مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۱ - ۳۱، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۹۱-۸۳

Original Article

توسعه‌ی مدل موجودی تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI) با درنظرگرفتن تولید اقلام معیوب و تقاضا وابسته به قیمت

مهدی سیف‌برقی (دانشیار)
گروه مهندسی صنایع، دانشگاه الزهرا

مصطفی ستاک (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

عصمت تقی‌پور اناری* (کارشناس ارشد)
گروه مهندسی صنایع، دانشگاه الزهرا(س)

در این نوشتار یک مدل موجودی دوسطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده درنظرگرفته شده است. این مدل با هدف بهینه‌سازی هم‌زمان تصمیمات موجودی و قیمت‌گذاری برای بیشینه‌سازی سود اعضای زنجیره‌ی تأمین فرموله شده است. تحت این سیاست، خرده‌فروش با انتخاب قیمت خرده‌فروشی نقش خود را در تصمیم‌گیری حفظ می‌کند و تولیدکننده، مقدار و دفعات بازپرسازی، مقدار کمبود و قیمت عمده‌فروشی را تعیین می‌کند. طبق فرض‌های مسئله، تقاضا وابسته به قیمت است و تولیدکننده برای پاسخ‌گویی به تقاضا، انباشته‌ی تولیدی را در انباشته‌های کوچک‌تر برای خرده‌فروش ارسال می‌کند. همچنین فرایند تولید ناقص و کمبود در سایت خرده‌فروش به‌صورت پس‌افت کامل مجاز است. فرایند حل، برای یافتن تعادل بازی استاکلبرگ به‌منظور تعیین سطح بهینه‌ی متغیرها ارائه شده است. در نهایت، یک مثال عددی به‌همراه تحلیل حساسیت برای سنجش صحت اعتبار مدل و بررسی تأثیر پارامترها بر جواب بهینه و سود اعضای زنجیره‌حل شده است.

واژگان کلیدی: مدیریت موجودی توسط فروشنده، سیاست قیمت‌گذاری، اقلام معیوب، کمبود به‌صورت پس‌افت کامل، بازی استاکلبرگ.

m.seifbarghy@alzahra.ac.ir
setak@kntu.ac.ir
esmat_taghipoor@yahoo.com

۱. مقدمه

با افزایش رقابت در بازارهای جهانی، آگاهی از نقش و اهمیت زنجیره‌ی تأمین افزایش یافته و تلاش برای بهینه‌سازی آن‌به‌عنوان برجسته‌ترین عامل پیشرفت، مورد توجه قرارگرفته است. مدیریت موجودی یکی از ابعاد مدیریت زنجیره‌ی تأمین است که نقش مهمی در ایجاد هماهنگی بین اعضای زنجیره ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر رویکردهای جدیدی در زمینه‌ی مدیریت موجودی در زنجیره‌ی تأمین به‌وجود آمده که ایده‌ی اصلی آن‌ها انتقال مسئولیت تصمیم‌گیری‌های حیطه‌ی مدیریت موجودی هر حلقه به حلقه‌ی بالاتر است. مدیریت موجودی توسط فروشنده شیوه‌یی نوین در یکپارچه‌سازی زنجیره‌ی تأمین است که در آن تأمین‌کننده مسئولیت کنترل و بازپرسازی موجودی خرده‌فروش را برعهده دارد.[۱] ساختار مفهومی اولیه‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده در سال ۱۹۵۸ مطرح شد: «چه کسی باید مسئولیت کنترل موجودی‌ها را بر عهده داشته باشد؟»[۲] به‌طورکلی افزایش سطح سرویس و کاهش هزینه‌های سفارش‌دهی از مزایای VMI برای خرده‌فروشان است. از سوی دیگر، کاهش اثر شلاقی و استفاده‌ی بهینه از ظرفیت تولیدی ازجمله امتیازات استفاده از VMI برای تأمین‌کننده است.[۳] طی مقایسه‌ی مدیریت موجودی سنتی و VMI در یک زنجیره‌ی تأمین‌دوسطحی (سال ۲۰۱۰) که یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش را شامل می‌شد، مدل EOQ با فرض تقاضای قطعی و کمبود به‌صورت پس‌افت کامل درنظرگرفته شد.[۴] در همین سال یک مدل VMI برای زنجیره‌ی تأمین‌دوسطحی ارائه شد که در آن مرز موجودی ارسالی به خرده‌فروش‌ها مشخص است و عدم رعایت آن شامل جریمه برای فروشنده می‌شود.[۵] محققین در سال ۲۰۱۳ این مدل را با در نظرگرفتن فاصله‌های بازپرسازی نابرابر توسعه دادند. آن‌ها برای حل مسئله از یک روش هیورستیک بهره جستند.[۶]

یکی از ابعاد توسعه‌ی مدل‌های موجودی، درنظرگیری تقاضای وابسته به قیمت است که در آن با افزایش قیمت، تقاضا برای کالای نهایی کاهش می‌یابد. محققین در سال ۱۹۹۵ اولین مدل موجودی با تقاضای وابسته به قیمت را پیشنهاد کردند.[۷] در سال ۲۰۰۱، یک مدل موجودی ـ قیمت‌گذاری، با درنظرگرفتن تقاضای وابسته به قیمت فروش و کمبود به‌صورت پس افت پاره‌یی ارائه شد.[۸] سپس در سال ۲۰۰۸،

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۱۲/۲۰، اصلاحیه ۱۳۹۳/۴/۲۱، پذیرش ۱۳۹۳/۵/۲۲.

دو مدل موجودی با تقاضای وابسته به قیمت ارائه شد؛[۹] در مدل اول، یک قیمت واحد به همه‌ی بازارها پیشنهاد داده می‌شود، ولی در مدل دوم برای هر بازار قیمت متفاوتی درنظرگرفته شده است.[۹] در مدل یکپارچه‌ی تولید ـ موجودی ـ بازاریابی که در آن سود یکپارچه‌ی زنجیره‌ی تأمین‌دوسطحی بهینه ارائه می‌شود، با درنظرگیری سیاست ارسال با اندازه‌های مساوی و تقاضای وابسته به قیمت مدل‌سازی شده، حل دقیقی برای آن توسعه داده شده است.[۱۰]

در مدل‌های کلاسیک موجودی، محصولات‌تولیدشده کاملاً سالم فرض می‌شوند، در حالی‌که طبیعتاً در یک سیستم تولیدی یک ماشین نمی‌تواند همه‌ی محصولات تولیدی درکل دوره را سالم تولید کند. در سال ۱۹۸۶، برای نخستین بار مدلی برای مقدار تولید اقتصادی ارائه شد[۱۱و۱۲] که تولید اقلام بی‌کیفیت را مد نظر قرار می‌داد. در سال ۲۰۰۶ مدل تولیدی با امکان تولید محصولات خراب و بازرسی صددرصد محصولات مدل‌سازی ارائه، و هزینه‌های کنترل کیفیت در مدل تأثیر داده شد.[۱۳] در سال ۲۰۱۱، مدل مقدار سفارش اقتصادی با درنظرگرفتن وجود اقلام معیوب در هر انباشته‌ی دریافتی توسعه داده شد؛[۱۴] با این فرض که کمبود به‌صورت پس‌افت پاره‌یی مجاز است و دوره‌ی کمبود به‌صورت نمایی توزیع شده است.

