

مدل برنامه‌ریزی امکانی زنجیره‌ی تأمین پایدار محصولات زوال‌پذیر با اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی

زینب سازور (استادیار)

دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

مهران سپهری* (دانشیار)

دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه صنعتی شریف

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۳۹۶
دوری (۳۳-۱) شماره ۱/۲، ص ۸۵-۹۹

کیفیت و قیمت محصولات زوال‌پذیر مانند دارو و غذا در طول زمان کاهش می‌یابد. در این نوشتار مدیریت سفارش و حمل در یک زنجیره‌ی تأمین پایدار با محصولات زوال‌پذیر مدل‌سازی و بهینه می‌شود. بدین منظور یک سیستم مرکزی سفارش و حمل محصول با قابلیت تعویق رضای مشتری در نظر گرفته شده است. گزینه‌های متنوع حمل و نقل با ویژگی‌های مختلف از جمله هزینه، میزان انتشار گازهای گلخانه‌یی و غیره در محل تأمین‌کننده در دسترس است. تابع تقاضا، نرخ تعویق تقاضا و نرخ زوال‌پذیری در زمان حمل و نقل و در زمان انبار، غیرقطعی است. هدف اقتصادی افزایش درآمد، هدف زیست‌محیطی کاهش گازهای گلخانه‌یی ناشی از تولید و حمل و هدف اجتماعی کاهش تغییرات استخدام است. پس از تبدیل معادلات غیرخطی به خطی، جواب بهینه مسئله به دست آمده و در نهایت کاربردپذیری مدل با انجام یک مطالعه موردی از صنعت میوه و سبزیجات بررسی می‌شود.

واژگان کلیدی: محصول زوال‌پذیر، سیاست موجودی، زیست‌محیطی، حمل و نقل، زنجیره‌ی تأمین پایدار.

sazvar@ut.ac.ir
sepehri@sharif.edu

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره‌ی تأمین در قرن حاضر مهم‌ترین و متداول‌ترین استراتژی عملیات در افزایش رقابت‌پذیری بنگاه است. رقابت‌پذیری بنگاه‌ها در دهه‌ی حاضر به رقابت‌پذیری شبکه‌های تأمین تغییر یافته است.^[۱] مدیریت زنجیره‌ی تأمین عبارت است از فرایند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل عملیات مرتبط با زنجیره‌ی تأمین.^[۲] مدیریت زنجیره‌ی تأمین دربرگیرنده‌ی تمام فعالیت‌های تأمین، جابه‌جایی‌ها و ذخیره‌ی مواد اولیه، موجودی در حین کار و محصول نهایی از نقطه‌ی شروع اولیه تا نقطه‌ی پایان مصرف است.^[۳]

ادبیات متنوع بهینه‌سازی مدیریت زنجیره‌ی تأمین با در نظر گرفتن حالت‌های قطعی و احتمالی، ظرفیت محدود، زوال‌پذیری و امکان برگشت محصول یا جبران تقاضا گسترش یافته است. ولی هنوز مدل یکپارچه و جامعی که تمام اهداف و خصوصیات زنجیره‌ی تأمین اصلی و معکوس را در برگیرد، توسعه نیافته است.^[۴]

توجه اخیر مدیریت صنایع و ادبیات به پایداری توسعه و تولید زنجیره‌ی تأمین بوده

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۹، اصلاحیه ۱۳۹۴/۷/۲۲، پذیرش ۱۳۹۴/۷/۲۸.

۲. مرور ادبیات

۱.۲. توسعه‌ی پایدار

جهان با مسائل انواع آلودگی‌ها، گرم شدن زمین و افزایش گازهای گلخانه‌یی مواجه است. حفظ محیط زیست و استراتژی‌های مربوط به آن باید در اولویت‌های اصلی سازمانی قرار گیرد. در مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز، سازمان تأثیرات منفی زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد تا به استفاده‌ی مطلوب از منابع و انرژی دست یابد.^[۸] در زنجیره‌ی تأمین سبز، هدف یکپارچه‌سازی زنجیره‌ی تأمین با الزامات زیست‌محیطی در تمام مراحل طراحی محصول، انتخاب و تأمین مواد اولیه، تولید و ساخت، توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و پس از مصرف، بازیافت و مصرف مجدد با بیشینه کردن میزان بهره‌وری انرژی و منابع و بهبود عملکرد کل زنجیره‌ی تأمین است.^[۶] در ادبیات زنجیره‌ی تأمین، مفاهیم زنجیره‌ی تأمین پایدار وسیع‌تر از مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز است و علاوه بر الزامات اقتصادی و زیست‌محیطی در برگیرنده الزامات اجتماعی می‌شود.

توسعه‌ی پایدار در سال‌های اخیر تبدیل به یک مسئله‌ی جهانی شده است و از زوایای مختلف نظیر افزایش جمعیت، تخریب زیست‌محیطی، بیکاری و فقر مورد بررسی قرار گرفته است. کمیسون جهانی محیط زیست و توسعه^۱ در گزارش آینده‌ی مشترک ما^۲، توسعه‌ی پایدار را این‌گونه تعریف می‌کند: توسعه‌ی که نیازهای نسل حاضر را بدون به مخاطره انداختن توانایی نسل آینده در تحقق نیازشان پاسخ دهد.^[۹] تحقق اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌عنوان سه رکن یا سه هدف توسعه‌ی پایدار است.^[۱۰] در مدیریت زنجیره‌ی تأمین پایدار، این ۳ هدف باید با عوامل و مدل‌سازی چندهدفه متناسب تعریف و تحلیل شوند.^[۵]

۲.۲. محصولات زوال‌پذیر

زوال‌پذیری پدیده‌ی متداول است که براساس آن در طی زمان حجم یا کیفیت محصول کاهش می‌یابد. مواد غذایی، دارو، گل، گوشت، سبزیجات و لبنیات از محصولاتی هستند که در طول زمان رو به زوال رفته و یا غیر قابل استفاده می‌شوند. اکثر محصولات صنعتی نیز عمر مشخصی دارند و یا قیمت آنها با معرفی محصولات جدید به شدت کاهش می‌یابد. ممکن است زوال‌پذیری به دو صورت به وقوع بپیوندد: ۱. «فناپذیری» که پس از گذشت زمان مشخص محصول غیر قابل استفاده است؛ ۲. «تغییرپذیری» که در طی زمان به‌طور مستمر کیفیت و قیمت محصول کاهش می‌یابد.^[۱۱] مدل‌سازی تأمین و انبار محصولات زوال‌پذیر در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و ادبیات گسترده‌ی در این زمینه موجود است.^[۱۲]

زوال‌پذیری محصول ابتدا توسط ویدین (۱۹۵۳) برای لباس و کالاهای مد در نظر گرفته شد که پس از اتمام فصل فروش یا دوره نگهداری، حراج شوند.^[۱۳] گیرو شوریدر (۱۹۶۳) مدل زوال‌پذیری تصاعدی در انبار را مورد مطالعه قرار دادند.^[۱۱] در ۶۰ سال گذشته مدل‌های متنوع و متعددی عرضه شده که حالات و فرضیات مختلف در رابطه با تابع عمر محصول، نوع تقاضا، مجاز بودن تقاضای از دست رفته یا سفارش داده شده، یک یا چند محصول، یک یا چند انبار، هزینه‌ی متوسط یا تخفیف داده شده و غیره را با برنامه‌ریزی قطعی، احتمالی یا امکانی در نظر گرفتند. چند مقاله‌ی ادواری مرور ادبیات مرتبط موجود است. نامیس (۱۹۸۲) مرور ادبیات اولیه‌ی محصولات با عمر محدود را منتشر کرد.^[۱۴] پراستا کس (۱۹۸۴) نیز مقالات مربوط به تأمین خون را بررسی کرد.^[۱۵] رافت (۱۹۹۱) نمونه‌ی از مدل محصولات با زوال‌پذیری مستمر را بررسی کرد.^[۱۶] اخیراً، باکرو همکاران (۲۰۱۲) بیش از ۲۰۰ مقاله در دهه‌ی گذشته را مرور و بررسی کردند.^[۱۷]

۳.۲. محصولات تره‌بار

محصولات تره‌بار شامل انواع میوه، سبزیجات و گل و گیاه است که از بخش‌های مهم و در حال رشد اقتصاد، واردات و صادرات کشورهای جهان است. محصولات تندگردش و زوال‌پذیر تره‌بار اکثراً فصلی‌اند و قیمتشان بستگی به کیفیت و تازگی محصول دارد. چالش مدیریت محصولات تره‌بار در نگهداری آن‌هاست، چون ارزش محصولات در طی زمان به سرعت کاهش می‌یابد که البته تابع درجه حرارت و رطوبت محل نیز هست. در عمل، محصولات کهنه شده با قیمت کم‌تر ارائه می‌شوند. فروشگاه‌های میوه با کاهش قیمت محصولات با کیفیت کمتر، می‌توانند بر روی رفتار خریداران اثر بگذارند.^[۱۸]

در ادبیات موجود، گستره زنجیره‌ی تأمین این نوع محصولات از زمان برداشت محصول است و معمولاً انتخاب محل کاشت بذر، زمان و روش کاشت و برداشت در مدل در نظر گرفته نمی‌شود. بلاک برن (۲۰۰۴) نشان داد که زنجیره‌ی تأمین در مراحل اولیه باید دارای پاسخگویی بالا باشد و در مراحل بعدی به کارایی بپردازد.^[۱۹] زوننی و زاوانلا (۲۰۱۲) عوامل اقتصادی انرژی در نگهداری و پایداری محصولات غذایی در طی زمان را بررسی کردند.^[۱۸] کای و همکاران (۲۰۱۰) مدلی بهینه برای زنجیره‌ی تأمین با محصولات تره‌بار و با تأکید بر هزینه‌های توزیع‌کننده ارائه دادند.^[۲۰] در این مدل توزیع‌کننده حجمی از محصول را از تولیدکننده خریداری می‌کند و مسئول حمل‌ونقل طولانی آن به بازار است. بلاک برن و سکادر (۲۰۰۹) استراتژی بهینه‌ی تأمین محصولات زوال‌پذیر را با یک مدل ترکیبی ارائه دادند که در آن ارزش از دست رفته محصولات حداقل می‌شود.^[۱۸] اباد (۲۰۰۳)، تساو و شین (۲۰۰۸) و آکی و همکاران (۲۰۱۰) به مدل‌سازی زنجیره‌ی تأمین با لحاظ کردن سیاست تخفیف در قیمت فروش محصول با گذشت زمان پرداختند.^[۲۱-۲۳] شوکلا و چهارخاریا (۲۰۱۳) ادبیات موجود مدیریت زنجیره‌ی تأمین محصولات تره‌بار را مرور کردند.^[۲۴]

چالش‌های اصلی در مدیریت زنجیره‌ی تأمین محصولات زوال‌پذیر و از جمله محصولات تره‌بار، رضایت مشتری و بهینه‌سازی درآمد در شرایط تقاضای نامطمئن بازار، عدم تعادل عرضه و تقاضا، و سیستم‌های تصمیم‌گیری غیریکپارچه است.^[۲۲] آموریم و همکاران (۲۰۱۲) یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و توزیع برای محصولات با نرخ زوال‌پذیری بالا توسعه دادند.^[۲۵] این محققان علاوه بر هدف اقتصادی، هدف نامشهود تازگی محصول را نیز در نظر گرفتند. سازور و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی دوهدفه برای یک زنجیره‌ی تأمین سبز با محصولات زوال‌پذیر ارائه دادند. در این مدل دو هدف کمیته‌سازی هزینه‌های زنجیره و کمیته‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌یی مورد توجه قرار گرفت و با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی، هزینه‌های تولید و حمل‌ونقل و تقاضای پس‌افت نسبی سیاست بهینه موجودی و حمل زنجیره تعیین شد. همچنین تحلیل حساسیت با استفاده از یک مطالعه موردی انجام شد.^[۲۶] اولارسوزا و همکاران (۲۰۱۴) بر سیاست‌های حمل‌ونقل تمرکز کردند و چهارگروه متغیر را که از ۱۷ عامل تشکیل شده بود با حل معادلات ساختاری مطالعه کردند. در این تحقیق این فرضیه که راهکارهای حمل‌ونقل سنتی مستقیماً بر انبار، حمل‌ونقل بین‌المللی و تأمین تأثیرگذار هستند، مورد تأیید قرار گرفت.^[۲۷]

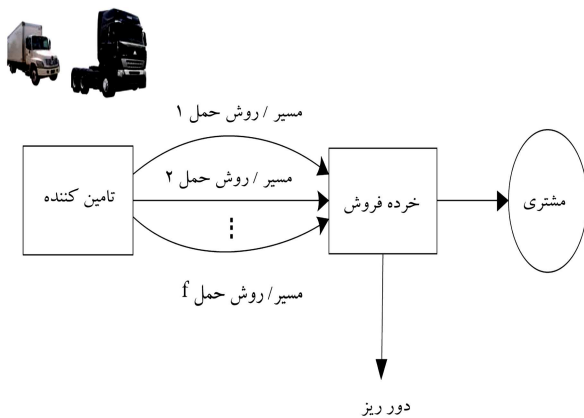
در حال حاضر برای کاهش کربن دو سیستم وجود دارد: مالیات کربن^۳ و تبادل کربن^۴.^[۲۸] این دو سیستم زنجیره‌ی تأمین را مجبور به کاهش کربن می‌کند. همچنین تغییر نیروی انسانی نیز قابلیت تبدیل به هزینه را دارد. با در نظر گرفتن هزینه به ازای هر تن کربن تولیدی و همچنین هزینه‌ی استخدام و اخراج نیروی انسانی مدل قابلیت تبدیل شدن به یک مدل تک‌هدفه را دارد. ذاکری و همکاران^[۲۹] مدل‌سازی

اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی به خصوص برای محصولات زوال پذیر وجود ندارد.^[۴] اکثراً مدل‌های موجود براساس مدل‌های سنتی تحقیق در عملیات صورت می‌گیرد، اگرچه برآورد ضرایب و پارامترهای لازم دشوار است. بنابراین استفاده از مدل‌سازی امکانی راهکاری جدید و مؤثر برای حل این مسئله خواهد بود.^[۳،۳۲]

۳. تعریف مسئله

در این نوشتار یک زنجیره تأمین رو به جلو، دوسطحی و متمرکز مدنظر است. این زنجیره از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش تشکیل شده است که یک کالای زوال پذیر را به مشتریان می‌فروشد (شکل ۱). افق برنامه‌ریزی محدود بوده و از تعدادی دوره زمانی مشخص (مثلاً روز، هفته، ماه و ...) تشکیل شده است. در هر دوره زمانی، یک دسته سفارش توسط تأمین‌کننده تهیه و جهت پاسخگویی به تقاضای مشتریان نهایی به خرده‌فروش ارسال می‌شود. به دلیل زوال پذیر بودن محصول، اگر در انتهای هر دوره مقداری موجودی مازاد بر تقاضا در انبار خرده‌فروش باقی بماند، θ درصد آن تا شروع دوره بعد فاسد خواهد شد. تقاضای مشتریان نهایی (\tilde{D}) و نرخ زوال موجودی در دست ($\tilde{\theta}$) به صورت پارامترهای فازی در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که تقاضا (\tilde{D}) و نرخ زوال ($\tilde{\theta}$) فازی‌اند، امکان وقوع کمبود در هر دوره زمانی وجود دارد که به صورت تقاضای پس‌افت نسبی^۵ در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب در هر دوره زمانی $\tilde{\beta}$ درصد از تقاضاهای پاسخ داده نشده در صورت وجود صبر می‌کنند تا در دوره بعد به آنها پاسخ داده شود و $1 - \tilde{\beta}$ درصد از آنها به صورت فروش از دست رفته از سیستم خارج می‌شود. $\tilde{\beta}$ نیز به صورت یک پارامتر فازی در نظر گرفته می‌شود.

پس از تأمین کالا توسط تأمین‌کننده، کالا باید به خرده‌فروش حمل شود (شکل ۱). بدین منظور در محل تأمین‌کننده وسایل حمل و نقل متنوع با ظرفیت و هزینه‌ی مشخص و نیز میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) معلوم، جهت ارسال کالا به خرده‌فروش وجود دارد. همچنین از آنجا که هر نوع وسیله‌ی حمل ویژگی‌های تکنیکی مخصوص به خود را دارد که بر شرایط نگهداری محصولات در راه تأثیر مستقیم دارد، نرخ زوال محصولات در حال حمل، بسته به نوع وسیله‌ی نقلیه تغییر می‌کند. چنان که در شکل ۱ نشان داده شده، مسیرهای حمل (یا روش‌های حمل) مختلف از تأمین‌کننده به خرده‌فروش وجود دارد. در دنیای واقعی وسایل حمل متنوع و مسیرهای حمل مختلف جهت حمل کالا وجود دارد. علاوه بر نوع وسیله‌ی حمل، مسیر (یا روش) حمل از عوامل تأثیرگذار بر نرخ زوال محصولات در راه است.



شکل ۱. زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه.

عملیاتی زنجیره‌ی تأمین را با ۲ سیستم فوق انجام دادند و نشان دادند که عملکرد سیاست مبادله‌ی گاز کربن از عملکرد سیاست مالیات بهتر است.

۴.۲. عدم قطعیت

بسیاری از مدل‌های کمی در حوزه زنجیره‌های تأمین پایدار تحت شرایط عدم قطعیت در پارامترهایی نظیر تقاضا، ظرفیت انبار، ظرفیت حمل، هزینه‌ها و غیره توسعه یافته‌اند. برای منظور کردن عدم قطعیت در مدل‌های ریاضی چهار رویکرد اصلی وجود دارد: بهینه‌سازی استوار، برنامه‌ریزی فازی، برنامه‌ریزی احتمالی و برنامه‌ریزی پویای احتمالی.^[۳۰] ویژگی‌های هر یک از این رویکردها به تفصیل در مقاله‌ی ساهیندیس^[۳۱] مورد بحث قرار گرفته است.

به طور خلاصه مشکل اصلی استفاده از رویکردهای احتمالی در مدل‌سازی و بهینه‌سازی این است که در اکثر موارد واقعی، اطلاعات تاریخی کافی برای تخمین پارامترهای غیرقطعی وجود ندارد. توزیع احتمالی این پارامترها به ندرت قابل دسترسی است. محدودیت‌های احتمالی پیچیدگی محاسبات مسئله را بالا می‌برند.^[۳۲] رویکردهای محاسباتی نرم متعددی مانند منطق فازی و الگوریتم‌های ژنتیک وجود دارند و در افزایش اثربخشی و کارایی زنجیره‌ی تأمین قابل استفاده‌اند.^[۳۱] برنامه‌ریزی امکانی با استفاده از منطق فازی در مسائل اطلاعات ناکامل استفاده می‌شود.^[۳۲] در رویکرد محاسبات نرم، لین و لیونگ (۲۰۰۲) از مدل خطی فازی در برنامه‌ریزی کلی تولید استفاده کردند.^[۳۳] وانگ و لیونگ (۲۰۰۵) برنامه‌ریزی امکانی خطی را در زنجیره‌ی چند محصول و چند دوره تدوین کردند.^[۳۴] کو و همکاران (۲۰۱۰) مرور ادبیات موجود در محاسبات نرم در زنجیره‌ی تأمین را منتشر کردند.^[۳۵] چن و همکاران (۲۰۱۰) زنجیره‌ی تأمین فازی با عرضه و تقاضای فازی را مدل کردند.^[۳۶] کاردونا و الاز (۲۰۱۱) به بهینه‌سازی چندهدفه با ریسک تحت چند سناریو پرداختند.^[۳۷]

۵.۲. ضرورت تحقیق

خرده‌فروشی اجناس مصرفی خانگی در جهان بیش از ۱۰۰۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۲ بود. اجناس زوال پذیر مصرفی مانند لبنیات، گوشت و میوه بیش از یک سوم این مبلغ بود.^[۳۸] به طور روزافزون، مدیریت زنجیره‌ی تأمین اجناس زوال پذیر با اهمیت‌تر و درعین حال دشوارتر است، چون مصرف‌کنندگان کیفیت، تنوع، سرعت و قیمت بهتر را انتظار دارند. علاوه بر هزینه‌ی تولید و توزیع محصولات خانگی، اجناس زوال پذیر هزینه‌ی زوال را دارند. در دنیای رقابتی، سازمان‌ها باید به مسئولیت اجتماعی از جمله عوامل زیست محیطی و اجتماعی تولید و توزیع توجه کنند. زوال پذیری این محصولات در محاسبات زیست محیطی و فصلی بودن محصولات در معادلات اجتماعی سازمان تولیدکننده نقش دارند.^[۱۷]

عوامل اجتماعی که تاکنون در ادبیات و صنعت کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند نقش رقابتی و راهبردی دارند. سازمان‌ها نمی‌توانند لحظه‌ی بی‌توجهی به دلخواه کارگران را استخدام و اخراج کنند، به آموزش و رفاه آنها بی‌توجه باشند و به اشتغال محلی اهمیت ندهند، گرچه از نظر اقتصادی هزینه‌های بیشتری متحمل شوند. زمانی که تولید و فروش چندملیتی است و تقاضا با عرضه در مناطق مختلف متعادل نباشد، اشتغال محلی مهم خواهد بود. اساس توسعه‌ی پایدار توجه همزمان به عوامل اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی خواهد بود که کشورهای در حال توسعه اهمیت خاص دارد و تنها اخیراً در تحقیقات مورد توجه قرار گرفته است.^[۱۰]

با این که تحقیقات زیادی در زمینه اقتصادی و اخیراً زیست محیطی مدیریت زنجیره‌ی تأمین صورت گرفته، هنوز مدل‌سازی جامع عدم قطعیت با ۳ اهداف

مثال‌هایی از تأثیر نوع وسیله‌ی نقلیه و مسیر حمل بر زوال محصولات در ذیل آمده است:

- وسایل نقلیه‌ی مدرن‌تر و با تجهیزات پیشرفته‌تر، محصولات را بهتر و تازه‌تر نگه می‌دارند. این وسایل به دلیل رعایت استانداردهای زیست‌محیطی در فرایند تولید آنها، عملکرد پاک‌تری داشته و GHG کمتری نسبت به وسایل حمل معمولی ایجاد می‌کنند. اما طبیعتاً جهت استفاده از این نوع وسایل هزینه‌ی بیشتری باید متقبل شد.
- در برخی موارد حمل محصولات از طریق کشتی سریع و ارزان است، اما به دلیل رطوبت بالای مسیر، زوال محصولات در راه به شدت افزایش می‌یابد. در مقابل حمل از طریق راه خاکی باعث زوال کمتر محصولات در راه شده اما گرانتر و کندتر از حمل با کشتی است.
- در مواردی، استفاده از وسایل نقلیه با ظرفیت حمل کمتر نظیر ون سریع‌تر بوده و در نتیجه زوال کمتر محصولات در راه را نتیجه می‌دهد. اما هزینه‌ی حمل به ازای هر واحد محصول بیشتر از حالتی است که از وسایل نقلیه با ظرفیت بالاتر نظیر کامیون استفاده می‌شود.

به این ترتیب، دو منبع زوال برای محصولات وجود دارد: ۱. زوال موجودی در انبار خرده‌فروش؛ ۲. زوال محصولات در راه که متأثر از نوع وسیله‌ی نقلیه و نیز مسیر (روش) حمل است. از آنجا که در بسیاری از موارد در دنیای واقعی، قیمت فروش وابسته به مقدار فروش است (تخفیف)، در مسئله‌ی مورد بررسی در این نوشتار نیز قیمت فروش کالا به مشتری نهایی (p) به صورت غیرخطی و از طریق تابع زیر وابسته به مقدار فروش است:

$$p = \begin{cases} p_1 & SL_0 \leq S_{tn} < SL_1 \\ p_2 & SL_1 \leq S_{tn} < SL_2 \\ \dots & \dots \\ p_k & SL_{k-1} \leq S_{tn} < SL_k \end{cases} \quad (1)$$

که در آن S_t نشانگر مقدار فروش در دوره t است. همچنین $p_1 > p_2 > p_3 > \dots > p_k > 0$ و $SL_0 < SL_1 < SL_2 < \dots < SL_k$ پارامترهای غیرمنفی‌اند. به این ترتیب، با افزایش حجم فروش (که رابطه‌ی مستقیم با مقدار تقاضا دارد) قیمت فروش کاهش می‌یابد.

در این مسئله هدف یافتن بهترین ترکیب دسته سفارش (سیاست سفارش و موجودی) وسیله‌ی نقلیه و مسیر (یا روش) حمل (سیاست حمل) در هر دوره زمانی است به طوری که معیارهای زیر به طور همزمان بهینه شود: ۱. سود زنجیره (هدف اقتصادی)، ۲. انتشار GHG از طریق زنجیره (هدف زیست‌محیطی)، ۳. تغییر در تعداد نیروی انسانی به کار گرفته‌شده از دوره‌ی به دوره‌ی دیگر در طول افق برنامه‌ریزی (هدف اجتماعی).

شایان ذکر است که هدف اجتماعی معمولاً در مورد نیروی انسانی داخل سازمان، شبکه‌ی تأمین یا حتی جامعه تعریف می‌شود. بدین منظور می‌توان شاخص‌هایی نظیر افزایش حجم استخدام نیروی‌های بومی، افزایش سطح آموزش، ارتقای شغلی، کاهش تغییرات در استخدام و تبعیض شغلی و غیره را در نظر گرفت. در این نوشتار صرفاً شاخص کاهش نرخ استخدام و اخراج و به عبارت دیگر حفظ ثبات کاری برای نیروی کاری به کار گرفته‌شده، مورد مطالعه قرار گرفته است. سایر شاخص‌های اجتماعی را می‌توان در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار داد.

۱.۳. فرضیات

علاوه بر توصیفات فوق، فرضیات مورد نظر جهت توسعه‌ی مدل ریاضی در ادامه شرح داده می‌شود.

