طراحی مدل ریاضی مدیریت موجودی در زنجیره تأمین

عادل آذر[1*]، مسلم علی محمد لو[2]

۱- دانشیار گروه مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکترای مدیریت تولید و عملیات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: ۸٤/۷/۱٦ پذیرش: ۸۵/۱۱/۱۷

چکیده

موجودی در طول زنجیره تأمین در قالبهای گوناگون و به دلایل مختلف نگهداری می‌شود. از آنجا که این وجودی‌ها می‌تواند هزینه‌هایی بالغ بر ۲۰ - ٤۰ درصد ارزش آنها در سال را در برداشته باشد، مدیریت آنها به‌صورت علمی برای نگهداری حداقل موجودی پی‌آمدهای اقتصادی خوبی به همراه خواهد داشت. در این مقاله یک مدل ریاضی بر اساس سیاست موجودی نوع (Q، S) برای شبکه‌های تولید/توزیع چند مرحله‌ای طراحی شده است. این مدل از سه بخش تشکیل شده است: ۱- تحلیل موجودی در خرده‌فروشان؛ ۲ - فرایند تقاضا در انبار مرکزی؛ ۳- تحلیل موجودی در انبار مرکزی. هدف نهایی حداقل کردن هزینه‌ها شامل هزینه‌های موجودی، حمل ونقل، خرید و سفارش می‌باشد. خروجی اجرای مدل در حالت واقعی با خروجی مدل سنتی EOQ مقایسه شد که نتایج به‌دست آمده بیانگر کارایی مدل پیشنهادی است.

کلید واژه‌ها: زنجیره تأمین، مدیریت موجودی، سیستمهای تأمین چندگانه، سیستمهای کنترل موجودی چند مرحله‌ای.

۱- مقدمه

بیشتر شرکتهای تولیدی از شبکه‌ها و از پایگاههای تولید و توزیع برای تهیه مواد اولیه، پردازش و تبدیل آنها به کالای نهایی و رساندن کالاهای نهایی به مشتریان نهایی تشکیل

* نویسنده مسؤول مقاله: E-mail: aazar@modares.ac.ir

شـده‌اند. واژه شبـکه‌های تولیـد / توزیـع چـند مرحله‌ای[1] یا چند سطحی[2] متـرادف بـا چنیـن شـبکه‌هایی(یا زنجـیره‌های تأمـینی) اسـت که در آن اقلام یـا کالاهـا قبـل از اینکـه بـه دسـت مشتری نهایی برسد از بیش از یک سـطح عبـور می‌کند.

مـوجودی در طـول زنـجیره تأمـین در قالبـهای گـوناگون و بـه دلایـل مـختلف نگـهداری می‌شـود. در هـر نقطه از فـرایـند تولـید موجـودی مـمکن است در قـالب مـواد خـام، کـار در جریـان سـاخت یا کـالای نـهایی باشـد. همـچنین موجـودی مـمکن اسـت در انبـار مرکـزی، در خـرده‌فروشیها و یـا در حـال انـتقال بیـن هر یـک از ایـن پایگـاهها باشـد. در تـمام ایـن موارد:

- پایگاههای دست پایینی برای موجودیهای پایگاههای دست بالایی تقاضا ایجاد می‌کنند.
- این تقاضاهای نامطمئن(در شرایط عدم اطمینان) در ترکیب با زمـان انتقـال و یـا تولیـد نامطمئن موجب نگهداری موجودی بالایی در پایگاه مذبور می‌شود[۱، صص ۳۹۱-۴۰۹].

بالو[3] تخمین می‌زند که هزینه نگهداری موجودی در سال در هـر وضـعیتی بـین ۲۰ - ۴۰ درصد ارزش کل موجودی می‌باشد. با وجود ایـن نگهـداری موجـودی بـرای افـزایش سـطح خدمت‌رسانی بـه مـشتری و کـاهش هزینـه‌هـای توزیـع ضـروری اسـت، امـا مـدیریت ایـن موجودیها به‌صـورت علـمی بـرای نگهداشتن حداقل موجـودی موجـب کـاهش کـل هزینـه‌هـا می‌شود[۲، ص۱۲].

لی و بلینگتن[4] فرصتهای زیادی را که در مدیریت موجودیها در زنجیرهٔ تأمین وجود دارد، برمی‌شمرند. طبق نظر آنها، مدیریت موجودی در زنجیره تـأمین تـصمیم‌گیریهـا بـین مراحـل مختلف را یکنواخت می‌کند، موجب هماهنگی منـابع در شـرایط عـدم اطمینـان شـده و موجـب طراحی یک معیار عملکردی مناسبی در زنجیره تأمین می‌شود. آنچه که مسلم است پـایینترین سطح موجودی زمانی روی می‌دهد که تمام زنجیره تأمین به مثابه یک سیستم در نظر گرفتـه شـود[۳، صـص ۶۵-۷۳]. چنـین همـاهنگی در تـصمیمها موجـب نتـایج شـگرفی در شـرکت زیراکس[5] و هیلوت پاکارد[6] شده و سطح موجودی آنهـا تـا بـیش از ۲۵ درصـد کـاهش یافتـه است[۴، صص ۳۴۱-۳۵۱؛ ۵، صص ۴۲-۶۳].