مفهوم تحویل به‌موقع (JIT) اولین بار توسط شرکت تویوتا موتور مطرح شد و در اوایل ۱۹۸۰ اهمیت آن به رسمیت شناخته شد.[۱۵] نتایج حاصل از تحقیقات نشان می‌دهد که ارسال انباشته‌ی تولیدی در قالب بسته‌هایی با سایز کوچک‌تر منجر به کاهش هزینه‌ی سیستم می‌شود.[۱۶] در سال ۲۰۰۳، یک مدل یکپارچه‌ی موجودی در زنجیره‌ی تأمین‌دوسطحی ــ شامل یک تولیدکننده و یک خریدار ــ با درنظر گرفتن سیاست ارسال سفارش در قالب تعدادی بسته‌ی چندتایی و با هدف کاهش کل هزینه‌ها ارائه شد.[۱۷] در سال ۲۰۱۰ نیز رابطه‌ی بین یک خریدار و یک تولیدکننده، در حالتی که نرخ تولید از توزیع یکنواخت پیروی می‌کند، به‌گونه‌یی در نظرگرفته شد که تولیدکننده سفارش را در قالب تعدادی بسته با سایزکوچک‌تر برای خریدار ارسال می‌کند.[۱۸]

«نظریه‌ی بازی‌ها» ابزاری کاربردی برای تحلیل زنجیره‌ی تأمین با عوامل مختلف و اهداف متضاد است. محققین در سال ۲۰۱۰، از نظریه‌ی بازی استاکلبرگ برای مقایسه‌ی سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده، در حالتی که تولیدکننده رهبر بازی باشد، بهره گرفتند به‌طوری که در آن یکی از خرده‌فروش‌ها رهبر و تولیدکننده و سایر خرده‌فروش‌ها پیروان وی باشند.[۱۹] در سال ۲۰۱۳، یو و همکارانش یک سیستم VMI شامل یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش درنظرگرفتند که در آن تقاضا وابسته به قیمت است. در این مسئله، تولیدکننده از بازی استاکلبرگ برای انتخاب بهینه‌ی خرده‌فروش در یک سیستم VMI بهره برده است.[۲۰]

تحقیقات انجام‌شده پیرامون تأثیر سیاست VMI بر سامانه‌ی موجودی در زنجیره‌ی تأمین، یکپارچگی سیاست‌های سفارش‌دهی و قیمت‌گذاری، تلفیق مسائل کنترل کیفیت و کنترل موجودی، یکپارچگی سیاست‌های سفارش‌دهی و ارسال است. علی‌رغم توسعه‌ی مدل‌های نظری بسیاری که در زنجیره‌ی تأمین‌دوسطحی تحت سیاست VMI مطرح شده است، بحث تصمیمات هم‌زمان قیمت‌گذاری، مقدار بازپرسازی و دفعات بازپرسازی در سیستم‌هایی با امکان تولید اقلام معیوب و وجود کمبود مورد بررسی قرار نگرفته است. از این رو مطالعه‌ی حاضر به بررسی این مسئله اختصاص یافته است.

در بخش دوم این مقاله به بیان فرض‌ها و معرفی نمادهای به‌کار رفته در مدل پرداخته‌ایم. در بخش سوم مدل‌سازی مسئله ارائه شده و در بخش چهارم، فرایند حل مدل برای یافتن تعادل بازی استاکلبرگ بررسی شده است. در بخش پنجم با ارائه‌ی یک مثال و انجام تحلیل حساسیت، تأثیر پارامتر مرتبط با بازار، درصد اقلام معیوب و هزینه‌ی کمبود را بر متغیرهای تصمیم و سود اعضای زنجیره بررسی کرده‌ایم. در بخش پایانی نیز نتیجه‌گیری نهایی ارائه شده است.

۲. نمادها و فرضیات

۱.۲. پارامترها

$D(\delta)$: نرخ تقاضا به‌صورت تابعی خطی از قیمت خرده‌فروشی؛

a: عرض از مبداء تابع تقاضا؛

b: شیب تابع تقاضا؛

P: نرخ تولید در سایت تولیدکننده؛

A_S: هزینه‌ی آماده‌سازی تولیدکننده در هر بار راه‌اندازی؛

A_B: هزینه‌ی سفارش‌دهی خرده‌فروش در هر سفارش؛

F: هزینه‌ی حمل در هر بار تحویل؛

C_S: هزینه‌ی تولید هر واحد محصول؛

w: هزینه‌ی موجودی هر واحد محصول برای خرده‌فروش؛

h_S: هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد محصول در واحد زمان نزد واحد تولیدکننده؛

h_{B1}: هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد محصول سالم در واحد زمان نزد واحد خرده‌فروش؛

h_{B2}: هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد محصول معیوب در واحد زمان نزد واحد خرده‌فروش؛ $(h_{B2} < h_{B1})$؛

π: هزینه‌ی کمبود پس‌افت هر واحد محصول در واحد زمان نزد واحد خرده‌فروش؛

y: درصد اقلام معیوب در هر انباشته با اندازه‌ی Q، $(1 > y \geq 0)$؛

x: نرخ بازرسی در واحد زمان $(x > D)$؛

s: هزینه‌ی بازرسی هر واحد از محصول؛

d: هزینه‌ی دفع هر واحد از ضایعات؛

TP_S: سود کل تولیدکننده؛

TP_B: سود کل خرده‌فروش.

۲.۲. متغیرهای تصمیم

Q: اندازه انباشته در هر بازپرسازی؛

n: تعداد محموله‌ی ارسالی در هر چرخه‌ی تولید؛

δ: قیمت خرده‌فروشی؛

C_B: قیمت عمده‌فروشی تولیدکننده؛

B: مقدار کمبود به‌صورت پس‌افت هر واحد محصول.

۳.۲. فرضیه‌های مدل

۱. یک تولیدکننده برای تأمین یک محصول با یک خرده‌فروش تحت قرارداد VMI در ارتباط است. ازآنجا که تولیدکننده مسئول زنجیره‌ی تأمین است، خرده‌فروش با توجه به نرخ تقاضا، هزینه‌ی موجودی را به تولیدکننده بازپرداخت می‌کند.

۲. تقاضای مشتری نهایی، قطعی و به‌صورت تابعی از قیمت خرده‌فروشی و از نوع تقاضای افزایشی[۱] است.

۳. تولیدکننده به‌منظور مدیریت موجودی از سیاست مرور دائم موجودی پیروی می‌کند. همچنین برای انتقال محموله به سایت خرده‌فروش از «سیاست محموله‌ی هم‌اندازه و بدون تأخیر[۲]» بهره می‌گیرد، به‌طوری که در هر بار راه‌اندازی انباشته‌یی با اندازه‌ی

nQ تولید می‌کند و هر بار که موجودی در سایت خرده‌فروش به نقطه‌ی سفارش برسد مقدار انباشته‌یی با اندازه‌ی یکسان Q در اختیار خرده فروش قرار می‌دهد.

۴. فرایند تولید در سایت تولیدکننده، ناقص و دارای اقلام معیوب با درصد ثابت و معین (y) است.

۵. انباشته‌ی دریافتی با اندازه‌ی Q در سایت خرده‌فروش، با نرخ x در طول زمان $t = Q/x$ بازرسی می‌شود.

۶. با فرض مجاز بودن کمبود در سایت خرده‌فروش به‌صورت پس‌افت کامل، بخشی از اقلام سالم برای پاسخ‌گویی به تقاضای مشتریان دوره‌ی قبل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷. به‌دلیل مجاز نبودن کمبود در سایت تولیدکننده، زمان تولید هر انباشته باید از چرخه‌ی بازپرسازی کوچک‌تر و رابطه‌ی $D(\delta) < P(1-y)$ نیز برقرار باشد.

۸. بعد از فرایند بازرسی، اقلام معیوب تا پایان چرخه‌ی بازپرسازی در انبار خرده‌فروش نگه‌داری شده، و در زمان بازپرسازی مجدد به تولیدکننده بازگردانده می‌شود.

۹. هزینه‌ی نگه‌داری اقلام سالم در سایت خرده‌فروش بزرگ‌تر از هزینه‌ی نگه‌داری در سایت تولیدکننده است.

