

مدل‌سازی احتمالی مشارکت در مدیریت موجودی زنجیره‌ی تأمین پس‌رو

میترا هوید* (دانشجوی دکتری)

یحیی زارع مهرجردی (استاد)

محمد صالح اولیا (استاد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه بزد

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۳۹۶
دوری (۳۳-۱) شماره ۱/۱، صص ۱۱۳-۱۲

با افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی جامعه و مدیران، زنجیره‌ی تأمین پس‌رو به سرعت به موضوعی شناخته شده در نظریه و عمل تبدیل شده است. با این وجود، هزینه‌های بالای راه‌اندازی این زنجیره‌ها همچنان یکی از موانع اصلی استقرار آنهاست. در این مقاله با الهام از مدیریت موجودی توسط فروشنده، روشی برای مشارکت در زنجیره‌های تأمین پس‌رو پیشنهاد شده است. به منظور بررسی شرایط ترجیح مدل پیشنهادی بر عدم مشارکت و مشارکت ساده، توابع هزینه‌ی این سه حالت با یکدیگر مقایسه و شرایط برتری تعریف شده است. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت ذاتی زنجیره‌های تأمین پس‌رو، توابع توزیع احتمال میزان تولید و مصرف بازگشتی‌ها در مراکز تولید و بازاریابی در تابع هزینه مورد استفاده قرار گرفته است. در پایان نیز سه حالت بدون مشارکت، مشارکت ساده، و مدل پیشنهادی شبیه‌سازی و هزینه‌های آنها مقایسه شده است. مقایسه‌ی هزینه‌ها نشان‌گر کاهش قابل توجه هزینه در مدل پیشنهادی نسبت به دو روش دیگر است.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین پس‌رو، مشارکت، مدیریت موجودی توسط فروشنده.

moubed.m@gmail.com
mehrerdyazd@gmail.com
owliams@yazd.ac.ir

۱. مقدمه

همکاری^۱ سازمان‌ها تنها محدود به تبادل اطلاعات میان آنها و مشارکت^۲ گسترده‌تر و به معنای تعیین، تصویب، اجرا و اندازه‌گیری مشترک فرایندهای سازمان‌های عضو زنجیره تعریف شده است.^[۵] به عبارتی مشارکت فراتر از تبادل و یکپارچه‌سازی اطلاعات است و تسهیم مواد، سرمایه، تکنولوژی، ریسک و... را با تصمیم‌گیری‌های توأمان در زمینه‌ی پیش‌بینی، برنامه‌ریزی، توزیع و طراحی محصول شامل می‌شود. بررسی ادبیات موضوع بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶ در زمینه‌ی «ارتباطات زنجیره‌ی تأمین» نشان داده که مطالعات کم‌تری در زمینه‌ی مشارکت افقی (همکاری بین واحدهای یک زنجیره با سایر زنجیره‌ها) انجام گرفته است.^[۶]

به منظور توسعه‌ی مشارکت در زنجیره‌ی تأمین، برنامه‌های مختلفی مانند «مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI)^۳»، «مدیریت موجودی توسط جمع‌آوری‌کننده (CMI)^۴»، «مدیریت موجودی توسط ذخیره‌ساز (VMR)^۵»، «CPFR^۶ و غیره معرفی شده است. در تمامی این تکنیک‌ها سعی بر آن است که با مشارکت اعضای زنجیره در فرایندهای مختلف نظیر مدیریت موجودی، سود کل افزایش یابد؛ این روش‌ها غالباً توسعه‌یافته‌ی «مدیریت موجودی توسط فروشنده» (VMI) در دهه‌ی ۵۰ میلادی است که در دهه‌ی ۹۰ توسعه یافت و نسبت به تکنیک‌های دیگر به طور گسترده‌تری پذیرفته شده است. VMI یک برنامه‌ی پیوسته برای مدیریت موجودی است که در آن عضو بالاتر زنجیره، موجودی عضو سطح پایین‌تر را کنترل و مدیریت می‌کند و برای آن تصمیمات بازپرسازی موجودی می‌گیرد. این برنامه همراه با تبادل

سازمان‌های عضو زنجیره‌ی تأمین به یکدیگر وابسته‌اند و برای دستیابی به عملکرد بالاتر در بلندمدت با هم همکاری می‌کنند. این بدان معناست که یک بنگاه می‌تواند برای بهبود بهره‌وری و عملکرد خود به جای تأمین منابع به صورت تکی، از منابع اشتراکی و منابع سایر اجزای زنجیره بهره‌گیرد. بنابراین مشارکت در زنجیره‌ی تأمین یکی از مهم‌ترین نیازهای بهبود آن به شمار می‌آید.^[۱] مشارکت زمانی اتفاق می‌افتد که دو یا تعداد بیشتری از واحدهای تجاری مستقل، اتحادی را شکل دهند و منابع و اطلاعات خود را به اشتراک بگذارند تا به تصمیمات بهتر و سودآوری بیشتری دست یابند. به عبارت دیگر، روشی است برای همکاری فعالانه‌ی اجزای زنجیره با تسهیم اطلاعات، دانش، ریسک و سود بین آنها، به منظور دست‌یابی به هدف کل زنجیره‌ی تأمین.^[۲] محققین نتایجی از جمله کاهش ضایعات، هزینه‌ها، موجودی‌ها و اثر شلاق چرمی، افزایش شفافیت، بهبود پاسخ‌گویی، رضایت مشتری و رقابت‌پذیری در بین اعضای زنجیره را برای مشارکت برشمردند.^[۳]

بررسی ادبیات موضوع مشارکت در زنجیره‌ی تأمین در سال ۲۰۱۴ نشان داده که بیشترین تأکید مطالعات پیشین بر بنگاه‌های تولیدی و تأمین‌کنندگان نشان بوده است. در بررسی تفاوت واژگان مختلف به کار گرفته شده، این محققین نشان داده‌اند که معمولاً واژه‌های هماهنگی و مشارکت به جای یکدیگر به کار رفته‌اند.^[۴] عموماً

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۱۵، اصلاحیه ۱۳۹۴/۵/۱۴، پذیرش ۱۳۹۴/۶/۲۴.

اطلاعات و شفافیت تقاضا بین اعضای زنجیره به آنها این امکان را می‌دهد که سطح موجودی خود را بهتر مدیریت کنند. به این ترتیب ضمن کاهش اثر شلاق چرمی، موجودی در کل زنجیره نیز کاهش می‌یابد که باعث کاهش فضای مورد نیاز و هزینه‌های مختلف زنجیره می‌شود.^[۸۷] صوفی فرد و همکارانش با مدل سازی ریاضی VMI نشان داده‌اند که این سیستم چنانچه تأمین‌کننده‌ی تنها یک خریدار طرف قرارداد باشد همواره از سیستم سنتی بهتر عمل می‌کند. همچنین زمانی که تأمین‌کننده با دو خریدار کار می‌کند می‌توان شرایطی فراهم کرد که سیستم جدید نسبت به سیستم سنتی بهتر عمل کند.^[۹] در مطالعه‌ی دیگری در سال ۱۳۹۳، مدل یکپارچه‌ی براساس VMI در زنجیره‌ی تأمین دوسطحی با یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش توسعه یافته است. برای حل مدل دوهدفه‌ی غیرخطی حاصله، در روش فراابتکاری ارائه و عملکرد آنها با هم مقایسه شده است.^[۱۰]

با افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی جوامع و مدیران، در سال‌های اخیر سازمان‌ها ملزم به ارزیابی اثرات محصولات و فعالیت‌های خود در طول زنجیره‌ی تأمین و در تمامی چرخه‌ی عمر آن شده‌اند. این چرخه علاوه بر تولید و مصرف محصول شامل مراحل بازگشت، بازیابی و انهدام مناسب محصول نیز می‌شود. زنجیره‌ی تأمین پس‌رو^۷ به صورت «فرایند برنامه‌ریزی، استقرار و کنترل مناسب جریان مواد خام، مواد در جریان ساخت و کالاهای نهایی از تولیدکننده، مرکز توزیع یا مصرف‌کننده‌ی نهایی به مرکز بازیابی یا انهدام» تعریف شده است.^[۱۱] مطالعات مربوط به زنجیره‌های تأمین پس‌رو در سال‌های گذشته به سرعت رو به رشد بوده اما با وجود افزایش آگاهی مدیران و صنایع در این زمینه، سرعت استقرار و راه‌اندازی آنها نسبت به مطالعات نظری بسیار کند بوده است. یکی از دلایل این موضوع نیز هزینه‌های بالای استقرار زنجیره‌هاست که در بسیاری مواقع جذابیت اقتصادی چندانی برای مدیران ایجاد نمی‌کند.^[۱۲] از دیدگاهی کلی، این زنجیره‌ها به زنجیره‌های حلقه‌باز و حلقه‌بسته^۸ تقسیم می‌شود. در زنجیره‌های حلقه‌بسته محصولات برگشتی به همان تولیدکننده‌ی اولیه در زنجیره‌ی سنتی بازمی‌گردند؛ اما در زنجیره‌های تأمین حلقه‌باز برگشتی‌ها به یک یا چند بازیابی‌کننده‌ی دیگر در زنجیره‌های دیگر بازمی‌گردد تا عملیات لازم را روی آنها انجام دهند.

