



Supply chain coordination mechanism with time- based discounts and prepayment ratio for perishable products under budget constraint

Seyed Farzad Hashemi, Babak Javadi * and Behnaz Aghabdollahian 

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, College of Farabi, University of Tehran, Iran

Abstract: The supply chain of a product encompasses all organizations and companies involved in the processes of procurement, supply, production, distribution, and delivery of that product to the customer. One of the most critical aspects of supply chain management is the coordination among these elements. Perishable products, which are recognized as widely used items, hold a significant position in inventory control research because these items may deteriorate, evaporate, or degrade over time, leading to a loss of value or quantity. Therefore, determining the order quantity and timing for such products is crucial. Additionally, supply chain members often face budget constraints, and the manufacturer secures part of the required liquidity at the beginning of production by receiving a portion of the total order amount upfront. Determining this portion is also of great importance. In this study, a two-level supply chain, consisting of a wholesaler and a manufacturer producing a perishable product, has been examined. To foster long-term coordination and collaboration among members and to maximize supply chain profit, a discount mechanism has been utilized. This mechanism includes one discount based on order timing and another based on the prepayment ratio. Finally, a numerical example has been analyzed, and sensitivity analysis has been conducted on the problem's parameters. The results demonstrate that by implementing the coordination mechanism and determining the optimal values for order quantity, order timing, and prepayment ratio, the profit of both the members and the entire supply chain increases in the coordinated state compared to the uncoordinated state.

Keywords: Supply chain management, Coordination, Perishable product, Discount, Prepayment, Budget constraint.

Received: Mar. 18, 2024; Revised: Sep. 15, 2024; Accepted: Oct. 15, 2024; Published Online: Mar. 12, 2025.

* Corresponding Author: babakjavadi@ut.ac.ir

How to Cite: Seyed Farzad Hashemi, Babak Javadi and Behnaz Aghabdollahian, Supply chain coordination mechanism with time- based discounts and prepayment ratio for perishable products under budget constraint, Journal of Computational Methods in Engineering; 2025, 43(2), 83-106; doi.org/10.47176/jcme.43.2.1030.



فهرست علائم

حداکثر بودجه عمده‌فروش (۱۴)	TBR	مقدار سفارش (تن) (۱)	Q
حداکثر زمانی که عمده‌فروش می‌بایست سفارش خود را صادر نماید (۱۶)	T	مدت زمان بین صدور سفارش و دریافت سفارش (هفته) (۳)	Lt
قیمت خرید مواد اولیه (۱۹)	Cm	نسبت پیش‌پرداخت (۹)	U
حداکثر بودجه‌ای که تولیدکننده می‌تواند صرف خرید مواد اولیه کند (۲۷)	TBM	هزینه فسادپذیری برای تولیدکننده (۸)	CD
حداکثر بودجه‌ای که عمده‌فروش می‌تواند به صورت پیش‌پرداخت در ابتدای سفارش بپردازد (۱۳)	TDBR	هزینه نگهداری به ازای واحد کالا برای تولیدکننده (۶)	CH
درصد ارزش زمانی پولی که عمده‌فروش به دلیل پرداخت پیش‌پرداخت از دست می‌دهد (۹)	Ci	هزینه تولید به ازای واحد کالا برای تولیدکننده (۱۹)	CP
مقداری که به ازای هر یک واحد از نسبت پیش‌پرداخت، از قیمت خرید تولیدکننده کاسته می‌شود (۳۱)	K	هزینه نگهداری به ازای واحد کالا عمده‌فروش (۲۲)	Ch
مقداری که به ازای هر واحد افزایش مدت زما ت تحویل از هزینه نگهداری تولیدکننده کاسته می‌شود (۲۲)	V	هزینه سفارش‌دهی عمده‌فروش (۳)	Co
هزینه خرید (۲)	BCR	هزینه کمبود عمده‌فروش (۷)	Cs
هزینه سفارش‌دهی (۳)	OCR	تابع تقاضا $0 < T < t$ (۱)	D(t)
هزینه کل عمده‌فروش (۱۰)	TCR	موجودی اولیه عمده‌فروش (۴)	IO
هزینه نگهداری موجودی (۶)	ICR	نرخ تولید (۱۹)	MP
هزینه کمبود (۷)	SCR	سطح موجودی عمده‌فروش در زمان (۱)	IR(t)
هزینه فسادپذیری (۸)	DCR	حداکثر فضای انبار عمده‌فروش (۱۵)	TFR
هزینه پیش‌پرداخت (۹)	PCR	سطح موجودی تولیدکننده در زمان (۲۱)	IM(t)
درآمد عمده‌فروش (۱۱)	TRR	دوره فروش (هفته) (۱)	T
میزان اشغال فضا (۱۵)	f	قیمت فروش تولیدکننده به عمده‌فروش (۲)	W
حداکثر ظرفیت تولیدکننده (۲۹)	TPm	نرخ فسادپذیری کالا (۴)	Z
تابع سود عمده‌فروش (۱۲)	R	تابع تخفیف که تولیدکننده به عمده‌فروش پیشنهاد می‌دهد (۳۳)	d(Lt)
فاکتور احتمالی تقاضا (۱)	α	قیمت فروش عمده‌فروش (۱۱)	P
ضریب تأثیر افزایش مدت زمان تحویل (۳)	T	حداکثر مقداری که تولیدکننده می‌تواند تخفیف دهد (۳۲)	dmax
ضریب تقاضای وابسته به موجودی (۱)	θ	حداکثر بودجه عمده‌فروش (۱۴)	TBR

۱- مقدمه

دارد و هزینه‌های مرتبط با حمل‌ونقل و انبارداری کالا حدود ۱۰ درصد از تولید ناخالص داخلی آمریکا را تشکیل می‌دهد [۱]. همچنین، هزینه‌های نگهداری موجودی انبار حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از تولید ناخالص داخلی این کشور را شامل می‌شود. احتمالاً این درصدها در کشورهای در حال توسعه که از سیستم‌های بهینه کمتری برخوردار هستند، به مراتب بالاتر است. این نشان می‌دهد که

زنجیره تأمین به عنوان مجموعه‌ای از نهادها با تعاملات داخلی، برای فرآیند تبدیل مواد خام به محصولات نهایی و تحویل آن‌ها به مصرف‌کننده نهایی شناخته می‌شود. بررسی‌ها در آمریکا نشان می‌دهد که حدود ۲۵ درصد از بودجه شرکت‌ها به زنجیره تأمین اختصاص

ایجاد یک دیدگاه کل نگر در زنجیره تأمین هستند [۴]. طبق تعریف کالاهایی که تاریخ انقضاء دارند و یا به طور کلی کالاهایی که در معرض آسیب قرار دارند و یا تبخیرپذیر هستند مانند غذا، دارو، فیلم و غیره کالاهای فسادپذیر نامیده می‌شوند [۵]. مدیریت موجودی کالاهای فسادپذیر به دلیل اینکه ارزش خود را خیلی زود از دست می‌دهند، برای تمام اعضای زنجیره تأمین اهمیت فراوانی دارد. زمان تحویل یکی از پارامترهای مهم در مدیریت موجودی است. کاهش زمان تحویل مسئله‌ای است که به سود تمام اعضای زنجیره تأمین مرتبط می‌شود [۴]. همچنین تعیین دو متغیر مقدار سفارش و زمان سفارش‌دهی بسیار مهم است. چون نقشی کلیدی در کنترل موجودی و برنامه‌ریزی اعضای زنجیره تأمین دارند. از طرفی محدودیت بودجه و نقدینگی اعضای زنجیره تأمین همیشه نقشی مهم در تعیین متغیرهای زنجیره تأمین داشته‌اند. معمولاً بین اعضای زنجیره تأمین در تعیین مقادیر متغیرها چالش‌ها و اختلاف‌هایی وجود دارد. یکپارچه‌سازی و هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین، منافع همه اعضا را به صورت یکجا می‌بیند و سعی دارد که سود همه اعضا را نسبت به حالت غیریکپارچه افزایش دهد. هدف از انجام این تحقیق بررسی یک سازوکار هماهنگی اعضای زنجیره تأمین بر اساس دو نوع تخفیف، یکی بر اساس زمان سفارش و دیگری بر اساس درصد پیش‌پرداخت برای کالاهای فسادپذیر در یک زنجیره تأمین دوسطحی به نحوی است که اعضاء تشویق شوند به صورت متمرکز تصمیم‌گیری نمایند و در نهایت سود هر یک از اعضاء و کل زنجیره تأمین نسبت به حالت غیرمتمرکز افزایش یابد.

این پژوهش به دنبال پاسخ به پرسش‌های زیر است:

۱- تعیین زمان بهینه سفارش به نحوی که سود هر یک از اعضاء و همچنین سود کل زنجیره تأمین نسبت به حالت غیرمتمرکز افزایش یابد.

۲- تعیین مقدار بهینه سفارش به نحوی که سود هر یک از اعضاء و همچنین سود کل زنجیره تأمین نسبت به حالت غیرمتمرکز

هرچقدر در زنجیره تأمین سرمایه‌گذاری شود، همچنان کافی نیست. هدف از هماهنگی تصمیمات اعضای زنجیره تأمین، افزایش سودآوری در یک زنجیره تأمین غیرمتمرکز تا حدی است که گویی این زنجیره به صورت متمرکز مدیریت می‌شود. اجزای یک زنجیره تأمین می‌توانند شامل یک سازمان مستقل یا چندین سازمان مستقل باشند. تمرکز جداگانه بر روی اجزای زنجیره تأمین منجر به ناکارآمدی و تحویل کالا یا خدمات با هزینه بالاتر در سیستم می‌شود. بنابراین، در این پژوهش، تمرکز بر هماهنگی اجزای مختلف زنجیره تأمین با هدف کاهش هزینه‌ها و زمان تحویل کالا یا خدمات به مصرف‌کننده نهایی مورد توجه قرار گرفته است. هنگامی که زنجیره تأمین به طور مؤثر و کارآمد عمل کند، در نهایت ارزش افزوده برای شرکت‌ها ایجاد می‌کند و به بهبود موقعیت رقابتی آن‌ها منجر خواهد شد [۲]. یکپارچگی در زنجیره تأمین، محدوده‌ای از شرکت‌های وابسته به هم را شامل می‌شود که مزیت رقابتی آنها در فعالیت‌های کلیدی یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین نهفته است [۳]. از آنجایی که سازمان‌های فعال در یک زنجیره تأمین عموماً مستقل از یکدیگر هستند، هر کدام به طور خودخواهانه به بهینه‌سازی اهداف خود می‌پردازند. اگرچه عملکرد مناسب هر کدام از اعضای زنجیره ضروری است، اما این امر به تنهایی کارکرد بهینه سیستم زنجیره تأمین را به عنوان یک کل، در پی نخواهد داشت. تا قبل از سال‌های اخیر، تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت زنجیره تأمین دارای دو مؤلفه اصلی بوده‌اند. اول اینکه این تصمیم‌گیری‌ها بر تدارک موجودی، تجهیزات فیزیکی و حمل‌ونقل متمرکز بوده‌اند. ثانیاً تصمیم‌گیری‌های رایج در زنجیره تأمین از ماهیت مستقل برخوردار بوده‌اند، بدین معنا که عموماً اعضای یک زنجیره تأمین بدون توجه به این که عضوی از یک شبکه هستند، اقدام به تصمیم‌گیری می‌کردند. مدل‌های هماهنگی به دنبال یافتن یک راهکار قابل اجرا هستند که اعضای مستقل یک زنجیره تأمین را قانع نمایند مشابه با حالتی که زنجیره تأمین به صورت متمرکز اداره می‌شود، تصمیم‌گیری نمایند. به عبارتی مدل‌های هماهنگی به دنبال

افزایش یابد.

۳- تعیین مقدار بهینه نسبتی از مبلغ کل که در ابتدای سفارش، عمده‌فروش می‌بایست به تولیدکننده به صورت پیش‌پرداخت بپردازد به نحوی که سود هر یک از اعضاء و همچنین سود کل زنجیره تأمین نسبت به حالت غیر متمرکز افزایش یابد.