- پارامترهای فازی مسئله عبارت‌اند از: تقاضای مشتریان در هر دوره \tilde{D}_t ، نرخ تعویق تقاضاها ($\tilde{\beta}$)، نرخ زوال موجودی در انبار ($\tilde{\theta}$) و نرخ زوال محصولات در راه ($\tilde{\eta}_{vf}$). نشانگر درصد زوال محصولی است که با وسیله‌ی نقلیه نوع ν و از مسیر (یا روش) حمل f انتقال داده می‌شود. می‌توان از اعداد فازی مثلثی یا دوزنقه‌ی برای تعریف و نمایش پارامترهای غیرقطعی استفاده کرد.
- محدودیت علامت برای مقدار موجودی (یا مقدار کمبود) اولیه، (B_0) ، وجود ندارد و این پارامتر می‌تواند مقدار مثبت، صفر یا منفی اتخاذ کند.
- نیروی انسانی مورد نیاز در هر دوره شامل دو نوع نیرو است: ۱. متوسط نیروی انسانی مورد نیاز برای حمل محصول از تأمین‌کننده به خرده‌فروش؛ ۲. متوسط نیروی انسانی مورد نیاز برای تأمین و فروش محصول.
- پارامترهای هزینه‌ی مربوط به هر واحد محصول اعم از هزینه‌ی خرید (C)، نگهداری (h)، تقاضای پس‌افت (Υ)، فروش از دست رفته (π)، دفع محصولات فاسد شده (SV)، ثابت و مشخص است.
- محدودیت تعداد وسیله‌ی نقلیه از هر نوع در محل تأمین‌کننده وجود دارد.

۲.۳. نمادگذاری

نمادهای مورد استفاده برای توسعه‌ی مدل ریاضی در پنج گروه اندیس‌ها، پارامترهای عمومی، پارامترهای هزینه‌ی (اقتصادی)، پارامترهای زیست‌محیطی و اجتماعی و متغیرهای تصمیم دسته‌بندی شده و عبارت‌اند از:

اندیس‌ها

t : اندیس دوره زمانی، $t \in \{1, \dots, T\}$ ؛

ν : اندیس نوع وسیله‌ی نقلیه، $\nu \in \{1, \dots, V\}$ ؛

f : اندیس مسیر (روش) حمل از تأمین‌کننده به خرده‌فروش، $f \in \{1, \dots, F\}$.

پارامترهای عمومی

T : طول افق برنامه‌ریزی؛

\tilde{D}_t : تقاضای محصول در دوره زمانی t ؛

$\tilde{\theta}$: نرخ زوال محصول در انبار خرده‌فروش؛

$\tilde{\beta}$: نرخ پس‌افت شدن (تعویق) تقاضاهای برآورده نشده در هر دوره؛

$\tilde{\eta}_{vf}$: نرخ زوال محصول زمانی که با یک وسیله‌ی نقلیه نوع ν و از مسیر/روش f منتقل می‌شود؛

df : فاصله بین تأمین‌کننده و خرده‌فروش از طریق مسیر/روش f ؛

CAP_{ν} : ظرفیت حمل (برحسب واحد محصول) یک وسیله‌ی نقلیه از نوع ν .

پارامترهای هزینه‌ی (اقتصادی)

A : هزینه‌ی ثابت برای هر بار بازسازی موجودی؛

A_t : هزینه‌ی بازسازی دوره زمانی t ؛

C : هزینه‌ی خرید یک واحد محصول؛

p : قیمت فروش یک واحد محصول؛

h : هزینه‌ی نگهداری یک واحد محصول در انبار خرده‌فروش؛

π : هزینه‌ی مربوط به یک واحد فروش از دست رفته؛

Υ : هزینه‌ی یک واحد محصول پس‌افت شده (معوق)؛

$$\text{Min}Z_T = \sum_t \left(\left| HU_t - HU_{(t-1)} \right| + \sum_{t,\nu} HT_{\nu} \cdot \left| \sum_f X_{t\nu f} - \sum_f X_{(t-1)\nu f} \right| \right) \quad (4)$$

s.t.

$$Q_t + (1 - \tilde{\theta}) \cdot I_{(t-1)} - \tilde{D}_t - \tilde{\beta} \cdot B_{(t-1)} = I_t - B_t \quad \forall t \quad (5)$$

$$I_t \cdot B_t = 0 \quad \forall t \quad (6)$$

$$A_t = \begin{cases} A & Q_t > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall t \quad (7)$$

$$\delta_t = \sum_{\nu, f} (1 - \tilde{\eta}_{\nu, f}) \cdot Q_{t\nu f} \quad \forall t \quad (8)$$

$$HU_t - 1 \leq \frac{\sum_{\nu, f} Q_{t\nu f}}{HUM} \leq HU_t \quad \forall t \quad (9)$$

$$Q_{t\nu f} \leq CAP_{\nu} \cdot X_{t\nu f} \quad \forall t, f, \nu \quad (10)$$

$$\sum_f X_{t\nu f} \leq T_{\nu} \quad \forall \nu, t \quad (11)$$

$$X_{t\nu f}, HU_t \geq 0, \text{integer} \quad \forall t, \nu, f \quad (12)$$

$$Q_t, Q_{t\nu f}, I_t, B_t, S_t \geq 0 \quad \forall t, \nu, f \quad (13)$$

معادله ۲ نشان دهنده سود کل زنجیره، درآمد کل منهای هزینه کل است. هزینه کل زنجیره به ترتیب از هزینه سفارش دهی، خرید، نگهداری، فروش از دست رفته، پس‌افت، حمل‌ونقل و هزینه دفع تشکیل شده است. معادله ۳ نشان دهنده هدف زیست‌محیطی است و دلالت بر کمینه‌سازی انتشار GHG کل در زنجیره دارد. این عبارت به ترتیب شامل GHG منتشر شده از حمل‌ونقل و زوال است. چنان که گفته شد، زوال نه تنها برای محصولات در انبار رخ می‌دهد، بلکه موجودی‌های در حال حمل نیز دستخوش زوال می‌شوند.

معادله ۴ مربوط به کمینه‌سازی تغییر در سطح نیروی انسانی مورد نیاز زنجیره از دوره بی به دوره دیگر است. این معادله به ترتیب از دو بخش تشکیل شده است: ۱. تغییر در نیروی انسانی مورد نیاز جهت حمل محصول. این معادله به نوعی دغدغه اجتماعی مدیران زنجیره را نشان می‌دهد. محدودیت ۵ معادله توازن موجودی در انبار خرده‌فروش است. از آنجا که موجودی در دست (موجودی در انبار) با نرخ $\tilde{\theta}$ فاسد می‌شود، در معادله ۵ موجودی ابتدای دوره t به صورت $(1 - \tilde{\theta}) \cdot I_{(t-1)}$ در نظر گرفته شد. $\tilde{\beta}$ درصد از تقاضاهای برآورده نشده (کمبود) در دوره $(t - 1)$ به دوره t منتقل می‌شوند که در معادله ۵ به عنوان بخشی از احتیاجات دوره t منظور شده است.

مطابق محدودیت ۶، سطح موجودی و کمبود در یک دوره همزمان نمی‌تواند مثبت باشد. به عبارت دیگر در یک دوره نمی‌توان موجودی در انبار نگه داشت و از آن برای برآوردن تقاضا استفاده نکرد. از آنجا که هزینه بازپرسازی وقتی به سیستم تحمیل می‌شود که مقدار سفارش مثبت باشد ($Q_t > 0$)، محدودیت ۷ تعریف شده است. به این ترتیب اگر در دوره t بازپرسازی محصول حداقل از طریق یکی از تأمین‌کنندگان صورت پذیرد یعنی $Q_t > 0$ ، هزینه ثابت بازپرسازی معادل A برای سیستم به همراه خواهد داشت. اما در صورت عدم بازپرسازی محصول

SV: هزینه دفع یک واحد محصول فاسد شده؛

TA_{νf}: هزینه حمل مربوط به وسیله حمل نوع ν به ازای طی یک واحد مسافت از مسیر (طی روش) حمل f ؛

Z_۱: هزینه کل زنجیره تأمین؛

پارامترهای زیست‌محیطی و اجتماعی

GHG: GHG منتشر شده توسط یک وسیله حمل نوع ν زمانی که از مسیر/روش f استفاده می‌شود؛

GD: GHG منتشر شده از دفع یک واحد محصول فاسد شده؛

HUM: متوسط تعداد محصولی که هرکارگر در هر دوره تأمین و به فروش می‌رساند؛

HT_ν: تعداد نیروی انسانی مورد نیاز جهت حمل کالا با یک وسیله نقلیه نوع ν ؛

Z_۲: مجموع GHG منتشر شده توسط زنجیره؛

Z_۳: مجموع تغییر دوره به دوره نیروی انسانی در زنجیره؛

متغیرهای تصمیم

I_t: مقدار موجودی در انتهای دوره زمانی t ؛

B_t: مقدار کمبود در انتهای دوره زمانی t ؛

δ_t: مقدار کل سفارش در دوره t ؛

Q_{tνf}: مقدار محصولی که در دوره زمانی t توسط وسیله حمل نوع ν از طریق مسیر/روش f به خرده‌فروش ارسال می‌شود؛

X_{tνf}: تعداد وسیله نقلیه نوع ν به کار گرفته شده که در دوره زمانی t از مسیر f حرکت می‌کند؛

HU_t: تعداد نیروی انسانی مورد نیاز در دوره زمانی t ؛

S_t: فروش کل در دوره زمانی t .

۴. توسعه‌ی مدل ریاضی

مدل برنامه‌ریزی پیشنهادی حل مسئله‌ی تشریح شده بخش قبل در دو مرحله توسعه می‌یابد: در مرحله اول مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی توسعه می‌یابد و در مرحله دوم با استفاده از تکنیک‌های خطی‌سازی تحقیق در عملیات، مدل خطی معادل آنچه در مرحله قبل توسعه داده می‌شود، برنامه‌ریزی خواهد شد.

۱.۴. مدل برنامه‌ریزی غیرخطی

با توجه به فرضیات و نمادهای توصیف شده در بخش قبل، مدل ریاضی پیشنهادی برای حل مسئله عبارت است از:

$$\text{Max}Z_1 = p \cdot S_t - \left(\sum_{t>0} (A_t + C \cdot \sum_{\nu, f} Q_{t\nu f} + h \cdot I_t + (1 - \tilde{\beta}) \cdot \pi \cdot B_t + \tilde{\beta} \cdot \gamma \cdot B_t + \sum_{\nu, f} (TA_{\nu f} \cdot d_f \cdot X_{t\nu f}) \right) \quad (2)$$

$$\text{Min}Z_T = \sum_{t>0} \left(\sum_{\nu, f} (G_{\nu f} \cdot d_f \cdot X_{t\nu f}) + GD \cdot \left(\sum_{\nu, f} \tilde{\eta}_{\nu, f} \cdot Q_{t\nu f} \right) + \tilde{\theta} \cdot I_t \right) \quad (3)$$

به طوری که $Q_t = \tau + \tilde{D}_t + \tilde{\beta}.B_{(t-1)}$ و $\psi = Q_t + (\lambda - \tilde{\theta}).I_{(t-1)}$ فرایند خطی‌سازی تابع تکه‌تکه خطی فوق در سه گام انجام می‌پذیرد.
گام اول: در این گام فروش کل با تعریف متغیرهای صفر و ۱ Y_t و متغیرهای غیرمنفی Q'_t و Q''_t به عبارت زیر تبدیل می‌شود:

$$S_t = Q'_t + (\lambda - \tilde{\theta}).I_{(t-1)}.Y_t + (\tilde{D}_t + \tilde{\beta}.B_{(t-1)}).(1 - Y_t) \quad \forall t \quad (19)$$

به این ترتیب محدودیت‌های زیر باید به مدل ریاضی اضافه شود:

$$Q'_t \leq (\tilde{D}_t + \tilde{\beta}.B_{(t-1)} - (\lambda - \tilde{\theta}).I_{(t-1)}).Y_t \quad \forall t \quad (20)$$

$$(\tilde{D}_t + \tilde{\beta}.B_{(t-1)} - (\lambda - \tilde{\theta}).I_{(t-1)}).(1 - Y_t) \leq Q''_t \leq M.(1 - Y_t) \quad \forall t \quad (21)$$

$$Q'_t + Q''_t = Q_t \quad \forall t \quad (22)$$

گام دوم: به منظور تبدیل عبارت‌های ضربی $I_{(t-1)}.Y_t$ و $B_{(t-1)}.Y_t$ در (معادلات ۱۹ تا ۲۱) به عبارات خطی، دو متغیر غیرمنفی f_t و w_t به ترتیب به صورت $f_t = I_{(t-1)}.Y_t$ و $w_t = B_{(t-1)}.Y_t$ تعریف می‌شود. بنابراین معادلات ۱۹ تا ۲۱ با معادلات ۲۳ تا ۲۵ جایگزین می‌شوند:

$$S_t = Q'_t + (\lambda - \tilde{\theta}).f_t + \tilde{D}_t.(1 - Y_t) + \tilde{\beta}.B_{(t-1)} - \tilde{\beta}.w_t \quad \forall t \quad (23)$$

$$Q'_t \leq \tilde{D}_t.Y_t + \tilde{\beta}.w_t - (\lambda - \tilde{\theta}).f_t \quad \forall t \quad (24)$$

$$(\lambda - Y_t).\tilde{D}_t + \tilde{\beta}.B_{(t-1)} - \tilde{\beta}.w_t - (\lambda - \tilde{\theta}).I_{(t-1)} + (\lambda - \tilde{\theta}).f_t \leq Q''_t \leq M.(1 - Y_t) \quad \forall t \quad (25)$$

