

Solving a bi-objective four-echelon supply chain by the STEM method

Mehrnoosh Taherkhani ¹, Reza Tavakkoli-Moghaddam ²

¹ Ph.D. Student in Industrial Engineering, Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Professor, School of Industrial Engineering, Colleges of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract:

This paper presents a bi-objective mathematical model for a four-echelon supply chain, including suppliers, producer, distributors and retailers. This model finds the flow among the different levels of the supply chain that minimizes the total cost of the supply chain and maximizes the service level under some restrictions in order to trade-off and justify the obtained solutions. Then, by using a numerical example, the presented model is solved by the STEM method and LINDO software. Finally, the flow among the different levels of the supply chain and the related objective function values are reported.

Keywords: Multi-echelon supply chain, Bi-objective model, Service level, STEM method.

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۸، پیاپی (۱۴)، شماره (۱)، بهار و تابستان ۱۳۹۶

دریافت: ۱۳۹۲/۰۱/۲۸ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷

صص: ۶۵-۷۸

توسعه یک مدل زنجیره تأمین چهارسطحی دوهدفه و حل با استفاده از روش STEM

مهرنوش طاهرخانی^۱، رضا توکلی مقدم^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی صنایع، تهران

۲- استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

چکیده: در این مقاله، یک مدل زنجیره تأمین چهارسطحی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان ارائه می‌شود. این مدل در پی تعیین جریان‌های بین سطوح مختلف زنجیره تأمین با دو هدف حداقل‌سازی کل هزینه‌های زنجیره و حداکثرسازی سطح خدمت‌رسانی در سطوح مختلف زنجیره تأمین است. همچنین محدودیت‌هایی برای تعادل مدل و موجه‌ساختن جواب‌های به‌دست‌آمده از حل مدل ارائه می‌شود. در خاتمه با ذکر یک مثال عددی، مدل پیشنهادی با استفاده از روش STEM و نرم‌افزار Lingo حل و سپس جریان‌های بین سطوح مختلف زنجیره و مقادیر توابع هدف تعیین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین چهارسطحی، حداقل‌سازی هزینه، حداکثرسازی سطح خدمت‌رسانی، روش STEM.

۱- مقدمه

زنجیره‌های مختلفی که می‌توان با استفاده از تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان یکسان ایجاد کرد، تمایزی قائل شد، باید معیاری برای برتری یک زنجیره نسبت به زنجیره دیگر مشخص کرد. در اینجا اهداف اساسی برای تمایز بین جواب‌های مختلف حداقل کردن هزینه کل زنجیره تأمین و حداکثرسازی سطح خدمت‌رسانی در سطوح مختلف زنجیره تأمین است. در طول دو دهه اخیر، مدیران شاهد یک دوره تغییرات شگرف جهانی به واسطه پیشرفت در تکنولوژی، جهانی شدن بازارها و شرایط جدید اقتصاد سیاسی بوده‌اند. با افزایش تعداد رقبا در کلاس جهانی، سازمان‌ها مجبور شدند سریعاً فرایندهای درون سازمانی را برای باقی ماندن در صحنه رقابت جهانی بهبود بخشند.

در دهه‌های ۷۰-۱۹۶۰ سازمان‌ها به توسعه جزئیات استراتژی‌های بازار همت گماشتند که بر آورده کردن «رضایت» مشتریان متمرکز بود. آنها بدین درک رسیدند که مهندسی و طراحی قوی و عملیات تولید منسجم و هماهنگ، پیش‌نیاز دستیابی به نیازمندی‌های بازار و در نتیجه سهم بازار بیشتر است؛ بنابراین، طراحان مجبور شدند که ایدئال‌ها و نیازمندی‌های مورد نظر مشتریان را در طراحی محصولات خود بگنجانند و درحقیقت محصولی را با حداکثر سطح کیفی ممکن، در حداقل هزینه، توأم با ایده‌آل‌های مورد نظر مشتری روانه بازار سازند. در دهه ۱۹۸۰ با افزایش تنوع در الگوهای مورد نظر مشتریان، سازمان‌های تولیدی به‌طور فزاینده‌ای به افزایش انعطاف‌پذیری در خطوط تولید، بهبود محصولات و فرایندهای موجود و توسعه محصولات جدید برای ارضای مشتریان علاقه‌مند شدند که این موضوع چالش‌های جدیدی را برای آنها رقم زد.

امروزه با توجه به جهانی شدن بازار، وضعیت مسائل موجودی تغییرات زیادی کرده است. شرکت‌های چندملیتی، با توجه به نرخ مالیات و سایر هزینه‌ها، انبارهای محصول خود را در کشورهای انتخاب می‌کنند که هزینه کمتری برای آنها داشته باشد. سپس محصولات خود را با توجه به نیاز سایر کشورها، برای آنها ارسال می‌کنند. این مسائل باعث شده است که مسائل موجودی با شرایط جدید بررسی شود. در این شرایط جدید، شرایط تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان مختلف، با یکدیگر تفاوت‌های زیادی دارد. با توجه به اینکه اکثر شرکت‌ها از تعدادی تأمین‌کننده مواد اولیه و تعدادی توزیع‌کننده برای توزیع محصولات خود استفاده می‌کنند، برای تصمیم‌گیری صحیح‌تر باید کل زنجیره تأمین مورد نظر، بررسی شود. در واقع برای تشکیل یک زنجیره مناسب، باید تأثیر متغیرهای تصمیم‌گیری بر کلیه حلقه‌های زنجیره بررسی شود. یک شبکه زنجیره تأمین از اجزای مختلفی تشکیل شده است. این اجزا از تعدادی تأمین‌کننده مواد اولیه، مونتاژکننده، توزیع‌کننده، خرده‌فروش و مشتری نهایی تشکیل شده است. هر گروه از این اجزا را یک سطح می‌نامند؛ مثلاً تمام تأمین‌کنندگان مواد اولیه را یک سطح می‌نامند.