1. multi - echelon
2. multi - level
3. R. H. Ballou
4. H. L. Lee and C. Billington
5. Xerox
6. Hewlelt Pakard

تعیین سیاست بهینه موجودی برای سیستمهای موجودی چند مرحله‌ای به دلیل وجود تعامل بین سطوح مختلف امری است مشکل و پیچیده؛ اگر چه تحقیقات موجود در تئوری موجودی چند مرحله‌ای طیف گسترده‌ای از مسائل را پوشش می‌دهد، لازم است به نکاتی اشاره شود:

اول اینکه برخلاف بیشتر سیستمهای توزیع واقعی، تقریباً تمام تحقیقات منتشر شده در این زمینه نوع ساختار درختی مد نظر قرار داده‌اند[٦، صص۱۲۲،۱٤۱]. با چنین فرضی هر پایگاه در سیستم تنها می‌تواند از یک سطح بالاتر کالا دریافت کرده و به چندین پایگاه سطح پایین توزیع کند.

در یک چنین الگوی تأمین انحصاری[1] که در دهه گذشته قابل دفاع بوده است، در استراتژی تأمین بسیاری از شرکتها حرکتی از مفاهیم سنتی داشتن چندین تأمین‌کننده، به سمت تکیه تنها بر یک یا چندین تأمین‌کننده انگشت شمار دیده می‌شود. با وجود این، محققان اعلام کرده‌اند که استفاده از چندین تأمین‌کننده در اکثر مواقع هزینه‌های کل موجودی را کاهش می‌دهد. مسأله اصلی نشان دادن این موضوع است که چگونه می‌توان استفاده از چندین تأمین‌کننده را به مدلهای کلاسیک موجودی چند مرحله‌ای به سیستمهایی با یک انبار مرکزی و چندین خرده‌فروشی ارتباط داد.

دوم اینکه نظریه‌های ارائه شده در باره سیاستهای موجودی و توزیع صرفاً از نقطه نظر موجودی بوده است، در صورتی که هزینه‌های تولید و حمل و نقل از عوامل کلیدی تعیین‌کننده کارایی سیستم توزیع می‌باشند که در سیاست موجودی در سیستمهای موجودی چند مرحله‌ای باید مد نظر قرار گیرند[۲، ص۲٤].

سوم اینکه تحقیقاتی که نظریه‌های سیاست موجودی در سیستمهای موجودی چند مرحله‌ای ارائه داده‌اند، اغلب توزیع تقاضا و زمانهای تحویل را ثابت و یا با تابع توزیع مشخص در نظر گرفته‌اند، در صورتی که چنین مفروضاتی به نوعی تحلیل هر مرحله از سیستم را بسیار ساده می‌کند.

در نهایت اینکه در بیشتر تحقیقات صورت گرفته، چه در زمینه استفاده از چندین تأمین‌کننده و چه در زمینه سیستم موجودی چند مرحله‌ای، فرض بر یکسان بودن زمانهای تحویل تأمین‌کنندگان و خرده‌فروشان بوده است.

---

1. single sourcing

این تحقیق تلاشی است برای پوشش بعضی از این محدودیتها. در اینجا یک سیستم توزیع/ تولید دو مرحله‌ای با چندین تأمین‌کننده ناهمسان[1]، یک انبار مرکزی و چندین خرده‌فروشی ناهمسان در نظر گرفته شده است، به طوری‌که موجودی خرده‌فروشان با تقاضای نهایی مشتریان کاهش می‌یابد. آنها تقاضای خود را از یک انبار مرکزی[2] (یا مرکز توزیع)[3] سفارش می‌دهند، انبار مرکزی نیز کالاهای مورد نیاز خود را از چندین تأمین‌کننده (یا تولید کننده، از این رو ما از واژه سیستم تولید/توزیع استفاده کردیم) خارجی ناهمسان تأمین می‌کند. مسأله اصلی یافتن یک سیاست بهینه موجودی در خرده‌فروشیها و انبار مرکزی با توجه به تصادفی بودن تقاضا و زمان تحویل می‌باشد.

۲- پیشینه تحقیق

مدل به‌کارگرفته شده در این تحقیق، دو طیف از موضوعات را در برمی‌گیرد: سیستمهای موجود چند مرحله‌ای و سیستمهای تفکیک سفارش

۲-۱- سیستمهای موجودی چند مرحله‌ای[4]

یکی از قدیمیترین مدلهای موجودی چند مرحله‌ای به‌وسیله شربروک[5] ارائه شد او یک سیستم دو مرحله‌ای با یک انبار مرکزی و چندین خرده‌فروشی در نظر گرفت و برای یافتن سیاست بهینه موجودی روشی به نام متریک[6] ابداع کرد[٦، صص ١٢٢-١٤١]. گریوز[7] روش متریک را با تخمین دو پارامتر میانگین و واریانس توضیح داد و تابع توزیع دوجمله‌ای را در تعیین سیاست موجودی بهینه بر این پارامترها منطبق کرد[٧، صص ١٢٤٧-١٢٥٦]. از تحقیقات اخیر نیز می‌توان به کارهای اکساتر[8]، فدرجون[9]، ون هاتوم[10] و

1. non identical
2. warehouse
3. destribution center
4. Multi-Echelon Inventory Systems
5. C. C. Sherbrook, 1968
6. METRIC
7. S. C. Graves, 1985
8. S. Axater, 1996
9. A. Federgruen, 1993
10. Vanhatom, 1996

دیکس[1] اشاره کرد[۸، صص ۱۷۵-۱۹۷؛ ۹، صص ۱۳۳-۱۷۳]. مدلهایی که آنها ارائه دادند بر سیاستهای کنترلی مبنی بر اطلاعات متمرکز بوده است؛ به‌طوری‌که تصمیم‌گیری در هر پایگاه مستلزم دستیابی به اطلاعات از تمام پایگاههای زیردستی می‌باشد.