۲- مرور ادبیات

امروزه در دنیای تجارت، اصل پذیرفته شده این است که رقابت میان شرکت‌ها نیست، بلکه رقابت اصلی میان زنجیره‌های تأمین آنها شکل می‌گیرد. لی [۶] اظهار نمود، یک زنجیره تأمین که به طور کامل یکپارچه شده باشد، منجر به کاهش هزینه‌ی بیشتری خواهد شد. همچنین این تکامل برای شرکت، همکاران زنجیره تأمین و سایر ذینفعان ارزش ایجاد می‌کند. توماس و گریفین [۷] تأکید کرده‌اند که مدیریت زنجیره تأمین، نیازمند طراحی و هماهنگی اجزاء گوناگون کانال، از جمله تولیدکننده، خرده‌فروش و تمام واسطه‌ها است. عبدالجبار و همکاران [۸] مسأله سفارش مجدد را با رویکرد کمینه کردن هزینه کل در زنجیره تأمین با یک تأمین‌کننده و n خریدار بررسی کردند. آنها فرض کردند که تقاضای هر خریدار شناخته شده است. هدف کمینه کردن هزینه کل زنجیره شامل هزینه نگهداری و سفارش مجدد بود. در مدل آنها زمان تحویل ناچیز و از آن صرف نظر شده و کمبود مجاز نبود. آنها دو سیاست تصمیم‌گیری مستقل و سیاست تصمیم‌گیری با هماهنگی را بررسی کردند. چان و همکاران [۹] هماهنگی در زنجیره تأمین به وسیله‌ی یکسان‌سازی سیکل تولیدی محصولات را بررسی کردند. مدل مورد بررسی آنها شامل یک فروشنده و n خریدار بود که سیاست‌های مختلف خرید را بررسی نمودند و نشان دادند که اتخاذ هماهنگی سیکل سفارش‌دهی برای افزایش سود کل زنجیره مفید خواهد بود. چن [۱۰ و ۱۱] به بررسی همکاری در زنجیره تأمین و بسط حالت

خاصی از مدل‌های موجود پرداخت. سیستم مورد بررسی او یک خریدار و یک فروشنده با k قلم کالا بود. او برای حالت‌های مختلف تصمیم‌گیری (چهار حالت مختلف: بدون همکاری و بر اساس تصمیم‌گیری منفرد برای هر کالا، بدون همکاری و بر اساس تصمیم‌گیری کلی برای همه کالاها، با همکاری و بر اساس تصمیم‌گیری منفرد برای هر کالا، با همکاری و بر اساس تصمیم‌گیری کلی برای همه کالاها) مسئله را بررسی نمود. ویسواناتان و پپلانی [۱۲] سیاستی را در نظر گرفتند که تأمین‌کننده یک تخفیف برای خریدار پیشنهاد می‌کند و آن در صورتی است که خریدار سفارش‌های خود را در زمان‌های مشخص شده توسط تأمین‌کننده قرارداد دهد. کلاسترین و معین‌زاده [۱۳] یک سازوکار جدید تخفیف زمانی برای یک سیستم توزیع/ موجودی چندمرحله‌ای ارائه کردند. آنها از این طریق سعی در کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی و پخش موجودی در کل زنجیره تأمین داشته و فرض کردند که سازنده بتواند دوره‌ی سفارش‌دهی مجدد خود را با سازنده قطعات اصلی (منبع بیرونی) هماهنگ نماید که با ایجاد این هماهنگی در زنجیره باعث بهبود کارایی زنجیره تأمین شدند. موناهاان [۱۴] نشان داد که تأمین‌کننده می‌تواند با ارائه برنامه‌ی تخفیف مناسب، خریدار را به سفارشی بزرگتر ترغیب نموده و خود نیز از این طریق منافع بیشتری کسب نماید. در مدل مذکور مقدار تولید تأمین‌کننده با مقدار سفارش خریدار برابر بود. لی و روزنبلات [۱۵] الگوریتمی ارائه کردند که در آن سود را با استفاده از یک برنامه تخفیف برای یک مدل تک‌خریدار ماکزیمم می‌کند. آنها پژوهش موناهاان را با حذف تولید به موقع، توسعه دادند. یئو شیانگ و همکاران [۴] یک مدل هماهنگی زنجیره تأمین دوسطحی بر اساس تخفیف زمانی برای کالاهای فسادپذیر را ارائه دادند به نحوی که تقاضای خرده‌فروش تصادفی بود. مایتری تاکورا و همکاران [۱۶] به منظور بهبود هماهنگی در زنجیره تأمین یک سیستم ردیابی برای زنجیره تأمین پوست نروژی پیشنهاد دادند و توانستند جمع‌آوری داده‌ها و تبادل اطلاعات بین

تثبیت کند. با این حال، آستانه خاصی برای استفاده از فناوری بلاک چین در تصمیم‌گیری غیرمتمرکز وجود دارد. زمانی که هزینه واحد بلاک چین از آستانه فراتر رود، تعاونی روستایی به دلیل کاهش سود، همکاری خود با سوپرمارکت را کنار می‌گذارد. روی کیو و همکاران [۲۰] یک روش هماهنگی چندجانبه را برای ارتقای همکاری بین حمل‌کنندگان نفت و اپراتور خط لوله با بهینه‌سازی طرح‌های حمل و نقل نفت، جایگزینی نفت و قیمت‌گذاری خط لوله پیشنهاد کردند و نشان دادند که روش پیشنهادی باعث بهبود درآمد کل سیستم، دستیابی به توزیع عادلانه درآمد و همچنین بهبود انرژی و مزایای زیست‌محیطی زنجیره تأمین می‌شود. سرکار [۲۱] هماهنگی و تخفیف‌های مقداری را بین فروشنده و خریدار با استراتژی تحویل چندگانه به منظور کاهش هزینه کل زنجیره تأمین بررسی کرد. ایشان در مدل ارائه شده، تصمیم‌گیری متمرکز برای تأثیر این استراتژی با وجود سفارش پشتیبان برای خریدار و هزینه بازرسی برای فروشنده را بررسی کرده و نشان داد استراتژی تخفیف مقداری، با حضور سفارشات برگشتی متغیر و بازرسی‌ها، می‌تواند صرفه‌جویی بیشتری را برای همه بازیگران زنجیره تأمین فراهم کند. تانیتواتاناکول و همکاران [۲۲] هماهنگی زنجیره تأمین چنددوره‌ای، چندمحصولی و چندخرده‌فروشی را بررسی کردند. آنها یک تکنیک هماهنگی قیمت عمده‌فروشی چنددوره‌ای-چندمحصولی را برای بازگرداندن کارایی زنجیره تأمین غیرمتمرکز پیشنهاد کردند و یک مدل برنامه‌نویسی دوسطحی غیرخطی برای هماهنگ‌کردن زنجیره تأمین توسعه دادند. آنها در آزمایش‌های عددی نشان دادند که قیمت‌های عمده‌فروشی تعیین شده توسط مدل می‌تواند تصمیمات هماهنگ را در همه موارد القا کند. بی‌ونگاس [۲۳] به بررسی هماهنگی بین یک تأمین‌کننده و یک خریدار در یک زنجیره تأمین غیرمتمرکز، از طریق استفاده از تخفیف‌های مقداری در یک مدل نظری بازی پرداخت که بازیکنان با تصمیمات موجودی و قیمت‌گذاری روبرو می‌شوند. ایشان دو رویکرد همکاری و عدم‌همکاری را با در نظر گرفتن اینکه میزان تقاضای محصول

ذینفعان یک زنجیره تأمین مخفی را بهبود بخشند. آزمایش‌های آنها نشان داد که قابلیت ردیابی از مزرعه تا پردازشگر مخفی با استفاده از تگ‌های پنهان (RFID) تا فرآیند دباغی امکان‌پذیر بوده است. ژائو و همکاران [۱۷] یک مدل زنجیره تأمین خودرو متشکل از یک سازنده خودرو و یک خرده‌فروش خودرو را بررسی کردند، آنها قیمت‌گذاری، تقاضا و سود زنجیره تأمین دو نوع خودرو را تحت تصمیم‌گیری غیرمتمرکز و تصمیم‌گیری متمرکز مقایسه کردند، و سپس یک سازوکار قرارداد تقسیم درآمد و مذاکره قیمت کارخانه‌ای برای هماهنگ کردن زنجیره تأمین تحت شرایط خاص طراحی کردند. آنها نشان دادند زمانی که پارامترهای قرارداد شرایط خاصی را برآورده می‌کنند، قرارداد ترکیبی می‌تواند به هماهنگی زنجیره تأمین دست یابد و سود هر یک از اعضا را بهبود بخشد. جوهری و همکاران [۱۸] یک مدل هماهنگی برای یک سیستم زنجیره تأمین حلقه‌بسته متشکل از یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش ایجاد کردند، در مدل ارائه شده توسط آنها تقاضای بازار به سطح فناوری سبز، قیمت فروش خرده‌فروش و میزان تبلیغات بستگی داشت. آنها مدل پیشنهادی را تحت سه طرح متمرکز، غیرمتمرکز و یک بازی استکلبرگ بررسی کردند. شین یانگ و همکاران [۱۹] بر استفاده از فناوری بلاک چین برای بررسی گزارش تازگی محصولات کشاورزی در یک زنجیره تأمین دوسطحی متشکل از یک تعاونی روستایی و یک سوپرمارکت تمرکز کردند. آنها با در نظر گرفتن کاهش کیفیت و کمیت در فرآیند حمل و نقل محصولات کشاورزی، تأثیرات تازگی محصول و سطح سرمایه‌گذاری بلاک چین بر تقاضای تصادفی بازار را کمی‌سازی نمودند. مدل‌های بازی برای تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز، قبل و بعد از سرمایه‌گذاری در فناوری بلاک چین را پیشنهاد دادند. آنها با مقایسه تصمیمات و عملکرد بهینه زنجیره تأمین تحت طرح‌های مختلف، یک قرارداد اشتراک درآمد-هزینه برای هماهنگ کردن تصمیم‌گیری غیرمتمرکز طراحی نمودند و نشان دادند که استفاده از فناوری بلاک چین می‌تواند برتری تصمیم‌گیری متمرکز را بیشتر

تولیدکننده به عمده‌فروش می‌دهد، تخفیف دیگری نیز بر اساس درصد پیش‌پرداخت در نظر گرفته شده است به نحوی که هر چه این درصد بالاتر باشد تخفیف بیشتری تولیدکننده به عمده‌فروش می‌دهد.

۴- محدودیت فضای انبار برای عمده‌فروش و محدودیت حداقل تولید اقتصادی و حداکثر ظرفیت تولید برای تولیدکننده در نظر گرفته می‌شود.

۵- جدا کردن هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم تولیدکننده: معمولاً محدودیت بودجه برای هزینه‌های مستقیم تولید معنی بیشتری پیدا می‌کند و به همین علت در این تحقیق این دو هزینه از هم تفکیک شده است و محدودیت بودجه تولیدکننده بر هزینه‌های مستقیم اعمال می‌شود.

۶- در نظر گرفتن هزینه پیش‌پرداخت برای عمده‌فروش: مبلغی که عمده‌فروش به عنوان پیش‌پرداخت می‌پردازد در واقع نوعی هزینه از دست رفتن فرصت سرمایه‌گذاری است، چون می‌توانست همان مبلغ را در بازه‌ی زمانی تحویل سرمایه‌گذاری نماید.

در بخش سوم مقاله به تشریح ساختار مدل‌ها در حالت‌های ناهماهنگ و هماهنگ پرداخته می‌شود. در بخش چهارم یک مثال عددی ارائه می‌شود و تحلیل حساسیت روی پارامترهای مسئله انجام می‌شود. در بخش پنجم به نتیجه‌گیری و تحقیقات آینده پرداخته می‌شود.