هدف طراحی زنجیره تأمین به دست آوردن یک شبکه است که اهداف تصمیم‌گیرنده را به بهترین نحو ممکن برآورده سازد. موضوع اصلی این مقاله طراحی یک زنجیره تأمین موفق است. این زنجیره تأمین از چهار سطح تشکیل شده است که به ترتیب شامل تأمین‌کنندگان، یک مونتاژکننده، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان در نظر گرفته شده‌اند. برای اینکه بین

استراتژیک برای توسعه یک جواب کاربردی برای مسئله حداقل سازی هزینه مورد استفاده قرار داده می شود.

گینز و پارداالوز^۳(۲۰۰۳) مدل های زنجیره تأمین را به سه دسته تقسیم کرد: طبقه اول برپایه تصمیم گیری استراتژیک، طبقه دوم برپایه تصمیم گیری کاربردی و طبقه سوم برپایه تصمیم گیری تاکتیکی بود. یکی از اولین مقاله ها در خصوص روش های برنامه ریزی چندهدفه در زنجیره تأمین را وبر و کارینت^۴(۱۹۹۳) منتشر کرده اند. در مقاله آنها سه هدف بررسی شده است؛ این سه هدف عبارت اند از: حداقل سازی هزینه فروش نهایی، حداقل سازی فروش ازدست رفته و حداقل سازی فروش پس افت. جواب مسئله با وزن دهی به اهداف مختلف به دست آمده است. به طور مشابه جایارامون^۵(۱۹۹۹) یک روش وزن دهی را برای مدل برنامه ریزی چندهدفه برای تحلیل مسائل جایابی و جانمایی استفاده کرده است. در اینجا نویسنده نشان داده است که مدل پیشنهادی می تواند برای ارزیابی تعامل بین تعداد تسهیل تخصیص یافته و مقدار تقاضای پوشش یافته استفاده شود.

وبر و همکاران (۲۰۰۰) یک روش دیگر را برای انتخاب تأمین کننده پیشنهاد کرده اند. چاندر و کومار^۶(۲۰۰۱) نشان داده اند که در سیستم های تعاونی طراحی زنجیره تأمین باید مد نظر قرار گیرد. در مقاله ایشان، دو مدل برنامه ریزی خطی یک هدفه برای طراحی زنجیره تأمین ارائه شده است: ۱- مدل تجزیه شده با در نظر گرفتن محدودیت های عمومی و ۲- مدل فرایند جریان پویا با استفاده از جریان محصول یا مواد بین حلقه های زنجیر در زنجیره تأمین. زهو و همکاران^۷(۲۰۰۳) یک مدل با دو معیار

در دهه ۱۹۹۰ به موازات بهبود در توانمندی های تولید، مدیران صنایع درک کردند که مواد و خدمات دریافتی از تأمین کنندگان مختلف تأثیر بسزایی در افزایش توانمندی های سازمان به منظور برخورد با نیازمندی های مشتریان دارد که این امر به نوبه خود، تأثیر مضاعفی در تمرکز سازمان و پایگاه های تأمین و استراتژی های منبع یابی بر جا نهاد. همچنین مدیران دریافتند که صرفاً تولید یک محصول کیفی، کافی نیست. در واقع تأمین محصولات با معیارهای مورد نظر مشتری (چه موقع، کجا، چگونه) و با کیفیت و هزینه مورد نظر آنها، چالش های جدیدی را به وجود آورد. در چنین شرایطی به عنوان یک نتیجه گیری از تغییرات گفته شده دریافتند که این تغییرات در طولانی مدت برای مدیریت سازمان کافی نیست. آنها باید با مدیریت شبکه همه کارخانه ها و شرکت هایی که ورودی های سازمان آنها را به طور مستقیم و غیرمستقیم تأمین می کردند، همچنین شبکه شرکت های مرتبط با تحویل و خدمات بعد از فروش محصول به مشتری، درگیر می شدند. با چنین نگرشی رویکردهایی «زنجیره تأمین» و «مدیریت زنجیره تأمین» پای به عرصه وجود نهادند (پخارل، ۲۰۰۸).

مدل های زیادی برای مسائل زنجیره تأمین ارائه شده است. سبری و بیمون^۲(۲۰۰۰) مدل سازی زنجیره تأمین با دو هدف را بررسی کرده اند و در آن بر زنجیره های تأمین معین و احتمالی متمرکز شده اند. آنها بیان کرده اند که مدل های معین، استراتژیک هستند و مدل های احتمالی، کاربردی ترند. همین طور آنها یک مدل حداقل سازی هزینه را برای تحلیل و بررسی شرایط استراتژیک و شرایط اجرایی در زنجیره تأمین ارائه کرده اند. مدل آنها ابتدا اهداف استراتژیک را بررسی می کند و خروجی اهداف

برای تخصیص مشتریان به انبارها پیشنهاد دادند. این دو هدف عبارت بودند از حداقل کردن هزینه کل و حداقل کردن زمان حمل و نقل بین انبارها و مشتریان. اسپایتر و همکاران^۸ (۲۰۰۵) یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای برنامه‌ریزی عملیات در مسئله زنجیره تأمین ارائه کردند. این مدل محدودیت ظرفیت مونتاژ داشت و پیچیدگی یکپارچه‌سازی مدت تحویل و ظرفیت چنددوره‌ای مشتری در مسئله مونتاژ با ظرفیت معین را نشان داد. پخارل (۲۰۰۸) یک مسئله زنجیره تأمین چهارسطحی شامل تأمین‌کنندگان، مونتاژکننده، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان ارائه کردند که این مدل به صورت چندهدفه در نظر گرفته شده است و با دو هدف کاهش هزینه کل و افزایش سطح قابلیت اطمینان و با تقاضای ثابت است. در این مدل میزان جریان بین سطوح مختلف زنجیره تأمین با یکدیگر و میزان تولید از هر کدام از محصولات به عنوان متغیر تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است. لیانگ^۹ (۲۰۰۸) یک مدل زنجیره تأمین در شرایط فازی با دو هدف حداقل کردن هزینه کل زنجیره و حداقل کردن زمان تحویل ارائه کرد.