عبارت غیرخطی $f_t = I_{(t-1)}.Y_t$ را نیز می‌توان با دو محدودیت خطی زیر جایگزین کرد:

$$-Y_t.M \leq f_t \leq Y_t.M \quad \forall t \quad (26)$$

$$I_{(t-1)} - (\lambda - Y_t).M \leq f_t \leq I_{(t-1)} + (\lambda - Y_t).M \quad \forall t \quad (27)$$

عبارت $w_t = B_{(t-1)}.Y_t$ نیز به طور مشابه با استفاده از دو عبارت خطی زیر قابل جایگزینی است:

$$-Y_t.M \leq w_t \leq Y_t.M \quad \forall n \quad (28)$$

$$B_{(t-1)} - (\lambda - Y_t).M \leq w_t \leq B_{(t-1)} + (\lambda - Y_t).M \quad \forall t \quad (29)$$

در دو گام فوق فروش کل در هر دوره t ، S_t برحسب عبارات خطی بیان شد (معادله ۲۳). البته تعدادی متغیر کمکی $(Y_t, Q'_t, Q''_t, f_t, w_t)$ و نیز تعدادی محدودیت (محدودیت‌های ۲۲ تا ۲۹) به مدل ریاضی اضافه شده است. درآمد کل در دوره زمانی t که با R_t نشان داده می‌شود از ضرب قیمت فروش (p) در مقدار فروش (S_t) به دست می‌آید، به عبارت دیگر $R_t = p.S_t$. به این ترتیب اگر قیمت فروش محصول (p) پارامتری ثابت باشد، درآمد کل در دوره t ، $(p.S_t)$ عبارتی خطی است و عملیات خطی‌سازی در همین جا پایان می‌یابد. در مسئله‌ی مورد مطالعه در این نوشتار، قیمت فروش محصول (p) طبق معادله‌ی

توسط تأمین کنندگان ($Q_t = 0$) مقدار هزینه‌ی سفارش دهی برابر صفر است. پس هزینه‌ی بازپرسازی در دوره t که با A_t نشان داده شده است دو حالت دارد: ۱. اگر $Q_t > 0$ برابر مقدار ثابت $A > 0$ است و ۲. اگر $Q_t = 0$ برابر صفر است.

محدودیت ۸، دلالت بر این موضوع دارد که مقدار سفارش محصول در هر دوره برابر تعداد واحد محصول سالمی است که از طریق همه انواع وسایل نقلیه به خرده‌فروش حمل می‌شود. محدودیت ۹ برای تعریف تعداد نیروی انسانی مورد نیاز در هر پریود، HU_t در نظر گرفته شد. محدودیت ۱۰ متضمن این است که مقدار محصولی که توسط هر کدام از وسایل نقلیه حمل می‌شود، کوچک‌تر یا مساوی ظرفیت آن وسیله است. محدودیت ۱۱ نیز نشان‌دهنده‌ی این است که تعداد وسایل نقلیه به کارگرفته شده از نوع ν از تعداد در دسترس آن نوع وسیله‌ی نقلیه کمتر است. محدودیت‌های ۱۲-۱۳ نوع متغیرهای تصمیم را روشن می‌سازند (محدودیت‌های علامت).

۲.۴. خطی‌سازی مدل ریاضی

در مدل ریاضی توسعه یافته فوق تعدادی عبارت غیرخطی وجود دارد. در این بخش با استفاده از تکنیک‌های خطی‌سازی، مدل خطی معادل مدل فوق توسعه داده می‌شود تا به وسیله‌ی آن بتوان جواب بهینه جهانی را با استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری بهینه‌سازی به دست آورد.

محدودیت ۶ بدین معناست که دو متغیر I_t و B_t همزمان نمی‌توانند مقادیر مثبت اتخاذ کنند. با استفاده از دو محدودیت زیر این محدودیت که از درجه دو است، به عبارات خطی تبدیل می‌شود:

$$B_t \leq M.N_t \quad \forall t \quad (14)$$

$$I_t \leq M.(1 - N_t) \quad \forall t \quad (15)$$

در معادلات فوق $N_t, t = 1, \dots, T$ یک متغیر صفر و ۱ است و چنین تعریف می‌شود:

$$N_t = \begin{cases} 1 & I_t = 0 \\ 0 & B_t = 0 \end{cases} \quad \forall t \quad (16)$$

به طور کلی در یک دوره هزینه‌ی بازپرسازی فقط در صورت مثبت بودن مقدار سفارش بر سیستم تحمیل می‌شود (محدودیت ۷) هزینه‌ی سفارش دهی را می‌توان با عبارت خطی $A_t.V_t$ تعریف کرد که V_t یک متغیر صفر و ۱ است و محدودیت زیر باید برقرار باشد:

$$\frac{V_t}{M} \leq Q_t \leq M.V_t \quad (17)$$

در عبارت ۱۷ اگر $Q_t > 0$ متغیر V_t برابر یک است و در غیر این صورت برابر صفر است.

مقدار کل فروش در پریود زمانی t مطابق معادله ۱۸ است. در واقع کل فروش در هر دوره برابر است با مقدار کمیته‌ی احتیاجات $(D_t + \tilde{\beta}.B_{(t-1)})$ و موجودی در دست $(Q_t + (\lambda - \tilde{\theta}).I_{(t-1)})$:

$$S_t = \min\{A, B\} = \begin{cases} Q_t + (\lambda - \tilde{\theta}).I_{(t-1)}, \tau \geq \psi \\ \tilde{D}_t + \tilde{\beta}.B_{(t-1)}, \tau < \psi \end{cases} \quad (18)$$

s.t.

$$Q_t + (\lambda - \tilde{\theta}).I_{(t-1)} - \tilde{D}_t - \tilde{\beta}.B_{(t-1)} = I_t - B_t \quad \forall t \quad (39)$$

$$B_t \leq M.N_t \quad \forall t \quad (40)$$

$$I_t \leq M.(\lambda - N_t) \quad \forall t \quad (41)$$

$$\frac{V_t}{M} \leq Q_t \leq M.V_t \quad \forall t \quad (42)$$

$$S_t = \sum_k S_{tk} \quad \forall t \quad (43)$$

$$S_{k-1}.t_{tk} \leq S_{tk} \leq S_k.t_{tk} \quad \forall k, t \quad (44)$$

$$\sum_k t_{tk} = \lambda \quad \forall t \quad (45)$$

$$S_t = (Q'_t + (\lambda - \tilde{\theta}).f_t + \tilde{D}_t.(\lambda - Y_t) + \tilde{\beta}.B_{(t-1)} - \tilde{\beta}.w_t) \quad \forall t \quad (46)$$

$$Q'_t \leq \tilde{D}_t.Y_t + \tilde{\beta}.w_t - (\lambda - \tilde{\theta}).f_t \quad \forall t \quad (47)$$

$$(\lambda - Y_t).\tilde{D}_t + \tilde{\beta}.B_{(t-1)} - \tilde{\beta}.w_t - (\lambda - \tilde{\theta}).I_{(t-1)} + (\lambda - \tilde{\theta}).f_t \leq Q''_t \leq M.(\lambda - y_t) \quad \forall t \quad (48)$$

$$-Y_t.M \leq f_t \leq Y_t.M \quad \forall t \quad (49)$$

$$-(\lambda - Y_t).M \leq f_t \leq I_{(t-1)} + (\lambda - Y_t).M \quad \forall t \quad (50)$$

$$-Y_t.M \leq w_t \leq Y_t.M \quad \forall t \quad (51)$$

$$B_{(t-1)} - (\lambda - Y_t).M \leq w_t \leq B_{(t-1)} + (\lambda - Y_t).M \quad \forall t \quad (52)$$

$$Q'_t + Q''_t = Q_t \quad \forall t \quad (53)$$

$$HU_t - HU_{(t-1)} = HU_t^+ - HU_t^- \quad \forall t \quad (54)$$

$$\sum_f X_{t\nu f} - \sum_f X_{(t-1)\nu f} = T_{t\nu}^+ - T_{t\nu}^- \quad \forall t, \nu \quad (55)$$

$$\delta_t = \sum_{\nu, f} (\lambda - \tilde{\eta}_{\nu f}).Q_{t\nu f} \quad \forall t \quad (56)$$

$$HU_t - \lambda \leq \frac{\sum_{\nu, f} Q_{t\nu f}}{HUM} \leq HU_t \quad \forall t \quad (57)$$

$$Q_{t\nu f} \leq CAP_{\nu}.X_{t\nu f} \quad \forall t, f, \nu \quad (58)$$

$$\sum_f X_{t\nu f} \leq T_{\nu} \quad \forall \nu, t \quad (59)$$

$$X_{t\nu f}, HU_t, HU_t^+, HU_t^-, T_{t\nu}^+, T_{t\nu}^- \geq 0, integer \quad \forall t, \nu, f \quad (60)$$

$$N_t, V_t, t_{tk}, Y_t \in \{0, \lambda\} \quad \forall t, k \quad (61)$$

$$Q_t, Q'_t, Q''_t, Q_{t\nu f}, I_t, B_t, S_t, S_{tk}, f_t, w_t \geq 0 \quad \forall t, \nu, f, k \quad (62)$$

۵. روش حل: برنامه‌ریزی امکانی

برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح^۷ با پارامترهای فازی که در بخش قبل توسعه داده شد، رویکردهای برنامه‌ریزی امکانی نظیر آنچه در خمینز و همکاران (۲۰۰۷) ارائه شده،^[۳۹] مناسب است. در این روش برای دی‌فازی کردن پارامترها از مفاهیم «مقدار مورد انتظار» و «بازه مورد انتظار» اعداد فازی استفاده می‌شود. اگر $\tilde{a} = (a_p, a_m, a_o)$ نشان‌دهنده‌ی یک عدد فازی مثلثی باشد، مقدار

۱ تابعی وابسته به مقدار فروش و قطعه قطعه خطی است. به این ترتیب درآمد کل در دوره زمانی t ، به صورت عبارت ۳۰ قابل بیان است:

$$R_t = p.S_t = \begin{cases} p_1 \dots S_t & SL_0 \leq S_t < SL_1 \\ p_2 \dots S_t & SL_1 \leq S_t < SL_2 \\ \dots & \dots \\ p_k \dots S_t & SL_{k-1} \leq S_t < SL_k \end{cases} \quad (30)$$

که در آن S_t طبق معادله‌ی ۲۳ تعریف شده است. در گام بعد معادل عبارت خطی برای تابع قطعه قطعه خطی درآمد که در عبارت ۳۰ آمده توسعه داده خواهد شد.

گام سوم: برای خطی‌سازی معادله‌ی ۳۰، متغیرهای صفر و ۱ t_{tk} و متغیرهای غیر خطی S_{tk} تعریف می‌شوند و محدودیت‌های ۳۱-۳۳ چنین تعریف می‌شود:

$$S_t = \sum_k S_{tk} \quad \forall t \quad (31)$$

$$S_{k-1}.t_{tk} \leq S_{tk} \leq S_k.t_{tk} \quad \forall k, t \quad (32)$$

$$\sum_k t_{tk} = \lambda \quad \forall t \quad (33)$$

بنابراین درآمد کل در دوره زمانی t ، (R_t) با عبارت خطی $\sum_k p_k.S_{tk}$ فرموله می‌شود. در نهایت، آخرین عبارت غیرخطی در مدل برنامه‌ریزی توسعه داده شده در بخش ۵-۱ مربوط می‌شود به تابع Z_3 (معادله‌ی ۴) که شامل عبارات قدر مطلق است. عبارت قدرمطلق $|HU_t - HU_{(t-1)}|$ با استفاده از دو متغیر کمکی HU_t^+ و HU_t^- به صورت زیر به عبارات خطی تبدیل می‌شود:

$$|HU_t - HU_{(t-1)}| = HU_t^+ + HU_t^- \quad (34)$$

$$HU_t - HU_{(t-1)} = HU_t^+ - HU_t^- \quad (35)$$

به طور مشابه عبارت $|\sum_f X_{t\nu f} - \sum_f X_{(t-1)\nu f}|$ با تعریف متغیرهای کمکی $T_{t\nu}^+ \geq 0$ و $T_{t\nu}^- \geq 0$ به عبارات خطی تبدیل می‌شود. در نهایت، مدل ریاضی خطی برای حل مسئله‌ی مورد نظر به صورت زیر قابل بیان است:

$$\begin{aligned} \text{Max} Z_1 = & \sum_{t,k} p_k.S_{tk} - \sum_{t>0} (A.U_t \\ & + C.\sum_{\nu,f} Q_{t\nu f} + h.I_t + (\lambda - \tilde{\beta}).\pi.B_t \\ & + \tilde{\beta}.\gamma.B_t + \sum_{\nu,f} (TA_{\nu f}.d_f.X_{t\nu f}) + \tilde{\theta}.SV.I_t) \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \text{Min} Z_2 = & \sum_{t>0} (\sum_{\nu,f} (G_{\nu f}.d_f.X_{t\nu f}) \\ & + GD.((\sum_{\nu,f} \tilde{\eta}_{\nu f}.Q_{t\nu f}) + \tilde{\theta}.I_t)) \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \text{Min} Z_3 = & \sum_t (HU_t^+ + HU_t^-) \\ & + \sum_{t,\nu} HT_{\nu}.(T_{t\nu}^+ + T_{t\nu}^-) \end{aligned} \quad (38)$$