۱۰. رابطه‌ی هزینه‌ی تولید، قیمت عمده‌فروشی و خرده‌فروشی به‌صورت $C_S < C_B < \delta$ است.

۱۱. دوره‌ی برنامه‌ریزی نامحدود است.

۱۲. تحت قرارداد VMI، خرده‌فروش با انتخاب قیمت خرده‌فروشی نقش خود را در تصمیم‌گیری حفظ می‌کند و تولیدکننده مقدار بازپرسازی، دفعات بازپرسازی، مقدار کمبود و قیمت عمده‌فروشی را تعیین می‌کند.

۱۳. با توجه به غیرمتمرکز بودن زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه، برای حل مدل از بازی استاکلبرگ استفاده می‌شود.

۳. مدل‌سازی مسئله

۱.۳. مدل موجودی خرده‌فروش

سود خرده‌فروش با کسر مجموع هزینه‌ها (هزینه‌ی خرید محصول، هزینه‌ی موجودی) از درآمد حاصل از فروش محصول به مشتریان به‌دست می‌آید. فرض ما بر این است که تقاضا تابعی از قیمت خرده‌فروشی است. با توجه به این که $D(\delta) > 0$، بیشینه قیمت فروش a/b است. تابع سود خرده‌فروش در واحد زمان را می‌توان مطابق رابطه‌ی ۱ محاسبه کرد:

$$\begin{aligned}\text{Max } & TP_B(\delta) = [\delta - (C_B + \omega)]D(\delta)\\ \text{S.t. } & D(\delta) = a - b\delta\\ & \delta < a/b\end{aligned} \qquad (1)$$

۲.۳. مدل موجودی تولیدکننده

سود تولیدکننده با کسر مجموع هزینه‌ها از درآمد حاصل از فروش محصول به خرده‌فروش به دست می‌آید؛ هزینه‌های تولیدکننده شامل دو بخش هزینه‌ی مستقیم (C_1) و هزینه‌ی غیرمستقیم (C_2) است. تابع سود تولیدکننده در واحد زمان را می‌توان چنین مدل‌سازی کرد:

$$\begin{aligned}\text{Max } & TP_S(Q, n, C_B, B) = r - C_1 - C_2\\ \text{S.t. } & Q > 0\\ & C_B > 0\\ & n \text{ integer}\end{aligned} \qquad (2)$$

الف) درآمد تولیدکننده

با توجه به فرض‌های مسئله، خرده‌فروش با توجه به نرخ تقاضا، هزینه‌ی موجودی را به تولیدکننده بازپرداخت می‌کند. درآمد تولیدکننده شامل درآمد حاصل از فروش اقلام به خرده‌فروش و دریافت بازپرداخت هزینه‌ی موجودی طبق قرارداد VMI بین اعضای زنجیره تأمین است که متناسب با نرخ تقاضاست.

$$r = (C_B + \omega)D(\delta) \qquad (3)$$

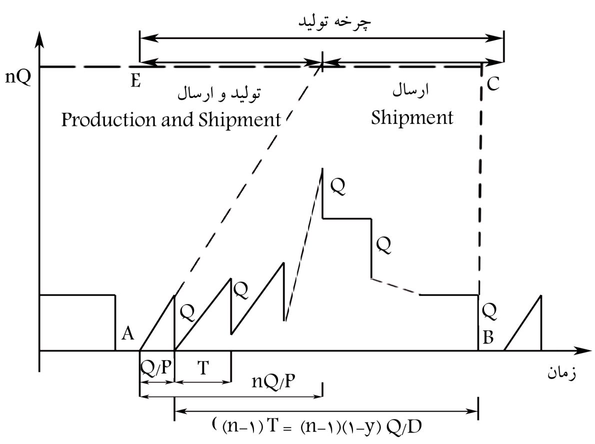
ب) هزینه‌ی موجودی مستقیم تولیدکننده

هزینه‌ی موجودی مستقیم تولیدکننده، دربرگیرنده‌ی هزینه‌ها در سایت تولیدکننده ــ شامل هزینه‌ی راه‌اندازی، هزینه‌ی تولید، هزینه‌ی نگه‌داری موجودی در سایت تولیدکننده، هزینه‌ی حمل، و هزینه‌ی دفع اقلام معیوب ــ است. در شکل ۱ شمایی از تغییرات سطح موجودی در سایت تولیدکننده نشان داده شده است.

طریق محاسبه‌ی اجزای هزینه‌ی موجودی مستقیم تولیدکننده عبارت است از:

- هزینه‌ی راه‌اندازی: هزینه‌ی هر بار راه‌اندازی سیستم تولید برای تولیدکننده معادل A_S است. بنابراین هزینه‌ی راه‌اندازی در واحد زمان از رابطه $\frac{A_S}{nT}$ قابل محاسبه است.
- هزینه‌ی تولید: اندازه‌ی انباشته‌ی تولیدکننده در هر چرخه‌ی تولید معادل nQ است. با توجه به هزینه‌ی C_S برای تولید هر واحد محصول، هزینه‌ی کل تولید در واحد زمان $\frac{C_S Q}{T}$ خواهد بود.
- هزینه‌ی نگه‌داری موجودی: با توجه به شکل ۱ موجودی تجمعی تولیدکننده در طول چرخه‌ی تولید چنین محاسبه می‌شود:

$$[S_{ABCE} - S_{ADE} - T[Q + 2Q + ... + (n-1)Q]] \qquad (4)$$



شکل ۱. موجودی در سایت تولیدکننده.

هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد محصول در واحد زمان در سایت تولیدکننده h_S و طول چرخه‌ی تولید $nT = n(1-y)Q/D$ است، بنابراین هزینه‌ی نگه‌داری موجودی تولیدکننده در واحد زمان در سایت تولیدکننده را مطابق رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{[S_{ABCE} - S_{ADE} - T\,[Q + 2Q + ... + (n-1)Q]]\,h_S}{nT} = \frac{\left(\begin{array}{c}\left[nQ(\frac{Q}{P} + (n-1)\frac{(1-y)Q}{D}) - \frac{n^2Q^2}{2P}\right] \\ -\frac{(1-y)Q}{D}\,[Q + 2Q + ... + (n-1)Q]\end{array}\right)h_S}{\frac{n(1-y)Q}{D}} =$$

$$\frac{h_SQ}{2}\left[n(1-\frac{D(\delta)}{P(1-y)})-1+\frac{2D(\delta)}{P(1-y)}\right] \qquad (5)$$

- هزینه‌ی حمل: هزینه‌ی ارسال انباشته‌به خرده‌فروش در هر چرخه‌ی بازپرسازی معادل F است. بنابراین هزینه‌ی حمل در واحد زمان از رابطه F/T قابل محاسبه است.