دمارتاس و استن^{۱۰} (۲۰۰۸) مدلی را برای حداقل کردن نرخ ضایعات از تأمین‌کننده را توسعه دادند. کانگ و کیم^{۱۱} (۲۰۱۰) یک مدل زنجیره تأمین را توسعه دادند که هر تأمین‌کننده به تعدادی از فروشندگان در مناطق جغرافیایی مختلف سرویس می‌دهد؛ بنابراین یک طرح ارتباطی برای هر فروشنده با استفاده از اطلاعات و تقاضاهای مشتریان نهایی و سطح موجودی فروشندگان و حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل، هزینه‌های نگهداری موجودی ارائه کردند. سانکار سانا^{۱۲} (۲۰۱۱) یک مدل موجودی یکپارچه تولید را به منظور تعیین میزان تولید و میزان سفارش

مواد اولیه جهت حداکثرسازی سود ارائه نمودند. گورجادیاسیت و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۱) یک مدل ریاضی را برای یک زنجیره تأمین چندمحصولی را با منابع، انبارها و مراکز توزیع مشترک برای تقاضاهای غیرقطعی مشتریان در زمان‌های مختلف طراحی کردند. میرزاپور و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۱) یک مدل برنامه‌ریزی ادغامی تولید در زنجیره تأمین را با هدف اینکه کل هزینه‌های سیستم حداقل شود و همچنین سطح رضایتمندی مشتریان با مینیمم کردن ماکزیمم کمبودهای مشتریان حداکثر شود ارائه کردند و در نهایت مدل با روش LP متریک با یک مثال عددی حل شده است. کاردونا - والدز^{۱۵} (۲۰۱۱) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ارائه کردند که در پی یافتن تنظیمات بهینه و تخصیص حالت‌های حمل و نقل و جریان‌های مربوط به سطوح مختلف زنجیره بود و دو هدف داشت: هزینه کل و زمان سرویس‌دهی به طور هم‌زمان حداقل شوند. سجادی و داودپور^{۱۶} (۲۰۱۲) یک مدل برنامه‌ریزی عدد مختلط را برای یک زنجیره تأمین دوسطحی، یک دوره چندمحصولی را به منظور حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل، زمان تحویل، هزینه‌های نگهداری محصولات و هزینه‌های راه‌اندازی و عملیاتی ماشین‌ها و تجهیزات ارائه کردند. لیو و پاپاگیورگیو^{۱۷} (۲۰۱۳) یک مدل برنامه‌ریزی خطی ترکیبی عدد صحیح با سه هدف هزینه و پاسخ‌گویی و سطح خدمت‌رسانی به مشتریان را ارائه کردند.

مقاله حاضر یک حالت توسعه‌یافته‌ای از مقاله پخارل^{۱۸} (۲۰۰۸) است که تمایز آن به شرح زیر است:

۱. بحث ضایعات و دوباره‌کاری در سطح دوم زنجیره تأمین (مونتاژکننده) مطرح شده است.
۲. در سطح مونتاژکننده واحدهای تعمیرات و دفع ضایعات در نظر گرفته شده است.

مونتاژکننده درصدی از کالاهای معیوب تولیدشده که در بخش تعمیرات با اعمال دوباره کاری سالم می‌شوند و یا جزء ضایعات محسوب می‌شوند و از زنجیره حذف می‌گردند. تولیدکننده کلیه کالاهای سالم تولیدی را به سطح سوم زنجیره که توزیع‌کنندگان هستند تحویل می‌دهد. توزیع‌کنندگان نیز که تغذیه‌کننده خرده‌فروشان هستند از طریق خرده‌فروشان (سطح چهارم) محصول نهایی را به مشتریان نهایی می‌رسانند. در شکل ۱ زنجیره تأمین نمایش داده شده است.



شکل ۱. زنجیره تأمین

در مدل‌سازی این مسئله مفروضات زیر در نظر گرفته شده است:

- زنجیره مورد نظر تنها یک محصول تولید می‌کند.
- در محصول نهایی، از هرکدام از مواد اولیه موردنیاز برای مونتاژ محصول نهایی تنها یک واحد استفاده می‌شود.
- تقاضای مشتریان نهایی معین است.
- در مونتاژ محصول درصدی ضایعات وجود دارد.
- هزینه انتقال مواد بین سطوح مختلف متناسب با تعداد کالای ارسالی است و هزینه ثابت حمل‌ونقل کالا وجود ندارد.
- هزینه سفارشی بین سطوح مختلف

۳. در بخش تابع هدف علاوه بر حداقل کردن هزینه‌های خرید، حمل‌ونقل و مونتاژ، به دنبال حداقل کردن هزینه‌های دوباره کاری و ضایعات تولید در سطح مونتاژکننده است که تاکنون در هیچ مدل مشابهی ضایعات به این صورت در نظر گرفته نشده است. جهت دستیابی به این اهداف (یعنی حداقل کردن هزینه‌های دوباره کاری و ضایعات تولید) مفروضات و محدودیت‌هایی در مدل ریاضی مطرح شده در نظر گرفته شده است. هدف دوم این مدل افزایش سطح خدمت‌رسانی در کلیه سطوح زنجیره تأمین است.

