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

DOI: 10.30490/AEAD.2021.341743.1196

طراحی زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بستهٔ پایدار با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ ترکیبی در صنایع لبنی

اعظم خبوشانی[۱]، ام‌البنین یوسفی[۲]، مهدی فدایی[۳]، ایرج سلطانی[۴]

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

چکیده

یکی از فعالیت‌های مؤثر در مدیریت زنجیره تأمین سازمان‌ها طراحی یک ساختار شبکه زنجیرهٔ 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، دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. (khabooshani_2761@yahoo.com)

۲- نویسنده مسئول و استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، شاهین‌شهر، اصفهان، ایران. (yousefi_1302@yahoo.com)

۳- استادیار دانشگاه پیام نور، واحد اصفهان ، اصفهان، ایران. (fadaeemahdi@gmail.com)

۴- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. (soltan134@gmail.com)

اهداف اقتصادی، این گونه ملاحظات پایداری را نیز در نظر گیرند. با این رویکرد، در مطالعهٔ 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 چندمعیارهٔ 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 به‌دست‌آمد. 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 نفرساعت در ماه به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: *زنجیرهٔ 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 دربرگیرندهٔ تمامی فعالیت‌های مربوط به انتقال و جریان مواد، ضایعات و اطلاعات از اولین تأمین کننده تا آخرین مصرف کننده است و مدیریت زنجیره تأمین وظیفه یکپارچه‌سازی این فعالیت‌ها را بر عهده دارد. در زنجیره تأمین

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 (Pishvaee and Razmi, 2012). با توجه به افزایش ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی در سازمان ها، طراحی شبکه زنجیره تأمین بدون در نظر گرفتن و ادغام ملاحظات یادشده با رویکرد اقتصادی امکان‌پذیر نیست (Resat and Unsal, 2019). توسعه پایدار[1] 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 نسل های 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 شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین است. طراحی شبکه زنجیره تأمین از مهمترین تصمیماتی است که در سطح کلان و راهبردی زنجیره تأمین اتخاذ می‌شود (Pishvaee et al., 2014).

اهداف اقتصادی در زنجیره تأمین پایدار شامل کاهش هزینه های زنجیره و افزایش سود است. اهداف اجتماعی نیز بیانگر جنبه هایی از فعالیت زنجیره تأمین است که بر مسائل انسانی مانند ایمنی، رفاه، سلامت و اشتغال اثرگذار است؛ در نهایت، مسائل زیست محیطی اثر گازهای 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 زیست محیطی درباره تأثیرات زنجیره تأمین مواد غذایی بر محیط زیست منجر به فشار فزایندهٔ 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). بااین 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. پیش بینی 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 توسعهٔ 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 همهٔ 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 زمینهٔ 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 حداقل‌سازی هزینه کل زنجیره تأمین و اثرات زیست‌محیطی، به طراحی پایدار برای شبکه لجستیک چندمحصولی در شرایط عدم قطعیت با رویکرد استوار برای مدل‌سازی 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 اولویت‌بندی 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، مطالعهٔ موردی: سازمان صنایع دریایی»، به بررسی تأثیر فشار مشتری و نوآوری به‌صورت 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 صورت‌گرفته 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 حداقل‌سازی 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

تـأمین پایـدار بـر اسـاس طـرح انتشـار تجـارت»، بـا هـدف حـداقل‌سـازی عوامـل اقتصـادی و زیسـت‌محیطـی، بـه توسـعه یـک مـدل برنامـه‌ریـزی مخـتلط عـدد صـحیح دوهدفـه پرداختنـد و بـرای حـل مـدل، از روش اپسـیلون محـدودیت اسـتفاده کردنـد.حسـن‌زاده امـین و ژانـک (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 تعیـین مکـان بهینـه مراکـز تولیـد و بازیافـت بـا وجود عدم قطعیت پرداختند؛ در مدل ارائه‌شده، با بهره‌گیری از رویکـرد برنامـه‌ریـزی احتمـالی مبتنی بر سناریو، مراکز تولید و مشتریان در زنجیره تأمین مسـتقیم و مراکـز بازیافـت در زنجیـره معکوس قرارگرفتند.

افزون بر این، پیشوایی و همکاران (Pishvaee et al., 2014)، درپژوهشی با عنوان «یک الگوریتم تجزیه بندرز تسریع‌شده برای طراحی شـبکه زنجیـره تـأمین در شـرائط عـدم قطعیـت: مطالعه موردی زنجیرهٔ تأمین سرنگ و سرسوزن»، یک مدل سه‌هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین پایـدار در صـنعت تولیـد دارو ارائـه دادنـد؛ هـدف تحقیـق تعیـین مکـان و ظرفیـت بهینـه واحدهای تولید و تعیین میزان بهینه محصول ارسالی در هر کـدام از مراحـل انتقـال بـود و بـرای حل مدل، از الگوریتم تجزیه بندرز استفاده شد. آزاده و همکاران (Azadeh et al., 2015) نیـز در پژوهشی با عنوان «مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی جهـت بهینـه‌سـازی زنجیـره تـأمین گاز طبیعی با رویکرد کاهش گازهای گلخانه‌ای»، با هـدف تعیـین جریـان کـالای ارسـالی بـین بخش‌های مختلف زنجیره با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی، بـا بهـره‌گیـری از مدل‌سازی برنامه‌ریزی خطی فازی، به بررسی و ارزیابی و همچنین، بهینـه سـازی زنجیـره تـأمین گاز طبیعی پرداختند. مرادی‌نسب و امین‌ناصری (Moradi Nasab and Amin-Naseri, 2016)، در پژوهشی با عنوان «طراحی مدل جامع زنجیره تأمین چنددوره ای در صنعت نفت»، به ارائـه یـک مدل برنامه ریزی مختلط صحیح چنددوره‌ای برای طراحی شبکه زنجیره تـأمین نفـت پرداختنـد. هدف این مطالعه مکان‌یابی تسهیلات و تعیین مسـیر خطـوط انتقـال بـا اسـتفاده از بیشـینه‌سـازی

درآمد کل شبکه بود و در آن، از رویکرد برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو استفاده شد. آلواوی 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 اپسیلون محدودیت برای حل مدل، به ارائه یک مدل ترکیبی دومرحله ای 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 زمینهٔ طراحی زنجیره تأمین، مشاهده می‌شود که درزمینهٔ 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 راه‌حل برای آن پرداخته‌اند. به‌نظر 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 به‌دنبال 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