- هزینه‌ی دفع اقلام معیوب: تعداد اقلام معیوبی بازگشتی توسط خرده‌فروش در هر چرخه‌ی بازپرسازی، معادل $Q.y$ است. بنابراین هزینه‌ی دفع اقلام معیوب در واحد زمان به‌صورت $(dQy)/T$ خواهد بود. بر این اساس هزینه‌ی موجودی مستقیم تولیدکننده در واحد زمان مطابق رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌شود:

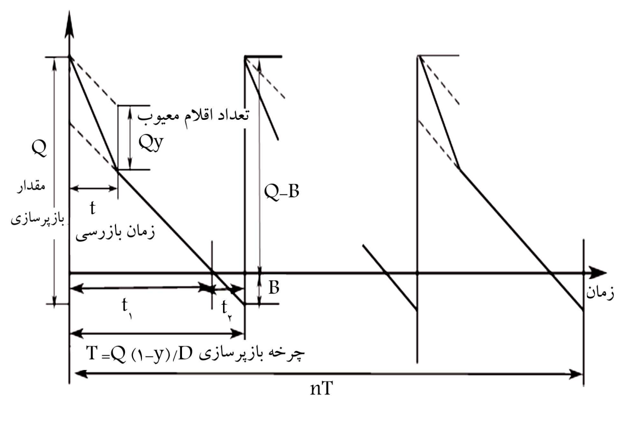
$$C_1 = \frac{D(\delta)A_S}{nQ(1-y)} + \frac{C_SD(\delta)}{(1-y)} + \frac{D(\delta)F}{Q(1-y)} + \frac{D(\delta)dy}{(1-y)} + \frac{h_SQ}{2}\left[n(1-\frac{D(\delta)}{P(1-y)}) - 1 + \frac{2D(\delta)}{P(1-y)}\right] \qquad (6)$$

ج) هزینه‌ی موجودی غیرمستقیم تولیدکننده

این هزینه ناشی از مدیریت موجودی خرده‌فروش توسط تولیدکننده ــ شامل هزینه‌ی سفارش‌دهی، هزینه‌ی بازرسی، هزینه‌ی کمبود و هزینه‌ی نگه‌داری اقلام سالم و معیوب ــ است. تغییرات سطح موجودی در دست در سایت خرده‌فروش در شکل ۲ نشان داده شده است.

روش محاسبه‌ی اجزای هزینه‌ی موجودی غیرمستقیم تولیدکننده عبارت است از:

- هزینه‌ی سفارش‌دهی: هزینه‌ی سفارش در هر چرخه‌ی بازپرسازی معادل A_B است. انباشته‌ی تولیدی در هر چرخه‌ی تولید، در n انباشته‌ی هم‌اندازه در اختیار



شکل ۲. موجودی در سایت خرده‌فروش.

خرده‌فروش قرار می‌گیرد. بنابراین هزینه‌ی سفارش‌دهی در واحد زمان به‌صورت $\frac{A_B}{T}$ قابل محاسبه است.

- هزینه‌ی بازرسی: هزینه‌ی بازرسی هر واحد محصول در سایت خرده‌فروش در هر چرخه‌ی بازپرسازی معادل S است. بنابراین هزینه‌ی بازرسی در واحد زمان از رابطه $\frac{SQ}{T}$ قابل محاسبه است.

- هزینه‌ی کمبود: در هر چرخه‌ی بازپرسازی، هزینه‌ی کمبود هر واحد محصول معادل π و مقدار کمبود B است. بنابراین هزینه‌ی کمبود در واحد زمان از رابطه‌ی $\pi\frac{n.B.t_2}{2} = \frac{\pi.B^2}{2Q(1-y)}$ قابل محاسبه است.

- هزینه‌ی نگه‌داری اقلام سالم و معیوب در سایت خرده‌فروش: با توجه به شکل ۲ می‌توان هزینه‌ی نگه‌داری اقلام سالم و هزینه‌ی نگه‌داری اقلام معیوب در سایت خرده‌فروش در واحد زمان را چنین محاسبه کرد:

الف) هزینه‌ی نگه‌داری اقلام سالم تا پایان چرخه بازپرسازی: به‌دلیل مجاز بودن کمبود به‌صورت پس‌افت کامل، تنها بخشی از اقلام سالم $(Q(1-y)-B)$ برای پاسخ‌گویی به تقاضای دوره فعلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد محصول در انبار محصولات سالم در واحد زمان معادل h_{B1} است. بنابراین هزینه‌ی نگه‌داری اقلام سالم در طول چرخه‌ی بازپرسازی از رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌شود:

$$\frac{nh_{B1}}{nT}\left(\frac{1}{2}(Q(1-y)-B)(t_1)\right) = h_{B1}(\frac{(Q(1-y)-B)^2}{2Q(1-y)}) \qquad (7)$$

ب) هزینه‌ی نگه‌داری اقلام معیوب تا پایان چرخه بازپرسازی: تعداد اقلام معیوب در هر انباشته معادل $Q.y$ و هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد محصول در انبار ضایعات در واحد زمان معادل h_{B2} است. اقلام معیوب در زمان بازرسی در انبار محصولات سالم، و پس از آن در انبار ضایعات نگه‌داری می‌شود، و در زمان بازپرسازی مجدد به تولیدکننده بازگردانده می‌شود. بنابراین هزینه‌ی نگه‌داری اقلام معیوب چنین محاسبه می‌شود:

$$\frac{nh_{B1}}{nT}\left(\frac{1}{2}(Qy)(t)\right) + \frac{nh_{B2}}{nT}\left(QyT - \frac{1}{2}(Qy)(t)\right) = h_{B1}(\frac{D(\delta)Qy}{2x(1-y)}) + h_{B2}(Qy - \frac{D(\delta)Qy}{2x(1-y)}) \qquad (8)$$

درنتیجه هزینه‌ی موجودی غیرمستقیم تولیدکننده در واحد زمان عبارت است از:

$$C_2 = \frac{D(\delta)A_B}{Q(1-y)} + \frac{SD(\delta)}{(1-y)} + \frac{\pi.B^2}{2Q(1-y)} + h_{B1}(\frac{(Q(1-y)-B)^2}{2Q(1-y)} + \frac{D(\delta)Qy}{2x(1-y)}) + h_{B2}(Qy - \frac{D(\delta)Qy}{2x(1-y)}) \qquad (9)$$

۴. حل مدل

۱.۴. بازی استاکلبرگ

در بازی استاکلبرگ، پیشرو[3] با امتیاز دانستن بهترین پاسخ دنباله‌رو[4]، متغیرهای تصمیم خود را تعیین می‌کند و سپس، دنباله‌رو با درنظرگرفتن مقادیر محاسبه شده

مقدار متغیر تصمیم خود را برای بیشینه‌سازی سود محاسبه می‌کند. در این صورت با تغییر تصمیم دنباله‌رو، پیشرو با توجه به بهترین پاسخ دنباله‌رو و برای بیشینه‌سازی سودش، مقادیر متغیرها را تغییر خواهد داد. این رویه تا جایی ادامه می‌یابد که پیش‌رو نتواند سود خود را افزایش دهد، و درنتیجه به تعادل استاکلبرگ خواهند رسید. در حالت تعادل، هیچ یک مایل به تغییر شرایط نخواهند بود، زیرا نقطه‌ی تعادل بیشترین سود را برای هریک ایجاد می‌کند.[21] رابطه‌ی تولیدکننده ـ خرده‌فروش در بازی استاکلبرگ را می‌توان چنین فرمول‌بندی کرد:

$$\begin{aligned}
\text{Max } TP_S\,(Q,n,C_B,B) =\ & (C_B+\omega)D(\delta) - \frac{D(\delta)A_S}{nQ(1-y)} \\
& - \frac{C_S D(\delta)}{(1-y)} - \frac{D(\delta)F}{Q(1-y)} - \frac{dyD(\delta)}{(1-y)} \\
& - \frac{h_S Q}{2}\left[n(1-\frac{D(\delta)}{P(1-y)}) - 1 + \frac{2D(\delta)}{P(1-y)}\right] \\
& - \frac{D(\delta)A_B}{Q(1-y)} - \frac{SD(\delta)}{(1-y)} - \frac{\pi B^2}{2Q(1-y)} \\
& - h_{B1}(\frac{(Q(1-y)-B)^2}{2Q(1-y)} + \frac{D(\delta)Qy}{2x(1-y)}) \\
& - h_{B2}(Qy - \frac{D(\delta)Qy}{2x(1-y)}) \\
\text{S.t. } & Q > 0 \\
& C_B > 0 \\
& B > 0 \\
& n \text{ integer} \\
\text{Max } TP_B\,(\delta) =\ & (\delta - C_B - \omega)D(\delta) \\
\text{S.t. } & D(\delta) = a - b\delta \\
& \delta < a/b
\end{aligned} \tag{10}$$

