نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال هفتم، شماره پانزدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۱۹-۲۳۹
www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2269

DOI: 10.22084/ier.2020.17234.1791

توسعه مدل برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو برای مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن فروش و اجاره مجدد

شیما حقیقت‌پناه راسته‌کناری[۱]، حامد داوری اردکانی[۲*]، علی قدرت‌نما[۳]

۱. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۳۹۷/۶/۱۶
پذیرش ۱۳۹۸/۹/۴

کلمات کلیدی:
طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته
برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو
فروش و اجاره مجدد دارایی‌ها

خلاصه

امروزه موضوع لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته موردتوجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است. مهم‌ترین دلایل این امر را می‌توان تأکید بر ملاحظات زیست‌محیطی، افزایش رضایت مشتری و مزایای اقتصادی حاصل از آن دانست. در پژوهش حاضر، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو برای مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با درنظرگرفتن فروش و اجاره مجدد دارایی‌ها ارائه می‌شود. فروش و اجاره مجدد دارایی‌های ثابت می‌تواند نقدشوندگی کل دارایی‌ها را افزایش دهد و نقدینگی لازم برای سایر فعالیت‌ها را فراهم کند. مدل بهینه‌سازی تصادفی ارائه‌شده به‌دنبال بیشینه‌سازی سود زنجیره پس از کسر مالیات است و منطبق بر استانداردهای حسابداری فروش و اجاره مجدد طراحی می‌شود. پس از مدل‌سازی مسأله، حل آن به‌صورت دقیق انجام می‌شود و تأثیر فروش و اجاره مجدد بر شبکه ارزیابی می‌گردد. در نهایت، تحلیل حساسیت پارامترهای ضریب ذخیره اطمینان، ارزش منصفانه هر مرکز بالقوه به‌صورت مجزا، نرخ بهره ضمنی اجاره و نرخ استقراضی افزایش مستأجر صورت می‌گیرد.

۱- مقدمه

شرایط رقابتی دنیای امروز، الزامات قانونی و حساسیت‌های زیست‌محیطی، سازمان‌ها را مسئول جمع‌آوری محصولات برگشتی خود کرده است تا به احیا، بازیافت و یا انهدام این محصولات به‌منظور حفظ محیط‌زیست اقدام ورزند. امروزه لجستیک معکوس به رویکردی مهم برای کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی، کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری از طریق ارائه خدمات و محصولات جدیدی که از محصولات بازیافت به دست می‌آیند، تبدیل شده است. در زنجیره تأمین روبه‌جلو، فعالیت‌هایی نظیر تولید و برنامه‌ریزی توزیع انجام می‌شوند. در زنجیره معکوس، فعالیت‌هایی نظیر برنامه‌ریزی بازیافت محصولات، جداسازی محصولات معیوب و تعمیر یا انهدام صورت می‌گیرد. ادغام فعالیت‌های لجستیک معکوس، تغییرات عمده‌ای در ساختار زنجیره تأمین شرکت‌ها به وجود آورده است. از آنجا که کارایی زنجیره‌های روبه‌جلو و معکوس به میزان قابل‌توجهی با هم در ارتباط هستند و عملکرد هر کدام بر کل زنجیره تأمین اثرگذار است، استفاده از یکپارچه‌سازی مناسب که قادر به حفاظت از هر دو جریان روبه‌جلو و معکوس باشد، امری ضروری است. زنجیره تأمین حلقه بسته، جریان‌های روبه‌جلو و معکوس را به‌صورت یکپارچه در نظر می‌گیرد [۱].

مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته شامل دسته‌ای از مسائل هستند که جریان مواد برگشتی از مشتریان، بازیافت آن‌ها و برگشت این مواد به چرخه تولید را نیز در نظر می‌گیرند. هدف اصلی، تعیین جریان مواد

* نویسنده مسئول: حامد داوری اردکانی
تلفن: ۸۸۸۳۰۸۹۱-۰۲۱؛ پست الکترونیکی: davari@khu.ac.ir

(خام، در دست ساخت و محصول نهایی) بین تمام گره‌های زنجیره تأمین است، به‌گونه‌ای‌که هزینه‌های حمل‌ونقل، بازیافت و تأمین مواد خام کمینه یا به‌عبارت‌دیگر سود بیشینه شود. گاهی اوقات به مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته مسائل زنجیره تأمین دوستدار محیط‌زیست نیز می‌گویند. هدف چنین مسائلی کمینه‌کردن اتلاف مواد در طول چرخه عمر محصول است [۲]. در مسائل زنجیره تأمین حلقه بسته مسیرهای روبه‌جلو و معکوس به هم وابسته بوده و بر روی هم تأثیر می‌گذارند. به این معنی که تولیداتی که هنوز به‌دست مشتریان نرسیده است، نمی‌تواند برگشت داده شود. تأثیر متقابل این دو مسیر با توجه به نوع محصول متفاوت است. برای محصولاتی مانند جواهرات که مواد اولیه بسیارکمیاب یا گرانی دارند، میزان وابستگی بیشتر می‌باشد و تقریباً تمام محصولات جدید از بازیافت محصولات برگشتی به‌دست می‌آیند.

مدیریت مالی زنجیره‌های تأمین، مفهومی نوین و کاربردی است که به‌خصوص پس از بحران مالی سال ۲۰۰۸ به طرز گسترده‌ای در جهان مورد استقبال و استفاده قرار گرفته است. فروش و اجاره مجدد[1] (SLB) مفهومی در مدیریت مالی است که مدیران زنجیره تأمین با استفاده از آن می‌توانند مشکلات حوزه نقدینگی را حل کنند و تأمین مالی لازم برای فعالیت‌های آتی را در سطح قابل قبولی انجام دهند. یک معامله فروش و اجاره مجدد متضمن فروش دارایی و اجاره آن توسط فروشنده است. این ابزار در شرایط کمبود نقدینگی و عدم امکان استقراض می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کارآمد تأمین مالی مفید واقع شود. مبالغ اجاره و قیمت فروش دارایی معمولاً به هم وابسته‌اند، زیرا هر دو به‌طور توأم مورد مذاکره قرار می‌گیرند. لانگینیدیس و جورجیادیس [۳] به بررسی یک زنجیره تأمین پرداخته‌اند که در آن، یک شرکت در یک زنجیره تأمین قادر به تصمیم‌گیری در این خصوص است که دارایی‌های ثابت خود از قبیل انبارها، مراکز توزیع و ... را تحت مالکیت داشته‌باشد، یا آن‌ها را به فروش برساند و دوباره اجاره کند.

اگرچه فروش و اجاره مجدد یک مفهوم جدید در مدیریت مالی نیست، اما از اواسط دهه ۱۹۹۰ با افزایش تعداد و پراکندگی صنایع، توجه به این معاملات گسترش یافته‌است. بسیاری از مطالعات حاکی از آن است که توجه به فروش و اجاره مجدد دارای ارزش‌افزوده و یک منبع مناسب تأمین مالی است، وضعیت نقدینگی را بهبود می‌بخشد و ارزش پنهان دارایی‌های شرکت را نشان می‌دهد. در یک زنجیره تأمین، کارخانه‌ها، انبارها، مراکز توزیع و سایر تسهیلات در طول زنجیره مقادیر زیادی سرمایه را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین بودجه تخصیص‌یافته به دارایی‌های غیرمولد، مانع از رشد سرمایه‌گذاری در سایر پروژه‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت می‌شود. یکپارچه‌سازی تکنیک تأمین مالی فروش و اجاره مجدد و زنجیره تأمین به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا در صورت لزوم، دارایی‌های سرمایه‌بر خود را بفروشند و ضمن اجاره مجدد آن، نقدینگی لازم را برای سایر فعالیت‌های مولد ارزش‌افزوده به‌کار گیرند [۳].

طبیعت پویا و پیچیده جهان امروز، باعث عدم‌قطعیت قابل توجه در زنجیره‌های تأمین‌شده و برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در این حوزه را با دشواری‌های زیادی مواجه ساخته است. در نظر گرفتن عدم‌قطعیت پارامترهای ورودی کلیدی مانند تقاضا می‌تواند کاربردپذیری مدل‌های توسعه‌یافته در این حوزه را افزایش دهد.

پژوهش حاضر به بسط و تعمیم مدل ارائه‌شده توسط لانگینیدیس و جورجیادیس [۳] می‌پردازد. به‌بیان‌دیگر، یک مدل بهینه‌سازی برای زنجیره تأمین حلقه بسته در حالت چنددوره‌ای و چندمحصولی و در شرایط عدم‌قطعیت تصادفی با در نظر گرفتن امکان فروش و اجاره مجدد دارایی‌های ثابت ارائه و حل می‌شود. نوآوری این مقاله شامل در نظر گرفتن رویکرد مالی فروش و اجاره مجدد برای تسهیلات زنجیره تأمین توأم با در نظر گرفتن فعالیت‌های لجستیک معکوس شامل جمع‌آوری محصولات و بازرسی آن‌ها، تعمیر و یا انهدام و ادغام آن با لجستیک پیشرو در چارچوب طراحی شبکه زنجیره‌تأمین در شرایط عدم‌قطعیت می‌باشد.

این مقاله در پنج بخش تنظیم شده است. در بخش دوم به معرفی موضوع و پیشینه پژوهش پرداخته شده است. در بخش سوم مفروضات مسأله و مدل بهینه‌سازی تصادفی فرمول‌بندی‌شده تشریح شده‌اند. بخش چهارم به نتایج محاسباتی، اعتبارسنجی و تحلیل حساسیت اختصاص یافته‌است. نهایتاً در فصل پنجم، نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آتی ارائه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

با اهمیت یافتن مسائلی چون حفاظت محیط‌زیست و استفاده کمتر از مواد خام، دولت‌ها بیشتری تمایل به بازیافت محصولات پیدا کرده‌اند تا این محصولات پس از تغییراتی دوباره در اختیار کارخانجات تولیدی قرار گیرند. برخورداری از چنین قابلیتی، تفاوت کلیدی زنجیره تأمین روبه‌جلو و زنجیره تأمین حلقه بسته است. از کاربردهای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در دنیای واقعی، می‌توان به سیستم تولید و بازیافت پلاستیک، کاغذ، شیشه، مصالح ساختمانی، تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، فرش، باتری، صنایع اتومبیل، کامپیوتر، تلفن همراه و ... اشاره کرد.

اگرچه بحث مرجوع‌کردن کالا از دوران آغازین تجارت وجود داشته است، اما بحث لجستیک معکوس توجه پژوهشگران را از اوایل دهه ۱۹۹۰ به خود جلب کرده است. دامنه مطالعات در این زمینه، از مدل‌های ساده مکان‌یابی تسهیلات بدون ظرفیت تا مدل‌های پیچیده چندهدفه را در بر می‌گیرد [۴]. با نگاهی به ادبیات زنجیره تأمین درمی‌یابیم که بخش قابل‌توجهی از آن در زمینه طراحی شبکه لجستیک پیشرو است و بخش کمتری به طراحی شبکه لجستیک معکوس با هدف بهینه‌سازی جریان معکوس از مشتریان به مراکز بازیابی و انهدام مناسب، تعیین تعداد مراکز جمع‌آوری، بازیابی و انهدام، مکان‌های آن‌ها و ظرفیت‌های آن‌ها می‌پردازد. بااین‌حال، مروری بر

1. Sale and leaseback

ادبیات لجستیک معکوس، نشان می‌دهد که پس از سال ۲۰۰۵، بحث لجستیک معکوس محور اصلی بخش زیادی از مطالعات حوزه زنجیره تأمین بوده است [۵].

فلیشمن و همکاران [۶] نشان دادند که بهینه‌سازی همزمان شبکه پیشرو و معکوس، در مقایسه با طراحی جداگانه آن‌ها صرفه‌جویی قابل‌توجهی در هزینه را دربردارد. چنین رویکردی می‌تواند باعث جلوگیری از زیربهینگی ناشی از طراحی جداگانه لجستیک پیشرو و معکوس شود [۷]. سالما و همکاران [۸] مدل فلیشمن و همکاران [۶] را به یک شبکه توزیع معکوس چندمحصولی ظرفیت‌دار در شرایط عدم‌قطعیت تقاضا و با درنظرگرفتن امکان برگشت محصول توسعه دادند. لو و بوستل [۹] یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای طراحی یکپارچه شبکه‌های مستقیم و معکوس با درنظرگرفتن تسهیلات مشترک و با هدف حداقل‌سازی هزینه ارائه کردند. برای حل مدل پیشنهادی، یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای لاگرانژ ارائه گردید. کیواین و جی [۱۰] به طراحی شبکه لجستیک معکوس با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی فازی پرداختند و به‌منظور حل آن از یک الگوریتم هوشمند ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی فازی استفاده کردند. السید و همکاران [۱۱] یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط تصادفی چندمرحله‌ای را برای طراحی شبکه لجستیک پیشرو - معکوس چندلایه‌ای و چنددوره‌ای توأم با ریسک با هدف حداکثرکردن کل سود مورد انتظار ارائه کردند. مایترا [۱۲] به مدل‌سازی قطعی و احتمالی زنجیره تأمین حلقه بسته دو سطحی با در نظر گرفتن هزینه نگهداری موجودی در تمام مراحل و هزینه کمبود با درنظرگرفتن همبستگی تقاضا پرداخت. گارگ و همکاران [۱۳] به مدل‌سازی یک مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با دو سطح پیشرو و پنج سطح بازگشت و با هدف کمینه‌سازی هزینه پرداختند. ریومین و همکاران [۱۴] به مدل‌سازی مسأله دوهدفه طراحی شبکه سه‌سطحی زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن اهداف هزینه‌ای و زیست‌محیطی در قالب برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط پرداختند و آن را به کمک روش معیار جامع حل کردند. بدری و همکاران [۱۵] به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای طراحی شبکه زنجیره تأمین مبتنی بر ارزش پرداختند. مدل ارائه‌شده، سه سطحی، چند محصولی و چند دوره‌ای و سطوح تصمیم‌گیری آن تاکتیکی و استراتژیک است. یان یان کوی و همکاران [۱۶] یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته شامل چندین تولیدکننده و تولیدکننده واسطه‌ای و مراکز مشتری را ارائه کردند. در شبکه مورد مطالعه، عدم‌قطعیت تقاضا و امکان برگشت کالا به‌طور همزمان درنظرگرفته شده است. برای حل مسأله از یک الگوریتم کلونی زنبورعسل استفاده شده است. کملش پنت و همکاران [۱۷] یک مدل زنجیره تأمین حلقه بسته شامل چهار سطح روبه‌جلو و شش سطح رو به عقب را در قالب برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه کردند و به حل آن با استفاده از روش شاخه و کران پرداختند. زینب اسیم و همکاران [۱۸] یک مدل زنجیره تأمین حلقه بسته فازی چند سطحی را توسعه دادند که در آن، تولید و حمل‌ونقل نیز درنظرگرفته شده است. مسأله مورد مطالعه، شامل تأمین‌کننده مواد اولیه، تجهیزات ترکیبی، مشتری‌ها، مراکز جمع‌آوری و مرکز انهدام می‌باشد. اهداف مدل ارائه‌شده شامل سه تابع هدف کمینه‌سازی هزینه، محصولات معیوب و زمان تحویل می‌باشد. پارامترهای عرضه و تقاضا نیز دارای عدم‌قطعیت هستند.

با وجود اهمیت شایان توجه جنبه‌های مالی در مدیریت زنجیره تأمین، تعداد کمی از پژوهشگران به این موضوع پرداخته‌اند. گیوایلن و همکاران [۱۹] به ارائه یک مدل ریاضی پرداختند که به‌طور همزمان فعالیت‌های عملیاتی و مالی زنجیره تأمین را بهینه می‌کند. پیوایگجانر و همکاران [۲۰] به بهینه‌سازی زنجیره تأمین در سطح عملیاتی با در نظر گرفتن ملاحظات مالی شامل سرمایه‌گذاری، نرخ بهره، حسابهای دریافتنی، پرداخت‌ها، پول نقد و بدهی پرداختند. سدهی و تانگ [۲۱] مدل‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین را با در نظرگرفتن مفروضات مدیریت دارایی- بدهی توسعه دادند. نراهریستی و همکاران [۲۲] به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه زنجیره تأمین توأم با مسأله بودجه‌بندی سرمایه‌ای با در نظر گرفتن وام و اوراق قرضه در یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین قطعی پرداختند. لائینز و همکاران [۲۳] به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی پرداختند که تصمیم‌های راهبردی زنجیره تأمین و بازاریابی را در قالب یک چارچوب یکپارچه بهینه می‌کند، و در کنار آن نیز یک مدل مالی را برای ارزیابی ارزش سازمان مدنظر قرار می‌دهد. لانگینیدیس و جورجیادیس [۲۴] به ارائه یک مدل بهینه‌سازی تصادفی مبتنی بر سناریو می‌پردازند که در آن تجزیه‌وتحلیل صورت‌های مالی با تصمیم‌های طراحی زنجیره تأمین در شرایط تصادفی‌بودن تقاضا تلفیق می‌شوند. نیکل و همکاران [۲۵] به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه زنجیره تأمین توأم با بودجه‌بندی سرمایه‌ای در شرایط عدم‌قطعیت تقاضا و نرخ بهره پرداختند. رمضانی و همکاران [۲۶] به مطالعه مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با درنظرگرفتن رویکردهای عملیاتی و مالی و با هدف بهینه‌سازی تغییرات حقوق صاحبان سهام پرداختند. کلانتری و همکاران [۲۷] به مدل‌سازی برنامه‌ریزی یکپارچه تدارک، تولید و توزیع برای یک زنجیره تأمین چندمحصولی، به‌منظور بیشینه‌سازی سود تولیدکننده و نیز کمینه‌سازی انحرافات شاخص‌های مالی تولیدکننده از حدود مطلوب با درنظرگرفتن توأم جریان عملیاتی و مالی پرداختند. محمدی و همکاران [۲۸] مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی با رویکرد عملیاتی و مالی را در سطوح تاکتیکی و استراتژیک مورد مطالعه قرار دادند. اهداف این مطالعه شامل ارزش شرکت، تغییر در ارزش سهام و ارزش‌افزوده اقتصادی هستند. مقادیر هر هدف توسط هر دو رویکرد مقایسه می‌شوند و اهداف مسأله، به کمک برنامه‌ریزی فازی به‌طور همزمان ارزیابی می‌شوند. وفا ارانی و ترابی [۲۹] یک مدل ترکیبی احتمالی-تصادفی مختلط دوهدفه را برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین ارائه کردند که در آن، برنامه‌های تاکتیکی فیزیکی و مالی ادغام

شده است. به دلیل وجود عدم اطمینان و عدم قطعیت، داده‌های ورودی به‌صورت فازی و تصادفی فازی درنظرگرفته می‌شوند. هوآی یانگ و همکاران [۳۰] تصمیمات مربوط به تأمین مالی و قیمت‌گذاری را در یک زنجیره تأمین بررسی کردند. در مدل مورد مطالعه، تقاضای خرده-فروش توسط یک تولیدکننده مستقل و یک تولیدکننده جدید با سرمایه محدود تأمین می‌شود.