۳- مدل‌سازی ریاضی

در این بخش به ارائه‌ی مدل‌های ریاضی برای عمده‌فروش و تولیدکننده پرداخته می‌شود. ابتدا مدل‌ها را در حالت زنجیره‌تأمین

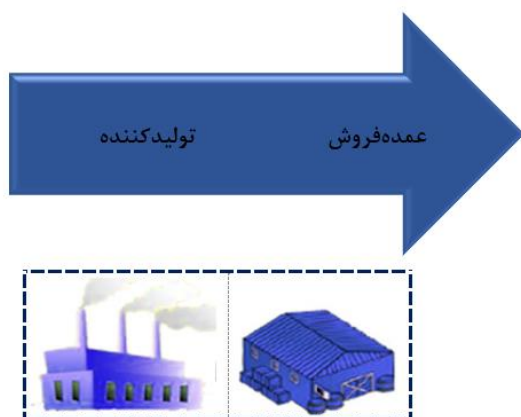
معامله‌شده نسبت به قیمت حساس است بررسی نمود. سپس یافته‌های خود را با یک مثال عددی نشان داد. با توجه به اهمیت موضوع هماهنگی در زنجیره‌تأمین، در این تحقیق یکی از مدل‌هایی که در زمینه هماهنگ‌سازی زنجیره‌تأمین کالاهای فسادپذیر بر اساس قرارداد تخفیف زمانی وجود داشته، توسعه داده شده است. برای توسعه مدل روی موضوعاتی کار شده است که در دنیای واقعی کاربرد دارند. با موضوعات جدیدی که در مدل در نظر گرفته شده است، این مدل به واقعیت نزدیک‌تر شده و می‌تواند به صنایع مورد بحث در حل برخی از مشکلاتشان کمک کند.

۲-۱- نوآوری‌های تحقیق

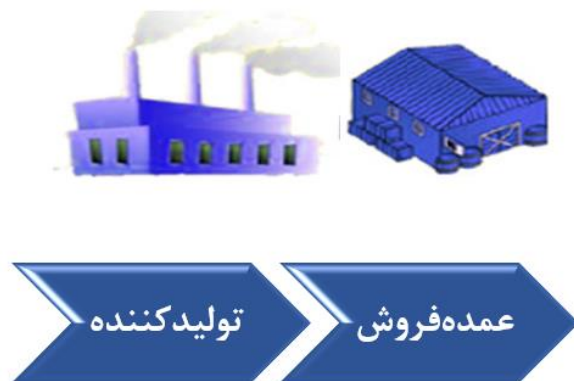
۱- محدودیت بودجه برای دو عضو زنجیره‌تأمین یعنی عمده‌فروش و تولیدکننده در نظر گرفته شده است. عمده‌فروش هم در مبلغ خرید کل و هم در مبلغی که در ابتدای سفارش به عنوان پیش‌پرداخت می‌پردازد محدودیت بودجه دارد. تولیدکننده هم در هزینه‌های مستقیم تولید، مانند خرید مواد اولیه محدودیت بودجه دارد به طوری که هر چه پیش‌پرداخت بیشتری از طرف عمده‌فروش به دست او برسد در رفع محدودیت بودجه به او کمک می‌کند.

۲- به صورت معمول در ابتدای سفارش نسبتی از مبلغ کل به عنوان پیش‌پرداخت به تولیدکننده پرداخت می‌شود که تعیین این نسبت همیشه با چالش‌هایی همراه بوده است. در این مقاله متغیر جدیدی به عنوان نسبت پیش‌پرداخت معرفی می‌گردد (علاوه بر متغیرهای مقدار سفارش و مدت زمان تحویل).

۳- ارائه‌ی یک سازوکار هماهنگی کارا که متشکل از دو تخفیف زمانی (بر اساس زمان سفارش) و تخفیف بر اساس نسبت پیش‌پرداخت است. در این سازوکار علاوه بر تخفیف زمانی که



شکل ۲- ساختار زنجیره تأمین یکپارچه



شکل ۱- ساختار زنجیره تأمین غیریکپارچه

احتیاج به نقدینگی دارد و بخشی از این نقدینگی می‌تواند از طریق پیش‌پرداخت رفع شود. در روش‌های سنتی مدیریت زنجیره تأمین اعضا به صورت مستقل تصمیم‌گیری می‌کنند و در این روش نمی‌توان انتظار داشت که اعضا همکاری بلندمدت داشته باشند ولی در روش‌های نوین مدیریت زنجیره تأمین دیدگاه کل‌نگر حاکم است و محدودیت‌ها و دغدغه‌های همه‌ی اعضا به صورت یکجا دیده می‌شود و اعضا هماهنگ با یکدیگر عمل خواهند کرد.

در حالت غیریکپارچه عضو غالب عمده‌فروش است و مقادیر بهینه مسئله، مقادیر بهینه عمده‌فروش است. عمده‌فروش مقدار سفارش و زمان سفارش را تعیین می‌کند و تولیدکننده هم در فاصله‌ی زمانی تحویل، کار تولید را انجام می‌دهد و در انتهای دوره‌ی سفارش، کالا به عمده‌فروش تحویل می‌شود.

در حالت یکپارچه سازوکارهای هماهنگی اعمال می‌شود. در این پژوهش دو سازوکار تخفیف وجود دارد، سازوکار اول تخفیف زمانی است، به این صورت که بر اساس زمان سفارش تخفیف اعمال می‌شود و هرچه عمده‌فروش سفارش خود را زودتر صادر کند از تخفیف بیشتری برخوردار خواهد شد. سازوکار دوم تخفیف بر اساس نسبتی از مبلغ کل است که عمده‌فروش به تولیدکننده می‌پردازد و هر چه این مقدار بیشتر باشد عمده‌فروش از تخفیف بیشتری استفاده خواهد کرد. با اعمال سازوکارهای هماهنگی

غیریکپارچه و سپس در حالت یکپارچه مورد بررسی قرار می‌گیرد. ساختار زنجیره تأمین غیریکپارچه مطابق شکل (۱) و ساختار زنجیره تأمین یکپارچه مطابق شکل (۲) است. در این پژوهش زنجیره تأمین در نظر گرفته شده دارای دو سطح عمده‌فروش و تولیدکننده است. مسئله در بازه زمانی T مورد بررسی قرار می‌گیرد. تابع تقاضا به صورت تصادفی است که با یک ضریب به مقدار موجودی نیز وابسته است یعنی هر چه موجودی بیشتر باشد مشتری را به خرید بیشتر ترغیب می‌کند.

زمان سفارش همیشه یک چالش بین عمده‌فروش و تولیدکننده بوده است. عمده‌فروش به دلیل تصادفی بودن و عدم قطعیت در تقاضا مایل است که سفارش خود را در دیرترین زمان ممکن صادر کند تا برآورد بهتری از تقاضا داشته باشد. از طرف دیگر؛ تولیدکننده برای برنامه‌ریزی و آماده‌سازی بهتر و دقیق‌تر نیاز دارد که زمان تحویل بیشتر باشد یعنی عمده‌فروش سفارش خود را زودتر صادر کند. دیگر چالشی که بین دو عضو وجود دارد محدودیت بودجه است. عمده‌فروش محدودیت‌های خود را دارد، محدودیت نقدینگی عمده‌فروش، اجازه خرید هر مقداری را به او نمی‌دهد و اصولاً عمده‌فروش علاقه‌ای به ارائه‌ی پیش‌پرداخت ندارد. از طرف دیگر تولیدکننده هم محدودیت بودجه دارد و در ابتدای تولید به دلیل هزینه خرید مواد اولیه و دیگر هزینه‌های مستقیم تولید شدیداً

در مورد کالاهای فسادپذیر معمولاً وقتی موجودی بیشتری وجود دارد مشتری‌ها ترغیب به خرید بیشتر می‌شوند.

هزینه خرید

$$BCR = qw \quad (2)$$

عمده‌فروش به ازای هر واحد خرید مبلغ w به تولیدکننده می‌پردازد و q مقدار سفارش در بازه زمانی T است.

هزینه سفارش‌دهی

$$OCR = C0 + TLt \quad (3)$$

هزینه سفارش‌دهی بستگی به زمان سفارش دارد به طوری که هر چه سفارش زودتر انجام گیرد و فاصله‌ی زمانی تحویل افزایش یابد عدم اطمینان تقاضا افزایش می‌یابد و هزینه‌ها بیشتر می‌شود. $C0$ هزینه ثابت سفارش‌دهی است و T ضریب تأثیر افزایش فاصله‌ی زمانی تحویل است.

تابع موجودی

مطابق شکل (۳) موجودی در طول زمان با تقاضا و نرخ فسادپذیری تغییر می‌کند.

$$\frac{dIR(t)}{dt} = -zIR(t) - D(t) = -(z + \theta)IR(t) - \alpha - \theta q \quad (4)$$

$$IR(t) = \frac{1}{z + \theta} \{ \alpha [\exp(-t(z + \theta)) - 1] + \exp(-t(z + \theta)) \times (q\theta + I0\theta - I0z) - q\theta \}$$

گزاره ۱:

هزینه نگهداری موجودی برای عمده‌فروش تا زمانی اتفاق می‌افتد که α (عامل تصادفی تقاضا) کمتر از مقدار زیر باشد:

$$B1 = \frac{I0(1 - \theta)(z + \theta)}{\theta - 1 + \exp(t(z + \theta))(z + 1)} - q\theta \quad (5)$$

اثبات

هزینه نگهداری موجودی زمانی اتفاق می‌افتد که بعد از پاسخگویی به تقاضای مشتری، موجودی مازاد وجود داشته باشد یعنی $IR(t) > D(t)$ ، بنابراین از معادله‌های تقاضا و موجودی می‌توان

تولیدکننده زمان بیشتری برای برنامه‌ریزی و نقدینگی بیشتری در ابتدای تولید خواهد داشت و عمده‌فروش هم از تخفیف‌ها استفاده خواهد کرد.

فرضیات تحقیق

۱- زنجیره تأمین به صورت دوسطحی (تولیدکننده و عمده‌فروش) است.

۲- تقاضا به صورت تصادفی است و با نسبتی به مقدار موجودی وابسته است.

۳- نرخ فسادپذیری برای تولیدکننده و عمده‌فروش یکسان است.

۴- محدودیت نگهداری موجودی برای تولیدکننده وجود ندارد.

مدل‌های ارائه‌شده دارای سه متغیر q : مقدار سفارش، Lt :

فاصله‌ی زمانی تحویل و u : نسبت پیش‌پرداخت می‌باشند. با حل مدل‌ها به مقادیر بهینه سه متغیر فوق پاسخ داده می‌شود. تابع هدف مدل‌ها غیرخطی و محدودیت‌ها خطی و غیرخطی هستند. در ادامه به تشریح توابع هزینه، درآمد و سود اعضاء و مدل‌های ریاضی پرداخته می‌شود. پارامترهای استفاده شده مطابق جدول فهرست علائم است.

۳-۱- بدون هماهنگ‌سازی

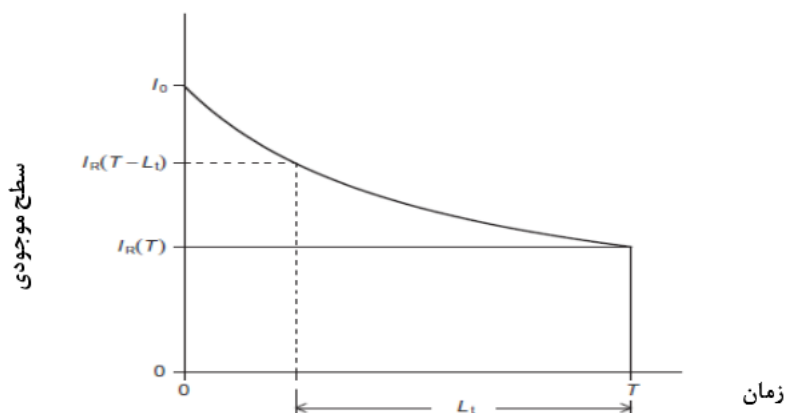
در این قسمت مدل‌سازی ریاضی برای عمده‌فروش در حالت زنجیره تأمین یکپارچه بررسی می‌شود:

۳-۱-۱- عمده‌فروش

تابع تقاضا

$$D(t) = \alpha + \theta [IR(t) + q] \quad (1)$$

α عامل تصادفی تقاضا با تابع چگالی $g(\alpha)$ است. $\theta > 0$ معرف ضریبی است که هر چه موجودی بیشتر باشد تقاضا افزایش می‌یابد.