۲.۴. فرایند حل مدل

۱.۲.۴. بهترین واکنش خرده‌فروش

مقدار $D(\delta) = a - b\delta$ را در تابع هدف قرار می‌دهیم:

$$\text{Max } TP_B(\delta) = (\delta - C_B - \omega)(a - b\delta) \tag{11}$$

سپس از تابع هدف خرده‌فروش نسبت به δ دو بار مشتق می‌گیریم:

$$\frac{\partial^2 TP_B(\delta)}{\partial \delta^2} = -2b < 0 \tag{12}$$

با توجه به این که تابع سود خرده‌فروش نسبت به قیمت خرده‌فروشی مقعر است، بهترین تابع واکنش خرده‌فروش را می توان چنین محاسبه کرد:

$$\frac{\partial TP_B(\delta)}{\partial \delta} = 0 \tag{13}$$

$$\delta^* = \frac{a}{2b} + \frac{(C_B+\omega)}{2} \tag{14}$$

۲.۲.۴. تصمیم تولیدکننده

مدل تولیدکننده را با جایگزینی بهترین تابع واکنش خرده‌فروش چنین بازنویسی می‌کنیم:

$$\begin{aligned}
\text{Max } TP_S\,(Q,n,C_B,B) =\ & (C_B+\omega)D(\delta^*(C_B)) \\
& - \frac{D(\delta^*(C_B))A_S}{nQ(1-y)} - \frac{C_S D(\delta^*(C_B))}{(1-y)} - \frac{D(\delta^*(C_B))F}{Q(1-y)} \\
& - \frac{dyD(\delta^*(C_B))}{(1-y)} - \frac{h_S Q}{2}\left[n(1-\frac{D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}) - 1\right. \\
& \left.+ \frac{2D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}\right] - \frac{D(\delta^*(C_B))A_B}{Q(1-y)} - \frac{SD(\delta^*(C_B))}{(1-y)} \\
& - \frac{\pi B^2}{2Q(1-y)} - h_{B1}(\frac{(Q(1-y)-B)^2}{2Q(1-y)} \\
& + \frac{D(\delta^*(C_B))Qy}{2x(1-y)}) - h_{B2}(Qy - \frac{D(\delta^*(C_B))Qy}{2x(1-y)}) \\
\text{S.t. } & Q > 0 \\
& C_B > 0 \\
& B > 0 \\
& n \text{ integer}
\end{aligned} \tag{15}$$

از تابع هدف نسبت به B دو بار مشتق می‌گیریم:

$$\frac{\partial^2 TP_S(Q,n,C_B,B)}{\partial B^2} = -\frac{(h_{B1}+\pi)}{Q(1-y)} < 0 \tag{16}$$

تابع سود تولیدکننده نسبت به مقدارکمبود پس‌افت مقعر است، در نتیجه مقدار بهینه را می‌توان چنین محاسبه کرد:

$$\frac{\partial TP_S(Q,n,C_B,B)}{\partial B} = 0 \tag{17}$$

$$B^* = \frac{h_{B1}Q(1-y)}{h_{B1}+\pi} \tag{18}$$

در ادامه مقدار بهینه‌ی کمبود را درتابع هدف تولیدکننده قرار می‌دهیم و سپس برای محاسبه‌ی مقدار بهینه‌ی اندازه انباشته‌ی ارسالی ابتدا از تابع هدف نسبت به Q دو بار مشتق می‌گیریم:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 TP_S(Q,n,C_B)}{\partial Q^2} =& -\frac{2D(\delta^*(C_B))A_S}{nQ^3(1-y)} - \frac{2D(\delta^*(C_B))F}{Q^3(1-y)} \\
& - \frac{2D(\delta^*(C_B))A_B}{Q^2(1-y)} < 0
\end{aligned} \tag{19}$$

با توجه به‌این که تابع سود تولیدکننده نسبت به اندازه انباشته مقعر است، مقدار بهینه را می‌توان چنین محاسبه کرد:

$$\frac{\partial TP_S(Q,n,C_B)}{\partial Q} = 0 \tag{20}$$

$$\begin{aligned}
Q^* =& \sqrt{\frac{\frac{2D(\delta^*(C_B))}{(1-y)}[\frac{A_S}{n} + A_B + F]}{G}} \\
G =& h_S\left[n(1-\frac{D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}) - 1 + \frac{2D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}\right] \\
& - h_{B1}(\frac{\pi^2(1-y)}{(h_{B1}+\pi)^2} + \frac{D(\delta^*(C_B))y}{x(1-y)}) \\
& - h_{B2}(2y - \frac{D(\delta^*(C_B))y}{x(1-y)}) - \frac{\pi h_{B1}^2(1-y)}{(h_{B1}+\pi)^2}
\end{aligned} \tag{21}$$

در ادامه مقدار بهینه را در تابع هدف تولیدکننده قرار می‌دهیم و مدل را به‌صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$\begin{aligned}\text{Max } TP_S(n, C_B) &= (C_B + \omega) D(\delta^*(C_B)) - \frac{C_S D(\delta^*(C_B))}{(1-y)} \\ &- \frac{dyD(\delta^*(C_B))}{(1-y)} - \frac{SD(\delta^*(C_B))}{(1-y)} \\ &- \sqrt{\frac{2D(\delta^*(C_B))}{(1-y)}} \sqrt{[\frac{A_S}{n} + A_B + F]G}\end{aligned} \qquad (۲۲)$$

باید توجه داشت که براساس رابطه‌ی ۲۲ تنها متغیرهای تصمیم قیمت عمده‌فروشی (C_B) و تعداد دفعات ارسال انباشته (n) باقی مانده‌اند که در ادامه روش محاسبه‌ی آن‌ها بیان شده است:

ابتدا با ثابت در نظرگرفتن قیمت عمده‌فروشی، مقدار بهینه‌ی دفعات ارسال انباشته مطابق شرایط زیر محاسبه می‌شود. تحت این شرایط، برای بیشینه‌سازی سود تولیدکننده می‌توان عبارت زیر رادیکال را کمینه کرد:

$$\begin{aligned}\text{Min } [A_B + F][h_S \left[-1 + \frac{2D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}\right] - \frac{\pi h_{B1}^2 (1-y)}{(h_{B1} + \pi)^2} \\ -h_{B1}\left(\frac{\pi^2(1-y)}{(h_{B1}+\pi)^2} + \frac{D(\delta^*(C_B))y}{x(1-y)}\right) - h_{B2}(2y \\ - \frac{D(\delta^*(C_B))y}{x(1-y)})] + A_S h_S \left(1 - \frac{D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}\right) + Z(n)\end{aligned} \qquad (۲۳)$$

که:

$$Z(n) = [A_B + F] h_S n \left(1 - \frac{D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}\right) + \frac{A_S}{n} V \qquad (۲۴)$$

به‌نحوی‌که:

$$\begin{aligned}V = & h_S \left[-1 + \frac{2D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}\right] - h_{B1}\left(\frac{\pi^2(1-y)}{(h_{B1}+\pi)^2}\right. \\ & \left. + \frac{D(\delta^*(C_B))y}{x(1-y)}\right) - h_{B2}\left(2\mathrm{y} - \frac{\mathrm{D}(\delta^*(C_B))y}{x(1-y)}\right) - \frac{\pi h_{B1}^2(1-y)}{(h_{B1}+\pi)^2}\end{aligned} \qquad (۲۵)$$

لازم به ذکر است تنها عبارت $Z(n)$ دارای متغیر n است، بنابراین بیشینه‌سازی سود تولیدکننده می‌تواند معادل کمینه‌سازی عبارت $Z(n)$ باشد. با توجه به این که n عددی صحیح و مقداری گسسته است، برای محاسبه‌ی مقدار بهینه‌ی آن از مفهوم مشتق استفاده می‌کنیم. در این صورت دو حالت به وجود می‌آید:

۱. اگر:

$$V \leq 0 \Rightarrow Z(n+1) - Z(n) < 0 \qquad (۲۶)$$

به‌نحوی‌که:

$$\begin{aligned}Z(n+1) - Z(n) = & [A_B + F] h_S n \left(1 - \frac{D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}\right) \\ & - \frac{A_S V}{n(n+1)}\end{aligned} \qquad (۲۷)$$

با توجه به فرض مجاز نبودن کمبود در سایت تولیدکننده، بخش اول عبارت دارای نتیجه‌یی با علامت مثبت خواهد بود. با برقراری شرایط $V \leq 0$، $Z(n)$ یک تابع افزایشی نسبت به n خواهد بود و جواب بهینه برای تعداد دفعات ارسال $n^* = 1$ است.

