

محاسبه هزینه سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده تحت سیاست تولید سفارشی

رسول حجتی^۱، محمد محسن معارف دوست^۲، سید بابک ابراهیمی^۳*

۱. استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشگاه صنعتی شریف، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱/۱۹، تاریخ تصویب: ۱۳۸۸/۱۰/۲۰)

چکیده

در این مقاله یک زنجیره تامین دو سطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفته می‌شود. در این زنجیره تامین تصمیم‌گیری در مورد سطوح موجودی به صورت مرکزی و توسط تولیدکننده گرفته می‌شود و تولیدکننده پاسخ‌گوی نیاز خرده‌فروش است. این مطالعه حالتی را در نظر می‌گیرد که تقاضا برای خرده‌فروش از فرآیند پواسان پیروی می‌کند و موجودی خرده‌فروش با خط‌مشی (r, Q) توسط تولیدکننده تامین می‌شود. تولیدکننده با نرخ متناهی و معین جهت پاسخگویی به نیاز خرده‌فروش براساس سیاست تولید سفارشی، تولید می‌کند و هر انباشته سفارشی Q تایی خرده‌فروش را با چندین انباشته کوچک‌تر q تایی برای خرده‌فروش ارسال می‌کند. در این مطالعه با استفاده از مفاهیم تئوری تجدید پاداش مجموع هزینه‌های تولیدکننده و خرده‌فروش در شرایط "مدیریت موجودی توسط فروشنده" بررسی و رابطه ریاضی مشخص برای این هزینه‌ها به دست می‌آید. نهایتاً برای حالتی که نرخ تقاضا حداکثر برابر نصف نرخ تولید است، مقدار بهینه هزینه و مقدار بهینه دفعات ارسال کالا از تولیدکننده به خرده‌فروش به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت موجودی توسط فروشنده، مدیریت زنجیره تامین، تئوری تجدید پاداش

۱. مقدمه

در چند دهه اخیر تحقیقات بسیاری در رابطه با مدیریت زنجیره تامین انجام گرفته است. هدف بسیاری از این تحقیقات ارایه ساز و کارهایی چون مدیریت موجودی توسط فروشنده، اشتراک اطلاعات و برنامه تدارک پیوسته جهت کاهش هزینه‌های عملیاتی زنجیره تامین است. در ادبیات زنجیره تامین، مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI)، ساز و کاری است که فعالیت‌های عملیاتی اجزا زنجیره عرضه را در زمینه مدیریت موجودی‌ها، برنامه‌ریزی حمل و نقل، سیاست‌های قیمت‌گذاری و ... یکپارچه می‌سازد. توسعه فن‌آوری اطلاعات نقش بسزایی در گسترش این سازوکارها داشته است و به کمک تبادل الکترونیکی داده‌ها (EDI) این سازوکارها قابلیت اجرایی پیدا می‌کنند.

در ادبیات VMI مطالعات متعددی انجام گرفته است که VMI را از ابعاد گوناگون مورد بررسی قرار می‌دهد. ساهین و رایینسون (۲۰۰۲) هماهنگی جریان مواد و اشتراک اطلاعات (IS) در زنجیره تامین را بررسی می‌کنند و سازوکارهای مرتبط را مورد مطالعه قرار می‌دهند [۱]. معین‌زاده (۲۰۰۲) ارزش اشتراک اطلاعات را در یک زنجیره تامین دو سطحی بیان می‌کند و با در نظر گرفتن تقاضای پواسان برای حالتی که زنجیره تامین متشکل از یک تامین‌کننده و تعدادی خرده‌فروش یکسان است، اقدام به ارایه مدلی جهت ارزیابی هزینه‌های زنجیره‌تأمین می‌نماید [۲]. حجی و سجادی‌فر (۲۰۰۸) مدل ارایه شده توسط معین‌زاده را توسعه داده و با ارایه یک سیاست سفارش‌دهی یک به یک هزینه انتظاری سیستم را به صورت دقیق محاسبه می‌کنند [۳]. سیلا و چونگ‌لی (۲۰۰۰) زمان‌بندی ارسال و تدارک کالا برای مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI) را بیان می‌کنند و با در نظر گرفتن تقاضای تصادفی و پواسان سیاست‌های هماهنگی را جهت ارسال و تدارک کالا ارایه می‌دهند [۴]. هم‌چنین ساهین و رایینسون (۲۰۰۵) با بررسی اشتراک اطلاعات و همکاری در زنجیره تامین، مزایای حاصل از ارتباط بین یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش در یک محیط تولید سفارشی زمانی که تقاضا معین است، را محاسبه می‌کنند [۵]. یولیانگ و درس‌نر (۲۰۰۷) سه سازوکار مدیریت موجودی توسط فروشنده، اشتراک اطلاعات و برنامه تدارک پیوسته (CRP) را از منظر مزایا و نحوه توزیع این مزایا بین اعضای زنجیره تامین تحلیل و ارزیابی می‌کنند. در مدل ارایه شده توسط ایشان، فرآیند تقاضا احتمالی و از فرآیند اتورگرسو مرتبه اول پیروی می‌کند [۶]. یولیانگ و همکاران (۲۰۰۷) در ادامه