محققین تعداد ۶۹ مقاله در مبحث مشارکت در زنجیره‌ی تأمین را بررسی و آنها را براساس زمینه‌ی کاری‌شان تفکیک کرده‌اند.^[۹] نمودار مربوط به نوع موضوعات نشان می‌دهد که هیچ‌کدام از مطالعات بررسی شده در زنجیره‌ی تأمین پس‌رو نبوده است. با این حال، زنجیره‌های تأمین پس‌رو نیز مانند زنجیره‌های سنتی نیازمند مشارکت در میان اجزای مختلف خود به منظور دست‌یابی به عملکرد مناسب‌اند. برخی از نویسندگان این حوزه به اهمیت ارتباطات در هماهنگی‌های زنجیره‌ی پس‌رو و گزینه‌های تعیین تکلیف پرداخته‌اند و برخی دیگر معتقدند که استفاده از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری و سیستم‌های اطلاعاتی می‌تواند به این امر کمک کند.^[۱۳] بررسی عوامل تأثیرگذار بر پذیرش و موفقیت زنجیره‌ی تأمین پس‌رو در صنایع تولیدی کتیا، مشارکت بین اجزا را یکی از عوامل حیاتی معرفی کرده است. بررسی جنبه‌های مختلف مشارکت نیز تأثیر مثبت هماهنگی و روابط مناسب، کیفیت خدمات، انعطاف‌پذیری و توانمندی اجزا و تسهیم اطلاعات بین آنها را بر اثر بخشی زنجیره‌ی پس‌رو نشان داده است.^[۱۴]

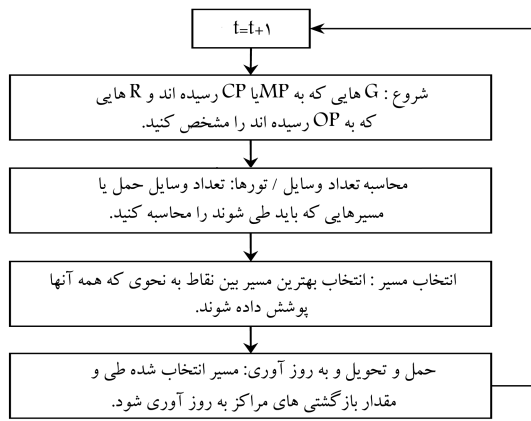
در زنجیره‌های تأمین حلقه‌بسته، مدلی برای مشارکت بین مشتریان، خرده‌فروشان و تولیدکنندگان به منظور بیشینه‌کردن میزان بازگشتی‌ها ارائه شده است.^[۱۵] در این ساختار، تولیدکننده و تأمین‌کننده‌ی خدمات بازسازی کارتریج پرینترها با هم شراکت دارند. به منظور بررسی تأثیر این ساختار جدید، نتایج و توابع هزینه‌ی آن با ساختار قبلی مقایسه، و نشان داده شده که در مدل جدید حجم بازگشتی‌ها افزایش می‌یابد،

همه‌ی ذی‌نفعان می‌توانند بر قابلیت‌های کلیدی خود تمرکز کنند، و نیز هزینه‌ها (به‌ویژه حمل‌ونقل) کاهش می‌یابد.^[۱۵] محققین جزئی با نام سیستم اطلاعاتی یکپارچه را به مراحل معمول زنجیره‌ی تأمین پس‌رو افزوده‌اند؛ مدل ارائه شده توسط آنان شامل هفت جزء سیستم هماهنگی، کنترل ورودی‌ها، جمع‌آوری، دسته‌بندی، بازپردازش، سیستم یک‌پارچه‌ی اطلاعات و تعیین تکلیف است. سیستم هماهنگی مهم‌ترین قسمت مدل دانسته شده که ارتباط بین اجزای مختلف زنجیره‌ی پس‌رو را برقرار می‌سازد.^[۱۶]

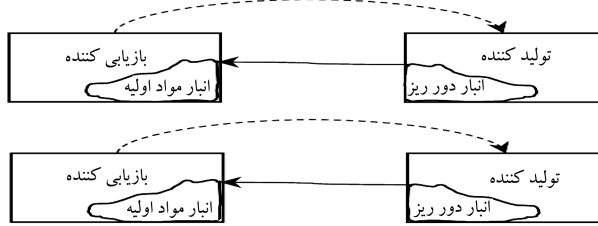
با وجود نتایج مناسبی که کاربرد VMI در زنجیره‌های تأمین سنتی داشته، در زنجیره‌ی تأمین پس‌رو مدل شناخته‌شده‌ی مشابهی وجود ندارد؛ فقط دو کار پراکنده در این زمینه به دست آمد که در ادامه به آنها می‌پردازیم. در سال ۲۰۰۷ محققین با توسعه‌ی روش‌های قبلی موجود، سیاستی جدید برای مدیریت موجودی در زنجیره‌های تأمین حلقه‌باز پیشنهاد کردند. آنها با این روش جدید به تعریف پارامترهای اقتصادی بهینه (کمینه موجودی، میزان تحویل و هزینه‌های موجودی) برای کمینه‌کردن کل هزینه‌های سیستم پرداخته‌اند. همین محققین یک سال بعد، عبارت مدیریت موجودی توأم^۹ را معرفی و روشی برای مدیریت سطح موجودی در حالت وجود یک مرکز جمع‌آوری اصلی (CRC)^{۱۱} و چند جمع‌آوری کننده محلی (LCP)^{۱۲} معرفی کردند. هدف این نوشتار نیز کمینه‌کردن متوسط هزینه‌های بلندمدت زنجیره بوده است.^[۱۷] پیش‌تر در سال ۲۰۰۶، لیلانک در قسمتی از پایان‌نامه‌ی دکترای خود، مفهومی را با عنوان مدیریت موجودی توسط جمع‌آوری‌کننده (CMI) به‌عنوان برابری برای VMI در زنجیره‌ی تأمین پس‌رو حلقه‌باز توسعه داده بود. در این سیستم برای جمع‌آوری روغن‌های سوخته دو سطح موجودی با عنوان قابل سفارش (CO)^{۱۳} و لازم به سفارش (MO)^{۱۴} معرفی شده است. وقتی موجودی یک مرکز به سطح «لازم به سفارش» (MO) رسید، حتماً باید حمل انجام گیرد. سطح CO نیز مقداری است که مرکز می‌تواند به صورت اقتصادی در مسیر حمل قرار گیرد.^[۱۹] در این نوشتار مدل جدیدی برای مشارکت در زنجیره‌های پس‌رو که می‌توان آن را معادل VMI در زنجیره‌های سنتی دانست، توسعه داده شده است. برای این کار از ایده‌ی لیلانک برای تعریف دو سطح استفاده کرده‌ایم. همچنین این واقعیت به مدل اضافه شده که مراکز بازیابی نیز تنها در زمان‌های خاصی نیاز به مرجوعی دارند و هر زمان که جمع‌آوری انجام شد، نمی‌تواند به این مراکز انتقال داد. به این ترتیب برنامه‌ی جمع‌آوری و حمل‌ونقل باید به‌گونه‌ی تهیه شود که کم‌ترین میزان بازگشتی‌ها به شیوه‌ی نامناسب منهدم شود و بیشترین مقدار ممکن در زمان مورد نیاز به دست بازیابی‌کنندگان برسد. چنین مدلی هزینه‌های اضافه‌ی همچون انتقال اطلاعات و هزینه‌های مراکز میانی را برای سازمان به همراه خواهد داشت که یکی از بازدارنده‌های استقرار آن است. در این مقاله مشابه مطالعات پیشین،^[۱۵] توابع هزینه‌ی حالت‌های مختلف با هم مقایسه شده است. با توجه به عدم قطعیت ذاتی زنجیره‌های تأمین پس‌رو، در این تحقیق توابع هزینه به صورت احتمالی مدل‌سازی، و شرایط ترجیح مشارکت بررسی شده است.

