هماهنگ‌کردن سفارشها در زنجیره تأمین سه سطحی با به‌کارگیری مکانیزم تنظیم قیمت

علی ارکان*، سید رضا حجازی**

دانشکدهٔ مهندسی صنایع و سیستمها، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۵/۱۲/۱۳ دریافت نسخه نهایی: ۸۷/۳/۲۱)

چکیده – **هماهنگی در زنجیره تأمین یک فاکتور حیاتی موفقیت در مدیریت زنجیره تأمین است. در چند سال گذشته، محققان به همکاری مابین شرکتهای زنجیره تأمین به عنوان منبعی کلیدی برای رسیدن به منافع رقابتی تأکید زیادی داشته‌اند. این مقاله به مسئله هماهنگی در زنجیره تأمین از نقطه‌نظر مدیریت موجودی پرداخته است. در این خصوص لی و لیو [1]، مدلی برای هماهنگی در زنجیره تأمین دو سطحی با استفاده از مدل تخفیف و مکانیزم تنظیم قیمت ارائه داده‌اند. در این تحقیق با فرض سه سطحی‌بودن زنجیره تأمین و همچنین با فرض متغیربودن زمان تحویل برای خرده‌فروش که با محیط واقعی انطباق بیشتری دارد، مکانیزم هماهنگی بررسی شده است. برای مسئله مطرح‌شده با فرضیات مشخص، مدل با تابع هدف سود ساخته شده و پس از حل و تجزیه و تحلیل در حالتهای بدون هماهنگی و با هماهنگی از طریق به‌کارگیری تخفیف در قیمت، مقادیر مناسب سفارش در هر سطح تعیین شده است. نهایتا سود حاصل از به‌کارگیری مکانیزم مطرح‌شده تعیین شده و روشی در مورد نحوه تقسیم اضافه سود به‌دست‌آمده مطرح شده است.**

واژگان کلیدی : کنترل موجودی، هماهنگی در زنجیره تأمین، مکانیزم تنظیم قیمت

Coordinating Orders in Three-echelon Supply Chain using price adjustment mechanism

A. Arkan, and S.R. Hejazi

Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract: ***Supply chain coordination has become a critical success factor for supply chain management (SCM). In the past few years, the researchers have widely emphasized that cooperation among supply chain (SC) firms is a key source of competitive advantage. This paper is focused on supply chain coordination from the perspective of inventory management. Li and Liu [1] developed a model for illustrating how to use quantity discount policy by price adjustment mechanism to achieve supply chain coordination. We extend this mechanism to three echelon supply chain and consider variable lead time which has more***

* – کارشناسی ارشد مهندسی صنایع ** – استادیار

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

representation of the real world situation. For this purpose, we will develop a model with benefit objective function for the problem. We will then analyze the model with and without coordination. By solving the proposed model, proper order quantities will be obtained. Finally, the advantages of the proposed mechanism will be explored and a surplus benefit dividing method will be designed.

Keywords: ***Inventory control, Supply chain coordination, Price adjustment mechanism.***

فهرست علائم

D	میانگین تقاضا در واحد زمان	f	قیمت فروش تأمین‌کننده به تولیدکننده به ازای واحد کالا برحسب واحد پول
S_R	هزینه ثابت سفارش‌دهی برای خرده‌فروش	c	قیمت خرید مواد خام توسط تأمین‌کننده به ازای واحد کالا برحسب واحد پول
S_{M1}	هزینه ثابت راه‌اندازی برای تولیدکننده	π	هزینه هر واحد تقاضای عقب‌افتاده برای خرده‌فروش برحسب واحد پول
S_{M2}	هزینه ثابت سفارش‌دهی برای تولیدکننده	k	ضریب اطمینان برای خرده‌فروش
S_V	هزینه ثابت سفارش‌دهی برای تأمین‌کننده	σ_L	انحراف معیار تقاضا در مدت زمان تحویل برای خرده‌فروش
h_R	هزینه نگهداری واحد موجودی در واحد زمان برای خرده‌فروش	σ	انحراف معیار تقاضا در یک واحد زمان، برای خرده‌فروش
h_M	هزینه نگهداری واحد موجودی در واحد زمان برای تولیدکننده	B(Q)	تابع سود به ازای خرید، تولید و یا فروش Q واحد کالا
h_V	هزینه نگهداری واحد موجودی در واحد زمان برای تأمین‌کننده	P	نرخ تولید تولید کننده در واحد زمان
y	قیمت فروش نهایی توسط خرده‌فروش به ازای واحد کالا برحسب واحد پول	R	اندیس مورد استفاده برای خرده‌فروش
w	قیمت فروش تولیدکننده به خرده‌فروش به ازای واحد کالا برحسب واحد پول	M	اندیس مورد استفاده برای تولیدکننده
		V	اندیس مورد استفاده برای تأمین‌کننده

۱- مقدمه

هماهنگی بین دو نهاد مختلف، یک راه مهم برای به‌دست آوردن فوائد رقابتی، از طریق کاهش هزینه زنجیره تأمین است [۲].

در دو دهه اخیر، بررسی مدیریت زنجیره تأمین مورد توجه زیادی بوده است. جهانی سازی در بازار، افزایش رقابت، کاهش فاصله مابین محصولات از لحاظ کیفیت و عملکرد، محیطهای دانشگاهی و صنعت را به تفکر مجدد در مورد مدیریت کاراتر و موثرتر عملیات مجبور کرده‌است. لذا، محیطهای علمی و صنعتی به جستجوی روشهای هماهنگی در فعالیتهای کاری‌اند. خصوصاً، آنها سعی دارند که فعالیتها و فرایندهای کاری را بین اعضای کانال مربوطه برای بهبود عملکرد و کارایی کلی زنجیره تأمین منطبق و هماهنگ کنند.

زنجیره تأمین، شامل تعدادی از اجزای مستقل (شامل تأمین کننده مواد اولیه، تولیدکننده، حمل کننده، خرده فروش و غیره) است که مسئول تبدیل مواد اولیه به محصول نهایی، و در دسترس مشتریهای نهایی قرار دادن به موقع آن، برای ارضای تقاضایشان با کمترین هزینه ممکن است. در حقیقت، زنجیره تأمین، همه مراحل از تهیه کردن مواد اولیه تا تحویل نهایی محصول، شامل تهیه کنندگان مواد اولیه، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان و مصرف کنندگان نهایی را شامل می‌شود. بنابراین، زنجیره تأمین به عنوان نهادهایی با تقابل (فعل و انفعال) داخلی،

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

برای تبدیل مواد خام به محصول تکمیل شده و در نهایت تحویل محصول به مصرف کننده، دیده می‌شود. این اجزا می‌توانند شامل یک سازمان مستقل یا چندین سازمان مستقل باشند. اغلب زنجیره‌های تأمین امروزی از نوع دوم هستند. تمرکز جداگانه بر روی اجزای زنجیره، منجر به عدم کارایی و تحویل کالا (خدمت) با هزینه بالا در سیستم می‌شود. بدین منظور، تمرکز اجزای مختلف برای هماهنگ‌شدن به منظور کاهش هزینه و زمان تحویل کالا (خدمت) به مصرف کننده نهایی مورد توجه قرار می‌گیرد.

ناراسیمهان و کارتر می گویند، یکپارچگی زنجیره تأمین شامل هماهنگی جریان مواد و اطلاعات مابین تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان است [۳].

توماس و گریفین [۴]، یادآور شده‌اند که مدیریت کارای زنجیره تأمین، نیازمند طراحی و هماهنگی اجزای مختلف کانال شامل تولیدکننده، خرده فروش و همه واسطه‌هاست.

جلبار و همکاران [۵]، مسئله سفارش مجدد با رویکرد کمینه کردن هزینه کل در زنجیره با یک تأمین‌کننده و N خریدار را بررسی کرده‌اند. در تحقیق آنها فرض شده است که تقاضای هر خریدار مشخص و شناخته‌شده است. هدف، کمینه‌کردن هزینه کل زنجیره شامل هزینه نگهداری و سفارش مجدد است. کمبود مجاز نیست و زمان تحویل ناچیز بوده و از آن صرف - نظر شده است. آنها دو سیاست را بررسی کرده‌اند: سیاست تصمیم‌گیری مستقل و سیاست تصمیم‌گیری با همکاری.