مطالعات خود یکپارچگی زنجیره تامین را تحت مدیریت موجودی توسط فروشنده مورد بررسی قرار می‌دهند و با ارایه مدلی مزیت حاصل از یکپارچه‌سازی زنجیره تامین تحت VMI را در حالت تقاضای قطعی، ارزیابی می‌کنند [۷]. ویلسون (۲۰۰۷) با استفاده از شبیه‌سازی زمان پیوسته تاثیر برنامه‌ریزی حمل و نقل را بر عملکرد زنجیره تامین را ارزیابی می‌کند [۸]. جامرنگ و رینر (۲۰۰۷) بیان می‌دارند که هماهنگی فعالیت‌های مدیریت موجودی و مدیریت منابع و ظرفیت می‌تواند موجب بهبود عملکرد فرآیندهای زنجیره تامین گردد. این دو با ارایه مدل شبیه‌سازی پیشامد گسسته برای یک زنجیره تامین سه سطحی، نشان می‌دهند که تغییر استراتژی تولیدی تولید انباری به استراتژی تولیدی "مونتاژ سفارشی" منجر به ۱۱٪ کاهش در هزینه‌ها می‌شود [۹]. یان دونگ و همکاران (۲۰۰۷) به صورت تجربی عوامل محیطی جهت بکارگیری و پیاده‌سازی VMI، شرایط محیطی، چگونگی پذیرش و بکارگیری VMI را از منظر سازمان‌های خریدار بررسی می‌کند. این مطالعه براساس یک تحقیق تجربی و با استفاده از تحلیل معادلات ساختاری ویژگی‌های را تعیین می‌کند که تحت آن سازمان‌ها تمایل زیادی به پذیرش و بکارگیری سیاست VMI دارند. براین اساس رقابتی بودن بازار تامین‌کننده و هماهنگی بین خریدار و تامین‌کننده در میزان بکارگیری و پذیرش VMI تاثیر مستقیم و مثبت دارند درحالی که عدم قطعیت عملیاتی خریدار (عواملی چون خرابی ماشین‌آلات، تغییرات زمان‌بندی تولید و ..) در پذیرش VMI تاثیر عکس و منفی دارد [۱۰]. ژانگ و همکاران (۲۰۰۷) تحت نرخ تولید و تقاضای قطعی و ثابت، یک مدل ریاضی برای یک زنجیره تامین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و تعدادی خرده‌فروش گسترش می‌دهند. در این مدل تولیدکننده مواد اولیه را خریداری کرده، محصول نهایی را می‌سازد و برای خرده‌فروشان خود ارسال می‌کند. سپس راه حل ارایه شده برای تعیین مقادیر بهینه را با چند مثال عددی پشتیبانی می‌کنند [۱۱].

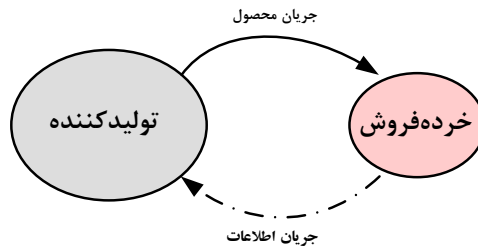
کازمین ساری (۲۰۰۸) مزایای حاصل از VMI و CPFR را با یک مطالعه شبیه‌سازی مقایسه و بررسی می‌کند. وی یک زنجیره تامین چهارسطحی شامل یک کارخانه، یک انبار، یک توزیع‌کننده و یک خرده‌فروش را شبیه‌سازی می‌کند و با تحلیل آماری خروجی‌های شبیه‌سازی، نتیجه می‌گیرد که اولاً مزایای حاصل از CPFR در شرایط بررسی شده بیشتر از VMI است، ثانیاً بهبود عملکرد VMI و CPFR به سه عامل محدودیت ظرفیت کارخانه، مدت زمان تحویل و عدم قطعیت در تقاضای بازار بستگی دارد و تفاوت میان

مزایای حاصل از VMI و CPFR نیز به طرز معنی داری به این عوامل بستگی دارد و ثالثاً تفاوت میان مزایای حاصل از VMI و CPFR با افزایش عدم قطعیت در تقاضا افزایش می‌یابد [۱۲].