J شمارنده مواد اولیه به کار برده شده برای تولید یک واحد از محصول نهایی مورد نظر

S شمارنده تامین کنندگان

D شمارنده توزیع کنندگان

R شمارنده خرده‌فروشان

TSjs هزینه حمل یک واحد مواد اولیه نوع J از محل تأمین‌کننده S به محل مونتاژکننده

CHjs هزینه خرید یک واحد مواد اولیه نوع J از تأمین‌کننده S

AE هزینه مونتاژ یک واحد از تمام مواد اولیه نوع J و تولید یک واحد محصول نهایی

۲- مدل سازی

مسئله موردبررسی یک زنجیره تأمین است که چهار سطح دارد. در سطح اول مسئله، تأمین‌کنندگان قرار گرفته‌اند که این تأمین‌کنندگان، مواد اولیه را در اختیار مونتاژکننده قرار می‌دهند. مونتاژکننده که در سطح دوم زنجیره تأمین قرار دارد، مواد دریافتی را مونتاژ کرده و تبدیل به محصول نهایی می‌کند و در قسمت

هدف است: اولین تابع هدف، حداقل کردن هزینه کل

- کمبود جایز نیست.
- هرکدام از تأمین کنندگان و مونتاژکننده و توزیع کنندگان محدودیت ظرفیت دارند و نمی توانند بیشتر از مقدار ظرفیت طراحی شده، تبادل کالا داشته باشند.

۲-۳- توابع هدف

الف) حداقل کردن هزینه:

برای مدل سازی هزینه های مسئله ابتدا باید هزینه های کل زنجیره تأمین را از ابتدای زنجیره که هزینه خرید مواد اولیه است تا انتهای زنجیره شناسایی و فرموله شوند. هزینه های شناسایی شده در این زنجیره عبارت اند از:

- هزینه خرید مواد اولیه از تأمین کنندگان زنجیره تأمین
- هزینه مونتاژ مواد اولیه در محل مونتاژکننده محصول (شامل هزینه دستمزد نیروی انسانی و سایر هزینه ها)
- هزینه دوباره کاری و ضایعات در بخش تعمیرات در محل تولیدکننده
- هزینه انتقال مواد اولیه از محل تأمین کنندگان تا محل مونتاژکننده

FR_{dr} جریان محصول نهایی از توزیع کننده d ام به خرده فروش r ام
 Y مقدار تولید محصول مورد نظر توسط مونتاژکننده

- هزینه انتقال محصولات نهایی از محل مونتاژکننده نهایی تا محل توزیع کنندگان

در راستای مدل سازی مسئله، مراحل زیر ارائه می شود:

۱. تعریف پارامترهای مورد نیاز برای مدل سازی مسئله
۲. تعریف متغیرهای مورد نیاز برای مدل سازی مسئله
۳. تعریف تابع هدف حداقل سازی هزینه کل
۴. تعریف تابع هدف حداکثر سازی سطح خدمت رسانی در سطوح مختلف زنجیره تأمین
۵. تعریف محدودیت های مسئله

۲-۱- پارامترها:

پارامترهای تعریف شده در این مدل به شرح زیر ارائه می شود.

۲-۲- متغیرهای تصمیم:

متغیرهای تصمیم تعریف شده در این مدل به شرح زیر ارائه می شود.

FS_{js} جریان مواد اولیه نوع j از تأمین کننده S به مونتاژکننده
 FD_d جریان بین مونتاژ کننده و توزیع کننده d ام

در این بخش، نحوه مدل سازی توابع هدف مسئله تشریح می شوند. مسئله تعریف شده شامل دو تابع

نیروی انسانی و سوخت و غیره است. این هزینه برای هر واحد مونتاژ محصول نهایی هزینه ثابتی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین هزینه مونتاژ مواد اولیه در محل مونتاژکننده نهایی نیز طبق رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$AE \times Y \quad (2)$$

در بخش مونتاژ درصدی از کالاهای معیوب تولید می‌شود که به دوباره‌کاری نیاز دارند و درصدی از آنها نیز بعد از دوباره‌کاری جزء ضایعات محسوب می‌شوند (رابطه (۳))

$$P \times Y \times BC + P \times Q \times Y \times NC \quad (3)$$

هزینه حمل محصول نهایی در طول زنجیره به مقدار کالای انتقال یافته ارتباط دارد و لذا برای محاسبه این هزینه کافی است که هزینه هرکدام از انتقال‌ها را در مقدار کالای انتقال یافته ضرب کنیم؛ پس هزینه حمل محصولات نهایی به محل توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان نیز با رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$\sum_{d=1}^D TD_d \times FD_d + \sum_{d=1}^D \sum_{r=1}^R TR_{dr} \times FR_{dr} \quad (4)$$

کلیه هزینه‌های شناسایی شده توسط روابط (۱) تا (۴) فرموله شدند و حاصل جمع این چهار رابطه، هزینه کل زنجیره تأمین را ارائه می‌دهد؛ بنابراین تابع هدف برای حداقل‌سازی هزینه به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود.

• هزینه انتقال محصولات نهایی از محل توزیع‌کنندگان تا محل هرکدام از خرده‌فروشان

حال هر یک از این هزینه‌ها تشریح می‌شود و مدل‌سازی آنها، با توجه به پارامترها و متغیرهای ارائه شده در بخش‌های ۲-۱ و ۲-۲ انجام می‌شود.