۲. تعریف مسئله

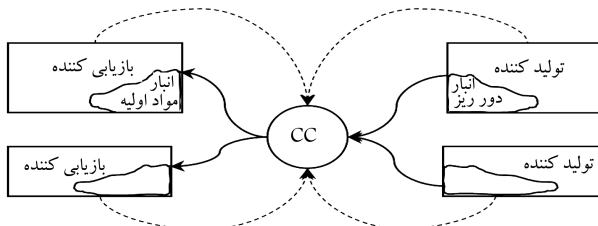
مسئله‌ی مورد مطالعه در این نوشتار، زنجیره‌های تأمین پس‌رو موازی با نوع خاصی از بازگشتی، و روش مشخصی برای بازیابی است که طی آن اجرای تولیدکننده و مصرف‌کننده‌ی بازگشتی‌ها در یک محدوده‌ی جغرافیایی فعالیت می‌کنند. برای مثال می‌توان به زنجیره‌های پس‌رو بازیابی ضایعات کارخانجات تولیدی مستقر در یک



شکل ۱. فرایند کلی مشارکت در زنجیره ی پیشنهادی.



شکل ۲. دو زنجیره ی تأمین پس رو در حالت بدون مشارکت.



شکل ۳. دو زنجیره ی تأمین موازی با مشارکت در مرکز جمع آوری.

۱.۳. مدل مشارکت پیشنهادی

ابتدا لازم است حدودی برای موجودی مراکز و برنامه ریزی مسیرهای حرکت تعریف شود. این سطوح عبارتند از:

-- هر مرکز تولید (G_i) یک نقطه ی برداشت (MP_i) ^{۱۸} دارد که اگر موجودی بازگشتی ها بیش از آن باشد، قابلیت نگهداری ندارد. همچنین یک نقطه ی قابل برداشت (CP_i) ^{۱۹} برای هر مرکز تعریف می شود که وقتی موجودی به آن حد رسیده باشد، مرکز می تواند در مسیر اضافه شود.

-- هر مرکز بازاریابی (R_i) یک نقطه ی سفارش (OP_i) دارد که وقتی موجودی بازگشتی ها به آن حد رسید، باید به مقدار اقتصادی سفارش (EOQ_i) بازگشتی دریافت کند. در واقع R ها قبل از رسیدن به نقطه ی سفارش نمی توانند بازگشتی ها را تحویل بگیرند.

-- مرکز جمع آوری (CC) در حالت ایده آل ظرفیتی برای نگهداری ضایعات ندارد و بیشتر به عنوان مرکزی برای نگهداری اطلاعات موجودی مراکز و برنامه ریزی برای برداشت و انتقال بازگشتی ها در نظر گرفته می شود. اما از آنجا که گاهی ممکن است برخی از G ها نیاز به برداشت داشته باشند، در حالی که هیچ کدام از R ها نیازی ندارند، بازگشتی ها می توانند برای مدتی در CC نگهداری شوند.

خوشه ی صنعتی اشاره کرد. هرکدام از کارخانجاتی که در یک محدوده ی جغرافیایی فعال اند، ضایعات خود را به روش های مختلف (اگرچه مناسب نباشد) منهدم می کنند. اگرچه ممکن است از این ضایعات در مراکز دیگری مجدداً استفاده شود، به دلایل متعدد -- نظیر هزینه ی بالای زنجیره های پس رو و عدم صرفه به مقیاس -- این کار انجام نمی گیرد و ممکن است دفن، سوزاندن یا... همان روش معمول و کاربردی کارخانجات برای دورریز باشد. از طرفی بازاریابی کنندگانی که می توانند از این ضایعات استفاده کنند نیز به دلیل هزینه ها و مشکلات راه اندازی زنجیره ها، از مواد اولیه ی خام برای تولید استفاده می کنند. بنابراین مدل این مقاله شامل یک زنجیره ی تأمین حلقه باز سه سطحی است. از آنجا که بازگشتی های مختلفی می توانند در این نوع زنجیره های سه سطحی حرکت کنند، برای نام گذاری اجزا از نام های عمومی استفاده شده که عبارتند از:

-- تولیدکنندگان بازگشتی ها (G) ^{۱۵}: مراکز که بازگشتی ها در آنجا ایجاد و نگهداری می شود و شروع به حرکت در طول زنجیره می کند. این مراکز ممکن است: ۱. تولیدکنندگانی باشند که ضایعات و دورریزهای تولید را بازاریابی می کنند؛ ۲. مراکز توزیعی باشند که بازگشتی ها را از مراکز مختلفی مانند خرده فروشان یا مشتریان جمع آوری می کنند؛ ۳. خرده فروشانی باشند که محصولات بازگشتی مشتریان یا محصولات تاریخ مصرف گذشته برای بازاریابی دارند.

-- مراکز بازاریابی بازگشتی ها (R) ^{۱۶}: این مراکز در نوع خاصی از بازاریابی مورد نظر تولیدکنندگان تخصص دارند. نوع بازاریابی بسته به محصول بازگشتی می تواند متفاوت باشد، نظیر مراکز که می توانند نخاله های ساختمانی را به عنوان مواد اولیه در فرایند تولید خود به کار ببرند.

-- مراکز جمع آوری بازگشتی ها (CC) ^{۱۷}: این مراکز بازگشتی ها را از مراکز تولید جمع آوری، و به مراکز بازاریابی ارسال می کنند. همچنین می توانند بازگشتی ها را برای مدتی -- دست کم تا زمان نیاز مراکز بازاریابی -- نزد خود نگاهدارند.

۳. بررسی تأثیر مشارکت بر هزینه های زنجیره

برای بررسی تأثیر مشارکت بر هزینه ها، دو تولیدکننده بازگشتی (G) ، یک مرکز جمع آوری بازگشتی (CC) و دو مرکز بازاریابی بازگشتی (R) در زنجیره ی تأمین پس رو در نظر گرفته شده است. در ادامه، ابتدا حالت های مورد مطالعه، معرفی و هزینه های کل آنها به صورت ریاضی مدل سازی می شود. از مقایسه ی هزینه ها به شرایط برتری روش پیشنهادی، مشارکت ساده و عدم مشارکت بر یکدیگر دست می یابیم. در این مقاله سه حالت کلی برای اعضا بررسی می شود:

الف) حالت سنتی که در آن هر عضو زنجیره مسئول کنترل موجودی، سفارش دهی و برنامه ریزی ارسال، دریافت و حمل برای خودش است (شکل ۱)؛

ب) روش ساده ی مشارکت که در آن اجزای زنجیره از یک مرکز جمع آوری مشترک استفاده می کنند (شکل ۲)؛

ج) مدل مشارکتی پیشنهادی این مقاله که در آن یک مرکز جمع آوری به همه ی مراکز خدمت رسانی می کند، با این تفاوت که این مرکز صرفاً در حکم انبار میانی نیست و مسئولیت کنترل موجودی مراکز، برنامه ریزی برای انتقال بازگشتی ها و تعیین بهترین مسیرهای حمل را عهده دار است (شکل ۳).

با این تعریف انتظار داریم در روش پیشنهادی، هزینه ها و مشکلات کنترل موجودی و سفارش دهی توسط اجزا کاهش یابد.