شکل ۳- تابع موجودی عمده فروش

بدست آورد که:

$$SCR = Cs \int_0^T \int_{B1}^{\infty} [IR(t) - D(t)] dG(\alpha) d(t) = \frac{Cs}{z + \theta} \{q\theta(1+z) \times \int_0^T (1-G(B1)) dt + (\theta-1) \int_0^T \exp(-t(z+\theta)) \times \int_{B1}^{\infty} \alpha dG(\alpha) dt + (1+z) \int_0^T \int_{B1}^{\infty} \alpha dG(\alpha) dt + (\theta-1)(q\theta + I_0z + I_0\theta) \times \int_0^T \exp(-t(z+\theta))(1-G(B1)) dt \}$$

(۹)

Cs هزینه کمبود یک واحد از کالا است.

هزینه فسادپذیری

$$DCR = CdI_0(1 - \exp(-ZT)) \quad (10)$$

Cd هزینه فسادپذیری یک واحد از کالا است

هزینه پیش پرداخت

$$PCR = Ciwuq \quad (11)$$

عمده فروش اگر پیش پرداخت بپردازد متحمل یک نوع هزینه می شود، چون می توانست همان پول را در جایی دیگر استفاده و یا سرمایه گذاری کند. Ci ضریب مشخص کننده نسبت ضرر است. w قیمت خرید عمده فروش از تولیدکننده، u نسبتی از مبلغ خرید است که عمده فروش می بایست در ابتدای سفارش به صورت

$$\frac{1}{z + \theta} \{ \alpha [\exp(-t(z + \theta)) - 1] + \exp(-t(z + \theta)) \times (q\theta + I_0\theta - I_0z) - q\theta \} > \alpha + q\theta \quad (6)$$

در نتیجه:

$$\alpha < \frac{I_0(1 - \theta)(z + \theta)}{\theta - 1 + \exp(t(z + \theta))(z + 1)} - q\theta = B1 \quad (7)$$

هزینه نگهداری موجودی

$$ICR = CH \int_0^T \int_{B1}^{\infty} [IR(t) - D(t)] dG(\alpha) d(t) = \frac{-CH}{z + \theta} \{q\theta(1+z) \times \int_0^T G(B1) dt + (\theta-1)(q\theta + I_0z + I_0\theta) \times \int_0^T \exp(-t(z+\theta)) G(\alpha) dt + (1+z) \int_0^T \int_{B1}^{\infty} \alpha dG(\alpha) dt + (\theta-1) \times \int_0^T \exp(-t(z+\theta)) \int_{B1}^{\infty} \alpha dG(\alpha) dt \}$$

(۸)

CH هزینه نگهداری یک واحد از کالا است.

هزینه کمبود

پیش پرداخت بپردازد.

محدودیت فاصله‌ی زمانی تحویل

$$Lt > T - t_1 \quad (18)$$

هزینه کل عمده‌فروش

$$TCR = BCR + OCR + ICR + SCR + DCR + PCR \quad (12)$$

تولیدکننده امکان جواب‌گویی به سفارشات را دارد که قبل از زمان t_1 صادر شوند.

درآمد عمده‌فروش

محدودیت حداقل و حداکثر ظرفیت تولید، برای تولیدکننده

$$Lp \leq q \leq TPm \quad (19)$$

$$TRR = p \int_0^T \int_0^\infty D(t) dG(\alpha) dt = \frac{p}{z + \theta} \{ zTE(\alpha) \times \int_0^T \exp(-t(z + \theta)) dt + q\theta zT + \left(\frac{q\theta^2}{z + \theta} + I0\theta \right) [1 - \exp(-T(z + \theta))] \} \quad (13)$$

برای تولیدکننده، تولید کمتر از مقدار Lp در فاصله‌ی زمانی T صرفه اقتصادی ندارد. از طرف دیگر ظرفیت تولید، به تولیدکننده اجازه‌ی تولید مقداری بیشتر از TPm را نمی‌دهد.

P قیمت فروش یک واحد از کالا برای عمده‌فروش و $E(\alpha)$ امیدریاضی عامل تصادفی تقاضا است.

مدل ریاضی برای عمده‌فروش در حالت زنجیره تأمین غیر متمرکز

$$Max \pi R = TRR - TCR \quad (20)$$

تابع سود عمده‌فروش

$$\pi R = TRR - TCR \quad (14)$$

$$st. \left\{ \begin{array}{l} Wqu \leq TDBR \\ Wq \leq TBR \\ Lt \geq T - t_1 \\ fq \leq TFR \\ LP \leq q \leq TPm \\ 0 \leq u \leq 1 \end{array} \right.$$

محدودیت بودجه پیش پرداخت

$$wqu \leq TDBR \quad (15)$$

با حل مسئله‌ی فوق مقادیر بهینه‌ی $(q^{(R)}, Lt^{(R)}, u^{(R)})$ برای عمده‌فروش به طوری که سود را حداکثر کند، در حالت زنجیره تأمین غیرمتمرکز بدست می‌آید.

$TDBR$ آستانه بودجه برای عمده‌فروش است. این محدودیت بیان می‌کند که عمده‌فروش حداکثر $TDBR$ می‌تواند بودجه برای پیش‌پرداخت صرف کند.

محدودیت بودجه کل

$$wq \leq TBR \quad (16)$$

TBR آستانه بودجه کل عمده‌فروش است. کل مبلغ خریدی که عمده‌فروش می‌تواند صرف کند TBR است.

محدودیت فضای انبار

$$fq \leq TFR \quad (17)$$

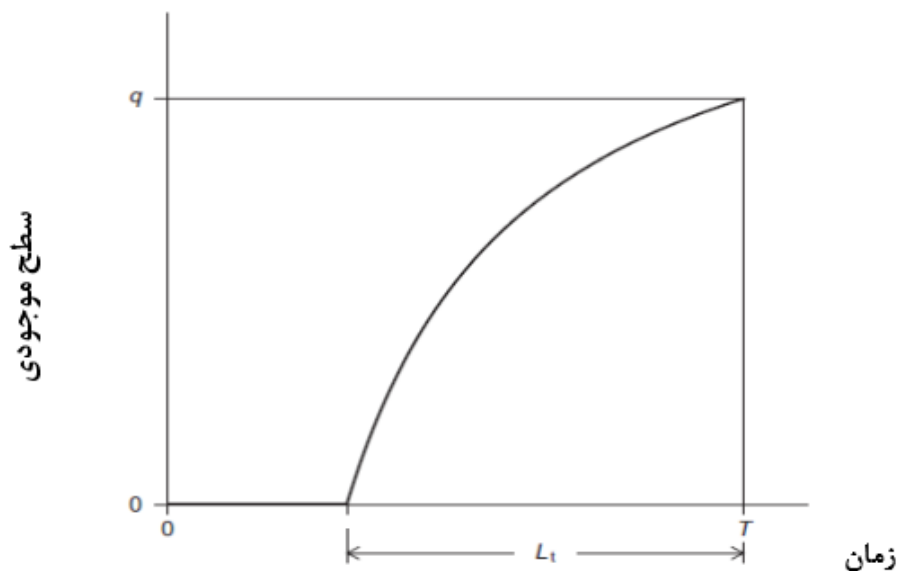
هر چه عمده‌فروش زودتر سفارش خود را صادر کند، تولیدکننده زمان بیشتری برای برنامه‌ریزی و آماده‌سازی دارد و در نتیجه هزینه‌های تولید کاهش می‌یابد. $Cp - \beta Lt$ هزینه تولید یک واحد را

f میزان اشغال فضا به ازای هر واحد از کالا و TFR حداکثر فضای انبار عمده‌فروش برای نگهداری کالای مورد نظر است.

۳-۱-۲- تولیدکننده

هزینه غیرمستقیم تولید

$$PCm = MpLt(Cp - \beta Lt) \quad (21)$$



شکل ۴- تابع موجودی تولیدکننده

از آنجا که تولیدکننده تولید را پس از دریافت سفارش آغاز می‌کند، موجودی انبار تا قبل از این زمان صفر است. پس از شروع تولید، موجودی تولیدکننده با نرخ تولید افزایش یافته و با نرخ فسادپذیری کاهش می‌یابد. شکل (۴)، نمودار تابع موجودی تولیدکننده را نشان می‌دهد.

بنابراین:

$$\frac{d \text{Im}(t)}{dt} = M_p - z \text{Im}(t)$$

$$\text{Im}(t) = \frac{q[1 - \exp(z(T - Lt - t))]}{1 - \exp(-zLt)} \quad (23)$$

هزینه نگهداری موجودی

$$IC_m = Ch \int_{T-Lt}^T \text{Im}(t) dt = q(Ch-v) \left\{ \frac{Lt}{1 - \exp(-zLt)} - \frac{1}{z} \right\} \quad (24)$$

Ch هزینه نگهداری یک واحد از کالا برای تولیدکننده و v مقداری که به ازای هر واحد افزایش فاصله‌ی زمانی تحویل از هزینه نگهداری تولیدکننده کاسته می‌شود، است.

مشخص می‌کند. Cp مقداری را مشخص می‌کند که در صورت نبود زمان (صفر بودن فاصله‌ی زمانی تحویل) هزینه تولید یک واحد می‌شود. β ضریبی است که کاهش هزینه تولید همزمان با افزایش فاصله‌ی زمانی تحویل را مشخص می‌کند. از زمانی که سفارش دریافت می‌گردد تولیدکننده شروع به تولید با نرخ Mp می‌کند.

هزینه مستقیم تولید

$$PC_m = (C_m - ku)q \quad (22)$$

هزینه‌ای که عمدتاً صرف خرید مواد اولیه‌ی تولید می‌شود، هزینه مستقیم تولید نام دارد. هرچه تولیدکننده در هنگام خرید مواد اولیه نقدینگی بیشتری در اختیار داشته‌باشد، قدرت چانه‌زنی بالاتری در برابر تأمین‌کنندگان خود خواهد داشت و می‌تواند مواد مورد نیاز را با قیمت کمتری تهیه کند. C_m مقدار هزینه مستقیم به ازای یک واحد از محصول است. k ضریبی است که نشان می‌دهد هر چه نسبت پیش‌پرداخت بیشتر باشد، قیمت خرید مواد اولیه کاهش می‌یابد.

تابع موجودی تولیدکننده

مدل ریاضی برای تولیدکننده در حالت زنجیره تأمین غیرمتمرکز

$$\begin{aligned} Max \pi m &= TRm - TCM \\ st. &\left\{ \begin{aligned} ((cm - ku) - uw)q &\leq TBm \\ Lp \leq q &\leq TPm \\ Lt > T - t_1 \\ 0 \leq u &\leq 1 \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (33)$$

در حالتی که دو عضو زنجیره تأمین به صورت غیرهماهنگ عمل می‌کنند هر یک فقط شرایط تجاری خود را می‌بینند و به دلیل اینکه در این گونه از کسب و کارها معمولاً عمده‌فروش عضو غالب است، تولیدکننده در عمل مقادیر بهینه خود یعنی $(q^{(m)}, Lt^{(m)}, u^{(m)})$ را نمی‌تواند استفاده کند و مجبور خواهد بود مقادیر بهینه عمده‌فروش یعنی $(q^{(R)}, Lt^{(R)}, u^{(R)})$ را بپذیرد.

۳-۲- مدل بعد از هماهنگ‌سازی

فاصله زمانی بیشتر برای تحویل می‌تواند برای تولیدکننده بسیار ارزشمند باشد، اما برای دستیابی به این هدف، تولیدکننده باید مشوقی ارائه دهد تا عمده‌فروش را به پذیرش این فاصله زمانی ترغیب کند. به این منظور، قراردادی بین دو عضو زنجیره تأمین تنظیم می‌شود که به موجب آن، تولیدکننده در ازای افزایش زمان تحویل، تخفیفی در قیمت خود برای عمده‌فروش در نظر می‌گیرد. حداکثر نرخ تخفیفی که تولیدکننده می‌تواند ارائه دهد به شرح زیر است:

$$dmax = \left[\pi m(Lt^{(m)}) - \pi m(Lt^{(R)}) \right] / \pi m(Lt^{(m)}) \quad (34)$$

به این معنی است که حداکثر نرخ تخفیف می‌تواند تا جایی افزایش یابد که تولیدکننده در نهایت به زمان تحویل بهینه عمده‌فروش رضایت دهد. همچنین، به دلیل وجود زمان آماده‌سازی، تولیدکننده معمولاً سفارشات را که زودتر از زمان مشخصی دریافت می‌شوند را نمی‌پذیرد، این زمان را t_1 می‌نامیم. شکل (۵) به خوبی این زمان را نشان می‌دهد.

