روش حمل و نقل v به ازای هر واحد مسافت برای واحد محصول
- $ep_{mb}^{MB}$  اثرات زیست محیطی تولید واحد محصول نوع b
- $ep_{rb}^{RB}$  اثرات زیست محیطی بازیافت واحد محصول نوع b
- $ep_{ib}^{IB}$  اثرات زیست محیطی دفع واحد محصول نوع b
- $emp_{sm}$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده برای ارسال محصول از s به m
- $emp_{md}$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده برای ارسال محصول از m به d
- $emp_{cr}$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده برای ارسال محصول از c به e
- $emp_{rm}$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده برای ارسال محصول از r به m
- $emp_{de}$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده برای ارسال محصول از d به e
- $emp_{ei}$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده برای ارسال محصول از e به i
- $emp_{er}$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده برای ارسال محصول از e به r
- $emp_m$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده در صورت باز بودن واحد تولید m
- $emp_d$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده در صورت باز بودن واحد توزیع d
- $emp_r$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده در صورت باز بودن واحد بازیافت r
- $emp_i$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده در صورت باز بودن واحد دفع i
- $emp_s$  تعداد فرصت‌های شغلی ایجاد شده در صورت باز بودن واحد تأمین کننده s
- $Ca_v^v$  ظرفیت وسیله حمل و نقل v
- $Ca_{fb}$  ظرفیت تسهیل f برای محصول نوع b

$dem_{cb}$  تقاضای مشتری از محصول نوع  $b$

### متغیرهای تصمیم مدل ریاضی

$Y_m^M$  اگر تولیدکننده  $m$  باز باشد، یک و در غیر این صورت، صفر است

$Y_d^D$  اگر مرکز توزیع  $d$  باز باشد، یک و در غیر این صورت، صفر است

$Y_r^R$  اگر مرکز بازیافت  $r$  باز باشد، یک و در غیر این صورت، صفر است

$Y_i^I$  اگر مرکز دفع  $i$  باز باشد، یک و در غیر این صورت، صفر است

$X_{mb}$  مقدار محصول تولیدشده نوع  $b$  در واحد تولید  $m$

$X_{smav}^{SM}$  مقدار ماده اولیه نوع  $a$  ارسال شده از تأمین کننده  $s$  به تولیدکننده  $m$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{mdbv}^{MD}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از تولیدکننده  $m$  به توزیع کننده  $d$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{dcbv}^{DC}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از توزیع کننده  $d$  به مشتری  $c$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{ribv}^{IR}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از واحد بازیافت  $r$  به مرکز دفع  $i$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{debv}^{DE}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از مرکز توزیع  $d$  به مرکز ارزیابی  $e$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{eibv}^{EI}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از مرکز ارزیابی  $e$  به مرکز دفع  $i$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{mrbv}^{MR}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از تولیدکننده  $m$  به واحد بازیافت  $r$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{rmbv}^{RM}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از واحد بازیافت  $r$  به تولیدکننده  $m$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{cebv}^{CE}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از مشتری  $c$  به مرکز ارزیابی  $e$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{erbv}^{ER}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از واحد ارزیابی  $e$  به مرکز بازیافت  $r$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$X_{mibv}^{MI}$  مقدار محصول نوع  $b$  ارسال شده از تولیدکننده  $m$  به مرکز دفع  $i$  با روش حمل و نقل  $v$  در واحد زمان

$Y_{smv}^{SM}$  اگر برای ارسال از  $s$  به  $m$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است



طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

$Y_{mdv}^{MD}$  اگر برای ارسال از  $m$  به  $d$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است  
 $Y_{cev}^{CE}$  اگر برای ارسال از  $c$  به  $e$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است  
 $Y_{riv}^{RI}$  اگر برای ارسال از  $r$  به  $i$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است  
 $Y_{rmv}^{RM}$  اگر برای ارسال از  $r$  به  $m$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است  
 $Y_{erv}^{ER}$  اگر برای ارسال از  $e$  به  $r$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است  
 $Y_{dev}^{DE}$  اگر برای ارسال از  $d$  به  $e$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است  
 $Y_{miv}^{MI}$  اگر برای ارسال از  $m$  به  $i$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است  
 $Y_{eiv}^{EI}$  اگر برای ارسال از  $e$  به  $i$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است  
 $Y_{dcv}^{DC}$  اگر برای ارسال از  $d$  به  $c$  روش حمل و نقل  $v$  استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

#### تابع هدف اقتصادی

$$Min Z_1 = Pc + Tc \quad Pc = Fc + Vc \quad (1)$$

$$Fc = \sum_{m=1}^M fc_m^M Y_m^M + \sum_{d=1}^D fc_d^D Y_d^D + \sum_{r=1}^R fc_r^R Y_r^R + \sum_{i=1}^I fc_i^I Y_i^I \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 VC = & \sum_m \sum_d \sum_b \sum_v VC_{mb}^M \cdot X_{mdbv}^{MD} + \sum_d \sum_c \sum_b \sum_v VC_{db}^D \cdot X_{dcbv}^{DC} \\
 & + \sum_d \sum_b \sum_v VC_{db}^D \cdot X_{debv}^{DE} + \sum_r \sum_i \sum_b \sum_v VC_{rb}^R \cdot X_{ribv}^{RI} + \\
 & \sum_m \sum_i \sum_b \sum_v VC_{mb}^M \cdot X_{mibv}^{MI} + \sum_r \sum_m \sum_b \sum_v VC_{rb}^R \cdot X_{rmbv}^{RM} \\
 & + \sum_m \sum_r \sum_b \sum_v VC_{mb}^M \cdot X_{mrbv}^{MR} + \sum_r \sum_b \sum_v VC_{eb}^E \cdot X_{erbv}^{ER} \\
 & + \sum_i \sum_b \sum_v VC_{eb}^E \cdot X_{eibv}^{EI}
 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 TC = & \sum_s \sum_m \sum_a \sum_v dis_{sm} \cdot c_{smav} \cdot x_{smav}^{SM} \cdot Y_{smv}^{SM} & (۴) \\
 + & \sum_m \sum_d \sum_b \sum_v dis_{md} \cdot c_{mdbv} \cdot x_{mdbv}^{MD} \cdot Y_{mdv}^{MD} \\
 + & \sum_d \sum_c \sum_b \sum_v dis_{dc} \cdot c_{dcbv} \cdot x_{dcbv}^{DC} \cdot Y_{dcv}^{DC} \\
 + & \sum_c \sum_b \sum_v dis_{ce} \cdot c_{cebv} \cdot x_{cebv}^{CE} \cdot Y_{cev}^{CE} \\
 + & \sum_r \sum_i \sum_b \sum_v dis_{ri} \cdot c_{ribv} \cdot x_{ribv}^{RI} \cdot Y_{riv}^{RI} \\
 + & \sum_d \sum_b \sum_v dis_{de} \cdot c_{debv} \cdot x_{debv}^{DE} \cdot Y_{dev}^{DE} \\
 + & \sum_m \sum_r \sum_b \sum_v dis_{mr} \cdot c_{mrbv} \cdot x_{mrbv}^{MR} \cdot Y_{mrv}^{MR} \\
 + & \sum_r \sum_m \sum_b \sum_v dis_{rm} \cdot c_{rmbv} \cdot x_{rmbv}^{RM} \cdot Y_{rmv}^{RM} \\
 + & \sum_r \sum_b \sum_v dis_{er} \cdot c_{erbv} \cdot x_{erbv}^{ER} \cdot Y_{erv}^{ER} \\
 + & \sum_i \sum_b \sum_v dis_{ei} \cdot c_{eibv} \cdot x_{eibv}^{EI} \cdot Y_{eiv}^{EI} \\
 + & \sum_m \sum_i \sum_b \sum_v dis_{mi} \cdot c_{mibv} \cdot x_{mibv}^{MI} \cdot Y_{miv}^{MI}
 \end{aligned}$$

