دوفصلنامه محاسبات و سامانههای توزیع شده
سال هشتم، شماره 2، شماره پیاپی 16، صفحه 12 تا 23، سال 1404

بهینه سازی زنجیره تامین دومرحله ای با متغیرهای صحیح و داده های عملیاتی با استفاده از نرم افزار متلب

رنا عباس ناجی [1] و غلام حسن شیردل [2]

[1]دانشجوی دکتری گروه ریاضی، دانشگاه قم، قم، ایران

[2]استاد تمام گروه علوم کامپیوتر، دانشگاه قم، قم، ایران

چکیده

در دنیای امروز به دلیل گستردگی و تنوع منابع و تولیدات، تامین نیازهای سیستم ها امری پیچیده و مشکل است. به همین جهت نیاز است که زنجیره ای از چندین عامل شکل گیرد تا فرایند تامین نیازهای یک سیستم براورده شود. به چنین زنجیره ای یک زنجیره تامین می گویند. بدیهی است که مدیریت و بهینه سازی زنجیره تامین می تواند نیازها را به صورت بهینه تامین نماید. تاکنون راهکارها، روشها و مدل های متعددی برای بهینه سازی زنجیره های تامین ارایه شده اند. اما در اغلب انها زنجیره های تامین به صورت یک مرحله ای در نظرگرفته شده است. یعنی زنجیره تأمین را کاملاً یکپارچه یا مدیریت متمرکز فرض می کنند و در نتیجه نوسانات بالقوه در فرآیندهای تولید تأمین کنندگان و نیازهای سفارش دهندگان را نادیده می گیرند. در محیط های معاصر کشاورزی، تولیدی، صنعتی و تجاری تغییرات اساسی رخ داده است. این تغییرات بر زنجیره های تأمین تاثیر گذاشته و انها را دچار چالش های زیادی نموده است. یکی از این چالش ها این است که در خیلی از موارد زنجیره های تامین نمی توانند در یک مرحله نیازهای سفارش دهندگان را تامین نمایند. بلکه مجبورند سفارشات را در چند مرحله تامین نمایند. یعنی امروزه در پاره ای از سیستم ها به دلیل مشکلاتی که در تامین نیازها وجود دارد، مجبورند از زنجیره های تامین چند مرحله ای استفاده نمایند. در اینگونه از زنجیره های تامین نیازهای مرحله نهایی با فعالیت منظم و سلسله وار چند مرحله در طول هم تامین می شوند. لذا خوب است که تحقیقاتی در مدیریت و بهینه سازی زنجیره های تامین چند مرحله ای انجام شود. از انجا که یکی از متداولترین زنجیره های تامین چند مرحله ای حالت دو مرحله ای ان است، بنابراین در این تحقیق، ما مدیریت و بهینه سازی زنجیره های تامین دو مرحله ای را مدنظر قرار داده و توانسته ایم یک مدل ریاضی دو مرحله ای جدید طراحی نموده و با حل ان جواب بهینه مساله را بیابیم. در مدل ارایه شده به موجودی های اولیه، هزینه های زنجیره تأمین، موجودی های مواد در مراحل مختلف، برنامه تولید تأمین کننده و تصمیمات خرید روزانه خریدار در هر مرحله از فرآیند توجه شده است. برای پیاده سازی این مدل، داده های واقعی جمع آوری شده و از نرم افزار متلب برای حل مدل استفاده شده است.

واژه های کلیدی: زنجیره تامین، زنجیره تامین دو سطحی، مدل سازی ریاضی، بهینه سازی زنجیره تامین.

تاریخچه مقاله:
تاریخ ارسال: 1404/05/26
تاریخ اصلاحات: 1404/08/29
تاریخ پذیرش: 1404/11/10
تاریخ انتشار: 1404/12/25
ایمیل نویسنده مسئول:g.h.shirdel@qom.ac.ir

1- مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین اصطلاحی است که برای توصیف مدیریت مواد و اطلاعات در طول زنجیره از تأمین کنندگان اولیه تا تولید کنندگان محصول و از آنها تا توزیع کنندگان و سپس تا مصرف کنندگان نهایی به کار می رود. گسترش بازارها، افزایش تعداد رقبا و پیشرفت فناوری از جمله عواملی هستند که شرکتها را مجبور به بهبود فرآیندهای داخلی و ارتباطات خارجی خود می کنند. اگر فعالیتهای این نهادها با یکدیگر هماهنگ باشد و برنامه ریزی جامعی روی همه آنها انجام شود، تأثیر زیادی بر کیفیت محصولات و کاهش هزینه ها خواهد داشت. زنجیره تأمین در واقع شبکه ای است که شامل تأمین کنندگان مواد اولیه، مراکز تولید، عمده فروشان، مراکز توزیع، خرده فروشان، حوزه های مشتری و مشتریان نهایی محصولات می شود. در مدیریت زنجیره تأمین، هدف، بهینه سازی تمام تصمیماتی است که در طول این زنجیره رخ می دهد. به طورکلی، این تصمیمات در چارچوب سه زیرسیستم کلی گرفته می شوند: یک: تدارکات، دو: تولید و سه: توزیع. در سیستم های برنامه ریزی سنتی، هر عضو زنجیره تأمین سعی می کند تصمیمات خود را به طور مستقل و جداگانه بهینه سازی کند. از دیدگاه متخصصان مدیریت زنجیره تأمین، این امر نه تنها کل زنجیره تأمین را بهینه نمی کند، بلکه گاهی اوقات باعث ایجاد ناهماهنگی بین

این واحدها می شود. با این حال، اگر این تصمیمات در مدیریت زنجیره تأمین به صورت یکپارچه و هماهنگ گرفته شوند انگاه با بهینه سازی تصمیمات در تمام اعضای زنجیره تأمین، هزینه های تدارکات و تحویل یک محصول به مشتری نهایی به طور قابل توجهی کاهش می یابد. نمونه های متعددی از پیاده سازی موفق این مفهوم در کشورهای پیشرفته وجود دارد [11]. در کشورهای در حال توسعه، هنوز دیدگاه سنتی در برنامه ریزی عملیات واحدهای درگیر در تأمین یک محصول حاکم است و واحدهای تشکیل دهنده زنجیره تأمین یک محصول، هر کدام به صورت جداگانه و در راستای بهینه سازی منافع خود، تصمیماتی اتخاذ می کنند. این امر در بیشتر موارد باعث افزایش هزینه های زنجیره تأمین، افزایش قیمت تمام شده محصول و متعاقباً کاهش قابل توجه رقابت پذیری شرکتها در عرصه رقابت بین المللی می شود. مدیریت زنجیره تامین اهداف متعددی دارد که برخی از انها به شرح زیر است [14،5]:

الف - به حداقل رساندن هزینه های مرتبط با زنجیره به منظور برآورده کردن خواسته های مشتری. این هزینه ها شامل هزینه های مواد اولیه، هزینه های تولید محصول، هزینه های مراکز توزیع، هزینه های حمل و نقل مواد اولیه به مراکز تولید و محصولات نهایی به مراکز توزیع و همچنین هزینه های نگهداری موجودی در مراکز مختلف می شود.