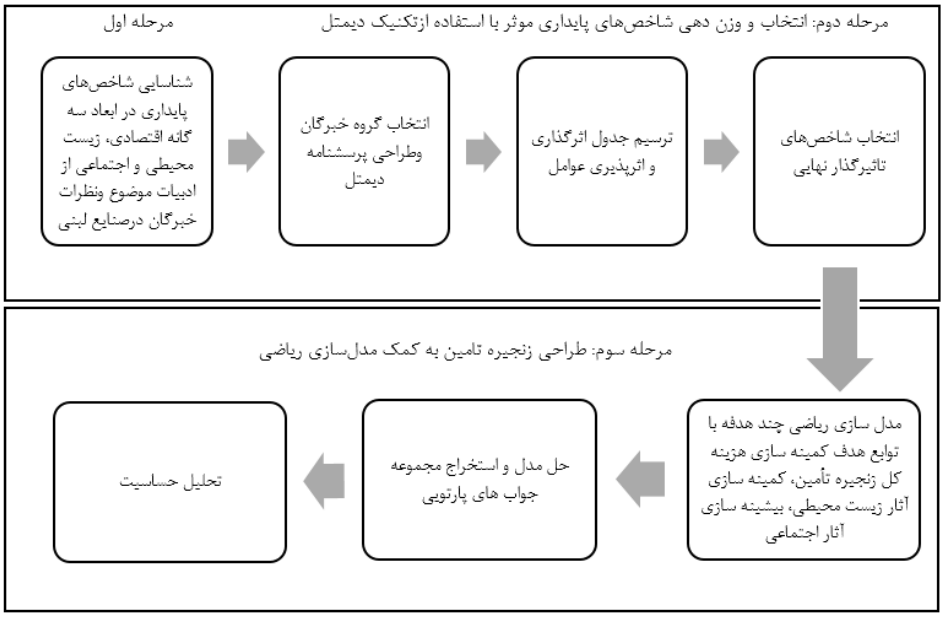
نتایجی ارزشمند به‌دست دهد. پژوهش حاضر به ارائه یک مدل چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در صنعت لبنی کشور با در نظر گرفتن معیارهای سه‌گانه پایداری می‌پردازد. با بهره‌گیری از این مدل، بهینه‌سازی جریان ارسالی کالا توسط تأمین کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مراکز بازیافت و دفع بررسی شده، بهترین روش برای حمل ونقل کالا در مسیر شبکه زنجیره تأمین تعیین می‌شود.بدین منظور، در مرحله اول، با مرور ادبیات موضوع و استفاده از نظرات خبرگان دانشگاه و صنایع لبنی، مهترین شاخص‌های پایداری در این صنعت در قالب ابعاد سه‌گانه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی استخراج شده و در مرحله دوم، مؤثرترین شاخص ها به کمک روش تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ دیمتل[1] انتخاب شده‌اند و در مرحله سوم نیز به‌منظور طراحی زنجیره تأمین، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه چندمحصولی عدد صحیح ارائه شده است. مهم‌ترین متغیرهای تصمیم در این مدل را «میزان جریان کالا بین اجزای مختلف شبکه» و «روش‌های حمل‌ونقل» تشکیل می‌دهند؛ محدودیت‌هایی نظیر ظرفیت تسهیلات و وسایل حمل‌ونقل از جمله محدودیت‌های مهم در نظر گرفته شده در مدل به‌شمارمی‌رود؛ توابع هدف این مدل را نیز شاخص‌های خروجی از مرحله اول تشکیل می‌دهند. در ادامه، مدل پیشنهادی با استفاده از روش L-P متریک و به کمک نرم‌افزار GAMS حل شده است. در پایان، مدل ارائه‌شده با استفاده از داده‌های مربوط به سال ۱۳۹۸ برای صنایع شیر پگاه اصفهان پیاده‌سازی و نتایج تجزیه‌وتحلیل شده است.

مواد و روش‌ها

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 می‌شود (شکل ۱). در مرحله اول، شناسایی شاخص‌های پایداری در ابعاد سه‌گانهٔ اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی بر اساس مرور

1. Decision Making Trial and Evaluation (DEMATEL)

ادبیات موضوع و نظرات خبرگان صورت می‌گیرد و در مرحله دوم، با استفاده از روش دیمتل، تحلیل شاخص‌های پایداری انجام می‌پذیرد و اثرپذیری و اثرگذاری هر کدام از شاخص‌ها و همچنین، ارتباطات درونی و بیرونی آنها مشخص می‌شود و سپس، شاخص‌ها بر حسب اثرگذاری غربال و مؤثرترین آنها برای مرحله سوم انتخاب می‌شوند. در مرحله سوم، به‌منظور بهینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره تأمین، اثرات زیست‌محیطی و آثار اجتماعی، یک مدل ریاضی سه‌هدفه ارائه و حل می‌شود.



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

مرحله اول: شناسایی شاخص‌های پایداری در ابعاد سه‌گانه

هر کدام از ابعاد سه‌گانهٔ پایداری را با شاخص‌های گوناگون می‌توان اندازه‌گیری و ارزیابی کرد؛ برای نمونه، در بعد زیست‌محیطی، از شاخص‌هایی نظیر مصرف آب، مصرف انرژی، تولید پسماند و ... یا در بعد اجتماعی، از شاخص‌هایی مانند فرصت‌های شغلی ایجادشده یا رضایت کارکنان و .... می توان استفاده کرد. از آنجا که اهمیت این شاخص‌ها در صنایع

مختلف متفاوت است، برای هر صنعت، این شاخص‌ها منحصربه‌فرد محسوب می‌شوند و شناسایی آنها از روش‌هایی نظیر بررسی ادبیات موضوع و یا استفاده از نظرات خبرگان امکان‌پذیر است. در این مرحله، به‌منظور شناسایی شاخص‌های مورد استفاده در صنایع لبنی، ابتدا با مطالعه ادبیات موضوع، شاخص‌های پایداری به‌تفکیک هر کدام از ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی 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