فروش و اجاره مجدد یکی از روش‌هایی است که در مطالعات حوزه زنجیره تأمین کمتر موردتوجه قرار گرفته است. این در حالی است که این روش، با آزادسازی سرمایه راکد مربوط به دارایی‌های ثابت با نقدشوندگی پایین مانند املاک و مستغلات می‌تواند نقش ارزشمندی در تأمین مالی زنجیره داشته‌باشد. به‌علاوه، استفاده از این ابزار می‌تواند مزایای مالیاتی نیز به دنبال داشته‌باشد. جُهامی لینگ [۳۱] به بررسی دیدگاه سرمایه‌گذاران و شرکت‌های مشارکت‌کننده در فروش و اجاره در مالزی پرداخت و عوامل تأثیرگذار بر فروش و اجاره مجدد و مزایا و معایب آن را مورد مطالعه قرار داد. لانگینیدیس و جورجیادیس [۳] یک مدل غیرخطی طراحی شبکه زنجیره تامین را گسترش دادند که دربردارنده عدم‌قطعیت بر مبنای سناریو است. در مدل ارائه‌شده، رویکرد فروش و اجاره مجدد در نظرگرفته‌شد.

۳- مدلسازی ریاضی

۳-۱- مفروضات

در مقاله حاضر، مدل زنجیره تأمین حلقه بسته چندمحصولی و چنددوره‌ای در دو مسیر پیشرو و معکوس در نظر گرفته‌شده است. مسیر پیشرو شامل چهار سطح کارخانه (P)، انبار (W)، مرکز توزیع (DC) و مشتری (C) و مسیر معکوس شامل سه سطح مرکز جمع‌آوری (CC)، مرکز تعمیر (RC) و مرکز انهدام (DPC) است. شکل ۱ نمایش‌دهنده این شبکه است. کارخانه‌ها چند نوع محصول را تولید می‌کنند که از انبار به مراکز توزیع انتقال پیدا می‌کنند. به‌منظور تأمین تقاضای پیش‌بینی‌شده، محصولات از مراکز توزیع به مشتری‌ها انتقال می‌یابند. تقاضای برآورده شده مشتری به دلایلی ممکن است دارای عیوبی باشد که به مراکز جمع‌آوری منتقل می‌شود تا محصولاتی که قابل بازتولید و قابل تعمیر هستند، از هم تفکیک شوند و دسته‌ای که به‌طور کامل معیوب هستند، به مراکز انهدام انتقال یابند. محصولاتی که نیاز به بازتولید دارند، به کارخانه‌ها و محصولاتی که به تعمیر نیاز دارند، به مراکز تعمیر و پس از تعمیر به مراکز توزیع هدایت می‌شوند. ازجمله مکان‌های مشخص در این زنجیره، مکان کارخانه‌ها و مشتری‌ها و مراکز انهدام است. انبارها، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری محصول برگشتی و مراکز تعمیر، تسهیلاتی هستند که توسط مدل با توجه به مجموعه‌ای از شرایط باید در مورد تأسیس و همچنین وضعیت مالکیت آن‌ها تصمیم‌گیری شود. عواملی که باید در مورد آن‌ها تصمیم‌گیری شود، به قرار زیرند:

۱- تعداد و مکان و ظرفیت انبارها، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز تعمیر.

۲- خطوط انتقالی که نیاز است در شبکه ایجاد شود.

۳- تعداد و مدت زمانی که انبارها، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز تعمیر تحت فروش و اجاره مجدد قرار می‌گیرد.

۴- جریان محصولات در شبکه.

۵- نرخ تولید در کارخانه‌ها.

۶- سطح موجودی در هر کارخانه، انبار و مراکز توزیع.

۳-۲- بیان مسئله

هدف مدل حداکثرکردن ارزش به‌دست‌آمده از سود مالی زنجیره است که شامل سود خالص عملیاتی بعد از کسر مالیات[1](NOPAT) و سود به‌دست آمده از فروش و اجاره مجدد[2](UPSLB) تحت تمام سناریوها در افق برنامه‌ریزی می‌باشد. افق برنامه‌ریزی بر اساس عمر اقتصادی[3](EL) دارایی ثابت و بر این اساس که در ۷۵٪ از طول عمر اقتصادی تصمیمات مربوط به فروش و اجاره مجدد گرفته شود، تعیین می‌شود. بنابراین، به‌عنوان‌مثال، افق زمانی یک دارایی ثابت با عمر اقتصادی ۲۰ سال معادل ۵ سال است. در پایان هر یک از این دوره‌ها وضعیت فروش و اجاره مجدد بررسی می‌شود و اگر این عمل دارای ارزش‌افزوده باشد، فرایند SLB شروع می‌شود و تا پایان دوره ادامه می‌یابد.

به‌منظور بیان عدم‌قطعیت از رویکرد سناریو جهت مدلسازی استفاده‌شده‌است. شکل ۲ که برگرفته از مقاله لانگینیدیس و جورجیادیس [۳] است، شامل تصمیمات حال حاضر[4] و انتظار و مشاهده[5] است. تصمیم‌گیرندگان در مراحل اولیه افق برنامه‌ریزی می‌توانند تصمیمات لازم را بگیرند، اما تصمیمات بعدی باید در شرایطی گرفته شود که اطلاعات دارای عدم‌قطعیت در زمان‌های بعدی افزوده می‌شود. در بسیاری از مسائل به‌طور معمول رویکرد سناریو را به‌صورتی که در شکل نشان داده‌شده است، فرض می‌کنند. تعداد سناریوها بر اساس افق برنامه‌ریزی که ۷۵٪ عمر اقتصادی دارایی است، تعیین می-شود. بنابراین تعداد سناریوها توسط فرمول $(2^{\frac{EL}{4}-1})$ تعیین می‌شود. در مدل ارائه شده هر یک از سناریوها را در احتمال وقوع سناریو Ψ_s ضرب می‌شود که مجموع احتمال آن‌ها باید یک شود $(\sum_{S=1}^{2^{\frac{EL}{4}-1}} \Psi_s = 1)$.

تقاضای محصول$(DM_{ict}^{[s]})$، ارزش منصفانه دارایی[6] $(FV_{nt}^{[s]}, FV_{mt}^{[s]}, FV_{kt}^{[s]})$، نرخ استقراضی افزایش مستأجر[7] $(FV_{rt}^{[s]})$، نرخ بهره ضمنی در اجاره[8] $(LIBR_{mt}^{[s]}, LIBR_{kt}^{[s]}, LIBR_{nt}^{[s]}, LIBR_{rt}^{[s]})$، نسبت محصول $(IRIL_{mt}^{[s]}, IRIL_{kt}^{[s]}, IRIL_{nt}^{[s]}, IRIL_{rt}^{[s]})$

1. Net Operating Profit After Taxes
2. Unearned Profit on Sale and Leaseback
3. Economic Life
4. Here-and-now
5. Wait-and-see
6. Asset's Fair Value
7. Lessee's Incremental Borrowing Rate
8. Interest Rate Implicit in the Lease

بازگشتی($RR_{it}^{[s]}$)، نسبت تعمیر($RP_{it}^{[s]}$)، نسبت بازتولید($RM_{it}^{[s]}$) پارامترهای دارای عدم‌قطعیت هستند. مقادیر این پارامترها توسط تصمیم‌گیرندگان ارائه می‌شود، زیرا آن‌ها دارای اطلاعات، دانش و تجربه تعیین این مقادیر تحت هر موقعیت و هر دوره می‌باشند.

ارزش منصفانه (FV) معادل مبلغی است که طی آن یک دارایی می‌تواند بین افراد آگاه و علاقه‌مند طی یک قرارداد مبادله شود. نرخ بهره ضمنی اجاره (IRIL)، نرخ تنزیلی است که در شروع اجاره باعث می‌شود که ارزش فعلی حداقل پرداخت‌های اجاره معادل مجموع ارزش منصفانه دارایی اجاره شده باشد. نرخ استقراضی افزایش مستأجر (LIBR) نرخ بهره‌ای است که مستأجر ناگزیر از پرداخت آن در یک اجاره مشابه خواهد بود. اگر این نرخ قابل‌تعیین نباشد، نرخی است که در شروع اجاره، مستأجر مبلغ لازم برای خرید دارایی را در یک دوره مشابه با یک دارایی مشابه قرض خواهد کرد. اختلاف ارزش منصفانه و ارزش اسمی، سود تحقق‌نیافته SLB است و همچنین مستهلک شدن دارایی‌های مشمول فروش و اجاره مجدد باید با مستهلک شدن دارایی‌های تحت تملک سازگار باشد.

معامله SLB می‌تواند بدون توجه به ارزش منصفانه و ارزش فعلی پرداخت‌های اجاره انجام شود. بااین‌حال شرکت‌ها ترجیح می‌دهند که ارزش منصفانه بالاتر از ارزش فعلی حداقل پرداخت اجاره جهت تولید ارزش خالص مثبت باشد. نامساوی زیر شرایط اساسی برای ارزش ایجاد معامله SLB برای هر دارایی ثابت و در هر دوره زمانی را نشان می‌دهد.

$$FV \geq PVLP \quad \leftrightarrow \quad (۱-۱)$$

$$FV \geq PMT \times \frac{1-(1+LIBR)^{-T}}{LIBR} \quad \leftrightarrow \quad (۱-۲)$$

$$FV \geq \frac{FV}{\left(1-(1+IRIL)^{-T}\right)/IRIL} \times \frac{1-(1+LIBR)^{-T}}{LIBR} \quad (۱)$$

ارزش منصفانه یک دارایی (FV) باید بزرگ‌تر یا مساوی ارزش فعلی حداقل پرداخت اجاره (PVLP) باشد. PVLP با استفاده از پرداخت سالانه حاصل از پرداخت حداقل اجاره (PMT) و یک فاکتور تخفیف با ورودی نرخ استقراضی افزایش مستأجر در مدت قرارداد SLB (T) محاسبه می‌شود. PMT نیز به‌عنوان یک پرداخت سالانه از طریق تقسیم FV و یک عامل تخفیف با ورودی نرخ بهره ضمنی در اجاره در مدت قرارداد SLB (T) محاسبه می‌شود. با فاکتور گرفتن از FV از دو طرف، نامساوی (۱) به‌صورت نامساوی (۲) بازنویسی می‌شود.

$$0 \geq FV\left(\frac{\left(1-(1+LIBR)^{-T}\right)/LIBR}{\left(1-(1+IRIL)^{-T}\right)/IRIL} - 1\right) \quad (۲)$$

FV، LIBR و IRIL مقداری مثبت دارند و نامساوی (۲) زمانی تحقق می‌یابد که سمت راست منفی باشد و زمانی این اتفاق می‌افتد که نسبت فاکتورهای تخفیف کمتر از یک باشند. این مفهوم در نامساوی (۳) آورده شده است که شرط لازم برای وقوع SLB است.

$$1 \geq \frac{DF_T^{LIBR}}{DF_T^{IRIL}} \quad (۳)$$

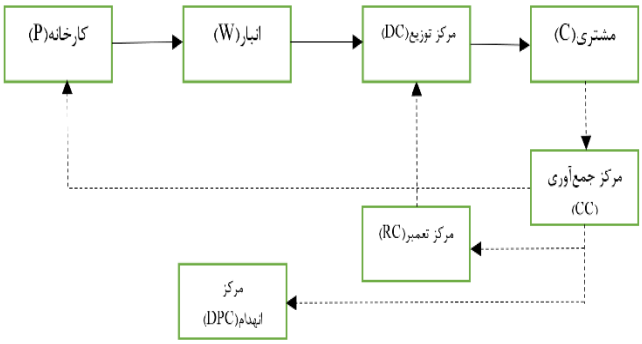
این شرط لازم برای وقوع SLB برای هر دارایی و در هر دوره تنها وابسته به دو پارامتر است که مقادیر آن‌ها برای هر دارایی و هر دوره متغیر است.

سود حاصل از SLB بوسیله اصطلاح سود تحقق نیافته SLB (UPSLB) که اختلاف بین ارزش منصفانه (FV) و ارزش دفتری (BV) یک دارایی است، اندازه‌گیری می‌شود. رابطه (۱-۴) مقدار UPSLB را محاسبه می‌کند.

$$UPSLB = FV - BV \quad \leftrightarrow \quad (۴-۱)$$

$$UPSLB = FV - (ECST - ACDPR) \leftrightarrow \quad (۴-۲)$$

$$UPSLB = FV - (ECST - \tau DRECST) \quad (۴)$$



شکل (۱): جریان محصول در زنجیره تأمین حلقه بسته

۳-۳- مجموعه‌ها

E: مجموعه منابع تولیدی (e∈ E)

I: مجموعه محصولات (i∈ I)

J: مجموعه کارخانجات تولیدی و باز تولیدی (j∈ J)

M: مجموعه انبار کاندیدا (m∈ M)

K: مجموعه مراکز توزیع کاندیدا (k∈ K)

C: مجموعه مشتری (c∈ C)

N: مجموعه مراکز جمع‌آوری کاندیدا (n∈ N)

R: مجموعه مراکز تعمیر کاندیدا (r∈ R)

L: مجموعه مراکز انهدام (l∈ L)

T: مجموعه دوره‌های زمانی (t∈ T)

S: مجموعه سناریو (s∈ S)

۴-۳- پارامترها

پارامتر هزینه

C_m^W: هزینه ثابت احداث انبار در مکان m

C_k^{DC}: هزینه ثابت احداث مرکز توزیع در مکان k

C_n^{CC}: هزینه ثابت احداث مرکز جمع‌آوری در مکان n

C_r^{RC}: هزینه ثابت احداث مرکز تعمیر در مکان r

C_{ijm}^{TR}: هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول i از کارخانهj به انبار m

C_{imk}^{TR}: هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول i از انبار m به مرکز توزیع k

C_{ikc}^{TR}: هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول i از مرکز توزیع k به مشتری c

C_{icn}^{TR}: هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول برگشتی i از مشتری c به مرکز جمع‌آوری n

C_{inj}^{TR}: هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول برگشتی i از مرکز جمع‌آوری

n به کارخانه j

C_{inr}^{TR}: هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول برگشتی i از مرکز جمع‌آوری n به مرکز تعمیر r

C_{inl}^{TR}: هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول برگشتی i از مرکز جمع‌آوری n به مرکز انهدام l

C_{irk}^{TR} : هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول برگشتی i از مرکز تعمیر r به مرکز توزیع k

C_{ik}^{DH}: هزینه جابجایی هر واحد محصول i در مرکز توزیع k

C_{im}^{WH}: هزینه جابجایی هر واحد محصول i در انبار m

C_{ij}^{P}: هزینه تولید هر واحد محصول i درکارخانه j

C_{ij}^{rem}: هزینه بازتولید هر واحد محصول i درکارخانه j

C_{ir}^{rep}: هزینه تعمیر هر واحد محصول i در مرکز تعمیر r

C_{il}^{dis}: هزینه انهدام هر واحد محصول i در مرکز انهدام l

C_{in}^{ins}: هزینه بازرسی و جمع‌آوری هر واحد محصول i در مرکز جمع‌آوری n

C_{ij}^{I}: هزینه واحد موجودی محصول i درکارخانه j

C_{im}^{I}: هزینه واحد موجودی محصول i در انبار m

C_{ik}^{I}: هزینه واحد موجودی محصول i در مرکز توزیع k

پارامتر ظرفیت

P_{ijt}^{max}: حداکثر ظرفیت تولید کارخانه j برای محصول i در طول دوره t

P_{ijt}^{min}: حداقل ظرفیت تولید کارخانه j برای محصول i در طول دوره t

W_{m}^{max}: حداکثر ظرفیت انبار m

W_{m}^{min}: حداقل ظرفیت انبار m

DC_{k}^{max}: حداکثر ظرفیت مرکز توزیع k

DC_{k}^{min}: حداقل ظرفیت مرکز توزیع k

CC_{n}^{max}: حداکثر ظرفیت مرکز جمع‌آوری n

CC_{n}^{min}: حداقل ظرفیت مرکز جمع‌آوری n

RC_{r}^{max}: حداکثر ظرفیت مرکز تعمیر r

RC_{r}^{min}: حداقل ظرفیت مرکز تعمیر r

پارامتر نرخ استهلاک

DR_m: نرخ استهلاک انبار m

DR_k: نرخ استهلاک مرکز توزیع k

DR_n: نرخ استهلاک مرکز جمع‌آوری n

DR_r: نرخ استهلاک مرکز تعمیر r

پارامتر فروش و اجاره مجدد

$FV_{mt}^{[s]}$: ارزش منصفانه انبار m در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$FV_{kt}^{[s]}$: ارزش منصفانه مرکز توزیع k در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$FV_{nt}^{[s]}$: ارزش منصفانه مرکز جمع‌آوری n در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$FV_{rt}^{[s]}$: ارزش منصفانه مرکز تعمیر r در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$IRIL_{mt}^{[s]}$: نرخ بهره ضمنی در اجاره برای انبار m در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$IRIL_{kt}^{[s]}$: نرخ بهره ضمنی در اجاره برای مرکز توزیع k در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$IRIL_{nt}^{[s]}$: نرخ بهره ضمنی در اجاره برای مرکز جمع‌آوری n در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$IRIL_{rt}^{[s]}$: نرخ بهره ضمنی در اجاره برای مرکز تعمیر r در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$LIBR_{mt}^{[s]}$: نرخ استقراضی افزایش مستأجر برای انبار m در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$LIBR_{kt}^{[s]}$: نرخ استقراضی افزایش مستأجر برای مرکز توزیع k در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$LIBR_{nt}^{[s]}$: نرخ استقراضی افزایش مستأجر برای مرکز جمع‌آوری n در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$LIBR_{rt}^{[s]}$: نرخ استقراضی افزایش مستأجر برای مرکز تعمیر r در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