در هر دوره، مقدار بازگشتی مراکز بررسی و آنهایی که به MP و OP رسیده باشند در مسیر قرار می‌گیرند. اگر وسیله ظرفیت خالی داشته باشد، می‌توان از مراکز تولیدی که به CP رسیده‌اند نیز برداشت کرد. در صورتی که بازگشتی‌ها برداشت شوند اما هیچ مرکز بازاریابی به آن نیاز نداشته باشد، به CC حمل و نگهداری می‌شود تا زمانی که یک مرکز به بازگشتی نیاز پیدا کند. فرایند کلی مشارکت در روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲.۳. پیش فرض‌های مدل پیشنهادی

به منظور تشریح مدل، نیاز به پیش فرض‌هایی داریم که عبارت‌اند از:

- ظرفیت انبار G ها و R ها محدود است. اما ظرفیت نگهداری CC نامحدود فرض می‌شود. (می‌تواند انبار اجاره کند)؛
- شروع و پایان حرکت وسایل نقلیه از مرکز جمع‌آوری است؛
- بازگشتی‌های G یک G باید دست کم به نقطه‌ی قابل برداشت (CP) رسیده باشد تا مرکز بتواند در مسیر وسیله قرار گیرد.
- وقتی موجودی بازگشتی G به MP برسد، دیگر نمی‌تواند آن را نگهداری کند و با اولین روش ممکن منهدم می‌سازد.
- نقطه قابل برداشت برای CC صفر است، یعنی هر زمان مقداری بازگشتی داشته باشد، می‌تواند در لیست برداشت قرار گیرد.
- وسایل نقلیه، مشابه و دارای ظرفیت یکسان‌اند.
- زمان انتظار برای دریافت بازگشتی‌ها 2^o صفر است، یعنی بازگشتی‌ها در همان دوره‌ی برداشت به R می‌رسند.
- R ها سیاست مقدار اقتصادی سفارش را دنبال می‌کنند و زمانی که به نقطه‌ی سفارش برسند، بازگشتی‌ها را دریافت می‌کنند.
- R ها در صورتی که با کمبود مواجه شوند، می‌توانند پس از دریافت موجودی، کمبود را جبران کنند (پس‌افت).
- هزینه نگهداری موجودی در مراکز تولید و بازاریابی یکسان است.
- هزینه‌های حمل و نقل میان اجزا برابر است با هزینه‌ی ثابت شروع حرکت و هزینه به‌ازای میزان بار حمل شده.
- متوسط مقدار بازگشتی تولید شده در کل زنجیره دست کم برابر با متوسط مقدار بازگشتی مصرف شده است.
- توزیع احتمال مقدار تولید بازگشتی در G ها و مقدار مصرف آنها در R ها پیوسته است.

۳.۳. مدل سازی ریاضی حالت‌های مورد بررسی

نمادهای مورد استفاده برای محاسبه‌ی هزینه‌ها عبارت‌اند از:

g : تعداد مراکز تولید (G ها)؛

r : تعداد مراکز بازاریابی (R ها)؛

C_o : هزینه‌ی هر بار سفارش‌دهی؛

C_h : هزینه‌ی نگهداری هر واحد بازگشتی در انبار R ؛

C_{so} : هزینه‌ی هر واحد کمبود در انبار R ؛

C_e : هزینه‌ی دورریز هر واحد بازگشتی به روش نامناسب در G ؛

C_s : هزینه‌ی هر بار راه افتادن (استارت) برای حمل و نقل؛
 C_t : هزینه‌ی حمل و نقل به‌ازای هر واحد بازگشتی در زنجیره؛
 Q_{R_i} : مقدار هر بار سفارش برای بازگشتی توسط R_i ؛
 Q_{G_i} : مقدار هر بار سفارش برای برداشت بازگشتی توسط G_i ؛
 MP_i : بیشترین بازگشتی قابل نگهداری در انبار G_i ؛
 CP_i : نقطه‌ی قابل برداشت ضایعات از انبار G_i ؛
 Cap : ظرفیت وسیله‌ی نقلیه؛

I_{G_i} : موجودی بازگشتی‌ها در انبار G_i ؛

I_{R_i} : موجودی بازگشتی‌ها در انبار R_i ؛

I_{CC} : موجودی بازگشتی‌ها در انبار مرکز جمع‌آوری (CC)؛

n_j : تعداد دفعات حرکت وسایل نقلیه در روش j ($j = 1, 2, 3$)؛

P_{so_j} : احتمال کمبود در انبار R در روش j ($j = 1, 2, 3$)؛

$f_R(x)$: تابع میزان مصرف سالانه بازگشتی‌ها در R ؛

$f_G(x)$: تابع میزان تولید سالانه بازگشتی در G ؛

$f_{GS}(x)$: تابع میزان حمل مستقیم از G به R ؛

$f_{so_j}(x)$: تابع میزان کمبود در R در روش j ($j = 1, 2, 3$)؛

۱.۳.۳. هزینه‌ها در حالت عدم مشارکت

در این حالت، G ها پس از تولید بازگشتی آن را در محل خود نگهداری می‌کنند تا زمانی که یک R سفارشی ارسال کند. در شکل ۲ نقطه‌چین‌ها تبادل اطلاعات و خطوط پر جابه‌جایی فیزیکی بازگشتی‌ها را نشان می‌دهد. در صورتی که ظرفیت انبار G تکمیل شود و جایی برای نگهداری نداشته باشد، ممکن است آنها را به روشی نامناسب منهدم کند. در این حالت هرکدام از اعضا می‌خواهند هزینه‌های خود را کمینه کنند؛ یعنی R ها برای کاهش هزینه‌های سفارش‌دهی، حمل و نقل، و نگهداری بازگشتی‌ها و G ها برای کاهش هزینه‌های نگهداری و دورریز غیرمجاز می‌کوشند. این تصمیمات جداگانه ممکن است کل هزینه‌ی زنجیره را افزایش دهد.

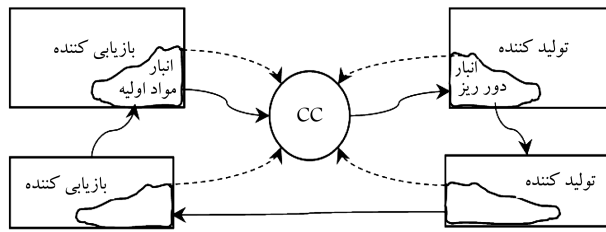
برای محاسبه‌ی هزینه‌ی کل این دو زنجیره، هزینه‌های G ها، R ها و CC را به دست می‌آوریم. مدل موجودی در R مشابه مدل موجودی مواد اولیه در یک مرکز تولیدی است که کمبودها را پس‌افت می‌کند. هزینه‌ی کل هر R بدون مشارکت، در رابطه ۱ عبارت است از هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری و پس‌افت:

$$C_R = \frac{C_o \int_0^{\infty} x f_R(x) dx}{Q_R} + C_h \left(\frac{Q_R}{\gamma} - \int_0^{\infty} x f_{so_1}(x) dx \right) + C_{so} \int_0^{\infty} x f_{so_1}(x) dx \quad (1)$$

برای محاسبه‌ی هزینه‌ی کل هر G ، فرض بر این است که دورریزها به صورت روزانه ایجاد و نگهداری می‌شوند تا به MP برسند. در این زمان اگر برداشت نشوند، مقدار اضافی دورریز می‌شود. هزینه‌ی کل برابر با هزینه‌ی نگهداری موجودی و دورریز غیرمجاز مطابق رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود. از آنجا که سفارش‌دهی برای دورریز تنها توسط R انجام می‌شود، G هزینه‌ی سفارش‌دهی ندارد. همچنین مقدار هر بار برداشت از G برابر است با مقدار تقاضای R از آن.

$$TC_G = C_h \int_0^{MP} x f_G(x) dx + C_e \int_{MP}^{\infty} (x - MP) f_G(x) dx \quad (2)$$

هزینه‌ی کل این زنجیره در این حالت (TC_1) شامل هزینه‌های مراکز تولید و بازاریابی و هزینه‌های حمل و نقل است. با فرض یکسان بودن توابع مقدار نیاز، تقاضا و



شکل ۴. مشارکت در دو زنجیره تأمین موازی با روش پیشنهادی.