در ادبیات زنجیره تامین، مسئله تعیین هزینه کل سیستم زنجیره تامین شامل یک خرده-فروش و یک تولیدکننده وقتی که تولیدکننده براساس سیاست تولید سفارشی (MTO) تولید می‌کند، با استفاده از "مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI)" در حالتی که تقاضا تصادفی است بررسی و ارزیابی نشده است. این مقاله با هدف پرکردن این خلأ مدلی ریاضی جهت ارزیابی هزینه‌های موجودی در زنجیره تامین به کمک تئوری تجدید ارایه می‌دهد و مدیریت مرکزی زنجیره تامین را از طریق سازوکار مدیریت موجودی توسط فروشنده مورد ارزیابی قرار می‌دهد. زنجیره تامین مورد بررسی شامل یک تولیدکننده و یک خرده فروش است؛ تقاضا برای خرده‌فروش فرآیند پواسان است و موجودی خرده-فروش با خط‌مشی (r, Q) توسط تولیدکننده تامین می‌شود. یعنی هنگامی که سطح موجودی خرده‌فروش به مقدار r رسید، تولیدکننده با نرخ متناهی (p) جهت پاسخگویی به نیاز خرده‌فروش بر اساس سیاست تولید سفارشی، انباشته‌ای به حجم Q تولید می‌کند و انباشته مورد نیاز خرده‌فروش (Q) را یکجا یا تحت n انباشته جداگانه به حجم q برای خرده فروش در حین تولید ارسال می‌دارد.

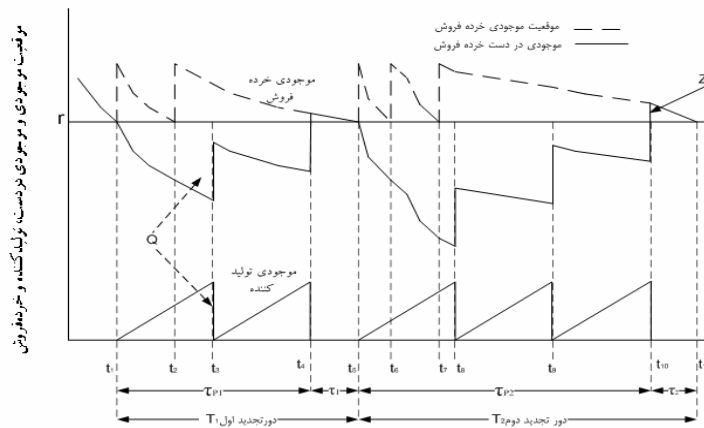
۲. تشریح مسئله

مدل مورد بررسی در این مقاله که در نمودار (۱) نشان داده شده است، یک زنجیره تامین دو سطحی را در بر می‌گیرد که شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش است. در این حالت، مدیریت موجودی‌ها در یک "زنجیره تامین تولید سفارشی" به صورت یکپارچه صورت می‌پذیرد و تولیدکننده وظیفه تصمیم‌گیری در رابطه با موجودی‌ها را به عهده دارد. هنگامی که موقعیت موجودی خرده‌فروش به نقطه سفارش مجدد (r) می‌رسد، اگر تولیدکننده بیکار باشد (یعنی تعداد سفارشات متعهد شده برای تولید وی، صفر باشد) بلافاصله شروع به تولید می‌کند.



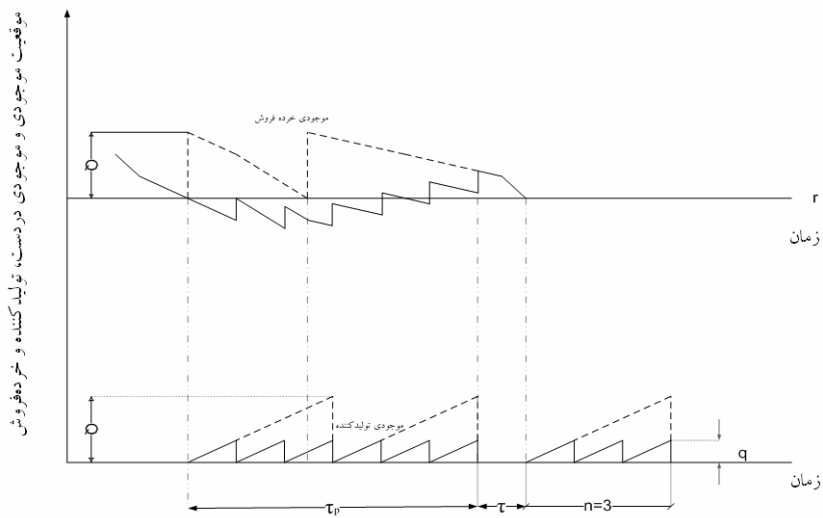
نمودار ۱. زنجیره تامین دوسطحی؛ یک تولیدکننده و خرده فروش