ابتدا به هزینه خرید و حمل مواد اولیه به محل مونتاژکننده می‌پردازیم. هرکدام از تأمین‌کنندگان قیمت‌های مختلفی را برای مواد اولیه پیشنهاد کرده‌اند. این قیمت‌ها می‌تواند معیار مناسبی برای انتخاب تأمین‌کننده خاص باشد. هزینه انتقال مواد اولیه از محل تأمین‌کنندگان مختلف تا محل مونتاژکننده نیز با توجه به فاصله حمل، می‌تواند بین تأمین‌کنندگان یک نوع ماده اولیه، متفاوت باشد؛ بنابراین در اینجا خرید مواد اولیه از تأمین‌کنندگان، هزینه متفاوتی خواهد داشت و با توجه به فاصله تأمین‌کننده تا محل مونتاژکننده، هزینه حمل و نقل آن نیز متفاوت خواهد بود. رابطه (۱) نشان‌دهنده هزینه خرید و هزینه حمل مواد اولیه مورد نیاز برای مونتاژکننده است. توجه شود که در این رابطه مجموع هزینه حمل و نقل و خرید ماده اولیه لازم در مقدار کالای تأمین شده از تأمین‌کننده مورد نظر ضرب شده است.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S (TS_{js} + CH_{js}) \times FS_{js} \quad (1)$$

مونتاژکننده برای مونتاژ هر واحد از محصول نهایی، هزینه‌هایی خواهد داشت که این هزینه‌ها شامل هزینه

- محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان
- محدودیت ظرفیت توزیع‌کنندگان
- محدودیت‌های تعادلی بین جریان در سطوح مختلف زنجیره تأمین.
- کلیه متغیرهای تصمیم‌گیری بزرگ‌تر مساوی صفر هستند.

مونتازکننده مسئله تعریف شده، حداکثر می‌تواند مقدار مشخصی محصول مونتاز کند و نباید مقدار تولید از مقدار تعیین شده بیشتر باشد؛ بنابراین مقدار تولید برابر Y است که کمتر از ظرفیت مونتازکننده است. از آنجایی که کلیه محصولات تولید شده در محل مونتازکننده سالم نیست و درصدی از ضایعات در بخش مونتاز وجود دارد؛ کالاهای ارسالی به توزیع‌کنندگان کمتر از Y است که در رابطه‌های ۷-۹ نمایش داده شده است.

$$Y = \sum_{s=1}^S FS_{js} \geq \sum_{d=1}^D FD_d \quad \forall j \quad (7)$$

$$\sum_{d=1}^D FD_d \leq EA \quad (8)$$

$$\sum_{d=1}^D FD_d = Y \times (1 - P) + Y \times P \times (1 - Q) \quad (9)$$

محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان در رابطه‌های (۱۰) و (۱۱) تعریف شده است.

$$FS_{js} \leq ES_{js} \quad (10)$$

$$FD_d \leq ED_d \quad \forall d \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } z1 = & \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S (TS_{js} + CH_{js}) \times FS_{js} \\ & + \sum_{d=1}^D TD_d \times FD_d \\ & + \sum_{d=1}^D \sum_{r=1}^R TR_{dr} \times FR_{dr} + AE \\ & \times Y + P \times Y \times BC + P \times Q \\ & \times Y \times NC \end{aligned} \quad (5)$$

ب) حداکثر کردن سطح خدمت رسانی

در این بخش با در نظر گرفتن سطح خدمت رسانی واحدها در سطوح مختلف زنجیره تأمین و با در نظر گرفتن جریان‌های بین سطوح مختلف زنجیره تحت رابطه (۶) سطح خدمت رسانی زنجیره حداکثر شده است.

$$\begin{aligned} \text{Max } z2 = & \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S R_{js} \times FS_{js} \\ & + \sum_{d=1}^D R_d \times FD_d \\ & + \sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^D R_{rd} \times TR_{dr} \end{aligned} \quad (6)$$

۲-۴- محدودیت‌ها

برای مدل‌سازی مسأله پس از تعریف توابع هدف، لازم است محدودیت‌های مسأله تعیین شوند. این محدودیت‌ها برای اینکه جواب بدست آمده از حل مدل، قابل پیاده سازی در مسأله باشد، به کار برده می‌شوند. در واقع محدودیت‌های مسأله، موجه بودن جواب بدست آمده از حل مدل را تضمین می‌نمایند. محدودیت‌هایی که در این مسأله شناسایی شده اند عبارت‌اند از:

- محدودیت ظرفیت مونتازکننده

$$\sum_{s=1}^S FS_{1s} = \sum_{s=1}^S FS_{2s} = \dots = \sum_{s=1}^S FS_{js} = Y$$

$$\sum_{s=1}^S FS_{js} \geq \sum_{d=1}^D FD_d \forall J$$

$$\sum_{d=1}^D FD_d \leq EA$$

$$\sum_{d=1}^D FD_d = Y \times (1 - P) + Y \times P \times (1 - Q)$$

$$FD_d \leq ED_d \forall d$$

$$\sum_{d=1}^D FD_d = \sum_{d=1}^D \sum_{r=1}^R FR_{dr}$$

$$\sum_{d=1}^D FR_{dr} = MR_r \forall r$$

کلیه متغیرها مثبت

۳- روش STEM

برای حل مثال عددی مطرح شده از روش STEM استفاده می شود که گام های الگوریتم به شرح زیر است (فلاح تفتی و همکاران؛ ۲۰۱۴).

گام اول) تشکیل ماتریس بهره وری: به ازای هر کدام از توابع هدف جواب بهینه را به دست می آوریم و جواب بهینه به دست آمده را در سایر توابع هدف قرار می دهیم و مقدار دیگر توابع هدف را به دست می آوریم.