مورد انتظار آن که با $E(\tilde{a})$ و بازه مورد انتظار آن که با $I(\tilde{a})$ نشان داده می‌شود به ترتیب چنین تعریف می‌شود:

$$E(\tilde{a}) = \frac{E_1^a + E_2^a}{2} = \frac{a^p + 2a^m + a^o}{4} \quad (63)$$

$$I(\tilde{a}) = [E_1^a, E_2^a] = \left[\frac{1}{4}(a^p + a^m), \frac{1}{4}(a^m + a^o) \right] \quad (64)$$

حال مدل فازی توسعه داده شده در بخش قبل را می‌توانیم به صورت پارامتریک و بسته به شکل زیر بیان کنیم که در آن همه پارامترهای فازی از نوع مثلثی اند و H تابع هدف متفاوت وجود دارد:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & z_1 = \tilde{c}_1^t x \\ & \dots \\ \text{Min} \quad & z_H = \tilde{c}_H^t x \\ \text{s.t.} \quad & \\ & \tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i, \quad i = 1, \dots, l \\ & \tilde{a}_i x = \tilde{b}_i, \quad i = l + 1, \dots, l \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (65)$$

براساس تعاریفی که از «مقدار مورد انتظار» و «بازه مورد انتظار» یک عدد فازی مثلثی ارائه شد و آنچه در مقاله‌ی خمینز و همکاران (۲۰۰۷)^[۳۹] ارائه شده، مدل ریاضی دی‌فازی شده معادل مدل فازی ۶۵ به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & z_1 = E(\tilde{c}_1)^t . x \\ & \dots \\ \text{Min} \quad & z_H = E(\tilde{c}_H)^t . x \\ \text{s.t.} \quad & \\ & [(\alpha - 1)E_1^{a_i} + \alpha E_1^{a_i x}] x \geq \alpha E_1^{b_i} + (1 - \alpha)E_1^{b_i} \\ & i = 1, \dots, l \\ & [(\alpha - \frac{\alpha}{\gamma})E_1^{a_i} + \frac{\alpha}{\gamma}E_1^{a_i x}] x \geq \frac{\alpha}{\gamma}E_1^{b_i} + (1 - \frac{\alpha}{\gamma})E_1^{b_i} \\ & i = l + 1, \dots, m \\ & [(\frac{\alpha}{\gamma})E_1^{a_i} + (1 - \frac{\alpha}{\gamma})E_1^{a_i x}] x \geq (1 - \frac{\alpha}{\gamma})E_1^{b_i} + (\frac{\alpha}{\gamma})E_1^{b_i} \\ & i = l_1, \dots, m \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (66)$$

به عبارت دیگر جهت دی‌فازی کردن ضرایب فازی تابع هدف از مفهوم مقدار مورد انتظار پارامترهای فازی و جهت دی‌فازی کردن محدودیت‌ها با پارامترهای فازی از مفهوم بازه مورد انتظار استفاده می‌شود. در مدل ۶۶، α نشان‌دهنده‌ی درجه موجه بودن جواب است.

در نهایت از آنجا که مدل دی‌فازی شده چندهدفه است، برای حل آن و تبدیل توابع هدف متفاوت در قالب یک تابع هدف، برای هر تابع هدف $Z_i, i = 1, 2, 3$ وزن (درجه اهمیت) در نظر گرفته خواهد شد که آن را با w_i نشان می‌دهیم، به طوری که $w_1 + w_2 + w_3 = 1$.

۱.۵. تحلیل عددی

در ادامه کاربردپذیری و اعتبار مدل توسعه داده شده را با مثالی از صنعت میوه و تره‌بار مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم. در این مثال یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک خره‌فروش و یک تأمین‌کننده با تصمیم‌گیری متمرکز و افق برنامه‌ریزی شامل سه دوره زمانی مورد توجه است. مقدار تقاضای هر دوره شامل سه مقدار بدبینانه، محتمل‌ترین حالت و خوشبینانه به ترتیب عبارت‌اند از (۱۳۰۰۰، ۱۲۰۰۰)، (۱۷۰۰، ۱۸۰۰) و (۹۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۱۰۰۰) و هزینه‌های هر بار سفارش دهی و خرید هر واحد محصول به ترتیب عبارت‌اند از $A = 50000$ و $C = 50$ به‌طور متوسط برای خرید و سپس فروش هر 10^6 واحد محصول نیاز به یک نفر نیروی انسانی است یعنی $HUM = 10^6$ قیمت فروش هر واحد محصول (p) مطابق تابع زیر است:

$$p = \begin{cases} 300 & 0 \leq S_t < 5000 \\ 280 & 5000 \leq S_t < 10000 \\ 250 & 10000 \leq S_t \end{cases} \quad (67)$$

نرخ زوال محصول به صورت $\tilde{\theta} = (0.3, 0.5, 0.7)$ و مقدار گاز گلخانه‌ی منتشر شده ناشی از دفع یک واحد محصول فاسد شده به میزان $GD = 60 gr$ تخمین زده شد. مقدار موجودی و کمبود اولیه در لحظه $t = 0$ به ترتیب برابر $I_0 = 50$ و $B_0 = 0$ در نظر گرفته شده است.

دو مسیر تأمین‌کننده به خرده‌فروش وجود دارد. مسیر اول تحت عنوان «مسیر بیابانی» از منطقه گرم و خشک و مسیر دوم یا «مسیر سبز» از منطقه جنگلی عبور می‌کند. طول مسیری که از جنگل عبور می‌کند بیشتر از مسیر بیابانی است اما در عوض بخش عظیمی از GHG منتشر شده در مسیر سبز از طریق تصفیه هوا به وسیله‌ی پوشش گیاهی موجود در مسیر از بین می‌رود. طول مسیر بیابانی و جنگلی به ترتیب ۱۵ و ۲۰ کیلومتر است. سه نوع وسیله‌ی حمل (کوچک، متوسط و بزرگ) برای حمل کالا از تأمین‌کننده به خرده‌فروش وجود دارد. اطلاعات مربوط به وسایل نقلیه از قبیل هزینه‌ی حمل، ظرفیت، مقدار انتشار GHG، تعداد کارگر مورد نیاز و غیره در جدول ۱ خلاصه شده است. چنان که مشاهده می‌شود به دلیل شرایط آب و هوایی نرخ زوال محصول در مسیر ۱ بالاتر از نرخ زوال در مسیر سبز است. در هر دوره با توجه به مقدار کل موجودی در دست (سفارش دریافت شده این دوره به علاوه موجودی انبار باقی مانده از دوره‌های قبل) و مقدار کل احتیاجات (تقاضاهای پس‌افت شده از دوره‌های قبل به علاوه تقاضای این دوره) وقوع سه حالت امکان‌پذیر است:

۱. مقدار کل احتیاجات کمتر از کل موجودی در دست است. در این حالت کمبود دوره برابر صفر بوده و در انتهای دوره مقداری موجودی در انبار باقی می‌ماند که $\tilde{\theta}$ درصد آن با هزینه‌ی SV به صورت زیر دفع می‌شود:

$$SV = \begin{cases} 30 & 0 \leq disposal < 100 \\ 25 & 100 \leq disposal < 200 \\ 10 & 200 \leq disposal \end{cases} \quad (68)$$

و باقیمانده‌ی آن تا دوره بعد در انبار نگهداری می‌شود. هزینه‌ی نگهداری هر واحد محصول در هر دوره برابر است با $h = 5$.

جدول ۱. اطلاعات وسایل حمل و نقل

Path ۲		Path ۱		TA _v f _i f = ۱, ۲	HT _v	T _v	CAP _v	V
Gv _۲	η _{v۲}	Gv _۱	η _{v۱}					
۳۰	(۰,۰۵, ۰,۰۴, ۰,۰۳)	۷۵	(۰,۱, ۰,۰۸, ۰,۰۶)	۱۵	۱	۱۰	۵۰۰	۱ (کوچک)
۶۰	(۰,۰۵, ۰,۰۴, ۰,۰۳)	۱۱۵	(۰,۱, ۰,۰۸, ۰,۰۶)	۱۸	۱	۱۰	۹۰۰	۲ (متوسط)
۷۵	(۰,۰۵, ۰,۰۴, ۰,۰۳)	۱۲۳	(۰,۱, ۰,۰۸, ۰,۰۶)	۲۱	۱	۱۰	۱۲۰۰	۳ (بزرگ)

جدول ۲. مقدار بهینه‌ی اهداف و متغیرهای تصمیم.

w _۱	w _۲	w _۳	Q _۱	Q _۲	Q _۳	X _۱	X _۲	X _۳	z _۱	z _۲	z _۳
۱	۰	۰	۱۲۹۵۰	۱۱۷۷۱	۰	[۰, ۳, ۹][۰, ۰, ۰]	[۰, ۳, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰][۰, ۰, ۰]	۵۱۴۴۲۷۶	۱۰۷۸۳۰	۲۷۲۱
۰,۶	۰,۲	۰,۲	۹۹۵۰	۹۹۷۰	۱۷۱۹	[۰, ۰, ۰][۴, ۰, ۷]	[۰, ۰, ۰][۴, ۰, ۷]	[۰, ۰, ۰][۰, ۱, ۱]	۴۵۰۴۶۵۶	۸۲۷۰۴	۱۹۲۵

انتشار یافته و نیز کاهش تغییر در استخدام از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در مورد مثال ارائه شده در مقاله، با ۱۲,۴٪ کاهش در سود زنجیره، به ترتیب ۲۳,۳٪ و ۲۹,۲۵٪ در معیارهای زیست محیطی و اجتماعی بهبود حاصل می‌شود. همچنین با در نظر داشتن معیارهای پایداری، سیاست بهینه موجودی و حمل (مسیر حمل، نوع و تعداد وسیله حمل و نقل) تغییر می‌یابد. با توجه به داده‌های گزارش شده در جدول ۲، زمانی که (w_۱ = ۱, w_۲ = w_۳ = ۰) مسیر بیابانی که کوتاه‌تر و در نتیجه هزینه حمل پایین‌تری به همراه دارد به عنوان مسیر بهینه انتخاب شده است. این در حالی است که با در نظر گرفتن هر سه معیار پایداری به طور همزمان (w_۱ = ۰,۶, w_۲ = w_۳ = ۰,۲) مسیر سبز علی‌رغم طولانی‌تر بودن به عنوان مسیر بهینه انتخاب شده است.

همچنین با تغییر معیار تصمیم‌گیری از دستیابی به یک زنجیره اقتصادی به یک زنجیره پایداری، مقادیر بهینه‌ی سفارش در دوره‌های زمانی مختلف به هم بیشتر نزدیک‌اند. دلایل این موضوع را می‌توان بدین قرار تشریح کرد: ۱. کاهش تغییر در نیروی انسانی مورد استفاده برای تأمین و فروش سفارش در پایین‌ترین حد ممکن؛ ۲. کاهش انتشار GHG و هزینه‌های ناشی از آن از طریق کاهش زوال محصولات. مقادیر مربوط به هزینه دفع و GHG ناشی از دفع محصولات فاسد شده که در جدول ۳ ارائه شده، مبین این مطلب است.

۲.۵. تحلیل حساسیت

در این بخش تحلیل حساسیت نسبت به وزن (اهمیت) توابع هدف صورت پذیرفته است. بدین منظور محاسبات عددی در سه مرحله انجام گرفته است: ۱. در نظر گرفتن صرفاً معیارهای اقتصادی و زیست محیطی (Z_۱ و Z_۲)، ۲. در نظر گرفتن صرفاً معیارهای اقتصادی و اجتماعی (Z_۱ و Z_۲) و ۳. در نظر گرفتن هر سه معیار اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی (Z_۱, Z_۲ و Z_۳) به این ترتیب ابتدا فقط توابع Z_۱ و Z_۲ به عنوان توابع اقتصادی و زیست محیطی (بدون توجه به تابع اجتماعی) مورد توجه قرار گرفته است. یعنی (w_۱ = ۱ - w_۲, w_۳ = ۰) و نتایج حاصله در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۴، با کاهش مقدار w_۱ (افزایش w_۲ = ۱ - w_۱) درصد سود از دست رفته و درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌یی هر دو افزایش یافته است. به این ترتیب زمانی که اهمیت (وزن) معیار زیست محیطی بیشتر از ۰,۵ است، تعطیلی زنجیره و توقف فعالیت‌های آن مطلوب‌تر از فعال بودن آن است. البته مواردی هم مشاهده می‌شود که کاهش جزئی در سود زنجیره، کاهش مطلوبی در انتشار گازهای

۲. مقدار کل احتیاجات بیشتر از موجودی کل است. در این حالت کمبود رخ می‌دهد. $\beta = (۰,۰۳, ۰,۰۵, ۰,۰۷)$ درصد تقاضاهای پاسخ داده نشده (کمبود) پس‌افت شده و تا دوره بعدی به تعویق می‌افتند. هزینه هر واحد محصول پس‌افت شده در هر دوره برابر است با $10\epsilon/unit$ با $1 - \tilde{B}.Y$ درصد از تقاضاهای پاسخ داده نشده به صورت فروش از دست رفته و با هزینه هر واحد فروش از دست رفته برابر $\pi = 100\epsilon$ از سیستم خارج می‌شوند.