تابع هدف زیست محیطی

$$Min Z_2 = Min(EP + ET) \quad (۵)$$

طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

$$EP = \sum_m \sum_b x_{mb}^{MB} \cdot ep_{mb}^{MB} + \sum_r \sum_m \sum_b \sum_v x_{rmbv}^{RM} \cdot ep_{rb}^{RB} \quad (6)$$

$$+ \sum_r \sum_i \sum_b \sum_v x_{ribv}^{RI} \cdot ep_{rb}^{RB} + \sum_r \sum_i \sum_b \sum_v x_{ribv}^{RI} \cdot ep_{ib}^{IB}$$

$$+ \sum_i \sum_b \sum_v x_{eibv}^{EI} \cdot ep_{ib}^{IB} + \sum_m \sum_i \sum_b \sum_v x_{mib}^{MI} \cdot ep_{ib}^{IB}$$

$$ET = \sum_s \sum_m \sum_a \sum_v dis_{sm} \cdot x_{smav}^{SM} \cdot et^v \cdot Y_{smv}^{SM} \quad (7)$$

$$+ \sum_m \sum_d \sum_b \sum_v dis_{md} \cdot x_{mdbv}^{MD} \cdot et^v \cdot Y_{mdv}^{MD}$$

$$+ \sum_d \sum_c \sum_b \sum_v dis_{dc} \cdot x_{dcbv}^{DC} \cdot et^v \cdot Y_{dcv}^{DC}$$

$$+ \sum_c \sum_b \sum_v dis_{ce} \cdot x_{cebv}^{CE} \cdot et^v \cdot Y_{cev}^{CE}$$

$$+ \sum_r \sum_i \sum_b \sum_v dis_{ri} \cdot x_{ribv}^{RI} \cdot et^v \cdot Y_{riv}^{RI}$$

$$+ \sum_r \sum_m \sum_b \sum_v dis_{rm} \cdot x_{rmbv}^{RM} \cdot et^v \cdot Y_{rmv}^{RM}$$

$$+ \sum_d \sum_b \sum_v dis_{de} \cdot x_{debv}^{DE} \cdot et^v \cdot Y_{dev}^{DE}$$

$$+ \sum_m \sum_r \sum_b \sum_v dis_{mr} \cdot x_{mrbv}^{MR} \cdot et^v \cdot Y_{mrv}^{MR}$$

$$+ \sum_r \sum_b \sum_v dis_{re} \cdot x_{rebv}^{RE} \cdot et^v \cdot Y_{rev}^{RE}$$

$$+ \sum_m \sum_i \sum_b \sum_v dis_{mi} \cdot x_{mibv}^{MI} \cdot et^v \cdot Y_{miv}^{MI}$$

$$+ \sum_i \sum_b \sum_v dis_{ei} \cdot x_{eibv}^{EI} \cdot et^v \cdot Y_{eiv}^{EI}$$

تابع هدف اجتماعی

(۸)

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z_3 = & \sum_s \sum_m \text{emp}_{sm} x_{smav}^{SM} Y_{smv}^{SM} \\
 & \sum_m \sum_d \text{emp}_{md} x_{mdbv}^{MD} Y_{mdv}^{MD} + \sum_d \sum_c \text{emp}_{dc} x_{dcbv}^{DC} Y_{dcv}^{DC} \\
 & \sum_c \text{emp}_{ce} \cdot x_{cebv}^{CE} Y_{cev}^{CE} \\
 & \sum_r \sum_m \text{emp}_{rm} x_{rmbv}^{RM} Y_{rmv}^{RM} + \sum_r \sum_i \text{emp}_{ri} x_{ribv}^{RI} Y_{riv}^{RI} \\
 & + \sum_d \text{emp}_{de} \cdot x_{debv}^{DE} Y_{dev}^{DE} \\
 & + \sum_i \text{emp}_{ei} \cdot x_{eibv}^{EI} Y_{eiv}^{EI} + \sum_m \sum_r \text{emp}_{mr} x_{mrbv}^{MR} Y_{mrv}^{MR} \\
 & + \sum_m \sum_i \text{emp}_{mi} x_{mibv}^{MI} Y_{miv}^{MI} + \sum_r \text{emp}_{er} \cdot x_{erbv}^{ER} Y_{erv}^{ER} \\
 & + \sum_m \text{emp}_m \cdot Y_m^M + \sum_d \text{emp}_d \cdot Y_d^D \\
 & + \sum_r \text{emp}_r \cdot Y_r^R + \sum_i \text{emp}_i \cdot Y_i^I
 \end{aligned}$$

محدودیت‌ها

محدودیت بالانس تسهیلات زنجیره تأمین

$$x_{mb} = \sum_d \sum_v x_{mdbv}^{MD} + \sum_r \sum_v x_{mrbv}^{MR} \quad \forall m, b \quad (9)$$

$$\sum_m \sum_v x_{mdbv}^{MD} = \sum_c x_{dcb}^{DC} + x_{deb}^{DE} \quad \forall d, b \quad (10)$$

$$\sum_d \sum_v x_{dcbv}^{DC} = \sum_v x_{cebv}^{CE} + dem_{cb} \quad \forall c, b \quad (11)$$

$$\sum_d \sum_v x_{debv}^{DE} + \sum_c \sum_v x_{cebv}^{CE} = \sum_r \sum_v x_{erbv}^{ER} + \sum_i \sum_v x_{eibv}^{EI} \quad \forall b \quad (12)$$

$$\sum_v x_{eibv}^{EI} + \sum_m \sum_v x_{mibv}^{MI} + \sum_r \sum_v x_{ribv}^{RI} = Capib \quad \forall i, b \quad (13)$$

طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

$$\sum_v x_{erv}^{ER} + \sum_m \sum_v x_{mrbv}^{MR} = \sum_i \sum_v x_{ribv}^{RI} + \sum_m \sum_v x_{rmbv}^{RM} \quad \forall r, b \quad (14)$$