سایر پارامترها

Q_{ijm}^{max}: حداکثر مقدار محصول انتقال داده شده i از کارخانه j به انبار m

Q_{ijm}^{min}: حداقل مقدار محصول انتقال داده شده i از کارخانه j به انبار m

Q_{imk}^{max}: حداکثر مقدار محصول انتقال داده شده i از انبار m به مرکز توزیع k

Q_{imk}^{min}: حداقل مقدار محصول انتقال داده شده i از انبار m به مرکز توزیع k

Q_{ikc}^{max}: حداکثر مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز توزیع k به مشتری c

Q_{ikc}^{min}: حداقل مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز توزیع k به مشتری c

Q_{icn}^{max}: حداکثر مقدار محصول انتقال داده شده i از مشتری c به مرکز جمع‌آوری n

Q_{icn}^{min}: حداقل مقدار محصول انتقال داده شده i از مشتری c به مرکز جمع‌آوری n

Q_{inr}^{max}: حداکثر مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز جمع‌آوری n به مرکز تعمیر r

Q_{inr}^{min}: حداقل مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز جمع‌آوری n به مرکز تعمیر r

Q_{inj}^{max}: حداکثر مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز جمع‌آوری n به کارخانه j

Q_{inj}^{min}: حداقل مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز جمع‌آوری n به کارخانه j

Q_{inl}^{max}: حداکثر مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز جمع‌آوری

n به مرکز انهدام l

Q_{inl}^{min}: حداقل مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز جمع‌آوری n به مرکز انهدام l

Q_{irk}^{max}: حداکثر مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز تعمیر r به مرکز توزیع k

Q_{irk}^{min}: حداقل مقدار محصول انتقال داده شده i از مرکز تعمیر r به مرکز توزیع k

R_{je}: حداکثر منبع در دسترس e برای کارخانه j

$RM_{it}^{[s]}$: نسبت بازتولید محصول i در دوره t تحت سناریوی s

$RP_{it}^{[s]}$: نسبت تعمیر محصول i در دوره t تحت سناریوی s

$RR_{it}^{[s]}$: نسبت محصول بازگشتی i از مشتری c در دوره t تحت سناریوی s

TP_t: شاخص تجمعی دوره زمانی

TR: نرخ مالیات

$I_{ijt}^{[s],min}$: حداقل موجودی محصول i نگه‌داری شده درکارخانه j در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$I_{imt}^{[s],min}$: حداقل موجودی محصول i نگه‌داری شده در انبار m در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$I_{ikt}^{[s],min}$: حداقل موجودی محصول i نگه‌داری شده در مرکز توزیع k در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

γ_{ik}: ضریب مربوط به ظرفیت مرکز توزیع k برای محصول i نگه‌داری شده

γ_{im}: ضریب مربوط به ظرفیت مرکز انبار m برای محصول i نگه‌داری شده

δ_{ij}: ضریب ذخیره اطمینان برای محصول i در کارخانه j

δ_{im}: ضریب ذخیره اطمینان برای محصول i در مرکز انبار m

δ_{ik}: ضریب ذخیره اطمینان برای محصول i در مرکز توزیع k

ρ_{ije}: ضریب نرخ مصرف منبع e برای محصول i در کارخانه j

Ψ_s: احتمال اتفاق افتادن سناریوی s در طول عمر شبکه

$PRICE_{ict}^{[s]}$: قیمت محصول i از مشتری c در دوره t تحت سناریوی s

$DM_{ict}^{[s]}$: تقاضای محصول i از مشتری c در دوره t تحت سناریوی s

۳-۵- متغیرها

متغیرهای پیوسته

W_m: ظرفیت انبار m

DC_k: ظرفیت مرکز توزیع k

CC_n: ظرفیت مرکز جمع‌آوری n

RC_r: ظرفیت مرکز تعمیر r

$Q_{ijmt}^{[s]}$: مقدار محصول انتقال داده شده i در طول مدت زمان t تحت سناریوی s از کارخانه j به انبار m

$Q_{imkt}^{[s]}$: مقدار محصول انتقال داده شده i در طول مدت زمان t تحت سناریوی s از انبار m به مرکز توزیع k

$Q_{ikct}^{[s]}$: مقدار محصول انتقال داده شده iدر طول مدت زمان t تحت سناریوی s از مرکز توزیع k به مشتری c

$Q_{icnt}^{[s]}$: مقدار محصول انتقال داده شده i در طول مدت زمان t تحت سناریوی s از مشتری c به مرکز جمع‌آوری n

$Q_{inrt}^{[s]}$: مقدار محصول انتقال داده شده iدر طول مدت زمان t تحت سناریوی s از مرکز جمع‌آوری n به مرکز تعمیر r

$Q_{injt}^{[s]}$: مقدار محصول انتقال داده شده i در طول مدت زمان t تحت سناریوی s از مرکز جمع‌آوری n به‌کارخانه j

$Q_{inlt}^{[s]}$: مقدار محصول انتقال داده شده i در طول مدت زمان t تحت سناریوی s از مرکز جمع‌آوری n به مرکز انهدام l

$Q_{irkt}^{[s]}$: مقدار محصول انتقال داده شده i در طول مدت زمان t تحت سناریوی s از مرکز تعمیر r به مرکز توزیع k

$P_{ijt}^{[s]}$: نرخ تولید محصول i درکارخانه j در طول مدت زمان t تحت سناریوی s

$I_{ijt}^{[s]}$: سطح موجودی محصول i نگه‌داری شده درکارخانه j در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$I_{imt}^{[s]}$: سطح موجودی محصول i نگه‌داری شده در انبار m در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$I_{ikt}^{[s]}$: سطح موجودی محصول i نگه‌داری شده در مرکز توزیع k در پایان مدت زمان t تحت سناریوی s

$PMT_m^{[s]}$: حداقل پرداخت اجاره برای انبار m تحت سناریوی s در صورت فروش و اجاره مجدد

$PMT_k^{[s]}$: حداقل پرداخت اجاره برای مرکز توزیع k تحت سناریوی s در صورت فروش و اجاره مجدد

$PMT_n^{[s]}$: حداقل پرداخت اجاره برای مرکز جمع‌آوری n تحت سناریوی s در صورت فروش و اجاره مجدد

$PMT_r^{[s]}$: حداقل پرداخت اجاره برای مرکز تعمیر r تحت سناریوی s در صورت فروش و اجاره مجدد

$PVLP_m^{[s]}$: ارزش فعلی حداقل پرداخت اجاره برای انبار m تحت سناریوی s در صورت فروش و اجاره مجدد

$PVLP_k^{[s]}$: ارزش فعلی حداقل پرداخت اجاره برای مرکز توزیع k تحت‌سناریوی s در صورت فروش و اجاره مجدد

$PVLP_n^{[s]}$: ارزش‌فعلی حداقل پرداخت اجاره برای مرکز جمع‌آوری n تحت سناریوی s در صورت فروش و اجاره مجدد

$PVLP_r^{[s]}$: ارزش‌فعلی حداقل پرداخت اجاره برای مرکز تعمیر r تحت سناریوی s در صورت فروش و اجاره مجدد

متغیرهای صفر و یک

$LPW_{mt}^{[s]}$: ۱ اگر انبار m در طول مدت زمان t تحت سناریوی s فروش و اجاره مجدد شود.

$LPDC_{kt}^{[s]}$: ۱ اگر مرکز توزیع k در طول مدت زمان t تحت سناریوی s فروش و اجاره مجدد شود.

$LPCC_{nt}^{[s]}$: ۱ اگر مرکز جمع‌آوری n در طول مدت زمان t تحت سناریوی s فروش و اجاره مجدد شود.

$LPRC_{rt}^{[s]}$: ۱ اگر مرکز تعمیر r در طول مدت زمان t تحت سناریوی s فروش و اجاره مجدد شود.

$OPW_{mt}^{[s]}$: ۱ اگر انبار m در طول مدت زمان t تحت سناریوی s تحت مالکیت باشد.

$OPDC_{kt}^{[s]}$: ۱ اگر مرکز توزیع k در طول مدت زمان t تحت سناریوی s تحت مالکیت باشد.

$OPCC_{nt}^{[s]}$: ۱ اگر مرکز جمع‌آوری n در طول مدت زمان t تحت سناریوی s تحت مالکیت باشد.

$OPRC_{rt}^{[s]}$: ۱ اگر مرکز تعمیر r در طول مدت زمان t تحت سناریوی s تحت مالکیت باشد.

PW_m: ۱ اگر انبار m تأسیس شود.

PDC_k: ۱ اگر مرکز توزیع k تأسیس شود.

PCC_n: ۱ اگر مرکز جمع‌آوری n تأسیس شود

PRC_r: ۱ اگر مرکز تعمیر r تأسیس شود

$PW.DC_{mk}$: ۱ در صورت انتقال محصول از انبار m به مرکز توزیع k

$PDC.C_{kc}$: ۱ در صورت انتقال محصول از مرکز توزیع k به مشتری c

$PC.CC_{cn}$: ۱ در صورت انتقال محصول از مشتری c به مرکز جمع‌آوری n

$PCC.RC_{nr}$: ۱ در صورت انتقال محصول از مرکز جمع‌آوری n به مرکز تعمیر r

$PCC.P_{nj}$: در صورت انتقال محصول از مرکز جمع‌آوری n به کارخانه j

$PCC.DPC_{nl}$: ۱ در صورت انتقال محصول از مرکز جمع‌آوری n به مرکز انهدام l

$PRC.DC_{rk}$: ۱ در صورت انتقال محصول از مرکز تعمیر l به مرکز توزیع k

متغیرهای کمکی

$PMT_LPW_{mt}^{[s]}$: تولیدشده از $PMT_m^{[s]}$ و $LPW_{mt}^{[s]}$

$PMT_LPW1_{mt}^{[s]}$: متغیر کمکی برای خطی‌سازی

$PMT_LPDC_{kt}^{[s]}$: تولید شده از $PMT_k^{[s]}$ و $LPDC_{kt}^{[s]}$

$PMT_LPDC1_{kt}^{[s]}$: متغیر کمکی برای خطی‌سازی

$PMT_LPCC_{nt}^{[s]}$: تولید شده از $PMT_n^{[s]}$ و $LPCC_{nt}^{[s]}$

$PMT_LPCC1_{nt}^{[s]}$: متغیر کمکی برای خطی‌سازی

$PMT_LPRC_{rt}^{[s]}$: تولید شده از $PMT_r^{[s]}$ و $LPRC_{rt}^{[s]}$

$PMT_LPRC1_{rt}^{[s]}$: متغیر کمکی برای خطی‌سازی

$PVLP_LPW_{mt}^{[s]}$: تولید شده از $PVLP_m^{[s]}$ و $LPW_{mt}^{[s]}$

$PVLP_LPW1_{mt}^{[s]}$: متغیر کمکی برای خطی‌سازی

$PVLP_LPDC_{kt}^{[s]}$: تولید شده از $PVLP_k^{[s]}$ و $LPDC_{kt}^{[s]}$

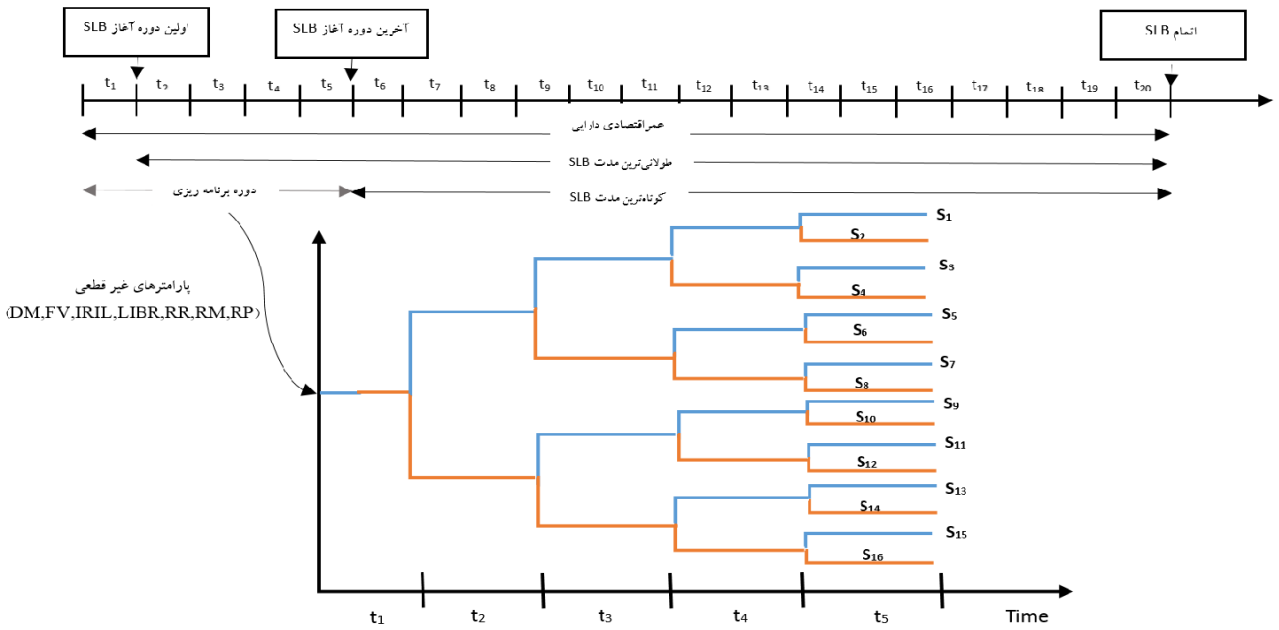
$PVLP_LPDC1_{kt}^{[s]}$: متغیر کمکی برای خطی‌سازی

$PVLP_LPCC_{nt}^{[s]}$: تولیدشده از $PVLP_n^{[s]}$ و $LPCC_{nt}^{[s]}$

$PVLP_LPCC1_{nt}^{[s]}$: متغیر کمکی برای خطی‌سازی

$PVLP_LPRC_{rt}^{[s]}$: از تولیدشده $PVLP_r^{[s]}$ و $LPRC_{rt}^{[s]}$

$PVLP_LPRC1_{rt}^{[s]}$: متغیر کمکی برای خطی‌سازی



شکل (۲): افق برنامه‌ریزی و نمایش درخت سناریو [۳]

۳-۶- تابع هدف

$$\begin{aligned}
\text{Obj1}=\max \sum_{t=1}^{\frac{EL}{4}} \sum_{S=1}^{2^{\frac{EL}{4}}-1} \Psi_s * \; [(1-TR)(&\underbrace{\sum_i \sum_c PRICE_{ict}^{[s]} DM_{ict}^{[s]}}_{۱} - \underbrace{\sum_i \sum_j C_{ij}^{P} P_{ijt}^{[s]}}_{۲} - \\
&\underbrace{\sum_i \sum_j \sum_m C_{ijm}^{TR} Q_{ijmt}^{[s]}}_{۳} - \underbrace{\sum_i \sum_m \sum_k C_{imk}^{TR} Q_{imkt}^{[s]}}_{۴} - \underbrace{\sum_i \sum_k \sum_c C_{ikc}^{TR} Q_{ikct}^{[s]}}_{۵} - \underbrace{\sum_i \sum_c \sum_n C_{icn}^{TR} Q_{icnt}^{[s]}}_{۶} - \underbrace{\sum_i \sum_n \sum_j C_{inj}^{TR} Q_{injt}^{[s]}}_{۷} - \\
&\underbrace{\sum_i \sum_n \sum_r C_{inr}^{TR} Q_{inrt}^{[s]}}_{۸} - \underbrace{\sum_i \sum_n \sum_l C_{inl}^{TR} Q_{inlt}^{[s]}}_{۹} - \underbrace{\sum_i \sum_r \sum_k C_{irk}^{TR} Q_{irkt}^{[s]}}_{۱۰} - \underbrace{\sum_i \sum_m C_{im}^{WH} \sum_j Q_{ijmt}^{[s]}}_{۱۱} - \underbrace{\sum_i \sum_k C_{ik}^{DH} \sum_m Q_{imkt}^{[s]}}_{۱۲} - \\
&\underbrace{\sum_i \sum_j C_{ij}^{l} \frac{(I_{ijt}^{[s]}+I_{ij,t-1}^{[s]})}{2}}_{۱۳} - \underbrace{\sum_i \sum_m C_{im}^{l} \frac{(I_{imt}^{[s]}+I_{im,t-1}^{[s]})}{2}}_{۱۴} - \underbrace{\sum_i \sum_k C_{ik}^{l} \frac{(I_{ikt}^{[s]}+I_{ik,t-1}^{[s]})}{2}}_{۱۵} - \\
&\underbrace{\sum_i \sum_n C_{in}^{ins} \sum_c Q_{icnt}^{[s]}}_{۱۶} - \underbrace{\sum_i \sum_r C_{ir}^{rep} \sum_n Q_{inrt}^{[s]}}_{۱۷} - \underbrace{\sum_i \sum_l C_{il}^{dis} \sum_n Q_{inlt}^{[s]}}_{۱۸} - \underbrace{\sum_i \sum_j C_{ij}^{rem} \sum_n Q_{injt}^{[s]}}_{۱۹} - \\
&\underbrace{\sum_m DR_m C_m^{W} OPW_{mt}^{[s]}}_{۲۰} - \underbrace{\sum_m DR_m PVLP_m^{[s]} LPW_{mt}^{[s]}}_{۲۱} - \underbrace{\sum_k DR_k C_k^{DC} OPDC_{kt}^{[s]}}_{۲۲} - \underbrace{\sum_k DR_k PVLP_k^{[s]} LPDC_{kt}^{[s]}}_{۲۳} - \\
&\underbrace{\sum_n DR_n C_n^{CC} OPCC_{nt}^{[s]}}_{۲۴} - \underbrace{\sum_n DR_n PVLP_n^{[s]} LPCC_{nt}^{[s]}}_{۲۵} - \underbrace{\sum_r DR_r C_r^{RC} OPRC_{rt}^{[s]}}_{۲۶} - \underbrace{\sum_r DR_r PVLP_r^{[s]} LPRC_{rt}^{[s]}}_{۲۷} - \\
&\underbrace{\sum_m PMT_m^{[s]} LPW_{mt}^{[s]}}_{۲۸} - \underbrace{\sum_k PMT_k^{[s]} LPDC_{kt}^{[s]}}_{۲۹} - \underbrace{\sum_n PMT_n^{[s]} LPCC_{nt}^{[s]}}_{۳۰} - \underbrace{\sum_r PMT_r^{[s]} LPRC_{rt}^{[s]}}_{۳۱}) + \\
&\underbrace{\sum_m (FV_{mt}^{[s]} - (1-TP_t DR_m) C_m^{W})(LPW_{mt}^{[s]} - LPW_{m,t-1}^{[s]})}_{۳۲} + \underbrace{\sum_k (FV_{kt}^{[s]} - (1-TP_t DR_k) C_k^{DC})(LPDC_{kt}^{[s]} - LPDC_{k,t-1}^{[s]})}_{۳۳} + \\
&\underbrace{\sum_n (FV_{nt}^{[s]} - (1-TP_t DR_n) C_n^{CC})(LPCC_{nt}^{[s]} - LPCC_{n,t-1}^{[s]})}_{۳۴} + \underbrace{\sum_r (FV_{rt}^{[s]} - (1-TP_t DR_r) C_r^{RC})(LPRC_{rt}^{[s]} - LPRC_{r,t-1}^{[s]})}_{۳۵}]
\end{aligned} \tag{۵}$$

هدف مدل حداکثر سازی سود، تحت تمام سناریوها در طول افق برنامه‌ریزی می‌باشد که شامل ۲ بخش از فرایند مالی می‌باشد. سود عملیاتی خالص پس از کسر مالیات (NOPAT) و سود حاصله از فروش و اجاره مجدد دارایی (UPSLB).