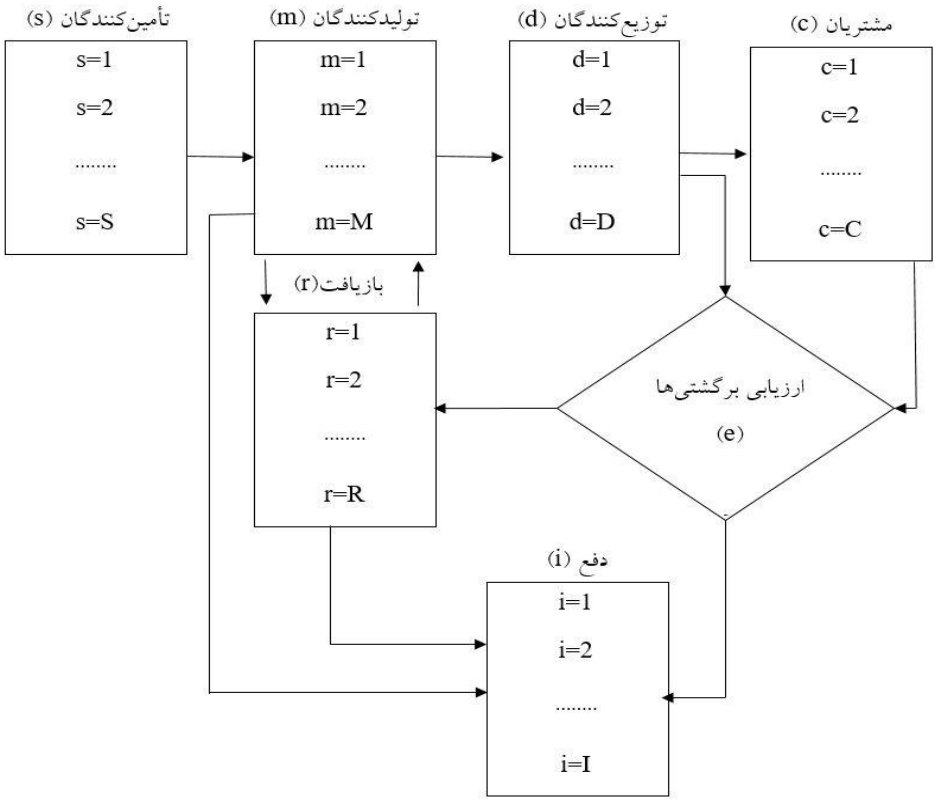
شاخص‌های انتخاب‌شده در مرحله قبل در زیرگروه‌های صنایع لبنی، با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن صنعت، متفاوت‌اند و همچنین، شاخص‌ها از یکدیگر مستقل نبوده و میزان اثرگذاری و اثرپذیری متفاوت دارند و علاوه بر آن، محاسبه میزان این شاخص‌ها وقت‌گیر بوده و در مواردی، جمع‌آوری اطلاعات آنها دشوار است. از این‌رو، در این مرحله، با استفاده از روش دیمتل، شاخص‌های مؤثر انتخاب و درجه اهمیت آنها در قالب ضرایب وزنی محاسبه می‌شود. شاخص‌های منتخب تشکیل‌دهندهٔ 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) به‌دست می آید. 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 پنج‌گزینه‌ای (صفر تا چهار) امتیازدهی کنند. میزان اثرگذاری درج‌شده 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

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 بیان‌کنندهٔ مجموع تأثیرات گذاشته‌شده و پذیرفته‌شده معیارهاست و بردار D-R نشان‌دهندهٔ قدرت تأثیرگذاری هر عامل است، که چنانچه مثبت باشد، معیار «علت» و در غیر این صورت، معیار «معلول» محسوب می‌شود. هرچهD-R بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهندهٔ تأثیرگذاری بیشتر است. بنابراین، انتخاب شاخص‌های تأثیرگذار با استفاده از ستونD-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 مدل‌سازی ریاضی

مطالعه حاضر به طراحی ساختار شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چندسطحی شامل تأمین کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان، مشتریان و واحدهای بازیافت 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 زمینهٔ ساختار زنجیره تأمین در صنایع غذایی و صنایع لبنی است. تأمین کنندگان، مواد اولیه را به تولیدکنندگان ارسال و تولیدکنندگان نیز کالای تولیدشده را به توزیع کنندگان 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 بازیافت یا دفع منتقل می‌کنند. محصول برگشتی در مراکز بازیافت، در صورت قابل بازیافت 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 بازیافت یا دفع در جریان ساخت یا در مرحلهٔ نهایی وجود دارد.



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

شکل۲. 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 تأمین‌کنندگان می‌تواند تقاضای بیش از یک تولیدکننده 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، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان، مشتریان، واحدهای بازیافت و واحدهای دفع محدود است.

۷. در جریان شبکه، ارسال بین سطوح متوالی زنجیره تأمین امکان‌پذیر است.

۸. در هر سطح، بین تسهیلات (بین مراکز بازیافت مختلف یا مراکز توزیع مختلف) جریان کالا وجود ندارد.

۹. گزینه‌های حمل‌ونقل 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 به‌سوی مراکز تولید و دفع در نظر گرفته شده است.

۱۵. انتخاب نوع وسیله حمل‌ونقل مستقل از نوع محصول است.

مجموعه‌های مدل ریاضی

s مجموعه تأمین‌کنندگان	(s=1,2,…..S)
m مجموعه تولیدکنندگان	(m=1,2,…..M)
d مجموعه مراکز توزیع	(d=1,2,….D)
c مجموعه مشتریان	(c=1,2,….C)
r مجموعه مراکز بازیافت	(r=1,2,….R)
i مجموعه مراکز دفع	(i=1,2,…I)
v مجموعه وسایل حمل‌ونقل	(v=1,2,3)
a مجموعه مواد خام	(a=1,2,….A)
b مجموعه محصولات	(b=1,2,….B)
e مراکز ارزیابی	e=1
f و f´ تسهیلات زنجیره تأمین	f , f´=s,m,d,c,r,i

پارامترهای مدل ریاضی

$disf, f^{/}$ مسافت بین تسهیلات $f, f^{/}$

C_{Smav}^{SM} هزینه حمل‌ونقل واحد ماده اولیه نوع a از s به m با روش v در واحد زمان

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

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

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

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

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

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

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

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

C_{eibv}^{EI} هزینه حمل‌ونقل واحد محصول نوع b از e به I با روش v در واحد زمان

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

fc_c^M هزینه ثابت راه‌اندازی تولیدکننده m

fc_d^D هزینه ثابت راه‌اندازی توزیع‌کننده d

fc_r^R هزینه ثابت راه‌اندازی واحد بازیافت r

fc_i^I هزینه ثابت راه‌اندازی واحد دفع i

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

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

VC_{rb}^{R} هزینه متغیر بازیافت واحد محصول نوع b

et^{v} اثر زیست‌محیطی روش حمل‌ونقل v به ازای هر واحد مسافت برای واحد محصول

ep_{mb}^{MB} اثرات زیست‌محیطی تولید واحد محصول نوع b

ep_{rb}^{RB} اثرات زیست‌محیطی بازیافت واحد محصول نوع b

ep_{ib}^{IB} اثرات زیست‌محیطی دفع واحد محصول نوع b

emp_{sm} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده برای ارسال محصول از s به m

emp_{md} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده برای ارسال محصول از m به d

emp_{cr} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده برای ارسال محصول از c به e

emp_{rm} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده برای ارسال محصول از r به m

emp_{de} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده برای ارسال محصول از d به e

emp_{ei} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده برای ارسال محصول از e به i

emp_{er} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده برای ارسال محصول از e به r

emp_{m} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در صورت باز بودن واحد تولید m

emp_{d} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در صورت باز بودن واحد توزیع d

emp_{r} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در صورت باز بودن واحد بازیافت r

emp_{i} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در صورت باز بودن واحد دفع i

emp_{s} تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در صورت باز بودن واحد تأمین‌کننده s