۲. اگر:

$$V > 0 \Rightarrow [Z(n+1) - Z(n)] - [Z(n) - Z(n-1)] > 0 \qquad (۲۸)$$

به نحوی که:

$$[Z(n+1) - Z(n)] - [Z(n) - Z(n-1)] = \frac{2A_S V}{n(n-1)} \qquad (۲۹)$$

با برقراری شرایط $V > 0$، $Z(n)$ نسبت به n محدب خواهد بود و n^* نقطه‌ی کمینه‌ی $Z(n)$ خواهد بود.

به‌طور خلاصه می‌توان برای هر مقدار از قیمت عمده‌فروشی، تعداد دفعات ارسال بهینه را از رابطه‌ی ۳۰ محاسبه کرد:

$$\begin{cases} n^*(n^*-1) < \dfrac{A_S V}{[A_B+F]h_S\left(1 - \frac{D(\delta^*(C_B))}{P(1-y)}\right)} \leq n^*(n^*+1) & V > 0 \\ n^* = 1 & V \leq 0 \end{cases} \qquad (۳۰)$$

حال برای محاسبه‌ی مقدار بهینه‌ی قیمت عمده‌فروشی، با توجه به این که $TP_S(n, C_B)$ یک تابع پیوسته نسبت به C_B است و همچنین مقدار بیشینه‌ی آن وجود دارد، با ثابت درنظرگرفتن تعداد دفعات ارسال سفارش، مقدار بهینه‌ی C_B را مطابق شرایط زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{\partial TP_S(C_B)}{\partial C_B} = 0 \qquad (۳۱)$$

با توجه به این که δ^* به C_B^* وابسته است، مقدار C_B^* باید به‌گونه‌یی باشد که محدودیت $\delta < a/b$ را برآورده سازد:

$$\delta^* < a/b \Rightarrow \frac{a}{2b} + \frac{C_B^* + \omega}{2} < \frac{a}{b} \Rightarrow C_B^* < \left(\frac{a}{b} - \omega\right) \qquad (۳۲)$$

لازم به ذکر است که براساس رابطه‌ی $\frac{\partial TP_b^*(C_B)}{\partial C_B} < 0$، تابع سود خریدار یک تابع کاهشی نسبت به C_B است. بنابراین اگر دو نقطه‌ی بحرانی برای قیمت عمده‌فروشی به‌صورت $C_{B1}^* > C_{B2}^*$ به‌دست آید، تولیدکننده تحت قرارداد VMI به‌عنوان پیشرو، از رابطه‌ی $TP_b^*(C_{B1}^*) < TP_b^*(C_{B2}^*)$ آگاه است، و چون سعی در جلب رضایت خرده‌فروش دارد، C_{B2}^* را به‌عنوان جواب بهینه‌ی نهایی انتخاب خواهد کرد. بنابراین تعادل استاکلبرگ واحد را به‌دست خواهیم اورد.

۳.۴. الگوریتم حل

در این مدل برای محاسبه‌ی نقطه‌ی تعادل استاکلبرگ واحد به‌منظور تعیین مقدار بهینه‌ی متغیرهای تصمیم از روش زیر استفاده می‌شود:

گام ۱: با درنظر گرفتن $n = 1$، مقدار C_B را از حل معادله‌ی ۳۱ تعیین کنید، به‌طوری‌که محدودیت ۳۲ را برآورده سازد. مقدار C_B محاسبه شده را در عبارت ۲۶ قرار دهید، اگر در آن صدق کند مقادیر n^* و C_B^* به‌دست آمده است و به گام چهارم بروید در غیر این‌صورت به گام دوم بروید.

گام ۲: با درنظر گرفتن $n = 2$، مقدار C_B را با حل معادله‌ی ۳۱ تعیین کنید، به‌طوری که محدودیت ۳۲ را برآورده سازد. مقادیر C_B به دست آمده را در عبارت ۲۸ قرار دهید؛ اگر در آن صدق کند مقادیر n^* و C_B^* به‌دست آمده است و به گام چهارم بروید، در غیر این صورت به گام سوم بروید.

گام ۳: اکنون $n = n + 1$ را درنظر بگیرید و گام دوم را تکرار کنید.

گام ۴: مقدار $TP_S^*(n, C_B)$ را از رابطه‌ی ۲۲، مقدار B^* را از رابطه‌ی ۱۸، مقدار Q^* از رابطه‌ی ۲۱، مقدار δ^* را از رابطه‌ی ۱۴، و مقدار $TP_B^*(\delta)$ را از رابطه‌ی ۱ محاسبه کنید.

۵. مثال عددی و تحلیل حساسیت

در این بخش با بیان یک مثال عددی، کاربرد عملی مدل پیشنهادی تشریح می‌شود و در ادامه، حساسیت مدل تحلیل می‌شود. مقادیر پارامترهای این مثال با توجه به مرور ادبیات انجام گرفته در جدول ۱، و نتایج حاصل از حل مثال عددی در جدول ۲ نشان داده شده است.

تحلیل حساسیت روی پارامترهای b، y و π به‌منظور بررسی تأثیرشان بر جواب بهینه، سود تولیدکننده و خرده‌فروش بررسی شده، که در ادامه نتایج حاصله تشریح می‌شود.

۱.۵. تحلیل حساسیت پارامتر شیب تابع تقاضا b

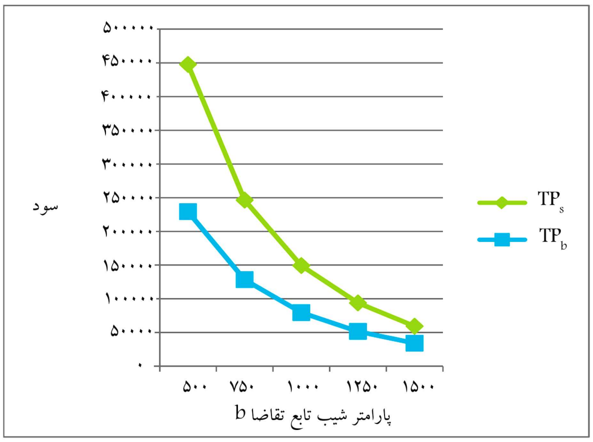
همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۳ مشاهده می‌شود، پارامتر مرتبط با بازار تأثیر به‌سزایی بر سود تولیدکننده و خرده‌فروش دارد به‌طوری‌که با کاهش ۲۵ درصدی

جدول ۱. پارامترهای مثال.

ω	C_s	F	A_B	A_s	P	b	a
۸	۱۴	۲۵	۱۰۰	۴۰۰	۶۰۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰۰
s	d	π	h_{B2}	h_{B1}	h_s	y	x
۰٫۵	۵	۴۰	۲	۵	۳	۰٫۰۱	۸۷۶۰۰

جدول ۲. نتایج مثال عددی.