محدودیت ظرفیت تسهیلات زنجیره تأمین

$$\sum_m \sum_v x_{smav}^{SM} \leq Ca_{sa} \cdot Y_s^S \quad \forall s, a \quad (15)$$

$$\sum_d \sum_v x_{mdbv}^{MD} \leq Ca_{mb} \cdot Y_m^M \quad \forall m, b \quad (16)$$

$$\sum_c \sum_v x_{dcbv}^{DC} + \sum_v x_{debv}^{DE} \leq Ca_{db} \cdot Y_d^D \quad \forall d, b \quad (17)$$

$$\sum_m \sum_v x_{rmbv}^{RM} + \sum_i \sum_v x_{ribv}^{RI} \leq Ca_{rb} \cdot Y_r^R \quad \forall r, b \quad (18)$$

$$\sum_r \sum_v x_{ribv}^{RI} + \sum_r x_{eibv}^{EI} + \sum_m \sum_v x_{mibv}^{MI} \leq Ca_{ib} \cdot Y_i^I \quad \forall i, b \quad (19)$$

محدودیت ظرفیت حمل و نقل وسیله V

$$\sum_a x_{smav}^{SM} \leq Ca_v^V \cdot Y_{smv}^{SM} \quad \forall s, m, v \quad (20)$$

$$\sum_b x_{mdbv}^{MD} \leq Ca_v^V \cdot Y_{mdv}^{MD} \quad \forall m, d, v \quad (21)$$

$$\sum_b x_{dcbv}^{DC} \leq Ca_v^V \cdot Y_{dcbv}^{DC} \quad \forall d, c, v \quad (22)$$

$$\sum_b x_{cebv}^{CE} \leq Ca_v^V \cdot Y_{cev}^{CE} \quad \forall c, v \quad (23)$$

$$\sum_b x_{mrbv}^{MR} \leq Ca_v^V \cdot Y_{mrv}^{MR} \quad \forall m, r, v \quad (24)$$

$$\sum_b x_{rmbv}^{RM} \leq Ca_v^V \cdot Y_{rmv}^{RM} \quad \forall r, m, v \quad (25)$$

$$\sum_b x_{ribv}^{RI} \leq Ca_v^V \cdot Y_{riv}^{RI} \quad \forall r, i, v \quad (26)$$

$$\sum_b x_{ervv}^{ER} \leq Ca_v^V \cdot Y_{erv}^{ER} \quad \forall r, v \quad (27)$$

$$\sum_b x_{mibv}^{MI} \leq Ca_v^V \cdot Y_{miv}^{MI} \quad \forall m, v \quad (28)$$

$$\sum_b x_{eibv}^{EI} \leq Ca_v^V \cdot Y_{eiv}^{EI} \quad \forall i, v \quad (29)$$

$$\sum_b x_{debv}^{DEBV} \leq Ca_v^V \cdot Y_{dev}^{DE} \quad \forall d, v \quad (30)$$

## محدودیت متغیرهای تصمیم

$$x_{smav}^{SM}, x_{mdbv}^{MD}, x_{dcbv}^{DC}, x_{ribv}^{RI}, x_{rmbv}^{RM}, x_{debv}^{DE}, x_{mrbv}^{MR}, x_{eibv}^{EI} \quad (۳۱)$$

$$x_{cebv}^{CE}, x_{erbv}^{ER}, x_{mibv}^{MI} \geq 0$$

$$x_{debv}^{DE}, x_{mrbv}^{MR}, x_{cebv}^{CE}, x_{mibv}^{MI}, x_{ribv}^{RI}, x_{erbv}^{ER}, x_{erbv}^{EI}, x_{eibv}^{EI}, x_{rmbv}^{RM} \geq 0$$

$$\forall s, m, d, r, i, a, b, v$$

$$Y_m^M, Y_d^D, Y_r^R, Y_i^I \in \{0,1\} \quad \forall m, d, r, i \quad (۳۲)$$

$$Y_{smv}^{SM}, Y_{mdv}^{MD}, Y_{dcv}^{DC}, Y_{cebv}^{CE}, Y_{rdv}^{RD}, Y_{rmv}^{RM}, Y_{dev}^{DE}, Y_{miv}^{MI}, Y_{erv}^{ER}, Y_{mrv}^{MR}, Y_{eiv}^{EI} \in \{0,1\} \quad (۳۳)$$

$$\sum_v Y_{smv}^{SM} \geq 1 \quad \forall s, m \quad (۳۴)$$

$$\sum_v Y_{mbv}^{MD} \geq 1 \quad \forall m, d$$

$$\sum_v Y_{dcv}^{DC} \geq 1 \quad \forall d, c$$

$$\sum_v Y_{cebv}^{CE} \geq 1 \quad \forall c$$

$$\sum_v Y_{rmv}^{RM} \geq 1 \quad \forall r, m$$

$$\sum_v Y_{dev}^{DE} \geq 1 \quad \forall d$$

$$\sum_v Y_{miv}^{MI} \geq 1 \quad \forall m, i$$

$$\sum_v Y_{rev}^{RE} \geq 1 \quad \forall r$$

$$\sum_v Y_{mrv}^{MR} \geq 1 \quad \forall m, r$$

$$\sum_v Y_{eiv}^{EI} \geq 1 \quad \forall i$$

$$\sum_v Y_{riv}^{RI} \geq 1 \quad \forall r, i$$

طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

رابطه (۱) معرف تابع هدف اقتصادی است که در طول زنجیره تأمین، به کمینه‌سازی هزینه کل می‌پردازد و شامل روابط (۲)، (۳) و (۴)، به ترتیب، هزینه ثابت تسهیلات، هزینه متغیر تسهیلات و هزینه‌های حمل‌ونقل است.

رابطه (۵) تابع هدف زیست محیطی است که شامل روابط (۶) و (۷) بوده و به دنبال کاهش اثرات زیست محیطی روش‌های حمل‌ونقل و اثرات زیست محیطی فرآیند تولید، بازیافت و دفع است.

رابطه (۸) تابع هدف اجتماعی است که به دنبال افزایش آثار اجتماعی شامل فرصت‌های شغلی ایجادشده در هر کدام از تسهیلات و نیز حمل‌ونقل بین تسهیلات است.

محدودیت‌های (۹) تا (۱۴) نشان‌دهنده تعادل میان تسهیلات زنجیره تأمین است، بدین معنی که به ازای هر تسهیل، میزان کل ورودی با میزان کل خروجی آن برابر است.

محدودیت‌های (۱۵) تا (۱۹) تضمین می‌کند که نمی‌توان بیش از ظرفیت تسهیلات از آنها تقاضا کرد.

محدودیت‌های (۲۰) تا (۳۰) نشان‌دهنده محدودیت ظرفیت‌های حمل‌ونقل است، که از واگذاری حمل‌ونقل بیش از ظرفیت جلوگیری می‌کند.

مجموعه محدودیت‌های (۳۱) نشان می‌دهد که یکی از روش‌های حمل‌ونقل زمینی، هوایی و دریایی به کار می‌رود.

مجموعه محدودیت‌های (۳۲)، (۳۳) و (۳۴) مربوط به متغیرهای تصمیم است.

در این مدل ریاضی، سه تابع هدف وجود دارد:  $Z_1$  برای کاهش هزینه کل،  $Z_2$  کاهش اثرات زیست محیطی، و  $Z_3$  افزایش پیامدها و آثار اجتماعی.