Ca_{v}^{V} ظرفیت وسیله حمل‌ونقل 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 ارسال‌شده از تأمین‌کننده s به تولیدکننده m با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{mdbv}^{MD} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از تولیدکننده m به توزیع‌کننده d با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{dcbv}^{DC} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از توزیع‌کننده d به مشتری c با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{ribv}^{IR} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از واحد بازیافت r به مرکز دفع i با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{debv}^{DE} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از مرکز توزیع d به مرکز ارزیابی e با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{eibv}^{EI} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از مرکز ارزیابی e به مرکز دفع i با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{mrbv}^{MR} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از تولیدکننده m به واحد بازیافت r با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{rmbv}^{RM} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از واحد بازیافت r به تولیدکننده m با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{cebv}^{CE} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از مشتری به مرکز ارزیابی e با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{erbv}^{ER} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از واحد ارزیابی e به مرکز بازیافت r با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

x_{mibv}^{MI} مقدار محصول نوع b ارسال‌شده از تولیدکننده m به مرکز دفع i با روش حمل‌ونقل v در واحد زمان

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

Y_{mdv}^{MD} اگر برای ارسال از m به d روش حمل‌ونقل v استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

Y_{cev}^{CE} اگر برای ارسال از c به e روش حمل‌ونقل v استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

Y_{riv}^{RI} اگر برای ارسال از r به i روش حمل‌ونقل v استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

Y_{rmv}^{RM} اگر برای ارسال از r به m روش حمل‌ونقل v استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

Y_{erv}^{ER} اگر برای ارسال از e به r روش حمل‌ونقل v استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

Y_{dev}^{DE} اگر برای ارسال از d به e روش حمل‌ونقل v استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

Y_{miv}^{MI} اگر برای ارسال از m به i روش حمل‌ونقل v استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

Y_{eiv}^{EI} اگر برای ارسال از e به i روش حمل‌ونقل v استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

Y_{dcv}^{DC} اگر برای ارسال از d به c روش حمل‌ونقل v استفاده شود، یک و در غیر این صورت، صفر است

تابع هدف اقتصادی

$$Min\, Z_1 = Pc + Tc \qquad Pc = Fc + Vc \tag{۱}$$

$$Fc = \sum_{m=1}^{M} fc_m^M Y_m^M + \sum_{d=1}^{D} fc_d^D Y_d^D + \sum_{r=1}^{R} fc_r^R Y_r^R + \sum_{i=1}^{I} fc_i^I Y_i^I \tag{۲}$$

$$VC = \sum_{m}\sum_{d}\sum_{b}\sum_{v} VC_{mb}^{M}.X_{mdbv}^{MD} + \sum_{d}\sum_{c}\sum_{b}\sum_{v} VC_{db}^{D}.X_{dcbv}^{DC} \tag{۳}$$

$$+ \sum_{d}\sum_{b}\sum_{v} VC_{db}^{D}.x_{debv}^{DE} + \sum_{r}\sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} VC_{rb}^{R}\, x_{ribv}^{RI} +$$

$$\sum_{m}\sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} VC_{mb}^{M}\, x_{mibv}^{MI} + \sum_{r}\sum_{m}\sum_{b}\sum_{v} VC_{rb}^{R}\, x_{rmbv}^{RM}$$

$$+ \sum_{m}\sum_{r}\sum_{b}\sum_{v} VC_{mb}^{M}\, x_{mrbv}^{MR} + \sum_{r}\sum_{b}\sum_{v} VC_{eb}^{E}.\, x_{erbv}^{ER}$$

$$+ \sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} VC_{eb}^{E}.\, x_{eibv}^{EI}$$

$$TC = \sum_{s}\sum_{m}\sum_{a}\sum_{v} dis_{sm}.c_{smav}\, x^{SM}_{smav}\, Y^{SM}_{smv} \qquad (۴)$$
$$+ \sum_{m}\sum_{d}\sum_{b}\sum_{v} dis_{md}\,.c_{mdbv}.x^{MD}_{mdbv}.Y^{MD}_{mdv}$$
$$+ \sum_{d}\sum_{c}\sum_{b}\sum_{v} dis_{dc}\,.c_{dcbv}.x^{DC}_{dcbv}.Y^{DC}_{dcv}$$
$$+ \sum_{c}\sum_{b}\sum_{v} dis_{ce}.c_{cev}\,.x^{CE}_{cebv}.Y^{CE}_{cev}$$
$$+ \sum_{r}\sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} dis_{ri}.c_{ribv}.x^{RI}_{ribv}.Y^{RI}_{riv}$$
$$+ \sum_{d}\sum_{b}\sum_{v} dis_{de}.c_{dev}\,.x^{DE}_{debv}.Y^{DE}_{dev}$$
$$+ \sum_{m}\sum_{r}\sum_{b}\sum_{v} dis_{mr}\,.c_{mrbv}.x^{MR}_{mrbv}.Y^{MR}_{mrv}$$
$$+ \sum_{r}\sum_{m}\sum_{b}\sum_{v} dis_{rm}.c_{rmbv}.x^{RM}_{rmbv}.Y^{RM}_{rmv}$$
$$+ \sum_{r}\sum_{b}\sum_{v} dis_{er}.c_{erbv}.x^{ER}_{erbv}.Y^{ER}_{erv}$$
$$+ \sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} dis_{ei}\,.c_{eibv}.x^{EI}_{eibv}.Y^{EI}_{eiv}$$
$$+ \sum_{m}\sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} dis_{mi}.c_{mibv}.x^{MI}_{mibv}.Y^{MI}_{miv}$$