هزینه فسادپذیری

$$DCm = Cd(MpLt - q) = qCd \left[z \frac{Lt}{1 - \exp(-zLt)} - 1 \right] \quad (25)$$

Cd هزینه فسادپذیری یک واحد از کالا برای تولیدکننده است.

هزینه کل تولیدکننده

$$TCm = PCVm + PCFm + ICm + DCm \quad (26)$$

درآمد تولیدکننده

$$TRm = qw \quad (27)$$

تابع سود تولیدکننده

$$\pi m = TRm - TCM \quad (28)$$

محدودیت بودجه

$$((Cm - ku) - uw)q \leq TBm \quad (29)$$

این محدودیت تفاضل هزینه مستقیم تولید و درآمد ناشی از پیش‌پرداخت ابتدای دوره است و حداکثر بودجه‌ای که تولیدکننده می‌تواند صرف هزینه مستقیم تولید کند را نشان می‌دهد. TBm آستانه بودجه تولیدکننده است.

محدودیت حداقل تولید اقتصادی

$$q \geq Lp \quad (30)$$

Lp مقداری از تولید برای کالای مورد نظر در دوره T است که تولید کمتر از این مقدار برای تولیدکننده صرفه اقتصادی ندارد.

محدودیت ظرفیت تولید برای تولیدکننده

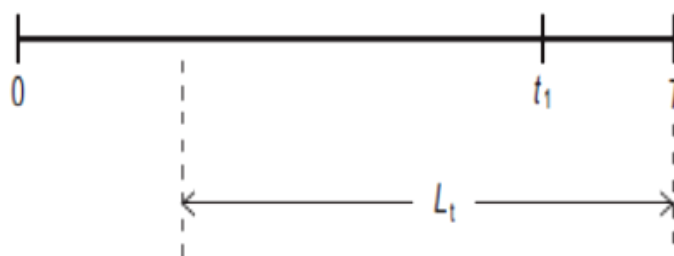
$$q \leq TPm \quad (31)$$

TPm حداکثر ظرفیت تولیدکننده برای تولید کالای مورد نظر در دوره T است.

محدودیت فاصله‌ی زمانی تحویل

$$Lt > T - t_1 \quad (32)$$

تولیدکننده امکان جواب‌گویی به سفارشات را دارد که قبل از زمان t_1 صادر شوند.



شکل ۵- بازه زمانی امکانپذیر

$$\pi m = TRm^* - TCm = TRm^* - (PCVm + PCFm + ICm + DCm) \quad (39)$$

مدل ریاضی زنجیره تأمین بعد از هماهنگ‌سازی

بعد از هماهنگ‌سازی، زنجیره تأمین به صورت یکپارچه مورد بررسی قرار می‌گیرد و مدل ریاضی مربوطه به صورت زیر خواهد بود:

$$S. t \left\{ \begin{array}{l} \text{Max} \pi T^* = \pi m^* + \pi r^* \\ wqu \leq TDBR \\ Lwq \leq TBR \\ ((Cm - ku) - uw)q \leq TBm \\ fq \leq TFR \\ Lp \leq q \leq Tpm \\ 0 \leq u \leq 1 \\ Lt > T - t_1 \\ \frac{t_1 - (T - Lt)}{t_1} < dmax \end{array} \right. \quad (40)$$

بعد از هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین، عمده‌فروش تمایل خواهد داشت سفارش خود را زودتر صادر کند تا از منافع تخفیف استفاده کند، علاوه بر این تولیدکننده نیز از منافع زمان بیشتر برای آماده‌سازی و برنامه‌ریزی استفاده می‌کند. بنابراین عمده تفاوت قبل و بعد از هماهنگ‌سازی به این صورت خواهد بود که: $Lt^{(R)*} > Lt^{(R)}$ عبارات $(q^{(R)*}, Lt^{(R)*}, u^{(R)*})$ مقادیر بهینه‌ی فاصله‌ی زمانی تحویل، مقدار سفارش و نسبت پیش‌پرداخت در زنجیره تأمین هماهنگ هستند.

همچنین مقادیر تابع سود کل زنجیره تأمین، قبل و بعد از

تولیدکننده یک برنامه تخفیف بر اساس فاصله‌ی زمانی تحویل در دوره زمانی T به عمده‌فروش ارائه می‌دهد که به قرار زیر است:

$$d(Lt) = \frac{t_1 - (T - Lt)}{t_1}, d(Lt) \leq dmax \quad (35)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، هرچه عمده‌فروش سفارش خود را زودتر صادر کند، از تخفیف بیشتری بهره‌مند می‌شود. از طرفی هر چه عمده‌فروش نسبت بیشتری از مبلغ خرید را به صورت پیش‌پرداخت در ابتدای دوره به تولیدکننده پرداخت کند، تولیدکننده تخفیف دیگری به میزان $\frac{u}{j}$ در نظر می‌گیرد. در اینجا j مقداری است که اگر عمده‌فروش کل مبلغ را پیش‌پرداخت کند $\frac{1}{j}$ تخفیف دریافت خواهد کرد. بنابراین هزینه خرید عمده‌فروش در حالت هماهنگ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$BCR^* = qw \left(1 - d(Lt)\right) \left(1 - \frac{u}{j}\right) \quad (36)$$

و سود کل عمده‌فروش به این ترتیب خواهد شد:

$$\pi r^* = TRR - TCR^* = TRR - (BCR^* + OCR + ICR + SCR + DCR + PCR) \quad (37)$$

از طرف دیگر درآمد تولیدکننده خواهد بود:

$$TRm^* = BCR^* = qw \left(1 - d(Lt)\right) \left(1 - \frac{u}{j}\right) \quad (38)$$

و بنابراین سود کل تولیدکننده برابر خواهد بود با:

جدول ۱- مقادیر پارامترها

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
CD	۵	T	۱۲	j	۱۰	TDBR	۵۰۰
CH	۲/۸	T _۱	۱۰	TFR	۵۰۰	f	۱۰
CP	۷	Z	۰/۰۹۳	TPM	۵۰	l _۰	۱/۲
Cd	۳	μ	۰/۵	k	۴	p	۵۵
Ch	۳/۵	k	۰/۸	Lp	۱۰	T	۳/۸
Co	۱۲۰	θ	۰/۰۰۸	Cm	۲۵	w	۳۶
Cs	۵	β	۰/۹	TBM	۱۲۰۰	Ci	۰/۰۵
TBR	۱۵۰۰						

نمی‌پذیرد. عامل تصادفی تقاضا α ، متغیر تصادفی یکنواخت با میانگین ۶ تن است. جدول (۱) مقدار سایر پارامترهای مسئله را نشان می‌دهد.

برای حل مدل از جعبه‌ابزار بهینه‌سازی نرم افزار متلب و حل‌کننده‌ی اف مین کان استفاده شده‌است. حل‌کننده‌ی اف مین کان برای مدل‌های غیرخطی با محدودیت به کار می‌رود. و برای یافتن جواب بهینه از الگوریتم نقطه داخلی استفاده شده‌است.

۴-۱- قبل از هماهنگ‌سازی

زمانی که زنجیره تأمین به صورت ناهماهنگ عمل می‌کند به دلیل اینکه عضو غالب عمده‌فروش است، تولیدکننده مجبور به پذیرش مقادیر بهینه‌ی عمده‌فروش است. جواب‌های بهینه عمده‌فروش در حالت زنجیره تأمین ناهماهنگ بدین ترتیب می‌باشند: $(q^{(R)}, Lt^{(R)}, u^{(R)}) = (۱۰, ۲, ۰)$ با مقادیر بدست آمده مقدار تابع سود عمده‌فروش $\pi r = ۵۷۰/۷$ و مقدار تابع سود تولیدکننده $\pi m = ۳۵۰$ و در نهایت سود کل زنجیره تأمین $\pi T = ۹۲۰/۷$ خواهد بود.

هماهنگ‌سازی به صورت زیر است که از مقایسه‌ی آنها تأثیر تنظیم قرارداد بین دو عضو زنجیره تأمین مشخص می‌شود.

$$\pi T = \pi m \left(Lt^{(R)}, q^{(R)}, u^{(R)} \right) + \pi r \left(Lt^{(R)}, q^{(R)}, u^{(R)} \right) \quad (۴۱)$$

$$\pi T^* = \pi m^* \left(Lt^{(R)*}, q^{(R)*}, u^{(R)*} \right) + \pi r^* \left(Lt^{(R)*}, q^{(R)*}, u^{(R)*} \right) \quad (۴۲)$$

۴-مثال عددی و تحلیل حساسیت

در این بخش، یک مثال عددی ارائه شده و تحلیل حساسیت برای پارامترهای مدل انجام می‌شود. مسئله در دو حالت، قبل و بعد از هماهنگ‌سازی، به کمک نرم افزار متلب R2020a و سیستم مشخصات Corei2 computer at 2.4 GHZ with 2 GB of DDRII 533 MHZ RAM حل شده و نشان داده می‌شود که سود کل و همچنین سود هر یک از اعضای زنجیره تأمین، در حالت هماهنگ افزایش می‌یابد. دوره‌ی زمانی T=۱۲ هفته در نظر گرفته می‌شود. عمده‌فروش مجاز است سفارش خود را در این بازه‌ی زمانی صادر و در آخر دوره تحویل بگیرد. دیرترین زمان مجاز برای سفارش $t_1 = ۱۰$ است، به این معنی که تولیدکننده سفارش‌های بعد از این زمان را

جدول ۲- خلاصه نتایج حل مدل

	قبل از هماهنگ سازی	بعد از هماهنگ سازی
سود عمده فروش	۵۷۰/۷	۸۶۵/۸
سود تولیدکننده	۳۵/۸	۹۵۲/۹
سود کل زنجیره تأمین	۶۰۶/۵	۱۸۱۸/۷
فاصله‌ی زمانی تحویل (Lt)	۲	۱۱/۴
مقدار سفارش (q)	۱۰	۴۱/۶۶۶۷
نسبت پیش پرداخت (u)	۰	۰/۳۳۳

۲-۴- بعد از هماهنگ سازی

زمانی که دو عضو زنجیره تأمین به صورت هماهنگ و یکپارچه عمل کنند جواب‌های بهینه بدین ترتیب می‌باشند: $(Lt^{(R)*}, q^{(R)*}, u^{(R)*}) = (۴۱/۶۶۶۷, ۱۱/۴, ۰/۳۳۳)$ ، طبق مقادیر بدست آمده سود عمده فروش $\pi I^* = ۸۶۵/۸$ و سود تولیدکننده $\pi T^* = ۹۵۲/۹$ و در نهایت سود زنجیره تأمین $\pi m^* = ۱۸۱۸/۷$ خواهد بود. همان طور که ملاحظه می‌شود سود هر دو عضو عمده فروش و تولیدکننده و در نتیجه سود کل زنجیره تأمین در حالت هماهنگ افزایش یافته است. جدول (۲) نتایج را به طور کامل نشان می‌دهد.