برای حل مدل یادشده، روش L-P متریک برای یافتن مجموعه جواب‌های بهینه پارتویی به کار رفته است. در این روش، ابتدا مقدار ایده‌آل هر کدام از توابع به تنهایی محاسبه شده و سپس، مطابق رابطه (۳۵)، توابع هدف به یک تابع هدف تبدیل شده‌اند، که باید تابع L-P متریک برای کمینه‌سازی مجموع انحرافات توابع هدف از ایده‌آل آنها کمینه شود:

$$Z_{LP} = \sum_{i=1}^n W_i \left( \frac{Z_i - Z_i^*}{Z_i^*} \right)^{1/P} \quad (35)$$

در رابطه (۳۵)،  $Z_i^*$ : مقدار ایده آل تابع هدف  $i$ ام،  $Z_i$ : مقدار تابع هدف  $i$ ام به ازای جواب بهینه سایر توابع هدف،  $W_i$ : درجه اهمیت یا وزن تابع هدف  $i$ ام، و  $1 \leq P \leq \infty$ : ارزش  $P$  مشخص کننده درجه تأکید به انحرافات موجود است، به گونه ای که مقدار  $P$  بزرگ تر نشان دهنده نقش بیشتر انحرافات بزرگ تر در بهینه سازی است (Asgharpour, 2009)

جواب نهایی مسئله از بین جواب های بهینه پارتویی با استفاده از نظرات خبرگان صنایع لبنی انتخاب می شود.

جامعه آماری تحقیق شرکت های فعال در صنایع لبنی بوده و نمونه گیری به روش «داده های در دسترس» انجام شده، که از جمله روش های غیر احتمالی در انتخاب نمونه است. از این رو، مدل ارائه شده با استفاده از داده های واقعی در شرکت صنایع شیر پگاه اصفهان در بازه زمانی سال ۱۳۹۸ اجرا شده است. زنجیره تأمین این شرکت شامل هشت تأمین کننده، یک تولید کننده، یک توزیع کننده و شش مشتری، یک مرکز ارزیابی محصولات برگشتی، یک مرکز بازیافت و یک مرکز دفع بو همچنین، دارای دو نوع محصول (شیر بطری پانصد سی سی و شیر بطری نه صد سی سی) و سه نوع ماده اولیه (شیر خام، بطری، برچسب و چاپ) و سه روش حمل و نقل (زمینی، هوایی و دریایی) است. برای جمع آوری اطلاعات، از ابزار پرسشنامه استفاده شد و سؤالات آن به صورت مقایسات زوجی مطرح شده و برای روش دیمتل، در اختیار افراد نمونه قرار گرفته است. داده های پژوهش نیز از طریق مصاحبه حضوری با کارشناسان شرکت و با استفاده از مستندات موجود جمع آوری شده که در مقاله حاضر، برای رعایت اختصار، از ارائه آن صرف نظر شده است. همچنین، برای انجام مقایسات زوجی روش دیمتل، از نرم افزار Excel و برای برنامه نویسی و حل مدل ریاضی، از نرم افزار GAMS استفاده شده است.



## نتایج و بحث

پژوهش حاضر طی سه مرحله انجام شده است (شکل ۱). در مرحله اول، به منظور شناسایی شاخص‌های مورد استفاده در صنایع لبنی، ابتدا با مطالعه ادبیات موضوع، پنج شاخص در بعد اقتصادی، ده شاخص در بعد زیست‌محیطی و هفت شاخص در بعد اجتماعی استخراج شدند. این شاخص‌ها به تفکیک منابع علمی در جدول ۱ آمده است. در ادامه، این شاخص‌ها در اختیار گروه خبرگان صنایع لبنی قرار گرفت تا شاخص‌های قابل کاربرد در این صنعت مشخص شود. شاخص‌های هفت‌گانه حاصل از این مرحله عبارت‌اند از: «هزینه کل» در بعد اقتصادی؛ «تولید پسماند»، «مصرف آب»، «مصرف انرژی»، «قابلیت بازیافت» و «انتشار گازهای آلاینده و تغییرات اقلیمی» در بعد زیست‌محیطی؛ و «فرصت‌های شغلی ایجادشده» در بعد اجتماعی. اطلاعات جمعیت‌شناختی خبرگان در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. شاخص‌های پایداری در ابعاد سه‌گانه

ردیف	نویسنده و سال شاخص	E.Mota (2015)	Ahmed Saifa (2016)	Sgarboosa (2017)	S.U.K Rohmer (2018)	Nurian (2018)	Sabeojamnia (2018)	H.alui (2018)	H Giray Restat (2019)	Talei Zadeh (2019)	Shamraiz Ahmad (2019)
❖❖	<b>اقتصادی</b>										
۱	هزینه کل	✓		✓	✓		✓			✓	✓
۲	قیمت محصول							✓	✓		
۳	کیفیت محصول							✓	✓		
۴	بهره‌وری							✓			
۵	ظرفیت تکنولوژی							✓			
❖❖	<b>زیست محیطی</b>										
۶	مصرف خاک				✓			✓			
۷	قابلیت بازیافت						✓	✓	✓		
۸	قابلیت استفاده مجدد							✓			
۹	تولید پسماند							✓		✓	✓
۱۰	آلودگی آب							✓			
۱۱	حجم مواد آلاینده							✓			
۱۲	مواد سمی							✓			
۱۳	انتشار گازهای آلاینده و تغییرات اقلیمی	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۱۴	مصرف آب				✓					✓	
۱۵	مصرف انرژی					✓				✓	✓
❖❖	<b>اجتماعی</b>										
۱۶	رضایت کارکنان							✓			✓
۱۷	آموزش ایمنی							✓			
۱۸	ایمنی کار							✓			
۱۹	سلامت جامعه								✓		✓
۲۰	حقوق و فعالیتهای حمایتی کارکنان								✓		✓
۲۱	فرصت شغلی ایجاد شده								✓	✓	
۲۲	عدالت اجتماعی								✓		

مأخذ: یافته‌های پژوهش

طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

جدول ۲- اطلاعات جمعیت شناختی خبرگان مرحله اول

تعداد کل	سن	تعداد	تحصیلات	تعداد	جنسیت	تعداد	پست سازمانی	تعداد
۷۰ نفر	۳۰-۲۰	۱۴	لیسانس	۲۳	زن	۲۲	کارشناس	۲۲
	۴۰-۳۰	۱۶	فوق لیسانس	۳۵			مدیر میانی	۳۸
	۵۰-۴۰	۲۲	دکتری	۱۲	مرد	۴۸	مدیر ارشد	۱۰
	بالتر از ۵۰	۱۸						