بخش اول براساس صورت مالی یک شرکت محاسبه می‌شود و بر مبنای قاعده درآمد منهای هزینه‌های درآمد به‌دست می‌آید. بخش دوم بر مبنای استانداردهای حسابداری اجاره سرمایه/ دارایی محاسبه می‌شود و شامل تفاوت بین ارزش منصفانه دارایی فروخته و اجاره مجدد شده و ارزش دفتری در ترازنامه شرکت در شروع توافق‌نامه فروش و اجاره می‌باشد.

در رابطه (۱) فروش خالص از طریق مجموع قیمت محصول و تقاضا محاسبه می‌شود، سپس هزینه‌های مختلف از آن کسر می‌شود و به‌منظور دست‌یافتن به سود خالص پس از کسر مالیات حاصل در (1-TR) ضرب می‌شود. هزینه‌ها شامل موارد زیر است:

۱. هزینه تولید محصول در رابطه (۲)
۲. هزینه حمل‌ونقل محصول بین مراکز شامل: کارخانه به انبار (۳)، انبار به مرکز توزیع (۴)، مرکز توزیع به مشتری (۵)، مشتری به مرکز جمع‌آوری (۶)، مرکز جمع‌آوری به کارخانه (۷)، مرکز جمع‌آوری به مرکز تعمیر (۸)، مرکز جمع‌آوری به مرکز انهدام (۹)، مرکز تعمیر به مرکز توزیع (۱۰)
۳. هزینه جابه‌جایی داخلی انبار (۱۱) و مرکز توزیع (۱۲)
۴. هزینه‌های مربوط به موجودی در کارخانه (۱۳)، انبار (۱۴)، مرکز توزیع (۱۵)
۵. هزینه‌های مربوط مسیر برگشت شامل: هزینه بازرسی در مرکز جمع‌آوری (۱۶)، هزینه تعمیر در مرکز تعمیر (۱۷)، هزینه انهدام در مرکز انهدام (۱۸)، هزینه بازتولید در کارخانه (۱۹)
۶. هزینه استهلاک برای هر دو نوع دارایی تحت مالکیت و فروش و اجاره مجدد شده مربوط به انبار (۲۰) و (۲۱)، مرکز توزیع (۲۲) و (۲۳)، مرکز جمع‌آوری (۲۴) و (۲۵)، مرکز تعمیر (۲۶) و (۲۷)
۷. هزینه پرداخت اجاره مربوط به انبار (۲۸)، مرکز توزیع (۲۹)، مرکز جمع‌آوری (۳۰)، مرکز تعمیر (۳۱)

همه هزینه‌ها به‌جز هزینه موجودی از مجموع هزینه واحد محصول در مقدار محصول به‌دست می‌آید. هزینه موجودی از میانگین موجودی در ابتدا و انتهای دوره در ضرب هزینه واحد موجودی حاصل می‌شود. هزینه استهلاک به دو بخش دوره‌هایی که دارایی تحت مالکیت بوده و دوره‌هایی که دارایی تحت فروش و اجاره مجدد شده تقسیم می‌شود. هزینه اجاره برابر با حداقل پرداخت اجاره می‌باشد.

بخش دوم از تابع هدف همان‌طور که بیان شد مربوط به سود حاصل از فروش و اجاره مجدد دارایی مربوط به انبار (۳۲)، مرکز توزیع (۳۳)، مرکز جمع‌آوری (۳۴)، مرکز تعمیر (۳۵) می‌باشد که از تفاوت ارزش

منصفانه دارایی با ارزش دفتری آن دارایی در دوره‌ای که اجاره شروع شده است به‌دست می‌آید. ارزش دفتری نیز برابر است با هزینه تأسیس یک مکان که از آن مقدار تجمعی هزینه استهلاک تا دوره شروع اجاره کسر می‌شود.

۳-۷- محدودیت‌ها

$$PW.DC_{mk} \le PW_m \qquad \forall m \in M, \forall k \in K \qquad (۶)$$

$$PW.DC_{mk} \le PDC_k \qquad \forall m \in M, \forall k \in K \qquad (۷)$$

$$PDC.C_{kc} \le PDC_k \qquad \forall k \in K, \forall c \in C \qquad (۸)$$

$$PC.CC_{cn} \le PCC_n \qquad \forall c \in C, \forall n \in N \qquad (۹)$$

$$PCC.RC_{nr} \le PCC_n \qquad \forall n \in N, \forall r \in R \qquad (۱۰)$$

$$PCC.RC_{nr} \le PRC_r \qquad \forall n \in N, \forall r \in R \qquad (۱۱)$$

$$PCC.P_{nj} \le PCC_n \qquad \forall n \in N, \forall j \in J \qquad (۱۲)$$

$$PRC.DC_{rk} \le PRC_r \qquad \forall r \in R, \forall k \in K \qquad (۱۳)$$

$$PRC.DC_{rk} \le PDC_k \qquad \forall r \in R, \forall k \in K \qquad (۱۴)$$

$$PCC.DPC_{nl} \le PCC_n \qquad \forall n \in N, \forall l \in L \qquad (۱۵)$$

محدودیت‌های (۶)-(۱۵) مشخص می‌کند که یک ارتباط بین دو نقطه تنها زمانی امکان‌پذیر است که آن دو نقطه ایجاد شده باشد. طبق محدودیت‌های (۶) و (۷)، ارتباط بین یک مرکز توزیع و یک انبار ($PW.DC_{mk}$) زمانی برقرار می‌شود که انبار و مرکز توزیع ایجاد شود. طبق محدودیت (۸)، ارتباط بین یک مرکز توزیع و یک مشتری ($PDC.C_{kc}$) زمانی برقرار می‌شود که مرکز توزیع ایجاد شود. طبق محدودیت (۹)، ارتباط بین یک مرکز جمع‌آوری و یک مشتری ($PC.CC_{cn}$) زمانی برقرار می‌شود که مرکز جمع‌آوری ایجاد شود. طبق محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱)، ارتباط بین یک مرکز جمع‌آوری و یک مرکز تعمیر ($PCC.RC_{cn}$) زمانی برقرار می‌شود که مرکز جمع‌آوری و مرکز تعمیر ایجاد شود. طبق محدودیت (۱۲)، ارتباط بین یک مرکز جمع‌آوری و یک کارخانه ($PCC.P_{nj}$) زمانی برقرار می‌شود که مرکز جمع‌آوری ایجاد شود. طبق محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴)، ارتباط بین یک مرکز توزیع و یک مرکز تعمیر ($PRC.DC_{rk}$) زمانی برقرار می‌شود که مرکز توزیع و مرکز تعمیر ایجاد شود. طبق محدودیت (۱۵)، ارتباط بین یک مرکز جمع‌آوری و یک مرکز انهدام ($PCC.DPC_{nl}$) زمانی برقرار می‌شود که مرکز جمع‌آوری ایجاد شود.

انتقال محصولات:

$$Q_{ijmt}^{[s]} \le Q_{ijm}^{max} \cdot PW_m$$
$$\forall i \in I, \forall j \in J, \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۱۶)$$

$$Q_{imkt}^{[s]} \le Q_{imk}^{max} \cdot PWDC_{mk}$$
$$\forall i \in I, \forall m \in M, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۱۷)$$

$$Q_{ikct}^{[s]} \le Q_{ikc}^{max} \cdot PDCC_{kc}$$
$$\forall i \in I, \forall k \in K, \forall c \in C, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۱۸)$$

$$Q_{icnt}^{[s]} \le Q_{icn}^{max} \cdot PC.CC_{cn}$$
$$\forall i \in I, \forall c \in C, \forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۱۹)$$

$$Q_{inrt}^{[s]} \le Q_{inr}^{max} \cdot PCC.RC_{nr}$$
$$\forall i \in I, \forall n \in N, \forall r \in R, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۰)$$

$$Q_{injt}^{[s]} \le Q_{inj}^{max} \cdot PCC.P_{nj}$$
$$\forall i \in I, \forall n \in N, \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۱)$$

$$Q_{inlt}^{[s]} \le Q_{inl}^{max} \cdot PCC.DPC_{nl}$$
$$\forall i \in I, \forall n \in N, \forall l \in L, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۲)$$

$$Q_{irkt}^{[s]} \le Q_{irk}^{max} \cdot PRC.DC_{rk}$$
$$\forall i \in I, \forall r \in R, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۳)$$

محدودیت‌های (۱۶) - (۲۳) اطمینان می‌دهد که مقادیر محصولات انتقال داده شده بین دو سطح زنجیره تامین به حداکثر مقدار آن دو سطح محدود می‌شود و فقط وقتی امکان‌پذیر است که ارتباط ایجاد شده باشد. محدودیت (۱۶) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح کارخانه و انبار می‌شود. محدودیت (۱۷) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح انبار و مرکز توزیع می‌شود. محدودیت (۱۸) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز توزیع و مشتری می‌شود. محدودیت (۱۹) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مشتری و مرکز جمع‌آوری می‌شود. محدودیت (۲۰) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز جمع‌آوری و مرکز تعمیر می‌شود. محدودیت (۲۱) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز جمع‌آوری و کارخانه می‌شود. محدودیت (۲۲) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز جمع‌آوری و مرکز انهدام می‌شود. محدودیت (۲۳) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز تعمیر و مرکز توزیع می‌شود.

$$\sum_i Q_{ijmt}^{[s]} \ge Q_{jm}^{min} \cdot PW_m$$
$$\forall j \in J, \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۴)$$

$$\sum_i Q_{imkt}^{[s]} \ge Q_{mk}^{min} \cdot PWDC_{mk}$$
$$\forall m \in M, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۵)$$

$$\sum_i Q_{ikct}^{[s]} \ge Q_{kc}^{min} \cdot PDCC_{kc}$$
$$\forall k \in K, \forall c \in C, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۶)$$

$$\sum_i Q_{icnt}^{[s]} \ge Q_{cn}^{min} \cdot PC.CC_{cn}$$
$$\forall c \in C, \forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۷)$$

$$\sum_i Q_{inrt}^{[s]} \ge Q_{nr}^{min} \cdot PCC.RC_{nr}$$
$$\forall n \in N, \forall r \in R, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۸)$$

$$\sum_i Q_{injt}^{[s]} \ge Q_{nj}^{min} \cdot PCC.P_{nj}$$
$$\forall n \in N, \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۲۹)$$

$$\sum_i Q_{inlt}^{[s]} \ge Q_{nl}^{min} \cdot PCC.DPC_{nl}$$
$$\forall n \in N, \forall l \in L, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۳۰)$$

$$\sum_i Q_{irkt}^{[s]} \ge Q_{rk}^{min} \cdot PRC.DC_{rk}$$
$$\forall r \in R, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۳۱)$$

محدودیت‌های (۲۴)-(۳۱) بیان می‌کند که معمولاً یک حداقلی برای مجموع مقادیر محصولات بدون توجه به نوع محصول وجود دارد که نیاز است ابتدا ارتباط بین دو سطح برقرار شده باشد. محدودیت (۲۴) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح کارخانه و انبار می‌شود. محدودیت (۲۵) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح انبار و مرکز

توزیع می‌شود. محدودیت (۲۶) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز توزیع و مشتری می‌شود. محدودیت (۲۷) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مشتری و مرکز جمع‌آوری می‌شود. محدودیت (۲۸) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز جمع‌آوری و مرکز تعمیر می‌شود. محدودیت (۲۹) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز جمع‌آوری و کارخانه می‌شود. محدودیت (۳۰) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز جمع‌آوری و مرکز انهدام می‌شود. محدودیت (۳۱) مربوط به انتقال محصولات بین دو سطح مرکز تعمیر و مرکز توزیع می‌شود.

تعادل مواد:

$$I_{ijt}^{[s]} = I_{ij,t-1}^{[s]} + \left(P_{ijt}^{[s]} - \sum_{m} Q_{ijmt}^{[S]} + \sum_{n} Q_{injt}^{[s]}\right)$$
$$\forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۳۲)$$

$$I_{imt}^{[s]} = I_{im,t-1}^{[s]} + \left(\sum_{j} Q_{ijmt}^{[s]} - \sum_{k} Q_{imkt}^{[s]}\right)$$
$$\forall i \in I, \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۳۳)$$

$$I_{ikt}^{[s]} = I_{ik,t-1}^{[s]} + \left(\sum_{m} Q_{imkt}^{[s]} - \sum_{c} Q_{ikct}^{[s]} + \sum_{r} Q_{irkt}^{[s]}\right)$$
$$\forall i \in I, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۳۴)$$

$$\sum_{k} Q_{ikct}^{[s]} = DM_{ict}^{[s]}$$
$$\forall i \in I, \forall c \in C, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۳۵)$$

$$\sum_{n} Q_{icnt}^{[s]} = RR_{it}^{[s]} . \ DM_{ict}^{[s]}$$
$$\forall i \in I, \forall c \in C, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۳۶)$$

$$\sum_{j} Q_{injt}^{[s]} = RM_{it}^{[s]} \ . \ \sum_{c} Q_{icnt}^{[s]}$$
$$\forall i \in I, \forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۳۷)$$

$$\sum_{r} Q_{inrt}^{[s]} = RP_{it}^{[s]} \ . \ \sum_{c} Q_{icnt}^{[s]}$$
$$\forall i \in I, \forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۳۸)$$

$$\sum_{l} Q_{inlt}^{[s]} = \left(RR_{it}^{[s]} - RM_{it}^{[s]} - RP_{it}^{[s]}\right). \sum_{c} Q_{icnt}^{[s]}$$
$$\forall i \in I, \forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۳۹)$$

$$\sum_{j} Q_{injt}^{[s]} + \sum_{r} Q_{inrt}^{[s]} + \sum_{l} Q_{inlt}^{[s]} = \sum_{c} Q_{icnt}^{[s]}$$
$$\forall i \in I, \forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۴۰)$$

$$\sum_{n} Q_{inrt}^{[s]} = \sum_{k} Q_{irkt}^{[s]}$$
$$\forall i \in I, \forall r \in R, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۴۱)$$

محدودیت (۳۲) بیان می‌کند که موجودی کارخانه j در دوره t برابر است با موجودی کارخانه j در دوره t-1 و مقدار تولید در دوره t و تفاضل مقادیر ورودی از همه مراکز جمع‌آوری و مقادیر خروجی به همه انبارها. محدودیت (۳۳) بیان می‌کند که موجودی انبار m در دوره t برابر است با موجودی انبار m در دوره t-1 و تفاضل مقادیر ورودی از همه مراکز کارخانه‌ها و مقادیر خروجی به همه مراکز توزیع. محدودیت (۳۴) بیان می‌کند که موجودی مرکز توزیع k در دوره t برابر است با موجودی مرکز توزیع k در دوره t-1 و تفاضل مقادیر ورودی از همه انبار ها و همه مراکز تعمیر و مقادیر خروجی به همه مشتری‌ها. محدودیت (۳۵) بیان می‌کند که مقادیر خروجی از همه مراکز توزیع به هر مشتری باید برابر تقاضای آن مشتری باشد.

محدودیت (۳۶) بیان می‌کند که مقادیر ورودی به همه مراکز جمع‌آوری به نسبت $RR_{it}^{[s]}$ تقاضای مشتری است. محدودیت (۳۷) بیان می‌کند که مقادیر ورودی به همه کارخانه‌ها از مرکز جمع‌آوری n به نسبت $RM_{it}^{[s]}$ مقدار ورودی به مرکز جمع‌آوری n است. محدودیت (۳۸) بیان می‌کند که مقادیر ورودی به همه مراکز تعمیر از مرکز جمع‌آوری n به نسبت $RP_{it}^{[s]}$ مقدار ورودی به مرکز جمع‌آوری n است. محدودیت (۳۹) بیان می‌کند که مقادیر ورودی به همه مراکز انهدام از مرکز جمع‌آوری n به نسبت RD_{it} مقدار ورودی به مرکز جمع‌آوری n است. محدودیت (۴۰) بیان می‌کند که مقادیر ورودی به همه کارخانه‌ها و مراکز تعمیر و مراکز انهدام از مرکز جمع‌آوری n باید برابر با مقدار ورودی به مرکز جمع‌آوری n باشد. محدودیت (۴۱) بیان می‌کند که مقدار ورودی به مرکز تعمیر r از همه مراکز جمع‌آوری باید به مراکز توزیع انتقال یابد.

