

طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چهار سطحی با رویکرد یکپارچه سازی تصمیمات اقتصادی، زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی در قبال کارمندان

جلال رضایی نور^{۱*}، فهیمه یزدیان^۲، محسن عاقلان^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۹۷/۰۷/۲۲ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۹/۲۸	
واژگان کلیدی: طراحی شبکه زنجیره تأمین، حلقه بسته، توسعه پایدار، مسئولیت اجتماعی.	<p>در دنیای امروزی، پایداری زنجیره تأمین موجب ایجاد قدرت رقابتی شرکت و بهبود عملکرد آن می‌گردد. بدین منظور یک زنجیره تأمین با در نظر گرفتن ابعاد مختلف پایداری که شامل حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی می‌شود، موفقیت پایدار خود را تضمین می‌نماید. از طرفی استخدام و حفظ نیروهایی که قابلیت‌های منحصربه‌فردی دارند و با انگیزه هستند، مؤثرترین عامل بهره‌وری در سازمان است. این پژوهش به توسعه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای مکان‌یابی تسهیلات و تعیین جریان محصولات بین رده‌های مختلف و حل مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی در قبال کارمندان پرداخته است. با توجه به اهمیت یکپارچه سازی اهداف در هنگام تصمیم‌گیری، این مدل به ادغام اهداف اقتصادی، زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی شرکت در قبال کارمندان، پرداخته است. جهت ایفای مسئولیت اجتماعی شرکت و افزایش سطح اجتماعی کارمندان از سه معیار اشتغال محلی، ثبات اشتغال و افزایش فرصت شغلی استفاده نموده‌ایم، همچنین تمام جنبه‌های امکان انتشار گاز CO₂ در کل شبکه زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است. در نهایت مدل ارائه شده حل و تجزیه و تحلیل عددی به منظور بررسی کاربردپذیری مدل انجام شده است و رویکرد مدیریتی در قبال این تغییرات پیشنهاد شده است. نتایج نشان می‌دهند تغییر چیدمان تسهیلات، بدون در نظر گرفتن تصمیمات زیست محیطی یا مسئولیت اجتماعی در قبال کارمندان موجب افزایش چشم‌گیری در انتشار گاز CO₂ و کاهش سطح رفاه اجتماعی کارمندان، نسبت به حالت بهینه (در نظر گرفتن تمام ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی) می‌گردد.</p>

۱- مقدمه^۱

عوامل تولید منجر به برداشت بی‌رویه‌ی منابع و افزایش بسیار زیاد تقاضای حامل‌های انرژی شده است [۲]. اگر به پیامدهای زیست محیطی این‌گونه فعالیت‌ها توجه نشود، باید هزینه‌های کلانی برای رفع خسارت و ضایعات ناشی از

امروزه محیط کسب و کار از هر زمان دیگری رقابتی‌تر شده است [۱]. گسترش بازارهای جهانی، جهانی سازی اقتصاد و منابع مالی و اعتباری، روان سازی و تسریع در جابجایی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: J.Rezaee@Qom.Ac.Ir

۱. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

پروژه و سازمان‌ها می‌کند و به‌طور همزمان موجب پایداری و جهان پایدار می‌شود، گفته می‌شود [۹].

با توجه به این امر که تصمیم‌گیری در یک حوزه بر روی سایر حوزه‌ها تأثیرگذار است و بهینه‌سازی تک‌بعدی اهداف موجب عدم بهینگی در سایر اهداف می‌شود، بخش بزرگی از ادبیات موضوع اهداف اجتماعی مشتریان را مورد تأکید قرار داده‌اند و از اتخاذ تصمیمات در جهت ارتقاء رفاه و سطح زندگی کارمندان غافل شده‌اند (رجوع شود به ۲۰، ۳۲، ۳۳). با توجه به این مطالعات به نظر می‌رسد که در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن اهداف توسعه پایدار در قبال کارمندان به‌خوبی تحقیق و بررسی نشده است. در این پژوهش در بخش اجتماعی بر روی رفاه اجتماعی کارمندان تمرکز شده است.

در این تحقیق به توسعه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای حل مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی در قبال کارمندان می‌پردازیم.

شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی در این پژوهش شامل چهار رده‌ی کارخانه‌ها، انبارها، مشتریان و مراکز جداسازی می‌باشد. معیارهای اجتماعی در نظر گرفته شده در قبال کارمندان ((ایجاد شغل محلی، ثبات اشتغال و افزایش فرصت شغلی)) می‌باشد. تصمیمات زیست‌محیطی لحاظ شده موجب کاهش انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂) منتشر شده توسط تولید و پردازش و حمل و نقل محصولات و حمل و نقل کارمندان، می‌گردد.

برخی از سؤالات اصلی که در این پژوهش به آن می‌پردازیم عبارت‌اند از:

- چگونه می‌توان یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته را با در نظرگیری اهداف توسعه پایدار (زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی) در قبال کارمندان طراحی کرد؟
- جهت ارزیابی و ارتقاء رفاه و سطح زندگی کارمندان چه معیارهای اجتماعی در نظر گرفته شده است؟
- تأثیر هر یک از تصمیمات زیست‌محیطی و اجتماعی در هزینه‌های زنجیره تأمین به چه صورت می‌باشد؟
- تأثیر تغییر وزن هر یک از توابع هدف در مقدار

عدم توجه به این موضوع صرف شود. همچنین سازمان‌ها به واسطه رفع مسائل زیست‌محیطی می‌توانند از منافع همچون کاهش هزینه‌ها، بهبود اعتبار و صرفه‌جویی در منابع بهره‌مند شوند [۳]. افزایش هزینه‌های ناشی از آسیب‌های زیست‌محیطی و نگرانی شرکت‌ها در مورد اثرات سوء فعالیت‌های اقتصادی بر روی منابع طبیعی و بالطبع بدتر شدن کیفیت زندگی، سازمان‌ها را سرانجام بر آن خواهد داشت که در راه کارهای رشد و توسعه اقتصادی خود بازنگری داشته و آن‌ها را مجبور به تلاش برای کاربرد راه‌کارهایی در زمینه ارتقای عملکرد سازمانی از جنبه عملکرد اجتماعی و محیطی خواهد نمود [۴]. از سوی دیگر، سازمان‌ها به این درک دست یافته‌اند که کارکنان سازمان و ذینفعان آن عضوی از جامعه هستند، از این رو دستیابی به اهداف اجتماعی سازمان که شامل احترام به کارکنان و ارتقاء رفاه و سطح زندگی آنان است، در موفقیت پایدار سازمان تأثیرگذار خواهد بود [۵]. از طرف دیگر کارمندان همانند سرمایه‌های انسانی می‌باشند که از مهم‌ترین عوامل بهره‌وری در یک سازمان به شمار می‌روند. بهره‌وری بالاترین اهمیت را در سازمان‌ها دارد که نتیجه آن بر عملکرد سازمان‌ها و حتی جامعه اثرگذار است. از طرفی طی دهه‌های گذشته توجه روزافزونی به لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته شده و این امر تا حد زیادی به دلیل درک اهمیت روزافزون محصولات و فناوری ایجاد شده در محل پایان زنجیره‌های تأمین یک‌طرفه عمومی و تأثیر قوانین سبز در اروپاست [۶]. قوانین زیست‌محیطی، حساسیت‌ها در خصوص مصرف منابع طبیعی و آلودگی‌های زیست‌محیطی از محرک‌های این حوزه است [۷]. الزامات قانونی، مسئولیت‌های اجتماعی، نگرانی‌های زیست‌محیطی، منافع اقتصادی و آگاهی‌های مشتریان نه تنها تولیدکنندگان را به تولید محصولات سازگار با محیط زیست، بلکه پس‌گرفتن و جمع‌آوری محصولات بازگشتی وادار کرده است [۸]. امروزه فعالان، رسانه‌ها، مشتری‌ها و سازمان‌های غیردولتی شرکت‌ها را برای توسعه مسئولیت‌پذیری و در نظر گرفتن پایداری در تصمیمات و عملیاتشان ترغیب می‌کنند. برای عملیاتی کردن پایداری سه محور اصلی پایداری تعریف می‌شود که شامل بُعدهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی است. توسعه پایدار به یکپارچه‌سازی فعالیت‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی که ایجاد ارزش برای

آن‌ها به چه میزان می‌باشد؟

- تأثیر افزایش پارامترهای تقاضا، هزینه متغیر تولید محصول، فاصله بین منطقه اقامت کارمندان و محل کار، هزینه حمل‌ونقل بر روی کدام توابع هدف بیشتر است و راه‌کار مدیریتی مناسب برای کدام پارامترها اتخاذ می‌گردد؟

ساختار مقاله حاضر بدین ترتیب است که در بخش ۲، مرور کلی تحقیقات انجام‌شده در ادبیات مرتبط به حوزه موردبررسی، ارائه می‌گردد. در بخش ۳، شرح مسئله و فرضیات مدل توصیف می‌شود و مدل ریاضی ارائه می‌گردد. در بخش ۴، پیاده‌سازی و ارزیابی مسئله بر اساس داده‌ها، موردبحث قرار می‌گیرد. در بخش ۵، تحلیل حساسیت در خصوص کاربردپذیری مدل صورت گرفته است. در بخش ۶، به مقایسه نتایج بدست آمده با مطالعات پیشین می‌پردازیم. سرانجام در بخش ۷ نتایج و دستاوردهای این تحقیق بیان می‌شود.

۲- مرور ادبیات

در صدسال اخیر، محیط‌گرایی به یکی از موضوعات مهم اقتصادی و اجتماعی تبدیل شده است. جهان با مسائل انواع آلودگی‌ها، گرم‌شدن زمین و افزایش گازهای گلخانه‌ای مواجه است. حفظ محیط‌زیست و استراتژی‌های مربوط به آن باید در اولویت‌های اصلی سازمان قرارگیرد [۱۰]. زنجیره‌تأمین نیز به‌عنوان ستون فقرات فعالیت هر سازمان از این امر مستثنا نیست. زنجیره‌تأمین بنا بر تعریف، شبکه‌ای از امکانات و فعالیت‌هایی است که تمامی عملیات تولید نظیر خرید مواد و قطعات و جابجایی آن‌ها، ساخت محصولات، توزیع و خدمات پس از فروش را شامل می‌شود [۱۱]. امروزه فعالیت‌های صنعتی و نیز حمل‌ونقل مربوط به شبکه‌های زنجیره‌تأمین، از مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص CO₂ به‌شمار می‌روند. باید در نظر داشت که تنها هدف تمرکز بر موضوع زنجیره‌تأمین سبز، مسائل محیط‌زیستی نیست. در واقع توجه به جنبه‌های سبز در شبکه‌های زنجیره‌تأمین و مدیریت شبکه با در نظر گرفتن عوامل محیط‌زیستی مثل کاهش اثرهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، برای توسعه رقابت شرکت‌هاست. امروزه شرکت‌ها اگر از مدیریت زنجیره‌تأمین سبز استفاده کنند، علاوه بر حل مشکلات محیط‌زیستی به پیروزی نسبی در مزیت رقابتی نیز دست می‌یابند [۱۲].

امروزه مقالات متعددی در مورد طراحی شبکه زنجیره‌تأمین با محوریت مسائل محیط‌زیستی به چاپ رسیده است. لو و همکارانش [۱۳] از نخستین کسانی بودند که با استفاده از مدل‌سازی ریاضی، به جنبه‌های محیط‌زیستی برای بهینه‌سازی شبکه‌زنجیره‌تأمین در کنار به‌حداقل‌رساندن انتشار گاز CO₂ و مصرف انرژی پرداختند. سپس دوتولی و همکارانش [۱۴] دو مدل بهینه‌سازی تک‌هدفه و چندهدفه، برای مسئله ارائه‌شده در مقاله لو و همکارانش معرفی کردند. نتایج آن‌ها بیانگر این بود که مدل تک‌هدفه می‌تواند راه‌حل بهتری را در مقایسه با مدل چندهدفه با استفاده از روش بهینه‌سازی فازی، برای مسئله لو و همکاران ارائه دهد. کواریگواسیو و همکارانش [۱۵] با ایجاد توازن بین هزینه و اثرهای محیط‌زیستی، مدلی جدید از طراحی شبکه را ارائه کردند.