در صورتی که تولیدکننده مشغول به تولید باشد، آنگاه پس از تکمیل سفارشات متعهد شده قبلی، تولید این سفارش جدید را شروع می کند. به عنوان مثال در نمودار (۲)، در زمان t_1 موقعیت موجودی خرده فروش به نقطه سفارش مجدد (r) می رسد، از آنجا که تولیدکننده بیکار است، بلافاصله شروع به تولید می کند و این سفارش را در زمان t_3 برای خرده فروش ارسال می دارد. در زمان t_2 باز موقعیت موجودی خرده فروش به مقدار r می رسد، از آنجا که تولیدکننده مشغول به تولید است، شروع به تولید این سفارش تا اتمام سفارش متعهد شده اول به تعویق می افتد و در زمان t_4 برای خرده فروش ارسال می دارد. به همین ترتیب سفارش رسیده در زمان t_5 ، به علت این که تولیدکننده بیکار است، بلافاصله تولید آن شروع می شود و در زمان t_8 برای خرده فروش ارسال می شود؛ سفارش رسیده در زمان t_6 به علت این که تولیدکننده مشغول تولید بوده و متعهد به تولید یک سفارش تا این زمان است، در زمان t_8 شروع به تولید و در زمان t_9 ارسال می شود و نهایتاً از آنجا که تولیدکننده در زمان t_7 مشغول به تولید است و متعهد به تولید دو سفارش تا این زمان می باشد، آغاز تولید سفارش رسیده در این زمان، تا زمان t_9 به تعویق می افتد و در زمان t_{10} برای خرده فروش ارسال می گردد و چون تولیدکننده متعهد به تولید سفارش دیگری نشده است از این لحظه تا دریافت سفارش دیگری (زمان t_{11}) بیکار می شود. لازم به ذکر است، تولیدکننده تا هنگامی که تعداد سفارش متعهد شده وی بزرگتر از صفر است، به تولید خود ادامه می دهد.



نمودار ۲. نمودار جریان تغییرات موجودی تولیدکننده و خرده‌فروش ($n=1$ و $Q=q$)

سپس تولیدکننده یک انباشته به اندازه Q را طی n ارسال به اندازه q برای خرده‌فروش و در حین تولید ارسال می‌دارد. فرض می‌شود که نقطه سفارش مجدد (r) مضرب صحیحی از Q است (یعنی $r=mQ$) و m توسط مدیریت به گونه‌ای انتخاب می‌شود تا احتمال مواجه شدن با کمبود تقریباً صفر گردد. در نمودار (۳) نمودار جریان تغییرات موجودی تولیدکننده و خرده‌فروش ($n=3$) نشان داده شده است.



نمودار ۳. نمودار جریان تغییرات موجودی تولیدکننده و خرده‌فروش هنگامی که $n=3$

۳. نمادگذاری

- x_j : تقاضای خرده‌فروش در طول j امین ($j=1,2,3,\dots$) سیکل تولید در یک دور تجدید
- Q : اندازه انباشته تولیدی
- q : اندازه انباشته ارسالی از جانب تولیدکننده برای خرده‌فروش در هر بار ارسال
- γ : تعداد راه‌اندازی خط تولید در یک دور تجدید
- I_r : سطح موجودی خرده‌فروش
- I_p : سطح موجودی تولیدکننده
- n : تعداد ارسال انباشته q تایی برای خرده‌فروش در یک سیکل تولیدی ($Q=nq$)
- A_s : هزینه راه‌اندازی خط تولید
- r : نقطه سفارش مجدد
- T_i : طول دور تجدید نام ($i=1,2,3,\dots$)
- τ_{pi} : مدت زمانی که تولیدکننده، در دور تجدید نام ($i=1,2,3,\dots$) به تولید مشغول است.
- τ_{zi} : مدت زمانی که تولیدکننده، در دور تجدید نام ($i=1,2,3,\dots$) بیکار است.
- $C(Q,q)$: متوسط هزینه در واحد زمان برای کل سیستم در بلندمدت

۴. فرضیات

- مدت زمان بین دو تقاضای متوالی خرده‌فروش، نمایی با نرخ λ است.
- مدت زمان ارسال کالا از جانب تولیدکننده برای خرده‌فروش صفر در نظر گرفته می‌شود.
- کمبود موجودی مجاز نیست.
- اندازه انباشته تولیدی (Q) معلوم و معین است.

۵. مدل

جهت ارزیابی هزینه‌های زنجیره عرضه، از تئوری تجدید پاداش استفاده می‌کنیم. در این مدل، فرآیند زمانی تجدید می‌شود که سطح موجودی خرده‌فروش برابر I و سطح موجودی موجودی تولیدکننده برابر صفر باشد، یعنی: $(I_r = r, I_p = 0)$ همان‌گونه که در نمودار (۲) مشخص است، تعداد دفعات هر دور تجدید ممکن است نسبت به تعداد

دفعات تولید در دور تجدید دیگری متفاوت باشد. به طور مثال، در نمودار (۲)، در دو دور تجدید T_1 و T_2 ، تعداد دفعات تولید به ترتیب برابر ۲ و ۳ است.