ب - به حداکثر رساندن جریان کالا از طریق شبکه زنجیره تأمین، که باعث کاهش هزینه نهایی محصولات تولیدی میشود.
ج - برآورده کردن تقاضای مشتری، این هدف توانایی یک سازمان را در تحویل به موقع سفارشات مشتری و در مقدار مشخص نشان میدهد.

د - انعطاف پذیری، که به معنای توانایی زنجیره تأمین در تغییر خروجی های خود مطابق با تغییرات تقاضا است.
ه - انتخاب تأمین کنندگان مواد اولیه با معیارهای علمی و اولویت بندی آنها.

و - مکانیابی مراکز تولید و تعیین ظرفیت تولید این مراکز.

ز - تعیین مقدار و ترکیب مواد اولیه ای که باید در طول یک دوره از هر تأمین کننده دریافت شود.

ح - میزان و ترکیب تولید در هر یک از مراکز تولید طی یک دوره.

ل - تعیین میزان و ترکیب محصولات ارسالی به هر یک از مراکز توزیع و مناطق مشتری در طول یک دوره.

تحقیقات زیادی در زمینه مدیریت زنجیره تأمین انجام شده است. این مطالعات از نظر جنبه های مورد مطالعه متفاوت هستند. برخی از این مطالعات به تصمیمات استراتژیک زنجیره تأمین مانند مکانیابی مراکز تولید و توزیع و انتخاب تأمین کنندگان مواد اولیه پرداخته اند. برخی نیز جنبه های تاکتیکی یا عملیاتی زنجیره تأمین را مطالعه کرده اند. برخی از مهمترین مطالعات انجام شده به شرح زیر است: سلطانی و همکارانش در زمره کسانی هستند که با ارائه مدل برنامه ریزی تولید و توزیع، به توسعه مدل سازی زنجیره تأمین کمک شایانی نمودند. مدل ارائه شده توسط انها یک مدل با تابع هدف کمینه سازی هزینه به صورت حلقه بسته، چند سطحی، چند محصولی و چند دوره ای است. این مدل به صورت برنامه ریزی عدد صحیح مختلط طراحی شده است و به دنبال تعیین تعداد و مکان بهینه مراکز توزیع، بهبود جریان مواد اولیه، تعیین مکان مراکز تولید و ظرفیت های بهینه هر یک از این مراکز و در نهایت تخصیص مشتریان به هر یک از این مراکز توزیع است [14]. کیا و همکارانش مدلی از برنامه ریزی دو هدفه را برای مدل سازی یک سیستم تولید و توزیع چند محصولی ارائه کردند. در مدلی که آنها ارائه دادند، هدف تعیین مکان مراکز تولید و مراکز توزیع، ظرفیت مراکز توزیع، میزان تولید در هر مرکز تولید و در نهایت میزان محصولات ارسالی از هر مرکز تولید به مراکز توزیع بود. آنها از یکی از تکنیکهای تجزیه برای حل مدل ارائه شده استفاده کردند [7]. موسوی و همکارانش یک مدل ریاضی برای بهینه سازی زنجیره تأمین استوار تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند و سعی کردند در مدل خود، هزینه کل زنجیره را به حداقل برسانند. در این مدل، محدودیت های ارائه شده مربوط به تقاضای محصولات، تأمین مواد اولیه از تأمین کنندگان،

ظرفیت تولید هر مرکز تولید، ظرفیت فروش هر مرکز توزیع، ساختار شبکه تولید و توزیع و در نهایت مناطق مشتری است. آنها مدل را با استفاده از تکنیک های بهینه سازی استوار تحت شرایط عدم قطعیت حل نمودند [10]. قاسمی و همکارانش یک مدل زنجیره تأمین یکپارچه ارائه کردند. در مدل آنها، هدف به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره و زمان رسیدن محصول به مشتری است. در مدل یکپارچه آنها، محدودیت ها شامل محدودیت های مربوط به برآورده کردن تقاضا، ظرفیت تأمین تامین کنندگان برای ارائه مواد اولیه، ظرفیت تولید مراکز تولید و در نهایت ظرفیت فروش هر مرکز توزیع است. آنها مدل خود را مبتنی بر بلاکچین ارائه کردند [6]. پایس و همکارانش یک مدل چندهدفه برای بهینه سازی تصمیمات زنجیره تأمین ارائه دادند. انها در مدل خود از پارامتر های نامشخص استفاده کردند. هدف مدل انها به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره تأمین، به حداکثر رساندن نرخ برآورده کردن خواسته های مشتری و در نهایت به حداکثر رساندن انعطاف پذیری در مقدار و زمان تحویل مواد اولیه و محصولات است. همچنین در مدل انها محدودیت ها شامل تأمین مواد اولیه، ظرفیت تولید هر مرکز تولید، ظرفیت انبارها و مراکز توزیع و میزان تقاضای مشتری است [12]. علایی و همکارانش یک مساله طراحی شبکه زنجیره تامین پایدار دو هدفه را بررسی و حل نمودند. انها سعی در ارائه مدلی برای ارزیابی و طراحی شبکه ای از انبارها و مراکز توزیع کردند [1]. رضازاده و همکارانش با طراحی یک مدل چندهدفه برای شبکه های زنجیره تامین پایدار تحت شرایط عدم قطعیت توانستند این دسته از مسایل را به خوبی حل نموده و باعث کاربرد بیشتر روش های مدل سازی و بهینه سازی در سیستم های واقعی زنجیره تامین شوند [13]. علیمیان و همکارانش شبکه های زنجیره تامین حلقه بسته پایدار تحت شرایط عدم قطعیت را مورد مطالعه و بررسی قرار داده و توانستند یک برنامه ریزی امکانی استوار برای انها ارایه نمایند [2]. در سالهای اخیر، تحقیقات گسترده ای در زمینه مدل سازی زنجیره تأمین انجام شده است. اکثر محققان بر ارائه مدل های تأمین تولید و توزیع یا ارائه ترکیبی از مراحل مدیریت زنجیره تأمین تمرکز کرده اند. مدرس و همکارانش با ارائه یک مدل دو سطحی که شامل تمام مراحل تأمین، تولید و توزیع است، فرایند مدیریت موجودی توسط فروشنده تحت شرایط عدم قطعیت را بهینه نمودند [8]. همچنین امیریان و همکارانش یک شبکه زنجیره تامین پایدار وقابل اعتماد تحت شرایط عدم قطعیت طراحی نموده و ان را بهینه نموده اند [3]. همچنین در زمینه مدل سازی و بهینه سازی زنجیره های تامین یکی از کارهای جدید و مهم کاری است که موسوی و همکارانش به انجام رسانده اند. انها با در نظرگرفتن عوامل کلیدی موثر بر عملکرد زنجیره های تامین در بخش توزیع کننده توانستند فرایند مدل سازی و بهینه سازی زنجیره های تامین را توسعه و بهبود دهند [9]. با توجه به تنوع و گستردگی تصمیمات اتخاذ شده در مدیریت زنجیره تأمین، مدل های حاصل از فرمول بندی زنجیره تأمین، مدل های بزرگ و پیچیده ای هستند. بنابراین، اکثر محققان تحقیقات خود را از ابعاد مختلف محدود کرده اند که برخی از آنها عبارتند از:

الف- محدودیت در جنبه های مورد مطالعه زنجیره تأمین از قبیل سایز و حجم داده ها و پیچیدگی ارتباط بین بخش های مختلف زنجیره تامین.