B	Q	n	C_B	δ	TP_S	TP_B
۹۷٫۵۶	۸۸۶٫۹۶	۲	۲۴٫۱۶۳	۴۱٫۰۸۲	۱۴۹۱۶۹	۷۹۵۳۵٫۲



شکل ۳. تغییرات سود اعضای زنجیره نسبت به تغییرات b.

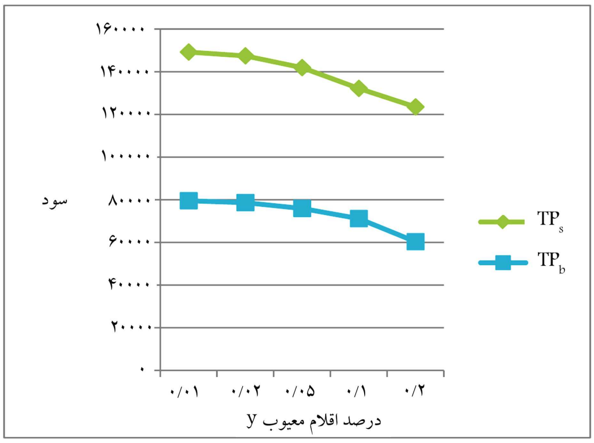
پارامتر b، سود تولیدکننده و خرده‌فروش به‌میزان بیش از ۶۰٪ افزایش می‌یابد. در حقیقت با کاهش حساسیت تقاضای مشتری به قیمت خرده‌فروشی، سود تولیدکننده و خرده‌فروش به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش پارامتر مرتبط با بازار، مقادیر بهینه‌ی تصمیم کاهش می‌یابد.

۲.۵. تحلیل حساسیت پارامتر درصد اقلام معیوب y

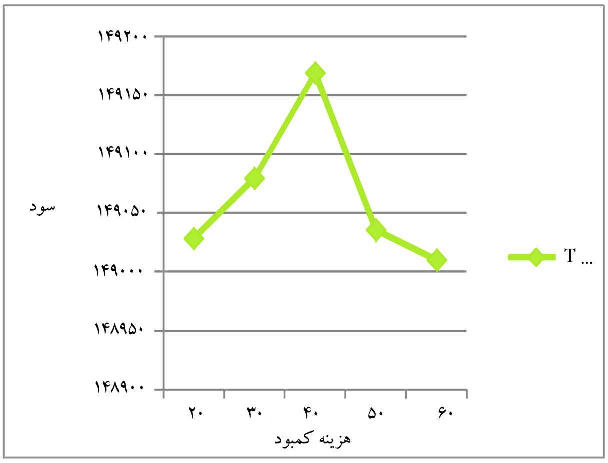
نتایج حاصل از تأثیر تغییر درصد اقلام معیوب بر جواب بهینه و سود اعضای زنجیره در جدول ۳ ارائه شده است. چنان که ملاحظه می‌شود، با افزایش درصد اقلام معیوب، مقادیر بهینه‌ی اندازه‌ی انباشته، قیمت عمده‌فروشی و قیمت خرده‌فروشی افزایش می‌یابد و فقط مقدار کمبود کاهش می‌یابد. چنان که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، افزایش درصد اقلام معیوب به کاهش سود اعضای زنجیره منجر می‌شود. این یک نتیجه منطقی است، زیرا با افزایش درصد اقلام معیوب، هزینه‌های سیستم افزایش می‌یابد و افزایش هزینه‌ها، موجب افزایش قیمت خرده‌فروشی و به‌تبع آن کاهش تقاضا خواهد شد؛ بنابراین سود کاهش می‌یابد.

جدول ۳. تأثیر تغییر پارامترها بر مقادیر بهینه تصمیم و سود اعضای زنجیره.

		B	Q	n	C_B	δ	TP_s	TP_B
b	۵۰۰	۱۰۶۸۹	۹۷۱٫۷۲	۲	۴۹٫۱۸	۷۸٫۵۸۹	۴۴۷۶۰۶٫۸۷	۲۲۹۲۰۴٫۷۶
	۷۵۰	۱۰۲٫۳۳	۹۳۰٫۲۵	۲	۳۲٫۵۱	۵۳٫۵۸۶	۲۴۶۳۲۵٫۲۷	۱۲۸۳۲۸٫۲۱
	۱۲۵۰	۹۲٫۵۸	۸۴۱٫۶۰	۲	۱۹٫۱۵۳	۳۳٫۵۸	۹۳۸۰۱٫۸۳	۵۱۵۷۳٫۴۸
	۱۵۰۰	۸۷٫۳۳	۷۹۳٫۸۷	۲	۱۵٫۸۰۷	۲۸٫۵۷	۵۹۲۲۹٫۳۴	۳۴۰۲۴٫۴۹
y	۰٫۰۲	۹۶٫۸۱	۸۸۹٫۰۸	۲	۲۴٫۲۶	۴۱٫۱۳	۱۴۷۴۳۹٫۲۲	۷۸۶۵۶٫۵
	۰٫۰۵	۹۴٫۵۱	۸۹۵٫۳۳	۲	۲۴٫۵۷	۴۱٫۲۹	۱۴۱۹۲۹٫۵۵	۷۵۹۳۶٫۴
	۰٫۱	۹۰٫۵۴	۹۰۵٫۳۹	۲	۲۵٫۱۳	۴۱٫۵۶	۱۳۲۱۸۹٫۲۹	۷۱۱۵۹٫۳۵
	۰٫۲	۸۱٫۹۷	۹۲۲٫۱۲	۲	۲۶٫۴۶	۴۲٫۲۳	۱۲۳۵۲۰٫۶۲	۶۰۳۳۲٫۵
π	۲۰	۱۸۱٫۰۲	۹۱۴٫۷۰۸	۲	۲۴٫۱۶۹	۴۱٫۰۸۴	۱۴۹۰۲۸٫۱۹۸	۷۹۴۸۷٫۰۳
	۳۰	۱۲۶٫۸۳	۸۹۶٫۷۵۹	۲	۲۴٫۱۶۵	۴۱٫۰۸۳	۱۴۹۰۷۹٫۳۸	۷۹۵۲۱٫۸۱
	۵۰	۷۹٫۳۲	۸۸۱٫۲۹	۲	۲۴٫۱۶۲	۴۱٫۰۸۱	۱۴۹۰۳۵٫۷۶	۷۹۵۴۸٫۵۶
	۶۰	۶۶٫۸۱	۸۷۷٫۲۵	۲	۲۴٫۱۶۱	۴۱٫۰۸۰	۱۴۹۰۰۹٫۸۵	۷۹۵۵۷٫۴۸



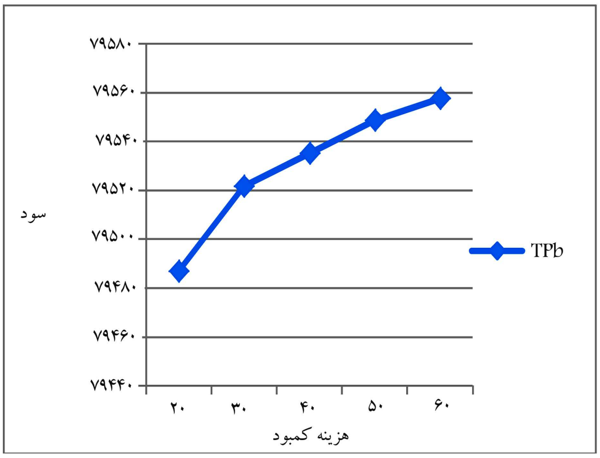
شکل ۴. تغییرات سود اعضای زنجیره نسبت به تغییرات y.



شکل ۵. تغییرات سود تولیدکننده نسبت به تغییرات π.