ظرفیت و منابع:

$$P_{ijt}^{min} \le P_{ijt}^{[s]} \le P_{ijt}^{max}$$
$$\forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۴۲)$$

$$\sum_{i} \rho_{ije} \ . \ P_{ijt}^{[s]} \le R_{je}$$
$$\forall j \in J, \forall e \in E, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۴۳)$$

$$W_{m}^{min} \ . \ PW_{m} \le W_{m} \le W_{m}^{max} \ . \ PW_{m}$$
$$\forall m \in M \quad (۴۴)$$

$$DC_{k}^{min} \ . \ PDC_{k} \le DC_{k} \le DC_{k}^{max} \ . \ PDC_{k}$$
$$\forall k \in K \quad (۴۵)$$

$$CC_{n}^{min} \ . \ PCC_{n} \le CC_{n} \le CC_{n}^{max} \ . \ PCC_{n}$$
$$\forall n \in N \quad (۴۶)$$

$$RC_{r}^{min} \ . \ PRC_{r} \le RC_{r} \le RC_{r}^{max} \ . \ PRC_{r}$$
$$\forall r \in R \quad (۴۷)$$

$$\sum_{i} \gamma_{im} \ . \ I_{imt}^{[s]} \le W_{m} \quad \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۴۸)$$

$$\sum_{i} \gamma_{ik} \ . \ I_{ikt}^{[s]} \le DC_{k} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۴۹)$$

$$\sum_{m} Q_{ijmt}^{[s]} \le P_{ijt}^{s} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۵۰)$$

$$\sum_{i} \sum_{k} Q_{imkt}^{[s]} \le W_{m} \quad \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۵۱)$$

$$\sum_{i} \sum_{c} Q_{ikct}^{[s]} \le DC_{k} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۵۲)$$

$$\sum_{i} \sum_{j} Q_{injt}^{[s]} + \sum_{i} \sum_{r} Q_{inrt}^{[s]} + \sum_{i} \sum_{l} Q_{inlt}^{[s]} \le CC_{n} \ . PCC_{n}$$
$$\forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۵۳)$$

$$\sum_{i} \sum_{k} Q_{irkt}^{[s]} \le RC_{r} \ . PRC_{r} \quad \forall r \in R, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۵۴)$$

محدودیت (۴۲) نرخ تولید کارخانه j را بین حداقل و حداکثر ظرفیت تولید کارخانه محدود می‌کند. محدودیت (۴۳) استفاده از منابع مشترک با توجه به دسترسی به آن‌ها در هر کارخانه را محدود می‌کند. محدودیت (۴۴) بیان می‌کند که ظرفیت انبار m بین بیشترین ظرفیت و کمترین ظرفیت آن باید باشد تا انبار احداث شود. محدودیت (۴۵) بیان می‌کند که ظرفیت مرکز توزیع k بین بیشترین ظرفیت و کمترین ظرفیت آن باید باشد تا مرکز توزیع احداث شود. محدودیت (۴۶) بیان می‌کند که ظرفیت مرکز جمع‌آوری n بین بیشترین ظرفیت و کمترین ظرفیت آن باید باشد تا مرکز جمع‌آوری احداث شود.

محدودیت (۴۷) بیان می‌کند که ظرفیت مرکز تعمیر r بین بیشترین ظرفیت و کمترین ظرفیت آن باید باشد تا مرکز تعمیر احداث شود. محدودیت (۴۸) بیان می‌کند که ظرفیت انبار m نمی‌تواند کمتر از کل حجم موجودی‌های نگه‌داری شده باشد. محدودیت (۴۹) بیان می‌کند که ظرفیت مرکز توزیع k نمی‌تواند کمتر از کل حجم موجودی‌های نگه‌داری شده باشد. محدودیت (۵۰) بیان می‌کند که مقادیری که از هر کارخانه برای هر محصول خارج می‌شود نباید از ظرفیت تولید آن محصول تجاوز کند. محدودیت (۵۱) بیان می‌کند که مقدار همه محصولاتی که از هر انبار خارج می‌شود نباید از ظرفیت انبار تجاوز کند. محدودیت (۵۲) بیان می‌کند که مقدار همه محصولاتی که از هر مرکز توزیع خارج می‌شود نباید از ظرفیت مرکز توزیع تجاوز کند. محدودیت (۵۳) بیان می‌کند که مقدار همه محصولاتی که از هر مرکز جمع‌آوری خارج می‌شود نباید از ظرفیت مرکز جمع‌آوری تجاوز کند. محدودیت (۵۴) بیان می‌کند که مقدار همه محصولاتی که از هر مرکز تعمیر خارج می‌شود نباید از ظرفیت مرکز تعمیر تجاوز کند.

سیاست موجودی

$$I_{ijt}^{[s]} \geq I_{ijt}^{[s],min} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۵۵)$$

$$I_{imt}^{[s]} \geq I_{imt}^{[s],min} \cdot PW_m \quad \forall i \in I, \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۵۶)$$

$$I_{ikt}^{[s]} \geq I_{ikt}^{[s],min} \cdot PDC_k \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۵۷)$$

$$I_{ijt}^{[s],min} = \delta_{ij} \cdot \sum_m Q_{ijmt}^{[s]} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۵۸)$$

$$I_{imt}^{[s],min} = \delta_{im} \cdot \sum_k Q_{imkt}^{[s]} \quad \forall i \in I, \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۵۹)$$

$$I_{ikt}^{[s],min} = \delta_{ik} \cdot \sum_c Q_{ikct}^{[s]} \quad \forall i \in I, \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۶۰)$$

محدودیت (۵۵) بیان می‌کند که مقدار موجودی محصول i در کارخانه j نباید از حداقل موجودی کمتر باشد. محدودیت (۵۶) بیان می‌کند که مقدار موجودی محصول i در انبار m نباید از حداقل موجودی کمتر باشد. محدودیت (۵۷) بیان می‌کند که مقدار موجودی محصول i در مرکز توزیع k نباید از حداقل موجودی کمتر باشد. محدودیت (۵۸) حداقل موجودی محصول i در کارخانه j با استفاده از ضریب اطمینان آن را تعیین می‌کند. محدودیت (۵۹) حداقل موجودی محصول i در انبار m با استفاده از ضریب اطمینان آن را تعیین می‌کند. محدودیت (۶۰) حداقل موجودی محصول i در مرکز توزیع k با استفاده از ضریب اطمینان آن را تعیین می‌کند.

سیاست فروش و اجاره مجدد

$$PW_m = OPW_{mt}^{[s]} + LPW_{mt}^{[s]} \quad \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۶۱)$$

$$PDC_k = OPDC_{kt}^{[s]} + LPDC_{kt}^{[s]} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۶۲)$$

$$PCC_n = OPCC_{nt}^{[s]} + LPCC_{nt}^{[s]} \quad \forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۶۳)$$

$$PRC_r = OPRC_{rt}^{[s]} + LPRC_{rt}^{[s]} \quad \forall r \in R, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۶۴)$$

$$LPW_{m,t-1}^{[s]} \leq LPW_{mt}^{[s]} \quad \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۶۵)$$

$$LPDC_{k,t-1}^{[s]} \leq LPDC_{kt}^{[s]} \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۶۶)$$

$$LPCC_{n,t-1}^{[s]} \leq LPCC_{nt}^{[s]} \quad \forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۶۷)$$

$$LPRC_{r,t-1}^{[s]} \leq LPRC_{rt}^{[s]} \forall r \in R, \forall t \in T, \forall s \in S \qquad (۶۸)$$

محدودیت (۶۱) بیان می‌کند که در هر دوره تحت هر سناریو اگر انبار m احداث شود می‌تواند تحت مالکیت باشد یا فروش و اجاره مجدد شود. محدودیت (۶۲) بیان می‌کند که در هر دوره تحت هر سناریو اگر مرکز توزیع k احداث شود می‌تواند تحت مالکیت باشد یا فروش و اجاره مجدد شود. محدودیت (۶۳) بیان می‌کند که در هر دوره تحت هر سناریو اگر مرکز جمع‌آوری n احداث شود می‌تواند تحت مالکیت باشد یا فروش و اجاره مجدد شود. محدودیت (۶۴) بیان می‌کند که در هر دوره تحت هر سناریو اگر مرکز تعمیر r احداث شود می‌تواند تحت مالکیت باشد یا فروش و اجاره مجدد شود. محدودیت (۶۵) بیان می‌کند که در هر دوره تحت هر سناریو اگر انبار m در دوره t-1 فروش و اجاره مجدد شود تا پایان دوره باید در همین حالت باقی بماند. محدودیت (۶۶) بیان می‌کند که در هر دوره تحت هر سناریو اگر مرکز توزیع k در دوره t-1 فروش و اجاره مجدد شود تا پایان دوره باید در همین حالت باقی بماند. محدودیت (۶۷) بیان می‌کند که در هر دوره تحت هر سناریو اگر مرکز جمع‌آوری n در دوره t-1 فروش و اجاره مجدد شود تا پایان دوره باید در همین حالت باقی بماند. محدودیت (۶۸) بیان می‌کند که در هر دوره تحت هر سناریو اگر مرکز تعمیر r در دوره t-1 فروش و اجاره مجدد شود تا پایان دوره باید در همین حالت باقی بماند.

$$\frac{DF_{T=EL-t}^{LIBR_{mt}^{[s]}}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{mt}^{[s]}}} = \frac{1-(1+LIBR_{mt}^{[s]})^{-T} \Big/ LIBR_{mt}^{[s]}}{1-(1+IRIL_{mt}^{[s]})^{-T} \Big/ IRIL_{mt}^{[s]}} \qquad (۶۹)$$

$$\frac{DF_{T=EL-t}^{LIBR_{kt}^{[s]}}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{mt}^{[s]}}} = \frac{1-(1+LIBR_{kt}^{[s]})^{-T} \Big/ LIBR_{kt}^{[s]}}{1-(1+IRIL_{kt}^{[s]})^{-T} \Big/ IRIL_{kt}^{[s]}} \qquad (۷۰)$$

$$\frac{DF_{T=EL-t}^{LIBR_{nt}^{[s]}}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{nt}^{[s]}}} = \frac{1-(1+LIBR_{nt}^{[s]})^{-T} \Big/ LIBR_{nt}^{[s]}}{1-(1+IRIL_{nt}^{[s]})^{-T} \Big/ IRIL_{nt}^{[s]}} \qquad (۷۱)$$

$$\frac{DF_{T=EL-t}^{LIBR_{rt}^{[s]}}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{rt}^{[s]}}} = \frac{1-(1+LIBR_{rt}^{[s]})^{-T} \Big/ LIBR_{rt}^{[s]}}{1-(1+IRIL_{rt}^{[s]})^{-T} \Big/ IRIL_{rt}^{[s]}} \qquad (۷۲)$$

روابط (۶۹)، (۷۰)، (۷۱) و (۷۲) نسبت‌هایی را بیان می‌کند که در محدودیت‌های (۷۲) تا (۸۳) به کار گرفته شده است.

$$(LPW_{mt}^{[s]} - LPW_{m,t-1}^{[s]})(1 - \frac{DF_{T=EL-t}^{LIBR_{mt}^{[s]}}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{mt}^{[s]}}}) \geq M(LPW_{mt}^{[s]} - 1) \quad \forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۷۳)$$

$$(LPDC_{kt}^{[s]} - LPDC_{k,t-1}^{[s]})(1 - \frac{DF_{T=EL-t}^{LIBR_{kt}^{[s]}}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{kt}^{[s]}}}) \geq M(LPDC_{kt}^{[s]} - 1) \quad \forall k \in K, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۷۴)$$

$$(LPCC_{nt}^{[s]} - LPCC_{n,t-1}^{[s]})(1 - \frac{DF_{T=EL-t}^{LIBR_{nt}^{[s]}}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{nt}^{[s]}}}) \geq M(LPCC_{nt}^{[s]} - 1) \quad \forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۷۵)$$

$$(LPRC_{rt}^{[s]} - LPRC_{r,t-1}^{[s]})(1 - \frac{DF_{T=EL-t}^{LIBR_{rt}^{[s]}}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{rt}^{[s]}}}) \geq M(LPRC_{rt}^{[s]} - 1) \quad \forall r \in R, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۷۶)$$

محدودیت (۷۳) متغیر صفر و یک را به کار می‌اندازد به‌این‌ترتیب که اگر نسبت کوچک‌تر از یک شود باید اجاره انبار m شروع شود. محدودیت (۷۴) متغیر صفر و یک را به کار می‌اندازد به‌این‌ترتیب که اگر نسبت کوچک‌تر از یک شود باید اجاره مرکز توزیع k شروع شود. محدودیت (۷۵) متغیر صفر و یک را به‌کار می‌اندازد به‌این‌ترتیب که اگر نسبت کوچک‌تر از یک شود باید اجاره مرکز جمع‌آوری n شروع شود. محدودیت (۷۶) متغیر صفر و یک را به‌کار می‌اندازد به‌این‌ترتیب که اگر نسبت کوچک‌تر از یک شود باید اجاره مرکز تعمیر r شروع شود.

$$PMT_m^{[s]} = \sum_{t=1}^{EL/4}[(\frac{FV_{mt}^{[s]}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{mt}^{[s]}}})(LPW_{mt}^{[s]} - LPW_{m,t-1}^{[s]})] \quad \forall m \in M, \forall s \in S \quad (۷۷)$$

$$PMT_k^{[s]} = \sum_{t=1}^{EL/4}[(\frac{FV_{kt}^{[s]}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{kt}^{[s]}}})(LPDC_{kt}^{[s]} - LPDC_{k,t-1}^{[s]})] \quad \forall k \in K, \forall s \in S \quad (۷۸)$$

$$PMT_n^{[s]} = \sum_{t=1}^{EL/4}[(\frac{FV_{nt}^{[s]}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{nt}^{[s]}}})(LPCC_{nt}^{[s]} - LPCC_{n,t-1}^{[s]})] \quad \forall n \in N, \forall s \in S \quad (۷۹)$$

$$PMT_r^{[s]} = \sum_{t=1}^{EL/4}[(\frac{FV_{rt}^{[s]}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{rt}^{[s]}}})(LPRC_{rt}^{[s]} - LPRC_{r,t-1}^{[s]})] \quad \forall r \in R, \forall s \in S \quad (۸۰)$$

محدودیت (۷۷) به‌دنبال محاسبه اجاره انبار m تحت سناریوی s است. محدودیت (۷۸) به‌دنبال محاسبه اجاره مرکز توزیع k تحت سناریوی s است. محدودیت (۷۹) به‌دنبال محاسبه اجاره مرکز جمع‌آوری n تحت سناریوی s است. محدودیت (۸۰) به‌دنبال محاسبه اجاره مرکز تعمیر r تحت سناریوی s است.

$$PVLP_m^{[s]} = \sum_{t=1}^{EL/4}[(\frac{FV_{mt}^{[s]}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{mt}^{[s]}}})(DF_{T=EL-t}^{LIBR_{mt}^{[s]}})(LPW_{mt}^{[s]} - LPW_{m,t-1}^{[s]})] \quad \forall m \in M, \forall s \in S \quad (۸۱)$$

$$PVLP_k^{[s]} = \sum_{t=1}^{EL/4}[(\frac{FV_{kt}^{[s]}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{kt}^{[s]}}})(DF_{T=EL-t}^{LIBR_{kt}^{[s]}})(LPDC_{kt}^{[s]} - LPDC_{k,t-1}^{[s]})] \quad \forall k \in K, \forall s \in S \quad (۸۲)$$

$$PVLP_n^{[s]} = \sum_{t=1}^{EL/4}[(\frac{FV_{nt}^{[s]}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{nt}^{[s]}}})(DF_{T=EL-t}^{LIBR_{nt}^{[s]}})(LPCC_{nt}^{[s]} - LPCC_{n,t-1}^{[s]})] \quad \forall n \in N, \forall s \in S \quad (۸۳)$$

$$PVLP_r^{[s]} = \sum_{t=1}^{EL/4}[(\frac{FV_{rt}^{[s]}}{DF_{T=EL-t}^{IRIL_{rt}^{[s]}}})(DF_{T=EL-t}^{LIBR_{rt}^{[s]}})(LPRC_{rt}^{[s]} - LPRC_{r,t-1}^{[s]})] \quad \forall r \in R, \forall s \in S \quad (۸۴)$$

محدودیت (۸۱) به‌دنبال محاسبه ارزش فعلی انبار m تحت سناریوی s است. محدودیت (۸۲) به دنبال محاسبه ارزش فعلی مرکز توزیع k تحت سناریوی s است. محدودیت (۸۳) به‌دنبال محاسبه ارزش فعلی مرکز جمع‌آوری n تحت سناریوی s است. محدودیت (۸۴) به دنبال محاسبه ارزش فعلی مرکز تعمیر r تحت سناریوی s است.

۳- ۸- تبدیل مدل غیرخطی به مدل خطی

مدل ریاضی ارائه شده شامل تابع هدف و محدودیت‌ها یک مسئله MINLP است که تنها در تابع هدف از روابطی استفاده شده است که غیرخطی می‌باشد. علت غیرخطی بودن ضرب یک متغیر پیوسته در یک متغیر باینری (صفر و یک) است که برای خطی‌کردن باید از تکنیک‌های خطی‌سازی استفاده شود. برای خطی‌سازی ۸ عبارت غیرخطی $(PVLP_m^{[s]}LPW_{mt}^{[s]})$ و $(PVLP_k^{[s]}LPDC_{kt}^{[s]})$ و $(PVLP_n^{[s]}LPCC_{nt}^{[s]})$ و $(PVLP_r^{[s]}LPRC_{rt}^{[s]})$ و $(PMT_m^{[s]}LPW_{mt}^{[s]})$ و $(PMT_k^{[s]}LPDC_{kt}^{[s]})$ و $(PMT_n^{[s]}LPCC_{nt}^{[s]})$ و $(PMT_r^{[s]}LPRC_{rt}^{[s]})$ از رویکرد ارائه شده توسط یو و گراسن استفاده شده است که براساس تلاش‌های گلاور است. به‌منظور خطی‌سازی عبارت $(PVLP_m^{[s]}LPW_{mt}^{[s]})$ دو متغیر غیر منفی جدید $PVLP_LPW_{mt}^{[s]}$ و $PVLP_LPW1_{mt}^{[s]}$ معرفی می‌شود و محدودیت‌های زیر تعریف می‌شود.

$$PVLP_LPW_{mt}^{[s]} + PVLP_LPW1_{mt}^{[s]} = PVLP_m^{[s]} \quad (۸۵)$$

$$PVLP_LPW_{mt}^{[s]} \leq LPW_{mt}^{[s]} * U \quad (۸۶)$$

$$PVLP_LPW1_{mt}^{[s]} \leq (1 - LPW_{mt}^{[s]}) * U \quad (۸۷)$$

$$PVLP_LPW_{mt}^{[s]}, PVLP_LPW1_{mt}^{[s]} \geq 0 \quad (۸۸\text{-}۱)$$

$$\forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۸۵)،(۸۶)،(۸۷)،(۸۸\text{-}۱)$$

این محدودیت‌ها نشان می‌دهد اگر $LPW_{mt}^{[s]}$ صفر باشد $PVLP_LPW_{mt}^{[s]}$ صفر است و اگر $LPW_{mt}^{[s]}$ یک باشد $PVLP_LPW1_{mt}^{[s]}$ صفر است. ترکیب این دو در محدودیت اول می‌تواند به $PVLP_LPW_{mt}^{[s]}$ مقداری معادل $LPW_{mt}^{[s]}$و $PVLP_m^{[s]}$ بدهد.