زباله‌های جامد و CO₂، از جمله اثرهای محیط‌زیستی هستند که محققان در مدل ریاضی معرفی‌شده به کمینه‌سازی آن‌ها اقدام کرده‌اند. رامیودهین و همکارانش [۱۶]، یک مدل ریاضی عدد صحیح دوهدفه را در حوزه طراحی شبکه زنجیره‌تأمین سبز ارائه دادند. آن‌ها در این مقاله بر تأثیرات حمل‌ونقل در طراحی شبکه و ایجاد توازن بین کاهش هزینه‌ها و کاهش گازهای گلخانه‌ای حاصل از حمل‌ونقل شبکه متمرکز شده پرداختند. سپس مدل معرفی‌شده را با استفاده از یک مثال واقعی ارزیابی کردند. مکان یابی و تخصیص تأمین‌کنندگان و پیکربندی حمل‌ونقل از تصمیمات استراتژیک مدل پیشنهادی است. له و لی [۱۷] یک مدل ریاضی چندهدفه را در طراحی شبکه زنجیره‌تأمین سبز برای یک مثال واقعی ارائه دادند. از جمله تصمیمات استراتژیک این مدل می‌توان به مکان‌یابی و چگونگی جریان مواد بین تسهیلات و آنالیز وسایل نقلیه و تعیین مسیرهای حمل‌ونقل اشاره کرد. کاهش هزینه‌های شبکه (هزینه حمل‌ونقل و هزینه مواد خام) و کاهش انتشار گاز CO₂ از اهداف این مقاله است. همچنین برای حل مدل پیشنهادی از روش وزن‌دهی استفاده شده است. بویوزمبارک و همکارانش [۱۸] یک مدل چندهدفه خطی عدد صحیح مختلط را با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی برای تأمین نیازهای مشتریان توسعه دادند. آن‌ها در هدف اول به حداقل‌رساندن هزینه‌های ثابت راه‌اندازی، میزان سرمایه‌گذاری در راستای حفاظت از محیط زیست، هزینه حمل و نقل، هزینه مصرف انرژی،

حلقه بسته بر اساس اهداف اقتصادی، زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی شرکت در قبال جامعه، یک مدل بهینه سازی چندهدفه ارائه دادند. آن‌ها جهت ایفای مسئولیت اجتماعی شرکت در قبال جامعه، درصد کاهش نارضایتی افراد جامعه به سبب ایجاد مکان‌های بالقوه ناهنجار، برآمدند. ما و همکارانش [۲۲] در مقاله خود، یک زنجیره تأمین دو سطحی شامل سازندگان محصولات و خرده فروشان را مورد بررسی قرار می‌دهند. در زمینه اجتماعی، سازنده می‌تواند در فعالیتهای اجتماعی شرکت برای بهبود ادراک مشتری در مورد شرکت و افزایش تقاضا سرمایه‌گذاری کند. در زمینه اقتصادی خرده فروش می‌تواند با تلاش‌های بازاریابی مانند تغییر هزینه، تقاضا را تحت تأثیر قرار دهد.

مدل ارائه شده در پژوهش کمبرو و صولتی [۲۳] به طراحی استراتژیک یک زنجیره تأمین پایدار در جنگل برای تولید انرژی زیستی و سوخت‌های زیستی با در نظر گرفتن اهداف اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی اشاره دارد. در این تحقیق، مزایای اجتماعی بر اساس تأثیرات مختلف شغل‌های جدید ایجاد شده بر جامعه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. وارسه‌ای و پولیاکوسکی [۲۴] یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با در نظر گرفتن سه بعد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند. آن‌ها جهت ایفای مسئولیت اجتماعی شرکت در قبال جامعه، به گونه‌ای برنامه‌ریزی کردند که ایجاد اشتغال از طریق زنجیره تأمین حداکثر گردد. رضانیان و بهبودی [۲۵] به منظور طراحی زنجیره تأمین خون با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح، یک مدل مکان‌یابی-تخصیص چند دوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت در پارامترهای تقاضا و هزینه، پیشنهاد دادند. مدل ارائه شده آن‌ها بر جنبه‌های اقتصادی و ایفای مسئولیت اجتماعی شرکت در قبال جامعه، از طریق تلاش برای افزایش میزان اهداءکنندگان خون، تمرکز دارد.

یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مسئله شبکه زنجیره تأمین توسط دوپکا [۲۶] توسعه یافته است که برای حل این مسئله از سه روش متاهوریستیک ترکیبی استفاده شده است. در زمینه اجتماعی فرصت‌های شغلی ایجاد شده و ایمنی کارگران در نظر گرفته شده است. میرت و همکاران [۲۷] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی (MILP) ارائه دادند. جنبه‌های اجتماعی توسط

هزینه‌های لجستیک، هزینه بازیافت و دفن ایمن را در نظر گرفتند و در هدف دوم انتشار گاز CO2 کل شبکه را به حداقل رساندند. آن‌ها همچنین برخی از اهداف استراتژیک طراحی مانند مکان انبارها و مراکز توزیع و انتخاب بهترین فناوری ساختمان‌سازی را مدنظر قرار دادند. با توجه به این امر که جامعه برای شرکت‌ها، فرصت‌های مختلفی را ایجاد کرده تا به کسب سود بپردازند، در مقابل شرکت‌ها باید متعهد باشند تا نیازها و خواسته‌های جامعه را برآورده کنند که این تعهد، مسئولیت اجتماعی نامیده می‌شود. نکته قابل تأمل این است که مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها تنها مختص وظایف شرکت‌ها در قبال سهامداران خود نیست بلکه وظایف شرکت در قبال مشتریان و حتی کارمندان را شامل می‌شود. پیش‌ترها، مدیران تصور می‌کردند که بهترین طریق انگیزش کارکنان، دو عامل سنتی پاداش‌های مالی و پیشرفت شغلی است، این در حالی است که این‌ها را نمی‌توان تحت شرایط کاری امروز به سهولت تأمین کرد. آنچه امروزه انگیزه کارکنان را در سازمان ترغیب می‌کند اعتبار بخشیدن به کارکنان به معنای احترام به کارکنان به عنوان انسان و انعطاف داشتن برای ارضاء نیازهای کارکنان و افزایش سطح رفاه کارکنان است. با توجه به اهمیت موضوع، پژوهشگران متعددی تصمیمات مسئولیت اجتماعی را هنگام طراحی شبکه زنجیره تأمین مورد توجه قرار داده‌اند. پیشوایی و همکارانش [۱۹] جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین با تمرکز بر روی مسئولیت اجتماعی به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی پرداختند. هدف آن‌ها حداقل سازی مجموع هزینه‌های شبکه و حداکثر کردن سطح مسئولیت اجتماعی زنجیره تأمین بوده است. پیشوایی و همکارانش جهت افزایش سطح مسئولیت اجتماعی از چهار راه کار ایجاد فرصت‌های شغلی، کاهش زباله‌های تولید شده، کمینه سازی روزهای از دست رفته ناشی از آسیب‌های کاری و کاهش تعداد محصولات خطرناک تولید شده، استفاده کردند.

رضانی و بشیری [۲۰] در پژوهش خود یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین، تحت شرایط عدم قطعیت را ارائه دادند. اهداف آن‌ها حداکثر کردن سود حاصل از فروش محصولات و ایفای مسئولیت اجتماعی شرکت از طریق افزایش سطح کیفیت و پاسخگویی به تقاضای مشتریان، بوده است. طیار و همکارانش [۲۱] جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین

و اجتماعی در قبال کارمندان توسعه داده شده است. شبکه زنجیره تأمین در این تحقیق به صورت حلقه بسته در نظر گرفته شده است که محصولات از مصرف کننده نهایی جهت بازیافت و استفاده مجدد از مواد خام جمع آوری می شود. مدل ارائه شده برای رسیدن به بهترین طراحی شبکه زنجیره تأمین، به یک سازمان کمک می کند تا به موارد زیر دست پیدا کند:

- شناسایی و انتخاب تسهیلاتی که باید در شبکه افتتاح شوند.

- شناخت جریان محصولات در میان رده های مختلف

- انتخاب مناسب ترین روش حمل و نقل برای جابه جایی محصولات

- انتخاب بهترین الگوی اشتغال کارکنان (استخدام/ اخراج/ انتقال)

ارائه این اطلاعات مفید به تصمیم گیرنده برای تجزیه و تحلیل بهتر و در نهایت ایجاد تصمیم گیری پایدار جهت ایجاد تعادل بین اهداف مالی، زیست محیطی و اجتماعی کمک می کند. در ادامه این بخش به تشریح مدل، فرضیات مسئله، معرفی نمادهای مسئله و در نهایت، به فرموله کردن توابع هدف و محدودیت ها پرداخته می شود.

همان طور که در شکل (۱) مشاهده می کنید، شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته مورد بررسی، از چهار رده ی کارخانه ها، انبارها، مشتریان و مراکز جداسازی قطعات تشکیل شده است. در جریان روبه جلو، محصولات جدید از کارخانه ها به انبارها حمل می شود. سپس محصولات جدید جهت برآورده کردن تقاضای مشتریان از انبارها توزیع می شود. در جریان معکوس، محصولات بی مصرف از مشتریان جمع آوری می شود و به مراکز جداسازی قطعات حمل می شود. قطعات بی فایده دفع و باقی مانده جهت بازسازی به کارخانه ارسال می شود. زنجیره تأمین مورد بحث تک محصولی در نظر گرفته شده است. جهت اتصال بین تسهیلات رده های مختلف، چند حالت حمل و نقل متفاوت (به عنوان مثال: جاده ای، ریلی، هوایی و غیره) لحاظ شده است. شکل محصولی که بین رده های مختلف جابه جا می شود، یکسان نیست. در این مسئله، سه نوع شکل محصول (محصول جدید، محصول دور انداخته شده یا بی مصرف و محصول جداسازی شده) در سراسر شبکه حلقه بسته وجود دارد.

جزئیات حرکت محصول بر اساس شکل محصول به شرح

میزان شغل ایجاد شده (تعداد کل مشاغل محلی) توسط فعالیت های زنجیره تأمین و جنبه های زیست محیطی به صورت مواد شیمیایی در نظر گرفته شده از کشت و برداشت زیست توده محاسبه شده است.

جهت جلوگیری از ایجاد عدم بهینگی در تصمیمات چندگانه، پژوهشگران به یکپارچه سازی تصمیمات مختلف در حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین، می پردازند. در ادبیات موجود در حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین همان طور که بیان شد، اهداف و تصمیمات گوناگونی ادغام و یکپارچه شده اند، این در حالیست که ترکیب تصمیمات زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی شرکت در قبال مشتری و جامعه لحاظ شده، ولیکن مسئولیت اجتماعی شرکت در قبال کارمندان، مغفول واقع شده است (با توجه به جدول شماره ۱). بنابراین با توجه به مرور ادبیات موضوع و بررسی شرایط واقعی زنجیره تأمین و نیازهای آن به بهبود بیشتر، در این مقاله یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته یکپارچه با در نظرگیری تصمیمات اقتصادی، زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی در قبال کارمندان طراحی شده است. نوآوری های اصلی این مدل عبارتند از:

(۱) توسعه یک مدل ریاضی برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار (اقتصادی، زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی) در قبال کارمندان.

(۲) معیارهای مطرح شده در خصوص مسئولیت اجتماعی شرکتها در قبال کارمندان به صورت جامع.

(۳) از سوی دیگر در حوزه پژوهشی کمی سازی و مدل سازی ریاضی اهداف توسعه پایدار تحقیقات فراوانی صورت گرفته است که در تعداد محدودی، از معیارهای اجتماعی جهت افزایش سطح رفاه کارکنان استفاده شده است.

در انتها تجزیه و تحلیل ارائه شده در خصوص تأثیر هر یک از اهداف بر روی سایر اهداف، یک بینش دقیق در اختیار تصمیم گیرندگان جهت اخذ تصمیم کارآمد قرار می دهد.

۳- شرح مسئله

با توجه به ابعاد گسترده تصمیمات حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین، ترکیب و یکپارچه سازی تصمیم گیری ها نقش مهمی در بهینه بودن تصمیم حاصله دارد. در این پژوهش یک مدل ریاضی، برای بهینه سازی عملکرد شبکه زنجیره تأمین، با ترکیب شاخص های عملکرد مالی، زیست محیطی

فاصله بین محل اقامت کارکنان و سایت مقصد بیش از حد مجاز نباشد، امکان پذیر است.

- استخدام و اخراج و انتقال کارکنان در ابتدای دوره انجام می شود.

- سیاست های استخدام و اخراج انعطاف پذیر و بدون هزینه هستند.

- کارمندان دارای مهارت های انعطاف پذیر هستند، بنابراین آنها در هر یک از کارخانه های شبکه می توانند فعالیت کنند.

- محصولات با توجه به نرخ بازیابی جداسازی و برای تولید مجدد به کارخانه ارسال می شوند.

- کلیه هزینه ها و CO₂ منتشر شده در تمامی دوره ها ثابت در نظر گرفته می شود.

- تعداد افرادی که قبل از اُفق برنامه ریزی مشغول به کار بوده اند، صفر می باشد.

۲-۳- معرفی نمادهای مسئله

پیش از ارائه مدل ریاضی پیشنهادی مسئله، در این قسمت به معرفی و شرح نمادهای استفاده شده برای فرمول بندی مدل حاضر می پردازیم. این نمادها در سه گروه مجموعه ها، متغیرهای تصمیم و پارامترهای مسئله به صورت مجزا نشان داده شده است.