ب- محدودیت در بعد مرتبه زمانی مورد مطالعه از نقطه نظر استراتژیکی، تاکتیکی و عملیاتی. بسیاری از محققان تحقیقات خود را به مطالعه تنها یک بعد زمانی در برنامه ریزی محدود کرده اند.

ج. محدودیت در تعداد اهداف و معیارهای برنامه ریزی.

با توجه به موارد فوق، این مقاله سعی کرده است نقاط قوت و ضعف تحقیقات مشابه را بررسی کرده و با در نظر گرفتن ماهیت چند مرحله ای تولید و امکان تولید همزمان، یک مدل جامع و واقع بینانه برای برنامه ریزی زنجیره تأمین تدوین کند. به منظور جلوگیری از پیچیدگی بیش از حد مدل، از یک مدل تجزیه پذیر استفاده شده و مدل در دو سطح کوتاه مدت و میان مدت ارائه شده است.

2 - مدل سازی مساله

در این مقاله، مدل ارائه شده علاوه بر توجه به هر سه حوزه تدارکات، تولید و توزیع، به فرآیند تولید چند مرحله ای نیز توجه شده است، زیرا معمولاً در فرآیند تولید، برای رسیدن به محصول نهایی باید بیش از یک مرحله فرآیند روی محصول انجام شود. در خیلی از مدل های ارائه شده قبلی، زنجیره تأمین به عنوان یک کل یکپارچه و فرآیند تولید به صورت یک مرحله واحد در نظر گرفته شده که باعث می شود موجودی کالاها در فرآیند تولید که سهم عمده ای از سرمایه در گردش سازمان را تشکیل میدهد، پنهان بماند. بنابراین، در این مقاله، علاوه بر یکپارچه سازی کل زنجیره و فرض امکان تولید محصول به طور همزمان، فرض بر این است که برای رسیدن به محصول نهایی، عملیات تولید باید در چندین مرحله مختلف انجام شود و محصول هر مرحله به عنوان ماده اولیه مرحله بعدی مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس انچه بیان شد سوالات اصلی این تحقیق می تواند به صورت زیر باشد:

۱ - چه نوع مدلی برای برنامه ریزی زنجیره تأمین صنایعی که تولید آنها با فرآیند مرحله ای انجام می شود، مناسب است؟

۲ مدل برنامه ریزی زنجیره تأمین چند مرحله ای، کدام جنبه های زنجیره تأمین را پوشش می دهد؟

فرضیات متناسب با سؤالات فوق به شرح زیر است:

الف) مدل مناسب برای برنامه ریزی زنجیره تأمین چند مرحله ای، یک مدل تجزیه پذیر است.

ب) مدل مناسب برای برنامه ریزی زنجیره تأمین چند مرحله ای، جنبه های منبع یابی، نتخاب مراکز توزیع و مقدار تولید در هر مرحله را پوشش می دهد.

اکنون مراحل طراحی یک مدل زنجیره تأمین سلسله مراتبی دو سطحی را به تفصیل شرح می دهیم. مدل سطح اول با در نظر گرفتن مواد اولیه و تولید محصولات مقدماتی و مدل سطح دوم با در نظر گرفتن تولید به عنوان یک فرآیند چند مرحله ا ی طراحی می شوند. با توجه به اینکه در این مدل سعی شده است فرآیند تولید به عنوان یک فرآیند چند مرحله ای در نظر گرفته شود، در میان مدت، فقط هزینه های حمل و نقل خارج از سازمان، شامل مواد اولیه و کالاهای ساخته شده و همچنین برآوردن نیازهای مشتری در نظر گرفته می شوند. در کوتاه مدت، با در نظر گرفتن تولید به عنوان یک فرآیند چند مرحله ای، موجودی کالاها در فرآیند تولید بررسی می شوند. با توجه به تنوع تصمیمات اتخاذ شده در مدیریت زنجیره تأمین، مدل زنجیره تأمین حاصل یک مدل بزرگ و پیچیده می شود. بنابراین، تجزیه این مسئله به چندین زیرمسئله علاوه بر کاهش پیچیدگی مسئله، مزایای دیگری نیز به همراه خواهد داشت. این مزایا شامل موارد زیر است: کاهش زمان محاسبات، نیاز به حافظه کمتر، تناسب هر زیرمسئله با یکی از سطوح زنجیره تأمین و در نهایت نزدیکتر بودن مدل های ساخته شده به واقعیت و همچنین امکان استفاده از نرم افزار متلب برای حل مدل. لذا، تلاش شد تا در طراحی مدل زنجیره تأمین مورد مطالعه از یک ساختار دو سطحی استفاده شود که سطح اول آن به یک دوره میان مدت نگاه می کند و سطح دوم را می توان در یک افق زمانی کوتاه مدت بررسی کرد. اکنون تعدادی از شرایط مهم مساله را که در طراحی مدل تاثیر دارتد به صورت زیر بیان می کنیم.

یک: هزینه نگهداری مواد و محصولات در تمام مراحل تولید و توزیع قابل تعیین است.

دو: ظرفیت تأمین کنندگان و توزیع کنندگان مورد نظر قابل تعیین است.

سه: تقاضای تولید به صورت دوره ای سفارش و تعیین می شود.
چهار: هیچ محدودیتی در میزان مواد اولیه و تأمین کنندگان آن مواد وجود ندارد.
پنج: توقف های برنامه ریزی نشده خط تولید در محاسبات در نظرگرفته نمی شوند.
شش: ظرفیت خط تولید در هر مرحله از فرآیند تولید قابل محاسبه است.

هفت: قیمت تمام شده محصول تولیدی در هر مرحله از فرآیند تولید قابل محاسبه است.
هشت: محدودیتی در تعداد مراحل تولید وجود ندارد.

نه: فرآیند تولید به صورت مرحله ای است و مواد اولیه پس از عبور از یک مرحله تولید به مرحله بعدی ارسال می شوند.

ده: محدودیتی در تعداد توزیع کنندگان وجود ندارد.