چان و همکاران [۶]، هماهنگی در زنجیره تأمین را توسط یکسان‌سازی سیکل تولیدی محصولات بررسی کرده‌اند. مدل مورد نظر آنها شامل یک فروشنده و n خریدار است. سیاستهای مختلف برای خرید بررسی شده است و نشان داده شده است که اتخاذ هماهنگی در سیکل سفارش دهی برای افزایش سود کل زنجیره مفید است.

چن و چن [۷]، به بررسی همکاری در زنجیره تأمین و بسط حالت خاصی از مدلهای موجود پرداخته‌اند. سیستم مورد بررسی آنها یک خریدار و یک فروشنده با k قلم کالاست. آنها برای حالتهای مختلف تصمیم‌گیری (چهار حالت مختلف شامل: 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 کرده‌اند.

چن و چن [۸]، هماهنگی در کانال توزیع با چند قلم کالا را مورد توجه قرار داده‌اند. مدل مورد بررسی آنها، شامل یک تأمین‌کننده است که n قلم کالا را به یک خریدار می‌فروشد. نرخ تقاضا مستقل از زمان است، ولی به قیمت وابسته است. آنها در کارشان چهار حالت را با ملاحظه تاثیر هماهنگی و برنامه خرید مشترک فرموله کرده‌اند و به طور خاص، حالتی را که تقاضا و قیمت رابطه خطی دارند، مورد بررسی قرار داده‌اند.

ویسواناتان و پیپلانی [۹]، سیاستی را در نظر گرفتند که تخفیفی را به خریدار، در صورتی که سفارشهای خود را در زمانهای مشخص‌شده تأمین‌کننده قرار دهد، پیشنهاد می‌کند. کلاسترین و معین‌زاده [۱۰]، یک مکانیزم جدید تخفیف زمانی برای یک سیستم توزیع/ موجودی چندمرحله‌ای ارائه داده‌اند. آنها از این طریق، سعی در کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی و پخش موجودی در کل زنجیره تأمین داشته و فرض‌کرده‌اند که سازنده بتواند پریود سفارش‌دهی مجدد خود را، با سازنده قطعات اصلی (منبع بیرونی) هماهنگ کند که در نتیجه باعث بهبود کارایی زنجیره تأمین می‌شود.

چندین استراتژی برای انطباق فعالیتها و فرایندهای شغلی، به منظور اطمینان از عملکرد بهتر زنجیره تأمین در موارد هزینه، زمان تهیه، تهیه به موقع و سرویس به مشتری مورد استفاده قرار می‌گیرد. هماهنگی در زنجیره تأمین مرتبط با توسعه و به‌کارگیری چنین استراتژیهایی است. هیچ استراتژی کلی کارا و موثر برای هماهنگی، که قابل استفاده در تمامی زنجیره‌های تأمین باشد، وجود ندارد و عملکرد هر استراتژی هماهنگی، وابسته به خصوصیات زنجیره تأمین است. انواع مختلف مکانیزمهای هماهنگی نظیر تخفیف مقداری، گزینه‌های اعتباری،

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

سیاستهای خرید/برگشت، انعطاف‌پذیری مقداری، مقدار خرید الزامی و غیره، مورد استفاده قرار می‌گیرد. اخیراً در مدیریت تولید/عملیات، هماهنگی زنجیره تأمین از طریق تخفیف مقداری، بیشتر مورد توجه بوده است [۱۱و۱۲].

موناهان[۱۳]، نشان داد که تأمین‌کننده می‌تواند با ارائه برنامه تخفیف مناسب، خریدار را به سفارشی بزرگتر ترغیب کرده و خود نیز از این طریق منافع بیشتری کسب کند. در مدل مذکور، مقدار تولید تأمین‌کننده با مقدار سفارش خریدار برابر است، به عبارت دیگر، خریدار از یک سفارش بهر به بهر استفاده می‌کند. لی و روزنبلات [۱۴]، الگوریتمی ارائه داده‌اند که برای یک مدل تک‌خریدار با استفاده از یک برنامه تخفیف، سود را ماکزیمم می‌کند. آنها کار قبلی موناهان را با حذف خرید بهر به بهر، توسعه داده‌اند. کولی و پارک [۱۵]، سیاستهای سفارش‌دهی چندمحصولی را به عنوان روشی برای کاهش هزینه‌های بین یک تأمین‌کننده و یک گروه خریدار همگن، مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها مقدار بهینه سفارش را با این فرض که در هر سفارش، همه محصولات سفارش داده می‌شوند، به‌دست آورده‌اند. پالار و ونگ [۱۶]، تصمیمات قیمتی تأمین‌کننده و تصمیمات سفارش‌دهی خریداران همسان را مطالعه کرده و نشان‌داده‌اند که وجود تخفیف مقداری بین فروشندگان و خریداران باعث افزایش سود تأمین‌کننده و خریدار می‌شود و لذا باعث بهبود برای همه اعضای زنجیره تأمین می‌شود.

کروتر[۱۷]، لال و استالین [۱۸]، هزینه خریدار و تأمین‌کننده را با اجرای یک برنامه تخفیف مقداری در نظر گرفتند. دادا و اسریکانت [۱۹]، کار لال و استالین را توسعه داده‌اند و نه تنها سیاستهای قیمت بهینه، بلکه مکانیزمی برای تعیین صرفه‌جویی هزینه بین خریدار و تأمین‌کننده پیشنهاد کرده‌اند. ونگ [۲۰]، اثر سیاستهای تصمیم‌گیری در هماهنگی کانالهای یک سیستم توزیع، شامل یک تأمین‌کننده و گروهی از خریداران همسان، که تقاضای آنها نسبت به قیمت حساس، و هزینه‌های عملیاتی تابعی از مقادیر سفارش است، را تجزیه و تحلیل کرده و نشان داده‌است که بر خلاف مقالات قبلی، تخفیفهای مقداری به تنهایی برای ماکزیمم‌کردن سود کل کافی نیستند، بلکه بر اثر اعمال هماهنگی است که سود کل توسط در نظرگرفتن تخفیفهای مقداری و اولویت‌بندی آنها ماکزیمم می‌شود.

چن و همکاران [۲۱]، مکانیزمهای هماهنگی در زنجیره‌های تأمین غیرمتمرکز را که مبتنی بر دادن تخفیفهای قیمتی، حجم تخفیف و فرکانس تخفیف‌اند، مورد بررسی و مطالعه قرار داده‌اند.

مانسون و رزنبلات [۲۲]، مسئله هماهنگی در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک خریدار را با استفاده از رویکرد تخفیف مقداری بررسی کرده‌اند. در مدل آنها، تمامی پارامترها قطعی‌اند و همچنین، کمبود در هیچ سطحی از زنجیره مجاز نیست. آنها، برای به‌دست‌آوردن مقادیر سفارش و مقدار تخفیف کلی در هر سطح بر اساس ماکزیمم کردن سود تولید کننده، الگوریتم حلی ارائه داده‌اند و سیاست بهینه تصمیم‌گیری برای تولید-کننده را در شرایط مختلف به‌دست آورده‌اند.

لی و لیو [۱]، به بررسی هماهنگی در زنجیره تأمین با استفاده از مدل تخفیف پرداخته اند. سیستم مورد بررسی آنها، شامل یک تأمین کننده و یک خریدار با یک محصول و ملاحظه تقاضای احتمالی خریدار و زمان تحویل ثابت است. آنها نشان داده اند که اتخاذ رویکرد همکاری، باعث افزایش سود کل نسبت به حالت عدم همکاری می‌شود. آنها با نگاه به رویکرد تخفیف، به این نتیجه رسیده‌اند که محدوده خاصی برای تخفیف وجود دارد که هر دوی تأمین‌کننده و خریدار را راضی به اتخاذ تصمیم مشترک در مورد هماهنگ‌کردن سفارش به منظور افزایش سود می‌کند. همچنین، روشی را برای تقسیم سود اضافی در حالت تصمیم گیری مشترک بین خریدار و تأمین کننده پیشنهاد کرده‌اند که موجب پذیرش طرفین و لذا افزایش سودشان و ضمناً ماکزیمم‌کردن سود کل زنجیره می‌شود.