از طرفی در کلاس مهم دیگری از مدلها، تصمیم‌گیری بر پایه اطلاعات محلی صورت می‌گیرد. در این چشم انداز بیشتر روشهای کنترل غیر متمرکز هستند. حتی اگر متغیرهای کنترل برای استفاده از اطلاعات محلی تعریف شوند، تعیین سیاستهای کنترلی بهینه به صورت متمرکز صورت می‌گیرد. مدلهای کنترل موجودی چند سطحی که سیاستهای کنترل در آنها غیر متمرکز باشد در ادبیات تحقیق از حجم کمتری برخوردار هستند، اما اینگونه تحقیقات در حال گسترش هستند[۸، صص ۱۷۵-۱۹۷].

لی و ونگ[2] رویه‌ای قابل مقایسه برای یک سیستم سری مبتنی بر مدل کلارک و اسکرف[3] ارائه کردند. به‌طوریکه پایگاههای موجود در سیستم به عنوان مرکز هزینه به حساب می‌آیند. این رویه بر پایه پرداختهای انتقالی بین پایگاههای مختلف می‌باشد[۱۰، صص۱۳۰۲-۱۳۱٦]. ایده دستیابی به عدم تمرکز از طریق طراحی ساختار هزینه جدید، تقریباً از کار اکساتر[4] گرفته شده است. وی چارچوب مفهومی برای سیستم کنترل موجودی منشعب غیر متمرکز را عنوان کرده بود. اندرسون و دیگران[5] روی کنترل غیرمتمرکز سیستم توزیع منشعب تحت محدودیتهای دسترسی به اطلاعات تحقیق کرد. چن[6] همانند لی ونگ یک سیتم سری موجود بر پایه تحلیلی از مدل کلارک واسکرف مورد توجه قرار داد. لی و بلینگتون[7] به جای طراحی ساختار هزینه‌ای جدید، کنترل غیر متمرکز را با استفاده از شرایط ارائه سطح خدمات به پایگاههای بالا دستی صورت دادند[۵، صص ٤۲-٦۳].

مدلهای قدیمیتری نیز وجود دارد، مانند کار موکستاد و توناس[8] که بعدها به‌وسیله هاسمن و ارکیپ[9] دنبال شد[۱۱، صص ٤۷۲-٤۸۱]. در هر دو تحقیق سیاستهای

1. Diks, 1996
2. H. L. Lee and Wang, 1994
3. A. J. Clark and Scraf
4. S. Axater, 1995
5. Andenson et. al, 1998
6. chen, 1998
7. H. L. Lee and Blington, 1993
8. J. A. Muckstadt, 1980
9. Hasman and Vaekip, 1994

غیرمتمرکز برای سیستمهای موجودی چند سطحی با حجم کم تقاضا، در مدل تأمین اضطراری مورد توجه قرار گرفت. آنها بهطور دقیق استفاده از مدلهای تک مرحلهای را با شرایط سطح خدمتدهی، را با عملکرد مدل چند مرحلهای برای همان سیستم مقایسه کردند.

اثر شلاق گاوی[1] پدیده معروفی است که اولین بار فارستر[2] در مدیریت زنجیره تأمین مطرح کرد و روشهای متعددی برای کمی سازی آن ارائه کرد[۱۲]. چن و همکاران[3] از آن برای تعیین انحرافات تقاضا استفاده کردند[۱۳، صص ٤٣٦-٤٤٣].

پس از آن تحقیقات زیادی مدل وی را برای اندازهگیری انحرافات تعدیل کردند[١٤، صص١٩-٢٠٧؛ ١٥، صص ٧٢٧-٧٥٠؛ ١٦، صص ١٥-٢٧]. اگر چه دیزنی و تاویل[4] عنوان کردند که این مدل قابلیت پیش بینی زیادی ندارد[١٧، صص ١٥٦-١٥٧].

لی و دیگران[5][١٨] سیاست بازپرسازی[6] خردهفروشان بر اساس یک فرایند (١،١) ARMA ارائه کردند که تابعی است از پارامترهای خود برگشتی[7] از تقاضا و زمان تأخیر باز پرسازی[١٨، صص ٦٢٦-٦٤٣] که بعدها بهوسیله برخی محققان تأیید شد[١١، صص ٤٧٢-٤٨١؛ ١٩].