زیر است:

● محصول جدید: در طول مسیر رو به جلو شبکه (کارخانه به انبار و انبار به مشتری) برای پاسخگویی به تقاضای مشتری منتقل می شود.

● محصول بی مصرف: از مشتری جمع آوری می شود و به یک مرکز جداسازی برای فرآیندهای بازیافت (مسیر برگشت) ارسال می گردد.

● محصول جداسازی شده: از مرکز جداسازی به کارخانه، برای یک فرایند تولید مجدد تحویل داده می شود.

۳-۱- فرضیات مسئله

مفروضاتی که در این تحقیق در نظر گرفته می شود عبارتند از:

- تقاضای مشتریان شناخته شده و قطعی است.

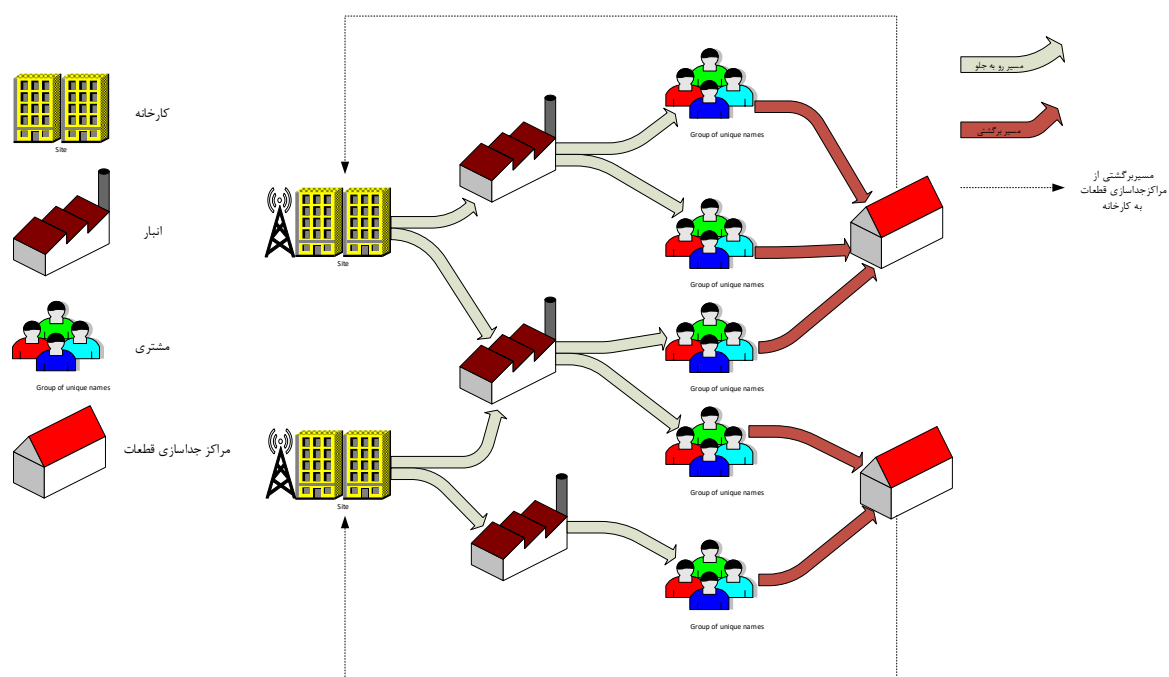
- تقاضای مشتری همواره به وسیله کارخانه ها و از طریق انبارها برآورده می شود.

- تمام محصولات بی مصرفی که وارد مراکز جداسازی می شوند به صورت موفقیت آمیز جداسازی می شود.

- همه گزینه های حمل و نقل دارای ظرفیت نامحدود می باشند.

- فاصله بین تسهیلات قطعی و از قبل مشخص هستند.

- انتقال کارکنان از یک کارخانه به کارخانه دیگر تنها اگر



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی شبکه زنجیره تأمین

جدول ۱- خلاصه مرور ادبیات

مقاله	سال	اهداف		معیارهای پایداری						تعداد محصولات		ابعاد اجتماعی				روش حل	
		تک هدفه	چند هدفه	انتشار گاز CO2	مصرف انرژی	زیاده های جامد	مسئولیت اجتماعی در قبال مشتری	مسئولیت اجتماعی در قبال کارمندان	مسئولیت اجتماعی در قبال جامعه	هزینه	تک محصولی	چند محصولی	اشتغال محلی	ثبات اشتغال	افزایش فرصت شغلی		سایر موارد (سطح کیفیت، سلامتی کارمندان)
[30]	(2011)		✓	✓					✓	✓							Genetic Algorithm(GA)
[31]	(2011)		✓	✓				✓	✓	✓		✓					Cplex
[32]	(2012)		✓				✓		✓	✓				✓	✓		Memetic algorithm
[33]	(2012)		✓				✓		✓	✓							Fuzzy logic
[19]	(2012)		✓	✓					✓		✓						Branch & bound
[34]	(2012)		✓	✓					✓	✓							lingo
[17]	(2013)		✓	✓					✓		✓						Weighting- method
[20]	(2013)		✓				✓		✓		✓					✓	Pareto-optimal
[21]	(2013)		✓	✓				✓	✓		✓					✓	metaheuristic
[35]	(2013)		✓	✓					✓		✓						weighed sums & ϵ -Constraint
[36]	(2014)		✓	✓				✓	✓	✓		✓					ϵ -Constraint
[26]	(2014)		✓	✓			✓		✓	✓				✓	✓		metaheuristic
[27]	(2015)		✓	✓				✓	✓	✓		✓					Goal programming
[8]	(2015)		✓	✓				✓	✓	✓						✓	ϵ -Constraint
[23]	(2016)		✓		✓			✓	✓	✓						✓	Pareto-generating
[24]	(2017)		✓	✓				✓	✓	✓						✓	ϵ -Constraint
[25]	(2017)		✓					✓	✓	✓						✓	Robust- optimization
[37]	(2018)		✓	✓			✓				✓			✓	✓		Swarm intelligence algorithms
[38]	(2019)		✓	✓	✓		✓	✓						✓	✓		Branch & bound
This paper			✓	✓			✓		✓	✓		✓	✓	✓			Cplex

		مجموعه‌ها و اندیس‌ها	
vb_j	هزینه متغیر کنترل یک واحد محصول در انبار j	P	مجموعه کارخانه‌های بالقوه باندیس P
vc_c	هزینه متغیر جمع‌آوری یک واحد محصول از مشتری C	J	مجموعه انبارهای بالقوه باندیس j
vd_i	هزینه متغیر جداسازی قطعات یک واحد محصول در مرکز جداسازی i	C	مجموعه مشتری‌ها باندیس C
ve_p	هزینه متغیر برای تولید مجدد یک واحد محصول در کارخانه p	I	مجموعه مراکز جداسازی بالقوه باندیس i
mca_p	حداکثر ظرفیت تولید کارخانه p	Ta	مجموعه گزینه‌های حمل‌ونقل از کارخانه‌ها باندیس ta
mcb_j	حداکثر ظرفیت انبار j	Tb	مجموعه گزینه‌های حمل‌ونقل از انبارها باندیس tb
mcd_i	حداکثر ظرفیت جداسازی قطعات مرکز جداسازی i	Tc	مجموعه گزینه‌های حمل‌ونقل از مشتریان باندیس tc
mce_p	حداکثر ظرفیت تولید مجدد کارخانه p	Td	مجموعه گزینه‌های حمل‌ونقل از مراکز جداسازی باندیس td
mpa	حداقل درصد تقاضای مشتری که باید جهت جداسازی جمع‌آوری شود.	R	مجموعه مناطق زندگی کارکنان باندیس r
mpb	حداقل درصد محصولات ورودی به هر مرکز جداسازی، که باید به کارخانه ارسال شود.	T	مجموعه دوره‌های آفق برنامه‌ریزی باندیس t
paa_p	مقدار CO2 منتشر شده برای تولید یک واحد محصول در کارخانه p	پارامترها	
pab_j	مقدار CO2 منتشر شده برای کنترل یک واحد محصول در انبار j	d_{ct}	مقدار تقاضای مشتری C در دوره t
pac_i	مقدار CO2 منتشر شده برای جداسازی قطعات یک واحد محصول در مرکز جداسازی i	tca_{pj}^{ta}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول از کارخانه p به انبار j با گزینه حمل‌ونقل ta
$paep$	مقدار CO2 منتشر شده برای بازسازی یک واحد محصول در کارخانه p	tcb_{jc}^{tb}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول از انبار j به مشتری C با گزینه حمل‌ونقل tb
eta^{ta}	مقدار CO2 منتشر شده توسط گزینه حمل‌ونقل ta برای ارسال یک واحد محصول از کارخانه به انبار در یک واحد فاصله	tcc_{ci}^{tc}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول جمع‌آوری شده از مشتری C به مرکز جداسازی i با گزینه حمل‌ونقل tc
etb^{tb}	مقدار CO2 منتشر شده توسط گزینه حمل‌ونقل tb برای ارسال یک واحد محصول از انبار به مشتری در یک واحد فاصله	tcd_{ip}^{td}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول از مرکز جداسازی i به کارخانه p با گزینه حمل‌ونقل td
etc^{tc}	مقدار CO2 منتشر شده توسط گزینه حمل‌ونقل tc برای ارسال یک واحد محصول از مشتری به مرکز جداسازی در یک واحد فاصله	da_{pj}	فاصله بین کارخانه p و انبار j
etd^{td}	مقدار CO2 منتشر شده توسط گزینه حمل‌ونقل td برای ارسال یک واحد محصول از مرکز جداسازی به کارخانه در یک واحد فاصله	db_{jc}	فاصله بین انبار j و مشتری C
rc_{pr}	یک، اگر کارخانه p بتواند از منطقه r کارمند جذب کند، در غیر این صورت، صفر	dc_{ci}	فاصله بین مشتری C و مرکز جداسازی i
		dd_{ip}	فاصله بین مرکز جداسازی i و کارخانه p
		fca_p	هزینه ثابت افتتاح کارخانه p
		fcb_j	هزینه ثابت افتتاح انبار j
		fcc_i	هزینه ثابت افتتاح مرکز جداسازی i
		va_p	هزینه متغیر تولید یک واحد محصول در کارخانه p

هزینه کل در نظر گرفته شده شامل هزینه ثابت کل (TFC) ، هزینه متغیر کل (TVC)، هزینه حمل و نقل کل (TTC) و هزینه نیروی کار (TSC) است، که به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\min f_1 = TC = TFC + TVC + TTC + TSC \quad (1)$$

$$TFC = \left\{ \left[\sum_p fca_p \cdot Xa_p \right] + \left[\sum_j fcb_j \cdot Xb_j \right] + \left[\sum_i fcc_i \cdot Xc_i \right] \right\}$$

$$TVC = \sum_t \left\{ \left[\sum_p va_p \cdot O_{pt} \right] + \left[\sum_j vb_j \cdot \sum_c \sum_{tb} Yb_{jct}^{tb} \right] + \left[\sum_c vc_c \cdot \sum_i \sum_{tc} Yc_{cit}^{tc} \right] + \left[\sum_i vd_i \cdot \sum_c \sum_{tc} Yc_{cit}^{tc} \right] + \left[\sum_p ve_p \cdot \sum_i \sum_{td} Yd_{ipt}^{td} \right] \right\}$$

$$TTC = \sum_t \left\{ \left[\sum_p \sum_j \sum_{ta} tca_{pj}^{ta} \cdot Yd_{pjt}^{ta} \right] + \left[\sum_j \sum_c \sum_{tb} tcb_{jc}^{tb} \cdot Yb_{jct}^{tb} \right] + \left[\sum_c \sum_i \sum_{tc} tcc_{ci}^{tc} \cdot Yc_{cit}^{tc} \right] + \left[\sum_c \sum_i \sum_{tc} tcc_{ci}^{tc} \cdot Yc_{cit}^{tc} \right] + \left[\sum_i \sum_p \sum_{td} tcd_{ip}^{td} \cdot Yd_{ipt}^{td} \right] \right\}$$

$$TSC = cl \cdot \left[\sum_r \sum_p \sum_t lw_{rpt} \right]$$

به حداقل رساندن انتشار کل (TE) CO_2 انتشار کل CO_2 در نظر گرفته شده شامل، CO_2 منتشر شده جهت تولید محصول (EP)، CO_2 منتشر شده در انبارها جهت کنترل محصولات (EH)، CO_2 منتشر شده در مراکز جداسازی جهت جداسازی قطعات (ED)، CO_2 منتشر شده جهت بازسازی محصولات (ER)، CO_2 منتشر شده جهت حمل و نقل محصولات (ET) و CO_2

cl هزینه یک واحد نیروی کار (به عنوان مثال حقوق و دستمزد یک کارمند).