این مقاله، توسعه ای بر مدل لی و لیو[۱] است. در این مقاله، مسئله هماهنگی در زنجیره تأمین سه‌سطحی با استفاده از مکانیزم تنظیم قیمت و همچنین با فرض متغیربودن زمان تحویل برای خرده‌فروش، که با شرایط واقعی انطباق بیشتری دارد، بررسی شده است.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

در این رابطه، یک سیستم توزیع موجودی سه‌سطحی، شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش مورد نظر قرار گرفته است. تأمین‌کننده، ممکن است تولیدکننده یا توزیع کننده باشد و خرده‌فروش، ممکن است توزیع کننده بالاسر یا مصرف کننده نهایی باشد. خرده‌فروش، سفارش خود را از تولیدکننده دریافت می‌کند و تولیدکننده، سفارش خود را از تأمین‌کننده تهیه می‌کند. در ادامه این مقاله در بخش (۲)، فرضیات مدل مورد نظر بیان شده است. مدلسازی و حل مسئله در حالت عدم هماهنگی و بدون اجبار، در قسمت (۳) مطرح شده است. شرایط لازم برای پذیرش تنظیم قیمت تحت سیاست تصمیم‌گیری مستقل طرفین در شرایط واقعی، در بخش (۴) تشریح شده است. در ادامه، بخش (۵)، مکانیزم تنظیم قیمت که منجر به هماهنگی مابین اعضا می‌شود را بررسی می‌کند. مثال عددی برای تبیین مکانیزم هماهنگی، در قسمت (۶) آورده شده است. در خاتمه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی در بخش (۷) بیان شده است.

۲- فرضیات مدل

مسئله موردنظر با فرضیات زیر مدلسازی و بررسی می‌شود:

- برای تأمین‌کننده و تولیدکننده، کمبود مجاز نیست.
- میانگین تقاضایی که به خرده‌فروش می‌رسد، مشخص و ثابت است و تقاضا، یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال است.
- برای خرده‌فروش، در مواقعی که در زمان تحویل موجودی ندارد، تقاضا می‌تواند با تاخیر برآورده شود (کمبود به‌صورت پس‌افت لحاظ می‌شود).
- زمان تحویل کالا از تولیدکننده به خرده‌فروش، متناسب با مقدار سفارش داده‌شده از طرف خرده‌فروش و همچنین نرخ تولید تولیدکننده است، به عبارتی فرض می‌شود $L(Q) = \frac{Q}{P} + T$ است که Q مقدار سفارش و T مقدار تاخیر ثابتی ناشی از حمل‌ونقل و غیره است. [۲۳]
- فرض می‌شودکه Q_V^* بیشتر از Q_{VM}^* باشد و همچنین Q_{MR}^* بیشتر از Q_R^* باشد. (برای اثبات مرجع [۲۴] را ملاحظه کنید).
- خرده‌فروش، از سیستم بازنگری پیوسته موجودی (s,Q) استفاده می‌کند که $s = D * L(Q) + ss$ است و با فرض توزیع تقاضای نرمال در زمان تحویل داریم: $\varphi(k) = p'$, $ss = k\sigma_L$ که p' سطح خدمت است.
- فرض می‌شود که انحراف معیار تقاضا در زمان تحویل به صورت رابطه $\sigma_L = \sigma\sqrt{L(Q)}$ باشد.
- زمان تحویل کالا از تأمین‌کننده به تولیدکننده برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.
- هزینه‌های حمل‌و نقل، قسمتی از هزینه‌های خرید است.
- توزیع متغیر تصادفی تقاضا، نرمال با میانگین و انحراف معیار معلوم فرض شده است.

همچنین بدیهی است که $c \le f \le w \le y$.

۳- مدلسازی و حل مسئله

در بررسیهای مربوط به این مسئله، سه حالت ملاحظه شده است که عبارت‌اند از:

- **حالت اول:** مدل، در شرایط تصمیم‌گیری مستقل و بدون اجبار برای تک‌تک اعضا، بررسی می‌شود. این شرایط زمانی پیش می‌آید که هر کدام از اعضا زنجیره بتوانند در حالت آرمانی برای خود تصمیم‌گیری کنند که در شرایط واقعی عملاً هیچگاه پیش نمی‌آید. در این وضعیت، به ترتیب مقدار بهینه سفارش Q_R^* برای سفارش خرده‌فروش از تولیدکننده، مقدار تولید بهینه Q_{MR}^* برای مقدار تولید تولیدکننده، مقدار سفارش بهینه Q_{VM}^* برای مقدار سفارش تولیدکننده از تأمین‌کننده و در نهایت مقدار بهینه Q_V^* برای مقدار فروش تأمین‌کننده به‌دست می‌آید. اگر در مسئله ای بسیار خاص $Q_R^* = Q_{MR}^*$ و $Q_V^* = Q_{VM}^*$ به‌دست آید، جواب به‌دست‌آمده، ایدئال و شدنی است.
- **حالت دوم:** این حالت، در شرایط واقعی رخ می‌دهد، سطح پایین زنجیره، مقدار سفارش را برای سطح بالایی خود که تأمین‌کننده وی است، تعیین می‌کند، یعنی، خرده‌فروش مقدار تولید تولیدکننده و تولیدکننده، مقدار فروش تأمین‌کننده را تعیین

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

می‌کند. در این حالت، مقادیر بهینه سفارش Q_R^* برای سفارش خرده‌فروش از تولیدکننده، مقدار تولید اجباری Q_R^* برای مقدار تولید تولیدکننده (تعیین‌شده توسط خرده‌فروش)، مقدار سفارش بهینه Q_{VM}^* برای مقدار سفارش تولیدکننده از فروشنده بیرونی و در نهایت مقدار اجباری Q_{VM}^* برای مقدار فروش تأمین‌کننده (تعیین‌شده توسط تولیدکننده) به‌دست می‌آید.

– **در حالت سوم**، هماهنگی بین اعضای زنجیره مورد توجه قرار می‌گیرد که باعث بهبود سود کلی زنجیره و سود تک‌تک اعضا نسبت به شرایط واقعی، حالت (۲)، می‌شود.

۳-۱- بررسی مدل از دیدگاه خرده‌فروش در حالت عدم هماهنگی و بدون اجبار

در این حالت، خرده‌فروش به دنبال بیشینه‌کردن سود خود است، تابع سود برای خرده‌فروش به صورت زیر است:

$$B_R(Q_R) = (y-w)D - \frac{S_R D}{Q} - \left(\frac{Q_R}{2} + k\sigma_L\right)h_R - \frac{\pi\sigma_L G_u(k) D}{Q_R}$$

به‌طوری که:

$$G_u(k) = \int_k^{\infty} (u_0 - k)\varphi(u_0)du_0$$

$$\sigma_L = \sigma\sqrt{L(Q_R)} = \sigma\sqrt{\frac{Q_R}{P} + T}$$

که در نتیجه داریم:

$$B_R(Q_R) = (y-w)D - \frac{S_R D}{Q_R} - \left(\frac{Q_R}{2} + k\sigma\sqrt{\frac{Q_R}{P} + T}\right)h_R - \frac{\pi\sigma\left(\sqrt{\frac{Q_R}{P} + T}\right)G_u(k)D}{Q_R} \quad (۱)$$

این معادله، از چهار قسمت تشکیل شده است که قسمت اول، درآمد، قسمت دوم، هزینه سفارش‌دهی، قسمت سوم هزینه نگهداری و قسمت چهارم، هزینه مواجهه با کمبود را نشان می‌دهد. با مشتق‌گرفتن از معادله (۱) و برابر صفر قرار دادن آن و سپس ساده‌سازی لازم، معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$Q_R = \sqrt{\frac{2D\left(S_R + \pi\sigma G_U(k)\sqrt{\frac{Q_R}{P} + T}\right)}{h_R\left(1 + \frac{k\sigma}{P\sqrt{\frac{Q_R}{P} + T}}\right) + \frac{\pi\sigma D G_U(k)}{PQ_R\sqrt{\frac{Q_R}{P} + T}}}} \quad (۲)$$

با گرفتن مشتق دوم از معادله (۱)، مشخص می‌شود که محدب‌بودن تابع مورد نظر بر حسب متغیر Q_R، قطعی نیست، لذا با استفاده از روشهای عددی، می‌توان به یک نقطه بهینه محلی دست یافت که معادله (۲) در آن برقرار باشد.