ما دراین تحقیق مدل را به دو سطح کوتاه مدت و میان مدت تقسیم می کنیم و هر کدام را جداگانه بررسی می کنیم. سطح میان مدت، سطحی است که در آن تأمین کنندگان و مراکز توزیع شناسایی شده و ضرایب اهمیت آنها با تعیین معیارهای موثر در انتخاب آنها تعیین می شود. در این سطح، در یک دوره زمانی، ترکیب و مقدار هر ماده اولیه، اینکه از کدام تامین کننده باید تهیه شوند و ترکیب و مقدار هر محصول تولیدی تعیین می شود. اکنون پارامتر ها و متغیرهای تصمیم مساله را در جدول 1 به صورت زیر مشخص می کنیم.

جدول شماره 1: شرح پارامترها و متغیرهای تصمیم مورد استفاده در مدل سطح میان مدت

پارامتر های لازم و شرح انها	
مجموعه تأمین کنندگان	$T_1 = \{t_1^1, t_2^1, \dots, t_\alpha^1\}$
مجموعه مواد اولیه مورد نیاز	$M_1 = \{m_1^1, m_2^1, \dots, m_\beta^1\}$
مجموعه محصولات تولیدی	$M_2 = \{m_1^2, m_2^2, \dots, m_\gamma^2\}$
مجموعه توزیع کنندگان	$T_2 = \{t_1^2, t_2^2, \dots, t_\delta^2\}$
هزینه حمل یک واحد ماده اولیه که توسط یک تامین کننده تامین می شود	$C_{m_i^1 t_j^1}$
هزینه حمل یک واحد از محصول به یک توزیع کننده	$C_{m_i^2 t_j^2}$
تعادل در ابتدای دوره یک مواد اولیه	$T_{m_i^1}$
موجودی ابتدای دوره یک محصول	$A_{m_j^2}$
قیمت یک ماده اولیه که از یک تامین کننده دریافت شده است	$G_{t_i^1 m_j^1}$
میزان سود حاصل از فروش هر واحد محصول	$S_{m_j^2}$
مقدار ماده خام مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول	$A_{m_i^1 m_j^2}$
ضریب اهمیت یک تأمین کننده	$Z_{t_i^1}$
ضریب اهمیت یک توزیع کننده	$Z_{t_j^2}$
ظرفیت یک تأمین کننده از یک ماده اولیه	$Z_{t_i^1 m_j^1}$
حداقل میزان تولید یک محصول	$Z_{m_j^2}^{min}$
مقدار تقاضای یک محصول که توسط یک توزیع کننده باید تامین شود	$Z_{m_i^2 t_j^2}$
درصد ضایعات تولید	D^T
متغیر تصمیم: مقدارتولید یک محصول که برای یک توزیع کننده ارسال می شود	$x_{m_i^2 t_j^2}^2$
متغیر تصمیم: مقدار یک مواد اولیه که از یک تأمین کننده خریداری می شود	$x_{m_i^1 t_j^1}^1$
متغیر تصمیم: مقدارتولید یک محصول	$x_{m_j^2}^3$

با توجه به ساختار مساله و انچه در جدول 1 امده است مدل ریاضی مساله را به صورت زیر فرمولبندی می کنیم:

$$Min\ f_1 = \sum_{i=1}^{\beta}\sum_{j=1}^{\alpha} C_{m_i^1 t_j^1} x_{m_i^1 t_j^1}^1 + \sum_{i=1}^{\gamma}\sum_{j=1}^{\delta} C_{m_i^2 t_j^2}\, x_{m_i^2 t_j^2}^2 \quad (1)$$

$$Min\ f_2 = \sum_{i=1}^{\beta}\sum_{j=1}^{\alpha} G_{t_i^1 m_j^1}\, x_{m_i^1 t_j^1}^1 \quad (2)$$

$$Min\ f_3 = \sum_{j=1}^{\gamma} A_{m_j^2} + \sum_{j=1}^{\gamma} x_{m_j^2}^3 - \sum_{i=1}^{\gamma}\sum_{j=1}^{\delta} x_{m_i^2 t_j^2}^2 \quad (3)$$

$$Max\ f_4 = \sum_{i=1}^{\beta}\sum_{j=1}^{\alpha} Z_{t_i^1}\, x_{m_i^1 t_j^1}^1 + \sum_{i=1}^{\gamma}\sum_{j=1}^{\delta} Z_{t_j^2}\, x_{m_i^2 t_j^2}^2 \quad (4)$$

$$Max\ f_5 = \sum_{j=1}^{\gamma} S_{m_j^2}\, x_{m_j^2}^3 \quad (5)$$

$$x_{m_i^1 t_j^1}^1 \le Z_{m_i^1 t_j^1} \ ,\ i = 1,2,\dots,\beta \ ,\ j = 1,2,\dots,\alpha \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{\gamma} A_{m_i^1 m_j^2}\, x_{m_j^2}^3 \le T_{m_i^1} + \sum_{j=1}^{\alpha} x_{m_i^1 t_j^1}^1 \ ,\ i = 1,2,\dots,\beta \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{\gamma}\sum_{j=1}^{\delta} x_{m_i^2 t_j^2}^2 \le \sum_{j=1}^{\gamma} A_{m_j^2} + \sum_{j=1}^{\gamma} x_{m_j^2}^3 \quad (8)$$

$$D^T \sum_{j=1}^{\delta} x_{m_i^2 t_j^2}^2 \le x_{m_i^2}^3 \ ,\ i = 1,2,\dots,\gamma \quad (9)$$

$$x_{m_j^2}^3 \ge Z_{m_j^2}^{min} \ ,\ x_{m_j^2}^3 \in \mathbb{Z} \ ,\ j = 1,2,\dots,\gamma \quad (10)$$

$$x^1_{m_i^1 t_j^1} \geq 0 \quad , \quad x^1_{m_i^1 t_j^1} \epsilon \mathbb{Z} \quad , \quad i = 1,2,\dots,\beta \quad , \quad j = 1,2,\dots,\alpha \qquad (11)$$

$$x^2_{m_i^2 t_j^2} \geq Z_{m_j^2 t_j^2} \quad , \quad x^2_{m_i^2 t_j^2} \epsilon \mathbb{Z} \quad , \quad i = 1,2,\dots,\gamma \quad , \quad j = 1,2,\dots,\delta \qquad (12)$$