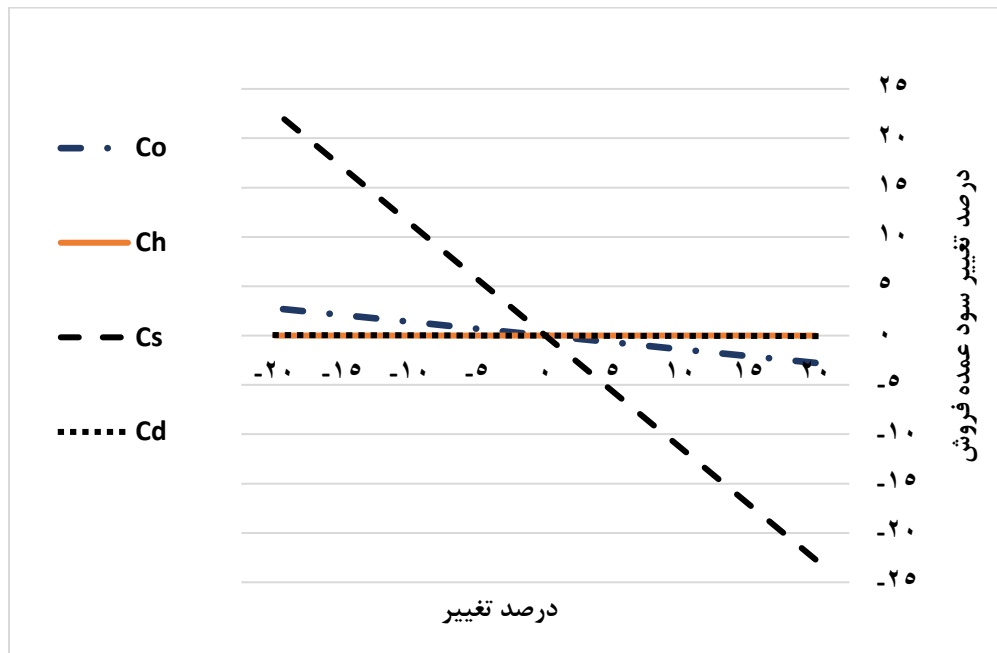
در حالت هماهنگ مقدار فاصله‌ی زمانی تحویل و نسبت پیش پرداخت افزایش یافته است که این به دلیل تخفیف‌هایی است که تولیدکننده به عمده فروش می‌دهد. در واقع هر دو عضو از شرایط جدید منتفع شده‌اند. تولیدکننده زمان بیشتری برای آماده سازی و برنامه ریزی دارد و در ابتدای دوره، نقدینگی بیشتری در دست او خواهد بود که تأثیر قابل توجهی در خرید مواد اولیه مورد نیاز خواهد داشت. این عوامل باعث کاهش هزینه‌های تولیدکننده شده و درآمد او نیز به دلیل تخفیفاتی که در نظر گرفته کاهش یافته است. با این حال در مجموع، میزان کاهش هزینه‌ها بیشتر بوده و در نتیجه سود او افزایش یافته است. از طرف دیگر عمده فروش هم از تخفیفاتی استفاده می‌کند که هزینه‌های او را کاهش می‌دهد، ولی

افزایش فاصله‌ی زمانی تحویل و نسبت پیش پرداخت هزینه‌هایی متوجه عمده فروش می‌کند، با این وجود در مجموع سود او افزایش یافته است.

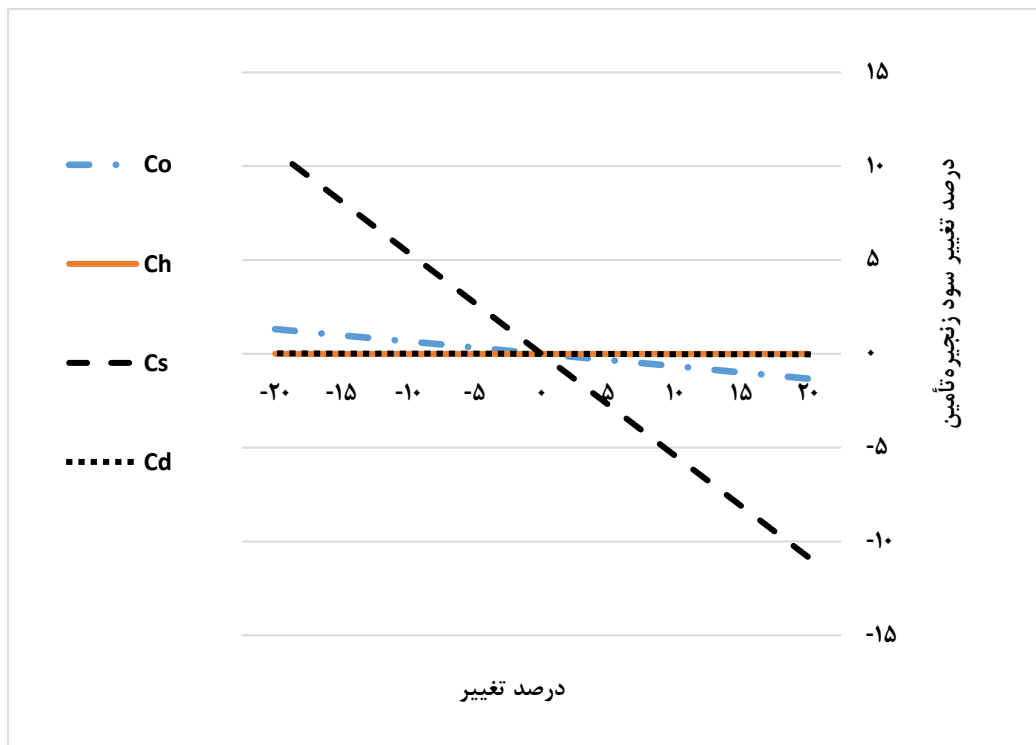
۳-۴- تحلیل حساسیت

در شکل (۶) چهار پارامتر Co مقدار هزینه ثابت سفارش، Ch هزینه نگهداری یک واحد از کالا، Cs هزینه کمبود یک واحد از کالا و Cd هزینه فسادپذیری یک واحد از کالا، پارامترهایی مهم در ارتباط با هزینه‌های عمده فروش و کل زنجیره تأمین محسوب می‌شوند. همان طور که ملاحظه می‌شود Cs بیشترین تأثیر را بر سود عمده فروش دارد که این ناشی از نوع تقاضا است. تابع تقاضا بدین صورت است که هر چه موجودی بیشتر باشد تقاضا تحریک شده و بیشتر می‌شود. بنابراین احتمال کمبود می‌تواند افزایش پیدا کند و Cs پارامتری تأثیرگذار است. از طرفی به دلیل ذکر شده احتمال نگهداری موجودی کاهش می‌یابد و پارامتر Ch تأثیر بسیار کمی بر سود عمده فروش خواهد داشت.

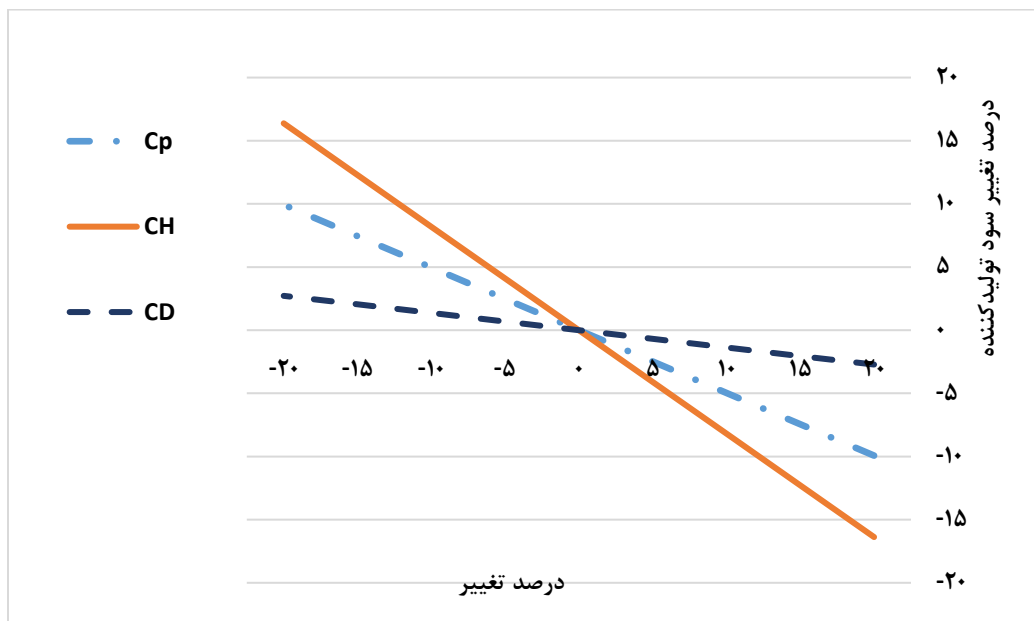
در شکل (۷) ملاحظه می‌شود که تأثیر پارامترهای هزینه‌ای عمده فروش بر سود زنجیره تأمین با شبی ملایم تر مانند سود عمده فروش است. عمده فروش عضوی از زنجیره تأمین است و کاهش و یا افزایش سود او بر سود کل زنجیره تأمین اثرگذار است. در شکل (۸) به تأثیر تغییر پارامترهای هزینه‌ای تولیدکننده بر



شکل ۶- تأثیر تغییر پارامترهای هزینه‌ای عمده‌فروش، بر سود عمده‌فروش



شکل ۷- تأثیر تغییر پارامترهای هزینه‌ای عمده‌فروش، بر سود زنجیره تأمین



شکل ۸- تأثیر تغییر پارامترهای هزینه‌ای تولیدکننده بر سود تولیدکننده

فاصله‌ی زمانی تحویل در هزینه سفارش‌دهی) و β (ضریب کاهش هزینه تولید همزمان با افزایش فاصله‌ی زمانی تحویل) پرداخته می‌شود. هزینه تولید بخش مهمی از هزینه‌های زنجیره‌تأمین است به همین دلیل ملاحظه می‌شود که β تأثیر زیادی بر کاهش هزینه‌های تولیدکننده و در نتیجه سود کلی زنجیره‌تأمین دارد. در شکل (۱۲) پارامترهای t_1 حداکثر زمانی که عمده‌فروش می‌بایست سفارش خود را صادر نماید و d_{max} حداکثر درصد تخفیفی که تولیدکننده به دلیل افزایش فاصله‌ی زمانی تحویل به عمده‌فروش می‌دهد، بررسی شده‌اند. t_1 تأثیری منفی بر سود زنجیره‌تأمین دارد و d_{max} تأثیری مثبت بر سود می‌گذارد. هرچه d_{max} بیشتر شود فاصله‌ی زمانی تحویل هم می‌تواند افزایش یابد و این منجر خواهد شد که هر دو طرف از مزایای قرارداد نوشته شده بهره بیشتری کسب نمایند. البته به دلیل اینکه فاصله‌ی زمانی تحویل از طول یک دوره نمی‌تواند بیشتر باشد افزایش d_{max} بیشتر از مقداری مشخص، بر سود زنجیره‌تأمین تأثیری نخواهد داشت.

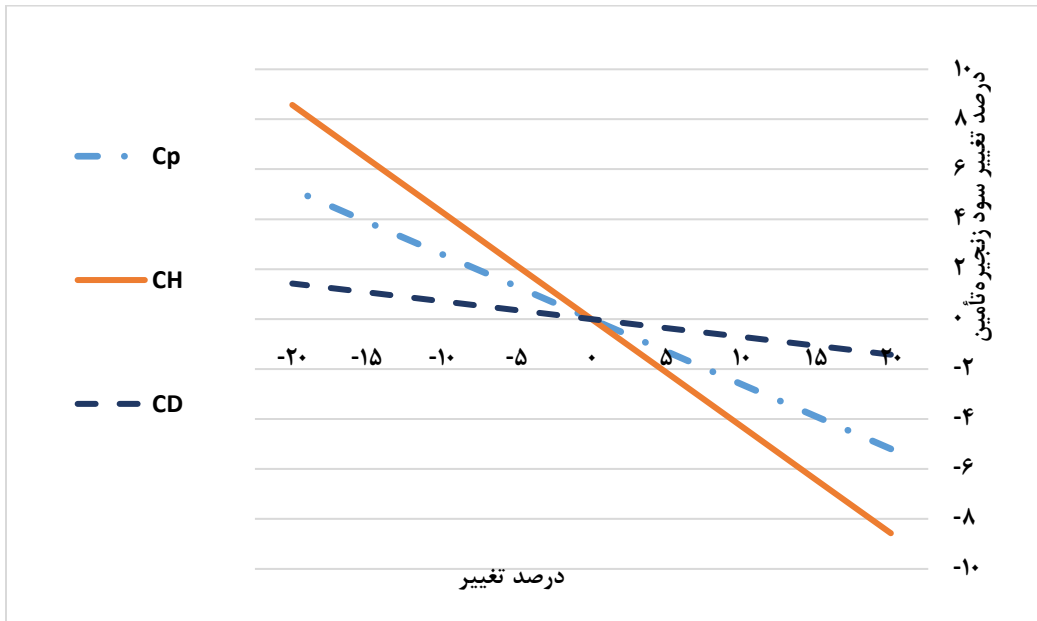
در شکل (۱۳) پارامترهای TBR حداکثر بودجه کل عمده‌فروش، TBM حداکثر بودجه‌ای که تولیدکننده صرف خرید

سود او پرداخته‌ایم. همان‌گونه که مشخص است همگی تأثیری منفی بر سود دارند. C_p هزینه متغیر تولید یک واحد از کالا، CH هزینه نگهداری یک واحد از کالا، CD هزینه فسادپذیری یک واحد از کالا هستند.