اما در جدیدترین تحقیق هوسودا و دیزنی[8] یک مدل سه سطحی زنجیره تأمین را مطالعه کردند و به بررسی تحلیلی اثر شلاق گاوی و انحرافات موجودی خالص[9] در هر یک از مراحل پرداختند[٢٠، صص ٣٤٤-٣٥٨]. و در نهایت در تحقیقی، آقززا و همکاران[10] با داشتن یک مرکز توزیع و یکسری نقاط فروش که نرخهای تقاضای مشخصی داشتند، اقدام به تعیین مسأله مسیریابی موجودی[11] کردند که هدف برنامه این بود تا در افق زمانی برنامهریزی، هزینههای کل توزیع و نگهداری کالا بدون مواجهه با کمبود حداقل شود[٢١، صص ١٠٤٨-١٠٦٣].

1. Bullwhip effect
2. Forrester
3. Chen & et. al.
4. Disney SM & Towill DR
5. Lee & et. al.
6. replenishment
7. autoregressive
8. Takamichi Hosoda & Stephen M. Disney
9. net inventory
10. Aghezza & et. al.
11. IRP: Inventory Routing Problem

۲-۲- سیستمهای تفکیک سفارش بین چندین تأمین‌کننده[1]

موضوع سیستمهای خرید با استفاده از یک تأمین‌کننده در مقابل چندین تأمین‌کننده به عنوان نتیجه موفقیت خریدهای شرکتهای ژاپنی به‌طور گسترده‌ای مطالعه شد. پر سوئتی[2] مطالعه‌ای روی شرکتهای ژاپنی در استفاده از یک تأمین‌کننده صورت داد. او به این نتیجه رسید که استفاده از یک تأمین‌کننده موجب افزایش ارتباط بلند مدت بین خریدار و تأمین‌کنندگان می‌شود و موجب تشویق تأمین‌کنندگان به سرمایه‌گذاری روی تکنولوژی جدید و بهبود کیفیت کالاهایشان می‌شود[۲۲، صص ۲۹۲-۳۱۱].

تصمیم‌گیری در مورد اینکه شرکتی از یک، دو یا چند تأمین‌کننده استفاده کند، نه فقط تحت تأثیر عوامل کیفی که به‌وسیله پرسوئتی ارائه شد، قرار دارد بلکه عوامل کمی نیز در این تصمیم دخیل هستند[۲۳، صص٦۹۱-۷۰۰]. شولی و وو[3] میانگین و واریانس تقاضا را در طول زمان تحویل و در یک سیستم موجودی با دو تأمین‌کننده تعیین کردند. آنها زمانهای تحویل را با توزیع نرمال فرض کردند و سطح سفارش مجدد در هر دو تأمین‌کننده را یکسان در نظرگرفتند[۲٤، صص ۱۰۰۳-۱۰۰۹]. آنها با بررسیهای عملی نشان دادند که در یک سیستم با استفاده از دو تأمین‌کننده سطح سفارش مجدد و سطح ذخیره احتیاطی(در صورتی که احتمال مواجه شدن با کمبود ثابت فرض شود) از سیستمی که تنها از یک تأمین‌کننده استفاده کند، کمتر می‌باشد. شولی و شوم[4] این مدل را برای بیش از دو تأمین‌کننده تعمیم دادند[۲۵، صص ۸۷۳-۸۷۷].

از طرف دیگر کلی و سیلور[5] یک سیستم با n تأمین‌کننده را مدنظر قرار دادند؛ به‌طوری‌که زمان تحویل هر یک از تأمین‌کنندگان یکسان و از توزیع ویبال پیروی می‌کرد[۲٦، صص ۷۲۵-۷٤۳؛ ۲۷، صص۳۵۱-۳۵۷]. آنها مزیت استفاده از سیستم با n تأمین‌کننده در مقایسه با سیستم استفاده از یک تأمین‌کننده را به‌صورت زیر عنوان کردند: در سیستم با n تأمین‌کننده در صورتی که سطح ذخیره احتیاطی ثابت فرض شود، سطح خدمت‌دهی بالاتری مطلوب نظر است و در صورتی که سطح خدمت‌دهی ثابت فرض شود، سطح ذخیره احتیاطی کمتری مورد انتظار است. با

---

1. order spliting systems among suppliers
2. Persuetti, 1992
3. D. Shulli & S. Y. Wu, 1981
4. D. Shulli & Y. W. Shum, 1990
5. P. Kelle and E. A. Silver

این‌حال مطالعه فوق استراتژی تعیین مقدار سفارش و میزان تفکیک سفارش را عنوان نکرده است.

راماسش ودیگران[1] یک سیستم با دو تأمین‌کننده را مورد توجه قرار دادند؛ به‌طوری‌که تقاضا قطعی و زمانهای تحویل به‌طور یکسان دارای توزیع یکنواخت یا نمایی بوده و مقدار سفارش به طور یکسان تفکیک می‌شود. آنها مقدار سفارش و سطح سفارش مجدد را به گونه‌ای تعیین کردند که هزینه نگهداری موجودی و هزینه کمبود در واحد زمان حداقل شود. سپس با استفاده از مطالعه عددی به این نتیجه رسیدند که وقتی عدم اطمینان در زمانهای تحویل بالا و هزینه سفارش پایین باشد، استفاده از دو تأمین‌کننده بسیار با صرفه‌تر خواهد بود[۲۸، صص ۳٤۱-۳٥٤].