تابع هدف زیست‌محیطی

$$Min\, Z_2 = Min(EP + ET) \qquad (۵)$$

$$EP = \sum_{m}\sum_{b} x_{mb}^{MB} . ep_{mb}^{MB} + \sum_{r}\sum_{m}\sum_{b}\sum_{v} x_{rmbv}^{RM} . ep_{rb}^{RB} \quad (۶)$$
$$+ \sum_{r}\sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} x_{ribv}^{RI} . ep_{rb}^{RB} + \sum_{r}\sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} x_{ribv}^{RI} . ep_{ib}^{IB}$$
$$+ \sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} x_{eibv}^{EI} . ep_{ib}^{IB} + \sum_{m}\sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} x_{mib}^{MI} . ep_{ib}^{IB}$$

$$ET = \sum_{s}\sum_{m}\sum_{a}\sum_{v} dis_{sm} . x_{smav}^{SM} . et^{v} . Y_{smv}^{SM} \quad (۷)$$
$$+ \sum_{m}\sum_{d}\sum_{b}\sum_{v} dis_{md} . x_{mdbv}^{MD} . et^{v} . Y_{mdv}^{MD}$$
$$+ \sum_{d}\sum_{c}\sum_{b}\sum_{v} dis_{dc} . x_{dcbv}^{DC} . et^{v} . Y_{dcv}^{DC}$$
$$+ \sum_{c}\sum_{b}\sum_{v} dis_{ce} . x_{cebv}^{CE} . et^{v} . Y_{cev}^{CE}$$
$$+ \sum_{r}\sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} dis_{ri} . x_{ribv}^{RI} . et^{v} . Y_{riv}^{RI}$$
$$+ \sum_{r}\sum_{m}\sum_{b}\sum_{v} dis_{rm} . x_{rmbv}^{RM} . et^{v} . Y_{rmv}^{RM}$$
$$+ \sum_{d}\sum_{b}\sum_{v} dis_{de} . x_{debv}^{DE} . et^{v} . Y_{dev}^{DE}$$
$$+ \sum_{m}\sum_{r}\sum_{b}\sum_{v} dis_{mr} . x_{mrbv}^{MR} . et^{v} . Y_{mrv}^{MR}$$
$$+ \sum_{r}\sum_{b}\sum_{v} dis_{re} . x_{rebv}^{RE} . et^{v} . Y_{rev}^{RE}$$
$$+ \sum_{m}\sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} dis_{mi} . x_{mibv}^{MI} . et^{v} . Y_{miv}^{MI}$$
$$+ \sum_{i}\sum_{b}\sum_{v} dis_{ei} . x_{eibv}^{EI} . et^{v} . Y_{eiv}^{EI}$$

تابع هدف اجتماعی

$$Min\ Z_3 = \sum_s \sum_m emp_{sm}\ x^{SM}_{smav}\ Y^{SM}_{smv} \qquad (۸)$$

$$\sum_m \sum_d emp_{md}\ x^{MD}_{mdbv}\ Y^{MD}_{mdv} + \sum_d \sum_c emp_{dc}\ x^{DC}_{dcbv}\ Y^{DC}_{dcv}$$

$$\sum_c emp_{ce}\ .\ x^{CE}_{cebv}\ Y^{CE}_{cev}$$

$$\sum_r \sum_m emp_{rm}\ x^{RM}_{rmbv}\ Y^{RM}_{rmv} + \sum_r \sum_i emp_{ri}\ x^{RI}_{ribv}\ Y^{RI}_{riv}$$

$$+ \sum_d emp_{de}\ .\ x^{DE}_{debv}\ Y^{DE}_{dev}$$

$$+ \sum_i emp_{ei}\ .\ x^{EI}_{eibv}\ Y^{EI}_{eibv} + \sum_m \sum_r emp_{mr}\ x^{MR}_{mrbv}\ Y^{MR}_{mrv}$$

$$+ \sum_m \sum_i emp_{mi}\ x^{MI}_{mibv}\ Y^{MI}_{miv} + \sum_r emp_{er}\ .\ x^{ER}_{erbv}\ Y^{ER}_{erv}$$

$$+ \sum emp_m\ .\ Y^M_m + \sum_d emp_d\ .\ Y^D_d$$

$$+ \sum_r emp_r\ .\ Y^R_r + \sum_i emp_i\ .\ Y^I_i$$

محدودیت‌ها

محدودیت بالانس تسهیلات زنجیره تأمین

$$x_{mb} = \sum_d \sum_v x^{MD}_{mdbv} + \sum_r \sum_v x^{MR}_{mrbv} \qquad \forall m,b \qquad (۹)$$

$$\sum_m \sum_v x^{MD}_{mdbv} = \sum_c x^{DC}_{dcb} + x^{DE}_{deb} \qquad \forall d,b \qquad (۱۰)$$

$$\sum_d \sum_v x^{DC}_{dcbv} = \sum_v x^{CE}_{cebv} + dem_{cb} \qquad \forall c,b \qquad (۱۱)$$

$$\sum_d \sum_v x^{DE}_{debv} + \sum_c \sum_v x^{CE}_{cebv} = \sum_r \sum_v x^{ER}_{erbv} + \sum_i \sum_v x^{EI}_{eibv} \qquad \forall b \qquad (۱۲)$$

$$\sum_v x^{EI}_{eibv} + \sum_m \sum_v x^{MI}_{mibv} + \sum_r \sum_v x^{RI}_{ribv} = Capib \qquad \forall i,b \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{v} x_{erbv}^{ER} + \sum_{m}\sum_{v} x_{mrbv}^{MR} = \sum_{i}\sum_{v} x_{ribv}^{RI} + \sum_{m}\sum_{v} x_{rmbv}^{RM} \qquad \forall r,b \qquad (۱۴)$$

محدودیت ظرفیت تسهیلات زنجیره تأمین

$$\sum_{m}\sum_{v} x_{smav}^{SM} \le Ca_{sa}.Y_{s}^{S} \qquad \forall\ s,a \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{d}\sum_{v} x_{mdbv}^{MD} \le Ca_{mb}.Y_{m}^{M} \qquad \forall m,b \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{c}\sum_{v} x_{dcbv}^{DC} + \sum x_{debv}^{DE} \le Ca_{db}.Y_{d}^{D} \qquad \forall d,b \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{m}\sum_{v} x_{rmbv}^{RM} + \sum_{i}\sum_{v} x_{ribv}^{RI} \le Ca_{rb}Y_{r}^{R} \qquad \forall r,b \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{r}\sum_{v} x_{ribv}^{RI} + \sum_{r} x_{eibv}^{EI} + \sum_{m}\sum_{v} x_{mibv}^{MI} \le Ca_{ib}.Y_{i}^{I} \forall i,b \qquad (۱۹)$$