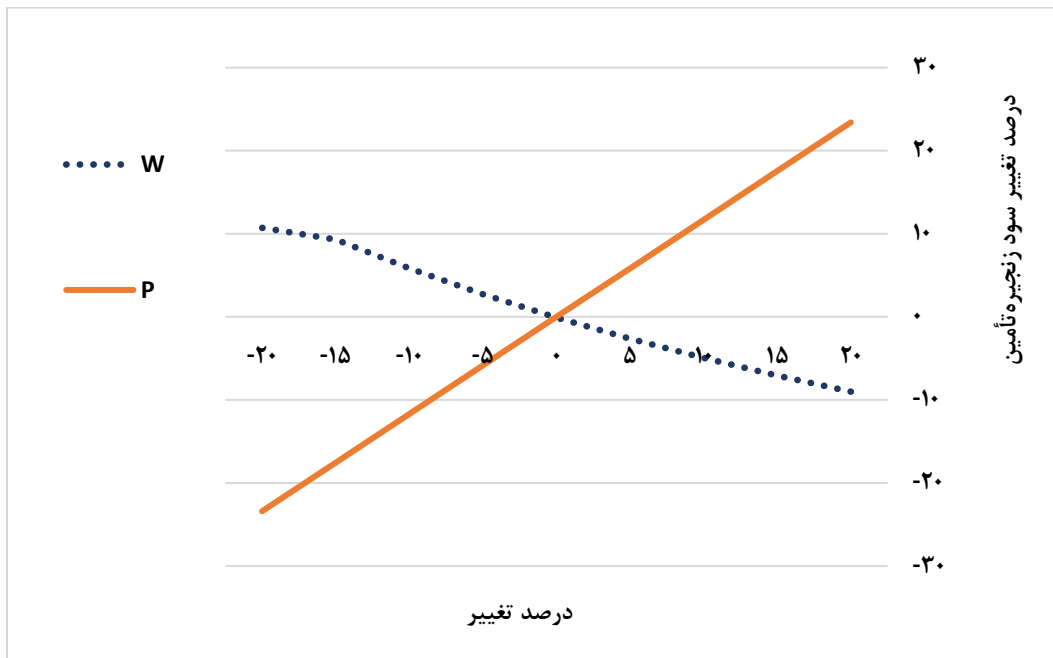
در شکل (۹) ملاحظه می‌شود که تأثیر پارامترهای هزینه‌ای تولیدکننده بر سود زنجیره‌تأمین همانند سود تولیدکننده است البته با این تفاوت که از شیب تأثیر کاسته شده‌است.

در شکل (۱۰) تأثیر پارامترهای W قیمت خرید عمده‌فروش از تولیدکننده و P قیمت فروش عمده‌فروش مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تأثیر W بر سود کل زنجیره‌تأمین کمتر از P است. علت این است که قیمت خرید عمده‌فروش، قیمت فروش تولیدکننده هم است، در واقع این یک داد و ستدی است که داخل زنجیره‌تأمین صورت می‌گیرد. البته W در دیگر هزینه‌ها و محدودیت‌های مسئله مؤثر است که تأثیر آن در نمودار مشخص است. تأثیر P به صورت کاملاً خطی و مثبت بر زنجیره‌تأمین اعمال می‌شود.

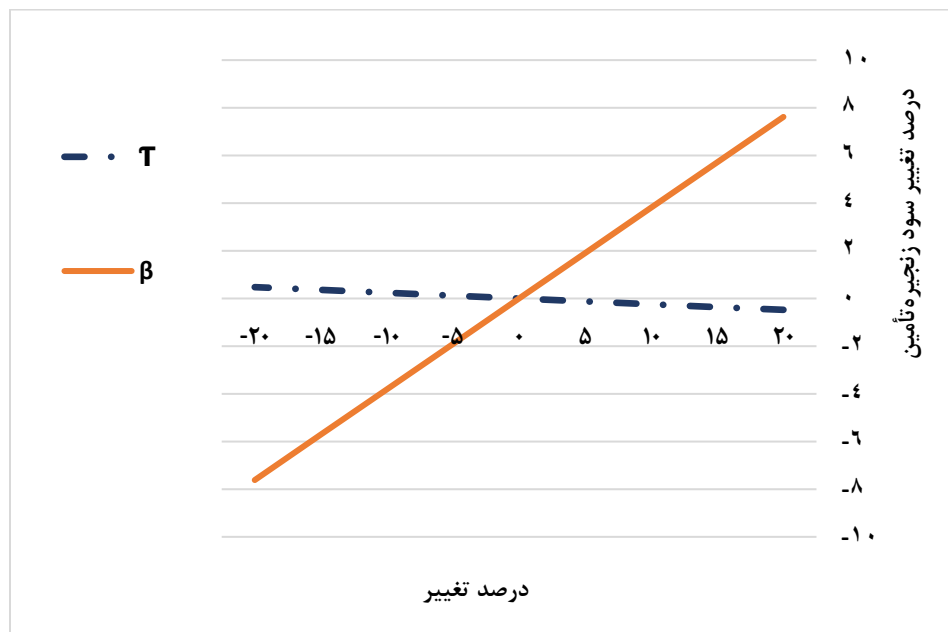
در شکل (۱۱) به تأثیر پارامترهای T (ضریب تأثیر افزایش



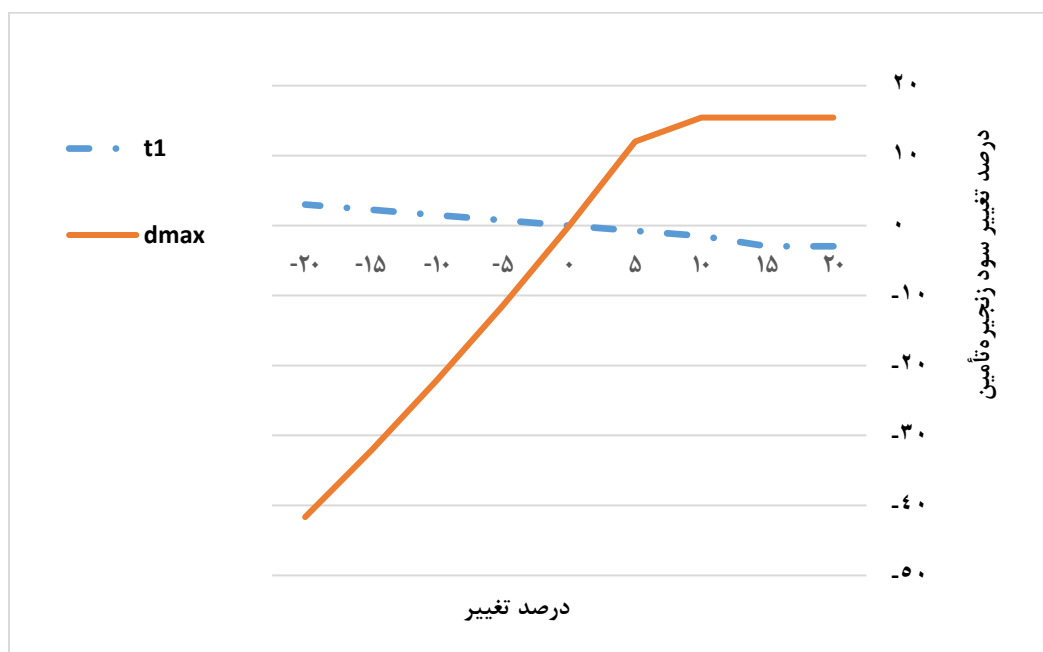
شکل ۹- تأثیر تغییر پارامترهای هزینه‌ای تولیدکننده، بر زنجیره تأمین



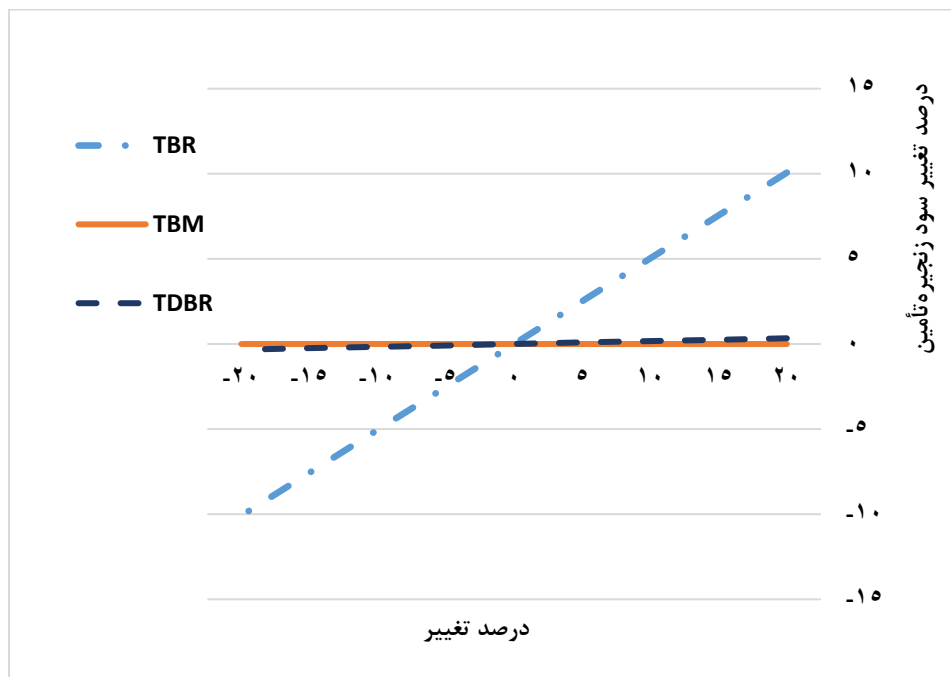
شکل ۱۰- تأثیر تغییر پارامترهای قیمت فروش و خرید عمده فروش، بر زنجیره تأمین



شکل ۱۱- تأثیر تغییر پارامترهای T و β بر زنجیره تأمین



شکل ۱۲- تأثیر تغییر پارامترهای t_1 و d_{max} بر زنجیره تأمین



شکل ۱۳- تأثیر تغییر پارامترهای محدودیت‌های بودجه بر زنجیره تأمین

تقاضایی که با افزایش موجودی، افزایش پیدا کند می‌تواند به شدت هزینه‌های کبود را افزایش دهد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در روش‌های نوین مدیریت زنجیره تأمین دیدگاهی کل‌نگر بر زنجیره تأمین حاکم است. در دیدگاه کل‌نگر تمام اعضا و شرکت‌های درگیر در زنجیره تأمین مانند حلقه‌های پیوسته در امتداد یکدیگر قرار گرفته و همه آنها با هم دیده می‌شوند. تمام اعضا باید به صورت یکپارچه و هماهنگ با یکدیگر کار کنند و محدودیت‌های تمام اعضا با همدیگر دیده شود.