در مدل بالا، تابع هدف شماره (1) مدل سعی در به حداقل رساندن کل هزینه های حمل و نقل، شامل حمل و نقل تمام مواد اولیه خریداری شده از تأمین کنندگان به علاوه هزینه های حمل محصولات نهایی به مراکز توزیع برای فروش دارد. تابع هدف شماره (2) سعی در به حداقل رساندن کل هزینه خرید اقلام مواد اولیه از تأمین کنندگان مختلف دارد. این تابع هدف همچنین با جلوگیری از ذخیره سازی بیش از حد مواد اولیه مورد نیاز در ابتدای فرآیند تولید، سعی در کاهش هزینه ها دارد. تابع هدف شماره (3) سعی در کاهش میزان موجودی محصول تولید شده در پایان فرآیند تولید با کسر کل محصول ارسالی به توزیع کنندگان از مقدار محصول تولید شده به علاوه موجودی اولیه دارد. این تابع هدف همواره موجودی در انتهای خط تولید را با هدف کاهش هزینه های انبارداری کنترل می کند. تابع هدف شماره (4)، به منظور به حداکثر رساندن میزان مطلوبیت حاصل از خرید مواد اولیه از تأمین کنندگان و ارسال کالا به مراکز توزیع طراحی شده است. تابع هدف شماره (5) سود کل حاصل از تولید محصولات مختلف را حداکثر می کند. در واقع، این تابع هدف در این سطح، تنها تابع هدفی است که بر درآمد تمرکز دارد، برخلاف توابع قبلی که بر هزینه ها تمرکز دارند. همچنین دراین مدل، محدودیت شماره (6) نشان دهنده محدودیت ظرفیت هر تأمین کننده برای تأمین مواد اولیه مورد نیاز است. محدودیت شماره (7) تأمین مواد اولیه مورد نیاز برای تولید هر نوع محصول را با توجه به میزان مواد اولیه خریداری شده از تأمین کنندگان به علاوه میزان مواد اولیه موجود در انبار در ابتدای دوره تضمین می کند. محدودیت شماره (8) تأمین محصولات درخواستی مراکز توزیع را با توجه به میزان محصول تولید شده در خط تولید به علاوه موجودی در ابتدای دوره تضمین می کند و محدودیت شماره (9) حداقل میزان تولید را متناسب با کل ضایعات در نظر گرفته شده برای خطوط تولید مختلف و با توجه به تقاضای توزیع کنندگان تعیین می کند. محدودیت شماره (10) تضمین میکند که تولید حداقل تا نقطه سر به سر مقرون به صرفه باشد. در واقع، مشخص میکند که میزان تولید هر نوع محصول باید بیشتر از تعداد در نقطه سر به سر تولید باشد. محدودیتهای شماره (10)، (11) و (12) سعی در حصول اطمینان از منفی نبودن متغیرهای تصمیم گیری دارند و همچنین تضمین می کنند که تقاضاها برآورده می شوند. یا به عبارت دیگر، سعی در پاسخگویی به تمام تقاضاهای مشتریان برای انواع کالاهای نهایی دارند.

در این تحقیق، در مدل سازی کوتاه مدت، سطح کمیت تولید در هر مرحله از تولید تعیین می شود. بدیهی است که خروجی های سطح میان مدت به عنوان داده های ورودی برای سطح بعدی استفاده می شوند. تعدادی از مزیت های مدل سلسله مراتبی ارائه شده در این تحقیق که آن را از مدل های ارائه شده در سایر مطالعات متمایز می کند را می توان به شرح زیر فهرست کرد:

الف. تناسب هر سطح از مدل با تصمیمات اتخاذ شده در سایر سطوح مدیریتی، در نتیجه سازماندهی و مدیریت بهتر امور.

ب. کاهش پیچیدگی مدل برنامه ریزی زنجیره تأمین به دلیل استفاده از تکنیک تحلیل

ج. حذف نیاز به اطلاعات دقیق در برنامه ریزی میان مدت

د. استفاده از اهداف و معیارهای چندگانه در برنامه ریزی و در نتیجه واقعی تر کردن مدل

ه. بکارگیری مدل های ریاضی در سطوح مختلف زنجیره تأمین

و- در نظر گرفتن ضایعات در هر مرحله از فرآیند تولید برای برنامه ریزی دقیق تر

ز. توجه ویژه به موجودی کالاها در فرآیند تولید

ح. چند مرحله ای بودن فرآیند تولید

در این سطح، برنامه ریزی به صورت مرحله ای انجام می شود. در این برنامه ریزی، پاسخ های به دست امده از مدل میان

مدت، یعنی میزان خرید هر ماده اولیه، میزان تولید هر محصول و در نهایت، میزان ارسال محصولات به مراکز توزیع تعیین می شود. سپس این پاسخ ها در سطح بعدی مورد استفاده قرار می گیرند. اکنون مدل سطح کوتاه مدت را بررسی، تشریح و فرمولبندی می کنیم. در ابتدا پارامترهای مورد استفاده را در جدول 2 به صورت زیر شرح می دهیم.

جدول 2: شرح پارامترهای مورد استفاده در مدل سطح کوتاه مدت

پارامتر های لازم و شرح انها	
مبزان موجودی یک ماده اولیه در یک دوره زمانی	$A_{m_i^1 t}$
هزینه ثابت تولید یک محصول در یک مرحله تولید و دریک دوره زمانی	$C^S_{m_j^2 nt}$
ضریب تصمیم (صفر یا یک) تولید یک محصول در یک مرحله تولید و در یک دوره زمانی	$\rho_{m_j^2 nt}$
هزینه متغیر تولید یک محصول در یک مرحله تولید و در یک دوره زمانی	$C^M_{m_j^2 nt}$
میزان تولید یک محصول در یک مرحله تولید	$M_{m_j^2 n}$
میزان موجودی یک محصول در یک مرحله تولید و در یک دوره زمانی	$A_{m_j^2 nt}$
مقدار یک ماده اولیه خریداری شده از یک تامین کننده	$M_{m_i^1 t_j^1}$
مقدار یک محصول که برای یک توزیع کننده ارسال می شود	$M_{m_j^2 t_i^2}$
مقدار یک محصول تولیده شده	$M_{m_j^2}^{Model\ 1}$
درصد ضایعات یک محصول در یک مرحله تولید و در یک دوره زمانی	$D^Z_{m_j^2 nt}$
هزینه نگهداری یک محصول تولید شده در یک مرحله تولید و در یک دوره زمانی	$C^M_{m_j^2 nt}$
میزان تقاضا برای یک محصول تولید شده در یک مرحله تولید و در یک دوره زمانی	$M_{m_j^2 nt}$
مقدار مورد نیاز از یک ماده اولیه برای تولید یک واحد از یک محصول	$M_{m_i^1 m_j^2}$
ظرفیت تولید یک محصول در یک مرحله تولید و در یک دوره زمانی	$Z_{m_j^2 nt}$
طول بازه زمانی	T
تعداد مراحل فرایند تولید	N
متغیر تصمیم: مقدار یک ماده اولیه که به یک تامین کننده سفارش داده می شود در یک دوره زمانی	$x^1_{m_i^1 t_j^1 t}$
تعدادی از یک محصول که برای یک توزیع کننده در یک دوره زمانی ارسال می شود	$x^2_{m_j^2 t_i^2 t}$
تعدادی از یک محصول که در یک مرحله از تولید و در یک دوره زمانی تولید می شود	$x^3_{m_j^2 nt}$

اکنون با استفاده از جدول 2 مدل ریاضی مساله را به صورت زیر فرمولبندی می کنیم.