از آنجا که از تئوری تجدیدپاداش برای ارزیابی هزینه‌ها بهره می‌گیریم، لازم است تا مقدار متوسط هزینه در واحد زمان کل سیستم در بلندمدت را به دست آوریم. این مقدار از تقسیم متوسط هزینه‌های یک دوره تجدید بر متوسط طول دوره تجدید به دست می‌آید، که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$C(Q, q) = \frac{\text{متوسط هزینه یک دور تجدید}}{\text{متوسط طول یک دور تجدید}}$$

۵-۱. متوسط طول یک دور تجدید

طول یک دور تجدید به صورت مدت زمان بین دو رویداد تجدید متوالی تعریف می‌شود. بنابراین همان گونه که در نمودار (۳) مشاهده می‌شود، طول یک دور تجدید شامل یک

دوره تولیدی T_p و یک دوره بیکاری T_z ، است. در نتیجه می‌توان تعریف نمود؛

$$T = \tau_z + \tau_p \quad (۱-الف)$$

بنابراین متوسط طول یک دور تجدید به صورت زیر خواهد بود:

$$E(T) = E(\tau_z) + E(\tau_p) \quad (۱-ب)$$

اگر دفعات تولید در یک دور تجدید برابر Y باشد، آنگاه مدت زمان تولید (T_p) در آن دور تجدید برابر است با:

$$\tau_p = \frac{Q}{p} y \quad (۲-الف)$$

که $\frac{Q}{p}$ مدت زمان یک سیکل تولیدی (یعنی مدت زمان لازم برای تولید یک انباشته Q تایی با نرخ تولید p) است. پس میانگین مدت زمان تولید برابر است با:

$$E(\tau_p) = \frac{Q}{p} E(y) \quad (۲-ب)$$

همان گونه که در نمودار (۲) مشخص است، موقعیت موجودی در ابتدای دوره بیکاری و انتهای آخرین سیکل تولید بر موجودی در دست منطبق و برابر $r = z$ است. پس مدت

زمان بیکاری در یک دور تجدید عبارت است از: مدت زمان مورد تقاضا قرار گرفتن واحد کالا، حال اگر تعداد دفعات تولید در یک دور تجدید برابر Y باشد، مقدار z عبارت است از:

$$z = YQ - (X_1 + X_2 + \dots + X_Y) \quad (۳-الف)$$

بنابراین متوسط مدت زمان بیکاری در یک دور تجدید هنگامی که نرخ تقاضا λ است، عبارت است از:

$$E(T_z) = E\left(\frac{z}{\lambda}\right) = E\left(\frac{YQ - (X_1 + X_2 + \dots + X_Y)}{\lambda}\right) \quad (۳-ب)$$

بنابراین امید ریاضی مدت زمان بیکاری در یک دور تجدید به صورت زیر است:

$$E(T_z) = E\left(\frac{YQ - (X_1 + X_2 + \dots + X_Y)}{\lambda}\right) \quad (۴)$$

برای محاسبه امید ریاضی فوق، بر روی مقدار Y شرط می‌کنیم، از آنجا که Y زمان توقف برای X_i ، $(i=1,2,\dots,Y)$ است و X_i ها $(i=1,2,\dots,y)$ مستقل و پواسان با میانگین $\frac{Q}{p}$ هستند، پس طبق معادله والدز [۱۳]، رابطه (۴) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$E(T_z) = \frac{Q}{\lambda} E(Y) \left(1 - \frac{\lambda}{p}\right) \quad (۵)$$

بنابراین با توجه به روابط (۱-ب)، (۲-ب) و (۵) متوسط مدت زمان یک دور تجدید $(E(T))$ عبارت است از:

$$E(T) = \frac{Q}{p} E(Y) + QE(Y) \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{p}\right) = \frac{Q}{\lambda} E(Y) \quad (۶)$$

همان‌طور که مشخص است، برای محاسبه طول یک دور تجدید باید متوسط تعداد دفعات تولید در یک دور تجدید $(E(Y))$ را محاسبه کنیم. اگر $Y (Y=1,2,3,\dots)$ بیانگر تعداد دفعات تولید در یک دور تجدید باشد، آنگاه توزیع Y به صورت زیر محاسبه می‌گردد؛ اگر بخواهیم در یک دور تجدید، یک بار تولید داشته باشیم، یعنی $Y=1$ ، آنگاه باید مقدار تقاضا در مدت زمان تولید در سیکل اول تولیدی، x_1 ، کمتر از Q باشد، پس داریم:

$$\Pr\{Y=1\} = \Pr\{X_1 \leq Q-1\} \quad (۷)$$

حال اگر $X_1 \geq Q$ باشد، آن گاه علاوه بر سیکل اول تولید، حداقل یک سیکل تولید دیگر نیز خواهیم داشت. در صورتی که مقدار کل تقاضا در سیکل اول و سیکل دوم تولید کمتر از $2Q$ باشد (یعنی $X_1 + X_2 \leq 2Q - 1$)، $Y = 2$ خواهد بود و داریم:

$$\Pr\{Y = 2\} = \Pr\{X_1 \geq Q, X_1 + X_2 \leq 2Q - 1\} \quad (۸)$$

به همین ترتیب احتمال اینکه در یک دور تجدید y سیکل تولیدی داشته باشیم، به صورت زیر است:

$$\Pr\{Y = y\} = \Pr\{X_1 \geq Q, X_1 + X_2 \geq 2Q, X_1 + X_2 + X_3 \geq 3Q, \dots, X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_y \leq yQ - 1\} \quad (۹)$$

از آنجا که تقاضا به صورت فرآیند پواسان است و در هر سیکل تولید مستقل از سیکل دیگر است، داریم:

$$\Pr(X_j = x_j) = \frac{e^{-\lambda Q/p} (\lambda Q/p)^{x_j}}{x_j!} \quad (۱۰)$$

که در آن X_j مقدار تقاضای j امین سیکل تولیدی در یک دور تجدید و Q ، اندازه انباشته تولیدی است.