در این قسمت، یک الگوریتم حل برای به‌دست آوردن جواب بهینه محلی ارائه می‌شود:

الگوریتم:

شروع:

قدم ۱: محاسبه $Q_R = \sqrt{\frac{2DS_R}{h_R}}$.

قدم ۲: با جایگذاری Q_R در معادله زیر، مقدار Q'_R را محاسبه می کنیم:

$$Q'_R = \sqrt{\frac{2D\left(S_R + \pi\sigma G_U(k)\sqrt{\frac{Q_R}{P} + T}\right)}{h_R\left(1 + \frac{k\sigma}{P\sqrt{\frac{Q_R}{P} + T}}\right) + \frac{\pi\sigma D G_U(k)}{PQ_R\sqrt{\frac{Q_R}{P} + T}}}}$$

قدم ۳:

الف) اگر $Q_R = Q'_R$، آنگاه $Q_R^* = Q_R$ قرار داده شده و توقف می کنیم.

ب) اگر $Q_R \neq Q'_R$، آنگاه مقدار Q'_R را به جای مقدار Q_R قرار می دهیم ($Q_R = Q'_R$) و به قدم (۲) برمی گردیم.

۳-۲ بررسی مدل از دیدگاه تولیدکننده در حالت عدم هماهنگی و بدون اجبار

در این حالت تولیدکننده نیز به دنبال افزایش سود خود و بیشینه‌کردن آن است. تابع سود تولیدکننده به صورت زیر است:

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

$$B_M(Q_{MR},Q_{VM})=(w-f)D-\frac{h_M Q_{MR} D}{2P}-\frac{S_{M1}D}{Q_{MR}}-\frac{S_{M2}D}{Q_{VM}}-h_M\frac{Q_{VM}}{2} \quad (۳)$$

برای به‌دست آوردن مقادیر اقتصادی سفارش و تولید، گرادیان تابع $B_M(Q_{MR},Q_{VM})$ را برابر صفر قرار داده و از حل دستگاه معادلات به‌دست آمده، روابط مربوطه را به‌صورت زیر به‌دست می‌آوریم.

$$Q^*_{MR}=\sqrt{\frac{2PS_{M1}}{h_M}} \quad (۴)$$

$$Q^*_{VM}=\sqrt{\frac{2DS_{M2}}{h_M}} \quad (۵)$$

تابع سود در حالت بهینه برابر خواهد بود با:

$$B^*_M\left(Q^*_{MR},Q^*_{VM}\right)=(w-f)D-\sqrt{\frac{2D^2h_MS_{M1}}{P}}-\sqrt{2Dh_MS_{M2}} \quad (۶)$$

۳-۳- بررسی مدل از دیدگاه تأمین‌کننده در حالت عدم هماهنگی و بدون اجبار

در این حالت، تأمین‌کننده به دنبال بیشینه‌کردن سود خود است. تابع سود برای تأمین‌کننده به صورت زیر است:

$$B_V(Q_V)=(f-c)D-\frac{h_VQ_V}{2}-\frac{S_VD}{Q_V} \quad (۷)$$

مقدار اقتصادی فروش تأمین‌کننده از بررسی تابع فوق به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$Q^*_V=\sqrt{\frac{2DS_V}{h_V}} \quad (۸)$$

تابع سود تأمین‌کننده در حالت بهینه برابر خواهد بود با:

$$B^*_V(Q_V)=(f-c)D-\sqrt{2DS_Vh_V} \quad (۹)$$

۴- شرایط لازم برای پذیرش تنظیم قیمت تحت سیاست تصمیم‌گیری مستقل طرفین

همان‌طور که در شرایط واقعی اتفاق می‌افتد مقدار سفارش خرده‌فروش، برای میزان تولید تولیدکننده و همچنین مقدار سفارش تولیدکننده، برای میزان فروش تأمین‌کننده تعیین می‌شود که باید این نکته را در بررسیها لحاظ کرد. در واقع، مقادیر سفارش، از پایین‌دستی به بالادستی در طول زنجیره تحمیل می‌شود. به همین دلیل، فروشنده بالا دستی برای نزدیک شدن مقدار سفارش پایین دستی به مقدار مطلوب از نظر او، می‌تواند از تخفیف قیمت برای ترغیب سفارش‌دهنده استفاده کند.

۴-۱- بررسی شرایط پذیرش تنظیم قیمت برای خرده‌فروش

اگر خرده‌فروش مستقلا عمل کند، سفارش به میزان Q^*_R را صادر می‌کند، و اگر خرده‌فروش برای تغییر سفارش خود به میزان بیشتر که مطلوب تولیدکننده است (مقدار Q^*_{MR})، تولیدکننده را ملزم به تغییرقیمت کند، یعنی سفارش خود را به K'برابر افزایش دهد ($K'>1$) و قیمت w به $d_{K'}w$ که $0<d_{K'}<1$ است، تغییر یابد، آنگاه با جاگذاری مقادیر جدید در معادله (۱) معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$B_R(d_{K'},K'Q^*_R)=(y-d_{K'}w)D-\frac{S_RD}{K'Q^*_R}-\left(\frac{K'Q^*_R}{2}+k\sigma\sqrt{\frac{K'Q^*_R}{P}+T}\right)h_R-\frac{\pi\sigma\sqrt{\frac{K'Q^*_R}{P}+T}G_u(k)D}{K'Q^*_R} \quad (۱۰)$$

به شرط برقراری معادله (۱۱) خرده فروش حاضر به تغییر مقدار سفارش خود خواهد بود.

$$B_R\left(d_{K'}w,K'Q^*_R\right)\geq B_R\left(Q^*_R\right)\Rightarrow d_{K'}\leq\frac{wD-b\left(Q^*_R\right)}{wD} \quad (۱۱)$$

که:

$$b(Q^*_R)=h_RQ^*_R\left(\frac{K'-1}{2}\right)+h_Rk\sigma\left(\sqrt{\frac{K'Q^*_R}{P}+T}-\sqrt{\frac{Q^*_R}{P}+T}\right)+\pi\sigma G_u(k)D\left(\frac{\sqrt{\frac{K'Q^*_R}{P}+T}}{K'Q^*_R}-\frac{\sqrt{\frac{Q^*_R}{P}+T}}{Q^*_R}\right)-S_RD\left(\frac{K'-1}{K'Q^*_R}\right)$$

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

در حقیقت، معادله (۱۱) تاکید می‌کند که مقدار ضریب کاهش قیمت، حد بالایی به صورت زیر دارد:

$$d_{K'max} = \frac{wD - b(Q_R^*)}{wD} \qquad (۱۲)$$

۴-۲- بررسی شرایط پذیرش تنظیم قیمت برای تولیدکننده

چون تولیدکننده ملزم به اجرای تصمیم خرده‌فروش است، اگر خرده‌فروش، سفارش خود را به K' برابر افزایش دهد ($K'>1$)، حاضر می‌شود قیمت خود را از w به $d_{K'}w$ که $0<d_{K'}<1$ است، تغییر دهد. در حالت عدم تغییر قیمت، معادله زیر برای سود تولیدکننده در شرایط واقعی برقرار است:

$$B_M\left(Q_R^*, Q_{VM}^*\right) = (w-f)D - \frac{h_M Q_R^* D}{2P} - \frac{S_{M1}D}{Q_R^*} - \frac{S_{M2}D}{Q_{VM}^*} - h_M\frac{Q_{VM}^*}{2} \qquad (۱۳)$$