$$Min\ f_6 = \sum_{j=1}^{\gamma}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}(\rho_{m_j^2 nt}\ C^S_{m_j^2 nt} + C^M_{m_j^2 nt})\ x^3_{m_j^2 nt} \quad (13)$$

$$Min\ f_7 = \sum_{j=1}^{\gamma}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}(D^Z_{m_j^2 nt} C^M_{m_j^2 nt} + D^Z_{m_j^2 nt})\ x^3_{m_j^2 nt} \quad (14)$$

$$Min\ f_8 = \sum_{j=1}^{\gamma}\sum_{i=1}^{\delta}\sum_{t=1}^{T} C^K_{m_i^2 t}\ x^2_{m_j^2 t_i^2 t} \quad (15)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{\beta}\sum_{j=1}^{\alpha}\sum_{t=1}^{T}(x^1_{m_i^1 t_j^1 t} + A_{m_i^1 t}) \geq \sum_{j=1}^{\gamma}\sum_{i=1}^{\delta}\sum_{t=1}^{T}(\sum_{i=1}^{\beta} M_{m_i^1 m_j^2})\ x^2_{m_j^2 t_i^2 t} \quad (16)$$

$$A_{m_i^1 t} = A_{m_i^1 (t-1)} + \sum_{j=1}^{\alpha} M_{m_i^1 t_j^1} - \sum_{j=1}^{\gamma}\sum_{n=1}^{N} M_{m_i^1 m_j^2}\ x^3_{m_j^2 nt}\ ,\ i = 1,2,\dots,\beta\ ,\ t = 2,\dots,T \quad (17)$$

$$x^3_{m_j^2 nt} \geq x^3_{m_j^2 n(t+1)} - A_{m_j^2 n(t-1)}\ ,\ j = 1,2,\dots,\gamma\ ,\ n = 1,2,\dots,N\ ,\ t = 2,3,\dots,T \quad (18)$$

$$x^3_{m_j^2 nt} + M_{m_j^2 t} \geq x^2_{m_j^2 t_i^2 t}\ ,\ j = 1,2,\dots,\gamma\ ,\ i = 1,2,\dots,\delta\ ,\ n = 1,2,\dots,N\ ,\ t = 1,2,\dots,T \quad (19)$$

$$M_{m_j^2 nt} = x^3_{m_j^2 nt} - M_{m_j^2 (n-1) t}\ ,\ j = 1,2,\dots,\gamma\ ,\ n = 2,3,\dots,N\ ,\ t = 1,2,\dots,T \quad (20)$$

$$\sum_{t=1}^{T} x^2_{m_j^2 t_i^2 t} = M_{m_j^2 t_i^2}\ ,\ j = 1,2,\dots,\gamma\ ,\ i = 1,2,\dots,\delta \quad (21)$$

$$\sum_{t=1}^{T} x^1_{m_i^1 t_j^1 t} = M_{m_i^1 t_j^1}\ ,\ i = 1,2,\dots,\beta\ ,\ j = 1,2,\dots,\alpha \quad (22)$$

$$x^3_{m_j^2 nt} \leq Z_{m_j^2 nt}\ ,\ j = 1,2,\dots,\gamma\ ,\ n = 1,2,\dots,N\ ,\ t = 1,2,\dots,T \quad (23)$$

$$\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} x^{3}_{m_j^2 nt} = M_{m_j^2}^{Model\,1} \quad j = 1,2,\dots,\gamma \qquad (24)$$

$$\rho_{m_j^2 nt} = 0\ or\ 1 \ , \ j = 1,2,\dots,\gamma \ , \ n = 1,2,\dots,N \ , \ t = 1,2,\dots,T \qquad (25)$$

$$x^{3}_{m_j^2 nt} \geq M_{m_j^2 nt} \ , \ x^{3}_{m_j^2 nt} \in \mathbb{Z} \ , \ j = 1,2,\dots,\gamma \ , \ n = 1,2,\dots,N \ , \ t = 1,2,\dots,T \qquad (26)$$

$$x^{1}_{m_i^1 t_j^1 t} \geq 0 \ , \ x^{1}_{m_i^1 t_j^1 t} \in \mathbb{Z} \ , \ i = 1,2,\dots,\beta \ , \ j = 1,2,\dots,\alpha \ , \ t = 1,2,\dots,T \qquad (27)$$

$$x^{2}_{m_j^2 t_i^2 t} \geq 0 \ , \ x^{2}_{m_j^2 t_i^2 t} \in \mathbb{Z} \ , \ j = 1,2,\dots,\gamma \ , \ i = 1,2,\dots,\delta \ , \ t = 1,2,\dots,T \qquad (28)$$

در این مدل، تعدادی از متغیرها و پارامترهای تصمیم گیری همانند مدل میان مدت هستند، با این تفاوت که بُعد زمان اضافه شده است. هدف این مدل، کمینه سازی هزینه های زنجیره تأمین، شامل هزینه های نگهداری موجودی مواد اولیه محصول نهایی و کار در جریان ساخت و هزینه تولید هر واحد محصول است. بنابراین، تابع هدف (13) سعی در کمینه سازی کل هزینه های ثابت و متغیر تولید یک واحد محصول در طول دوره مورد نظر دارد. در واقع، در این تابع هدف، هزینه های ثابت و متغیر برای همه محصولات و در تمام مراحل تولید محاسبه می شوند. و هدف، کاهش این هزینه ها است. تابع هدف (14) سعی در کاهش کل هزینه نگهداری کالاهای در جریان ساخت در هر مرحله از تولید و همچنین هزینه ضایعات تولید در هر مرحله از تولید دارد. تابع هدف (15) سعی در کاهش کل هزینه نگهداری کالاهای تولیدی آماده ارسال به توزیع کنندگان دارد. این تابع هدف نشان می دهد که تعداد کل محصولات تولید شده از مدل کوتاه مدت باید سطح تولید از مدل اول را برآورده کند. در واقع، سطح تولید مشخص شده در مدل سطح اول باید در کوتاه مدت برآورده شود. محدودیت (16) تضمین می کند که مواد اولیه خریداری شده از تأمین کنندگان برای تولید محصول در مرحله اول، با در نظر گرفتن میزان موجودی مواد اولیه در ابتدای دوره، کافی باشد. محدودیت (17) تضمین می کند که نرخ تولید هر محصول در هر یک از مراحل مختلف منفی نباشد. محدودیت (18) نشان دهنده میزان موجودی مواد اولیه در پایان دوره است. موجودی مواد اولیه در ابتدای دوره، برابر ماده خریداری شده در طول دوره منهای ماده مصرف شده در طول دوره است. محدودیت (19) تضمین می کند که در هر مرحله از تولید، یک محصول برای استفاده در مرحله بعدی وجود دارد. در واقع، این محدودیت با در نظر گرفتن موجودی کالاهای در مرحله قبل، موجودی کالاهای بین فرآیندهای تولید را کاهش می دهد. محدودیت (20) تضمین می کند که مقدار تولید در هر مرحله از فرآیند تولید حداقل برابر مقدار تولید در نقطه سربه سر باشد. محدودیت (21) ضریب متغیر تصمیم تولید در هر مرحله است که با در نظر گرفتن تولید در نظر گرفته شده است. محدودیت (22) در آخرین مرحله تولید تضمین می کند که تولید مرحله نهایی به علاوه موجودی دوره اول، تقاضای توزیع کنندگان را برآورده می کند. محدودیت (23) سطح موجودی کالاها را در هر مرحله از فرآیند تولید نشان می دهد. محدودیتهای (24) و (25) مقدار محصول ارسالی به توزیع کنندگان و مقدار مواد اولیه دریافتی از تأمین کنندگان را برای محاسبات از مدل اول به مدل دوم وارد می کنند. محدودیت (26) نشان دهنده ظرفیت تولید در هر مرحله از کل فرآیند تولید است. محدودیت های (27) و (28) شدنی بودن متغیرهای تصمیم را تضمین می کنند.