به‌منظور خطی‌سازی عبارت $(PVLP_k^{[s]}LPDC_{kt}^{[s]})$ ۲ متغیر غیر منفی جدید $PVLP_LPDC_{kt}^{[s]}$ و $PVLP_LPDC1_{kt}^{[s]}$ معرفی می‌شود و محدودیت‌های زیر تعریف می‌شود.

$$PVLP_LPDC_{kt}^{[s]} + PVLP_LPDC1_{kt}^{[s]} = PVLP_{k}^{[s]}$$
$$PVLP_LPDC_{kt}^{[s]} \le LPDC_{kt}^{[s]} * U \quad (۸۹)$$
$$PVLP_LPDC_{kt}^{[s]} \le (1 - LPDC_{kt}^{[s]}) * U \quad (۹۰)$$
$$PVLP_LPDC_{kt}^{[s]}, PVLP_LPDC1_{kt}^{[s]} \ge 0 \quad (۹۱)$$
$$\forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۸۸\text{-}۲)$$، (۹۱)، (۹۰)، (۸۹)

این محدودیت‌ها نشان می‌دهد اگر $LPDC_{kt}^{[s]}$ صفر باشد $PVLP_LPDC_{kt}^{[s]}$ صفر است و اگر $LPDC_{kt}^{[s]}$ یک باشد $PVLP_LPDC1_{kt}^{[s]}$ صفر است. ترکیب این دو در محدودیت اول می‌تواند به $PVLP_LPDC_{kt}^{[s]}$ مقداری معادل $PVLP_{k}^{[s]}$و $LPDC_{kt}^{[s]}$ بدهد.

به‌منظور خطی‌سازی عبارت $(PVLP_{n}^{[s]}LPCC_{nt}^{[s]})$ ۲ متغیر غیر منفی جدید $PVLP_LPCC_{nt}^{[s]}$ و $PVLP_LPCC1_{nt}^{[s]}$ معرفی می‌شود و محدودیت‌های زیر تعریف می‌شود.

$$PVLP_LPCC_{nt}^{[s]} + PVLP_LPCC1_{nt}^{[s]} = PVLP_{n}^{[s]} \quad (۹۲)$$
$$PVLP_LPCC_{nt}^{[s]} \le LPCC_{nt}^{[s]} * U \quad (۹۳)$$
$$PVLP_LPCC1_{nt}^{[s]} \le (1 - LPCC_{nt}^{[s]}) * U \quad (۹۴)$$
$$PVLP_LPCC_{nt}^{[s]}, PVLP_LPCC1_{nt}^{[s]} \ge 0 \quad (۸۸\text{-}۳)$$
$$\forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۹۲)$$، (۹۳)، (۹۴)، (۸۸-۳)

این محدودیت‌ها نشان می‌دهد اگر $LPCC_{nt}^{[s]}$ صفر باشد $PVLP_LPCC_{nt}^{[s]}$ صفر است و اگر $LPCC_{nt}^{[s]}$ یک باشد $PVLP_LPCC1_{nt}^{[s]}$ صفر است. ترکیب این دو در محدودیت اول می‌تواند به $PVLP_LPCC_{nt}^{[s]}$ مقداری معادل $PVLP_{n}^{[s]}$و $LPCC_{nt}^{[s]}$ بدهد.

به‌منظور خطی‌سازی عبارت $(PVLP_{r}^{[s]}LPRC_{rt}^{[s]})$ ۲ متغیر غیر منفی جدید $PVLP_LPRC_{rt}^{[s]}$ و $PVLP_LPRC1_{rt}^{[s]}$ معرفی می‌شود و محدودیت‌های زیر تعریف می‌شود.

$$PVLP_LPRC_{rt}^{[s]} + PVLP_LPRC_{rt}^{[s]} = PVLP_{r}^{[s]} \quad (۹۵)$$
$$PVLP_LPRC_{rt}^{[s]} \le LPRC_{rt}^{[s]} * U \quad (۹۶)$$
$$PVLP_LPRC_{rt}^{[s]} \le (1 - LPRC_{rt}^{[s]}) * U \quad (۹۷)$$
$$PVLP_LPRC_{rt}^{[s]}, PVLP_LPRC1_{rt}^{[s]} \ge 0 \quad (۸۸\text{-}۴)$$
$$\forall r \in R, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۹۵)$$، (۹۶)، (۹۷)، (۸۸-۴)

این محدودیت‌ها نشان می‌دهد اگر $LPRC_{rt}^{[s]}$ صفر باشد $PVLP_LPRC_{rt}^{[s]}$ صفر است و اگر $LPRC_{rt}^{[s]}$ یک باشد $PVLP_LPRC1_{rt}^{[s]}$ صفر است. ترکیب این دو در محدودیت اول می‌تواند به $PVLP_LPRC_{rt}^{[s]}$ مقداری معادل $PVLP_{r}^{[s]}$و $LPRC_{rt}^{[s]}$ بدهد.

به‌منظور خطی‌سازی عبارت $(PMT_{m}^{[s]}LPW_{mt}^{[s]})$ دو متغیر غیر منفی جدید $PMT_LPW_{mt}^{[s]}$ و $PMT_LPW1_{mt}^{[s]}$ معرفی می‌شود و محدودیت‌های زیر تعریف می‌شود.

$$PMT_LPW_{mt}^{[s]} + PMT_LPW1_{mt}^{[s]} = PMT_{m}^{[s]} \quad (۹۸)$$
$$PMT_LPW_{mt}^{[s]} \le LPW_{mt}^{[s]} * U$$
$$PMT_LPW1_{mt}^{[s]} \le (1 - LPW_{mt}^{[s]}) * U \quad (۹۹)$$
$$PMT_LPW_{mt}^{[s]}, PMT_LPW1_{mt}^{[s]} \ge 0 \quad (۱۰۰)$$
$$\forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۸۸\text{-}۵)$$، (۱۰۰)، (۹۹)، (۹۸)

این محدودیت‌ها نشان می‌دهد اگر $LPW_{mt}^{[s]}$ صفر باشد $PMT_LPW_{mt}^{[s]}$ صفر است و اگر $LPW_{mt}^{[s]}$ یک باشد $PMT_LPW1_{mt}^{[s]}$ صفر است. ترکیب این دو در محدودیت اول می‌تواند به $PMT_LPW_{mt}^{[s]}$ مقداری معادل $PMT_{m}^{[s]}$و $LPW_{mt}^{[s]}$ بدهد. به‌منظور خطی‌سازی عبارت $(PMT_{k}^{[s]}LPDC_{kt}^{[s]})$ دو متغیر غیر منفی جدید $PMT_LPDC_{kt}^{[s]}$ و $PMT_LPDC1_{kt}^{[s]}$ معرفی می‌شود و محدودیت‌های زیر تعریف می‌شود.

$$PMT_LPDC_{kt}^{[s]} + PMT_LPDC1_{kt}^{[s]} = PMT_{k}^{[s]} \quad (۱۰۱)$$
$$PMT_LPDC_{kt}^{[s]} \le LPDC_{kt}^{[s]} * U \quad (۱۰۲)$$
$$PMT_LPDC_{kt}^{[s]} \le (1 - LPDC_{kt}^{[s]}) * U \quad (۱۰۳)$$
$$PMT_LPDC_{kt}^{[s]}, PMT_LPDC1_{kt}^{[s]} \ge 0 \quad (۸۸\text{-}۶)$$
$$\forall m \in M, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۱۰۱)$$، (۱۰۲)، (۱۰۳)، (۸۸-۶)

این محدودیت‌ها نشان می‌دهد اگر $LPDC_{kt}^{[s]}$ صفر باشد، $PMT_LPDC_{kt}^{[s]}$ صفر است و اگر $LPDC_{kt}^{[s]}$ یک باشد، $PMT_LPDC1_{kt}^{[s]}$ صفر است. ترکیب این دو در محدودیت اول می‌تواند به $PMT_LPDC_{kt}^{[s]}$ مقداری معادل $PVLP_{k}^{[s]}$و $PMT_{kt}^{[s]}$ بدهد.

به‌منظور خطی‌سازی عبارت $(PMT_{n}^{[s]}LPCC_{nt}^{[s]})$ دو متغیر غیر منفی جدید $PMT_LPCC_{nt}^{[s]}$ و $PMT_LPCC1_{nt}^{[s]}$ معرفی می‌شود و محدودیت‌های زیر تعریف می‌شود.

$$PMT_LPCC_{nt}^{[s]} + PMT_LPCC1_{nt}^{[s]} = PMT_{n}^{[s]} \quad (۱۰۴)$$
$$PMT_LPCC_{nt}^{[s]} \le LPCC_{nt}^{[s]} * U \quad (۱۰۵)$$
$$PMT_LPCC1_{nt}^{[s]} \le (1 - LPCC_{nt}^{[s]}) * U \quad (۱۰۶)$$
$$PMT_LPCC_{nt}^{[s]}, PMT_LPCC1_{nt}^{[s]} \ge 0 \quad (۸۸\text{-}۷)$$
$$\forall n \in N, \forall t \in T, \forall s \in S \quad (۱۰۴)$$، (۱۰۵)، (۱۰۶)، (۸۸-۷)

این محدودیت‌ها نشان می‌دهد اگر $LPCC_{nt}^{[s]}$ صفر باشد $PMT_LPCC_{nt}^{[s]}$ صفر است و اگر $LPCC_{nt}^{[s]}$ یک باشد $PMT_LPCC1_{nt}^{[s]}$ صفر است. ترکیب این دو در محدودیت اول می‌تواند به $PMT_LPCC_{nt}^{[s]}$ مقداری معادل $PMT_{n}^{[s]}$و $LPCC_{nt}^{[s]}$ بدهد.

به‌منظور خطی‌سازی عبارت $(PMT_{r}^{[s]}LPRC_{rt}^{[s]})$ ۲ متغیر غیر منفی جدید $PMT_LPRC_{rt}^{[s]}$ و $PMT_LPRC1_{rt}^{[s]}$ معرفی می‌شود و محدودیت‌های زیر تعریف می‌شود.

$$PMT_LPRC_{rt}^{[s]} + PMT_LPRC_{rt}^{[s]} = PMT_{r}^{[s]} \quad (۱۰۷)$$
$$PMT_LPRC_{rt}^{[s]} \le LPRC_{rt}^{[s]} * U \quad (۱۰۸)$$
$$PMT_LPRC_{rt}^{[s]} \le (1 - LPRC_{rt}^{[s]}) * U \quad (۱۰۹)$$
$$PMT_LPRC_{rt}^{[s]}, PMT_LPRC1_{rt}^{[s]} \ge 0 \quad (۸۸\text{-}۸)$$

$\forall r \in R, \forall t \in T, \forall s \in S$ (۱۰۷)،(۱۰۸)،(۱۰۹)،(۸۸-۸)

این محدودیت‌ها نشان می‌دهد اگر $LPRC_{rt}^{[s]}$ صفر باشد $PMT_LPRC_{rt}^{[s]}$ صفر است و اگر $LPRC_{rt}^{[s]}$ یک باشد $PMT_LPRC1_{rt}^{[s]}$ صفر است. ترکیب این دو در محدودیت اول می‌تواند به $PMT_LPRC_{rt}^{[s]}$ مقداری معادل $PMT_r^{[s]}$و $LPRC_{rt}^{[s]}$ بدهد.

به کمک روابط (۸۵)-(۱۰۹) تابع هدف اول مدل بازنویسی می‌شود و عبارات $PVLP_LPW_{mt}^{[s]}$، $PVLP_LPDC_{kt}^{[s]}$، $PVLP_LPCC_{nt}^{[s]}$، $PVLP_LPRC_{rt}^{[s]}$، $PMT_LPW_{mt}^{[s]}$، $PMT_LPDC_{kt}^{[s]}$، $PMT_LPCC_{nt}^{[s]}$و $PMT_LPRC_{rt}^{[s]}$ به ترتیب جایگزین عبارات $PVLP_m^{[s]}LPW_{mt}^{[s]}$، $PVLP_k^{[s]}LPDC_{kt}^{[s]}$، $PVLP_n^{[s]}LPCC_{nt}^{[s]}$، $PVLP_r^{[s]}LPRC_{rt}^{[s]}$، $PMT_m^{[s]}LPW_{mt}^{[s]}$، $PMT_k^{[s]}LPDC_{kt}^{[s]}$ و $PMT_r^{[s]}LPRC_{rt}^{[s]}$ $PMT_n^{[s]}LPCC_{nt}^{[s]}$ می‌شود.

$(W_m, DC_k, CC_n, RC_r, Q_{ijmt}^{[s]}, Q_{imkt}^{[s]}, Q_{ikct}^{[s]}, Q_{icnt}^{[s]}, Q_{inrt}^{[s]}, Q_{injt}^{[s]}, Q_{inlt}^{[s]}, Q_{irkt}^{[s]}, P_{ijt}^{[s]}, I_{ijt}^{[s]}, I_{imt}^{[s]}, I_{ikt}^{[s]}, PMT_m^{[s]}, PMT_k^{[s]}, PMT_n^{[s]}, PMT_r^{[s]}, PVLP_m^{[s]}, PVLP_k^{[s]}, \mathrm{PVLP_n^{[s]}}, \mathrm{PVLP_r^{[s]}}) \geq 0 \quad \forall i,j,m,k,n,r,l,t,s$ (۱۱۰)

$(LPW_{mt}^{[s]}, LPDC_{kt}^{[s]}, LPCC_{nt}^{[s]}, LPRC_{rt}^{[s]}, OPW_{mt}^{[s]}, \mathrm{OPDC_{kt}^{[s]}}, OPCC_{nt}^{[s]}, OPRC_{rt}^{[s]}, PW_m, PDC_k, PCC_n, PRC_r, PWDC_{mk}, PDC.C_{kc}, PC.CC_{cn}, PCC.RC_{nr}, \mathrm{PCC.P_{nj}}, \mathrm{PCC.DPC_{nl}}, \mathrm{PRC.DC_{rk}}) \epsilon \{0,1\} \quad \forall j,m,k,n,r,l,t,s$ (۱۱۱)

مدل مسئله نهایتاً شامل هدف $Obj1^*$ و محدودیت‌های (۶) تا (۱۱۱) می‌باشد.

$$\mathrm{Obj1^*}=\max \sum_{t=1}^{\frac{EL}{4}} \sum_{S=1}^{2^{\frac{EL}{4}}-1} \Psi_s * \; [(1-TR)(\sum_i \sum_c PRICE_{ict}^{[s]} DM_{ict}^{[s]} - \sum_i \sum_j C_{ij}^{P} P_{ijt}^{[s]} - \sum_i \sum_j \sum_m C_{ijm}^{TR} Q_{ijmt}^{[s]} - \sum_i \sum_m \sum_k C_{imk}^{TR} Q_{imkt}^{[s]} - \sum_i \sum_k \sum_c C_{ikc}^{TR} Q_{ikct}^{[s]} - \sum_i \sum_c \sum_n C_{icn}^{TR} Q_{icnt}^{[s]} - \sum_i \sum_n \sum_j C_{inj}^{TR} Q_{injt}^{[s]} - \sum_i \sum_n \sum_r C_{inr}^{TR} Q_{inrt}^{[s]} - \sum_i \sum_n \sum_l C_{inl}^{TR} Q_{inlt}^{[s]} - \sum_i \sum_r \sum_k C_{irk}^{TR} Q_{irkt}^{[s]} - \sum_i \sum_m C_{im}^{WH} \sum_j Q_{ijmt}^{[s]} - \sum_i \sum_k C_{ik}^{DH} \sum_m Q_{imkt}^{[s]} - \sum_i \sum_j C_{ij}^{l} \frac{(I_{ijt}^{[s]}+I_{ij,t-1}^{[s]})}{2} - \sum_i \sum_m C_{im}^{l} \frac{(I_{imt}^{[s]}+I_{im,t-1}^{[s]})}{2} - \sum_i \sum_k C_{ik}^{l} \frac{(I_{ikt}^{[s]}+I_{ik,t-1}^{[s]})}{2} - \sum_i \sum_n C_{in}^{ins} \sum_c Q_{icnt}^{[s]} - \sum_i \sum_r C_{ir}^{rep} \sum_n Q_{inrt}^{[s]} - \sum_i \sum_l C_{il}^{dis} \sum_n Q_{inlt}^{[s]} - \sum_i \sum_j C_{ij}^{rem} \sum_n Q_{injt}^{[s]} - \sum_m DR_m C_m^W OPW_{mt}^{[s]} - \sum_m DR_m PVLP_LPW_{mt}^{[s]} - \sum_k DR_k C_k^{DC} OPDC_{kt}^{[s]} - \sum_k DR_k PVLP_LPDC_{kt}^{[s]} - \sum_n DR_n C_n^{CC} OPCC_{nt}^{[s]} - \sum_n DR_n PVLP_LPCC_{nt}^{[s]} - \sum_r DR_r C_r^{RC} OPRC_{rt}^{[s]} - \sum_r DR_r PVLP_LPRC_{rt}^{[s]} - \sum_m PMT_LPW_{mt}^{[s]} - \sum_k PMT_LPDC_{kt}^{[s]} - \sum_n PMT_LPCC_{nt}^{[s]} - \sum_r PMT_LPRC_{rt}^{[s]}) + \sum_m (FV_{mt}^{[s]} - (1-TP_t DR_m) C_m^W)(LPW_{mt}^{[s]} - LPW_{m,t-1}^{[s]}) + \sum_k (FV_{kt}^{[s]} - (1-TP_t DR_k) C_k^{DC})(LPDC_{kt}^{[s]} - LPDC_{k,t-1}^{[s]}) + \sum_n (FV_{nt}^{[s]} - (1-TP_t DR_n) C_n^{CC})(LPCC_{nt}^{[s]} - LPCC_{n,t-1}^{[s]}) + \sum_r (FV_{rt}^{[s]} - (1-TP_t DR_r) C_r^{RC})(LPRC_{rt}^{[s]} - LPRC_{r,t-1}^{[s]})]$$

تابع هدف خطی شده (۱۱۲)

۴- حل مدل پیشنهادی

۴-۱- مثال عددی

در این بخش سعی شده است تا بوسیله ارائه مسائل عددی مناسب توانایی مدل توسعه داده شده بررسی شود. به‌منظور نشان دادن برتری مدل SLB در ابتدا مدل ارائه شده در بخش ۳ که در آن رویکرد مالی SLB آورده شده است با مدلی که این رویکرد در آن در نظر گرفته نشده است مقایسه می‌شود.در ادامه به‌منظور ارزیابی اثر تغییرات پارامترهای مدل بر روی نتیجه توابع هدف، از تحلیل حساسیت استفاده شده است.