نهایتاً با توجه رابطه فوق، احتمال اینکه در یک دور تجدید y سیکل تولیدی داشته باشیم، به صورت زیر نوشته می شود:

$$\Pr(Y = y) = \sum_{x_1=Q}^{yQ-1} \sum_{x_2=\max\{0, 2Q-x_1\}}^{yQ-x_1-1} \dots \sum_{x_{y-1}=\max\{0, (y-1)Q-x_1-x_2-\dots-x_{y-2}-1\}}^{yQ-x_1-x_2-\dots-x_{y-2}-1} \sum_{x_y=0}^{yQ-x_1-x_2-\dots-x_{y-1}-1} \Pr(x_1) \Pr(x_2) \dots \Pr(x_y) \quad (۱۱)$$

بنابراین متوسط دفعات تولید در هر دور تجدید را می توان به صورت زیر نوشت:

$$E(Y) = \sum_{y=1}^{\infty} y \Pr(Y = y) \quad (۱۲)$$

با جای گذاری رابطه (۱۲) در رابطه (۶) متوسط طول یک دور تجدید به دست خواهد آمد.

۲-۵. متوسط هزینه یک دور تجدید

هزینه یک دور تجدید عبارت است از مجموع متوسط هزینه نگهداری موجودی های فروشنده و خریدار، و هزینه آماده سازی خط تولید برای تولید کننده در آن دور تجدید.

۵-۲-۱. متوسط هزینه آماده‌سازی خط تولید

اگر در یک دور تجدید تعداد دفعات راه اندازی خط تولید؛ y باشد و هزینه هر بار راه‌اندازی آن، A_s باشد، آنگاه متوسط هزینه راه‌اندازی خط تولید در هر دور تجدید (S_T) عبارت است از:

$$S_T = A_s \times E(y) \quad (13)$$

۵-۲-۲. متوسط هزینه نگهداری موجودی‌ها در هر دور تجدید

از آنجا که سیستم به صورت مرکزی کنترل می‌شود، متوسط هزینه‌های نگهداری موجودی‌ها در یک دور تجدید (H_T) عبارت است از مجموع متوسط هزینه نگهداری موجودی برای تولیدکننده (H_{Tp}) و متوسط هزینه نگهداری موجودی برای خریدار (H_{Tr}) است.

۵-۲-۳. متوسط هزینه نگهداری موجودی برای تولیدکننده در یک دور تجدید

اگر h_p هزینه نگهداری سالیانه یک واحد موجودی در انبار تولیدکننده باشد، $\bar{I}_{\tau p}$ متوسط موجودی تولیدکننده در مدت زمان تولید بوده و \bar{I}_p متوسط موجودی تولیدکننده در یک دور تجدید است.

با توجه به روابط (۲-ب) و (۵) متوسط هزینه نگهداری موجودی تولیدکننده در یک دور تجدید (T) عبارت است از:

$$H_{Tp} = h_p \times \bar{I}_{\tau p} = h_p \times \frac{E(\tau_p) \times \bar{I}_{\tau p} + E(\tau) \times 0}{E(\tau_p) + E(\tau)} = h_p \times \frac{E(y) \times \frac{Q}{p} \times \frac{q}{2}}{\frac{Q}{\lambda} E(y)} = \frac{h_p \times \lambda \times q}{2p} \quad (14)$$

۵-۲-۴. متوسط هزینه نگهداری موجودی خرده فروش

اگر h هزینه نگهداری سالیانه هر واحد موجودی برای خرده‌فروش و \bar{I}_r متوسط موجودی خرده‌فروش در یک دور تجدید باشد، آنگاه متوسط هزینه موجودی خرده‌فروش در یک دور با استفاده از تقریب موجودی به وسیله موجودی خالص عبارت است از [۱۴]:

$$H_{Tr} = h_r \times \bar{I}_r = h_r \left(\frac{q}{2} + ss \right) \quad (15)$$

که در آن ss ذخیره اطمینان خرده فروش می باشد و مقدار آن برابر است با:

$$ss = r - \frac{Q\lambda}{p} \quad (16)$$

در رابطه فوق مقدار $\frac{Q\lambda}{p}$ ، میانگین تقاضا در مدت زمان تحویل است، که مدت زمان تحویل برابر مدت زمان تولید یک انباشته $\left(\frac{Q}{p}\right)$ توسط تولید کننده است.