گام دوم) تشکیل α_i : برای به دست آوردن مقادیر α_i به ترتیب طبق روابط (۱۵) و (۱۶) عمل می کنیم:

$$\text{Max } \alpha_i = \frac{f_i^* - f_i^{\min}}{|f_i^*|} \times \frac{1}{\sqrt{c_{i1}^2 + c_{i2}^2 + \dots}} \quad (15)$$

$$\text{Min } \alpha_i = \frac{f_i^{\max} - f_i^*}{|f_i^{\max}|} \times \frac{1}{\sqrt{c_{i1}^2 + c_{i2}^2 + \dots}} \quad (16)$$

گام سوم) تشکیل β_i

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (17)$$

به طوری که: $\sum_{i=1}^i \beta_i = 1$

ضریب مصرف کلیه مواد اولیه در ساخت محصول نهایی یک در نظر گرفته شده است که در رابطه (۱۲) نشان داده شده است.

$$\sum_{s=1}^S FS_{1s} = \sum_{s=1}^S FS_{2s} = \dots = \sum_{s=1}^S FS_{js} \quad (12)$$

$$= Y$$

کلیه کالاهای دریافتی در محل توزیع کنندگان خرده فروشان ارسال می شود و کلیه کالاهای دریافتی خردفروشان برابر با تقاضای آنها است که در روابط (۱۳) و (۱۴) تعریف شده است.

$$\sum_{d=1}^D FD_d = \sum_{d=1}^D \sum_{r=1}^R FR_{dr} \quad (13)$$

$$\sum_{d=1}^D FR_{dr} = MR_r \quad \forall r \quad (14)$$

۲- ۵- مدل سازی ریاضی

$$\text{Min Z1} = \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S (TS_{js} + CH_{js}) \times FS_{js}$$

$$+ \sum_{d=1}^D TD_d \times FD_d$$

$$+ \sum_{d=1}^D \sum_{r=1}^R TR_{dr} \times FR_{dr} + AE$$

$$\times Y$$

$$+ P \times Y \times BC + P \times Q \times Y \times NC$$

$$\text{Max Z2} = \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S R_{js} \times FS_{js}$$

$$+ \sum_{d=1}^D R_d \times FD_d$$

$$+ \sum_{r=1}^R \sum_{d=1}^D R_{rd} \times TR_{dr}$$

s.t.

$$FS_{js} \leq ES_{js}$$

حمل و نقل از توزیع کنندگان به خرده فروشان و سطح خدمت رسانی توزیع کنندگان در جدول های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

برای حل به روش STEM، ابتدا مدل را برای واحدهای انتخاب شده به صورت تک هدفه حل می کنیم یعنی یک بار مدل را با تابع هدف حداقل هزینه و یک بار با تابع هدف حداکثر سطح خدمت رسانی حل کنیم و با توجه به اینکه مدل مطرح شده خطی است برای حل از نرم افزار Lingo استفاده شده است که نتایج خروجی Lingo در جدول ۷ نمایش داده شده است. در گام دوم الگوریتم مقادیر α_i را برای $i=1,2$ حل می کنیم که نتایج در جدول ۸ نشان داده شده است. در گام سوم مقادیر β_i برای $i=1,2$ مطابق با جدول ۹ به دست می آید. در نهایت روش STEM مقادیر جریان های مواد اولیه از تأمین کنندگان به مونتاژکننده را در جدول ۱۰، جریان ها از مونتاژکننده به توزیع کنندگان را به ترتیب ۲۵۰، ۰، ۴۵۰، ۰، ۴۲۰ و جریان ها از توزیع کنندگان به خرده فروشان مطابق جدول ۱۱ تعیین می کند. با تعیین جریان ها در سطوح مختلف زنجیره مقادیر توابع هدف مطابق جدول ۱۲ به دست می آید.

۵- نتیجه گیری

در روش STEM تصمیم گیرنده می تواند با تغییر یکی از مقادیر تابع هدف اثر آن تغییر را بر تابع هدف دیگر بررسی کند. در مثال مطرح شده مقدار تابع هدف اول (هزینه ها) ۶۶۱۱۲۵ و مقدار تابع هدف دوم (سطح خدمت رسانی) ۶۱۵۱۰۵ محاسبه شده است؛ بنابراین تصمیم گیرنده می تواند با تغییر مقادیر توابع هدف به جوابی دست یابد که مورد نظر تصمیم گیرنده باشد و جریان های بین واحدهای

گام چهارم) مسئله برنامه ریزی خطی زیر را تشکیل داده و جواب بهینه مسئله را با استفاده از روش های حل مسائل برنامه ریزی خطی حل می کنیم.

Min T

s.t.

$$\text{Max}, T \geq \{f_i^* - F_i\} \times \beta_i$$

$$\text{Min}, T \geq \{f_i^* + F_i\} \times \beta_i$$

$$x \in S$$

۴- مثال عددی

مسئله عددی تعریف شده زنجیره تأمین کارخانه ای را در نظر می گیریم که برای ساخت محصول نهایی به چهار نوع مواد اولیه نیاز دارد؛ این مواد اولیه را از ۱۰ تأمین کننده مختلف می تواند تأمین کند که قیمت های خرید و هزینه های حمل و نقل تا مونتاژکننده و ظرفیت و سطح خدمت رسانی هر یک از تأمین کنندگان برای هر یک از چهار نوع مواد اولیه مطابق جدول های ۱ تا ۴ داده شده است. در این زنجیره یک مونتاژکننده و ۵ توزیع کننده وجود دارد که هزینه حمل و نقل هر واحد کالا از مونتاژکننده به توزیع کنندگان به ترتیب ۲۰، ۲۵، ۲۲، ۲۷، ۲۳ و ظرفیت توزیع کنندگان برای دریافت محصول نهایی از مونتاژکننده به ترتیب ۲۵۰، ۵۰۰، ۴۵۰، ۷۲۰، ۵۴۰ و سطح خدمت رسانی مونتاژکننده به هر یک از توزیع کنندگان به ترتیب ۹۰، ۸۴، ۹۲، ۸۹، ۹۵ تعیین شده است. ظرفیت مونتاژ ۱۲۰۰۰ محصول و همچنین درصد دوباره کاری در بخش مونتاژ ۱۰ درصد و میزان ضایعات در بخش دوباره کاری ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است. هزینه های مونتاژ، دوباره کاری ضایعات یک واحد کالا به ترتیب ۳۰، ۲۰ و ۸۰ واحد پولی در نظر گرفته شده است. کلیه کالاها در سطح توزیع کنندگان به ۸ خرده فروش با تقاضاهای معین به ترتیب ۱۹۰، ۱۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۱۶۰، ۱۲۰ ارسال می شود و هزینه های