به‌منظور نشان دادن ویژگی‌های مدل و اجرایی کردن آن یک مثال عددی به کار گرفته شده است. در این مثال، سعی شده مقادیر پارامترها و ضرایب برگرفته از مثال عددی به‌کاررفته در مقاله لانگینیدیس و جورجیادیس [۳] باشد. در این مثال ۸ محصول توسط ۲ کارخانه که دارای ۴ منبع تولیدی مشترک است تولید می‌شود. این محصولات توسط ۳ انبار بالقوه و ۴ مرکز توزیع بالقوه به دست مشتری-ها می‌رسد. تعداد مشتری در نظر گرفته شده در این مثال ۸ عدد است که محصولات مرجوعی از این مشتریان توسط ۳ مرکز جمع‌آوری بالقوه جمع‌آوری شده و محصولات قابل تعمیر به ۳ مرکز تعمیر بالقوه می‌تواند ارسال شود. محصولات معیوب به ۲ مرکز انهدام فرستاده می-شود. عمر اقتصادی در نظر گرفته شده برای تمام مراکز بالقوه ۲۰ سال است. افق برنامه‌ریزی ۵ دوره یک ساله است.

جدول (۱) هزینه‌هایی که به‌طور مستقیم به محصول مربوط می-شود را بیان می‌کند که شامل هزینه‌های مربوط حمل‌ونقل بین مراکز، هزینه جابه‌جایی، هزینه موجودی، هزینه تولید، بازتولید، بازرسی، تعمیر و انهدام است. همچنین در این جدول حداکثر و حداقل میزان تولید به ازای هر محصول، نرخ مصرف منبع و نرخ‌های بازگشت به ازای هر محصول آمده است.کل منبع در دسترس در هر سال ۱۵۰۰۰۰ واحد است.

جدول (۱): هزینه‌ها، نرخ تولید، نرخ بازگشت و دسترسی به منبع

C_{ijm}^{TR}	[۰/۵۳ ،۰/۶۲]	C_{ir}^{rep}	[۰/۳۸ ،۰/۴۵]
C_{imk}^{TR}	[۰/۵۶ ،۰/۶۲]	C_{il}^{dis}	[۰/۳ ،۰/۳۶]
C_{ikc}^{TR}	[۰/۷۵ ،۰/۷۷]	C_{in}^{ins}	[۰/۲۴ ،۰/۳۱]
C_{icn}^{TR}	[۰/۴۱ ،۰/۴۷]	C_{ij}^{I}	[۰/۲ ،۰/۴۸]
C_{inj}^{TR}	[۰/۸۱ ،۰/۸۹]	C_{im}^{I}	[۰/۳۳ ،۰/۴۷]
C_{inr}^{TR}	[۰/۵۹ ،۰/۶۸]	C_{ik}^{I}	[۰/۳۷ ،۰/۴۵]
C_{inl}^{TR}	[۰/۴۱ ،۰/۴۵]	P_{ijt}^{max}	[۲۳۵۰،۲۹۵۰]
C_{irk}^{TR}	[۰/۵۲ ،۰/۵۷]	P_{ijt}^{min}	۰
C_{im}^{WH}	[۰/۴۶ ،۰/۸۳]	RM_{it}	[۰/۲ ،۰/۳]
C_{ik}^{DH}	[۰/۵۶ ،۰/۷۹]	RP_{it}	[۰/۰۵ ،۰/۱]
C_{ij}^{P}	[۲/۵۵ ،۳]	RR_{it}	[۰/۴ ،۰/۵]
C_{ij}^{rem}	[۰/۴۸ ،۰/۶۱]	ρ_{ije}	[۰/۰۱۹ ،۰/۰۵۴]

در جدول (۲) پارامترهای مربوط به قیمت هر محصول برای هر مشتری و تقاضای هر مشتری تحت هر سناریو به‌صورت توزیع یکنواخت بیان شده است.

جدول (۲): قیمت و تقاضا

$PRICE_{ict}^{[s]}$	[۷،۱۲]	$DM_{ict}^{[s]}$	[۳۰۰،۵۰۰]

در جدول (۳) پارامترهای مربوط به قیمت هر محصول برای هر مشتری، هزینه احداث هر مرکز بالقوه و حداکثر و حداقل ظرفیت هر مرکز، ارزش منصفانه ، نرخ استقراضی افزایش مستأجر و نرخ بهره ضمنی در اجاره هر مرکز در هر دوره و تقاضای هر مشتری تحت هر سناریو به‌صورت توزیع یکنواخت بیان شده است.

ضریب مربوط به ظرفیت مراکز برای موجودی نگه‌داری شده ۰/۰۱ و ضریب ذخیره اطمینان برای کارخانه، انبار و مرکز توزیع برابر با ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ است. حداکثر و حداقل مقدار محصول انتقال داده شده بین دو نقطه، ۱۰۰۰ و۱۰۰ است. پارامترهایی که دارای عدم‌قطعیت هستند توسط مدیریت شرکت تخمین زده می‌شوند و منطبق بر ساختار درخت سناریو ارائه شده در شکل (۲) است. احتمال هر سناریو ۰/۰۶۲۵ است. استهلاک دارایی‌های شرکت با روش خط مستقیم محاسبه می‌شود و نرخ استهلاک برای همه مراکز بالقوه ۰/۰۵ و مالیات ۳۰٪ در نظر گرفته شده است.

جدول (۳): ارزش منصفانه، نرخ بهره ضمنی، نرخ افزایش استقراضی مستأجر و ظرفیت مراکز

$FV_{mt}^{[s]}$	[۳۶۰۰۰،۴۹۰۰۰]	C_m^W	[۳۷۰۰۰،۴۳۰۰۰]
$FV_{kt}^{[s]}$	[۳۵۰۰۰،۴۹۰۰۰]	C_k^{DC}	[۳۷۰۰۰،۴۵۰۰۰]
$FV_{nt}^{[s]}$	[۳۵۰۰۰،۴۲۰۰۰]	C_n^{CC}	[۲۹۰۰۰،۳۲۰۰۰]
$FV_{rt}^{[s]}$	[۳۵۰۰۰،۴۲۰۰۰]	C_r^{RC}	[۲۸۰۰۰،۲۹۰۰۰]
$LIBR_{mt}^{[s]}$	[۰/۰۵ ،۰/۰۸]	W_m^{max}	[۱۶۰۰۰،۲۰۰۰۰]
$LIBR_{kt}^{[s]}$	[۰/۰۵ ،۰/۰۸]	W_m^{min}	[۱۹۰۰،۲۵۰۰]
$LIBR_{nt}^{[s]}$	[۰/۰۵ ،۰/۰۷]	DC_k^{max}	[۲۰۰۰۰،۲۷۰۰۰]
$LIBR_{rt}^{[s]}$	[۰/۰۴ ،۰/۰۷]	DC_k^{min}	[۱۱۰۰،۱۹۰۰]
$IRIL_{mt}^{[s]}$	[۰/۰۵ ،۰/۰۷]	CC_n^{max}	[۱۵۰۰۰،۲۰۰۰۰]
$IRIL_{kt}^{[s]}$	[۰/۰۵ ،۰/۰۸]	CC_n^{min}	[۹۰۰،۱۱۰۰]
$IRIL_{nt}^{[s]}$	[۰/۰۵ ،۰/۰۷]	RC_r^{max}	[۱۲۰۰۰،۱۳۰۰۰]
$IRIL_{rt}^{[s]}$	[۰/۰۵ ،۰/۰۷]	RC_r^{min}	[۹۰۰،۱۱۰۰]

۴-۲- بررسی مدل SLB

در این بخش مدل یک هدف‌های که شامل تنها تابع هدف سود (۱۱۲) و محدودیت‌های (۶)-(۱۱۱) است، با مدلی که متغیرها و محدودیت‌های SLB در آن غیرفعال است، مقایسه می‌شود. در این مقایسه، برای مدل جدید از محدودیت‌های (۶)-(۶۴) مدل اول استفاده شده است. تابع هدف جدید در این مدل شامل تابع هدف (۱۱۳) است.

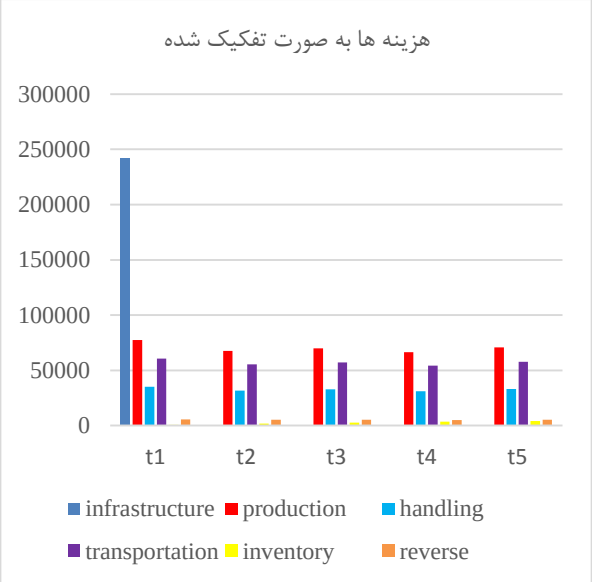
$$\begin{aligned}Obj^{new}=\max\sum_{t=1}^{\frac{EL}{4}}\sum_{S=1}^{2^{\frac{EL}{4}}-1}\Psi_s * \ [&(1-TR)(\sum_i\sum_c PRICE_{ict}^{[s]}DM_{ict}^{[s]}-\sum_i\sum_j C_{ij}^{P}P_{ijt}^{[s]}-\\ &\sum_i\sum_j\sum_m C_{ijm}^{TR}Q_{ijmt}^{[s]}-\sum_i\sum_m\sum_k C_{imk}^{TR}Q_{imkt}^{[s]}-\sum_i\sum_k\sum_c C_{ikc}^{TR}Q_{ikct}^{[s]}-\sum_i\sum_c\sum_n C_{icn}^{TR}Q_{icnt}^{[s]}-\sum_i\sum_n\sum_j C_{inj}^{TR}Q_{injt}^{[s]}-\\ &\sum_i\sum_n\sum_r C_{inr}^{TR}Q_{inrt}^{[s]}-\sum_i\sum_n\sum_l C_{inl}^{TR}Q_{inlt}^{[s]}-\sum_i\sum_r\sum_k C_{irk}^{TR}Q_{irkt}^{[s]}-\sum_i\sum_m C_{im}^{WH}\sum_j Q_{ijmt}^{[s]}-\sum_i\sum_k C_{ik}^{DH}\sum_m Q_{imkt}^{[s]}-\\ &\sum_i\sum_j C_{ij}^{I}\frac{(I_{ijt}^{[s]}+I_{ij,t-1}^{[s]})}{2}-\sum_i\sum_m C_{im}^{I}\frac{(I_{imt}^{[s]}+I_{im,t-1}^{[s]})}{2}-\sum_i\sum_k C_{ik}^{I}\frac{(I_{ikt}^{[s]}+I_{ik,t-1}^{[s]})}{2}-\\ &\sum_i\sum_n C_{in}^{ins}\sum_c Q_{icnt}^{[s]}-\sum_i\sum_r C_{ir}^{rep}\sum_n Q_{inrt}^{[s]}-\sum_i\sum_l C_{il}^{dis}\sum_n Q_{inlt}^{[s]}-\sum_i\sum_j C_{ij}^{rem}\sum_n Q_{injt}^{[s]}-\\ &\sum_m DR_m C_m^W OPW_{mt}^{[s]}-\sum_k DR_k C_k^{DC}OPDC_{kt}^{[s]}-\sum_n DR_n C_n^{CC}OPCC_{nt}^{[s]}-\sum_r DR_r C_r^{RC}OPRC_{rt}^{[s]})]\end{aligned} \quad (۱۱۳)$$

مدل مسئله در سیستمی با مشخصات cpu Intel Core i7-4720HQ 2.20GHz با استفاده از نرم‌افزار GAMS اجرا گردید. مقادیر تابع هدف به‌دست آمده از ۲ مدل که در جدول (۴) آمده است، نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن رویکرد فروش و اجاره مجدد سود بیشتری به‌دست می‌آید.

جدول (۴): مقادیر تابع هدف

	مقادیر تابع هدف	زمان اجرا (S)
مدل با در نظر گرفتن رویکرد SLB	۲۶۵۳۰۲/۲۶۵	۱۲۲
مدل بدون در نظر گرفتن رویکرد SLB	۱۹۸۷۸۲/۱۰۱	۸۸

شکل (۳) نمایش‌دهنده هزینه‌ها به‌صورت تفکیک‌شده برای ساختار بهینه در افق برنامه‌ریزی بر مبنای تمام سناریوها برای مدل اولیه می‌باشد. همان‌طور که در نمودار ریز هزینه‌ها مشاهده می‌شود در دوره اول هزینه احداث سهم اصلی هزینه‌ها را در بر می‌گیرد و سایر هزینه‌ها به ترتیب هزینه تولید، هزینه حمل‌ونقل، هزینه جابجایی، هزینه‌های مربوط به برگشت محصول و هزینه موجودی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرد که این الگو در دوره‌های بعدی افق برنامه‌ریزی تکرار می‌شود.

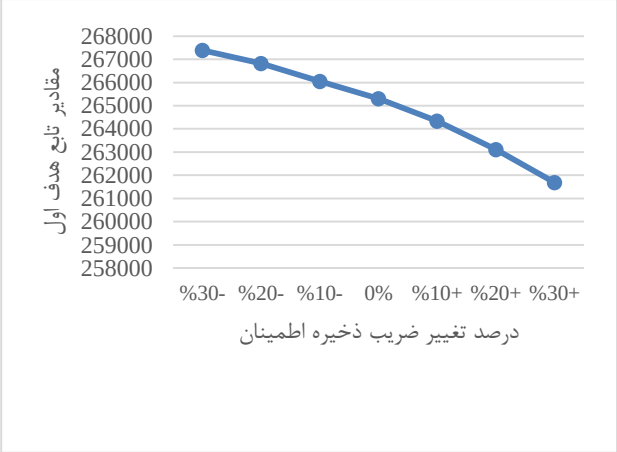


شکل(۳): هزینه‌ها به‌صورت تفکیک‌شده در مدل اولیه

۴-۳- تحلیل حساسیت

در این بخش به‌منظور ارزیابی اثر تغییرات پارامترهای مدل بر روی نتیجه توابع هدف، از تحلیل حساسیت استفاده شده است. نحوه انجام تحلیل حساسیت بدین‌صورت است که تمامی پارامترهای مسئله به‌جز پارامترهای موردبررسی ثابت باقی‌مانده و با ایجاد تغییرات در مقادیر پارامتری که جهت انجام تحلیل حساسیت انتخاب گردیده، نتایج این تحلیل بررسی می‌گردد. ابتدا پارامترهای مربوط به ضریب ذخیره اطمینان موجودی برای کارخانه، انبار و مرکز توزیع موردبررسی قرار می‌گیرد و نتایج حاصل از این تحلیل در شکل (۴) نمایش داده‌می‌شود. به‌منظور تحلیل حساسیت مقادیر پارامترهای δ_{ij}، δ_{im} و δ_{ik} با درصدهای ٪۳۰-، ٪۲۰-، ٪۱۰-، ٪۱۰، ٪۲۰ و ٪۳۰ تغییر داده می‌شود. با افزایش ضریب ذخیره اطمینان مقدار تابع هدف اول که سود است به‌طورکلی کاهش می‌یابد.

تحلیل حساسیت بعدی مربوط به پارامتر ارزش منصفانه هر مرکز بالقوه است. به‌این‌ترتیب برای هر مرکز به‌طور جداگانه این تحلیل انجام می‌شود. نتایج حاصل از این تحلیل در جدول (۵) آورده شده است.



شکل(۴): مقدار تغییر در تابع هدف اول به ازای درصدهای مختلف تغییر در پارامترهای δ_{ij} ، δ_{im} و δ_{ik}

پارامترهای دیگری که موردبررسی قرار داده می‌شود، پارامتر مربوط به نرخ بهره ضمنی در اجاره و نرخ استقراضی افزایش مستأجر است. هدف از این تحلیل حساسیت بررسی اثر تغییرات بازار بر تغییرات ایجاد شده در مدل است. برای این منظور هر ۴ پارامتر مربوط به نرخ بهره ضمنی در اجاره ($IRIL_{mt}^{[s]}$ ،$IRIL_{kt}^{[s]}$ ،$IRIL_{nt}^{[s]}$ و $IRIL_{rt}^{[s]}$) به‌طور همزمان با درصدهای ٪۴۰-، ٪۳۰-، ٪۲۰-، ٪۱۰-، ٪۱۰، ٪۲۰، ٪۳۰ و ٪۴۰ تغییر داده می‌شوند. نتایج حاصل از این تغییرات در جدول (۶) آمده است.