۳.۳.۳. هزینه‌های مشارکت پیشنهادی

در این حالت (شکل ۴) مراکز تولید، بازیابی و جمع‌آوری با مشارکت یکدیگر به جمع‌آوری و انتقال بازگشتی‌ها می‌پردازند. در این مشارکت، اطلاعات موجودی مراکز به‌طور مداوم برای CC ارسال می‌شود. به این ترتیب هزینه سفارش‌دهی حذف و هزینه‌ی بابت انتقال اطلاعات به زنجیره اضافه می‌شود.

در این روش مشارکت، بخشی از تقاضای بازگشتی Rها از طریق ارسال مستقیم از Gها و بخشی از طریق CC تأمین می‌شود. بنابراین متوسط موجودی مرکز جمع‌آوری از معادله ۷ به دست می‌آید. در واقع ورودی به مرکز برابر است با مقدار تولید در Gها منهای مقداری که مستقیماً برای Rها ارسال می‌شود و خروجی برابر است با مقدار مصرف Rها منهای مقداری که مستقیماً برای آنها ارسال شده است. برای Gها و Rها در این حالت هزینه‌های سفارش‌دهی حذف می‌شود. اما هزینه‌ی دورریز غیرمجاز در Gها مجدداً مانند حالت اول وجود دارد. هزینه‌ی کل این حالت نیز در رابطه ۸ ارائه شده است. در این حالت هزینه‌ی انتقال اطلاعات به هزینه‌های زنجیره اضافه می‌شود. با این فرض که در هر حرکت، وسیله به اندازه‌ی ظرفیت خود بازگشتی‌ها را برمی‌دارد، هزینه‌ی متغیر حمل به صورت «تعداد دفعات حمل × ظرفیت وسیله» محاسبه می‌شود که در معادله‌ی هزینه نیز مشخص است.

$$\begin{aligned} \bar{I}_{CC} &= \int_0^{\infty} x f_{ic}(x) dx - \int_0^{\infty} x f_{oc}(x) dx \\ &= \left(g \int_0^{\infty} x f_G(x) dx - g \int_0^{\infty} x f_{GS}(x) dx \right) \\ &\quad - \left(r \int_0^{\infty} x f_R(x) dx - g \int_0^{\infty} x f_{GS}(x) dx \right) \\ &= g \int_0^{\infty} x f_G(x) dx - r \int_0^{\infty} x f_R(x) dx \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} TC_{\tau} &= rC_h \left(\frac{Q_R}{\nu} - \int_0^{\infty} x f_{S_{o\tau}}(x) dx \right) + rC_{so} \int_0^{\infty} x f_{S_{o\tau}}(x) dx \\ &\quad + gC_h \int_0^{MP} x f_G(x) dx + gC_e \int_{MP}^{\infty} (x - MP) f_G(x) dx \\ &\quad + C_h \left(g \int_0^{\infty} x f_G(x) dx - r \int_0^{\infty} x f_R(x) dx \right) + n_{\tau} C_s \\ &\quad + n_{\tau} \cdot Cap \cdot C_t + TC_{inf} \end{aligned} \quad (8)$$

۴.۳. شرایط انتخاب روش پیشنهادی

برای آن که این نوع مشارکت توسط اعضای زنجیره تأمین انتخاب شود، باید هزینه‌های آن کم‌تر از دو حالت قبل باشد. شرط برتری مدل پیشنهادی بر مشارکت ساده در رابطه‌ی ۹ نشان داده شده است. در صورت برابر بودن احتمال کمبود این

هزینه‌های مختلف برای اجزای مشابه، هزینه‌ی کل مطابق رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود. همانطور که در پیش‌فرض‌ها هم بیان شد هزینه‌های حمل شامل هزینه‌های ثابت برای هر بار حرکت و متغیر برای هر واحد بار جابه‌جا شده است.

$$\begin{aligned} TC_{\nu} &= \frac{rC_o \int_0^{\infty} x f_R(x) dx}{Q_R} + rC_h \left(\frac{Q_R}{\nu} - \int_0^{\infty} x f_{S_{o\nu}}(x) dx \right) \\ &\quad + rC_{so} \int_0^{\infty} x f_{S_{o\nu}}(x) dx + gC_h \int_0^{MP} x f_G(x) dx \\ &\quad + gC_e \int_{MP}^{\infty} (x - MP) f_G(x) dx + n_{\nu} C_s \\ &\quad + rC_t \int_0^{\infty} x f_R(x) dx \end{aligned} \quad (3)$$

۲.۳.۳. هزینه‌های مشارکت ساده

یکی از ساده‌ترین حالت‌های مشارکت، استفاده از یک مرکز جمع‌آوری مشترک (CC) برای چند G و R است (شکل ۳). در این حالت وقتی که ظرفیت انبار G پر شد، می‌تواند دورریزها را برای CC بفرستد. از سوی Rها هر زمان نیاز داشته باشند، به CC درخواست می‌دهند و دورریزها را دریافت می‌کنند. این مرکز به‌عنوان یک انبار میانی در مدل پیشنهادی عمل می‌کند.

هزینه‌های Rها در این نوع مشارکت، مشابه حالت قبل، عبارت‌اند از: هزینه‌ی سفارش‌دهی، نگهداری و کمبود. همچنین هزینه‌های هر مرکز تولید (G) مطابق رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود، که نسبت به حالت قبل هزینه‌ی سفارش‌دهی به آن اضافه شده است. از سوی هزینه‌ی دورریز غیرمجاز در این حالت حذف شده است، چرا که هر زمان مقدار موجودی آنها به MP رسید، برداشت انجام می‌گیرد و بازگشتی‌ها را هیچ‌گاه دور نمی‌ریزند.

$$TC_G = \frac{C_o \int_0^{\infty} x f_G(x) dx}{QG} + C_h \int_0^{MP} x f_G(x) dx \quad (4)$$

هزینه‌های مرکز جمع‌آوری در این حالت مطابق رابطه‌ی ۵ فقط هزینه‌های نگهداری هستند. بنابراین لازم است متوسط موجودی این مرکز به دست آید که برابر است با متوسط ورودی به انبار (تولید بازگشتی در Gها) منهای متوسط خروجی از انبار (مصرف بازگشتی در Rها). هزینه‌های کل زنجیره‌ی ۶ در این حالت برابر با هزینه‌های مراکز تولید، بازیابی و جمع‌آوری همراه با هزینه‌های حمل و نقل است. در مورد هزینه‌ی حمل و نقل، در این حالت هم کل مقدار بازگشتی Gها و هم کلیه بازگشتی‌های Rها باید برداشت و حمل شود.

$$TC_{CC} = g \int_0^{\infty} x f_G(x) dx - r \int_0^{\infty} x f_R(x) dx \quad (5)$$

$$\begin{aligned} TC_{\tau} &= \frac{rC_o \int_0^{\infty} x f_R(x) dx}{Q_R} + rC_h \left(\frac{Q_R}{\nu} - \int_0^{\infty} x f_{S_{o\tau}}(x) dx \right) \\ &\quad + rC_{so} \int_0^{\infty} x f_{S_{o\tau}}(x) dx + \frac{gC_o \int_0^{\infty} x f_G(x) dx}{QG} \\ &\quad + gC_h \int_0^{MP} x f_G(x) dx + C_h \left(g \int_0^{\infty} x f_G(x) dx \right. \\ &\quad \left. - r \int_0^{\infty} x f_R(x) dx \right) + n_{\tau} C_s + C_t \left(r \int_0^{\infty} x f_R(x) dx \right) \\ &\quad + g \int_0^{\infty} x f_G(x) dx \end{aligned} \quad (6)$$

دو حالت، شرط برتری به صورت رابطه‌ی ۱۰ درمی‌آید.