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در مرحله دوم، مؤثرترین شاخص‌های پایداری به همراه اوزان آنها از بین شاخص‌های هفت گانه منتخب از مرحله قبل با استفاده از روش دیمتل در صنایع لبنی به دست آمد. برای به دست آوردن ماتریس تأثیرگذاری معیارها (N)، ۲۳ نفر از خبرگان دانشگاه و صنعت یادشده، که دارای حداقل پنج سال سابقه و حداقل مدرک کارشناسی دانشگاهی بودند، به عنوان نمونه مورد پرسش در نظر گرفته شدند (جدول ۵). جدول ۳ مقادیر این ماتریس را نشان می‌دهد. شایان یادآوری است که میانگین ریاضی نظرات گروه خبرگان در این ماتریس لحاظ شده و نتایج محاسبات این مرحله در جدول ۴ آمده است. مطابق این جدول، شاخص‌هایی که مقدار D-R در آنها مثبت است، به عنوان شاخص‌های مؤثر انتخاب شده‌اند. مقادیر D-R نیز به عنوان وزن این شاخص‌ها در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که این اوزان، قبل از استفاده در مرحله بعد، به عنوان ضریب توابع هدف، نرمال‌سازی شدند. شاخص‌های مؤثر عبارت‌اند از: هزینه کل با وزن ۰/۴۵۱۲ در بعد اقتصادی، مصرف آب و مصرف انرژی، به ترتیب، با اوزان ۰/۸۵۴۴ و ۱/۵۱۷۶ در بعد زیست‌محیطی، و فرصت‌های شغلی ایجادشده با وزن ۰/۳۲۵ در بعد اجتماعی.

## جدول ۳- ماتریس تأثیرگذاری شاخص‌های پایداری

فرصت‌های شغلی ایجادشده	مصرف انرژی	مصرف آب	انتشار گازهای آلاینده	تولید پسماند	قابلیت بازیافت	هزینه کل	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	هزینه کل
۰/۰۹۵۲	۰/۱۴۲۸	۰/۰۹۵۲	۰/۰۴۶۷	۰/۰۹۵۲	۰	۰/۱۹۰۴	قابلیت بازیافت
۰/۰۹۵۲	۰/۱۴۲۸	۰/۰۹۵۲	۰/۰۹۵۲	۰	۰/۰۴۷۶	۰/۱۹۰۴	تولید پسماند
۰/۰۴۶۷	۰/۰۴۶۷	۰/۰۴۷۶	۰	۰	۰	۰/۰۹۵۲	انتشار گازهای آلاینده
۰/۰۴۷۶	۰/۱۴۲۸	۰	۰	۰	۰	۰/۱۹۰۴	مصرف آب
۰	۰	۰/۱۴۲۸	۰/۰۹۵۲	۰	۰	۰/۱۹۰۴	مصرف انرژی
۰	۰/۱۹۰۴	۰/۱۹۰۴	۰	۰	۰/۰۴۷۶	۰/۱۴۲۸	فرصت‌های شغلی ایجادشده

مأخذ: یافته‌های پژوهش

## جدول ۴- اثرگذاری و اثرپذیری شاخص‌های پایداری بر اساس روش دیمتل

D-R	D+R	R	D	شاخص‌های پایداری
-۱/۴۵۰۶	۱/۴۵۰۶	۱/۴۵۰۶	۰	تولید پسماند
۰/۸۵۴۴	۱/۰۸۹۴	۰/۱۱۷۵	۰/۹۷۱۹	مصرف آب
۱/۵۱۷۶	۱/۷۳۰۴	۰/۱۰۶۴	۱/۶۲۴	مصرف انرژی
۰/۰۳۲۵	۰/۶۳۶۳	۰/۳۲۱۹	۰/۳۵۴۴	فرصت‌های شغلی
-۱/۱۱۱۹	۲/۱۰۲۱	۱/۶۰۷	۰/۴۹۵۱	قابلیت بازیافت
-۰/۳۶۸۲	۱/۴۲۸۶	۰/۸۹۸۴	۰/۵۳۰۲	انتشار گازهای آلاینده
۰/۴۵۱۲	۱/۱۷۴	۰/۳۶۱۴	۰/۸۱۲۶	هزینه کل

مأخذ: یافته‌های پژوهش

## جدول ۵- اطلاعات جمعیت شناختی خبرگان مرحله دوم

تعداد کل	سن	تعداد	تحصیلات	تعداد	جنسیت	تعداد	پست سازمانی	تعداد
۲۳ نفر	۳۰-۲۰	۳	لیسانس	۱۳	زن	۶	کارشناس	۷
	۴۰-۳۰	۶	فوق لیسانس	۸			مدیر میانی	۱۱
	۵۰-۴۰	۹	دکتری	۲	مرد	۱۷	مدیر ارشد	۵
	بالتر از ۵۰	۵						

مأخذ: یافته‌های پژوهش

طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

مرحله سوم شامل به کارگیری مدل پیشنهادی با استفاده از توابع هدف سه گانه است. تابع هدف اول، مربوط به بعد اقتصادی، عبارت است از حداقل سازی مجموع هزینه های کل زنجیره تأمین؛ تابع هدف دوم، مربوط به بعد زیست محیطی، عبارت است از حداقل سازی مجموع میزان مصرف آب و انرژی کل زنجیره؛ و تابع هدف سوم، مربوط به بعد اجتماعی، عبارت است از حداکثر سازی میزان فرصت های شغلی ایجاد شده در طول زنجیره تأمین شرکت. شایان یادآوری است که شاخص های تشکیل دهنده این توابع همان خروجی مرحله دوم بوده و محدودیت های مدل نیز دقیقاً مطابق روابط (۹) تا (۳۴) است. برای حل مدل، از روش L-P متریک استفاده شد که در نرم افزار GAMS، برنامه نویسی و از حل کننده Cplex به منظور بهینه سازی اهداف به صورت تکی برای به دست آوردن جواب های ایده آل و از حل کننده Bonmin نیز به منظور بهینه سازی تابع هدف L-P متریک استفاده شده است.

خروجی نهایی این مرحله عبارت است از هفت مجموعه جواب بهینه پارتویی، که در جدول ۶ آمده است. در این جدول، میزان Z1 و Z2 هر چه کمتر و میزان Z3 هر چه بیشتر باشد، مطلوب تر است. همان گونه که از این جدول مشخص است، هیچ کدام از این جواب ها دیگری را مغلوب نمی کند، به گونه ای که با توجه به مقایسه جواب پارتوی ۳ و ۴، جواب پارتوی ۳ نسبت به ۴ دارای هزینه کمتر است (Z1 کوچک تر) و اثرات زیست محیطی کمتری نیز دارد (Z2 کوچک تر)؛ ولی در مقابل، دارای میزان اشتغال بیشتری نیست (Z3 کوچک تر). این مقایسه در مورد هر کدام از دو جواب دلخواه دیگر نیز صدق می کند. در نهایت، خبرگان صنعت، با بررسی این مجموعه جواب ها و با در نظر گرفتن شرایط اقتضایی صنایع لبنی، جواب بهینه پارتوی ۱ را به عنوان جواب نهایی مسئله برگزیدند.