α مقدار CO_2 منتشر شده توسط هر کارمند در هر کیلومتر سفر

NW_r تعداد کارگران موجود در منطقه r

CF_p فرصت شغلی ایجاد شده توسط کارخانه p

drs_{rp} فاصله بین منطقه اقامت r و کارخانه p

k تعداد کارمندان مورد نیاز برای تولید یک واحد محصول

bn یک عدد بزرگ

متغیرهای تصمیم

Xa_p یک، در صورتی که کارخانه p افتتاح گردد، در غیر این صورت، صفر

Xb_j یک، در صورتی که انبار j افتتاح گردد، در غیر این صورت، صفر

Xc_i یک، در صورتی که مرکز جداسازی i افتتاح گردد، در غیر این صورت، صفر

O_{pt} تعداد تولید محصول جدید در کارخانه p در دوره t

Yd_{pjt}^{ta} تعداد محصول ارسالی از کارخانه p به انبار j با گزینه حمل و نقل ta در دوره t

Yb_{jct}^{tb} تعداد محصول ارسالی از انبار j به مشتری c با گزینه حمل و نقل tb در دوره t

Yc_{cit}^{tc} تعداد محصول ارسالی از مشتری c به مرکز جداسازی i با گزینه حمل و نقل tc در دوره t

Yd_{ipt}^{td} تعداد محصول ارسالی از مرکز جداسازی i به کارخانه p با گزینه حمل و نقل td در دوره t

lw_{rpt} تعداد کارکنانی که در منطقه r زندگی می کنند و در دوره t در محل p کار می کنند.

EM_{rpt} تعداد کارکنان ساکن در منطقه r که توسط سایت p در دوره t استخدام شده اند.

EX_{rpt} تعداد کارکنان ساکن در منطقه r که توسط سایت p در دوره t اخراج شده اند.

$ET_{rpp't}$ تعداد کارکنان ساکن در منطقه r که از سایت p به سایت p' در دوره t منتقل شده اند.

۳-۳- تابع هدف و محدودیت ها

همچنین رفاه کارکنان را افزایش می‌دهد (به عنوان مثال با کاهش زمان صرف شده در حمل‌ونقل). بنابراین با به حداقل رساندن تابع هدف زیر سعی در افزایش منافع اجتماعی داریم.

$$\min f_3 = \sum_r \sum_p \sum_t drs_{rp} . lw_{rpt} \quad (3)$$

تابع هدف بالا مقدار کل سفر کارمندان را کمینه می‌کند.

ثبات اشتغال

در دو دهه اخیر، کارمندان بیشتری توسط قراردادهای موقت و غیردائم فعالیت می‌کنند. این تغییرات در بازار کار با کاهش کلی امنیت اشتغال همراه بوده است. به عبارت دیگر، گرایش به انعطاف‌پذیری فزاینده در بازار کار مانند استخدام و اخراج آسان، به طور منفی‌وار امنیت و ثبات اشتغال را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی مطالعات نشان می‌دهد که کارمندان ثبات اشتغال را به عنوان مهم‌ترین جنبه کیفی یک شغل و ابزار اصلی امنیت و درآمد می‌دانند. ثبات اشتغال با تابع هدف (۴) که تعداد کل استخدام و اخراج را محاسبه می‌کند، ارزیابی می‌شود. به حداقل رساندن این تابع کمک می‌کند تا انتقال کارکنان را بین کارخانه‌های تولید به جای تعویض آن‌ها انجام دهد. انتقال کارکنان توسط هر دو طرف (شرکت، کارمند) ترجیح داده می‌شود (کارمندان از کار برکنار نمی‌شوند و شرکت استخدام و اخراج را کاهش می‌دهد). اخراج یا استخدام کارکنان می‌تواند منعکس‌کننده:

(۱) هزینه‌های جایگزینی بالا

(۲) خواستار الزامات آموزشی

(۳) از دست دادن اثرات یادگیری و تجربه باشد.

$$\min f_4 = \sum_r \sum_p \sum_t (EM_{rpt} + EX_{rpt}) \quad (4)$$

افزایش فرصت شغلی

کارخانه‌های تولید، ظرفیت مختلفی برای ایجاد فرصت‌های شغلی دارند. هدف انتخاب کارخانه‌هایی است که بیشترین فرصت شغلی ایجاد شود. حداکثر کردن این تابع زمینه اشتغال بالقوه افراد جامعه را افزایش می‌دهد.

$$\max f_5 = \sum_p CF_p . Xa_p \quad (5)$$

محدودیت‌ها

$$O_{pt} \leq mca_p . Xa_p \quad \forall p, t \quad (6)$$

منتشر شده جهت حمل‌ونقل کارمندان (ES) است، که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\min f_2 = TE = EP + EH + ED + ER + ET + ES \quad (2)$$

$$EP = \sum_p \sum_t (paa_p . O_{pt})$$

$$EH = \sum_j (pab_j . \sum_c \sum_{tb} \sum_t Y b_{jct}^{tb})$$

$$ED = (\sum_i pac_i . \sum_c \sum_{tc} \sum_t Y c_{cit}^{tc})$$

$$ER = \sum_p (pae_p . \sum_i \sum_{td} \sum_t Y d_{ipt}^{td})$$

$$ET = \sum_{ta} eta^{ta} . \left[\sum_p \sum_j \sum_t (Y a_{pjt}^{ta} . da_{pj}) \right] +$$

$$\sum_{tb} etb^{tb} . \left[\sum_j \sum_c \sum_t (Y b_{jct}^{tb} . db_{jc}) \right]$$

$$+ \sum_{tc} etc^{tc} . \left[\sum_c \sum_i \sum_t (Y c_{cit}^{tc} . dc_{ci}) \right] +$$

$$\sum_{td} etd^{td} . \left[\sum_i \sum_p \sum_t (Y d_{ipt}^{td} . dd_{ip}) \right]$$

$$ES = \alpha . \left[\sum_r \sum_p \sum_t drs_{rp} . lw_{rpt} \right]$$

حداکثر کردن منافع اجتماعی کارمندان

برقراری روابط صحیح با کارکنان، سازمانی موفق با نیروی انسانی کارآمد را در پی خواهد داشت. هرگاه سازمان به افراد خود، شخصیت آن‌ها احترام و اعتبار بدهد، استعدادها و توانایی‌های آن‌ها پرورش خواهد یافت. اگر کارمند کار و سازمان خود را دوست داشته باشد در آن موفق است و روی دیگران نیز اثر مثبت می‌گذارد. جهت حداکثر کردن منافع اجتماعی کارمندان شرکت، سه زیر معیار ایجاد شغل محلی، ثبات اشتغال و افزایش فرصت شغلی، را مدنظر قرار می‌دهیم.

اشتغال محلی

نزدیکی کارمندان به محل‌های تولید، اشتغال محلی و

$$lw_{\eta(t-1)} = 0 \quad \forall r, p, t = 1 \quad (23)$$

$$Yd_{ipv}^{td}(t-1) = 0 \quad \forall i, p, td, t = 1 \quad (24)$$

$$Yd_{pjt}^{ta}, Yb_{jct}^{tb}, Yc_{cit}^{tc}, Yd_{ipt}^{td}, lw_{\eta t}, \\ EM_{\eta t}, EX_{\eta t}, ET_{\eta p't}, O_{pt} \geq 0 \quad (25)$$

$$Xa_p, Xb_j, Xc_i \in [0, 1] \quad (26)$$

در مدل ریاضی فوق: محدودیت‌های (۶) الی (۹) تضمین می‌کنند، حجم محصولات ورودی و خروجی از تسهیلات مختلف از ظرفیت آن تسهیل بیشتر نباشد. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد خروجی کارخانه‌ها در هر دوره برابر است با مجموع تولید جدید محصولات در آن دوره و محصولاتی که در دوره قبل تولید مجدد شده‌اند. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند، جریان‌های ورودی و خروجی در انبارها برابر است. محدودیت (۱۲) نشان می‌دهد به میزان تقاضای مشتری، به آن مشتری محصول ارسال می‌شود. محدودیت (۱۳) بیان می‌کند تعداد محصولات بازگشتی از هر مشتری از تقاضای آن مشتری کمتر است. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند تعداد محصولات برگشتی از هر مشتری، از حداقل درصد تقاضای مشتری که باید جهت جداسازی جمع‌آوری شود، بیشتر باشد. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند تعداد محصولات ارسالی از هر مرکز جداسازی، از حداقل درصد محصولات ورودی به آن مرکز جداسازی، که باید به کارخانه ارسال شود، بیشتر باشد. محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند محصولات ارسالی از هر مرکز جداسازی از میزان محصول ورودی به آن مرکز کمتر باشد. محدودیت (۱۷) تضمین می‌کند که تعداد کارکنان شاغل در هر کارخانه باید تمام حجم کاری آن کارخانه را پوشش دهند. محدودیت (۱۸) تضمین می‌کند، هر کارخانه می‌تواند کارکنان خود را فقط از مناطق اختصاص داده شده به آن کارخانه، استخدام کند. محدودیت (۱۹) تعداد کارکنان شاغل در هر کارخانه را مشخص می‌کند (تعداد افراد شاغل در هر کارخانه، در هر دوره برابر است با تعداد افراد شاغل از دوره قبل بعلاوه تعداد افراد استخدام شده در آن دوره بعلاوه تعداد افراد انتقال داده شده به آن کارخانه، منهای تعداد افراد اخراج شده در آن دوره، منهای افراد انتقال داده شده از آن کارخانه). محدودیت (۲۰) تضمین می‌کند. تعداد کل کارکنان اخراج

$$\sum_p \sum_{ta} Yd_{pjt}^{ta} \leq mcb_j \cdot Xb_j \quad \forall j, t \quad (7)$$

$$\sum_c \sum_{tc} Yc_{cit}^{tc} \leq mcd_i \cdot Xc_i \quad \forall i, t \quad (8)$$

$$\sum_i \sum_{td} Yd_{ipt}^{td} \leq mce_p \cdot Xa_p \quad \forall p, t \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_{td} Yd_{ip}^{td}(t-1) + O_{pt} \\ = \sum_j \sum_{ta} Yd_{pjt}^{ta} \quad \forall p, t \quad (10)$$

$$\sum_p \sum_{ta} Yd_{pjt}^{ta} = \sum_c \sum_{tb} Yb_{jct}^{tb} \quad \forall j, t \quad (11)$$

$$\sum_j \sum_{tb} Yb_{jct}^{tb} = d_{ct} \quad \forall c, t \quad (12)$$

$$\sum_i \sum_{tc} Yc_{cit}^{tc} \leq d_{ct} \quad \forall c, t \quad (13)$$

$$\sum_i \sum_{tc} Yc_{cit}^{tc} \geq mpa d_{ct} \quad \forall c, t \quad (14)$$

$$\sum_p \sum_{td} Yd_{ipt}^{td} \geq mpb \cdot \sum_c \sum_{tc} Yc_{cit}^{tc} \quad \forall i, t \quad (15)$$

$$\sum_p \sum_{td} Yd_{ipt}^{td} \leq \sum_c \sum_{tc} Yc_{cit}^{tc} \quad \forall i, t \quad (16)$$

$$\sum_r lw_{\eta t} = k \cdot (O_{pt} + \sum_i \sum_{td} Yd_{ipt}^{td}) \quad \forall p, t \quad (17)$$

$$lw_{\eta t} \leq bn.rc_{pr} \quad \forall r, p, t \quad (18)$$

$$lw_{\eta t} = lw_{\eta(t-1)} + EM_{\eta t} + \sum_{p' \neq p} ET_{\eta p't} - EX_{\eta t} - \sum_{p' \neq p} ET_{\eta p'p't} \quad \forall r, p, t \quad (19)$$

$$EX_{\eta t} + \sum_{p' \neq p} ET_{\eta p'p't} \leq lw_{\eta(t-1)} \quad \forall r, p, t \quad (20)$$

$$\sum_p lw_{\eta t} \leq NW_r \quad \forall r, t \quad (21)$$

$$\sum_r lw_{\eta t} \leq CF_p \quad \forall p, t \quad (22)$$

$$\text{Min } w_1 \frac{f_1(x) - z_1^U}{z_1^N - z_1^U} + \dots + \quad (30)$$

$$\frac{w_n (f_n(x) - z_n^U)}{z_n^N - z_n^U}$$

s.t.

$$g(x) \leq 0, \quad h(x) = 0 \quad (31)$$

$$x \in R \quad (32)$$

این روش با نرمالسازی توابع هدف آن‌ها را در بازه $[0, 1]$ قرار می‌دهد. در این روش z_i^U بهترین مقدار تابع هدف i ام و z_i^N بدترین مقدار تابع هدف i ام است [۲۸].