بنابراین با توجه به روابط (۱۳)، (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) متوسط هزینه یک دور تجدید (C_T) برابر است با:

$$C_T = S_T + H_{Tp} + H_{Tr} \quad (17)$$

حال با استفاده از روابط (۶)، (۱۳)، (۱۴)، (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) متوسط هزینه در واحد زمان برای کل سیستم در بلندمدت $(C(Q, q))$ به دست خواهد آمد.

$$C(Q, q) = \frac{C_T}{E(T)} = \frac{A_s E(y) + \frac{h_p \lambda q}{2p} + h_r \left(\frac{q}{2} + r - \frac{Q\lambda}{p}\right)}{\frac{Q}{\lambda} E(y)} \quad (18)$$

با توجه به فرضیات قبلی $Q = nq$ و $r = mQ$ رابطه فوق را می توان به صورت زیر نوشت :

$$C(Q, q) = \frac{\lambda \times A_s}{Q} + \frac{q \times h_p \times \lambda^2}{2Q \times p \times E(y)} + \frac{q \times \lambda \times h_r}{Q \times E(y)} \times \left(\frac{1}{2} + m \times \frac{Q}{q} - \frac{\lambda \times Q}{q \times p}\right) \quad (19)$$

در این قسمت تحلیل تکمیل می شود، رابطه (۱۹) هزینه سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده تحت سیاست تولید سفارشی را براساس پارامترهای مختلف سیستم نشان می دهد.

۶. مثال عددی

در این بخش به منظور درک بهتر مدل ارائه شده در این مقاله، اقدام به ارائه مثالی عددی می نماییم. در این مثال فرض شده است که نسبت نرخ تولید p ، به نرخ تقاضای λ ، کمتر از ۰.۵ یعنی $\frac{\lambda}{p} \leq 0.4$ است. در این حالت شبیه سازی سیستم مورد بررسی به کمک نرم افزار

MATLAB صورت گرفته شده است. بدین صورت که با تولید اعداد تصادفی پواسان، در هر سیکل تولید، تقاضای واصله در محل خرده‌فروش را شبیه‌سازی کرده، سپس با توجه به شرایط سیستم تعداد راه‌اندازی خط تولید در یک دور تجدید، λ را محاسبه کرده و نهایتاً مقدار امید ریاضی λ را برای مقادیر مختلف Q و $\frac{\lambda}{p}$ محاسبه می‌کنیم. این مقادیر به ترتیب زیر است:

λ/p Q	1	2	3	4
1	1.1004	1.253	1.4395	1.6781
2	1.0187	1.0661	1.1576	1.2884
3	1.0034	1.0219	1.0667	1.1454
4	1.0013	1.0102	1.0341	1.0957
5	1.0001	1.0036	1.0211	1.0564

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار امید ریاضی λ برای سطوح مختلف Q و $\frac{\lambda}{p} \leq 0.4$ تقریباً برابر یک است، پس رابطه (۱۹) به صورت زیر در می‌آید:

$$C(Q, q) = \frac{q \times \lambda}{2Q \times p} (p \times h_r + h_p \times \lambda) + C \quad (20)$$

که در آن C مقداری ثابت است.

باتوجه به رابطه (۲۰) ملاحظه می‌شود که تابع $C(Q, q)$ برحسب q خطی و صعودی است، پس برای این که هزینه کل حداقل شود باید q حداقل مقدار خود یعنی مقدار یک را اختیار کند ($q^* = 1$). بنابراین هزینه بهینه کل برابر است با:

$$C^*(Q, q) = \frac{\lambda}{2Q \times p} (p \times h_r + h_p \times \lambda) + C \quad (21)$$

با توجه به این که $Q = nq$ است، مقدار بهینه دفعات ارسال کالا از تولیدکننده برای خرده‌فروش برابر Q است، یعنی ($n^* = Q$).

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک زنجیره تامین دو سطحی شامل یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفته شده است. در این زنجیره تامین تصمیم‌گیری در مورد سطوح موجودی به

صورت مرکزی و توسط تولیدکننده گرفته می‌شود و تولیدکننده پاسخگوی نیاز خرده-فروش است. در این مقاله حالتی را در نظر گرفتیم که فرآیند تقاضا برای خرده‌فروش یک فرآیند پواسان است و موجودی خرده‌فروش با خط‌مشی (r, Q) توسط تولیدکننده تامین می‌شود. تولیدکننده با نرخ متناهی و معین جهت پاسخ‌گویی به نیاز خرده‌فروش براساس سیاست تولیدسفارشی، تولید می‌کند. در این مطالعه به کمک تئوری تجدید پاداش فرمول دقیق هزینه کل تولیدکننده و خرده‌فروش در شرایط مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI)، تعیین و برای حالتی که نرخ تقاضا حداکثر برابر نصف نرخ تولید است، مقدار بهینه هزینه و مقدار بهینه دفعات ارسال کالا از تولیدکننده به خرده‌فروش به دست آمده است. با توجه به فرمول هزینه به دست آمده، مشخص می‌شود که هزینه موجودی‌های سیستم نسبت به نرخ تولید و نرخ تقاضا از خود حساسیت نشان می‌دهد. بدین صورت که با افزایش نرخ تقاضا هزینه‌ها افزایش می‌یابد، در حالی که با افزایش نرخ تولید این هزینه‌ها کم می‌شود. بدیهی است در صورتی که مقدار سرمایه‌گذاری جهت افزایش نرخ تولید (به عنوان مثال افزودن یک خط تولید) مقدار کمتری نسبت به کاهش هزینه‌ها منجر شده از افزایش نرخ تولید داشته باشد، سرمایه‌گذاری در این راستا مقرون به صرفه می‌باشد. مدل ارائه شده در این مقاله راهنمای مناسبی برای ارزیابی این هزینه‌ها است، که می‌تواند مورد استفاده مدیران و کارشناسان صنعتی کشور قرار گیرد.