جدول ۶- مجموعه جواب‌های پارتویی

$Z_3$	$Z_2$	$Z_1$	جواب‌های پارتویی
۳۹۲۸۵/۴۸۹	۱۴۸۰/۱۳۳	۱۰*E۵/۵۳۹۲۵۲	جواب پارتو ۱
۲۶۹۴۹/۶۰۷	۹۰۲/۴۳۶	۷*E۹/۰۰۰۵۱	جواب پارتو ۲
۱۹۳۷۳/۴۸۹	۷۵۹/۶۰۳	۷*E۶/۸۵۳۲۸۷	جواب پارتو ۳
۱۹۹۸۳/۴۸۹	۷۶۱/۴۳۳	۷*E۶/۸۵۳۳۲۳	جواب پارتو ۴
۳۹۲۸۵/۴۸۹	۱۴۸۱/۱۳۴	۷*E۷/۱۹۵۰۷۴	جواب پارتو ۵
۲۹۲۹۵/۴۸۹	۹۸۰/۶۳۳	۷*E۶/۸۸۵۳۸	جواب پارتو ۶
۲۵۵۳۳/۴۸۹	۸۶۱/۳۳	۷*E۶/۸۶۱۶۴۸	جواب پارتو ۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

لازم به ذکر است که روش حل پیشنهادی برای هر جواب بهینه پارتویی مقدار متغیرهای تصمیم را نیز ارائه می‌کند. با انتخاب جواب بهینه پارتوی ۱ به عنوان جواب نهایی مسئله، تعداد ۶۶ متغیر تصمیم نیز مشخص شد که برای رعایت اختصار، برخی از آنها در جدول ۸ آمده است؛ برای نمونه،  $X_{3111}^{SM}$  ارسال ماده اولیه نوع ۱ از تأمین کننده ۳ به تولید کننده ۱ با روش حمل و نقل زمینی،  $X_{1121}^{MD}$  ارسال محصول نوع ۲ از تولید کننده ۱ به توزیع کننده ۱ با روش حمل و نقل زمینی، و  $Y_{411}^{SM} = 1$  روش حمل و نقل زمینی برای ارسال کالا از تأمین کننده ۴ به تولید کننده ۱ است. همان گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، از تأمین کننده ۲ برای تأمین مواد اولیه استفاده نشده است. عدم تأیید این تأمین کننده از نظر زمان تحویل و قیمت مواد اولیه توسط مدیر خرید شرکت مؤید اعتبار جواب مدل است. مواد اولیه ۱ فقط از تأمین کننده ۳ خریداری شده، که با توجه به سوابق کیفی و نزدیکی این تأمین کننده، این جواب از نظر کارشناسان خرید شرکت قابل قبول بوده است. ماده اولیه ۲ به طور مساوی از تأمین کنندگان ۴ و ۵ و ماده اولیه ۳ نیز تقریباً به طور مساوی از تأمین کنندگان ۶، ۷ و ۸ خریداری شده است.

میزان ارسال محصول ۱ (شیر بطری پانصد سی سی) به توزیع کننده حدود ۶۹ تن در ماه و محصول ۲ (شیر بطری نه صد سی سی) حدود ۷۸ تن در ماه بوده که با توجه به میزان تقاضای مشتریان و حجم انبارهای توزیع کننده، اعتبار این اعداد توسط مدیریت فروش شرکت تأیید

طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

شده است؛ با داشتن دو نوع محصول و شش مشتری، تعداد متغیرهایی که میزان کالای ارسالی از توزیع کننده به مشتریان را تعیین می کند، دوازده متغیر بوده، که مقادیر این متغیرها در ستون آخر جدول ۸ آمده است. مقادیر این متغیرها نیز کاملاً بر میزان تقاضای مشتریان منطبق است.

#### جدول ۷- مقادیر توابع هدف در وضعیت موجود

$Z_3$	$Z_2$	$Z_1$	وضعیت موجود
۲۰۱۸۵/۶۳۲	۱۶۶۲/۱۲۹	$7 \times E \ 11/287.03$	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان گونه که در جدول ۷ مشاهده می شود در مقایسه وضعیت موجود با مجموعه جواب‌های پارتویی خروجی مدل که در جدول ۶ آمده، میزان هزینه کل ( $Z_1$ ) در وضعیت موجود از میزان هزینه کل به دست آمده به ازای هر کدام از جواب‌های پارتویی بیشتر است. این موضوع نشان می دهد که کلیه جواب‌های پارتویی حاصل از مدل پیشنهادی از نظر مقدار هزینه کل بهتر از شرایط موجود است. مقایسه میزان مصرف آب و مصرف انرژی ( $Z_2$ ) در شرایط موجود با جواب‌های پارتویی حاصل از مدل بیانگر این است که خروجی مدل به ازای کلیه جواب‌های بهینه پارتویی بهتر از وضعیت موجود است. در مورد تابع هدف سوم (فرصت‌های شغلی ایجاد شده) ( $Z_3$ )، خروجی مدل پیشنهادی در بیشتر جواب‌های پارتویی بهتر از وضعیت موجود بوده، که نتایج این مقایسه مورد تأیید خبرگان صنعت مورد مطالعه است.

جدول ۸- میزان جریان کالا بین تسهیلات و نوع روش حمل و نقل

میزان کالای ارسالی از تامین کننده به تولیدکننده	میزان کالای ارسالی از تولید کننده به توزیع کننده	میزان کالای ارسالی از توزیع کننده به مشتری
$X_{3111}^{SM} = 222$	$X_{1111}^{MD} = 68/827$	$X_{1111}^{DC} = 9/5$
$X_{4121}^{SM} = 222$	$X_{1121}^{MD} = 78/425$	$X_{1121}^{DC} = 15/2$
$X_{5121}^{SM} = 222$	$Y_{111}^{MD} = 1$	$X_{1211}^{DC} = 11/4$
$X_{6131}^{SM} = 214/929$		$X_{1221}^{DC} = 14/25$
$X_{7131}^{SM} = 222$		$X_{1311}^{DC} = 6/65$
$X_{8131}^{SM} = 222$		$X_{1321}^{DC} = 19$
$Y_{111}^{SM} = 1$		$X_{1411}^{DC} = 10/45$
$Y_{211}^{SM} = 1$		$X_{1421}^{DC} = 12/350$
$Y_{311}^{SM} = 1$		$X_{1511}^{DC} = 8/55$
$Y_{411}^{SM} = 1$		$X_{1521}^{DC} = 17/10$
$Y_{511}^{SM} = 1$		$X_{1611}^{DC} = 20/90$
$Y_{611}^{SM} = 1$		$X_{1621}^{DC} = 7/60$
$Y_{711}^{SM} = 1$		$Y_{111}^{DC} = 1$
$Y_{811}^{SM} = 1$		

مأخذ: یافته‌های پژوهش

از آنجا که خانوارها بر اساس قدرت خرید، موقعیت جغرافیایی، نوسان‌های قیمتی بازار و حتی تغییر فصول سال اقدام به خرید و تقاضای کالا می‌کنند، در عمل، مقدار پارامتر تقاضا ثابت نیست، ولی برای جلوگیری از پیچیدگی مدل، این پارامتر ثابت فرض شده است. با این شرایط، حساسیت تغییرات پارامتر تقاضا و اثر آن بر جواب مدل بررسی می‌شود. بر اساس نظر خبرگان دانشگاهی، پارامتر تقاضا از ۴۰- تا ۴۰+ درصد نوسان داده شده و مدل پیشنهادی حل و



طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با رویکرد.....