راماش و دیگران[2] این مدل را توسعه دادند. آنها اجازه دادند که میزان تفکیک سفارش بین دو تأمین‌کننده یک متغیر تصمیم، زمانهای تحویل تأمین‌کنندگان به‌طور ناهمسان دارای توزیع نمایی و قیمتهای پیشنهادی تأمین‌کنندگان ناهمسان باشد. آنها در مطالعه خود تقاضا را ثابت در نظر گرفتند و تأیید کردند که استفاده از دو تأمین‌کننده در هزینه‌های نگهداری کالا و کمبود کالا صرفه‌جویی می‌کند[۲۹، صص ۲۸۸-۲۹۷].

بنتن وچیانگ[3] نیز سیستمی را با دو تأمین‌کننده مد نظرقرار دادند. در مدل آنها تأمین‌کنندگان به‌طور مشابه دارای زمانهای تحویل با توزیع نمایی بوده، قیمتهای تأمین‌کنندگان یکسان و سفارشها به‌طور یکسان بین دو تأمین‌کننده تفکیک می‌شود، اما تقاضا احتمالی بوده و از توزیع نرمال پیروی می‌کند. آنها سفارش مجدد و مقدار سفارش بهینه را برای حداقل کردن هزینه کل مورد انتظار شامل هزینه سفارش، هزینه نگهداری موجودی و هزینه کمبود تعیین کردند. مطالعات عددی نشان داد در صورتی که هزینه سفارش بالا و تغییرات زمانهای تحویل پایین باشد، استفاده از دو تأمین‌کننده مناسبتر از سیستمی با یک تأمین‌کننده است[۳۰، صص ۱۷٥-۱۷۸].

خاو و لو[4] نیز سیستمی با دو تأمین‌کننده را بررسی کردند و مدل راماسش و دیگران (۱۹۹۱) را با درنظرگرفتن اینکه توزیع زمانهای تحویل می‌تواند هر توزیعی داشته باشد و مقدار تفکیک سفارش یک متغیر تصمیم باشد، توسعه دادند[۳۱، صص ۱۲۰-۱۳۳]. آنها با

1. R. V. Ramasesh & et. al., 1993
2. R. V. Ramasesh & et. al., 1993
3. W. C. Benton and C. Chiang, 1994
4. L. G. Khao & H. Lao, 1993-1994

تعیین سطح سفارش مجدد و میزان سفارش، با در نظر گرفتن زمانهای تحویل قطعی و تقاضای تصادفی یا زمانهای تحویل تصادفی و تقاضای قطعی هزینه کل را شامل هزینه نگهداری موجودی و هزینه سفارش در واحد زمان حداقل کردند.

به هر حال تحقیقات اشاره شده، تنها سیستمهایی با دو تأمین‌کننده را مورد مطالعه قرار دادند نه سیستمهای عمومی با چندین تأمین‌کننده. مدرج و دیگران[1] مدل جامعتری برای مطالعه استراتژی تفکیک سفارش در جهت فهمیدن رفتار سیستم در سیستمهایی با چندین تأمین‌کننده با ارزیابی صحیحتری از هزینه‌های مختلف سیستم ارائه کردند. آنها سیستم موجودی عمومی n تأمین‌کننده را مورد توجه قرار دادند که در آن تقاضا و زمانهای تحویل در واحد زمان متغیرهای تصادفی بودند. آنها مدلی برای تعیین سطح سفارش مجدد و مقدار تفکیک سفارش بهینه برای سیستمهای عمومی با n تأمین‌کننده ارائه دادند و با مطالعه عددی تعداد بهینه تأمین کنندگان را نیز تعیین کردند[۳۲، صص ۲۰۳-۲۲۵].

از موضوعات دیگری که در زمینه منبع‌یابی صورت گرفته است، استراتژی منبع‌یابی جهانی می‌باشد. کوتابه و هلسن[2] در این زمینه تحقیق کرده و عنوان کردند که این نوع استراتژی نیازمند هماهنگی نزدیکی بین فعالیتهای مختلف سازمان در درون مرزهای کشور است[۳۳].

در ادامه همچنین کوتابه و ماری[3] نیز مدلی برای استفاده از منبع‌یابی جهانی جهت کسب مزیت رقابتی ارائه داند[۳٤، صص ۳۱٤-۳۳۷].

در این تحقیق سعی می‌شود تا این دو موضوع، یعنی سیستمهای موجودی چند مرحله‌ای و سیستمهای تفکیک سفارش بین چندین تأمین‌کننده ترکیب شده و مدلی برای تعیین سیاست موجودی برای یک سیستم تولید/ توزیع دو مرحله‌ای با چندین تأمین‌کننده، یک مرکز توزیع و چندین خرده‌فروشی ارائه شود.