تحقیقات آتی برای توسعه پژوهش فوق را در دو بخش اجرایی و تئوری می‌توان در نظر گرفت. در حوزه تئوری و آکادمیک، محاسبه مقدار دقیق امید ریاضی تعداد دفعات تولید در یک دور تجدید، کماکان یک مسئله باز بوده و نیاز به حل دارد. با محاسبه این مقدار برحسب سایر پارامترهای مسئله می‌توان به ارزیابی بهتری از هزینه‌های زنجیره تامین تحت VMI دست یافت. از دیگر مواردی که به واقعی‌تر نمودن مدل ارائه شده کمک خواهد کرد، در نظر گرفتن هزینه‌های حمل و نقل و کمبود در مدل فوق خواهد بود. طبیعی است که در محیط واقعی هزینه‌های حمل و نقل و کمبود نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند، بنابر این با لحاظ کردن این هزینه‌ها به ارزیابی واقعی‌تری از هزینه‌ها در زنجیره‌تامین می‌رسیم.

در حوزه اجرایی و عملیاتی، تاکنون تحقیقات انجام شده برای بررسی عملکرد و میزان موثر بودن سیستم VMI در زنجیره تامین مواد پتروشیمی، صنایع چوب، صنعت خودرو... اندک بوده و نیاز به عملیاتی نمودن این پژوهش به صورت اجرایی احساس می شود.

منابع

1. Sahin F, Robinson E. (2002). "Flow Coordination and Information Sharing in Supply Chains: Review, Implications, and Directions for Future Research". *Decision Sciences*, Vol. 33, No. 4, pp. 505–536.
2. Moinzadeh K. (2002). "A Multi-echelon Inventory System with Information Exchange"; *Management Science*, Vol. 48, No. 3, pp. 414-426.
3. Haji R., Sajadifar S.M. (2008). "Deriving the Exact Cost Function for Two-Level Inventory System with Information Sharing, *Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 2, No. 1, pp. 41-50.
4. Çetinkaya S., Lee C. (2000). "Stock Replenishment and Shipment Scheduling for Vendor-Managed Inventory Systems". *Management Science*, Vol. 46, No. 2, pp. 217–232.
5. Yuliang Y, Philip T. Evers, Martin E. Dresner (2007). "Supply Chain Integration in Vendor-Managed Inventory", *Decision Support Systems*, Vol. 43, No. 1, pp. 663–674.
6. Yuliang Y., Dresner M. (2007). "The inventory Value of Information Sharing, Continuous Replenishment, and Vendor Managed Inventory". *Transportation Research, Part E*, Vol. 43, pp. 225-240.
7. Sahin F., Robinson E. (2005). "Information Sharing and Coordination in Make-to-Order Supply Chains". *Journal of Operations Management*, Vol. 23, No. 2, pp. 579–598.
8. Martha C. Wilson (2007). "The impact of Transportation Disruptions on Supply Chain Performance", *Transportation Research Part E*, Vol. 43, pp. 295–320.
9. Jammernegg W, Reiner G. (2007). "Performance Improvement of Supply Chain Processes by Coordinated Inventory and Capacity Management", *International Journal of Production Economics*, Vol. 108, pp. 183-190.
10. Yan Dong, Xu K., Dresner M. (2007). "Environmental Determinants of VMI Adoption: An exploratory Analysis", *Transportation Research Part E*, Vol. 43, pp. 355–369.

11. Zhang T., Liang L., Yugang Y., Yan Y. (2007). "An integrated Vendor-Managed Inventory Model for a Two-Echelon System with Order Cost Reduction, International Journal of Production Economics, Vol. 109, pp. 241-253.
12. Sari K. (2008). "On the Benefits of CPFR and VMI: A Comparative Simulation Study", International Journal of Production Economics, Vol. 109, pp. 275-290.
13. Ross S. M. (2007). "Introduction to Probability Models", 9th Edition, Elsevier Inc.
14. Hadley G., T. Whitin. (1963). "Analysis of Inventory Systems". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.