۳. مقدار کل احتیاجات برابر مقدار موجودی در دست است. در این حالت مقدار موجودی در انبار و کمبود هر دو برابر صفر خواهند بود.

تمامی محاسبات با استفاده از الگوریتم CPLEX و با استفاده از بسته‌ی نرم‌افزاری IBM ILOG CPLEX ۱۲/۲، با به کارگیری رایانه‌ی شخصی با مشخصات Core (TM) i۵ - ۲.۳ GHz و ۴ GB RAM تحت سیستم عامل Windows VHome Premium انجام گرفته است.

در جدول ۲، مقدار بهینه‌ی توابع هدف و متغیرهای تصمیم برای دو حالت گزارش داده شده است: ۱. زمانی که صرفاً جنبه‌ی اقتصادی (تابع هدف اول، Z_۱) زنجیره مد نظر قرار دارد، (w_۱ = ۱, w_۲ = w_۳ = ۰)، ۲. زمانی که هر سه جنبه‌ی اقتصادی (Z_۱)، زیست محیطی (Z_۲) و اجتماعی (Z_۳) زنجیره مورد توجه قرار دارد، (w_۱ = ۰,۶, w_۲ = w_۳ = ۰,۲) همچنین مقدار مؤلفه‌های هر یک از توابع هدف در جدول شماره ۳ برای دو حالت فوق گزارش شده است.

در جدول ۲، ترکیب بهینه وسایل نقلیه در هر دوره زمانی شامل دو بردار است. هر یک از این دو بردار نشان دهنده‌ی تعداد وسیله نقلیه و نوع آنها در هر یک از مسیرهای بیابانی (بردار اول از سمت چپ) و سبز بردار (دوم از سمت چپ) است. برای مثال وقتی $w_1 = 1, w_2 = w_3 = 0$ ، مقدار بهینه‌ی وسایل نقلیه در دوره زمانی اول به صورت $X^* = [0, 3, 9][0, 0, 0]$ گزارش شده است؛ بدین معنا که سه وسیله نقلیه نوع ۲ و ۹ وسیله نقلیه نوع ۳ از طریق مسیر اول (مسیر بیابانی) مورد استفاده قرار می‌گیرد و از مسیر دوم (مسیر سبز) عبور هیچ‌یک از انواع وسیله نقلیه به صرفه نیست. با توجه به جدول ۲، زمانی که وزن تابع هدف اول برابر ۱ است، یعنی $w_1 = 1$ و $w_2 = w_3 = 0$ ، بیشترین مقدار ممکن سود برابر ۵, ۱۴۴, ۳۰۰ حاصل می‌شود.

در مقایسه با حالتی که صرفاً جنبه‌ی اقتصادی مد نظر است، زمانی که مدیران زنجیره هر سه جنبه‌ی اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی (یک زنجیره تأمین پایدار) را به صورت توأم مورد توجه قرار می‌دهند، بخشی از سود زنجیره از دست می‌رود. به این ترتیب، یافتن توازن مناسب میان سود از دست رفته، کاهش GHG

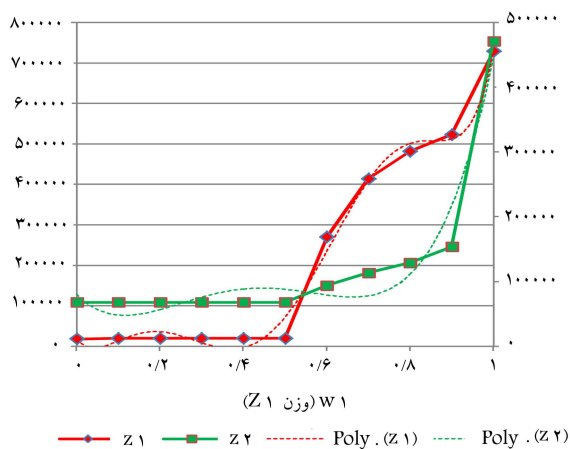
جدول ۳. مولفه‌های توابع هدف.

Z_2		Z_1										
HS	HT	GHG-T	GHG-D	TC*	DC	PC	OC	HC	LC	BC	R*	
۲۶۹۷	۲۴	۴۱۷۱۵	۶۶۱۱۵	۶۹۷۵	۱۲۲۹۳	۱۲۸۷۶۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۸۸۵۶	۰	۰	۶۵۶۰۰۰۰	
												$w_1 = 1$
												$w_2 = w_3 = 0$
۱۸۹۸	۳۰	۲۸۵۰۰	۵۴۲۰۴	۹۰۶۰	۹۷۴۴٫۴	۱۱۲۷۱۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۵۰	۳۰۲۱۰۰	۱۵۹۰	۶۱۰۴۳۰۰	
												$w_1 = 0٫۶$
												$w_2 = w_3 = 0٫۲$

GHG-D: گازهای گلخانه‌یی منتشر شده از طریق دفع محصولات فاسد	R: درآمد کل
GHG-T: گازهای گلخانه منتشر شده از طریق حمل‌ونقل	HC: هزینه نگه‌داری
HT: تغییر در نیروی انسانی مورد نیاز جهت حمل‌ونقل	BC: هزینه‌ی پس‌افت
HS: تغییر در نیروی انسانی مورد نیاز جهت تأمین	LC: هزینه‌ی فروش از دست رفته
PC: هزینه‌ی خرید	OC: هزینه‌ی سفارش‌دهی
TC: هزینه‌ی حمل‌ونقل	DC: هزینه‌ی دفع دورریز

جدول ۴. مقادیر بهینه‌ی اهداف و متغیرهای تصمیم‌گیری با در نظر داشتن معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی $w_1 = 1 - w_2 = 1$

w_1	Q_1	Q_2	Q_3	X_1	X_2	X_3	z_1	z_2	درصد	
									سود از	کاهش
									دست رفته	
۱	۱۲۹۵۰	۱۱۷۷۱	۰	[۰, ۳, ۹][۰, ۰, ۰]	[۰, ۳, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰][۰, ۰, ۰]	۵۱۴۴۲۷۶	۱۰۷۸۳۰		
۰٫۹	۱۲۹۵۰	۱۱۷۸۹	۰	[۰, ۰, ۰][۴, ۱, ۹]	[۰, ۰, ۰][۸, ۰, ۷]	[۰, ۰, ۰][۰, ۰, ۰]	۵۱۳۹۴۰۰	۹۸۶۵۵	۰٫۱	۸٫۵
۰٫۸	۱۲۹۵۰	۱۰۰۷۱	۱۶۳۲	[۰, ۰, ۰][۳, ۰, ۱۰]	[۰, ۰, ۰][۹, ۰, ۵]	[۰, ۰, ۰][۱, ۰, ۱]	۵۱۰۴۶۰۰	۹۳۶۵۱	۰٫۸	۱۳٫۱
۰٫۷	۱۲۹۵۰	۱۰۰۷۱	۱۶۳۲	[۰, ۰, ۰][۳, ۰, ۱۰]	[۰, ۰, ۰][۹, ۰, ۵]	[۰, ۰, ۰][۱, ۰, ۱]	۵۱۰۴۶۰۰	۹۳۶۵۱	۰٫۸	۱۳٫۱
۰٫۶	۱۲۸۶۴	۱۰۰۰۰	۱۶۳۲	[۰, ۰, ۰][۱۰, ۰, ۷]	[۰, ۰, ۰][۹, ۰, ۵]	[۰, ۰, ۰][۱, ۰, ۱]	۵۰۵۵۴۰۰	۹۲۷۶۰	۱٫۷	۱۴٫۰
۰٫۵	۹۷۹۲	۹۹۸۴	۱۶۳۲	[۰, ۰, ۰][۶, ۰, ۶]	[۰, ۰, ۰][۴, ۰, ۷]	[۰, ۰, ۰][۱, ۰, ۱]	۴۴۳۲۳۰۰	۸۱۱۲۰	۱۳٫۸	۲۴٫۸
۰٫۱-۰٫۴	۰	۰	۰	-	-	-	-۲۴۵۱۸۰۰	۰	-	-



شکل ۲. جواب‌های پارتو: اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی.

گلخانه‌یی را نتیجه می‌دهد. به‌عنوان نمونه، وقتی $w_1 = 0٫۷$ و $w_2 = 0٫۳$ تنها با حدود ۱٪ کاهش سود، ۱۳٪ بهبود در GHG منتشر شده حاصل شده است. همچنین مطابق جدول ۴، با در نظر گرفتن معیارهای زیست‌محیطی در کنار معیارهای اقتصادی، مسیر سبز علی‌رغم طولانی‌تر بودن به‌عنوان مسیر بهینه انتخاب شده است. جواب‌های پارتو با در نظر گرفتن توابع Z_1 و Z_2 در شکل ۲ نشان داده شده است. در جدول ۵، سیاست بهینه‌ی زنجیره با در نظر داشتن معیار اقتصادی و اجتماعی (بدون توجه به معیار زیست‌محیطی) گزارش شده است. به این ترتیب نتایج حاصله برای حالتی که $w_2 = 0$ و $w_1 = 1 - w_2 = 1$ در جدول ۵ ارائه شده است.

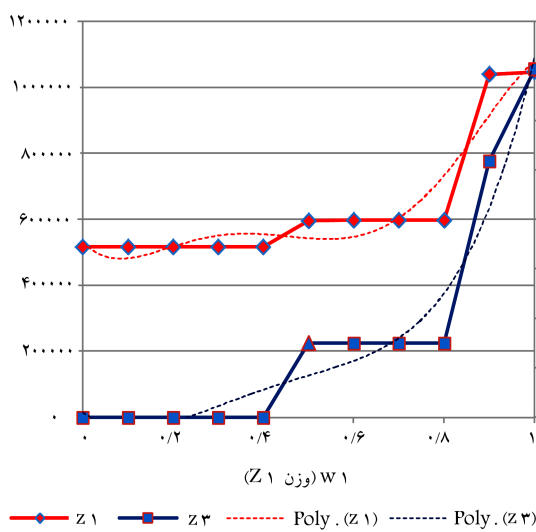
از آنجاکه در این حالت معیار زیست‌محیطی نادیده گرفته شده است، مسیر بیابانی با طول کوتاه‌تر و بنا بر این مسیر اقتصادی‌تر به‌عنوان مسیر بهینه انتخاب شده است. در این حالت، مواردی به چشم می‌خورد که سطح تجهیزات حمل‌ونقل از آنچه برای حمل مقدار سفارش نیاز است، بیشتر است. برای مثال وقتی $w_1 = 0٫۹$ و $w_2 = 0٫۱$ ، مقادیر

جدول ۵. مقادیر بهینه‌ی اهداف و متغیرهای تصمیم‌گیری با در نظر داشتن معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی $w_3 = 1 - w_1$

w_1	Q_1	Q_2	Q_3	X_1	X_2	X_3	z_1	z_3	درصد	
									کاهش GHG	سود از دست رفته
۱	۱۲۹۵۰	۱۱۷۷۱	۰	[۰, ۳, ۹][۰, ۰, ۰]	[۰, ۳, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰][۰, ۰, ۰]	۵۱۴۴۲۷۶	۲۷۲۱	-	-
۰/۹	۱۲۹۵۰	۱۰۰۰۰	۱۷۰۰	[۰, ۳, ۹][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	۵۱۰۶۶۰۰	۲۵۳۵	۰/۷	۶/۸
۰/۸	۹۹۵۰	۱۰۰۰۰	۹۵۸۷	[۰, ۳, ۹][۰, ۰, ۰]	[۰, ۳, ۹][۰, ۰, ۰]	[۰, ۳, ۹][۰, ۰, ۰]	۴۶۲۶۴۰۰	۱۶۶۷	۱۰/۱	۳۸/۷
۰/۷	۹۹۵۰	۹۹۹۰	۹۵۶۸	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	۴۰۳۶۱۰۰	۱۰۵۰	۲۱/۵	۶۱/۴
۰/۶	۹۹۵۰	۹۹۹۰	۹۵۶۸	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	۴۰۳۶۱۰۰	۱۰۵۰	۲۱/۵	۶۱/۴
۰/۵	۹۹۵۰	۹۹۵۰	۹۵۳۴	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	۴۰۲۵۹۰۰	۱۰۴۶	۲۱/۷	۶۱/۶
۰/۴	۹۹۵۰	۹۹۵۰	۹۵۳۴	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۱, ۸][۰, ۰, ۰]	۴۰۲۵۹۰۰	۱۰۴۶	۲۱/۷	۶۱/۶
۰/۳	۲۱۲۱	۲۱۲۱	۲۱۲۰	[۰, ۰, ۲][۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۲][۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۲][۰, ۰, ۰]	-۴۰۰۸۱۰	۲۲۳	۱۴۷/۷	۹۱/۸
۰/۱-۰/۲	۰	۰	۰	-	-	-	-۲۴۵۱۸۰۰	۰	-	-