$$TC_r \leq TC_t \Rightarrow C_o \left(\frac{r \int_0^\infty x f_R(x) dx}{Q_R} + \frac{g \int_0^\infty x f_G(x) dx}{Q_G} \right) + rC_h \left(\int_0^\infty x f_{SO_r}(x) dx - \int_0^\infty x f_{SO_t}(x) dx \right) - rC_{so} \left(\int_0^\infty x f_{SO_r}(x) dx - \int_0^\infty x f_{SO_t}(x) dx \right) + C_t \left(r \int_0^\infty x f_R(x) dx + g \int_0^\infty x f_G(x) dx - n_r \cdot Cap \right) + C_s (n_r - n_t) \geq TC_{inf} + gC_e \int_{MP}^\infty (x - MP) f_G(x) dx \quad (9)$$

$$f_{SO_r} = f_{SO_t} \Rightarrow C_o \left(\frac{r \int_0^\infty x f_R(x) dx}{Q_R} + \frac{g \int_0^\infty x f_G(x) dx}{Q_G} \right) + C_t \left(r \int_0^\infty x f_R(x) dx + g \int_0^\infty x f_G(x) dx - n_r \cdot Cap \right) + C_s (n_r - n_t) \geq TC_{inf} + gC_e \int_{MP}^\infty (x - MP) f_G(x) dx \quad (10)$$

همچنین شرط برتری مدل پیشنهادی بر عدم مشارکت در قالب رابطه‌ی ۱۱ بیان شده، که با فرض یکسان بودن احتمال کمبود این دو روش، شرط برتری مطابق رابطه‌ی ۱۲ به دست می‌آید:

$$TC_r \leq TC_1 \Rightarrow C_o r \int_0^\infty x f_R(x) dx / Q_R + r(C_h - C_{SO}) \left(\int_0^\infty x f_{SO_r}(x) dx - \int_0^\infty x f_{SO_1}(x) dx \right) + C_s (n_1 - n_r) + C_t \left(r \int_0^\infty x f_R(x) dx - n_r \cdot Cap \right) + C_h \left(r \int_0^\infty x f_R(x) dx - g \int_0^\infty x f_G(x) dx \right) \geq TC_{inf} \quad (11)$$

$$f_{SO_1} = f_{SO_r} \Rightarrow C_o r \int_0^\infty x f_R(x) dx / Q_R + C_h \left(r \int_0^\infty x f_R(x) dx - g \int_0^\infty x f_G(x) dx \right) + C_t \left(r \int_0^\infty x f_R(x) dx - n_r \cdot Cap \right) + C_s (n_1 - n_r) \geq TC_{inf} \quad (12)$$

یکی از بخش‌های سمت چپ این فرمول‌ها، هزینه‌ی سفارش‌دهی است؛ چرا که در حالت مشارکت هزینه‌ی برای سفارش‌دهی وجود نخواهد داشت و بازگشتی‌ها با انتقال اطلاعات به CC در زمان نیاز توسط این مرکز، برداشت یا تخلیه می‌شوند. در سمت راست این دو فرمول نیز هزینه‌ی انتقال اطلاعات قرار دارد که هرچه کم‌تر باشد، احتمال مقبولیت مشارکت بیشتر می‌شود. برای این که روش پیشنهادی بر مشارکت ساده برتری داشته باشد باید هزینه‌ی انتقال اطلاعات و دورریز غیرمجاز (که در مشارکت ساده اتفاق نمی‌افتد) از مجموع هزینه‌های ذکر شده کم‌تر باشد. همچنین برای برتری روش پیشنهادی بر عدم مشارکت لازم است که هزینه‌ی انتقال

اطلاعات از مجموع هزینه‌های فرمول کم‌تر باشد. با پیشرفت فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، هزینه‌های انتقال اطلاعات روز به روز کاهش می‌یابد و به نظر می‌رسد که این شرایط به راحتی برآورده شود. بررسی‌های بیشتر می‌تواند در مطالعات آینده انجام گیرد.

۵.۳. بررسی احتمال کمبود در حالت‌های مختلف

در زنجیره‌ی تأمین مورد بررسی، در حالت‌هایی احتمال ایجاد کمبود در مراکز باز یابی وجود دارد. در قسمت قبل، فرمول ترجیح مشارکت را با فرض برابر بودن این احتمالات به دست آوردیم، حال آن که این احتمالات برابر نیستند. در این قسمت احتمال کمبود در سه روش مورد مطالعه محاسبه و با یکدیگر مقایسه می‌شود.

در گزینه‌ی اول (عدم مشارکت)، هر R با یک G در ارتباط است و ضایعات را از آن دریافت می‌کند. احتمال کمبود در R در این حالت برابر است با احتمال این که موجودی در R وجود نداشته باشد و موجودی G هم هنوز به نقطه‌ی قابل برداشت نرسیده باشد. با فرض مستقل بودن، این احتمال عبارت خواهد بود از:

$$P_{SO_1} = P(I_{R_i} < 0 \text{ and } I_{G_i} \leq CP_i) = P(I_{R_i} < 0) \times P(I_{G_i} \leq CP_i) \quad (13)$$

در صورت مشارکت ساده، احتمال مواجهه با کمبود در هر R برابر است با احتمال این که موجودی در این R وجود نداشته باشد و انبار CC هم خالی باشد. خالی بودن انبار CC بدین معناست که هیچ‌کدام از Gها به نقطه‌ی قابل برداشت نرسیده باشند. با فرض استقلال احتمالات فوق، احتمال کمبود در هر R عبارت خواهد بود از:

$$P_{SO_r} = P(I_{R_i} < 0 \text{ and } I_{CC} \leq 0) = P(I_{R_i} < 0) \times P(I_{CC} \leq 0 | I_{R_i} < 0) = P(I_{R_i} < 0) \cdot P(I_{CC} \leq 0) = P(I_{R_i} < 0) \cdot \prod_{i=1}^n P(I_{G_i} \leq CP_i) \quad (14)$$

مقایسه‌ی رابطه‌ی ۱۴ و رابطه‌ی ۱۳ نشان می‌دهد که اگر فقط یک G وجود داشته باشد، این دو احتمال برابرند. در غیر این صورت همواره احتمال مواجهه با کمبود در مشارکت ساده کم‌تر از عدم مشارکت خواهد بود.

از آنجا که در روش پیشنهادی یک R می‌تواند در صورت مواجهه با کمبود، مستقیماً بازگشتی‌ها را از Gها تحویل بگیرد، احتمال کمبود عبارت است از احتمال خالی بودن انبار R و CC و نرسیدن هیچ‌کدام از Gها به سطح قابل برداشت. این احتمال از دو روش قبلی کم‌تر است:

$$P_{SO_r} = P(I_{R_i} < 0 \text{ and } I_{CC} \leq 0 \text{ and } I_G \leq CP) = P(I_{R_i} < 0) \cdot P(I_{CC} \leq 0) \prod_{i=1}^n P(I_{G_i} \leq CP_i) \quad (15)$$

بنابراین به صورت کلی می‌توان نتیجه گرفت که احتمال کمبود در مشارکت پیشنهادی کم‌تر از مشارکت ساده، و در مشارکت ساده کم‌تر از عدم مشارکت است:

$$P_{SO_r} \leq P_{SO_t} \leq P_{SO_1} \quad (16)$$

جدول ۱. هزینه‌ها و ظرفیت وسیله.

ظرفیت	هزینه					
	سفرش‌دهی	کمبود	نگه‌داری	انهدام	راه‌افتادن	حمل هر وسیله
	(C_o)	(C_{SO})	(C_h)	(C_e)	(C_s)	(C_t)
	۴۰	۵۰	۳۰	۲۰	۵۰	۲۰
						۵۰۰

جدول ۲. مشخصات مسائل مورد مطالعه.

مرکز	میانگین تولید روزانه	MP	CP	مقدار هر برداشت	
				(Q_G)	موجوی ابتدایی
G1	۲,۳۱	۴۵	۳۵	۴۰	۱۰
G2	۲,۲۱	۳۰	۲۵	۲۸	۱۰

مرکز	میانگین مصرف روزانه	نقطه سفارش	مقدار هر تخلیه	
			(Q_R)	موجوی ابتدایی
R1	۲,۱۲	۵	۳۵	۱۰
R2	۲,۲۱	۸	۳۸	۱۰

جدول ۳. ترکیب توزیع‌های مورد بررسی.