محدودیت ظرفیت حمل‌ونقل وسیله V

$$\sum_{a} x_{smav}^{SM} \le Ca_{v}^{V} Y_{smv}^{SM} \qquad \forall s,m,v \qquad (۲۰)$$

$$\sum_{b} x_{mdbv}^{MD} \le Ca_{v}^{V} Y_{mdv}^{MD} \qquad \forall m,d,v \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{b} x_{dcbv}^{DC} \le Ca_{v}^{V} Y_{dcv}^{DC} \qquad \forall d,c,v \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{b} x_{cebv}^{CE} \le Ca_{v}^{V} Y_{cev}^{CE} \qquad \forall c,v \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{b} x_{mrbv}^{MR} \le Ca_{v}^{V} Y_{mrv}^{MR} \qquad \forall m,r,v \qquad (۲۴)$$

$$\sum_{b} x_{rmbv}^{RM} \le Ca_{v}^{V} Y_{rmv}^{RM} \qquad \forall r,m,v \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{b} x_{ribv}^{RI} \le Ca_{v}^{V} Y_{riv}^{RI} \qquad \forall r,i,v \qquad (۲۶)$$

$$\sum_{b} x_{erbv}^{ER} \le Ca_{v}^{V} Y_{erv}^{ER} \qquad \forall r,v \qquad (۲۷)$$

$$\sum_{b} x_{mibv}^{MI} \le Ca_{v}^{V} Y_{miv}^{MI} \qquad \forall m,v \qquad (۲۸)$$

$$\sum_{b} x_{eibv}^{EI} \le Ca_{v}^{V} Y_{eiv}^{EI} \qquad \forall i,v \qquad (۲۹)$$

$$\sum_{b} x_{debv}^{DEBV} \le Ca_{v}^{V} Y_{dev}^{DE} \qquad \forall d,v \qquad (۳۰)$$

محدودیت متغیرهای تصمیم

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\sum_v Y_{cev}^{CE} \geq 1 \qquad \forall c$$

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

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

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

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

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

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

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

رابطه (۱) معرف تابع هدف اقتصادی است که در طول زنجیره تأمین، به کمینه‌سازی هزینه کل می‌پردازد و شامل روابط (۲)، (۳) و (۴)، به‌ترتیب، 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 به‌دنبال کاهش اثرات زیست‌محیطی روش‌های حمل‌ونقل و اثرات زیست‌محیطی فرآیند تولید، بازیافت و دفع است.

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

محدودیت‌های (۹) تا (۱۴) نشان‌دهندهٔ 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) نشان‌دهندهٔ 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 به‌کار 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 زیست‌محیطی، و z_3 افزایش پیامدها و آثار اجتماعی.

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

$$Z_{LP} = \sum_{i=1}^{n} W_i((\frac{Z_i - Z_i^*}{Z_i^*})^P)^{1/P} \quad (۳۵)$$

در رابطه (۳۵)، Z_i^* : مقدار ایده‌آل 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 کنندهٔ درجه تأکید به انحرافات موجود است، به‌گونه‌ای که مقدار P بزرگ‌تر نشان‌دهندهٔ نقش بیشتر انحرافات بزرگ‌تر در بهینه‌سازی است (Asgharpour, 2009)

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

جامعه آماری تحقیق شرکت های فعال در صنایع لبنی بوده و نمونه‌گیری به روش «داده‌های در دسترس» انجام شده، که از جمله روش‌های غیراحتمالی در انتخاب نمونه است. از این‌رو، مدل ارائه شده با استفاده از داده‌های واقعی در شرکت صنایع شیر پگاه اصفهان در بازه زمانی سال ۱۳۹۸ اجرا شده است. زنجیره تأمین این شرکت شامل هشت تأمین کننده، یک تولیدکننده، 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 سی‌سی و شیر بطری نه‌صدسی‌سی) و سه نوع ماده اولیه (شیر خام، بطری، برچسب و چاپ) و سه روش حمل‌ونقل (زمینی، هوایی و دریایی) است. برای جمع‌آوری اطلاعات، از ابزار پرسشنامه استفاده شد و سؤالات آن به‌صورت 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 جمع‌آوری شده که در مقالهٔ حاضر، برای رعایت اختصار، از ارائه آن صرف نظر شده است. همچنین، برای انجام مقایسات زوجی روش دیمتل، از نرم‌افزار Excel و برای برنامه‌نویسی و حل مدل ریاضی، از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است.

نتایج و بحث

پژوهش حاضر طی سه مرحله انجام شده است (شکل ۱). در مرحله اول، به منظور شناسایی شاخص های 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 شاخص ها به‌تفکیک منابع علمی در جدول ۱ آمده است. در ادامه، این شاخص ها در اختیار گروه خبرگان صنایع لبنی قرار گرفت تا شاخص‌های قابل کاربرد در این صنعت مشخص شود. شاخص های هفت‌گانهٔ 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	B.Mota (2015)	Ahmed Saifa (2016)	Sgarboosa (2017)	S.U.K Rohmer (2018)	Nurlan (2018)	Sahebjamnia (2018)	H.allui (2018)	H Giray Restat (2019)	Talei Zadeh (2019)	Shamraiz Ahmad (2019)
**	**اقتصادی**										
۱	هزینه کل	✓		✓	✓		✓			✓	✓
۲	قیمت محصول							✓	✓		
۳	کیفیت محصول							✓	✓		
۴	بهره‌وری							✓			
۵	ظرفیت تکنولوژی								✓		
**	**زیست محیطی**										
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			✓		✓				✓	✓
**	**اجتماعی**										
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

جدول ۲- اطلاعات جمعیت‌شناختی 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	فوق‌لیسانس	۳۵			مدیر میانی	۳۸
	۵۰-۴۰	۲۲	دکتری	۱۲	مرد	۴۸	مدیر ارشد	۱۰
	بالاتر از ۵۰	۱۸						

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در مرحله دوم، مؤثرترین شاخص های پایداری به‌همراه اوزان آنها از بین شاخص های هفت گانه منتخب از مرحله قبل با استفاده از روش دیمتل در صنایع لبنی به دست آمد. برای به‌دست 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، به‌عنوان 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، شاخص هایی که مقدار D-R در آنها مثبت است، به‌عنوان شاخص های مؤثر انتخاب شده‌اند. مقادیر D-R نیز به‌عنوان وزن این شاخص ها در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که این اوزان، قبل از استفاده در مرحله بعد، به‌عنوان ضریب توابع هدف، نرمال‌سازی شدند. شاخص‌های مؤثر عبارت‌اند از: هزینه کل با وزن ۰/۴۵۱۲ در بعد اقتصادی، مصرف آب و مصرف انرژی، به‌ترتیب، با اوزان ۰/۸۵۴۴ و ۱/۵۱۷۶ در بعد زیست‌محیطی، و فرصت‌های شغلی ایجادشده با وزن ۰/۰۳۲۵ در بعد اجتماعی.