مقادیر توابع هدف سه گانه به ازای این تغییرات اندازه گیری شده است. نتایج تحلیل حساسیت تقاضا در جداول ۹ و ۱۰ و نمودار ۱ ارائه شده است.

جدول ۹- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر تقاضا

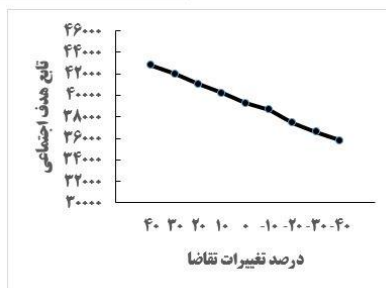
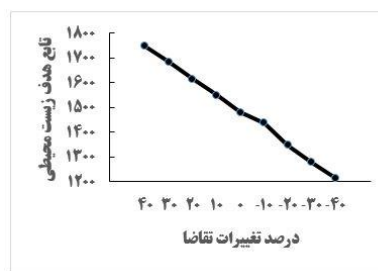
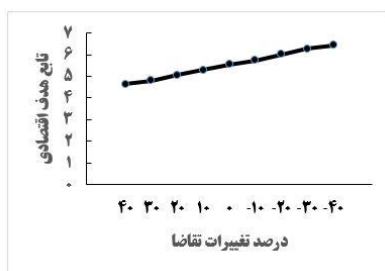
درصد تغییرات تقاضا	-٪۴۰	-٪۳۰	-٪۲۰	-٪۱۰	۰
$Z_1$	$1.0 \times E6/42432$	$1.0 \times E6/27436$	$1.0 \times E6/1942$	$1.0 \times E5/73448$	$1.0 \times E5/539252$
$Z_2$	۱۲۱۴/۰۷۷	۱۲۷۷/۵۹۷	۱۳۴۷/۰۰۵	۱۴۳۶/۷۰۳	۱۴۸۰/۱۳۳
$Z_3$	۳۵۷۸۹/۸۵۰	۳۶۵۹۹/۹۹۵	۳۷۴۵/۹۱۹	۳۸۶۳۴/۲۷۳	۳۹۲۸۵/۴۸۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۰- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر تقاضا

درصد تغییرات تقاضا	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰
$Z_1$	$1.0 \times E5/28459$	$1.0 \times E5/05962$	$1.0 \times E4/80467$	$1.0 \times E4/63222$
$Z_2$	۱۵۴۹/۱۴۱	۱۶۱۳/۲۶۰	۱۶۸۲/۶۶۹	۱۷۴۶/۱۸۸
$Z_3$	۴۰۲۱۲/۰۶۴	۴۱۰۲۹/۰۵۹	۴۱۹۷۰/۹۸۴	۴۲۷۸۱/۱۲۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش



نمودار ۱- تغییرات توابع هدف سه گانه نسبت به تغییرات تقاضا

نتایج جداول ۹ و ۱۰ و نمودار ۱ نشان می‌دهد که با کاهش تقاضا تا مرز ۴۰ درصد مقدار تابع هدف هزینه با شیب ملایم افزایش یافته و مقدار تابع هدف زیست محیطی و تابع هدف اجتماعی نیز با شیب نسبتاً ثابت کاهش یافته است؛ این در حالی است که با افزایش تقاضا، مقدار تابع هدف هزینه کاهش و مقادیر تابع هدف زیست محیطی و تابع هدف اجتماعی نیز افزایش یافته است. به دیگر سخن، با افزایش تقاضا نیاز به تسهیلات و وسایل حمل و نقل بیشتر شده و در نتیجه، اثرات زیست محیطی آنها افزایش یافته است. همچنین، برای پاسخ‌گویی به تقاضای بیشتر، فرصت‌های شغلی بیشتری در منطقه ایجاد شده، که گویای افزایش تابع هدف اجتماعی بوده است. به همین ترتیب، با کاهش تقاضا، با توجه به کاهش نیاز به تسهیلات و وسایل حمل و نقل، اثرات زیست محیطی آنها کاهش یافته و برای پاسخ‌گویی بدین تقاضای کاهش یافته، فرصت‌های شغلی موجود نیز کمتر شده است و حتی در مواردی، ممکن است از بین برود. ارتباط خطی توابع هدف سه‌گانه با تقاضا نیز که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، به دلیل خطی بودن توابع هدف در مدل، بر حسب تقاضاست.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر، مدلی برای طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار ارائه شده و در ادامه، نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل در شرکت صنایع شیر پگاه اصفهان بررسی شده است؛ همچنین، یک رویکرد ترکیبی از دیمتل و برنامه‌ریزی چندهدفه پیشنهاد شده است که در مرحله اول، شاخص‌های پایداری زنجیره تأمین در صنایع لبنی تعیین شده و در مرحله دوم، به کمک روش دیمتل، مؤثرترین شاخص‌ها به همراه اوزان هر کدام انتخاب شده است؛ و سرانجام، در مرحله سوم، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با اهداف چندگانه (که همان شاخص‌های مرحله قبل بود) برای طراحی زنجیره تأمین شرکت یادشده ارائه و حل شده است. بر اساس نتایج حاصل از مرحله اول، مهم‌ترین شاخص‌های پایداری در صنایع لبنی مطابق با نظر خبرگان این حوزه عبارت‌اند از: تولید پسماند، مصرف آب، مصرف انرژی، فرصت‌های

شغلی، قابلیت بازیافت، انتشار گازهای آلاینده و هزینه کل. از این رو، پیشنهاد می شود که صنایع لبنی، برای دستیابی به توسعه پایدار، تمرکز خود را بر شاخص های یادشده قرار دهند. لازم به ذکر است که استخراج شاخص های مهم در صنایع لبنی تاکنون در مطالعات پیشین صورت نگرفته است. با توجه به مستقل نبودن شاخص های هفت گانه یادشده در صنعت شیر پگاه اصفهان، با بهره گیری از نظرات خبرگان این صنعت، شاخص های مؤثر به ترتیب درجه اهمیت عبارت اند از: مصرف انرژی (با وزن ۱/۵۲)، مصرف آب (با وزن ۰/۸۵)، هزینه کل (با وزن ۰/۴۵) و فرصت های شغلی (با وزن ۰/۰۳). از این رو، پیشنهاد می شود که شرکت پگاه اصفهان، برای طراحی زنجیره تأمین خود، با در نظر گرفتن ملاحظات پایداری، تمرکز اصلی خود را بر بهینه سازی شاخص های یادشده قرار دهد. قابل ذکر است که عدم استقلال شاخص های پایداری و استفاده از روش دیمتل برای غربال کردن و وزندهی شاخص ها برای اولین بار در تحقیق حاضر در نظر گرفته شده، در حالی که معمولاً در پژوهش های پیشین، از روش هایی نظیر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با فرض استقلال شاخص ها برای وزندهی استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل از مرحله سوم تحقیق حاضر، پیشنهاد می شود که شرکت صنایع شیر پگاه اصفهان ماده اولیه ۱ (شیر خام) را از تأمین کننده ۳ خریداری کند و فعلاً از تأمین کنندگان ۱ و ۲ مواد اولیه تأمین نکند و برای ارتقای کیفیت مواد اولیه و یا اصلاح قیمت ها، با آنها وارد مذاکره شود؛ همچنین، ماده اولیه ۲ (بطری) از تأمین کنندگان ۴ و ۵ ماده اولیه ۳ (برچسب و چاپ) از تأمین کنندگان ۷ و ۸ به صورت مساوی تأمین شود. میزان ارسال محصولات ۱ و ۲ برای توزیع کننده زنجیره تقریباً مساوی است. میزان بهینه ارسال کالا از توزیع کننده به هر کدام از مشتریان نیز بهتر است مطابق با خروجی مدل پیشنهادی صورت بگیرد. شایان یادآوری است که طراحی زنجیره تأمین صنایع لبنی با در نظر گرفتن شاخص های یادشده و در قالب مدل ریاضی چندهدفه برای اولین بار انجام شده است. البته تحقیقات مشابه، در زمینه صنعت غذا (Allaoui et al., 2018; Rohmer et al., 2019)، وجود دارد که هم از لحاظ نوع شاخص ها و روش انتخاب و وزندهی آنها و هم از نظر روش حل مدل با پژوهش