۳- مدل تحقیق

در این تحقیق سعی می‌شود تا با ترکیب مدلهای موجود برای سیستمهای موجودی چند مرحله‌ای و تفکیک سفارش بین چندین تأمین‌کننده، مدلی برای تعیین سیاست بهینه موجودی

1. Mederage & et. al.
2. Kotabe M., & Helsen K.
3. Kotabe Masaaki Murray Janet Y.

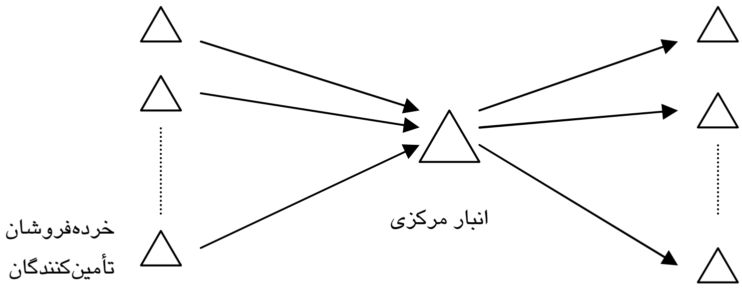
برای یک سیستم تولید/توزیع دو مرحله‌ای با چندین تأمین‌کننده، یک انبار مرکزی و چندین خرده‌فروشی ارائه شود.

هدف از این مدل، تعیین یک سیاست موجودی بهینه از نوع (S ،Q) برای تعیین مقدار سفارش و نقطه سفارش مجدد در هر یک از خرده‌فروشان و انبار مرکزی با هدف حداقل کردن هزینه‌های کل لجستیک[1] با توجه به محدودیتهای سطح خدمت‌رسانی به مشتری می‌باشد. در طرح مدل سه زیر سیستم باید تحلیل شوند:

۱. وضعیت موجودی در هر یک از خرده‌فروشان؛
۲. فرایند تقاضا در انبار مرکزی؛
۳. وضعیت موجودی در انبار مرکزی؛

ترکیب این سه زیر سیستم برای رسیدن به مدل حداقل هزینه نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این مدل شامل n خرده‌فروشی، یک انبار مرکزی و m تأمین‌کننده می‌باشد (شکل ۱). تقاضای روزانه در خرده‌فروشیها تصادفی می‌باشد که از توزیع پواسون با نرخ λr_i ($i = ۱,۲,...n$)پیروی می‌کند. هرگاه که موجودی خرده‌فروشان به Sr_i کاهش یافت، آنها سفارش به میزان Qr_i واحد به انبار مرکزی صادر می‌کنند. زمانهای تحویل در هر خرده‌فروشی شامل سه جزء می‌باشد: ۱- زمان ثابت برای پردازش سفارش در خرده‌فروشی؛ ۲- زمان انتظار در انبار مرکزی در مواقعی که با کمبود مواجه است؛ ۳- زمان انتقال از انبار مرکزی به خرده‌فروشی که تصادفی با تابع توزیع مشخص می‌باشد.



شکل۱ نمودار مدل زنجیره تأمین

---

1. logistic

زمـــان انتـــظار ســـفارش خـردهفروشـی در انـبار مـرکزی بـا اسـتفاده از مـیانگین آن تـخمینزده میشـود. تقاضـایی کـه در انبـار مرکـزی پاسـخ داده نـشود، تقاضـای معـوق بـه حسـاب میآیـد. در ضمن، موجودی انبار مرکـزی بـا سفارشـات خـردهفروشـان کـاهش پیـدا مـیکنـد و زمـانی کـه بـه سـطح Sw رسـید، انبـار مرکـزی سفارشـی بـه میـزان Qw_j ($j = ۱,۲,....m$) بهطور همزمان از هر یک از تأمینکنندگان صورت مـیدهـد کـه ممکـن اسـت بسته به زمان تحویل و قیمت پیشنهادی تأمینکنندگان، این مـقدار برای آنها متفاوت باشـد. ایـن سفارش یک زمان ثابتی را برای پـردازش میطلـبد. زمـان انتـقال از هر یک از تـأمین کننـدگان، اگرچه تصـادفی اسـت، ولی بـا متـغیری تصادفی و با تابع توزیع مشخص بیان میشود.

انـبار مرکزی سفارش را صادر نمی کند، مگر اینکه تمام سفارشهای قبلی از تأمینکننـدگان رسیده باشد. هر سفارش خردهفروشی که بـهوسـیله انبـار مرکـزی پاسـخ داده نـشود، معـوق میشود. اگر انبار مرکزی به میزان کمتر از Qr_i موجودی در دست داشته باشد، کـل سـفارش معوق میشود. همچنین فرض میگردد که اولین قـسمت سفارشـهای دریافـت شـده بـهوسـیله انبار مرکزی تعیینکننده سطح خدمترسانی آن باشد. هـدف نهـایی، حـداقل کـردن هزینـه کـل موجودی – لجستیک با توجه به محدودیت خدمترسانی به مشتری میباشد.

در جدولهای ۱ الی ٤ مشخصههای متغیرهای تصمیم، متغیرهـای تـصمیم و پارامترهـای قطعی و احتمالی ارائه شده است.