جدول ۳- ماتریس تأثیرگذاری شاخص‌های پایداری

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

مأخذ: یافته‌های پژوهش

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

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

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۵- اطلاعات جمعیت‌شناختی خبرگان مرحله دوم

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

مأخذ: یافته‌های پژوهش

مرحله سوم شامل به‌کارگیری مدل پیشنهادی با استفاده از توابع هدف سه‌گانه است. تابع هدف اول، مربوط به بعد اقتصادی، عبارت است از حداقل‌سازی مجموع هزینه های کل زنجیره تأمین؛ تابع هدف دوم، مربوط به بعد زیست‌محیطی، عبارت است از حداقل‌سازی مجموع میزان مصرف آب و انرژی کل زنجیره؛ و تابع هدف سوم، مربوط به بعد اجتماعی، عبارت است از حداکثرسازی میزان فرصت‌های شغلی ایجادشده در طول زنجیره تأمین شرکت. شایان یادآوری است که شاخص‌های تشکیل‌دهندهٔ این توابع همان خروجی مرحله دوم بوده و محدودیت‌های مدل نیز دقیقاً مطابق روابط (۹) تا (۳۴) است. برای حل مدل، از روش L-P متریک استفاده شد که در نرم‌افزار GAMS، برنامه‌نویسی و از حل‌کنندهٔ Cplex به‌منظور بهینه‌سازی اهداف به‌صورت تکی برای به‌دست آوردن جواب‌های ایده‌آل و از حل‌کنندهٔ Bonmin نیز به‌منظور بهینه‌سازی 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 هرچه کمتر و میزان Z3 هرچه بیشتر باشد، مطلوب‌تر است. همان‌گونه که از این جدول مشخص است، هیچ‌کدام از این جواب‌ها دیگری را مغلوب نمی‌کند، به‌گونه‌ای که با توجه به مقایسه جواب پارتوی ۳ و ۴، جواب پارتوی ۳ نسبت به ۴ دارای هزینه کمتر است (Z1 کوچک‌تر) و اثرات زیست‌محیطی کمتری نیز دارد (Z2 کوچک‌تر)؛ ولی در مقابل، دارای میزان اشتغال بیشتری نیست (Z3 کوچک‌تر). این مقایسه در مورد هر کدام از دو جواب دلخواه دیگر نیز صدق می‌کند. در نهایت، خبرگان صنعت، با بررسی این مجموعه جواب‌ها و با در نظر گرفتن شرایط اقتضایی صنایع لبنی، جواب بهینه پارتوی ۱ را به‌عنوان جواب نهایی مسئله برگزیدند.

جدول ۶- مجموعه جواب‌های پارتویی

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

مأخذ: یافته‌های پژوهش

لازم به ذکر است که روش حل پیشنهادی برای هر جواب بهینه پارتویی مقدار متغیرهای تصمیم را نیز ارائه می کند. با انتخاب جواب بهینه پارتوی ۱ به‌عنوان جواب نهایی مسئله، تعداد ۶۶ متغیر تصمیم نیز مشخص شد که ببرای 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 تولیدکننده ۱ با روش حمل‌ونقل زمینی، X_{1121}^{MD} ارسال محصول نوع ۲ از تولیدکننده ۱ به توزیع کننده ۱ با روش حمل‌ونقل زمینی، و Y_{411}^{SM} =۱روش حمل‌ونقل زمینی برای ارسال کالا از تأمین کننده ۴ به تولیدکننده ۱ است. همان‌گونه 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 قابل‌قبول بوده است. ماده اولیه ۲ به‌طور مساوی از تأمین کنندگان ۴ و ۵ و ماده اولیه ۳ نیز تقریباً به‌طور مساوی از تأمین کنندگان ۶، ۷ و ۸ خریداری شده است.

میزان ارسال محصول ۱ (شیر بطری پانصد سی‌سی) به توزیع کننده حدود ۶۹ تن در ماه و محصول ۲ (شیر بطری نه‌صد سی‌سی) 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

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

وضعیت موجود	Z_1	Z_2	Z_3
	۷× E ۱۱/۲۸۷۰۳	۱۶۶۲/۱۲۹	۲۰۱۸۵/۶۳۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که در جدول ۷ مشاهده می‌شود 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 به‌دست‌آمده به ازای هر کدام از جواب‌های پارتویی بیشتر است. این موضوع نشان می‌دهد 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 ایجادشده) (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 حمل‌ونقل

میزان کالای ارسالی از توزیع کننده به مشتری	میزان کالای ارسالی از تولید کننده به توزیع کننده	میزان کالای ارسالی از تامین کننده به تولیدکننده
X_{1111}^{DC} = ۹/۵	X_{1111}^{MD} = ۶۸/۸۲۷	X_{3111}^{SM} = ۲۲۲
X_{1121}^{DC} = ۱۵/۲	X_{1121}^{MD} = ۷۸/۴۲۵	X_{4121}^{SM} = ۲۲۲
X_{1211}^{DC} = ۱۱/۴	Y_{111}^{MD} =۱	X_{5121}^{SM} = ۲۲۲
X_{1221}^{DC} = ۱۴/۲۵		X_{6131}^{SM} = ۲۱۴/۹۲۹
X_{1311}^{DC} = ۶/۶۵		X_{7131}^{SM} = ۲۲۲
X_{1321}^{DC} = ۱۹		X_{8131}^{SM} = ۲۲۲
X_{1411}^{DC} = ۱۰/۴۵		Y_{111}^{SM} = ۱
X_{1421}^{DC} = ۱۲/۳۵۰		Y_{211}^{SM} = ۱
X_{1511}^{DC} = ۸/۵۵		Y_{311}^{SM} = ۱
X_{1521}^{DC} = ۱۷/۱۰		Y_{411}^{SM} = ۱
X_{1611}^{DC} = ۲۰/۹۰		Y_{511}^{SM} = ۱
X_{1621}^{DC} = ۷/۶۰		Y_{611}^{SM} = ۱
Y_{111}^{DC} = ۱		Y_{711}^{SM} = ۱
		Y_{811}^{SM} = ۱

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

مقادیر توابع هدف سه‌گانه به ازای این تغییرات اندازه‌گیری شده است. نتایج تحلیل حساسیت تقاضا در جداول ۹ و ۱۰ و نمودار ۱ ارائه شده است.