۵.۳. تحلیل حساسیت پارامتر هزینه‌ی کمبود π

نتایج حاصل از بررسی تأثیر هزینه‌ی کمبود بر تصمیم بهینه و سود اعضای زنجیره در جدول ۳ نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می‌شود، افزایش هزینه‌ی کمبود به کاهش مقادیر بهینه‌ی تصمیم می‌انجامد و فقط تعداد بهینه دفعات ارسال ثابت می‌ماند. چنان که در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، سود خرده‌فروش با پارامتر π رابطه‌ی عکس دارد، به‌طوری‌که افزایش پارامتر π موجب کاهش قیمت خرده‌فروشی خواهد شد و بنابراین سود خرده‌فروش افزایش می‌یابد. اما تغییرات هزینه‌ی کمبود روند یکسانی در سود تولیدکننده ایجاد نمی‌کند، به‌طوری‌که ابتدا با افزایش پارامتر π شیب کاهش هزینه‌ی نگه‌داری در سایت تولیدکننده و هزینه‌ی کمبود تندتر از شیب افزایش سایر هزینه‌هاست؛ بنابراین سود تولیدکننده افزایش می‌یابد و در $\pi = ۴۰$



شکل ۶. تغییرات سود خرده‌فروش نسبت به تغییرات π.

به بیشترین مقدار خود می‌رسد. اما در ادامه و با افزایش پارامتر π، شیب کاهش هزینه‌ی نگه‌داری در سایت تولیدکننده و کمبود ملایم می‌شود و سود تولیدکننده روند نزولی دارد.

۶. نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر تلفیق مدل‌های کلاسیک کنترل موجودی و مباحث کنترل کیفی مورد توجه محققین قرار گرفته است. همچنین یکپارچگی مبحث قیمت‌گذاری و تصمیمات موجودی جنبه‌ی دیگری برای افزایش کارایی مدل‌ها محسوب می‌شود. با یک بررسی جامع بر ادبیات موضوع، مسائلی که به بهینه‌سازی هم‌زمان سیاست‌های قیمت‌گذاری، مقدار بازپرسازی و دفعات آن در سیستم‌تولیدی با شرایط تولید محصول معیوب بپردازند، در مطالعات صورت‌گرفته مشاهده نشده است. بدین سبب نوشتار حاضر به بررسی این مسئله اختصاص یافت. مسئله‌ی موردنظر در یک زنجیره‌ی تأمین‌دوسطحی غیرمتمرکز، تحت سیاست VMI، با رعایت فرض مجاز بودن کمبود در سایت خرده‌فروش به‌صورت بازی استاکلبرگ مدل شد. براساس فرایند حل، نقطه‌ی تعادل استاکلبرگ واحد مشخص و سطح بهینه‌ی متغیرها و سود اعضای زنجیره تعیین شد. با استفاده از یک مثال عددی و تحلیل حساسیت، مشخص شد که با کاهش وابستگی تقاضا به قیمت، سود تولیدکننده و خرده‌فروش افزایش یافته و با افزایش درصد اقلام معیوب، سود اعضای زنجیره کاهش می‌یابد. با کاهش هزینه‌ی کمبود، سود تولیدکننده سیر نزولی دارد و سود خرده‌فروش نیز با هزینه‌ی کمبود رابطه‌ی مستقیم دارد.

در تحقیقات آتی می‌توان به تعمیم مسئله برای حالت چندمحصولی با درنظر گرفتن حالت وابستگی میان محصولات اشاره کرد. از دیگر مواردی که به واقعی کردن مدل ارائه شده کمک خواهد کرد، تغییر برخی فرضیات مسئله مانند احتمالی کردن تقاضا علاوه بر وابستگی به قیمت در مدل فوق خواهد بود.

منابع (References)

1. Dong, Y. and Xu, K. "A supply chain model of vendor managed inventory", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **38**(2), pp. 75-95 (2002).

پانوشت‌ها

1. additive demand
2. non-delayed equal-sized shipment policy
3. leader
4. follower

2. Magee, J.F. "Production planning and inventory control", (1985).

3. Waller, M.A., Johnson, M.E. and Davis, T. "Vendor-managed inventory in the retail supply chain", *Journal of Business Logistics,* **20**(1), pp. 183-203 (1999).

4. Pasandideh, S.H.R., Niaki, S.T.A. and Nia, A.R. "An investigation of vendor-managed inventory application in supply chain: The EOQ model with shortage", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* **49**, pp. 329-339 (2010).

5. Darwish, M.A. and Odah, O.M. "Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains", *European Journal of Operational Research*, **204**, pp. 473-484 (2010).

6. Hariga, M., Gumus, M., Daghfous, A. and Goyal, S.K. "A vendor managed inventory model under contractual storage agreement", *Computers & Operations Research,* **40**(8), pp. 2138-44 (2013).

7. Whitin, T.M. "Inventory control and price theory", *Management Science,* **2**, pp. 61-68 (1955).

8. Abad, P.L. "Optimal price and order size for a reseller under partial backordering", *Computers and Operations Research,* **28**(1), pp. 53-65 (2001).

9. Bakal, I.S., Geunes, J. and Romeijn, H.E. "Market selection decisions for inventory models with price-sensitive demand", *Journal of Global Optimization*, **41**, pp. 633-657 (2008).

10. Sajadieh, M.S. and Jokar, M.R.A. "Optimizing shipment, ordering and pricing policies in a two-stage supply chain with price sensitive demand", *Transportation Research Part E,* **45**, pp 564-571 (2009).

11. Porteus, E.L. "Optimal lot-sizing process quality improvement and setup cost reduction", *European Journal of Operational Research*, **34**, pp. 137-144 (1986).

12. Rosenblatt, M.J. and Lee, H.L. "Economic production cycles with imperfect production processes", *IIE Transactions*, **18**, pp. 48-55 (1986).

13. Hou, K.L. "An EPQ model with setup cost and process quality as functions of capital expenditure", *Journal of Applied Mathematical Modeling,* **31**, pp. 10-17 (2006).

14. Das Roy, M., Sana, S.S. and Chaudhuri, K. "An optimal shipment strategy for imperfect items in a stock-out situation", *Mathematical and Computer Modeling*, **54**, pp. 2528-2543 (2011).

15. Silver, E.A., Pyke, D.F. and Peterson, R., *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, New York, NY: Wiley (1998).

16. Pan, A.C. and Liao, C. "An inventory model under just-in-time purchasing agreement", *Production and Inventory Management Journal,* 1st Quarter, pp. 49-52 (1989).

17. Kim, S.L. and Ha, D. "A JIT lot-splitting model for supply chain management: Enhancing buyer–supplier linkage", *International Journal of Production Economics,* **86**, pp: 1-10 (2003).

18. Taleizadeh, A.A, Niaki, S.T.A, Shafii, N., Ghavamizadeh Meibodi, R. and Jabbarzadeh, A. "A particle swarm optimization approach for constraint joint single buyer-single vendor inventory problem with changeable lead time and (r,Q) policy in supply chain", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **51**, pp. 1209-1223 (2010).

19. Almehdawe, E. and Mantin, B. "Vendor managed inventory with capacitated manufacturer and multiple retailer: Retailer versus manufacturer leadership", *International Journal of Production Economics*, **128**, pp. 292-302 (2010).

20. Yu, Y., Hong, Z., Zhang, L., Liang, L. and Chu, C. "Optimal selection of retailers for a manufacturing vendor in a vendor managed inventory system", *European Journal of Operational Research,* **225**, pp. 273-284 (2013).

21. Yu, Y., Chu, F. and Chen, H. "A Stackelberg game and its improvement in a VMI system with a manufacturing vendor", *European Journal of Operational Research,* **192**(3), pp. 929-948m (2009).