خروجی‌ها و تجزیه و تحلیل انها

به منظور بررسی مدل ارائه شده، داده های یک شرکت فعال تولیدی را دریافت نموده و برای پارامترهای زیر با استفاده از نرم افزار متلب خروجی ها را اخذ و به منظور طولانی نشدن مقاله، تعدادی از انها را در جدول های 3، 4، 5، 6، و 7 به صورت زیر گزارش نموده ایم.

$$\alpha = 3,\ \beta = 3,\ \gamma = 3,\ \delta = 3,\ N = 3,\ T = 3,$$

جدول شماره ۳: پاسخ های نرم افزار به مدل سطح میان مدت

متغیر تصمیم	پاسخ نرم افزار به متغیر تصمیم
$M_{m_1^1 t_1^1}$	4367
$M_{m_1^1 t_2^1}$	5476

$M_{m_1^1 t_3^1}$	2437

جدول ۴: پاسخ های نرم افزار به مدل سطح کوتاه مدت

پاسخ نرم افزار به متغیر تصمیم	متغیر تصمیم
534	$x^3_{m_1^2 11}$
135	$x^3_{m_1^2 12}$
438	$x^3_{m_1^2 13}$

جدول ۵: موجودی کالاها در مراحل مختلف تولید بر اساس مقدار تولید پیشنهادی مدل.

پاسخ نرم افزار به متغیر تصمیم	متغیر تصمیم
3259	$A_{m_1^2 11}$
6329	$A_{m_1^2 12}$
7208	$A_{m_1^2 13}$

جدول شماره 6 : مقادیر مواد اولیه که به تامین کنندگان در دوره های زمانی باید سفارش داده شود

پاسخ نرم افزار به متغیر تصمیم	متغیر تصمیم
4356	$x^1_{m_1^1 t_1^1 1}$
6477	$x^1_{m_1^1 t_1^1 2}$
8343	$x^1_{m_1^1 t_1^1 3}$

جدول شماره 7 : مقادیر تعداد محصولاتی که برای توزیع کنندگان در دوره های زمانی باید ارسال شوند

پاسخ نرم افزار به متغیر تصمیم	متغیر تصمیم
537	$x^2_{m_1^2 t_1^2 1}$
154	$x^2_{m_1^2 t_1^2 2}$
276	$x^2_{m_1^2 t_1^2 3}$

در مساله زنجیره تامین انچه بسیار مهم است ان است که تقاضای مصرف کنندگان به طور مطلوب توسط تامین کنندگان براورده شود. مطلوبیت در مصداق هایی نظیر هزینه، سود، سرعت عمل، پوشش مناسب و مطالبی از این قبیل تجلی دارد. در زنجیره های تامین کلاسیک تامین کنندگان در یک مرحله تقاضای مصرف کنندگان را براورده می سازند. این رویکرد فرصت ارزیابی عملکرد را در حین اجرای روش به کاربران نمی دهد. لذا این ایده مطرح شد که فرایند تامین در چند مرحله و یا به طور خاص در دو مرحله انجام شود. عملکرد چندمرحله ای به کاربران فرصت تجزیه و تحلیل و تصحیح خطاها را در حین اجرای کلی روش می دهد. از انجا که رویکرد مورد بحث در این مقاله دو مرحله ای است، لذا در مرحله اول تامین بهینه برای مرحله دوم انجام شد و با توجه به اینکه ورودی های مرحله دوم، خروجی های بهینه مرحله اول بودند، پس در مرحله دوم فرایند رسیدن به جواب بهینه با سهولت مناسبی انجام شد. اجرای روش به طور عملیاتی موید این موضوع است.

تشکر و قدردانی: نویسندگان مراتب تشکر ویژه خود را از سردبیر و داوران به جهت نکات ارزنده ای که در جهت اصلاح و ارتقای مقاله مطرح نمودند، ابراز می نمایند.

نتیجه گیری و پیشنهادات اینده

با بررسی و تجزیه و تحلیل خروجی های مدل طراحی شده می توان به نتایج زیر دست یافت:

الف) با اجرای مدل طراحی شده در این تحقیق، می توان برنامه تولید دورهای سیستم های تولیدی را به دست آورد که این امر افزایش دقت در برنامه ریزی و کنترل تولید را تسهیل میکند.

ب) مدیریت موجودی یکی از وظایفی است که توسط مدل پیشنهادی مورد بررسی قرار می گیرد. این امر باعث میشود وضعیت موجودی در سراسر زنجیره تأمین در زمان مناسب در دسترس باشد و با اجرای مدیریت مؤثر موجودی، حجم موجودی کاهش پیدا کرده و در نتیجه هزینه ها کاهش می

یابد.

ج) با پیاده سازی مدل، می توان برنامه ای برای برنامه ریزی دقیق و به موقع مراحل تولید، توزیع و تأمین کالا به متقاضیان تدوین کرد.

مدل ارائه شده قابلیت اضافه کردن پارامترهای مدیریتی و تصادفی را در هر زمان و ایجاد یک برنامه تأمین جدید برای تولید و توزیع دارد. بنابر این پیشنهاد می شود که عوامل تصادفی مانند تغییرات در تقاضا، ظرفیت تولید و موارد دیگر نیز در مدل گنجانده شوند. این موضوع انعطاف پذیری تصمیمات را در سراسر زنجیره تأمین افزایش می دهد. بر اساس نتایج حاصل از به کارگیری مدل، می توان نتیجه گرفت که گسترش کاربرد این مفهوم در مدیریت عملیات منجر به بهبود و کارایی بیشتر سیستم ها خواهد شد. اگر شرکتهای تولیدی بخواهند حضوری فعال در صحنه بین المللی داشته باشند، باید ظرفیت تولید محصولات با قیمت پایین و کیفیت بالا را ایجاد کنند. استفاده از مدل این تحقیق می تواند گامی در جهت دستیابی به این هدف باشد. در نهایت، پیشنهاد می شود که با توجه به ماهیت ناشناخته محیط واقعی تولید و کسب و کار و وجود عوامل تأثیرگذار مختلف، امکان استفاده از تجربیات مدیران را در موقعیتهای مختلف تصمیم گیری فراهم نماییم. علاوه بر این، با توجه به تنوع محصولات در شرکتهای تولیدی و وجود مراحل مختلف تولید، میزان اطلاعات مورد استفاده در محاسبات بسیار زیاد است. بنابراین، می توان تکنیکهای داده کاوی و اکتشافی را برای حل این نوع مسائل مورد استفاده قرار داد.