کد مسئله	توزیع تولید/مصرف			
	G1	G2	R1	R2
NN	$N(۲,۳۱, ۰,۱)$	$N(۲,۲۱, ۰,۱)$	$N(۲,۱۲, ۰,۱)$	$N(۲,۲۱, ۰,۱)$
UU	$U(۲, ۲, ۶)$	$U(۱,۹, ۲,۴)$	$U(۱,۷, ۲,۴)$	$U(۱,۹, ۲,۵)$
NU	$N(۲,۳۱, ۰,۱)$	$N(۲,۲۱, ۰,۱)$	$U(۱,۷, ۲,۴)$	$U(۱,۹, ۲,۵)$
UN	$U(۲, ۲, ۶)$	$U(۱,۹, ۲,۴)$	$N(۲,۱۲, ۰,۱)$	$N(۲,۲۱, ۰,۱)$

جدول ۴. مقایسه هزینه‌ها و کمبودها در سه روش بدون مشارکت، مشارکت ساده و مدل پیشنهادی برای صد دوره.

کد مسئله	میانگین درصد تغییر هزینه			میانگین درصد تغییر کمبود		
	(ب) به (الف)	(ج) به (الف)	(ج) به (ب)	(ب) به (الف)	(ج) به (الف)	(ج) به (ب)
NN	-۸۰	-۹۰	-۵۲	-۵۲	-۲۸۰	-۵۲۰
UU	-۸۲	-۹۱	-۵۰	-۲۶	-۲۹۵	-۳۷۴
UN	-۸۰	-۹۲	-۵۹	-۳۹	-۳۲۲	-۴۷۷
NU	-۸۳	-۹۰	-۴۳	-۴۷	-۲۱۹	-۳۳۰
میانگین	-۸۱	-۹۱	-۵۱	-۴۲	-۲۷۹	-۴۲۵

(الف) بدون مشارکت (ب) مشارکت ساده (ج) مشارکت پیشنهادی

به‌طور متوسط روش «ج» نسبت به «الف» حدود ۲۷۹٪ و نسبت به «ب» حدود ۴۲۵٪ کمبودها را کاهش داده است. همچنین روش «ب» به‌طور متوسط توانسته ۴۲٪ از کمبودها را نسبت به روش «الف» بکاهد. در سطر آخرین جدول مشخص است که برخلاف میزان تغییر هزینه، درصد تغییر کمبود در «ج» نسبت به «ب» بیشتر از درصد تغییر کمبود در «ج» نسبت به «الف» است.

بررسی گروه‌های مختلف هزینه‌ی در این مسائل نیز نشان می‌دهد با اجرای مدل پیشنهادی، بیشترین مقدار کاهش به‌ترتیب در هزینه‌های سفرش‌دهی مراکز مختلف، دورریز در مراکز تولید، کمبود و نگه‌داری در انبارها اتفاق می‌افتد. در مورد هزینه‌ی انتقال اطلاعات، هزینه‌ی که اجرای مدل را برای مسئله‌ی با مقادیر متوسط

۴. نتایج شبیه‌سازی

از آنجا که چنین مشارکتی در عمل اتفاق نیفتاده، به‌منظور بررسی تأثیر آن با کمک روش مونت‌کارلو مسئله‌ی شامل دو G، دو R و یک CC شبیه‌سازی شد. شبیه‌سازی روشی است برای ایجاد یک محیط ساختگی به‌منظور بررسی رفتار جزء تصادفی مورد مطالعه. مونت‌کارلو یکی از روش‌های شبیه‌سازی است که در علوم مختلف کاربرد دارد. علی‌رغم تفاوت روش‌های مختلف کارلو در علوم مختلف، همه‌ی آنها یک وجه تشابه دارند و آن خلق اعداد تصادفی است.^[۲۰] در این مطالعه نیز براساس اصول کلی روش مونت‌کارلو، ابتدا برای هرکدام از اجزای تصادفی (مقدار تولید در Gها و مقدار مصرف در Rها) حدود ۱۰۰ عدد تصادفی ایجاد شد که به‌عنوان دوره‌های بررسی تعریف شدند. پارامترهای هزینه و ظرفیت وسیله مطابق جدول ۱ و سایر پارامترها از جمله میانگین میزان تولید و مصرف در مراکز، سطوح قابل برداشت و لازم به برداشت، نقطه سفارش، مقدار تخلیه و برداشت در مراکز و موجودی اولیه مطابق جدول ۲ در نظر گرفته شده‌اند.

برای تولید اعداد تصادفی باید توزیع احتمال‌ها مشخص باشد، که در این مقاله چهار ترکیب مختلف از توزیع‌های یکنواخت و نرمال استفاده شده است. در جدول ۳ کد به‌صورت یک ترکیب دوحرفی تعریف شده که این حروف به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی توزیع‌های احتمال نرخ تولید بازگشتی‌ها و نرخ بازیابی آنهاست. در این ترکیب‌ها U برای توزیع یکنواخت و N برای توزیع نرمال استفاده شده است. در جدول ۳ ویژگی‌های هر یک از این توزیع‌ها نیز ارائه شده است. در هر کدام از این ترکیب‌ها اعداد تصادفی مربوط به میزان تولید و مصرف بازگشتی‌ها در مراکز مختلف برای ۱۰۰ دوره ایجاد شده است. براساس این مقادیر، برای هر یک از روش‌های مورد مطالعه برنامه‌های برداشت و تخلیه تهیه و محاسبات هزینه انجام گرفت. ایجاد نمونه‌ها، تهیه برنامه‌ها و محاسبات هزینه همگی با استفاده از VBA در Excel ۲۰۱۰ انجام گرفته است. از آنجا که نتایج شبیه‌سازی به اعداد تصادفی ایجاد شده وابسته‌اند، هرکدام از ترکیب‌ها ۱۰۰ بار اجرا و میانگین هزینه‌ها و کمبود برای هر یک به دست آمد (جدول ۴).

در ستون اول جدول ۴ کد مسئله‌ی مورد بررسی مشخص شده است. سه ستون بعدی به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی میزان کاهش هزینه‌ی ناشی از روش ب (مشارکت ساده) در مقابل الف (عدم مشارکت)، روش ج (مشارکت پیشنهادی) نسبت به روش الف، و روش ج در مقابل روش ب است. اعداد جدول نشان می‌دهند که در هر گروه از مسائل، کم‌ترین میزان تغییر هزینه در «ج» نسبت به «الف» اتفاق افتاده است. همچنین در همه این گروه‌ها «ج» نسبت به «الف» حدود دو برابر «ج» نسبت به «ب» بهبود داشته است. براساس میانگین نتایج ارائه شده در سطر آخر این جدول، مدل پیشنهادی به‌طور متوسط ۹۱٪ کاهش هزینه نسبت به عدم مشارکت برای کل زنجیره ایجاد کرده است؛ همچنین نسبت به مشارکت ساده، هزینه‌ها را به‌طور متوسط ۵۱٪ کاهش داده است. از سویی در همین شرایط، حتی مشارکت ساده نیز می‌تواند هزینه‌های کل زنجیره را حدود ۸۱٪ کم کند.

میزان کمبود در مراکز بازیابی نیز به‌عنوان یکی دیگر از شاخص‌های مقایسه‌ی میزان بهبود ناشی از اجرای مشارکت در نظر گرفته شده که در سه ستون بعدی این جدول نمایش داده شده است. براساس این اعداد در هر دو نوع مشارکت نسبت به عدم مشارکت، میزان کمبود کاهش یافته است. سطر آخر جدول نشان می‌دهد که

با یک مرکز جمع‌آوری شبیه‌سازی انجام گرفت. مقایسه‌ی هزینه‌های این سه حالت نشان‌دهنده‌ی کاهش هزینه‌ی بیش از ۸۰ درصدی روش پیشنهادی نسبت به عدم مشارکت و حدود ۴۵ درصدی نسبت به مشارکت ساده است.