انتخاب شده را تعیین کند. به فرض با افزایش هزینه‌ها سطح خدمت و سرویس‌رسانی را نیز افزایش داد و به عکس. برای توسعه و ادامه کار می‌توان مدل را برای یک زنجیره تأمین که قادر به تولید چندین نوع محصول مختلف باشد و یا یک زنجیره تأمین چنددوره‌ای طراحی کرد که دارای تقاضاهای احتمالی باشد.

جدول (۱): هزینه‌های حمل‌ونقل از تأمین‌کنندگان تا مونتاژکننده برای هر یک از مواد اولیه

		تأمین‌کنندگان									
		TS_{js}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
نوع مواد اولیه	۱	۲۰	۱۴	۱۰	۲۰	۸	۱۶	۹	۱۲	۸	۱۰
	۲	۱۵	۱۰	۱۳	۲۴	۱۰	۱۵	۱۰	۱۳	۱۰	۱۳
	۳	۱۸	۱۳	۱۰	۲۳	۹	۱۰	۱۰	۱۵	۱۲	۱۵
	۴	۱۴	۱۰	۱۲	۲۲	۱۳	۱۳	۸	۱۴	۷	۹

جدول (۲): قیمت خرید هر یک از مواد اولیه از هر کدام از تأمین‌کنندگان

		تأمین‌کنندگان									
		CH_{js}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
نوع مواد اولیه	۱	۱۱۰	۱۲۵	۱۴۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۲۰	۱۱۰	۱۴۵	۱۱۰	۱۲۰
	۲	۱۳۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۴۰
	۳	۱۵۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۴۵	۱۲۰	۱۳۰	۱۶۰	۱۵۰	۱۵۰
	۴	۱۴۰	۱۳۰	۱۱۰	۱۶۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۵۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۲۵

جدول (۳): ظرفیت تأمین‌کنندگان برای هر یک از مواد اولیه

		تأمین‌کنندگان									
		ES_{js}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
نوع مواد اولیه	۱	۱۸۰	۱۵۰	۲۱۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۸۵	۱۶۰	۲۰۰	۱۹۰	۲۰۰
	۲	۱۵۰	۱۸۰	۲۵۰	۲۷۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۱۷۰	۱۵۰	۱۸۰
	۳	۱۷۰	۲۰۰	۱۴۰	۲۳۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۵۰	۲۴۰	۲۰۰	۱۸۰
	۴	۲۲۰	۲۵۰	۲۰۰	۱۹۰	۲۲۰	۲۰۰	۱۷۰	۲۵۰	۲۲۰	۲۳۰

جدول (۴): سطح خدمت‌رسانی تأمین‌کنندگان برای هر یک از مواد اولیه

		تأمین‌کنندگان									
		R_{js}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
نوع مواد اولیه	۱	۹۰	۸۳	۹۰	۹۲	۸۵	۹۰	۹۴	۸۰	۸۷	۹۷
	۲	۸۵	۹۵	۹۵	۸۷	۸۸	۹۳	۹۰	۸۵	۹۰	۹۶
	۳	۸۰	۹۲	۹۴	۸۹	۸۹	۸۹	۹۲	۹۰	۹۴	۹۵
	۴	۹۳	۹۶	۹۷	۹۰	۹۷	۹۵	۸۸	۹۲	۹۶	۹۰

جدول (۵): هزینه حمل و نقل محصول نهایی از توزیع کنندگان به خرده فروشان

		خرده فروشان								
		TR_{dr}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
توزیع کنندگان	۱	۲۲	۲۲	۲۴	۲۸	۳۰	۲۵	۲۳	۲۶	
	۲	۲۵	۲۳	۲۰	۲۲	۲۲	۲۳	۲۴	۲۲	
	۳	۲۱	۲۵	۲۴	۲۲	۲۵	۲۸	۲۸	۲۵	
	۴	۲۷	۲۴	۲۷	۲۰	۲۴	۲۴	۲۰	۲۷	
	۵	۲۰	۲۵	۲۷	۲۱	۲۰	۲۲	۲۵	۲۴	

جدول (۶): سطح خدمت رسانی هریک از توزیع کنندگان به هریک از خرده فروشان

		خرده فروشان								
		R_{dr}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
توزیع کنندگان	۱	۹۱	۹۵	۹۴	۸۷	۸۹	۹۰	۹۲	۸۸	
	۲	۹۳	۸۹	۹۳	۸۶	۹۵	۸۹	۸۷	۹۰	
	۳	۸۹	۹۳	۸۵	۹۰	۹۲	۹۲	۹۴	۹۵	
	۴	۸۷	۸۵	۸۹	۹۴	۹۳	۹۶	۸۹	۹۳	
	۵	۹۵	۹۶	۹۲	۸۵	۸۸	۹۰	۹۴	۹۷	