حاضر متفاوت است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی، تأمین کنندگان سطوح بالاتر نظیر مزارع کشاورزی نیز به زنجیره تأمین مورد بررسی اضافه شود و زنجیره تأمین صنایع لبنی به زنجیره تأمین از مزرعه تا مشتری توسعه یابد؛ و برای مسائل با ابعاد بزرگ‌تر، به دلیل افزایش زمان حل مسئله، از روش‌های فرا ابتکاری بهره گرفته شود. همچنین، در شرایط عدم قطعیت در برخی از پارامترهای مسئله مانند تقاضای مشتریان، از مدل‌های فازی، برنامه‌ریزی تصادفی یا مدل برنامه‌ریزی استوار استفاده شود و نیز به کارگیری سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به جای روش دیمتل برای انتخاب شاخص‌های تأثیرگذار می‌تواند موضوع تحقیقات آتی باشد.

#### منابع

1. Allaoui, H., Guo, Y., Choudhary, A. and Bloemhof, J. (2018). Sustainable agro-food supply chain design using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach. *Computers and Operations Research*, 89: 369-384.
2. Asgharpour, M.J. (2003). Group decision making and game theory with the attitude of research in action. Tehran: Tehran University Press. (Persian)
3. Asgharpour, M.J. (2009). Multi-criteria decision making. Tehran: Tehran University Publications. (Persian)
4. Azadeh, A., Raoofi, Z. and Zarrin, M. (2015). A multi-objective fuzzy linear programming model for optimization of natural gas supply chain through a greenhouse gas reduction approach. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26: 702-710.
5. Bavarsad, B., Nili Ahmadabadi, M. and Beiranvand, T. (2018). Developing a sustainable supply chain management model in marine industries, case study: Marine Industries Organization. *Journal of Science Education*, 5(1): 29-40. (Persian)
6. Chaabane, A., Ramudhin, A. and Paquet, M. (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*, 135(1): 37-49.
7. Christopher, M. and Holweg, M. (2011). Supply Chain 2.0: managing supply chains in the era of turbulence. *International Journal of Physical Distribution Logistics Management*, 41(1): 63-82.

8. Elkington, J. (2000). Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business. Review by Ronald Jeurissen. *Journal of Business Ethics*, 23(2): 229-231.
9. Fatemi Amin, S. and Mortazaei, A. (2014). The food products supply chain strategic plan. Tehran: Iranian Academic Center for Education, Culture and Research; Beheshti Center. (Persian)
10. Ghasemi, A., Rayatpisheh, M.A., Haddadi, A. and Rayatpisheh, S. (2017). Identification and prioritization of indicators involved in agricultural supply chain sustainability. *Environmental Science and Technology*, 19(4): 369-382. DOI: 10.22034/JEST.2017.10738. (Persian)
11. Hassanzadeh Amin, S. and Zhang, G. (2013). A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 51(5): 1405-1425.
12. Jafarnejad, A. and Bana Molaei, A.A. (2014). Investigation of the impact of sustainable supply chain management dimensions on supply chain operational performance using structural equation modeling and conventional correlation analysis. Master's Thesis, University of Tehran. (Persian)
13. Moradi Nasab, N. and Amin-Naseri, M.R. (2016). Designing an integrated model for a multi-period, multi-echelon and multi-product petroleum supply chain. *Energy*, 114: 708-733. DOI: 10.1016/j.energy.2016.07.140.
14. Pishvae, M.S., Razmi, J. and Torabi, S.A. (2014). An accelerated Benders decomposition algorithm for sustainable supply chain network design under uncertainty: a case study of medical needle and syringe supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 67: 14-38.
15. Pishvae, M.S. and Razmi, J. (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*, 36(8): 3433-3446.
16. Resat, H.G. and Unsal, B. (2019). A novel multi-objective optimization approach for sustainable supply chain: a case study in packaging industry. *Sustainable Production and Consumption*, 20: 29-39.
17. Rohmer, S., Gerdessen, J.C. and Claassen, G.D.H. (2019). Sustainable supply chain design in the food system with dietary considerations: a multi-objective analysis. *Journal of Operational Research* 273(3): 1149-1164.
18. Sahebjamnia, N., Fathollahi-Fard, A.M. and Hajiaghahi-Keshteli, M. (2018). Sustainable tire closed-loop supply chain network design: hybrid

- metaheuristic algorithms for large-scale networks. *Journal of Cleaner Production*, 196: 273-296.
19. Sgarbossa, F. and Russo, I. (2017). A proactive model in sustainable food supply chain: insight from a case study. *International Journal of Production Economics*, 183: 596-606.
  20. Taleizadeh, A.A., Haghghi, F. and Akhavan Niaki, S. T. (2019). Modeling and solving a sustainable closed loop supply chain problem with pricing decisions and discounts on returned products. *Journal of Cleaner Production*, 207: 163-181.
  21. Tseng, S.C. and Hung, S.W. (2014). A strategic decision-making model considering the social costs of carbon dioxide emissions for sustainable supply chain management. *Journal of Environmental Management*, 133: 315-322.
  22. Yakovleva, N., Sarkis, J. and Sloan, T. (2010). Sustainability indicators for the food supply chain. In: *Environmental assessment and management in the food industry*, pp. 297-329, Elsevier.
  23. Zareian Jahromi, H., Fallahnejad, M., Sadeghieh, A. and Ahmadi Yazdi, A. (2014). Multi-objective optimization model based on sustainable closed loop supply chain design. *Journal of Industrial Engineering Research*, 2(3): 93-111. (Persian)
  24. Zegordi, S.H., Eskandarpour, M. and Nikbakhsh, E. (2011). A novel bi-objective multi-product post-sales reverse logistics network design model. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol. I, WCE 2011, July 6 - 8, 2011, London, U.K.*