جدول ۶. مقادیر بهینه‌ی اهداف و متغیرهای تصمیم‌گیری با در نظر داشتن معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی و اجتماعی $\bar{\theta} = (۰/۰۳, ۰/۰۵, ۰/۰۷)$

w_1	w_2	w_3	Q_1	Q_2	Q_3	w_1	w_2	w_3	z_1	z_2	z_3
۱	۰	۰	۱۲۹۵۰	۱۱۷۷۱	۰	[۰, ۳, ۹][۰, ۰, ۰]	[۰, ۳, ۸][۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰][۰, ۰, ۰]	۵۱۴۴۲۷۶	۱۰۷۸۳۰	۲۷۲۱
۰/۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۱۲۹۵۰	۱۰۰۰۰	۱۷۰۰	[۰, ۰, ۰][۰, ۳, ۱۰]	[۰, ۰, ۰][۲, ۰, ۸]	[۰, ۰, ۰][۲, ۱, ۰]	۵۱۰۴۴۰۰	۹۴۰۸۰	۲۵۴۵
۰/۸	۰/۱	۰/۱	۱۲۹۵۰	۱۰۰۰۰	۱۷۰۰	[۰, ۰, ۰][۰, ۳, ۱۰]	[۰, ۰, ۰][۲, ۰, ۸]	[۰, ۰, ۰][۲, ۱, ۰]	۵۱۰۴۴۰۰	۹۴۰۸۰	۲۵۴۵
۰/۷	۰/۱۵	۰/۱۵	۹۹۵۰	۹۹۸۴	۱۷۰۸	[۰, ۰, ۰][۴, ۰, ۷]	[۰, ۰, ۰][۴, ۰, ۷]	[۰, ۰, ۰][۴, ۰, ۰]	۴۵۰۸۴۰۰	۸۲۳۸۰	۱۹۱۹
۰/۶	۰/۲	۰/۲	۹۹۵۰	۹۹۷۰	۱۷۱۹	[۰, ۰, ۰][۴, ۰, ۷]	[۰, ۰, ۰][۴, ۰, ۷]	[۰, ۰, ۰][۰, ۱, ۱]	۴۵۰۴۶۵۶	۸۲۷۰۴	۱۹۲۸
۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۴۸۹۶	۴۸۹۶	۱۹۶۸	[۰, ۰, ۰][۳, ۰, ۳]	[۰, ۰, ۰][۳, ۰, ۳]	[۰, ۰, ۰][۰, ۱, ۱]	۱۴۷۴۸۰۰	۴۴۷۰۰	۸۲۶
۰/۴	۰/۳	۰/۳	۲۱۱۲	۲۱۱۲	۲۱۱۲	[۰, ۰, ۰][۲, ۰, ۱]	[۰, ۰, ۰][۲, ۰, ۱]	[۰, ۰, ۰][۲, ۰, ۱]	-۴۱۲۶۵۰	۲۳۹۴۰	۲۲۳
۱/۳	۱/۳	۱/۳	۰	۰	۰	[۰, ۰, ۰][۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰][۰, ۰, ۰]	[۰, ۰, ۰][۰, ۰, ۰]	-۲۴۵۱۸۰۰	۰	۰



شکل ۳. جواب‌های پارتو: اهداف اقتصادی و اجتماعی.

بهینه‌ی سفارش در دوره‌های مختلف برابر است با $Q_1 = ۱۲۹۵۰$ ، $Q_2 = ۱۰۰۰۰$ و $Q_3 = ۱۷۰۰$ علی‌رغم این‌که $Q_2 = ۱۷۰۰$ ، تعداد وسایل نقلیه بهینه در دوره سوم به صورت یک وسیله‌ی نقلیه نوع ۲ (با ظرفیت ۹۰۰ واحد) و ۸ وسیله‌ی نقلیه نوع ۳ (با ظرفیت ۱۲۰۰ واحد) تعیین شده است. دلیل این مطلب کاهش تغییر در نیروی انسانی مورد نیاز برای حمل و نقل از دوره دوم به دوره سوم است. به عبارت دیگر برای پایین نگه داشتن تغییر در نیروی انسانی به کار گرفته شده ممکن است در دوره‌های زمانی خاص، نگه داشتن نیروی انسانی / تجهیزات بیشتر (علی‌رغم عدم کاربردپذیری آنها در آن دوره) مطلوب باشد.

همچنین با افزایش w_3 سیستم ترجیح می‌دهد از وسیله‌ی نقلیه نوع ۳ با ظرفیت حمل بالاتر، بیشتر استفاده کند؛ زیرا با به‌کارگیری این وسیله -- با تعداد نیروی انسانی ثابت و مشخص -- انعطاف بیشتری در انتقال محموله‌های کوچک یا بزرگ در دوره‌های زمانی مختلف وجود دارد. نمودار پارتو مربوط به توابع هدف Z_2 و Z_1 در شکل ۳ نشان داده شده است.

در جدول ۶ مقادیر بهینه‌ی متغیرهای تصمیم‌گیری با در نظر داشتن هر سه تابع هدف گزارش شده است. چنان‌که از داده‌های این جدول پیداست، با کاهش درجه

جدول ۷. مقادیر بهینه‌ی اهداف و متغیرهای تصمیم‌گیری با در نظر داشتن معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی و اجتماعی $\bar{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \theta_3) = (0.1, 0.15, 0.2)$ و $\bar{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3) = (0.3, 0.5, 0.7)$.

w_1	w_2	w_3	Q_1	Q_2	Q_3	x_1	x_2	x_3	z_1	z_2	z_3
۱	۰	۰	۱۲۹۵۰	۱۲۰۰۰	۰	$[0, 3, 9][0, 0, 0]$	$[0, 2, 9][0, 0, 0]$	$[0, 0, 0][0, 0, 0]$	۵۱۳۰۳۰۰	۱۲۲۲۴۰	۲۷۲۱
۰٫۹	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۱۲۹۵۰	۱۰۰۰۰	۱۷۰۰	$[0, 0, 0][3, 0, 10]$	$[0, 0, 0][2, 0, 8]$	$[0, 0, 0][2, 1, 0]$	۵۱۰۵۸۰۰	۹۴۰۸۰	۲۵۴۵
۰٫۸	۰٫۱	۰٫۱	۱۲۹۵۰	۱۰۰۰۰	۱۷۰۰	$[0, 0, 0][3, 0, 10]$	$[0, 0, 0][2, 0, 8]$	$[0, 0, 0][2, 1, 0]$	۵۱۰۵۸۰۰	۹۴۰۸۰	۲۵۴۵
۰٫۷	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۱۲۹۵۰	۹۹۸۴	۱۷۰۰	$[0, 0, 0][3, 0, 10]$	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][4, 0, 0]$	۵۱۰۰۲۰۰	۹۳۷۲۰	۲۵۴۴
۰٫۶	۰٫۲	۰٫۲	۹۹۵۰	۹۹۸۴	۱۷۰۸	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][4, 0, 0]$	۴۵۰۹۸۰۰	۸۲۳۸۰	۱۹۱۹
۰٫۵	۰٫۲۵	۰٫۲۵	۹۹۵۰	۹۹۵۵	۱۷۰۹	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][4, 0, 0]$	۴۴۹۹۲۰۰	۸۲۳۲۰	۱۹۱۳
۰٫۴	۰٫۳	۰٫۳	۲۱۱۲	۲۱۱۲	۲۱۱۲	$[0, 0, 0][2, 0, 1]$	$[0, 0, 0][2, 0, 1]$	$[0, 0, 0][2, 0, 1]$	-۱۴۲۶۵۰	۲۳۹۴۰	۲۲۳
۱٫۳	۱٫۳	۱٫۳	۰	۰	۰	$[0, 0, 0][0, 0, 0]$	$[0, 0, 0][0, 0, 0]$	$[0, 0, 0][0, 0, 0]$	-۲۴۵۱۸۰۰	۰	۰

جدول ۸. درصد سود از دست رفته، کاهش GHG و کاهش نوسان در نیروی انسانی.

$\bar{\theta} = (0.3, 0.5, 0.7), E(\bar{\theta}) = 0.5$			$\bar{\theta} = (0.1, 0.15, 0.2), E(\bar{\theta}) = 0.15$					
w_1	w_2	w_3	سود از دست رفته (%)	کاهش GHG (%)	کاهش تغییر در نیروی انسانی (%)	سود از دست رفته (%)	کاهش GHG (%)	کاهش تغییر در نیروی انسانی (%)
۰٫۹	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۸	۱۲٫۸	۶٫۵	۰٫۵	۲۳٫۰	۶٫۵
۰٫۸	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۸	۱۲٫۸	۶٫۵	۰٫۵	۲۳٫۰	۶٫۵
۰٫۷	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۱۲٫۴	۲۳٫۶	۲۹٫۵	۰٫۶	۲۳٫۳	۶٫۵
۰٫۶	۰٫۲	۰٫۲	۱۲٫۴	۲۳٫۳	۲۹٫۱	۱۲٫۱	۳۲٫۶	۲۹٫۵
۰٫۵	۰٫۲۵	۰٫۲۵	۷۱٫۳	۵۸٫۵	۶۹٫۶	۱۲٫۳	۳۲٫۷	۲۹٫۷
۰٫۴	۰٫۳	۰٫۳	۱۰۸٫۰	۷۷٫۸	۹۱٫۸	۱۰۸٫۰	۸۰٫۴	۹۱٫۸
۱٫۳	۱٫۳	۱٫۳	-	-	-	۱۴۷٫۸	۱۰۰٫۰	۱۰۰٫۰

کنند. البته این سود از دست رفته، در افق زمانی بلندمدت از طریق بهبود انگیزه و امنیت شغلی کارکنان و در نتیجه افزایش بهره‌وری آنها، قابل جبران است. برای مثال براساس جدول ۸، اگر $w_1 = 0.9$ و $w_2 = 0.05$ و $w_3 = 0.05$ ، به ترتیب برای $\bar{\theta} = (0.3, 0.5, 0.7)$ با کمتر از ۱ درصد کاهش در سود، به ترتیب ۱۲٫۸ و ۶٫۵ درصد بهبود در معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی حاصل می‌شود.

همچنین مشاهده می‌شود که نرخ زوال محصولات از عوامل تأثیرگذار در زنجیره‌های تأمین پایدار است. به عبارت دیگر زمانی که محصولات نرخ زوال بالاتری دارند با کاهش مقدار مشخصی از سود زنجیره بهبود بیشتری در معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی حاصل می‌آید. برای مثال اگر $w_1 = 0.9$ و $w_2 = 0.05$ و $w_3 = 0.05$ ، برای $\bar{\theta} = (0.1, 0.15, 0.2)$ با حدود ۰٫۵ درصد کاهش در سود، به ترتیب ۲۳ و ۶٫۵ درصد بهبود در معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی حاصل می‌شود. یعنی در جدول ۹ فرض بر این است که به‌طور متوسط تعداد بیشتری از تقاضاهای برآورده نشده در یک دوره به دوره بعد منتقل می‌شوند.

مقایسه‌ی داده‌های این جدول با جدول ۶ نشان می‌دهد که وقتی $\bar{\beta} = (0.3, 0.5, 0.7)$ ، مقدار سفارش در دوره‌های ابتدایی کمتر یا حداقل مساوی با مقدار سفارش برای حالت $\bar{\beta} = (0.4, 0.5, 0.6)$ است؛ چرا که تقاضاهای ارضا

اهمیت معیار اقتصادی، سود زنجیره کاهش می‌یابد اما زنجیره از منظر معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی پایدارتر است. همچنین اگر تصمیم‌گیرندگان در زنجیره اهمیت نسبتاً بالایی برای معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی قائل باشند دیگر زنجیره از نظر اقتصادی قابل توجیه نخواهد بود. بنابراین وجود محرک‌ها و حمایت‌های مالی از جانب دولت‌ها در رفع نگرانی مدیران در خصوص کاهش سود زنجیره و افزایش انگیزه آنها جهت مدنظر قرار دادن معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی تا حدود زیادی مؤثر است.

در جدول ۷، نتایج عددی به‌ازای مقادیر مختلف وزنی توابع هدف و با فرض افزایش نرخ زوال موجودی‌های در انبار، یعنی $\bar{\theta} = (0.1, 0.15, 0.2)$ و حفظ مقادیر سایر پارامترها نظیر آنچه در بخش ۵-۱ تشریح شد، را نشان می‌دهد. مقایسه‌ی این جدول با جدول ۶ نشان می‌دهد که نرخ زوال محصولات از عوامل مؤثر در تعیین سیاست بهینه سفارش‌دهی و نیز سیاست حمل است.