با جاگذاری مقادیر جدید در معادله (۱۳)، معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$B_M\left(d_{K'}w, K'Q_R^*, Q_{VM}^*\right) = (d_{K'}w-f)D - \frac{h_M K'Q_R^* D}{2P} - \frac{S_{M1}D}{K'Q_R^*} - \frac{S_{M2}D}{Q_{VM}^*} - h_M\frac{Q_{VM}^*}{2} \qquad (۱۴)$$

به شرط برقراری رابطه (۱۵)، تولید کننده حاضر به افزایش مقدار سفارش خود خواهد بود.

$$B_M\left(d_{K'}w, K'Q_R^*, Q_{VM}^*\right) \geq B_M\left(Q_R^*, Q_{VM}^*\right) \Rightarrow d_{K'} \geq \frac{wD + g\left(Q_R^*\right)}{wD} \qquad (۱۵)$$

که:

$$g(Q_R^*) = \frac{h_M D Q_R^*(K'-1)}{P} - \frac{S_{M1}D}{Q_R^*}\left(\frac{K'-1}{K'}\right)$$

در حقیقت، معادله (۱۵) تاکید می‌کند که مقدار ضریب کاهش قیمت، حد پایینی به صورت زیر دارد:

$$d_{K'min} = \frac{wD + g(Q_R^*)}{wD} \qquad (۱۶)$$

اگر تولیدکننده نسبت به سفارش از تأمین‌کننده مستقلا عمل کند، سفارش به میزان Q_{VM}^* را صادر می‌کند، حال اگر تولیدکننده، برای تغییر سفارش خود به میزان بیشتر که مطلوب تأمین‌کننده است (به مقدار Q_V^*)، تأمین‌کننده را ملزم به تغییرقیمت کند، یعنی سفارش خود را به E برابر افزایش دهد ($E>1$) و تأمین‌کننده قیمت f را به $d_E f$ که $0<d_E<1$ است، تغییر دهد، آنگاه با جاگذاری مقادیر جدید در معادله (۳) معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$B_M\left(d_E f, Q_R^*, EQ_{VM}^*\right) = (w-d_E f)D - \frac{h_M Q_R^* D}{2P} - \frac{S_{M1}D}{Q_R^*} - \frac{S_{M2}D}{EQ_{VM}^*} - h_M\frac{EQ_{VM}^*}{2} \qquad (۱۷)$$

همچنین، به شرط برقراری معادله (۱۸)، تولید کننده حاضر به افزایش مقدار سفارش خود خواهد بود.

$$B_M\left(d_E f, Q_R^*, EQ_{VM}^*\right) \geq B_M\left(Q_R^*, Q_{VM}^*\right) \Rightarrow d_E \leq \left(\frac{E-1}{E}\right)S_{M2}\frac{1}{fQ_{VM}^*} - \frac{(E-1)h_M Q_{VM}^*}{2fD} + 1 \qquad (۱۸)$$

در حقیقت، معادله (۱۸) تاکید می‌کند که مقدار ضریب کاهش قیمت در این قسمت نیز، حد بالایی به صورت زیر دارد:

$$d_{Emax} = \left(\frac{E-1}{E}\right)S_{M2}\frac{1}{fQ_{VM}^*} - \frac{(E-1)h_M Q_{VM}^*}{2fD} + 1 \qquad (۱۹)$$

۴-۳- بررسی شرایط پذیرش تنظیم قیمت برای تأمین‌کننده

چون تأمین کننده، ملزم به اجرای تصمیم تولید کننده است، حاضر می‌شود قیمت f را به $d_E f$ که $0<d_E<1$ است، تغییر دهد، به‌طوری که تولیدکننده سفارش خود را به E برابر افزایش دهد ($E>1$).

در حالت عدم تغییر قیمت، معادله زیر برای سود تأمین‌کننده برقرار است:

$$B_V(Q_{VM}^*) = (f-c)D - \frac{h_V Q_{VM}^*}{2} - \frac{S_V D}{Q_{VM}^*} \qquad (۲۰)$$

با جاگذاری مقادیر جدید در معادله (۲۰) که در آن سعی

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

می‌شود سفارش تولیدکننده تغییر کند، معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$B_V(d_E f, EQ^*_{VM}) = (d_E f - c)D - \frac{h_V EQ^*_{VM}}{2} - \frac{S_V D}{EQ^*_{VM}} \quad (۲۱)$$

تغییر قیمت، وقتی برای تأمین کننده مطلوب است که معادله (۲۲) برقرار باشد.

$$B_V\left(d_E f, EQ^*_{VM}\right) \geq B_V\left(Q^*_{VM}\right) \Rightarrow$$
$$d_E \geq \left(\frac{E-1}{2Df}\right)h_M Q^*_{VM} - \left(\frac{E-1}{Ef}\right)\frac{S_V}{Q^*_{VM}} + 1 \quad (۲۲)$$

در حقیقت، رابطه (۲۲) تاکید می‌کند که مقدار ضریب کاهش قیمت، اعمالی توسط تأمین‌کننده، حد پایینی به صورت زیر دارد:

$$d_{E\min} = 1 + \left(\frac{E-1}{2Df}\right)h_V Q^*_{VM} - \left(\frac{E-1}{Ef}\right)\frac{S_V}{Q^*_{VM}} \quad (۲۳)$$

۵- اعمال سیاست هماهنگی با استفاده از مکانیزم تنظیم قیمت

بدیهی است که هر بخش زنجیره تأمین، به دنبال ماکزیمم‌کردن سود خود است. در این بخش، نحوه اعمال مکانیزم هماهنگی و افزایش سود هر یک از اعضا بررسی می‌شود.

۵-۱- سیاست بهینه تحت سیاست تصمیم‌گیری کلی

سود کلی زنجیره تأمین، برابر مجموع سودهای هر یک از اعضاست که تحت دو سفارش Q_1 و Q_2 به‌دست می‌آید و برابر است با:

$$B(Q_1,Q_2) = B_R(Q_1) + B_M(Q_1,Q_2) + B_V(Q_2) = (y-c)D - \frac{S_R D}{Q_1} - \left(\frac{Q_1}{2} + k\sigma\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}\right)h_R - \frac{\pi\sigma\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}DG_U(k)}{Q_1} - \frac{h_M Q_1 D}{2P} - \frac{S_{M1}D}{Q_1} - \frac{S_{M2}D}{Q_2} - h_M\frac{Q_2}{2} - h_V\frac{Q_2}{2} - \frac{S_V D}{Q_2} \quad (۲۴)$$

گرادیان تابع $B(Q_1,Q_2)$ را برابر صفر قرار می‌دهیم و دستگاه معادلات به‌دست آمده را حل می کنیم، مقادیر Q_1 و Q_2^* به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2D\left(S_R + S_{M1} + \pi\sigma G_U(k)\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}\right)}{h_R\left(1+\frac{k\sigma}{P\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}}\right) + \frac{D}{P}\left(h_M + \frac{\pi\sigma G_U(k)}{Q_1\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}}\right)}} \quad (۲۵)$$

$$Q_2^* = \sqrt{\frac{2D(S_{M2}+S_V)}{h_M + h_V}} \quad (۲۶)$$

با بررسی مشتق دوم معادله (۲۴)، مشخص می‌شود که محدب-بودن تابع مورد نظر بر حسب متغیر Q_1 قطعی نیست، لذا با استفاده از روشهای عددی می‌توان به یک نقطه بهینه محلی دست یافت که معادله (۲۵) در آن برقرار باشد.

الگوریتم حل، برای به‌دست‌آوردن جواب بهینه محلی به‌صورت زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

الگوریتم:

شروع:

قدم ۱: محاسبه $Q_1 = \sqrt{\frac{2D(S_R+S_{M1})}{h_R + \frac{D}{P}h_M}}$.