جدول۱ مشخصههای متغیرهای تصمیم

اندیس	شرح	دامنه
i	شمارهٔ خردهفروشی	$i = ۱,۲,....n$
j	شماره تأمینکننده	$j = ۱,۲,....m$
k	تقاضا در طول دوره تحویل	$k = ۱,۲,....l$

جدول۲ متغیرهای تصمیم

متغیر	شرح
Sw	نقطه سفارش مجدد انبار مرکزی
Sr_i	نقطه سفرش مجدد در هر خردهفروشی
Qw_j	میزان سفارش انبار مرکزی از تأمینکننده j
Qr_i	میزان سفارش هر یک از خردهفروشیها از انبار مرکزی

جدول۳ پارامترهای قطعی

پارامتر	شرح	پارامتر	شرح
n	تعداد خرده‌فروشان	Cw_j	هزینه خرید یک واحد کالا از تأمین‌کنندگان j
m	تعداد تأمین کنندگان	A_r	هزینه سفارش خرده‌فروشی از انبار مرکزی
Rw	تقاضای سالیانه از انبار مرکزی	a	هزینه ثابت سفارش انبار مرکزی از تأمین‌کنندگان
Rr_i	تقاضای سالیانه مورد انتظار	b	هزینه متغیر سفارش انبار مرکزی از تأمین‌کنندگان
ρr_i	نرخ پوشش تقاضا در خرده‌فروشیها	VCw_j	هزینه متغیر حمل یک واحد کالا از انبار مرکزی
ρw	نرخ پوشش تقاضا در انبار مرکزی	VCr_i	هزینه متغیر حمل یک واحد کالا
dw_j	فاصله هر تأمین‌کننده از انبار مرکزی	FC_w	هزینه ثابت حمل یک واحد کالا از انبار مرکزی
dr_i	فاصله هر خرده‌فروشی از انبار مرکزی	FC_r	هزینه ثابت حمل یک واحد کالا از خرده‌فروشان
Ct	هزینه حمل در واحد کالا از تأمین‌کنندگان	Q	اندازه دسته سفارش
l	حداکثر زمان تحویل تأمین کنندگان	CAP_j	ظرفیت عرضه هر یک از خرده‌فروشان
Hw	هزینه نگهداری یک واحد کالا	$ICAP_w$	ظرفیت موجودی انبار مرکزی
hr_i	هزینه نگهداری یک واحد کادر در هر یک از خرده‌فروشان	$ICAPr_i$	ظرفیت موجودی هر یک از خرده‌فروشان

جدول۴ پارامترهای احتمالی

Dr_i	تقاضای روزانه در هر یک از خرده‌فروشان با میانگین μ_{Dr_i}
Dw	تقاضای انبار مرکزی با میانگین μ_{Dw}
Tr_i	زمان تحویل از انبار مرکزی برای خرده‌فروشان
Tw	"اولین زمان تحویل" انبار مرکزی از تأمین کنندگان
Lr_i	زمان انتقال کالا از انبار مرکزی به هر یک از خرده‌فروشان با میانگین μ_{Lr_i}
Lw_j	زمان انتقال کالا از هر یک از تأمین‌کنندگان به انبار مرکزی با میانگین μ_{Lw_j}
Yr_i	تقاضا در طول زمان تحویل در هر خرده‌فروشی با میانگین μ_{Yr_i}
Yw	تقاضا در طول زمان تحویل انبار مرکزی با میانگین μ_{Yw}

تقاضای روزانه در خرده‌فروشان r_i ($i = ۱,۲,....n$)تصادفی است که از توزیع پواسون با پارامتر λr_i پیروی می‌کند.

- زمان تحویل کالا از انبار مرکزی برای خرده‌فروشان متغیری است تصادفی با تابع چگالی مشخص
- زمان انتقال کالا از تأمین‌کنندگان به انبار مرکزی متغیری تصادفی است با تابع چگالی مشخص.

۳-۱- تحلیل موجودی در خرده‌فروشیها

وضعیت موجودی خرده‌فروشان با تقاضا کاهش پیدا می‌کند و زمانی که در سطح موجودی به سطح موجودی نقطه سفارش مجدد Sr_i رسید، خرده‌فروشی r_i ($i = ۱,۲,....n$) سفارشی به میزان Qr_i از انبار مرکزی صادر می‌کند. سپس انبار مرکزی سفارش خرده‌فروشی را ارسال می‌دارد که زمانی معادل Lr_i طول می‌کشد (متغیر تصادفی گسسته که تخمینی است از متغیر تصادفی پیوسته با تابع توزیع دلخواه) زمانی که انبار مرکزی، خالی از موجودی باشد، خرده‌فروشی زمان اضافه‌ای نیز معادل Wr_i، تا اینکه انبار مرکزی از یکی از تأمین کنندگان خود کالا دریافت کند، منتظر می‌ماند. در واقع Wr_i برای حالتی که کمبودی وجود نداشته باشد، صفر می‌باشد(Wr_i همانند مدل متریک[1] به‌وسیله ارزش مورد انتظار آن تخمین زده می‌شود).

بنابراین زمان کل تحویل برای خرده‌فروشی i عبارت خواهد بود از:

$$Tr_i = \gamma r_i + Lr_i + Wr_i \qquad (i = ۱,۲,....n \text{ برای}) \qquad (۱)$$

به‌طوری که γr_i هزینه ثابت پردازش سفارش می‌باشد. چون γr_i و Wr_i ثابت فرض می‌شوند، بنابراین Tr_i تابع توزیعی مشابه Lr_i خواهد داشت.