در جدول ۸ مقادیر کاهش سود، صرفه‌جویی در گازهای گلخانه‌یی ایجاد شده و کاهش نوسان در نیروی انسانی زنجیره برای دو حالت $\bar{\theta} = (0.3, 0.5, 0.7)$ و $\bar{\theta} = (0.1, 0.15, 0.2)$ به ازای مقادیر مختلف وزن توابع هدف آمده است. براساس این جدول می‌توان گفت مدیران زنجیره با قبول کاهشی جزئی در سود مجموعه، می‌توانند بهبود مطلوبی در معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی ایجاد

جدول ۹. مقادیر بهینه‌ی اهداف و متغیرهای تصمیم‌گیری با در نظر داشتن معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی و اجتماعی $\theta = (0,03, 0,05, 0,07)$ ، $\beta = (0,4, 0,5, 0,6)$

w_1	w_2	w_3	Q_1	Q_2	Q_3	a_1	a_2	a_3	z_1	z_2	z_3
۱	۰	۰	۱۲۹۵۰	۱۱۷۷۵	۰	$[0, 2, 10][0, 0, 0]$	$[1, 0, 10][0, 0, 0]$	$[0, 0, 0][0, 0, 0]$	۵۱۴۳۹۰۰	۱۰۷۶۰۰	۲۷۲۳
۰,۹	۰,۰۵	۰,۰۵	۱۲۹۵۰	۱۰۰۰۰۰	۱۷۰۰	$[0, 0, 0][3, 0, 10]$	$[0, 0, 0][0, 1, 8]$	$[0, 0, 0][0, 2, 0]$	۵۱۰۶۳۰۰	۹۴۰۸۰	۲۵۴۸
۰,۸	۰,۱	۰,۱	۱۲۹۵۰	۹۹۸۴	۱۷۰۹	$[0, 0, 0][3, 0, 10]$	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][4, 0, 0]$	۵۱۰۲۱۰۰	۹۳۷۸۲	۲۵۴۳
۰,۷	۰,۱۵	۰,۱۵	۹۹۵۰	۹۹۵۵	۲۴۷۲	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][3, 0, 1]$	۴۷۴۴۶۰۰	۸۵۰۸۰	۱۸۳۴
۰,۶	۰,۲	۰,۲	۹۹۴۸	۹۹۴۵	۲۴۷۲	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][4, 0, 7]$	$[0, 0, 0][6, 0, 0]$	۴۷۳۹۳۰۰	۸۵۰۰۰	۱۸۳۲
۰,۵	۰,۲۵	۰,۲۵	۴۹۴۴	۴۹۹۲	۴۹۹۲	$[0, 0, 0][8, 0, 1]$	$[0, 0, 0][8, 0, 1]$	$[0, 0, 0][8, 0, 1]$	۴۴۹۹۲۰۰	۸۲۳۲۰	۱۹۱۳
۰,۴	۰,۳	۰,۳	۴۹۴۴	۴۹۹۲	۴۹۹۲	$[0, 0, 0][8, 0, 1]$	$[0, 0, 0][8, 0, 1]$	$[0, 0, 0][8, 0, 1]$	۴۴۹۹۲۰۰	۸۲۳۲۰	۱۹۱۳
۱,۳	۱,۳	۱,۳	۰	۰	۰	$[0, 0, 0][0, 0, 0]$	$[0, 0, 0][0, 0, 0]$	$[0, 0, 0][0, 0, 0]$	-۲۱۴۹۹۰۰	۰	۰

۳. کمیته‌سازی تغییر در تعداد نیروی انسانی زنجیره در طول افق برنامه‌ریزی (هدف اجتماعی) ارائه شد. نتایج عددی حاصله نشان دادند که با کاهش جزئی در سود زنجیره می‌توان کاهش قابل قبولی در گازهای گلخانه‌یی و تغییر در نیروی انسانی زنجیره مشاهده کرد.

برای انجام تحقیقات بیشتر می‌توان مسئله‌ی مورد مطالعه در این نوشتار را در موارد زیر مورد توجه قرار داد: ۱. وابستگی زمان تحویل محصول به مسیر و نوع وسیله‌ی حمل؛ ۲. مطالعه‌ی ریسک تصادف در طول حمل با در نظر گرفتن مشخصات وسایل حمل و نیز ویژگی‌های مسیر؛ ۳. توسعه‌ی مدل ارائه‌شده در این نوشتار با در نظر گرفتن فعالیت‌های لجستیک معکوس؛ ۴. توسعه‌ی مدل ارائه‌شده در این نوشتار برای زنجیره‌های تأمین با چند محصول و چند تأمین‌کننده‌ی مختلف.

تقدیر و تشکر

این کار پژوهشی با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام شده است.

نشده در این دوره با امکان بیشتری به دوره‌های بعد منتقل می‌شوند. در عوض وقتی $\beta = (0,4, 0,5, 0,6)$ آنگاه مقدار سفارش در دوره سوم بیشتر از مقدار سفارش برای $\beta = (0,03, 0,05, 0,07)$ است. دلیل این امر آن است که این دوره به نوعی پایان افق سه دوره‌یی برنامه‌ریزی است و بنابراین باید در حد امکان در دوره آخر تقاضاهای برآورده نشده پاسخ داده شوند.

۶. نتیجه‌گیری

در این نوشتار یک زنجیره‌ی تأمین رو به جلو با تصمیم‌گیری متمرکز مورد توجه قرار گرفت. پارامترهایی نظیر نرخ تقاضا، نرخ پس‌افت تقاضاهای معوق و نرخ زوال محصولات در راه و در انبار فازی فرض شد. همچنین زوال محصولات در راه تابعی از نوع وسیله‌ی حمل و نیز مسیر/روش حمل در نظر گرفته شد. با استفاده از تکنیک‌های خطی‌سازی، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی برای تعیین توام سیاست بهینه موجودی و حمل با توجه به سه هدف: ۱. بیشینه‌سازی سود زنجیره (هدف اقتصادی)؛ ۲. کمیته‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌یی (هدف زیست‌محیطی)؛

پانویس‌ها

1. world council on environment and development
2. our common future
3. Carbon tax
4. Carbon trading
5. partially backordered

6. disposal cost
7. mixed-integer linear model

(References) منابع

1. Whipple, J.M. and Frankel, R. "Strategic alliance success factors", *Journal of Supply Chain Management*, **36**(3), pp. 21-28 (2006).
2. Gunasekaran, A., Kee-hung, L. and Cheng, T.C.E. "Responsive supply chain: A competitive strategy in a networked economy", *Omega*, **36**(4), pp. 549-564 (2008).
3. Khouja, M. "Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain", *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review*, **39**(3), pp. 193-208 (2003).
4. Sepehri, M., Fayazbakhsh, K. "A corporate supply optimizer with flow network", *Scientia Iranica, Transaction E: Industrial Engineering*, **17**(1), pp. 70-83 (2010).
5. Brandenburg, M. Govindan, K., Sarkis, J., Seuring, S. "Quantitative models for sustainable supply chain management: developments and directions", *European Journal of Operational Research*, **233**(2), pp. 299-312 (2014).
6. Mirzapour Al-e-hashem, S.M.J., Baboli, A., Sazvar, Z. "A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: Considering flexible lead times, nonlinear purchase and shortage cost functions", *European Journal of Operational Research*, **230**(1), pp. 26-41 (2013).
7. Devika, K., Jafarian, A., Nourbakhsh, V. "Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of meta-heuristics hybridization techniques", *European Journal of Operational Research*, **235**(3), pp. 594-615 (2014).
8. Appleman, C.O. and J.M. Arthur. "Carbohydrate metabolism in green sweet corn", *Journal of Agricultural Research*, **17**, pp. 137-152 (1999).
9. Brundtland, G., *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*, Oxford University press, Oxford (1987).
10. Elkington, J., *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of the 21st Century*, Stoney Creek/CT: New Society.
11. Ghare, P.M., and Schrader, G.H. "A model for exponentially decaying inventory system", *International Journal of Production Research*, **21**(2), pp. 449-460 (1963).
12. Tsao, Y.C. and Sheen, G.J. "Dynamic pricing, promotion and replenishment policies for a deteriorating item under permissible delay in payments", *Computers & Operations Research*, **35**(11), pp. 3562-3580 (2008).
13. Whitin, T.M., *The Theory of Inventory Management*, Princeton University Press, Princeton, NJ, USA (1953).
14. Nahmias, S. "Perishable inventory theory: A review", *Operations Research*, **30**(4), pp. 680-708 (1982).
15. Prastacos, G.P. "Blood inventory management: An overview of theory and practice", *Management Science*, **30**(7), pp. 777-800 (1984).
16. Raafat, F. "Survey of literature on continuously deteriorating inventory models", *Journal of the Operational Research Society*, **42**(1), pp. 27-37 (1991).
17. Bakker, M., Riezebos, J., Teunter, R.H. "Review of inventory systems with deterioration since 2001", *European Journal of Operational Research*, **221**(2), pp. 275-284 (2012).
18. Blackburn, J. and Scudder, G. "Supply chain strategies for perishable products: The case of fresh produce, production and operations management", **18**(2), pp. 129-137 (2009).
19. Zanoni, S. and Zavanella, L. "Chilled or frozen? Decision strategies for sustainable food supply chains", *International Journal of Production Economics*, pp. 731-736 (2012).
20. Cai, X., Chen, J., Xiao, Y., Xu, X. "Optimization and coordination of fresh product supply chains with freshness-keeping effort", *Production and Operations Management*, **19**(3), pp. 261-278 (2010).
21. Abad, P.L. "Optimal pricing and lot-sizing under conditions of perishability, finite production and partial back-ordering and lost sale", *European Journal of Operational Research*, **144**(3), pp. 677-685 (2003).
22. Tsao, Y.C. and Sheen, G.J. "Dynamic pricing, promotion and replenishment policies for a deteriorating item under permissible delay in payments", *Computers & Operations Research*, **35**(11), pp. 3562-3580 (2008).
23. Akcay, Y., Natarajan, H.P., Xu, S.H. "Joint dynamic pricing of multiple perishable products under consumer choice", *Management Science*, **56**(8), pp. 1345-1361 (2010).
24. Shukla, M. and Jharkharia, S. "Agri-fresh produce supply chain management: a state-of-the-art literature review", *International Journal of Operations and Production Management*, **33**(2), pp. 114-158 (2013).
25. Amorim, P., Gunther, H.O., Almada-Lobo, B. "Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products", *International Journal of Production Economics*, **138**(1), pp. 89-101 (2012).
26. Sazvar Z., Mirzapour Al-e-hashem S.M.J., Baboli A., Akbari Jokar M.R. "A bi-objective stochastic programming model for a centralized green supply chain with deteriorating products", *International Journal of Production Economics*, **150**, pp. 140-154 (2014).
27. Alvelar-Sosa, L., Garcia-Alcaraz, J.L., Vergara-Villegas, O.O. "Impact of traditional and international logistic policies in supply chain performance", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **24**(4), pp. 265-287 (2014).
28. Fearne, A. and Hughes, D. "Success factors in the fresh produce supply chain: insights from the UK", *Supply Chain Manag. Int. J.*, **4**(3), pp. 120-131 (1999).
29. Zakeri, A., Dehghanian, F., Fahimnia, B., Sarkis, J. "Carbon pricing versus emissions trading: A supply chain planning perspective", *International Journal of Production Economics*, **164**, pp. 197-205 (2015).
30. Zadeh, L. "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility", *Fuzzy Sets and Systems*, **1**(1), pp. 13-28 (1978).
31. Sahinidis, N.V. "Optimization under uncertainty: State-of-the-art and opportunities", *Comput. Chem. Engineering*, **28**(6-7), pp. 971-983 (2004).

32. Pishvaei, M.S. and Torabi, S.A. "A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty", *Fuzzy Sets and Systems*, **161**(2), pp. 2668-2683 (2010).
33. Lin, T.M. and Liang, T.F. "Aggregate production planning with multiple fuzzy goals", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, **19**(4), pp. 39-47 (2002).
34. Wang, R.C. and Liang, T.F. "Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning", *International Journal of Production Economics*, **98**(3), pp. 328-341 (2005).
35. Ko, M., Tiwari, A., Mehnen, J. "A review of soft computing applications in supply chain management", *Applied Soft Computing* **10**(3), pp. 661-674 (2010).
36. Chen, H.P., Du, J.B., Mu, D. "Analysis of fuzzy programming model of supply chain with uncertain supply and demand", *Logistics Technology*, **2**, pp. 155-158 (2010).
37. Cardona-Valdes, Y., Alvarez, A. Ozdemir, D. "A bi-objective supply chain design problem with uncertainty", *Transport. Res. Part C*, **19**, pp. 821-832 (2011).
38. Sazvar, Z. Baboli, A. and Jokar, M. "A replenishment policy for perishable products with non-linear holding cost under stochastic supply lead time", *Int. Journal Advanced Manuf. Technology*, **64**(5-8), pp. 1087-1098 (2012).
39. Jimenez, M. Arenas, M. Bilbao, A. and Rodriguez, M.V. "Linear programming with fuzzy parameters: An interactive method resolution", *European Journal of Operational Research*, **177**(7), pp. 1599-1609 (2007).