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی مدل

در این بخش جهت ارزیابی عملکرد مدل ریاضی و تجزیه و تحلیل آن چند مثال عددی تولید و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اولین مثال را به صورت خاص مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این مثال، جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین، ۲ کارخانه تولید بالقوه، ۳ انبار بالقوه، ۵ منطقه مشتری، ۲ مرکز جداسازی بالقوه و ۲ ناحیه که کارمندان از آن استفاده شوند، در نظر گرفته شده است. دو حالت جاده‌ای و ریلی جهت حمل و نقل محصولات، بین رده‌های مختلف شبکه زنجیره تأمین در دسترس است. داده‌های مورد نیاز (مقدار پارامترهای مثال عددی) جهت پیاده‌سازی مدل، از پژوهش نورجانی و همکاران [۲۹] جمع‌آوری گردید و تعدادی از پارامترها از طریق تناسب با داده‌های در دسترس، به صورت تصادفی با استفاده از توزیع نرمال تولید شدند. اطلاعات کلی این مثال در جدول ۶ آورده شده است.

از طرفی اهمیت توابع هدف از قبل مشخص شده‌اند. اوزان هر یک از توابع هزینه کل، انتشار کل CO₂، اشتغال محلی، ثبات اشتغال و فرصت شغلی به ترتیب با w_1, w_2, w_3, w_4 و w_5 نشان داده می‌شود و به صورت جدول ۲ محاسبه شده است.

در این بخش باید به دو سؤال تحقیقاتی ذیل پاسخ داده شود:

سؤال اول: تصمیم بهینه با در نظر گرفتن تمام اهداف، شامل هزینه کل، انتشار کل CO₂ و شاخص‌های اجتماعی به چه صورت می‌باشد.

سؤال دوم: تصمیمات حوزه زیست‌محیطی و شاخص‌های اجتماعی چه تأثیری بر مقدار هزینه کل دارد.

شده و انتقال داده شده از هر کارخانه، نباید از تعداد کارکنان شاغل در دوره قبل آن کارخانه، بیشتر باشد. محدودیت (۲۱) بیان می‌کند که تعداد کارکنان استخدام شده از یک منطقه مشخص نباید بیش از تعداد کل کارکنان بالقوه موجود در آن منطقه باشد. محدودیت (۲۲) بیان می‌کند که تعداد کارکنان استخدام شده در هر کارخانه نباید بیش از تعداد فرصت شغلی به وجود آمده توسط آن کارخانه باشد. محدودیت (۲۳) بیان می‌کند تعداد افراد شاغل در کارخانه‌ها قبل از شروع افق برنامه‌ریزی، صفر می‌باشد. محدودیت (۲۴) بیان می‌کند تعداد محصولات ارسالی به کارخانه‌ها جهت تولید مجدد، قبل از شروع افق برنامه‌ریزی، صفر است. محدودیت (۲۵) و (۲۶) نوع متغیرها را نشان می‌دهند که بر اساس جنس متغیرهای بیان شده، مدل ما جزء مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است.

نرمالسازی توابع هدف

در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه تعدادی اهداف متناقض وجود دارد و باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که این اهداف به طور هم‌زمان بهینه‌سازی شوند. برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه، روش‌های مختلفی از جمله روش مجموع وزن‌دار، روش مجموع وزن‌دار نرمال شده، روش برنامه‌ریزی آرمانی، روش نیل به آرمان، روش تبدیل به قید و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق از روش مجموع وزن‌دار نرمال شده جهت حل مدل استفاده می‌شود. در ذیل، اجرای این روش به طور خلاصه توضیح داده می‌شود. فرض کنید مدل بهینه‌سازی چندهدفه به صورت مقابل تعریف شده باشد:

$$\text{Min } F(x) = \quad (27)$$

$$\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)\}$$

s.t.

$$g(x) \leq 0, \quad h(x) = 0 \quad (28)$$

$$x \in R \quad (29)$$

در روش مجموع وزن‌دار نرمال شده با اختصاص دادن مقدار وزن نامنفی $1 = (w_1 + w_2 + \dots + w_n)$ به هر تابع هدف، سعی در بهینه کردن مجموع وزن‌دار توابع هدف نرمال شده، داریم. با این روش مسئله چندهدفه به مسئله تک‌هدفه تبدیل می‌شود، و به صورت زیر فرمول‌نویسی می‌شود:

کنیم و دید مدیریتی مفیدی را در اختیار کاربران این مدل قرار دهیم. نتایج حل مدل بدون در نظر گرفتن تصمیمات زیست محیطی در جدول ۴ آورده شده است. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می فرمایید، حذف تصمیمات زیست محیطی موجب کاهش ۱۱ درصدی هزینه کل می شود، این موضوع در حالیست که عدم لحاظ کردن تصمیمات زیست محیطی موجب افزایش ۴۴ درصدی در میزان انتشار کل CO₂ می شود، از سوی دیگر موجب کاهش ۱۶ درصدی در میزان شاخص اجتماعی ثبات اشتغال می شود. از طرف دیگر تأثیری در میزان شاخص های اجتماعی ایجاد شغل محلی و فرصت شغلی ندارد. در ادامه به تأثیر تصمیمات اجتماعی بر روی مقدار هزینه کل می پردازیم. نتایج حل مدل بدون در نظر گرفتن تصمیمات اجتماعی در جدول ۵ بازتاب داده شده است.

جدول ۲- اوزان توابع هدف

تابع هدف	وزن
هزینه کل (w_1)	۰/۳۱۵
انتشار کل CO ₂ (w_2)	۰/۳۹۵
اشتغال محلی (w_3)	۰/۰۹۱
ثبات اشتغال (w_4)	۰/۱۴۲
فرصت شغلی (w_5)	۰/۰۵۷

جدول ۳- نتایج حاصل از حل مسئله با در نظر گرفتن تمام اهداف

تابع هدف	مقدار
هزینه کل (دلار)	۱,۷۸۲,۸۷۹
انتشار کل CO ₂ (کیلوگرم)	۵۰۶,۶۶۶
اشتغال محلی (کیلومتر)	۲۵,۷۰۰
ثبات اشتغال (نفر)	۱۰۲
فرصت شغلی (نفر)	۴۲۰

همان طور که در جدول ۵ مشاهده می فرمایید، حذف تصمیمات اجتماعی موجب کاهش ۱۴ درصدی هزینه کل می شود، در حالی که در نظر نگرفتن تصمیمات اجتماعی، موجب افزایش ۲ درصدی در میزان انتشار کل CO₂، افزایش ۱۳۲ درصدی جابه جایی کارمندان (افزایش اخراج و استخدام) و کاهش ۴۷ درصدی فرصت شغلی می شود. با توجه به اینکه اشتغال محلی به صورت کاهش CO₂ منتشر شده توسط حمل و نقل کارمندان، در تابع هدف کمینه سازی انتشار کل CO₂ نیز وجود دارد، با حذف

برای پاسخ به سؤال اول، ابتدا مدل را با در نظر گرفتن تمام اهداف، حل می کنیم. نتایج حل این مدل در جدول ۳ بازتاب داده شده است. مدل ارائه شده پس از نرمال سازی توابع هدف با روش مجموع وزن دار نرمال شده، در نرم افزار GAMS و حل کننده CPLEX حل شده است. حل مدل پیشنهادی بر روی رایانه Intel Core i ۷، ۳،۱ گیگاهرتز با ۸ گیگابایت حافظه، انجام شده است.

برای پاسخ به سؤال دوم، هر یک از تصمیمات زیست محیطی و شاخص های اجتماعی را به صورت مجزا از مدل پیشنهادی حذف می کنیم و تأثیر آن بر مقدار هزینه را مورد ارزیابی قرار می دهیم. به دست آوردن این نتایج به ما کمک می کند تا مزایای استفاده از تصمیمات زیست محیطی و شاخص های اجتماعی را در مدل ارزیابی

تصمیمات اجتماعی تغییر در این شاخص ایجاد نمی شود.

۵- تجزیه و تحلیل حساسیت

در بخش ابتدائی تحلیل حساسیت تأثیر تغییر وزن توابع هدف در مقدار آنها را بررسی می کنیم. همانطور که در نمودار (۱) مشاهده می کنید، تغییر مقادیر وزن هر یک از ۵ تابع هدف موجود به مقادیر (۱,۰,۸,۰,۶,۰,۴,۰,۲,۰) موجب کاهش هزینه کل، کاهش انتشار گاز CO₂ کل و کاهش ثبات اشتغال می گردد. از سوی دیگر این تغییر وزن تأثیری بر میزان تابع هدف اشتغال محلی نخواهد داشت.

جدول ۴- نتایج حاصل از حل مسئله بدون در نظر گرفتن تصمیمات زیست‌محیطی

تابع هدف	مقدار اولیه	مقدار تابع هدف پس از حذف تصمیمات زیست‌محیطی	تغییرات	درصد تغییرات
هزینه کل (دلار)	۱,۷۸۲,۸۷۹	۱,۵۸۰,۹۴۴	-۲۰۱,۹۳۵	-۱۱٪
انتشار کل CO ₂ (کیلوگرم)	۵۰۶,۶۶۶	۷۳۱,۰۵۱	+۲۲۴,۳۸۵	+۴۴٪
اشتغال محلی (کیلومتر)	۲۵,۷۰۰	۲۵,۷۰۰	۰	۰
ثبات اشتغال (نفر)	۱۰۲	۸۵	-۱۷	-۱۶٪
فرصت شغلی (نفر)	۴۲۰	۴۲۰	۰	۰

جدول ۵- نتایج حاصل از حل مسئله بدون در نظر گرفتن تصمیمات اجتماعی

تابع هدف	مقدار اولیه	مقدار تابع هدف پس از حذف تصمیمات زیست‌محیطی	تغییرات	درصد تغییرات
هزینه کل (دلار)	۱,۷۸۲,۸۷۹	۱,۵۲۲,۷۵۳	-۲۶۰,۱۲۶	-۱۴٪
انتشار کل CO ₂ (کیلوگرم)	۵۰۶,۶۶۶	۵۲۰,۴۲۸	+۱۳,۷۶۲	+۲٪
اشتغال محلی (کیلومتر)	۲۵,۷۰۰	۲۵,۷۰۰	۰	۰
ثبات اشتغال (نفر)	۱۰۲	۲۲۷	+۱۳۵	+۱۳۲٪
فرصت شغلی (نفر)	۴۲۰	۲۲۰	-۲۰۰	-۴۷٪

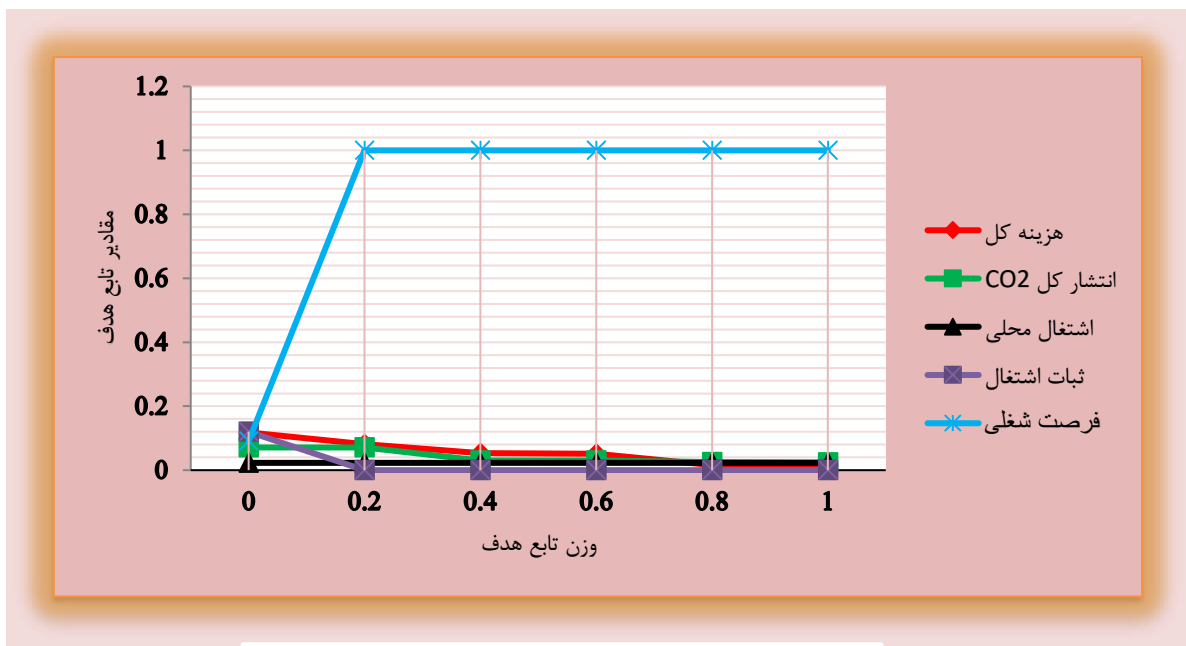
ولیکن موجب افزایش فرصت شغلی توسط سازمان‌ها می‌شود. از آنجائیکه این تغییر وزن بر میزان مقادیر توابع هدف هزینه کل و انتشار کل بیشترین تأثیر را دارد، لازم است که مدیریت تمرکز بیشتری بر روی کنترل این پارامترها داشته باشیم. در تحلیل بعدی ۴ پارامتر تقاضا، هزینه متغیر برای تولید یک واحد محصول در کارخانه‌ها، فاصله بین منطقه اقامت کارمندان و کارخانه‌ها و هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از کارخانه به انبار را به طور درصدی افزایش می‌دهیم تا تأثیرش را بر میزان توابع هدف بررسی کنیم:

تأثیر افزایش تقاضا در میزان توابع هدف را در نمودار (۲) ملاحظه می‌کنیم که با افزایش تقاضا، توابع هدف هزینه کل و اشتغال محلی به صورت چشمگیری افزایش پیدا می‌کنند. پس از آن، افزایش پارامتر تقاضا بیشترین تأثیر را بر میزان تابع هدف انتشار گاز CO₂ کل می‌گذارد و موجب افزایش این تابع هدف می‌شود. ولیکن افزایش تقاضا کمترین تأثیر را در تابع هدف ثبات اشتغال می‌گذارد. بنابراین توابع هدف هزینه کل و اشتغال محلی به شدت مهم هستند و باید

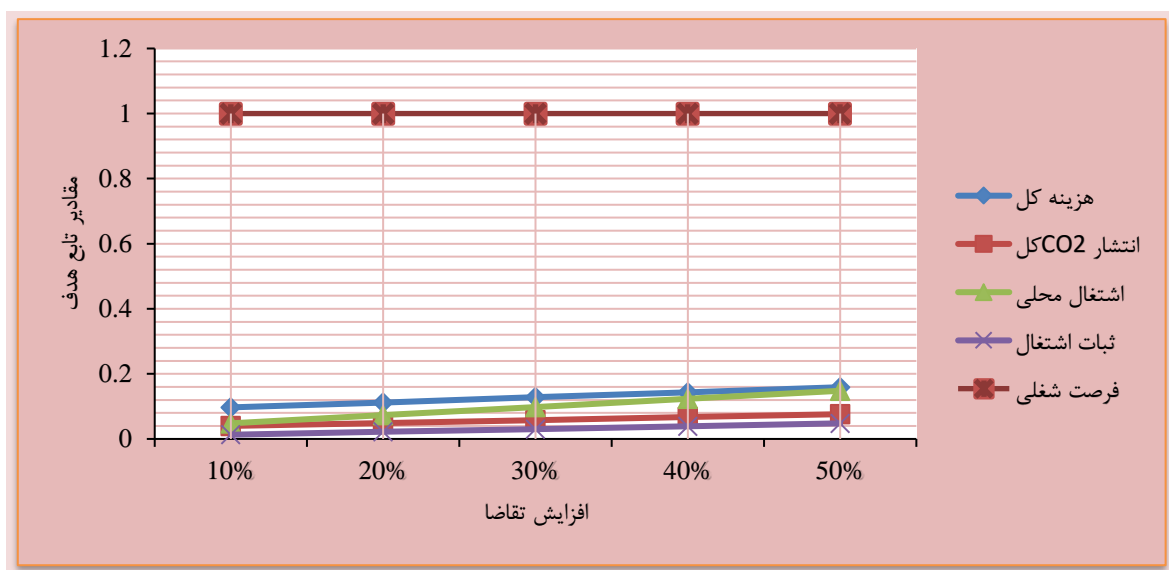
رویکرد مدیریتی مناسبی برای آن اتخاذ گردد. در مرحله بعد (نمودار ۳) تأثیر افزایش هزینه متغیر برای تولید یک واحد محصول در کارخانه‌ها را بر میزان توابع هدف مورد ارزیابی قرار می‌دهیم، هزینه متغیر برای تولید یک واحد محصول در کارخانه‌ها به صورت درصدی (۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪، ۵۰٪) افزایش یافته است که این افزایش موجب تغییرات در میزان توابع هدف هزینه کل شده و آن را افزایش داده است. اما این افزایش هزینه تأثیری در میزان توابع هدف انتشار CO₂ کل، اشتغال محلی، ثبات اشتغال و افزایش فرصت شغلی ندارد. پس باید تابع هدف هزینه کل را مورد توجه قرارداد و تدابیری برای کنترل آن اندیشید. در نمودار (۴) چگونگی تأثیر افزایش فاصله بین منطقه اقامت کارمندان و کارخانه‌ها را بر میزان پنج تابع هدف هزینه کل، انتشار CO₂ کل، اشتغال محلی و ثبات اشتغال و فرصت شغلی بررسی می‌کنیم. افزایش درصدی این پارامتر موجب افزایش تابع هدف اشتغال محلی می‌شود. پس نتیجه می‌گیریم که با افزایش فاصله بین محل‌های تولید از مناطق زندگی کارمندان، رفاه کارمندان به طور چشمگیری

پس همان‌طور که ملاحظه می‌کنید تغییرات میزان اکثر پارامترها موجب تغییرات در تابع هدف هزینه کل می‌شود که این امر نشان‌دهنده‌ی میزان اهمیت این تابع هدف می‌باشد. ارائه این اطلاعات مفید به تصمیم‌گیرنده برای تجزیه و تحلیل بهتر و در نهایت ایجاد تصمیم‌گیری بهینه کمک می‌کند. جدول ۶ نیز نشانگر مقادیر تابع هدف برای آفق برنامه‌ریزی به‌دست‌آمده توسط پیاده‌سازی روش پیشنهادی می‌باشد.

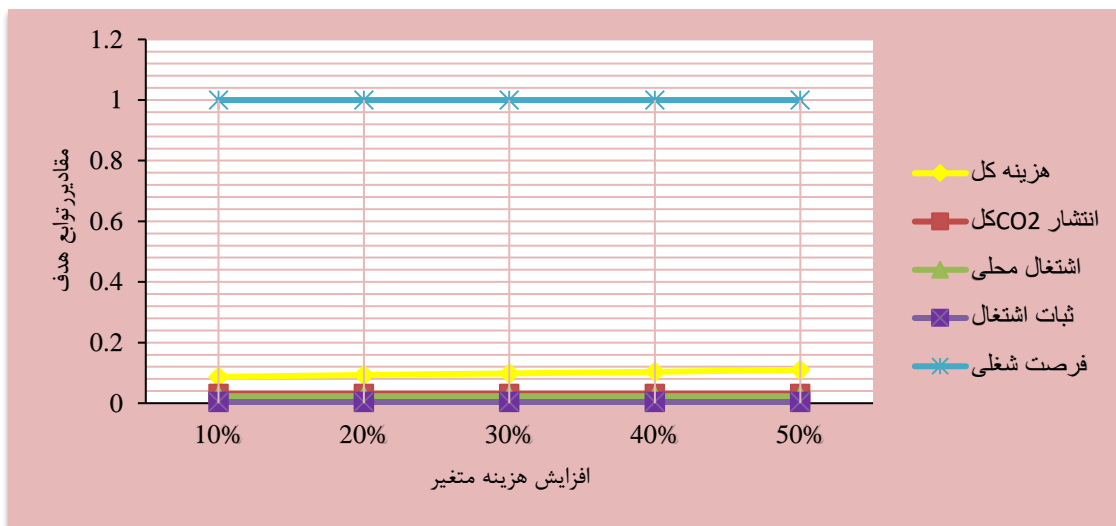
کاهش پیدا می‌کند زیرا موجب افزایش زمان صرف‌شده در حمل و نقل کارمندان می‌گردد. از طرفی این افزایش تأثیری در مقدار سایر توابع هدف ندارد. تأثیر افزایش هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از کارخانه به انبار در میزان توابع هدف را در نمودار (۵) مشاهده می‌کنید که موجب افزایش هزینه کل می‌شود. درحالی‌که این افزایش هزینه تأثیری بر میزان توابع هدف انتشار گاز CO2 کل، اشتغال محلی، ثبات اشتغال و افزایش فرصت‌شغلی ندارد.



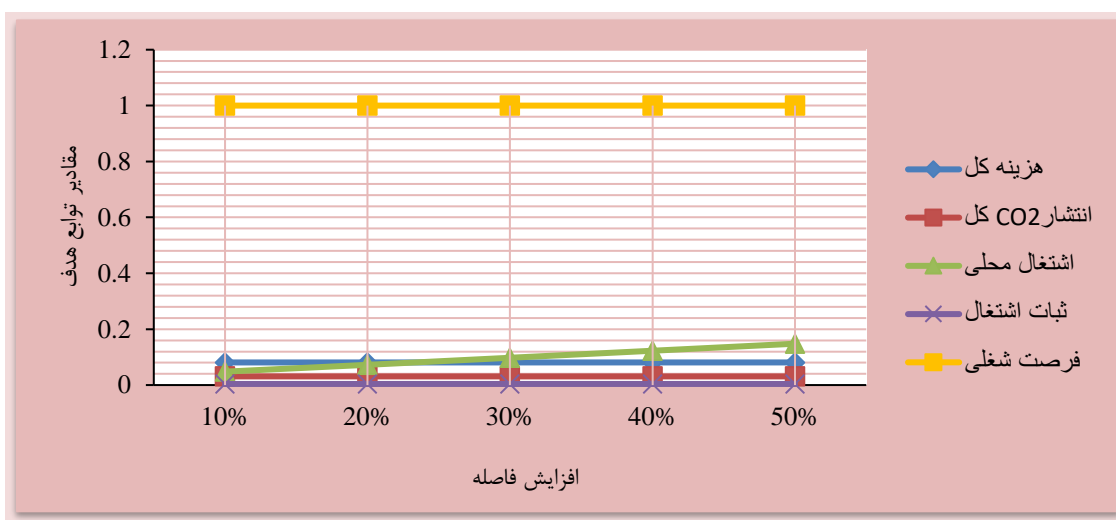
نمودار ۱- تأثیر تغییر وزن توابع هدف در مقدار آنها



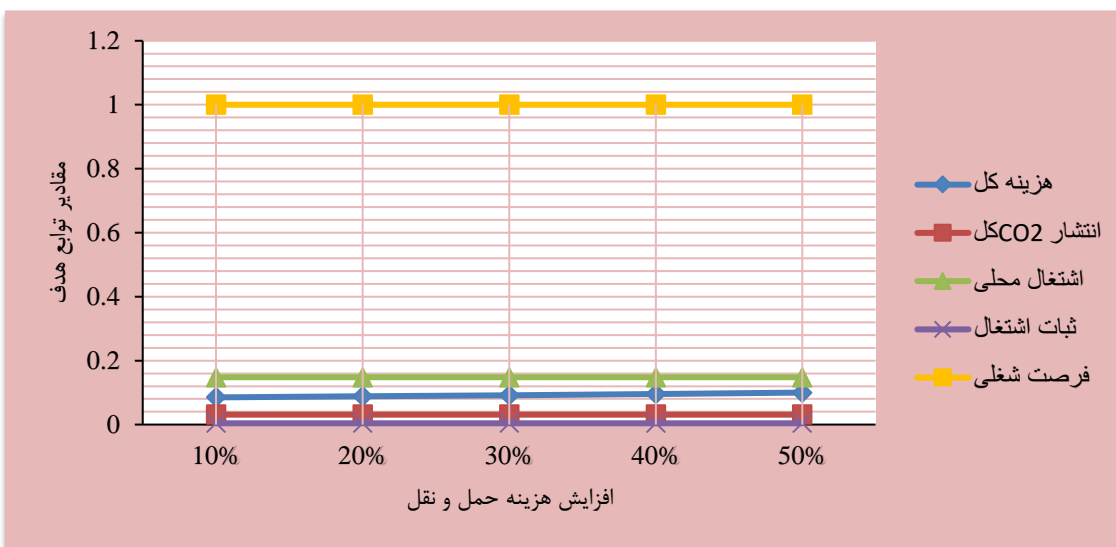
نمودار ۲- تأثیر افزایش تقاضا در میزان توابع هدف



نمودار ۳- تأثیر افزایش هزینه متغیر برای تولید یک واحد محصول در کارخانه در میزان توابع هدف



نمودار ۴- تأثیر افزایش فاصله بین منطقه اقامت کارمندان و کارخانه ها در میزان توابع هدف



نمودار ۵- تأثیر افزایش هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از کارخانه به انبار در میزان توابع هدف

بهره برد. همچنین به منظور اطلاع خواننده، اطلاعات کامل مقادیر پارامتر و جواب متغیرهای مربوط به مسئله با ابعاد متوسط در جداول ۸، ۹ و ۱۰ گزارش شده است.