همچنین هر چهار پارامتر مربوط به نرخ استقراضی افزایش مستأجر($LIBR_{mt}^{[s]}$،$LIBR_{kt}^{[s]}$،$LIBR_{nt}^{[s]}$و$LIBR_{rt}^{[s]}$) به‌طور همزمان با درصدهای٪۴۰-، ٪۳۰-، ٪۲۰-، ٪۱۰-، ٪۱۰، ٪۲۰، ٪۳۰ و ٪۴۰ تغییر داده می‌شوند.

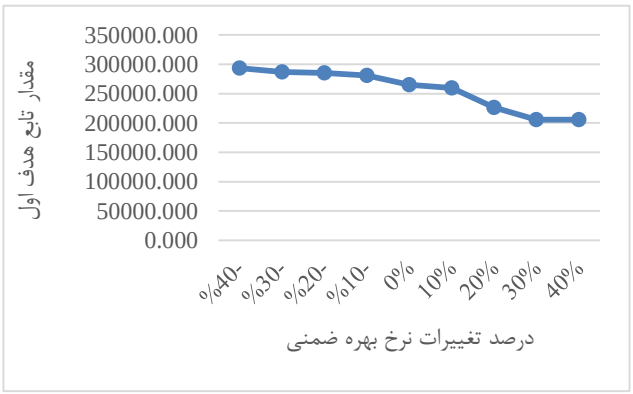
نتایج حاصل از این تغییرات نیز در جدول (۶) آمده است. همان‌طور که مقادیر تابع هدف نشان می‌دهند با افزایش نرخ استقراضی افزایش مستأجر مقدار تابع هدف افزایش می‌یابد و با افزایش نرخ بهره ضمنی مقدار تابع هدف کاهش می‌یابد. شکل (۵) و شکل (۶) نمایشی بهتر از این تغییرات است.

جدول (۵): تحلیل حساسیت پارامتر ارزش منصفانه مراکز بالقوه

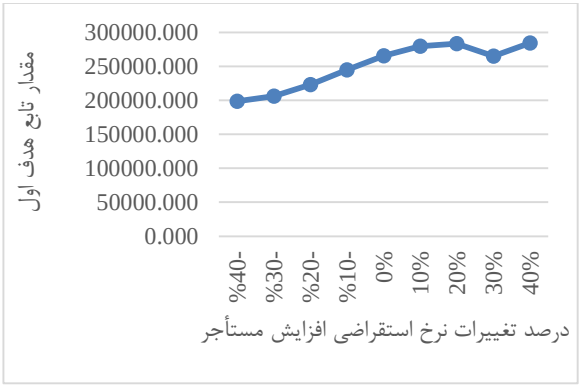
	مقدار تابع هدف با تغییر $FV_{mt}^{[s]}$	مقدار تابع هدف با تغییر $FV_{kt}^{[s]}$	مقدار تابع هدف با تغییر $FV_{nt}^{[s]}$	مقدار تابع هدف با تغییر $FV_{rt}^{[s]}$
-۴۰٪	۲۲۲۸۵۹,۳۹	۲۱۹۷۸۴,۹۹	۲۳۳۱۷۵,۸۸	۲۳۳۳۲۹,۳۱
-٪۳۰	۲۲۲۶۱۲,۷۲	۲۲۵۶۱۵,۴۶	۲۳۲۷۹۷,۸۸	۲۳۳۳۲۹,۳۱
-٪۲۰	۲۲۵۹۴۵,۶۳	۲۲۷۸۵۵,۰۰	۲۳۳۶۸۳,۱۶	۲۴۱۰۰۹,۱۵
-٪۱۰	۲۳۳۷۳۸,۰۰	۲۳۱۴۵۲,۵۹	۲۳۸۱۶۱,۴۷	۲۳۸۳۸۷,۶۸
٪۰	۲۳۸۳۸۷,۶۸	۲۳۸۳۸۷,۶۸	۲۳۸۳۸۷,۶۸	۲۳۸۳۸۷,۶۸
٪۱۰	۲۴۸۳۱۱,۱۱	۲۴۷۱۹۰,۸۶	۲۴۳۸۹۹,۲۷	۲۳۳۲۷۱,۲۹
٪۲۰	۲۵۳۹۰۶,۸۳	۲۵۷۴۹۹,۴۸	۲۴۹۳۱۹,۸۶	۲۳۷۷۱۳,۱۷
٪۳۰	۲۶۴۴۱۷,۶۳	۲۷۰۳۲۶,۸۳	۲۵۶۴۳۱,۲۷	۲۳۷۷۱۳,۱۷
٪۴۰	۲۷۴۷۱۹,۱۷	۲۸۲۷۸۸,۲۷	۲۶۱۹۸۷,۶۵	۲۳۸۴۰۳,۰۸

جدول(۶): تحلیل حساسیت پارامترهای نرخ بهره ضمنی در اجاره و نرخ استقراضی افزایش مستأجر

	مقدار تابع هدف با تغییر پارامترهای $IRIL_{rt}^{[s]}$و$IRIL_{mt}^{[s]}$،$IRIL_{kt}^{[s]}$،$IRIL_{nt}^{[s]}$	مقدار تابع هدف با تغییر پارامترهای $LIBR_{rt}^{[s]}$و$LIBR_{nt}^{[s]}$،$LIBR_{kt}^{[s]}$،$LIBR_{mt}^{[s]}$
-۴۰٪	۲۹۳۳۷۰,۵۷۴	۱۹۸۷۸۲,۱۰۱
-٪۳۰	۲۸۶۶۹۲,۰۱۷	۲۰۶۰۳۳,۱۱۲
-٪۲۰	۲۸۵۳۲۹,۲۳۷	۲۲۳۲۴۵,۳۵۵
-٪۱۰	۲۸۰۷۱۷,۸۴۶	۲۴۴۵۸۸,۶۰۴
٪۰	۲۶۵۳۰۲,۲۶۵	۲۶۵۳۰۲,۲۶۵
٪۱۰	۲۵۹۳۸۲,۳۴۲	۲۷۹۶۶۰,۴۲۱
٪۲۰	۲۲۶۳۵۲,۴۲۶	۲۸۳۴۵۳,۹۹۷
٪۳۰	۲۰۵۵۱۱,۲۳۰	۲۶۴۸۶۸,۶۶۱
٪۴۰	۲۰۵۰۴۰,۶۲۶	۲۸۴۱۸۴,۳۰۶



شکل (۵): مقدار تغییر در تابع هدف به ازای درصدهای مختلف تغییر در پارامترهای $IRIL_{mt}^{[s]}$، $IRIL_{kt}^{[s]}$، $IRIL_{nt}^{[s]}$ و $IRIL_{rt}^{[s]}$



شکل (۶): مقدار تغییر در تابع هدف به ازای درصدهای مختلف تغییر در پارامترهای $LIBR_{mt}^{[s]}$، $LIBR_{kt}^{[s]}$، $LIBR_{nt}^{[s]}$ و $LIBR_{rt}^{[s]}$

۵- نتیجه گیری

با اهمیت پیدا کردن مسائلی چون حفاظت محیط‌زیست و استفاده کمتر از مواد خام، دولت تمایل به بازیافت محصول دارد تا پس از تغییراتی دوباره در اختیار کارخانجات تولیدی قرار گیرد. به همین دلیل، مبحث لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته موردتوجه قرار گرفته است و در مدل طراحی شده موضوع بازگشت محصول و استفاده دوباره از آن در نظر گرفته شده است. توجه به مسائل مالی و رویکردهای مختلف آن به شرکت‌ها کمک‌های بزرگی می‌کند. در این پژوهش یک مدل غیر قطعی بر مبنای سناریو ارائه شده است که قابلیت بررسی یک رویکرد مالی را دارد. فروش و اجاره مجدد دارایی به‌عنوان یک تکنیک مالی که قابلیت آزاد سازی ارزش املاک را دارد در یک زنجیره تامین حلقه بسته در نظر گرفته شده است. اگر شرکت مشکل نقدینگی داشته باشد و به دلایل مختلفی قادر به استقراض نیز نباشد، فروش دارایی و اجاره مجدد آن به‌عنوان راهکار تأمین مالی محسوب می شود. ابتدا مدلی طراحی شده است که تابع هدف آن به دنبال حداکثر سازی سود پس از کسر مالیات و سود حاصل از فروش و اجاره مجدد است. در فصل چهارم مدلی که تکنیک مالی SLB در آن در نظر گرفته‌شده‌است با مدل دیگری که این تکنیک در آن وجود ندارد مقایسه می‌شود. در نهایت یک تحلیل حساسیت بر روی چند پارامتر صورت می‌گیرد.

مقایسه اول در رابطه با در نظر گرفتن رویکرد فروش و اجاره مجدد دارایی در مدل و عدم در نظر گرفتن آن می‌باشد. همان‌طور که جدول (۴) نشان می‌دهد، بیان کننده این موضوع است که مقدار تابع هدف سود با درنظر گرفتن رویکرد مالی بیشتر خواهد بود. این بدان معنی است که در نظر گرفتن رویکرد SLB در مدل توسعه‌یافته، کاملاً توجیه‌پذیر و دارای ارزش‌افزوده است. نمودار تفکیک هزینه‌ها در مدل بهینه اولیه نیز در ادامه آورده شده است.

در ادامه تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای ضریب ذخیره اطمینان موجودی برای کارخانه، انبار و مرکز توزیع،پارامتر ارزش منصفانه به ازای هر مرکز بالقوه، پارامتر مربوط به نرخ بهره ضمنی اجاره و نرخ استقراضی افزایش مستأجر انجام شده است. تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای ضریب ذخیره اطمینان موجودی برای کارخانه، انبار و مرکز توزیع نشان می‌دهد که با افزایش مقادیر این پارامترها مقدار تابع هدف کاهش می‌یابد. با تغییر در پارامتر ارزش منصفانه به ازای هر مرکز بالقوه، مراکز انتخاب شده و مقدار تابع هدف تغییراتی دارد که در جدول به‌طور کامل آورده شده است. تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مربوط به نرخ

بهره ضمنی اجاره و نرخ استقراضی افزایش مستأجر نشان می‌دهند که با افزایش پارامتر مربوط به نرخ بهره ضمنی اجاره مقدار تابع هدف اول کاهش و با افزایش پارامتر نرخ استقراضی افزایش مستأجر مقدار تابع هدف اول افزایش می‌یابد.

پیشنهادات آتی

برای توسعه بیشتر مدل در تحقیقات آتی می‌توان موارد زیر را پیشنهاد داد:

- برخی از پارامترهای مدل را می‌توان فازی در نظر گرفت.
- استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری به دلیل افزایش زمان حل در ابعاد بزرگ
- در نظر گرفتن عدم‌قطعیت در نرخ‌های بازگشت
- در نظر گرفتن تابع هدف دوم و انواع مختلف نقلیه به‌منظور محاسبه انتشار آلودگی
- در نظر گرفتن عدم‌قطعیت برای عرضه و تقاضا و وابستگی قیمت به عرضه و تقاضا

مراجع

[1] Vahdani, B., Razmi, J., Tavakkoli-Moghadam, R. (2012). "Fuzzy possibilistic modeling for Closed loop recycling collection networks", *Environmental Modeling & Assessment*, 17: 623-637.

[2] Pishvaee, M.S., Torabi, S.A. (2010). "A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty", *Fuzzy Sets and Systems*, 161: 2668-2683.

[3] Longinidis, P., Georgiadis, M.C. (2013). "Integration of sale and leaseback in the optimal design of supply chain networks", *Omega*, 47: 73-89.

[4] Pishvaee, M.S., Jolai, F., Razmi, J. (2009). "A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design", *Journal of Manufacturing Systems*, 28: 107-114.

[5] Pokharel, S., Mutha, A. (2009). "Perspectives in reverse logistics: a review, Resources", *Conservation and Recycling*, 53: 175-182.

[6] Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Wassenhove, L. (2001). "The impact of product recovery on logistics network design", *Production and Operations Management*, 10: 156-173.

[7] Pishvaee, M.S., Zanjirani Farahani, R., Dullaert, W. (2008). "A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design", *Computers & Operations Research*, 37: 1100-1112.

[8] Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2007). "An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network, with uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 179:1063-1077.

[9] Lu, Z., Bostel, N. (2007). "A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities", *Computers & Operations Research*, 34: 299-323.

[10] Qin, Zh., Ji X. (2009). "Logistics network design for product recovery in fuzzy environment", *European Journal of Operational Research*, 202: 479-490.

[11] El-Sayed, M., Afia, N., El-Kharbotly A. (2010). "A stochastic model for forward-reverse logistics network design under risk", *Computers & Industrial Engineering*, 58: 423-431.

[12] Subrata, M. (2012). "Inventory management in a two-echelon closed-loop supply chain with correlated demands and returns", *Computers and Industrial Engineering*, 62: 870-879.

[13] Garg, K., Kannan, D., Diabat, A., Jha, P.C. (2015). "A multi-criteria optimization approach to manage environmental issues in closed loop supply chain network design", *Journal of Cleaner Production*, 100: 297–314.

[14] Rumin, M.A., Lifei, Y.A.O., Maozhu, J.I.N., Peiyu, R.E.N. (2016). "Robust environmental closed-loop supply chain design under uncertainty", *Chaos, Solitons & Fractals*, 89: 195-202.

[15] Badri, H., Fatemi Ghomi, S.M.T., Hejazi, T.H. (2017). "A two-stage stochastic programming approach for value-based closed-loop supply chain network design", *Transportation Reasearch Part E: Logistics and Transportation Review*, 105: 1-17.

[16] Yan Cui, Y., Guan, Z., Saif, U., Zhang, L., Zhang, F., Mirza, J., (2017). "Close loop supply chain network problem with uncertainty in demand and returned products: Genetic artificial bee colony algorithm approach", *Journal of Cleaner Production*, 162: 717-742.

[17] Pant, K., Singh, A.R., Pandey, U., Purohit, R. (2018). "A Multi echelon mixed integer linear programming model of a close loop supply chain network design", *Materials Today: Proceedings*, 5: 4838-4846.

[18] Asim, Z., Jalil, S., Javaid, S. (2019). "An uncertain model for integrated production-transportation closed-loop supply chain network with cost reliability", *Sustainable Production and Consumption*, 17: 298-310.

[19] Guillén, G., Badell, M., Puigjaner, L. (2007). "A holistic framework for short-term supply chain management integrating production and corporate financial planning", *International Journal of Production Economics*, 106: 288-306.

[20] Puigjaner, L., Guillén- Gosálbez, G. (2008). "Towards an integrated framework for supply chain management in the batch chemical process industry", *Computer & Chemical Engineering*, 32: 650-670.

[21] Sodhi, M.S., Tang, C.S. (2009). "Modeling supply-chain planning under demand uncertainty using stochastic programming: a survey motivated by asset-liability Management", *International Journal of Production Economics*, 121: 728-738.

[22] Naraharisetti, P.K., Karimi, I.A., Srinivasan, R. (2008). "Supply chain redesign through optimal asset management and capital budgeting", *Computers & Chemical Engineering*, 32: 3153-3169.

[23] Laínez, J.M., Puigjaner, L., Reklaitis, G.V. (2009). "Financial and financial engineering considerations in supply chain and product development pipeline management", *Computers and Chemical Engineering*, 33: 1999-2011.

[24] Longinidis, P., Georgiadis, M.C. (2011). "Integration of financial statement analysis in the optimal design of supply chain networks under demand uncertainty", *International Journal of Production Economics*, 129: 262-276.

[25] Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., Ziegler, H.P. (2012). "A multi-stage stochastic supply network design problem with financial decisions and risk management", *Omega*, 40: 511-524.

[26] Ramezani, M., Kimiagari, A.M., Karimi, B. (2014). "Closed-loop supply chain network design: a financial approach", *Applied Mathematical Modeling*, 38: 4099-4119.

[27] Kalantari, M., Pishvaee, M., Yaghoubi, S. (2015). "A multi objective model integrating financial and material flow in supply chain master planning", *Industrial Management Prespective*, 19: 9-31. (In Persion).

[28] Mohammadi, A., Abbasi, A., Alimohammadlou, M., Eghtesadifard, M., Khalifeh, M. (2017). "Optimal design of a multi-echelon supply chain in a system thinking framework: An integrated financial-operational approach", *Computers & Industrial Engineering*, 114: 297-315.

[29] Vafa Arani, H., Torabi, S.A., (2018). "Integrated material-financial supply chain master planning under mixed uncertainty", *Information Sciences*, 423: 96-114.

[30] Yanga, H., Sun, F., Chen, J., Chen, B., (2019). "Financing decisions in a supply chain with a capital-constrained manufacturer as new entrant", *International Journal of Production Economics*, 216: 321-332.

[31] Ling, N.L.F.J. (2012). "Analysis of Factors and the Impacts of Sale and Leaseback Transaction", *Procdia-Social and Behavioral Sciences*, 36: 502-510.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Autumn and Winter 2020, Volume 7., No. 15., pp. 219-239
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/ier.2020.17234.1791

A Scenario-based Stochastic Optimization Model for Designing a Closed-Loop Supply Chain Network Considering Sale and Leaseback Transactions

Sh. Haghighatpanah[1], H. Davari-Ardakani[2*], A. Ghodratnama[3]

[1, 2, 3] Department of Industrial Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran

A R T I C L E I N F O

***Article history*:**

Received 7 September 2018
Accepted 25 November 2019

***Keywords*:**

Closed-loop supply chain network design
Scenario-based stochastic optimization
Sale and leaseback

A B S T R A C T

Nowadays, many researchers focus on reverse logistics and closed-loop supply chain network design. The main reason is the ever-increasing importance of environmental issues, customer satisfaction and economic benefits. In this paper, a scenario-based optimization model is proposed to deal with the closed-loop supply chain network design problem considering sale and leaseback (SLB) transactions. SLB transactions increase the liquidity of total assets and provide monetary resources for other activities. The proposed model, which is formulated based on sales accounting standards, maximizes the supply chain's benefit after tax. The proposed model is solved to optimality. Finally, a sensitivity analysis on the safety stock coefficient, the fair value of the leased asset, the interest rate implicit in the lease and lessee's incremental borrowing rate is performed to assess the impact of these parameters on the expected value of supply chain's benefit after tax.

* Corresponding author. H. Davari-Ardakani
Tel.: 021-88830891; E-mail address: davari@khu.ac.ir