در مدل پیشنهادی هزینه‌های سفارش‌دهی مراکز حذف می‌شود، همچنین هزینه‌های دورریز مراکز و کمبود به‌شدت کاهش می‌یابد. در این مدل فقط هزینه‌ی انتقال اطلاعات نسبت به دو روش دیگر اضافه می‌شود. برآورد این هزینه با در نظر گرفتن متوسط‌های به دست آمده نشان می‌دهد که حتی اگر هزینه‌ی انتقال اطلاعات تا ۹۰ درصد هزینه‌های حالت بدون مشارکت هم باشد، مدل پیشنهادی به‌لحاظ اقتصادی موجه خواهد بود. با این حال، عدم پرداخت این هزینه توسط اجزا می‌تواند مشوق اقتصادی مناسبی برای انتخاب گزینه‌ی مشارکتی پیشنهادی باشد. بنابراین پرداخت یارانه‌ها و کمک‌های دولتی برای کاهش این هزینه می‌تواند روش مناسبی برای انگیزش مدیران در مشارکت با سایر اجزا باشد.

مدل این مقاله به‌صورت ساده و فقط برای دو زنجیره‌ی موازی مطرح شده است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، محققین مدل را برای چند زنجیره یا چند مرکز جمع‌آوری توسعه داده و شرایط آن را مطالعه کنند. آنان همچنین می‌توانند با بررسی موارد واقعی مشکلات و موانع عملی آن را دقیق‌تر مورد مطالعه قرار دهند. از سویی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در این مدل مشارکتی پیچیده‌تر از برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در مدل‌های قبلی است و می‌تواند به‌عنوان موضوع مناسبی در تحقیقات آینده بررسی شود.

توجیه‌پذیری می‌کند، برآورد شده است. این تخمین نشان می‌دهد اگر هزینه‌ی اطلاعات تا حدود ۹۰ درصد هزینه‌ی حالت بدون مشارکت و ۴۰ درصد هزینه‌ی مشارکت ساده باشد، مدل پیشنهادی نسبت به دو حالت دیگر توجیه‌پذیر خواهد بود.

۵. نتیجه‌گیری

در این نوشتار مدل مشارکتی جدیدی برای اجزای زنجیره‌های تأمین پس‌رو موازی به‌منظور جمع‌آوری و انتقال بازگشتی‌ها در بین آنها مطرح شده است. با توجه به اهمیت کاهش هزینه برای تصمیم‌گیری مدیران در استقرار این زنجیره‌ها، هزینه‌های گزینه‌های مختلف بدون مشارکت، مشارکت ساده و مدل جدید به‌صورت ریاضی مدل‌سازی و مقایسه شده است. از آنجا که در زنجیره‌ی مورد مطالعه میزان تولید و مصرف بازگشتی‌ها غیرقطع است، هزینه‌ها با فرمول‌های احتمالی مدل‌سازی شده‌اند. به‌منظور بررسی شرایط برتری مدل پیشنهادی نسبت به دو روش بدون مشارکت و مشارکت ساده، فرمول‌های هزینه‌ی کل با یکدیگر مقایسه شده است. دو معادله‌ی نهایی برای تصمیم‌گیری در مورد روش پیشنهادی ارائه شده که در هر دو این فرمول‌ها مجموع تعدادی از هزینه‌ها باید از هزینه‌ی انتقال اطلاعات بیشتر باشد. به‌منظور بررسی هزینه‌های واقعی مدل پیشنهادی، از آنجا که این کار تاکنون انجام نگرفته، با استفاده از روش مونت‌کارلو برای دو تولیدکننده و دو بازیابی‌کننده

پانویس‌ها

1. cooperation
2. collaboration
3. vendor managed inventory (VMI)
4. collector managed inventory (CMI)
5. vendor managed replenishment (VMR)
6. collaborative planning, forecasting, and replenishment (CPFR)
7. reverse supply chain (واژه‌ی Reverse در بسیاری موارد به «معکوس» ترجمه شده، اما با توجه به ماهیت این زنجیره‌ها که به جریان مواد و کالاها از مصرف‌کننده به بازیابی‌کننده می‌پردازد و با وجود واژه‌ی فارسی «پس‌رو»، از آن به‌جای «معکوس» در ترجمه این عبارت استفاده شده است.)
8. open loop and closed loop
9. gate-keeping
10. joint inventory management
11. centralized return center (CRC)
12. local collection points (LCP)
13. can-order (CO)
14. must-order (MO)
15. return generator
16. recovery center
17. collection center
18. must peak
19. can peak
20. lead time

منابع (References)

1. Kampstra, R.P., Ashayeri, J. and Gattorna, J. "Realities of supply chain collaboration", *International Journal of Logistics Management*, **17**(3), pp. 312-330 (2006).
2. Hernández, J.E., Poler, R., Mula, J. and Lario, F.C. "The reverse logistic process of an automobile supply chain network supported by a collaborative decision-making model", *Group Decision and Negotiation*, **20**(1), pp. 79-114 (2011).
3. McLarn, T., Head, M. and Yuan, Y. "Supply chain collaboration alternative: Understanding the expected costs and benefits", *Electronic Networking Applications and Policy*, **12**(4), pp. 348-364 (2002).
4. Hudnurkar, M., Jakhar, S. and Rathod, U. "Factors affecting collaboration in supply chain: A literature review", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, **133**, pp. 189-202 (2014).
5. Villarreal, P. and Orlando, D. "Processes integration and coordination in collaborative models to supply chain management", *International Conference in Software Engineering (ICSE)*, Florida, USA (2002).

6. Vallet-Bellmunt, T., Martinez-Fernandez, M. and capovicedo, J. "Supply chain management: A multidisciplinary content analysis of vertical relations between companies, 1997-2006", *Industrial Marketing Management*, **40**(8) pp. 1347-1367 (2011).
7. Vigtil, A. "A framework for modelling of vendor managed inventory", Phd thesis in Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology (2007).
8. Disney, S.M. and Towill, D.R. "The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the bullwhip effect in supply chains", *International Journal of Production Economics*, **85**(2), pp. 199-215 (2003).
9. Soofi-fard, R., Moattar-hosseiny, S.M. and Zanjirany Farahany R. "Studying the impacts of VMI in a supply chain by a mathematical model", *Second Conference on Logistics and Supply Chain*, Tehran, Iran (2006).
10. Pasandideh, S.H. and Niknamfar, A. "Integrated production-distribution problem within vendor-managed inventory", *Sharif Journal (Industrial Engineering and Management)*, **2**(30), pp. 111-118 (2013).
11. Rogers, D.S. and Tibben-Lembke, R.S., *Going Backwards: Reverse logistics trends and practices*, University of Nevada, Reno: Center for Logistics Management, 283 p. (1998).
12. Gobbi, C. "The reverse supply chain: Configuration, integration and profitability", PhD Thesis in DTU Management Engineering, Technical University of Denmark (2008).
13. Pokharel, S. and Mutha, A. "Perspectives in reverse logistics: A review", *Resources, Conservation and Recycling*, **73**, pp. 175-182 (2009).
14. Kariuki, P.W. and Waiganjo, E.W. "Factors affecting adoption of reverse logistics in the kenya manufacturing sector: A case study of coastal bottlers company", *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, **9**(4), pp. 84-97 (2014).
15. Bai, H. "Reverse supply chain coordination and design for profitable returns- an example of Ink cartridge", M.S. Thesis in Worcester Polytechnic Institute, Worcester (2009).
16. Lambert, S. and Stock, J.R. "A reverse logistics decisions conceptual framework", *Computers & Industrial Engineering*, **61**(3), pp. 561-581 (2011).
17. Gou, Q., Liang, L., Huang, Z. and Xu, C. "A joint inventory model for an open-loop reverse supply chain", *International Journal Production Economics*, **116**, pp. 28-42 (2008).
18. Gou, Q., Liang, L., Huang, Z. and Xu, C. "A modification for a centralized inventory policy for an Open-Loop reverse supply chain: Simulation and comparison", *Proceedings of International Conference on Management Science and Engineering Management*, pp. 223-230 (2007).
19. le Blanc, H.M. "Closing loops in supply chain management: Designing reverse supply chains for end-of-life vehicles", PhD thesis in Tilburg University, Center, Tilburg (2006).
20. Salami, A. "A literature review of monte carlo simulation method", *Journal of Economic Research*, **3**, pp. 117-138 (2005).