قدم ۲: با جاگذاری Q_1 در تساوی زیر، مقدار Q_1' را محاسبه می‌کنیم.

$$Q_1' = \sqrt{\frac{2D\left(S_R + S_{M1} + \pi\sigma G_U(k)\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}\right)}{h_R\left(1+\frac{k\sigma}{P\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}}\right) + \frac{D}{P}\left(h_M + \frac{\pi\sigma G_U(k)}{Q_1\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}}\right)}}$$

قدم ۳:

الف) اگر $Q_1' = Q_1$، آنگاه $Q_1^* = Q_1$ و توقف می کنیم.

ب) اگر $Q_1' \neq Q_1$، آنگاه Q_1' را به جای مقدار Q_1 قرار می‌دهیم ($Q_1 = Q_1'$) و به قدم (۲) می‌رویم.

۵-۲- سیاست بهینه تحت اعمال مکانیزم تنظیم قیمت

برای اعمال سیاست هماهنگی دو مقدار زیر بر اساس

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

ماکزیمم‌کردن سود کلی زنجیره تأمین تعریف می‌شوند:

$$K' = \frac{Q_1^*}{Q_R^*} \quad (۲۷)$$

و

$$E = \frac{Q_2^*}{Q_{VM}^*} \quad (۲۸)$$

لم ۱) مقادیر K' و E که در معادلات (۲۷) و (۲۸) تعریف شده‌اند، در رابطه ذیل صدق می‌کنند: $K' \geq 1$ و $E \geq 1$.

اثبات: اگر دو تابع مقعر G_1 و G_2 دارای ماکزیمم a و b $(a < b)$باشند، ماکزیمم (بهینه) $G_1 + G_2$ در بازه $[a,b]$ قرار می‌گیرد، زیرا:

- اگر $x < a$ باشد، چون دو تابع مقعر G_1 و G_2 در سمت چپ a صعودی‌اند، لذا نقطه‌ای درسمت راست x وجود دارد که دارای مجموع بهتری است و در نتیجه x نمی‌تواند بهینه باشد.
- اگر $x > b$ باشد، چون دو تابع مقعر G_1 و G_2 در سمت راست b نزولی‌اند، لذا نقطه‌ای درسمت چپ x وجود دارد که دارای مجموع بهتری است و در نتیجه x نمی‌تواند بهینه باشد.

طبق استدلال فوق و با توجه به مقادیر بهینه توابع سود برای هر یک از اجزا، $Q_1^* \geq Q_R^*$, $Q_2^* \geq Q_{VM}^*$ در نتیجه $K' \geq 1$ و $E \geq 1$.

در حالت تساوی با ۱، مقادیر سفارش بدون تغییر قیمت باقی می‌مانند که این حالت در بررسیها در نظر گرفته نشده است. لم ۲ بیان می‌کند که حتماً" حداقل یکی از روابط به‌صورت نامساوی مطلق برقرار می شود.

لم ۲) وقتی خرده‌فروش و تولیدکننده مقادیر سفارش Q_1^* و Q_2^* را انتخاب کند، سود کلی زنجیره تأمین بیشتر از سود در حالت تصمیم‌گیری مستقل طرفین می‌شود، یعنی:

$$B\left(Q_1^*, Q_2^*\right) > B_R\left(Q_R^*\right) + B_M\left(Q_R^*, Q_{VM}^*\right) + B_V\left(Q_{VM}^*\right) \quad (۲۹)$$

اثبات: اگر در قیمتهای $d_{K'}w$ و $d_E f$ که $d_{K'min} \leq d_{K'} \leq d_{K'max}$ و $d_{Emin} \leq d_E \leq d_{Emax}$ باشد، مقادیر اقتصادی سفارش برابر Q_1^* و Q_2^* باشد، یعنی:

$$\begin{cases} Q_1^* = K'Q_R^* \\ Q_2^* = EQ_{VM}^* \end{cases}$$

سود تک‌تک اعضای زنجیره تأمین طبق حالات بررسی شده افزایش می‌یابد، یعنی:

$$B_R\left(d_{K'}w, K'Q_R^*\right) \geq B_R\left(W, Q_R^*\right) \quad (۳۰)$$

$$B_M\left(d_{K'}w, K'Q_R^*, d_E f, EQ_{VM}^*\right) \geq B_M\left(w, Q_R^*, f, Q_{VM}^*\right) \quad (۳۱)$$

$$B_V\left(d_E f, EQ_{VM}^*\right) \geq B_V\left(f, Q_{VM}^*\right) \quad (۳۲)$$

در نتیجه:

سود در حالت همکاری > سود در حالت عدم همکاری. یعنی، مجموع سود در حالت همکاری با سفارشهای Q_1^* و Q_2^* و قیمتهای $d_{K'}w$ و $d_E f$، از مجموع سود در حالت عدم‌همکاری با سفارشهای Q_R^* و Q_{VM}^* و قیمتهای w و f بیشتر است.

باید توجه داشت که چون فرض بر تغییر سفارش و متناظر آن تغییر قیمت است، مجموع طرفین روابط (۳۰) و (۳۱) و (۳۲) به حالت اکیداً نامساوی برقرار خواهد شد (یعنی مجموع سود در حالت همکاری > مجموع سود در حالت عدم همکاری)، زیرا، اگر در رابطه خرده‌فروش و تولیدکننده یا رابطه بین تولیدکننده و تأمین‌کننده، سود یکی از طرفین تغییر نکند، براساس شرایط پذیرش تنظیم قیمت، سود طرف دیگر، حتماً افزایش پیدا خواهد کرد. بدین ترتیب لم اثبات می‌شود.

۵-۳- مکانیزم تنظیم قیمت بر اساس تقسیم سود (هماهنگی)

مکانیزم تقسیم سود، بر اساس ماکزیمم کردن سود کلی زنجیره و افزایش سود اجزای زنجیره بنا شده است. طبق لم ۲، اثبات شد که سود کل زنجیره در حالت بهینه و پذیرش همکاری، نسبت به عدم همکاری اعضا با مقادیر سفارش Q_R^* و Q_{VM}^*، افزایش می‌یابد که بیشترین سود کل نیز در مقادیر

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

سفارش Q_1^* و Q_2^* به‌دست می‌آید. حال، فرض می‌شود که تابع سود، به دو بخش تقسیم شود که یک بخش، رابطه سود بین خرده‌فروش و تولیدکننده و بخش دوم، رابطه سود بین تولیدکننده و تأمین‌کننده را نشان دهد که این دو بخش در زیر نشان داده شده‌اند:

۱- سود بین خرده‌فروش و تولیدکننده:

$$\begin{aligned} B_R(Q_1)+B_M(Q_1) &= (y-f)D \\ &-\frac{S_R D}{Q_1}-\left(\frac{Q_1}{2}+k\sigma\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}\right)h_R \\ &-\frac{\pi\sigma\sqrt{\frac{Q_1}{P}+T}DG_U(k)}{Q_1} \\ &-\frac{h_M Q_1 D}{2P}-\frac{S_{M1}D}{Q_1} \end{aligned} \qquad (۳۳)$$

۲- سود بین تولیدکننده و تأمین‌کننده:

$$\begin{aligned} B_M(Q_2)+B_V(Q_2) &= (f-c)D-\frac{S_{M2}D}{Q_2} \\ &-h_M\frac{Q_2}{2}-h_V\frac{Q_2}{2}-\frac{S_V D}{Q_2} \end{aligned} \qquad (۳۴)$$

مطابق لم ۲، می‌توان اثبات کرد که هر دو بخش تقسیم‌شده، در حالت همکاری با مقادیر سفارش Q_1^* و Q_2^*، سود بیشتری نسبت به حالت عدم همکاری با مقادیر سفارش Q_R^* و Q_{VM}^* دارند. حال، مقدار سود اضافه در حالت کلی با درنظرگرفتن قیمتهای $d_{K'}w$ و $d_E f$ که $d_{K'min} \le d_{K'} \le d_{K'max}$ و $d_{Emin} \le d_E \le d_{Emax}$ است و مقادیر سفارش Q_1^* و Q_2^* نسبت به حالت عدم همکاری با مقادیر سفارش Q_R^* و Q_{VM}^*، محاسبه می‌شود و سپس مکانیزم زیر قابل اجرا خواهد بود:

فرض می‌شود که بین خرده‌فروش و تولیدکننده، مقرر شود که α درصد از افزایش سود (نمایش داده شده با U_1)، در حالت همکاری دو طرف با مقدار سفارش Q_1^*، نسبت به حالت عدم همکاری طرفین با مقدار سفارش Q_R^*، به خرده‌فروش و مابقی به تولیدکننده تخصیص داده شود، در این حالت با تخصیص α درصد از افزایش سود به خرده‌فروش، از رابطه (۳۵)، مقدار قیمت تنظیمی و هماهنگ‌شده w' مابین خرده‌فروش و تولیدکننده به‌دست می‌آید.

$$\begin{aligned} &(y-w')D-\frac{S_R D}{Q_1^*}-\left(\frac{Q_1^*}{2}+k\sigma\sqrt{\frac{Q_1^*}{P}+T}\right)h_R \\ &-\frac{\pi\sigma\sqrt{\frac{Q_1^*}{P}+TG_u(k)}D}{Q_1^*} = (y-w)D-\frac{S_R D}{Q_R^*} \\ &-\left(\frac{Q_R^*}{2}+k\sigma\sqrt{\frac{Q_R^*}{P}+T}\right)h_R \\ &-\frac{\pi\sigma\sqrt{\frac{Q_R^*}{P}+TG_u(k)}D}{Q_R^*}+U_1 \end{aligned} \qquad (35)$$

از طرف دیگر، فرض می‌شود بین تولیدکننده و تأمین‌کننده توافق شده است که β درصد از افزایش سود (نمایش داده شده با U_2)، در حالت همکاری دو طرف با مقدار سفارش Q_2^*، نسبت به حالت عدم همکاری طرفین با مقدار سفارش Q_{VM}^*، به تولیدکننده و مابقی به تأمین‌کننده تخصیص داده شود. در این حالت، با تخصیص β درصد از افزایش سود به تولیدکننده و از طریق رابطه (۳۶) و با توجه به قیمت به‌دست‌آمده w'، مقدار قیمت تنظیمی و هماهنگ‌شده f' مابین تولیدکننده و تأمین‌کننده به‌دست می‌آید.

$$\begin{aligned} &(w'-f')D-\frac{S_{M2}D}{Q_2^*}-h_M\frac{Q_2^*}{2} \\ &=(w'-f)D-\frac{S_{M2}D}{Q_{VM}^*}-h_M\frac{Q_{VM}^*}{2}+U_2 \end{aligned} \qquad (۳۶)$$

باید توجه داشت که ضرایب α و β، در حقیقت منعکس‌کننده قدرت چانه‌زنی اجزای زنجیره‌اند.

۶- مثال عددی

فرض کنید مصرف سالیانه کالایی در سال از توزیع نرمال با میانگین ۱۵۰۰ واحد کالا(D) و واریانس ۱۰۰ واحد کالا (σ^2) باشد و اطلاعات دیگر لازم در مورد مدل ارائه‌شده به

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

صورت زیر موجود باشد:

S_R: هزینه ثابت سفارش‌دهی برای خرده‌فروش برابر ۵۰۰ واحد پول.

S_{M1}: هزینه ثابت راه‌اندازی برای تولیدکننده برابر ۵۰۰۰ واحد پول برای هر بار تولید.

S_{M2}: هزینه ثابت سفارش‌دهی برای تولید کننده برابر ۸۰۰ واحد پول برای هر بار سفارش .

S_V: هزینه ثابت سفارش‌دهی برای تأمین‌کننده برابر ۱۵۰۰ واحد پول برای هر بار سفارش.

h_R: هزینه نگهداری برای خرده‌فروش برابر ۲۰۰ واحد پول برای واحد کالا در سال.

h_M: هزینه نگهداری برای تولیدکننده برابر ۵۰ واحد پول برای واحد کالا در سال.

h_V: هزینه نگهداری برای تأمین‌کننده برابر ۳۵ واحد پول برای هر واحد کالا در سال.

y: قیمت فروش نهایی توسط خرده‌فروش به ازای واحد کالا برابر۲۵۰ واحد پول.

w: قیمت فروش تولیدکننده به خرده‌فروش به ازای واحد کالا برابر۲۲۵ واحد پول.

f: قیمت فروش تأمین‌کننده به تولیدکننده به ازای واحد کالا برابر۱۲۵ واحد پول.

c: قیمت خرید مواد خام توسط تأمین‌کننده به ازای واحد کالا برابر۱۰۰ واحد پول.

π: هزینه هر واحد تقاضای عقب‌افتاده برای خرده‌فروش برابر ۳۰۰ واحد پول.

k: ضریب اطمینان برای خرده‌فروش برابر۱/۶۴.

P: نرخ تولید تولید کننده برابر۱۵۰۰۰ واحد در سال.

T : مقدار تاخیر ثابت ناشی از حمل و نقل و غیره در زمان تحویل کالا از تولیدکننده به خرده‌فروش برابر ۰/۰۵ سال.

α: درصد توافق‌شده تقسیم اضافه سود مابین خرده‌فروش و تولیدکننده در حالت همکاری، نسبت به حالت بدون همکاری، که به خرده‌فروش می‌رسد برابر ۵۰ ٪.

β: درصد توافق‌شده تقسیم اضافه سود مابین تولیدکننده و تأمین‌کننده در حالت همکاری، نسبت به حالت بدون همکاری، که به تولیدکننده می‌رسد برابر ۵۰ ٪.

Q_R: مقدار اقتصادی سفارش خرده‌فروش قبل از تنظیم قیمت و هماهنگی بر حسب واحد کالا.

Q_{MR}: مقدار اقتصادی تولید تولیدکننده قبل از تنظیم قیمت و هماهنگی بر حسب واحد کالا.

Q_{VM}: مقدار سفارش اقتصادی تولیدکننده از تأمین‌کننده قبل از تنظیم قیمت و هماهنگی بر حسب واحد کالا.

Q_V: مقدار سفارش اقتصادی تأمین‌کننده قبل از تنظیم قیمت و هماهنگی بر حسب واحد کالا.

نتایج به‌دست آمده از حل مثال در جدول (۱) آورده شده است، لازم به ذکر است کلیه روابطی که نیاز به روشهای حل عددی دارند، با استفاده از الگوریتم ارائه شده در متن مقاله حل شده‌اند.

سایر نتایج مکانیزم هماهنگی به‌صورت زیر به‌دست می آید:

K'= ۳/۲۴	d_{Emin}= ۰/۹۹۶۱
E= ۱/۳۰	final d_K= ۰/۹۳۳۲
$d_{K'max}$= ۰/۹۵۹۷	final d_E= ۰/۹۹۷۸
$d_{K'min}$= ۰/۸۲۷۷	f'= ۱۲۴/۷۲
d_{Emax}= ۰/۹۹۸۰	w'= ۲۰۹/۹۸

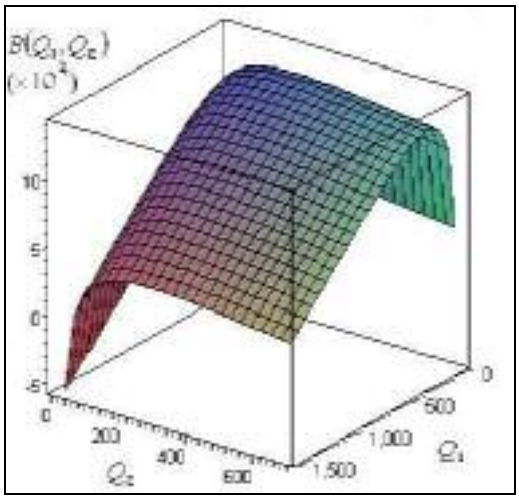
همچنین نمودار تابع $B(Q_1,Q_2)$ بر حسب مقادیر Q_1 و Q_2 در شکل (۱) نشان داده شده است.