مراجع

[1] *Aalaei, A. and H. Davoudpour, A bi-objective sustainable supply chain network design problem. International Journal of Production Economics, 2017, 183, 667–679.*

https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.014

[2] *Alimian, M., V. Ghezavati and R. Tavakkoli-Moghaddam, A robust possibilistic programming for a sustainable closed-loop supply chain network under uncertainty. Manufacturing Systems Journal, 2020, 56, 341–358.*

https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.011

[3] *Amirian, S., M. Amiri and M. T. Taghavifard, Designing a Sustainable and Reliable Supply Chain Network Under Uncertainty (Case Study: West of Carton). Scientific Journal of Supply Chain Management, 2024, (25)4, pp. 87-115.*

DOR: 20.1001.1.20089198.1402.25.81.6.4

[4] *Cristiu, D., Y. Fengqi, F. Amore and F. Bezzo, Strategic Design and Multiperiod Optimization under Uncertainty of Solid Sorbent Direct Air Capture Supply Chains in Europe. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2025, 64, 5493−5510.*

https://doi.org/10.1021/acs.iecr.4c04040

[5] *Eguia, I., J. C. Molina, S. Lozano and J. Racero, Multi-objective robust optimization for the design of sustainable supply chains. International Journal of Production Research, 2017, 55(9), 2775–2790. https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1193673*

[6] *Ghasemi, R., P. Akhavan, O. Fattahi valilaei and M. Abbasi, Designing an Integrated Blockchain-Based Model for Supplier-Managed Inventory. Journal of Supply Chain Management, 2023, (25)1, pp. 23-36.*

[7] *Kia, R., A. Baboli, N. Javadian, R. Tavakkoli-Moghaddam, M. Kazemi and J. Khorrami, A bi-objective sustainable supply chain network design. Computers and Operations Research, 2012, 39(11), 2642–2658. https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.01.012*

[8] *Modares, A., N. Motahari Farimani and F. Dehghanian, Presentating a Model for the Vendor-Managed Inventory in a Two-Tier Supply Chain of Perishable Products Under Demand Uncertainty. Scientific Journal of Supply Chain Management, 2024, (25)4, pp. 1-15.*

DOR: 20.1001.1.20089198.1402.25.81.1.9

[9] *Moosavi Tabatabaei, S. R. and S. Bavili, Modeling the Key Factors Influencing Supply Chain Performance in the Distributor Sector. Journal of Supply Chain Management, 2025, (27)2, pp. 83-101.*

غلام حسن شیردل استاد تمام گروه های ریاضی و علوم کامپیوتر دانشگاه قم و نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:
g.h.shirdel@qom.ac.ir

روش ارجاع: رنا عباس ناجی ال شکر و غلام حسن شیردل. بهینه سازی زنجیره تامین دو مرحله ای با متغیرهای صحیح و داده های عملیاتی با استفاده از نرم افزار متلب. . دوفصلنامه محاسبات و سامانه های توزیع شده، سال هشتم، شماره 2، شماره پیاپی 16، صفحه 12 تا 23، سال ۱۴۰۴.

How to cite: R. A. Naji Al Shokr and G. H. Shirdel. Two-stage supply chain optimization with integer variables and operational data using MATLAB software. Journal of Distributed Computing and Systems (JDCS), vo1 8, Issue 2, page 12-23, 2026.

Two-stage supply chain optimization with integer variables and operational data using MATLAB software

R.A. Naji Al Shokr[1] and G.H. Shirdel[2]
[1] Department of Mathematics, Faculty of Sciences, University of Qom, Qom, IRAN.
[2]Departments of Mathematics and Computer Sciences, Faculty of Sciences, University of Qom, Qom, IRAN.

Abstract

In today's world, due to the wide range and diversity of resources and products, meeting the needs of systems is a complex and difficult matter. Therefore, a chain of several factors needs to be formed to meet the process of meeting the needs of a system. Such a chain is called a supply chain. It is obvious that supply chain management and optimization can meet the needs optimally. So far, numerous solutions, methods, and models have been presented for optimizing supply chains. But in most of them, supply chains are considered as one-stage. That is, they assume the supply chain to be fully integrated or centrally

[10] *Mousavi, S. F., A. Apornak and M. R. Pourhassan, Robust Optimization Model to Improve Supply Chain Network Productivity under Uncertainty. Journal of Applied Research on Industrial Engineering, 2023, (10)2, 273–285.*

https://doi.org/10.22105/jarie.2022.316357.1402

[11] *Nazeri, A. S. Miladi Rad, Production Networks and Supply Chains: A Strategic Operations Perspective. Supply Chain Management, 2018, (20)59, pp. 54-68.*

[12] *Paes, F. G., A. A. Pessoa and T. Vidal, A multi-objective approach to the design of robust supply chain networks with uncertain parameters. European Journal of Operational Research, 2017, 256(3), 742–756.*

https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.07.022

[13] *Rezazadeh, H. and A. Miab, A multi-objective model for sustainable supply chain network design under uncertainty. International Journal of Computing in Industrial Engineering, 2017, 8, 315–332.*
https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2017.1.001

[14] *Soltani Tehrani, M., M. Mosadeghkhah and H. Hassanpour, Optimization of a multi-level, multi-product, and multi-cycle closed-loop supply chain with the aim of reducing supply chain costs(Case study: Amad Bahinehsaz Company).Supply Chain Management, 2016, (18)53, pp. 27-36.*

رنا عباس ناجی ال شکر دانشجوی دکتری ریاضیات کاربردی دانشگاه قم و نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:
ranaabass12345qa@gmail.com

managed, and as a result, potential fluctuations in the production processes of suppliers and the needs of customers are ignored. Fundamental changes have occurred in contemporary agricultural, manufacturing, industrial, and commercial environments. These changes have affected supply chains and caused them to face many challenges. One of these challenges is that in many cases, supply chains cannot meet the needs of customers in one stage. Rather, they have to meet orders in several stages. That is, today, in some systems, due to problems in meeting needs, they are forced to use multi-stage supply chains. In such supply chains, the needs of the final stage are met by regular and sequential activities of several stages in a row. Therefore, it is good to conduct research on the management and optimization of multi-stage supply chains. Since one of the most common multi-stage supply chains is its two-stage form, in this research, we have considered the management and optimization of two-stage supply chains and have been able to design a new two-stage mathematical model and find the optimal solution to the problem by solving it. In the presented model, initial inventories, supply chain costs, material inventories at different stages, supplier production schedule, and buyer daily purchasing decisions at each stage of the process have been considered. To implement this model, real data has been collected and MATLAB software has been used to solve the model.

Keywords: Supply Chain, Two-Level Supply Chain, Mathematical Modeling, Supply Chain Optimization.