جدول (۷): ماتریس بهره‌وری

	F1	F2
F1	۸۷۱۰۴۰	۱۱۴۰۹۲۲
F2	۶۱۷۷۵۵	۷۰۶۱۲۵

جدول (۸): مقادیر α_i

مقدار α_1 برای تابع هدف حداقل کردن هزینه	۰/۰۰۰۳۴۷۳۴۲
مقدار α_2 برای تابع هدف حداکثر کردن سطح خدمت	۰/۰۰۰۴۰۵۱۰۱

جدول (۹): مقادیر β_i

مقدار β_1 برای تابع هدف حداقل کردن هزینه	۰/۴۶۱۶۱۹۰۱۹
مقدار β_2 برای تابع هدف حداکثر کردن سطح خدمت	۰/۵۳۸۳۸۰۹۸۱

جدول (۱۰): جریان‌های مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به مونتاژکننده

		تأمین‌کنندگان										
		FSjs	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نوع مواد اولیه	۱	۱	۲۰۰	۱۹۰	۰	۱۶۰	۱۸۵	۱۸۰	۰	۰	۲۵	۱۸۰
	۲	۲	۱۸۰	۱۵۰	۱۷۰	۲۵۰	۰	۰	۲۲۰	۰	۰	۱۵۰
	۳	۳	۰	۰	۰	۲۵۰	۱۹۰	۱۱۰	۲۳۰	۱۴۰	۲۰۰	۰
	۴	۴	۲۳۰	۲۲۰	۲۵۰	۰	۰	۲۲۰	۰	۲۰۰	۰	۰

جدول (۱۱): جریان‌های محصول نهایی از توزیع‌کنندگان به خرده‌فروشان

		خرده‌فروشان								
		FRdr	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
توزیع کنندگان	۱	۱	۰	۱۸۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۲	۲	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۲۰
	۳	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۴	۴	۰	۰	۰	۱۲۰	۰	۰	۱۶۰	۰
	۵	۵	۰	۰	۰	۰	۱۵۰	۰	۰	۰

جدول (۱۲): مقادیر توابع هدف به روش STEM

Z1	Z2
۶۶۶۱۲۵	۶۱۵۱۰۵

منابع

Geunes J., Pardalos P.M. (2003). "Network optimization in supply chain management and financial engineering: An annotated bibliography". *Networks: An International Journal*, 42(2), 66–84.

Jayaraman V.A. (1999). "Multi-objective logistics model for a capacitated service facility problem". *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 29(1), 65–81.

Kang J.H., Kim Y.D. (2010). "Coordination of inventory and transportation managements in a two-level supply chain". *International Journal of Production Economics*, 123(1), 137–145.

Liang T.F. (2008). "Fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain". *Computers & Industrial Engineering*, 55(3), 676–694.

Mirzapour Al-e-Hashem S.M.J., Malekly H., Aryanezhad M.B. (2011). "A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty". *International Journal of Production Economics*, 134(1), 28–42.

Pokharel S. (2008). "A two objective model for decision making in a supply chain". *International Journal of Production Economics*, 111(2), 378–388.

Cardona-Valdés Y., Álvarez A., Ozdemir D. (2011). "A bi-objective supply chain design problem with uncertainty". *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, 19(5), 821–832.

Chandra C., Kumar S. (2001). "Enterprise architectural framework for supply chain integration". *Industrial Management and Data Systems*, 101(6), 290–303.

Demirtas E.A., Ustun O. (2008). "An integrated multi-objective decision making process for supplier selection and order allocation". *Omega*, 36(1), 76–90.

Fallah-Tafti A., Sahraeian R., Tavakkoli-Moghaddam R., Moeinipour M. (2014). "Interactive possibilistic programming approach for a multi-objective closed-loop supply chain network under uncertainty". *International Journal of Systems Science*, 45(3), 283–299.

Georgiadis M., Tsiakis P., Longinidis P., Sofioglou M.K. (2011). "Optimal design of supply chain networks under uncertain transient demand variations". *Omega*, 39(3), 254–272.

Spitter J.M., Hurkens C.A.J. (2005). "Linear programming models with planned lead times for supply chain operations planning". *European Journal of Operational Research*, 163, 706–720.

Weber C.A., Current J., Desa I.A. (2000). "An optimization approach to determining the number of vendors to employ". *Supply Chain Management: An International Journal*, 5(2), 90–98.

Weber C.A., Current J.R. (1993). "A multi-objective approach to vendor selection." *European Journal of Operational Research*, 68, 173–184.

Zhou G., Min H., Gen M. (2003). "A genetic algorithm approach to the bi-criteria allocation of customers to warehouses". *International Journal of Production Economics*, 86, 35–45.

Sabri E.H., Beamon B.M. (2000). "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design". *Omega*, 28, 581–598.

Sadjady H., Davoudpour H. (2012). "Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection, lead-times and inventory costs". *Computers & Operations Research*, 39(7), 1345–1354.

Sankar S.S. (2011). "A production-inventory model of imperfect quality products in a three-layer supply chain". *Decision Support Systems*, 50(2), 539–547.

Liu S., Papageorgiou L.G. (2013). "Multiobjective optimization of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry." *Omega*, 41(2), 369–382.

پی نوشت:

- 1 Pokharel
- 2 Sabri and Beamon
- 3 Geunes and Pardalos
- 4 Weber and Current
- 5 Jayaraman
- 6 Chandra and Kumar
- 7 Zhou
- 8 Spitter et al
- 9 Liang
- 10 Demirtas and Ustun
- 11 Kang and Kim
- 12 Sankar Sana
- 13 Georgiadiset et al
- 14 Mirzapour et al
- 15 Cardona-Valdés
- 16 Sadjady and Davoudpour
- 17 Liu and Papageorgiou
- 18 Pokharel
- 19 Fallah-Tafti