۶- مقایسه نتایج با مطالعات پیشین

تاکنون در ادبیات موجود مدلی مشابه مدل ارائه شده در این مقاله مشاهده نشده است. نزدیکترین مقاله به این مدل، مقاله نورجانی و همکاران^۱ [۲۹] می باشد که در ادامه به بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌های این مقاله با مقاله حاضر می پردازیم.

برای تجزیه و تحلیل و نشان دادن کارایی الگوریتم پیشنهادی، مسئله توسط روش مجموع وزن دار نرمال شده در ۵ اندازه خیلی کوچک، کوچک، متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ نیز حل و نتایج آن در جدول ۶ گزارش شده است. مسائل با ابعاد بزرگ و مقایسه زمان و نتایج آن با نتایج حل دقیق مسئله، می تواند کار پژوهشی با ارزشی برای آینده باشد. هدف از حل مسئله در ابعاد مختلف نشان دهنده قابلیت آن برای حل مسائل مختلف می باشد. هر چند با افزایش ابعاد مساله زمان حل افزایش پیدا می کند که می توان از الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل آن

جدول ۶- اطلاعات کلی مثال‌های حل شده

شماره مثال	تعداد کارخانه	تعداد انبار	تعداد مشتری	تعداد مراکز جداسازی	زمان حل (برحسب ثانیه)	مقادیر توابع هدف
۱	۲	۳	۵	۲	۰	۸۷۹,۷۸۲,۱
						۶۶۶,۵۰۶
						۷۰۰,۲۵
						۱۰۲
						۴۲۰
۲	۴	۶	۷	۴	۱	۲۷۰,۳۲۲۲
						۶۶۹۸۵۵
						۲۵۶۳۴
						۱۵۱
						۸۵۱
۳	۶	۹	۹	۶	۳	۲۵۶۵۵۹۱۰
						۱۱۱۲۱۸۹
						۳۴۲۷۹
						۲۲۰
						۲۲۰
۴	۸	۱۱	۱۱	۸	۷	۲۶۴۵۱۷۲۰
						۱۵۹۸۸۳۲
						۴۳۶۶۶
						۲۲۰
						۲۲۰
۵	۱۲	۱۵	۱۵	۱۲	۱۲	۴۹۸۴۸۷۲۰
						۲۲۳۱۹۸۴
						۶۷۶۹۸
						۳۸۰
						۴۳۹

^۱ Nurjanni et al

۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳) به ترتیب عبارتند از: تعداد کارکنان شاغل در هر کارخانه که باید تمام حجم کاری آن کارخانه را پوشش دهند. هر کارخانه می‌تواند کارکنان خود را فقط از مناطق اختصاص داده شده به آن کارخانه، استخدام کند. تعداد کارکنان شاغل در هر کارخانه (تعداد افراد شاغل در هر کارخانه، در هر دوره برابر است با تعداد افراد شاغل از دوره قبل بعلاوه تعداد افراد استخدام شده در آن دوره بعلاوه تعداد افراد انتقال داده شده به آن کارخانه، منهای تعداد افراد اخراج شده در آن دوره، منهای افراد انتقال داده شده از آن کارخانه). تعداد کل کارکنان اخراج شده و انتقال داده شده از هر کارخانه، نباید از تعداد کارکنان شاغل در دوره قبل آن کارخانه، بیشتر باشد. تعداد کارکنان استخدام شده از یک منطقه مشخص نباید بیش از تعداد کل کارکنان بالقوه موجود در آن منطقه باشد. تعداد کارکنان استخدام شده در هر کارخانه نباید بیش از تعداد فرصت شغلی به وجود آمده توسط آن کارخانه باشد. تعداد افراد شاغل در کارخانه‌ها قبل از شروع آف‌برنامه‌ریزی، صفر می‌باشد. و در آخر محدودیت (۲۴) بیان می‌کند تعداد محصولات ارسالی به کارخانه‌ها جهت تولید مجدد، قبل از شروع آف‌برنامه‌ریزی، صفر است. همانطور که پیشتر بیان شده با توجه به مفروضات در نظر گرفته شده در این مقاله، مقاله مشابهی در ادبیات که بتوان مقایسه دقیق‌تری انجام داد یافت نشد. باین وجود نزدیکترین مقاله به مقاله حاضر برای تحلیل بیشتر مورد بررسی قرار گرفته و خروجی آن مورد تحلیل قرار گرفت. در این قسمت تنها مقادیر توابع هدف مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در مدل نورجانی دو هدف به حداقل رساندن هزینه کل و انتشار کل CO₂ مدنظر می‌باشد. در حالیکه هدف مدل این مقاله دستیابی به اهداف توسعه پایدار (به حداقل رساندن هزینه کل، انتشار کل CO₂ و حداکثر کردن منافع اجتماعی) در قبال کارمندان می‌باشد. در تابع هدف مربوط به هزینه کل، هزینه نیروی کار کارمندان و به قسمت تابع هدف انتشار کل CO₂، انتشار CO₂ حاصل از حمل و نقل کارمندان اضافه شده است. علاوه بر این دو هدف، سه تابع هدف مربوط به حداکثر کردن منافع اجتماعی کارمندان تحت عنوان افزایش اشتغال محلی، افزایش ثبات اشتغال و افزایش فرصت شغلی توسط کارخانه‌ها بررسی شده است. شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی در مقاله نورجانی سبز می‌باشد در حالیکه شبکه زنجیره تأمین طراحی شده در این مقاله پایدار است. تفاوت محدودیت‌ها نسبت به محدودیت‌های مقاله مشابه، حدوداً ۱۱ محدودیت می‌باشد که از این ۱۱ محدودیت ۷ محدودیت مربوط به کارمندان می‌باشد. محدودیت‌های متمایز از مدل مقاله مشابه عبارتند از: محدودیت (۱۰) خروجی کارخانه‌ها در هر دوره را نشان می‌دهد که برابر است با مجموع تولید جدید محصولات در آن دوره و محصولاتی که در دوره قبل تولید مجدد شده‌اند. در محدودیت (۱۲) به میزان تقاضای مشتری، به آن مشتری محصول ارسال می‌شود، در حالیکه در محدودیت (۱۴) مقاله مشابه، تعداد محصول ارسالی به مشتری بزرگتر مساوی تقاضای آن مشتری می‌باشد. محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند محصولات ارسالی از هر مرکز جداسازی از میزان محصول ورودی به آن مرکز کمتر باشد. محدودیت‌های مربوط به سطح رفاه کارمندان (۱۷)،

جدول ۷- جدول مقایسه نتایج با مقاله پایه

مقایسه نتایج		مدل مقاله حاضر		مدل مقاله پایه	
مثال	ابعاد مساله	مقادیر تابع هدف		مقادیر تابع هدف	
۱	۲ کارخانه	f_1	۱,۷۸۲,۸۷۹	f_1	۹۷۳,۴۶۴
	۳ انبار ۵ مشتری ۲ مرکز جداسازی	f_2	۵۰۶,۶۶۶	f_2	۳۵۶,۱۲۵
۲	۴ کارخانه	f_1	۲,۷۰۳,۲۲۲	f_1	۱,۹۶۰,۲۵۵
	۶ انبار ۷ مشتری ۴ مرکز جداسازی	f_2	۶۶۹,۸۵۵	f_2	۵۸,۹۸۴
۳	۶ کارخانه	f_1	۲۵,۶۵۵,۹۱۰	f_1	۲,۰۹۶,۰۰۴
	۹ انبار ۹ مشتری ۶ مرکز جداسازی	f_2	۱,۱۱۲,۱۸۹	f_2	۸۴۹,۶۳۲

کارکنان نیز مورد توجه پژوهشگر بوده است که این دلیلی دیگر برای بیشتربودن مقدار تابع هدف می باشد. در خصوص تابع هدف دوم که نشان دهنده میزان گاز CO2 منتشرشده می باشد نیز عدد بالای تابع هدف مدل حاضر به دلیل اعمال محدودیت بیشتر در استفاده از وسایل نقلیه توسط کارمندان می باشد.

همانطور که از نتایج مشخص است و قابل پیش بینی هم بود، در اکثر موارد توابع هدف اول مربوط به مدل مقاله حاضر بیشتر از مقاله پایه می باشند. دلیل این موضوع اعمال محدودیت های بیشتر مربوط به مسئولیت اجتماعی در مدل این مقاله می باشد. همچنین در جملات مربوط به تابع هدف اول در این مقاله، حداکثرکردن منافع اجتماعی

جدول ۸- مقدار پارامترهای مسئله شماره ۳

پارامتر	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵	کارخانه ۶
ماکزیم ظرفیت تولید کارخانه	۹۷۲۲	۷۴۷۷	۸۷۶۵	۷۴۹۹	۷۲۹۳	۸۷۴۹
	مرکز جداسازی ۱	مرکز جداسازی ۲	مرکز جداسازی ۳	مرکز جداسازی ۴	مرکز جداسازی ۵	مرکز جداسازی ۶
ماکزیم ظرفیت مراکز جداسازی	۵۰۰۰	۳۰۰۰	۴۸۰۰	۳۶۷۰	۴۴۱۹	۴۵۴۱
	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵	کارخانه ۶
ماکزیم ظرفیت تولید مجدد کارخانه	۴۰۰۰	۳۰۰۰	۳۸۰۰	۲۲۰۰	۲۸۸۸	۲۳۵۵
	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵	کارخانه ۶
فرصت شغلی ایجادشده توسط کارخانه	۲۰۰	۲۲۰	۲۱۱	۲۲۰	۲۱۹	۲۱۴
	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵	کارخانه ۶
نرخ CO2 آزادشده در کارخانه برای تولید یک واحد محصول	۲۸۰۰	۵۰۰۰	۳۰۰۰	۲۳۴۰	۴۷۹۷	۲۴۲۱
	مرکز جداسازی ۱	مرکز جداسازی ۲	مرکز جداسازی ۳	مرکز جداسازی ۴	مرکز جداسازی ۵	مرکز جداسازی ۶
نرخ CO2 آزادشده در مراکز جداسازی	۶۰۰	۸۰۰	۵۰۰	۴۸۰	۵۳۲	۷۸۴
	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳	کارخانه ۴	کارخانه ۵	کارخانه ۶
نرخ CO2 آزادشده در کارخانه برای تولید مجدد	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰	۱۴۵۰	۱۷۵۱	۱۷۲۰

جدول ۹- مقدار پارامترهای مسئله شماره ۳

پارامتر	انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	انبار ۴	انبار ۵	انبار ۶	انبار ۷	انبار ۸	انبار ۹
ماکزیم ظرفیت انبار	۴۰۰۰	۳۰۰۰	۳۲۰۰	۲۰۰۰	۳۵۰۰	۳۵۶۰	۳۳۶۰	۲۸۳۰	۳۵۹۰
نرخ CO2 آزاد شده در انبار	۱۱۰	۱۸۰	۱۲۷	۱۱۵	۱۲۸	۱۷۸	۱۵۳	۱۰۸	۱۸۹
تقاضای مشتری	مشتری ۱	مشتری ۲	مشتری ۳	مشتری ۴	مشتری ۵	مشتری ۶	مشتری ۷	مشتری ۸	مشتری ۹
	۳۸	۵۶۹	۳۵۶	۷۳	۱۰۹	۴۵	۶۲۵	۱۱۳	۱۰۰

جدول ۱۰- مقادیر متغیرهای تصمیم در اندازه متوسط

سایز مسأله	متغیرهای تصمیم	مقادیر متغیرهای تصمیم	
۶ کارخانه ۹ انبار ۹ مشتری ۶ مرکز توزیع	Xa_p	p_2	open
	Xb_j	j_3	open
		j_8	
	Xc_i	i_2	open
	O_{pt}	O_{21}	۲۰۲۸
		O_{22}	۳۷۳۴
	Ya_{pjt}^{ta}	Ya_{231}^1	۳۹۵
		Ya_{232}^1	۱۷۹۴
		Ya_{281}^1	۱۶۳۳
		Ya_{282}^1	۲۳۶۸
	Yb_{jct}^{tb}	Yb_{341}^1	۷۳
		Yb_{342}^1	۲۰۰
		Yb_{351}^1	۱۰۹
		Yb_{352}^1	۲۸۷
		Yb_{381}^1	۱۱۳
		Yb_{382}^1	۸۷۶
Yb_{391}^1		۱۰۰	
Yb_{392}^1		۴۳۱	

	Yb_{jct}^{tb}	Yb_{811}^2	۳۸
		Yb_{812}^2	۷۰
		Yb_{821}^1	۵۶۹
		Yb_{822}^1	۹۰۰
		Yb_{831}^1	۳۵۶
		Yb_{832}^1	۵۱۰
		Yb_{872}^1	۸۲۳
	Yc_{cit}^{tc}	Yc_{121}^1	۷,۶۰۰
		Yc_{122}^1	۱۴,۰۰۰
		Yc_{221}^1	۱۱۳,۸۰۰
		Yc_{222}^1	۱۸۰,۰۰۰
		Yc_{321}^1	۹۳,۵۲۰
		Yc_{322}^1	۱۰۲,۰۰۰
		Yc_{421}^1	۱۴,۶۰۰
	Yd_{ipt}^{td}	Yd_{221}^1	۴۲۷,۹۲۰
		Yd_{222}^1	۶۶۵,۹۲۰
	lw_{rpt}	lw_{121}	۱۲۲,۷۹۶
		lw_{122}	۲۲۰
	EM_{rpt}	EM_{121}	۱۲۲,۷۹۶
		EM_{122}	۹۷,۲۰۴
EX_{rpt}		.	
$ET_{rpp't}$.	