همان‌طور که انتظار می‌رود و در جدول (۱) نشان داده شده است، در حالت ایدئال ستون a، سود کلی زنجیره به ماکزیمم مقدار می‌رسد که رخداد چنین حالتی ناممکن است. در عمل و در حالت تصمیم‌گیری مستقل (بدون هماهنگی) مقادیر ستون b اتفاق می‌افتد، ولی می‌توان با به‌کارگیری مکانیزم هماهنگی مطرح‌شده، همان‌طور که در ستون c مشاهده می‌شود، سود کلی زنجیره تأمین و همچنین سود تک‌تک اعضا را افزایش داد که درصد افزایش سود نیز محاسبه شده و در جدول آمده است.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

جدول ۱- نتایجی از حل عددی مثال مطرح شده

حالات / اعضا	تصمیم‌گیری مستقل و بدون اجبار (ستون a)	تصمیم‌گیری مستقل و بدون هماهنگی(همکاری) (ستون b)	تصمیم‌گیری با هماهنگی(همکاری) (ستون c)	درصد افزایش سود در حالت هماهنگی نسبت به حالت بدون هماهنگی
خرده‌فروش	Q_R^*= ۸۷/۶ میزان سود=۱۹۱۴۶/۲	Q_R^*= ۸۷/۶ میزان سود=۱۹۱۴۶/۲	Q_R^*= ۲۸۳/۵ میزان سود=۲۸۰۸۴/۲	٪۴۶/۷
تولیدکننده	Q_{MR}^*= ۱۷۳۲/۱ Q_{VM}^*= ۲۱۹/۱ میزان سود=۱۳۰۳۸۵/۳	Q_R^*= ۸۷/۶ Q_{VM}^*= ۲۱۹/۱ میزان سود=۵۳۲۳۳/۲	Q_1^*= ۲۸۳/۵ Q_2^*= ۲۸۴/۹ میزان سود=۸۹۳۹۲/۹	٪۶۷/۹
تأمین‌کننده	Q_V^*= ۳۵۸/۶ میزان سود=۲۴۹۵۰/۱	Q_{VM}^*= ۲۱۹/۱ میزان سود=۲۳۳۹۶/۱	Q_Z^*= ۲۸۴/۹ میزان سود=۲۴۱۹۶/۶	٪۳/۴
سود کلی	۱۷۴۴۸۱/۶	۹۵۷۷۵/۵	۱۴۱۶۷۳/۸	٪۴۷/۹



شکل ۱- نمودار تابع $B(Q_1, Q_2)$

۷- نتیجه‌گیری

کاهش هزینه و افزایش سطح سرویس، از مهمترین عوامل رقابت در بازار است. در این راستا، مدیریت زنجیره تأمین در چارچوب یک جامع‌نگری سیستمی و به منظور کاهش هزینه و افزایش سطح سرویس در ارائه محصول و خدمات به مشتری، هماهنگی بین اعضا را مورد توجه قرار می‌دهد.

لی و لیو، یک مکانیزم جدید در جهت هماهنگی در زنجیره تأمین دو سطحی پیشنهاد کرده‌اند. آنها نشان دادند که مکانیزم ارائه‌شده، موجب افزایش سود تک‌تک اعضا و همچنین سود کلی زنجیره می‌شود. در این تحقیق، مسئله هماهنگی در زنجیره تأمین سه‌سطحی، با استفاده از همین مکانیزم تنظیم قیمت، بررسی شده است. در این مقاله، با فرض سه سطحی‌بودن زنجیره تأمین و همچنین با فرض متغیربودن زمان تحویل برای خرده‌فروش، که به محیط واقعی نزدیکتر است، مکانیزم هماهنگی بررسی شده است. نتایج هماهنگی، نشان می‌دهند که سود کلی زنجیره تأمین در حالت هماهنگی افزایش پیدا می‌کند و همچنین، سود تک‌تک اعضا در اثر به‌کارگیری این مکانیزم افزایش می‌یابد.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]

در نظرگـرفتن هزینـه‌هـای حمـل ونقـل در مـدل در انـواع مختلف، به صورت عادی و یا به شکل تخفیف در قیمت حمل، در نظرگرفتن تقاضا به صـورت متغیـر بـا زمـان، در نظرگـرفتن تقاضا به شکل توزیعهای احتمـالی دیگـر، در نظرگـرفتن زمـان تحویل به صورت فازی، زمینه‌هایی بـه منظـور توسـعه مـدل و تحقیقات آتی است.

مراجع

1. Li, J., and Liu, L., "Supply Chain Coordination with Quantity Discount policy," *International Journal of Production Economics*, 2006.
2. Sarmah, S.P., Acharya, D., and Goyal, S.K., "Buyer Vender Coordination Models in Supply Chain Management," *European Journal of Operation Research*, 2005.
3. Narasimhan, R., and Carter, J.R., "Linking Business Unit and Material Sourcing Strategies," *Journal of Business Logistics,* Vol. 19, No. 2, PP. 155-171, 1998.
4. Thomas, D.J, and Griffin, P.M., "Coordinated Supply Chain Management," *European Journal of Operations Research*, Vol. 94, pp. 1-15, 1996.
5. 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*, 2003.
6. 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, 2005.
7. Chen, T.H., and Chen, J.M., "Optimizing Supply Chain Collaboration Based on Joint Repleshipment and Channel Coordination," Transportation Research, part E, 2005.
8. Chen, J.M, and Chen, T.H, "The Profit-Maximation model for a Multi-Item Distribution Channel," Transportation Research, part E, 2006.
9. Viswanathan, S. and Piplani, R., "Coordinating Supply Chain Inventories Through Common Replenishment Epochs," *European Journal of Operational Research*, Vol. 129, pp. 277-286, 2001.
10. Klastorin, T.D., Moinzadeh, K., and Son J., "Coordinating Orders in Supply Chains Through Price Discount," *IEE Transactions*, Vol. 34, pp. 679-689, 2002.
11. Weng, Z.K., "Channel Coordination and Quantity Discount," *Management Science*, Vol. 41, pp. 1509-1522, 1995.
12. Weng, Z.K., "Modeling Quantity Discount Under General Price Sensitive Demand Functions: Optimal Policies and Relationships," *European Journal of Operational Research* Vol. 86, No. 2, PP. 300-314, 1995.
13. Monahan, J.P., "A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vender Profits," *Management Science*, Vol. 30, pp. 720-726, 1984.
14. 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.
15. Kohli, R., and Park, H., "A Cooperative Game Theory Model for Quantity Discount," *Management Science*, Vol. 35, pp. 693-707, 1989.
16. Palar, M., and Wang, Q., "Discounting Decisions in a Supplier-Buyer Relationship with a Linear Buyer's Demand," *IIE Transactions*, Vol. 26, No. 2, pp. 34-41, 1994.
17. Crowther, J., "Rationale for Quantity Discount," Harvard Business Review, March-April, pp. 121-127, 1964.
18. Lal, R., and Stalin, R., "An Approach for Developing an Optimal Discount Pricing Policy," Management Science, Vol. 30, pp. 1524-1539, 1984.
19. Dada, M. and Srikanth, K.N., "Pricing Policies for Quantity Discount," *Management Science*, Vol. 6, pp. 1-27, 1987.
20. Weng, Z.K., "Channel Coordination and Quantity Discount," *Management Science*, Vol. 41, pp. 1509-1522, 1995.
21. Chen, F., Federgeruen, A., and Zheng Y., "Coordination Mechanisms for Distribution System with one Supplier and Multiple Retailers," *Management Science*, Vol. 47, No. 5, pp. 693-708, 2001.
22. Munson, C.L., and Rosenblatt, M.J., "Coordinating a Three-Level Supply Chain with Quantity Discounts," *IIE Transactions* Vol. 33, PP. 371-384, 2001.
23. Ben-Daya, M., and Hariga, M., "Integrated Single Vender Single Buyer Model with Stochastic Demand and Variable Lead Time," *International Journal of Production Economics*, Vol. 92, PP. 75-80, 2004.
24. Joglekar, P.N., "Comments on a Quantity Discount Pricing Model to Increase Vender Profits," *Management Science,* Vol. 34, PP. 1391-1399, 1988.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1387.27.2.5.1]