جدول ۹- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر تقاضا

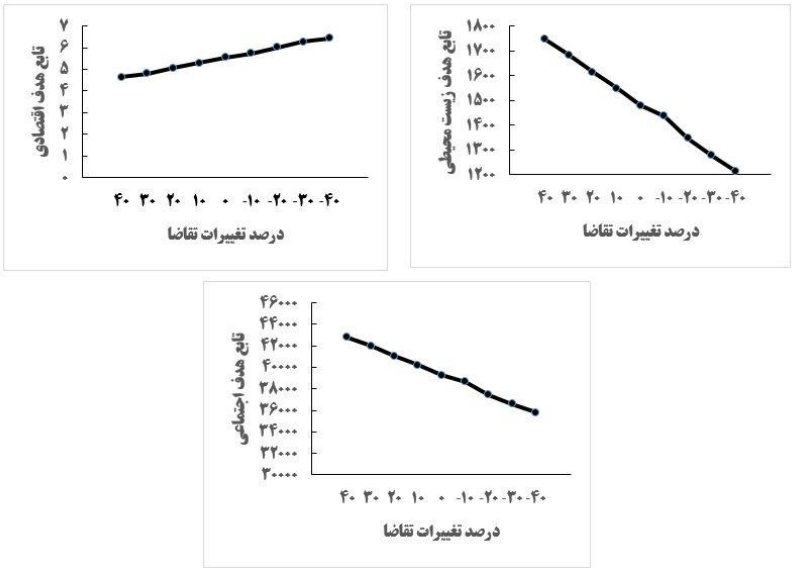
درصد تغییرات تقاضا	-٪۴۰	-٪۳۰	-٪۲۰	-٪۱۰	۰
Z_1	۱۰×E۶/۴۲۴۳۲	۱۰×E۶/۲۷۴۳۶	۱۰*E۶/۰۱۹۴۲	۱۰×E۵/۷۳۴۴۸	۱۰*E۵/۵۳۹۲۵۲
Z_2	۱۲۱۴/۰۷۷	۱۲۷۷/۵۹۷	۱۳۴۷/۰۰۵	۱۴۳۶/۷۰۳	۱۴۸۰/۱۳۳
Z_3	۳۵۷۸۹/۸۵۰	۳۶۵۹۹/۹۹۵	۳۷۴۵/۹۱۹	۳۸۶۳۴/۲۷۳	۳۹۲۸۵/۴۸۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۰- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر تقاضا

درصد تغییرات تقاضا	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰
Z_1	۱۰*E۵/۲۸۴۵۹	۱۰*E۵/۰۵۹۶۲	۱۰*E۴/۸۰۴۶۷	۱۰*E۴/۶۳۲۲۲
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 سه‌گانه 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 کاهش‌یافته است؛ این در حالی است که با افزایش تقاضا، مقدار تابع هدف هزینه کاهش و مقادیر تابع هدف زیست‌محیطی و تابع هدف اجتماعی نیز افزایش یافته است. به دیگر سخن، با افزایش تقاضا نیاز به تسهیلات و وسایل حمل‌ونقل بیشتر شده و در نتیجه، اثرات زیست‌محیطی آنها افزایش یافته است. همچنین، برای پاسخ‌گویی به تقاضای بیشتر، فرصت های شغلی بیشتری در منطقه ایجادشده، که گویای افزایش تابع هدف اجتماعی بوده است. به همین ترتیب، با کاهش تقاضا، با توجه به کاهش نیاز به تسهیلات و وسایل حمل‌ونقل، اثرات زیست‌محیطی آنها کاهش یافته و برای پاسخ‌گویی بدین تقاضای کاهش‌یافته، 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، به‌دلیل 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 به‌همراه 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، فرصت های

شغلی، قابلیت بازیافت، انتشار گازهای آلاینده و هزینه کل. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که صنایع لبنی، برای دستیابی به توسعه پایدار، تمرکز خود را بر شاخص‌های یادشده قرار دهند. لازم به ذکر است که استخراج شاخص‌های مهم در صنایع لبنی تاکنون در مطالعات پیشین صورت نگرفته است. با توجه به مستقل نبودن شاخص‌های هفت‌گانهٔ یادشده در صنعت شیر پگاه اصفهان، با بهره‌گیری از نظرات خبرگان این صنعت، شاخص‌های مؤثر به‌ترتیب درجه اهمیت عبارت‌اند از: مصرف انرژی (با وزن۱/۵۲)، مصرف آب (با وزن ۰/ ۸۵)، هزینه کل (با وزن ۰/۴۵) و فرصت‌های شغلی (با وزن ۰/۰۳). از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که شرکت پگاه اصفهان، برای طراحی زنجیره تأمین خود، با در نظر گرفتن ملاحظات پایداری، تمرکز اصلی خود را بر بهینه‌سازی شاخص‌های یادشده قرار دهد. قابل‌ذکر است که عدم استقلال شاخص‌های پایداری و استفاده از روش دیمتل برای غربال کردن و وزن‌دهی شاخص‌ها برای اولین بار در تحقیق حاضر در نظر گرفته شده، در حالی که معمولاً در پژوهش‌های پیشین، از روش‌هایی نظیر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) با فرض استقلال شاخص‌ها برای وزن‌دهی استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل از مرحله سوم تحقیق حاضر، پیشنهاد می‌شود که شرکت صنایع شیر پگاه اصفهان ماده اولیه ۱ (شیر خام) را از تأمین‌کننده ۳ خریداری کند و فعلاً از تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ مواد اولیه تأمین نکند و برای ارتقای کیفیت مواد اولیه و یا اصلاح قیمت‌ها، با آنها وارد مذاکره شود؛ همچنین، ماده اولیه ۲ (بطری) از تأمین‌کنندگان ۴ و ۵ و ماده اولیه ۳ (برچسب و چاپ) از تأمین کنندگان ۷ و ۸ به‌صورت مساوی تأمین شود. میزان ارسال محصولات ۱و ۲ برای توزیع کننده زنجیره تقریباً مساوی است. میزان بهینه ارسال کالا از توزیع‌کننده 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 شاخص‌های 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 شاخص‌ها 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، تأمین‌کنندگان 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، به‌دلیل 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 به‌کارگیری سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌جای 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. Pishvaee, 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. Pishvaee, 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 Hajiaghaei-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., Haghighi, 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.