۷- نتیجه‌گیری

به دلیل چالش‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی که در دهه اخیر سازمان‌ها را تهدید نموده، علاوه بر رویکرد مشتری‌گرایی رویکردهای دیگر نیز برای ایجاد مزیت رقابتی

در سازمان‌ها مهم بشمار می‌آیند، زیرا مشتریان همواره بهترین، ارزان‌ترین و سریع‌ترین محصول را می‌خواهند، این نگرش باعث آلودگی محیط زیست و تولید محصولات و فرآیندهایی گردید که با محیط‌زیست هماهنگ نبوده است.

نظر گرفتن تمام ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی) می‌گردد، ولیکن این کاهش هزینه با افزایش چشم‌گیری در انتشار گاز CO₂ و کاهش سطح رفاه اجتماعی کارمندان همراه است. در بخش تجزیه و تحلیل حساسیت ابتدا تأثیر تغییر وزن هر یک از پنج تابع هدف را مورد بررسی قرار داده‌ایم، سپس تأثیر افزایش ۴ پارامتر تقاضا، هزینه متغیر برای تولید یک واحد محصول، فاصله بین منطقه اقامت کارمندان و محل کار و هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از کارخانه را بر میزان توابع هدف ارزیابی کردیم. در پایان، مسئله در ۵ اندازه خیلی کوچک، کوچک، متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ توسط الگوریتم Cplex حل شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ایجاد اهداف پایدار موجب بهبود سود شبکه زنجیره تأمین می‌گردد. ارائه این اطلاعات مفید به تصمیم‌گیرنده برای تجزیه و تحلیل بهتر و در نهایت ایجاد تصمیم‌گیری پایدار جهت ایجاد تعادل بین اهداف مالی، زیست‌محیطی و اجتماعی کمک می‌کند. در نظر گرفتن اثرهای عدم قطعیت پارامترها بر روی مدل به‌وسیله روش‌هایی مانند بهینه‌سازی فازی یا استوار می‌تواند زمینه‌های پژوهشی جذابی برای تحقیقات آتی باشد. همچنین، ارائه یک روش حل ابتکاری، برای حل مسائل با ابعاد بزرگ و مقایسه زمان و نتایج آن با نتایج حل دقیق مسئله، می‌تواند کار پژوهشی باارزشی برای آینده باشد.

در همین راستا زنجیره تأمین بقای خود را در مسئولیت‌پذیری در سه حوزه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی یافته است. بدین منظور زنجیره تأمین‌های موفق با در نظر گرفتن ابعاد مختلف تصمیم‌گیری، موفقیت پایدار خود را تضمین می‌نمایند. در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مکان‌یابی تسهیلات و تعیین جریان محصولات بین رده‌های مختلف یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته بررسی شده است. مدل شامل مجموعه‌ای از مراکز تولید، انبارها، مراکز جداسازی و بازارهای تقاضا است. با توجه به اهمیت یکپارچه‌سازی اهداف در هنگام تصمیم‌گیری، این مدل به ادغام اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و مسئولیت اجتماعی شرکت در قبال کارمندان، پرداخته است. جهت ایفای مسئولیت اجتماعی شرکت و افزایش سطح اجتماعی کارمندان از سه معیار اشتغال محلی، ثبات اشتغال و افزایش فرصت‌شغلی استفاده نموده‌ایم، همچنین تمام جنبه‌های امکان انتشار گاز CO₂ در کل شبکه زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است. روش مجموع وزن‌دار نرمال شده برای نرمال‌سازی توابع هدف و تبدیل مسئله چندهدفه به تک‌هدفه به کار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهند تغییر چیدمان تسهیلات، بدون در نظر گرفتن تصمیمات زیست‌محیطی یا مسئولیت اجتماعی در قبال کارمندان موجب کاهش هزینه‌های شبکه، نسبت به حالت بهینه (در

مراجع

- [1] M. Hussain, M. M. Ajmal, A. Gunasekaran, and M. Khan, "Exploration of social sustainability in healthcare supply chain", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 203, 2018, pp. 977-989.
- [2] I. Goldin, and K. Reinert, "Globalization for development: trade, finance, aid, migration, and policy", 2nd Edition, World Bank Publications, 2007, pp. 780-890.
- [3] M. L. Tseng, K. J. Wu, A. S. Chiu, M. K. Lim, and K. Tan, "Service innovation in sustainable product service systems: improving performance under linguistic preferences", *International Journal of Production Economics*, Vol. 203, 2018, pp. 414-425.
- [4] J. Huang, "Eco-Efficiency and an overview of green productivity", *Conference on Enhancing Competitiveness Through Green Productivity*, 2001, pp. 25-27.
- [۵] لعلیا الفت، سید علی خاتمی فیروزآبادی، و روح اله خداوردی، "مقتضیات تحقق مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنعت خودروسازی ایران"، فصلنامه علوم مدیریت ایران، دانشگاه علامه طباطبائی، سال ۶، شماره ۱۳۹۰، ۲۱، صفحه ۱۴۰-۱۲۳.
- [۶] حمید. صفاری، احمد ماکویی، میر سامان پیشوایی، و وحید محمودیان، "یک مدل چندهدفه استوار برای طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظرگیری جریان رو به جلو و عقب و مسئولیت‌پذیری اجتماعی"، *مجله مدل‌سازی در مهندسی، دانشگاه سمنان*، سال ۱۴، شماره ۴۷، ۱۳۹۵، صفحه ۱۸۵-۱۷۱.
- [7] N. R. Bagheri, R. Baradarankazemzade, and r. Asadi, "Identifying and ranking of the success factors in

automotive reverse logistics through interpretive structural modeling" (ism), 2013, pp. 21-40.

[8] B. Mota, M. I. Gomes, A. Carvalho, and A. P. Barbosa-Povoa, "Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 105, 2015, pp. 14-27.

[9] L. A. Keeys, and M. Huemann, Project benefits co-creation: Shaping sustainable development benefits", *International Journal of Project Management*, 35(6), 2017, pp. 1196-1212.

[۱۰] علی اکبر حسینی، "برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای مبتنی بر روش تقریب میانگین نمونه و الگوریتم تجزیه بندرز شتاب یافته برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت عدم قطعیت"، *مجله مدل سازی در مهندسی، دانشگاه سمنان، سال ۱۵، شماره ۴۹، ۱۳۹۶، صفحه ۲۱۸-۲۳۴*.

[۱۱] وحید نعمتی ابودر، و محمد علی بهشتی نیا، "ترکیب روشهای فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس فازی برای انتخاب تأمین-کنندگان (مطالعه موردی: شرکت تبلیغاتی)"، *مجله مدل سازی در مهندسی، دانشگاه سمنان، سال ۱۵، شماره ۴۸، ۱۳۹۶، صفحه ۲۱۸-۲۲۹*.

[12] T. Wilkerson, "Best practices in implementing green supply chains", In *North America Supply Chain World, Conference and Exposition*, Vol. 5, April 2005, pp.49-67.

[13] Y. Luo, M. Zhou, and R. J. Caudill, "An integrated e-supply chain model for agile and environmentally conscious manufacturing", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 6, No.4, 2001, pp. 377-386.

[14] M. Dotoli, M. P. Fanti, C. Meloni, and M. Zhou, "Design and optimization of integrated e-supply chain for agile and environmentally conscious manufacturing", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, Vol. 36, No.1, 2006, pp. 62-75.

[15] J. Q. F. Neto, J. M. Bloemhof-Ruwaard, J. A. van Nunen, and E. van Heck, "Designing and evaluating sustainable logistics networks", *International Journal of Production Economics*, Vol. 111, No.2, 2008, pp.195-208

[16] A. Ramudhin, A. Chaabane, M. Kharoune, and M. Paquet, "Carbon market sensitive green supply chain network design", In *Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2008, IEEE International Conference on*, 2008, pp. 1093-1097.

[17] T. P. N. Le, and T. R. Lee, "Model selection with considering the CO2 emission along the global supply chain", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2013, pp.1-20.

[18] Y. Bouzembrak, H. Allaoui, G. Goncalves, and H. Bouchriha, "A multi-objective green supply chain network design", *Logistics (LOGISTIQUA)*, 2011 4th International Conference on, 2011, pp. 357-361.

[19] M. S. Pishvaei, J. Razmi, and S. A. Torabi, "Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach", *Fuzzy sets and systems*, Vol. 206, 2012, pp. 1-20.

[20] M. Ramezani, M. Bashiri, and R. Tavakkoli-Moghaddam, "A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No.1, 2013, pp. 328-344.

[21] S. G. Tayyar, D. Roy, and S. F. Ghaderi, "Economic, environmental and social responsible supply chain design using differential evolution multi objective algorithm", In *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2013 IEEE International Conference on, 2013, pp. 1617-1621.

[22] P. Ma, J. Shang, and H. Wang, "Enhancing corporate social responsibility: Contract design under information asymmetry", *Omega*, Vol. 67, 2017, pp. 19-30.

[23] C. Cambero, and T. Sowlati, "Incorporating social benefits in multi-objective optimization of forest-based bioenergy and biofuel supply chains", *Applied Energy*, Vol. 178, 2016, pp. 721-735.

[24] M. Varsei, and S. Polyakovskiy, "Sustainable supply chain network design: A case of the wine industry in Australia", *Omega*, Vol. 66, 2017, pp. 236-247.

[25] R. Ramezani, and Z. Behboodi, "Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 104, 2017, pp. 69-82.

- [26] K. Devika, A. Jafarian, and V. Nourbakhsh, "Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques", *European Journal of Operational Research*, Vol. 235, No.3, 2014, pp. 594-615.
- [27] C. Miret, P. Chazara, L. Montastruc, S. Negny, and S. Domenech, "Design of bioethanol green supply chain: Comparison between first and second generation biomass concerning economic, environmental and social criteria", *Computers & Chemical Engineering*; Vol.85, No.3, 2016, pp. 16-35.
- [۲۸] مصطفی ستاک، حسین کریمی، و م. مومنی طارمسری، "مساله مسیریابی وسایل نقلیه دو هدفه با در نظر گرفتن آلودگی"، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، شماره ۱۸، ۱۳۹۳، صفحه ۶۲-۴۸.
- [29] K. P. Nurjanni, M. S. Carvalho, and L. Costa, "Green supply chain design: A mathematical modeling approach based on a multi-objective optimization model", *International Journal of Production Economics*, 2017, pp. 183-197.
- [30] F. Wang, X. Lai, and N. Shi, "A multi-objective optimization for green supply chain network design", *Decision Support Systems*; Vol. 51, No.26, 2011, pp. 2-9.
- [31] D. Millet, "Designing a sustainable reverse logistics channel: the 18 generic structures framework", *Journal of Cleaner Production*; Vol.19, No.5, 2011, pp. 88-97.
- [32] M.S. Pishvaei, M. Rabbani, and S.A. Torabi, "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty", *Applied Mathematical Modelling*; Vol.35, No.6, 2011, pp. 37-49.
- [33] V. Özkır, and H. Basligil, "Multi-objective optimization of closed-loop supply chains in uncertain environment", *Journal of Cleaner Production*, 2012, pp.32-67.
- [34] D. Kannan, A. Diabat, M. Alrefaei, K. Govindan, and G. Yong, "A carbon footprint based reverse logistics network design model", *Resources, conservation and recycling*, Vol. 67, No.7, 2012, pp. 5-9.
- [35] S.H. Amin, and G. Zhang, "A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return", *Applied Mathematical Modelling*, Vol.37, No.6, 2013, pp. 4165-4176.
- [36] D. Yue, M. Slivinsky, J. Sumpter, and F. You, "Sustainable design and operation of cellulosic bioelectricity supply chain networks with life cycle economic, environmental, and social optimization", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 53, No.10, 2014, pp. 4008-4029.
- [37] K. Govindan, A. Jafarian, and V. Nourbakhsh, "Designing a sustainable supply chain network integrated with vehicle routing: a comparison of hybrid swarm intelligence metaheuristics", *Computers & Operations Research*, 2018, pp. 4-12.
- [38] A. A. Taleizadeh, F. Haghghi, and S. T. A. Niaki, "Modeling and solving a sustainable closed loop supply chain problem with pricing decisions and discounts on returned products", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 207, 2019, pp. 163-181.