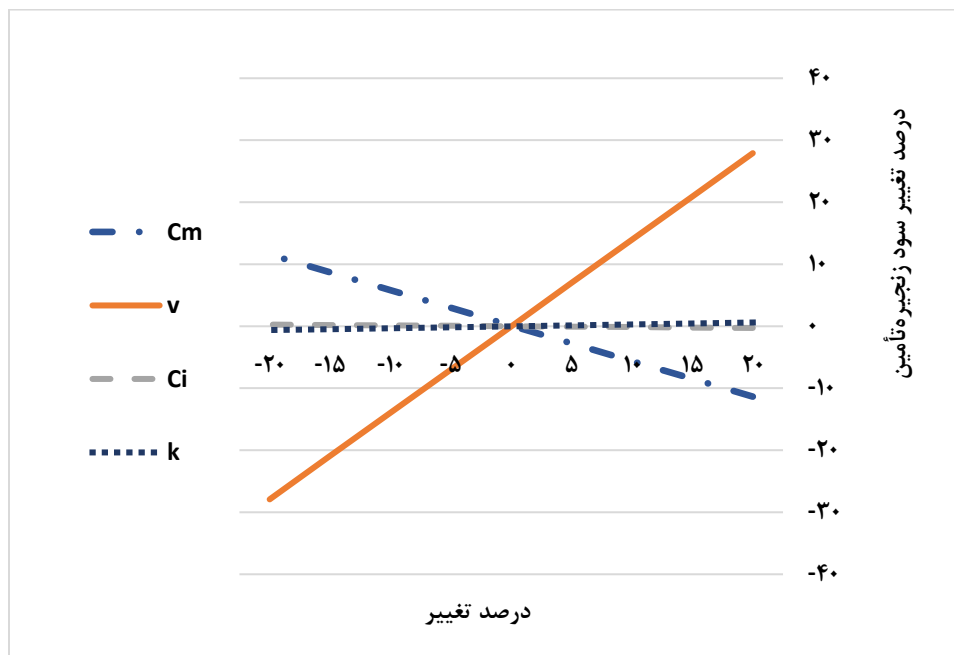
برای اینکه تمام اعضای زنجیره تأمین تشویق شوند که به صورت یکپارچه عمل کنند مشوق‌ها و قراردادهایی وجود دارد که بین اعضا بسته می‌شود تا سود هر یک از آنها هم نسبت به حالت غیریکپارچه افزایش یابد.

در تحقیق انجام شده، بین دو عضو زنجیره تأمین دو قرارداد

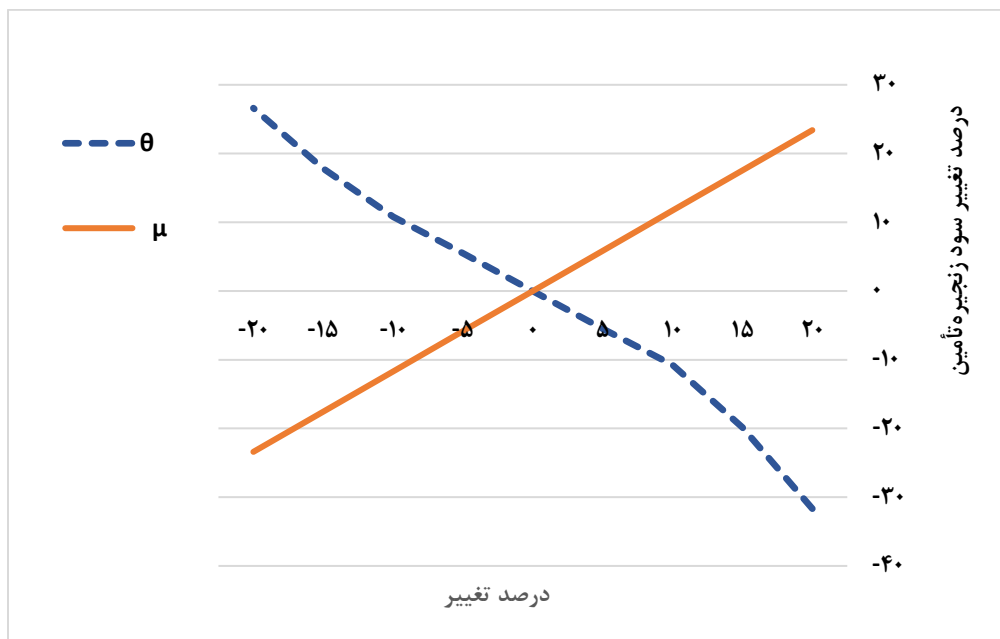
مواد اولیه می‌کند، و TDBR حداکثر بودجه‌ای که عمده‌فروش می‌تواند به صورت پیش‌پرداخت در ابتدای سفارش بپردازد، بررسی شده‌اند. TBR هر اندازه بیشتر باشد مقدار سفارش می‌تواند افزایش پیدا کند و این منجر به افزایش سود زنجیره تأمین می‌شود. با تغییر TBR و TDBR مقادیر بهینه مدل تغییر چندانی نمی‌کنند بنابراین تأثیر قابل توجهی بر سود زنجیره تأمین ندارند.

در شکل (۱۴) پارامترهای C_i درصد ارزش زمانی پولی که عمده‌فروش به دلیل واریز پیش‌پرداخت از دست می‌دهد و k مقداری که به ازای هر واحد از نسبت پیش‌پرداخت، از قیمت خرید تولیدکننده کاسته می‌شود، v مقداری که به ازای هر واحد افزایش فاصله‌ی زمانی تحویل از هزینه نگهداری تولیدکننده کاسته می‌شود و C_m قیمت خرید تولیدکننده، مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در شکل (۱۵) به بررسی پارامترهای μ میانگین تقاضا، و θ ضریب تأثیر افزایش تقاضا با افزایش موجودی، پرداخته‌ایم. μ تأثیر کاملاً مثبتی بر سود زنجیره تأمین دارد. در حالی که θ تأثیری کاملاً منفی بر زنجیره تأمین می‌گذارد. علت این موضوع این است که



شکل ۱۴- تأثیر تغییر پارامترهای C_i ، k ، C_m و C_i بر زنجیره تأمین



شکل ۱۵- تأثیر تغییر پارامترهای θ و μ بر سود زنجیره تأمین

این صورت که هرچه فاصله‌ی زمانی تحویل افزایش یابد تخفیف هم بیشتر می‌گردد و دیگری بر اساس نسبت پیش‌پرداخت که هرچه

تخفیف روی قیمت ارائه شده از طرف تولیدکننده به عمده‌فروش در نظر گرفته شده است، یکی بر اساس فاصله‌ی زمانی تحویل، به

بهبود خود را به تولیدکننده تحمیل می‌نمود، در حالت هماهنگی از افزایش سود بهره‌مند گردیده‌است.

مدل ارائه‌شده می‌تواند برای شرکت‌های تولیدی مواد غذایی و دارویی و صنایع شیمیایی به عنوان تولیدکننده و شرکت‌های پخش محصولات به عنوان عمده‌فروش مورد استفاده قرار گیرد. این صنایع کالاهایی فسادپذیر تولید می‌کنند و شرایط و محدودیت‌هایی که در مدل استفاده شده با شرایط و محدودیت‌های این صنایع انطباق دارد. در تحقیقات آتی می‌توان مسئله در حالت چندکالایی را بررسی کرد و تخفیف تنوع محصولات خریداری شده که تخفیفی رایج در این صنعت است را در نظر گرفت. همچنین می‌توان این مسئله را در حالت تک‌دوره‌ای نیز بررسی کرد.

عمده‌فروش نسبت بیشتری از مبلغ کل را در ابتدای سفارش پرداخت کند از تخفیف بیشتری بهره خواهد برد. این دو قرارداد مشوق لازم را به عمده‌فروش می‌دهد تا به صورت هماهنگ با تولیدکننده عمل کند، سفارش خود را زودتر صادر کند و پیش‌پرداخت بیشتری را بپردازد. تولیدکننده هم زمان بیشتری برای برنامه‌ریزی و آماده‌سازی خواهد داشت و همچنین نقدینگی بیشتری برای خرید مواد اولیه در ابتدای سفارش بدست می‌آورد.

در تحقیق انجام‌شده نشان داده شد که سود هر یک از اعضای زنجیره تأمین و همچنین سود کل زنجیره تأمین در حالت یکپارچه و هماهنگی نسبت به حالت غیریکپارچه افزایش یافته‌است، حتی عمده‌فروش هم که در حالت غیریکپارچه عضو غالب بود و مقادیر

مراجع

- Han, X., & Fang, B. (1998). Measuring transportation in the US economy.
- Özdemir, A., and Aslan, E., "Supply Chain Integration, Competition Capability and Business Performance: A Study on Turkish SMEs", *Asian Journal of Business Management*, Vol. 3, No. 4, PP. 325-332, 2021.
- Peck, H., and Jüttner, U., "Strategy and Relationships: Defining the Interface in Supply Chain Contexts", *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 33 – 44, 2000.
- Huang, Y. S., Su, W. J., and Lin, Z. L., "A study on Lead-Time Discount Coordination For Deteriorating Products", *European Journal of Operational Research*, Vol. 215, No. 2, pp. 358-366, 2011.
- Maihami, R., and Nakhikamalabadi, I., "Joint Pricing and Inventory Control for Non-Instantaneous Deteriorating Items with Partial Back Logging and Time and Price Dependent Demand", *International Journal of Production Economics*, Vol. 136, pp. 116-122, 2012.
- Lee, H. L., So, K. C., and Tang, C. S., "The Value of Information Sharing in a Two-Level Supply Chain", *Management Science*, Vol. 46, No. 5, pp. 626-643, 2000.
- Thomas, D. J., and Griffin, P. M., "Coordinated Supply Chain Management", *European Journal of Operations Research*, Vol. 94, pp. 1-15, 1996.
- Abdul-Jalbar, B., Gutierrez, J., Puerto, J., and Sisilia, J., "Policies for Inventory/Distribution Systems: The Effect of Centralization Vs. Decentralization", *International Journal of Production Economics*, Vol. 81-82, pp.281-293, 2003.
- Chan, C. K., and Kingsman, B. G., "Coordination in a Single-Vender Multi-Buyer Supply Chain by Synchronizing Delivery and Production Cycles", *Transportation Research Part E*, Vol. 43, No. 2, pp.90-111, 2005.
- Chen, T. H., and Chen, J. M., "Optimizing Supply Chain Collaboration Based on Joint Replenishment and Channel Coordination", *Transportation Research Part E*, Vol. 41, No. 4, pp.261-285, 2005.
- Chen, J. M., and Chen, T. H., "The Profit-Maximization Model for a Multi-Item Distribution Channel", *Transportation Research Part E*, Vol. 43, No. 4, pp.338-354, 2007.
- Viswanathan, S., and Piplani, R., "Coordinating Supply Chain Inventories Through Common

- Replenishment Epochs, *European Journal of Operational Research*, Vol. 129, pp. 277-286, 2001.
13. Klastorin, T. D., Moinzadeh, K., and Son J., "Coordinating Orders in Supply Chains Through Price Discount", *IEEE Transactions*, Vol. 34, pp. 679-689, 2002.
 14. Monahan, J. P., "A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vender Profits", *Management Science*, Vol. 30, pp. 720-726, 1984.
 15. Lee, H. L., and Rosenblatt, M. J., "A generalized Quantity Discount Pricing Model to Increase Supplier's Profits", *Management Science*, Vol. 32 No. 9, pp. 1177-1185, 1986.
 16. Thakur, M., Tveit, G. M., Vevle, G., & Yurt, T "A Framework for Traceability of Hides for Improved Supply Chain Coordination", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 174, p. 105478, 2020.
 17. Zhao, J., et al. "Pricing and Coordination of Automotive Supply Chain for Incorporating Efficient Charging Facilities", *Energy Reports*, Vol. 8, pp. 13814-13823, 2022.
 18. Wakhid Ahmad Jauhari, Nadya Syafa Kamila, Pringgo Widyo Laksono. "A coordination model for closed-loop supply chain systems with a single manufacturer and retailer", *Supply Chain Analytics* 4, p.100051., 2023.
 19. Yang, X., Liu, M., Wei, J., & Liu, Y. "Research on Investment Optimization and Coordination of Fresh Supply Chain Considering Misreporting Behavior Under Blockchain Technology", *Heliyon* 10, Vol. 10, , No. 5, 2024.
 20. Qiu, R., Zhang, B., Zhao, W., Tu, R. F., He, M. Q., Liao, Q., & Liang, Y. T. "An Integrated MINLP Model For Multi-Party Coordination In Downstream Oil Supply Chain", *Petroleum Science*, Vol. 21, No. 3, pp.2066-2079, 2024.
 21. Sarkar, B. "Supply Chain Coordination with Variable Backorder, Inspections, and Discount Policy for Fixed Lifetime Products", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2016, Article ID 6318737, 14 pages, 2016.
 22. Tantiwattanakul, P., and Aussadavut, D., "Supply Chain Coordination Using Wholesale Prices with Multiple Products, Multiple Periods, and Multiple Retailers: Bi-Level Optimization Approach", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 131, pp. 391-407, 2019.
 23. Venegas, B. B., and Ventura, J. A., "A Two-Stage Supply Chain Coordination Mechanism Considering Price Sensitive Demand and Quantity Discounts", *European Journal of Operational Research*, Vol. 264, No. 2, pp. 524-533, 2018.