تعداد مورد هدف برای مواجهه با کمبود[2] را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\text{TWS} = (۱ - \rho r_i)Qr_i \qquad (۲)$$

1. METRIC
2. target number of shortage

ESr_i بیانگر تعداد مورد انتظار مواجـه بـا کمبـود در دوره بازپرسـازی[1] باشـد، سـطح خدمت هدف برای Qr_iهای داده شده، برای یافتن Sr_i های عبارت خواهد بود از:

$$ESr_i \leq (1-\rho r_i)Qr_i \qquad (\ i = 1,2,\ldots n\ ) \text{ برای} \qquad (3)$$

همان‌گونه که در قبل عنوان شد، دورهٔ تقاضـا Dr_i دارای تـوزیعی پواسـون بـا پـارامتر λr_i ($i = 1,2,\ldots n$) می‌باشد. اگر زمان تحویـل دارای تـابع چگـالی بـه‌صـورت ذیـل باشـد $P(Tr_i = tr_i) = Ptr$، بنابراین توزیـع شـرطی تقاضـا بـا درسـت بـودن $Tr_i = tr_i$ بـرای ($i = 1,2,\ldots n$) هم توزیع پواسون با پارامتر $\lambda r_i tr_i$ خواهد بود. سیلور و پیترسون[2]، چـون کمبود زمانی اتفاق می‌شود که تعداد سفارشـها در طـول دوره تقاضـا از Sr_i بیـشتر شـود، بنابراین تعداد مورد انتظار کمبود کالا در دوره بازپرسازی برای هـر توزیـع شـرطی، ESr_i (یعنی تعداد مواجه با کمبود برای $Tr_i = tr_i$)به‌صورت زیر خواهد بود:

$$EStr_i(Sr_i) = \sum_{K=s_r}^{\infty} (K - Sr_i)e^{\lambda r_i tr_i}(\lambda r_i tr_i)^K / k! \qquad (\ i = 1,2,\ldots n\ ) \text{ برای} \ (4)$$

فرض ضمنی برای محاسبه رابطه‌های (۳-۴) ایـن اسـت کـه تعـداد مواجهـه بـا کمبودهـا به‌طور نـسبی کـوچکتر از میـانگین موجـودی در دسـت باشـد[۳۵، صـص ۷۲۷-۷۵۲]. تعـداد واحدهای مواجه با کمبود در کل زمان تصادفی تحویل را می‌تـوان براحتـی بـه‌صـورت زیـر محاسبه کرد:

$$ESr_i = \sum_{t_{ri=1}}^{m} EStr_i(Sr_i)Ptr \qquad (\ i = 1,2,\ldots n\ ) \text{ برای} \ (5)$$

۳-۲- فرایند تقاضا در انبار مرکزی

اگرچـه انـدازه تقاضـا در انبـار مرکـزی ثابـت باشـد (Qr_i)، فاصـله زمـانی بـین دو سـفارش تـصادفی بـوده و بـستگی بـه انـدازه Qr_i دارد. مـا فراینـد تقاضـا در انبـار

1. replanishment cycle
2. E. Silver and R . Peterson, 1985

مرکزی را با فرایندهای سفارش خرده‌فروشان منطبق شود. اگر $Nr_i(t)$ تعداد سفارشهای خرده‌فروشی i باشد که در زمان t صادر کرده باشد و همچنین یک خرده‌فروشی به‌طور میانگین برای هر Qr_i واحد تقاضا یک سفارش صادر کند، زمان بین سفارشها از توزیع ارلنگ – با میانگین $Qr/\lambda r$ پیروی می‌کند[۲٦، ص ۷۲۳]. اگر $N_w(t)$ تعداد سفارشها در انبار مرکزی در بازده زمانی[t، ۰] باشد، خواهیم داشت.

$$N_w(t) = \sum_{i=1}^{n} Nr_i(t) \qquad (i = ۱,۲,....n \text{ برای}) \qquad (٦)$$

می‌توان اینگونه بیان کرد که زمان بین سفارشهای خرده‌فروشی r_i در فرایند تکرار[۱] غیر پایا[۲] است[۲۷، ص ۳۳٤]. در دو حالت $Nw(t)$ پایا[۳] می‌شود. اول اینکه وقتی Qr_i=۱ برای($i = ۱,۲,....n$) باشد، در این حالت $Nw(t)$ پواسون خواهد بود. دوم اینکه اگر n و t به اندازه کافی بزرگ باشد، $Nw(t)$ برای $n \to \infty$ پواسون می‌شود[۳٦]. کیم نشان داد وقتی که $n \geq ۲۰$ باشد، فرایند پواسون تخمین بسیار عالی برای $Nw(t)$ می‌باشد. این فرض، فرض محدود کننده‌ای نیست چون به طور مثال شرکت وال مارت[٤] ۷۵ مغازه خرده‌فروشی دارد، بنابراین فرایند دریافت سفارش در انبار مرکزی از توزیع پواسون با نرخ زیر پیروی می‌کند:

$$\lambda_w = \lambda r / Qr \qquad (۷)$$

این نتیجه مهمی است چون اغلب در حل مسائل چند مرحله‌ای یکی از اقدامات مشکل، تعیین تقاضای مؤثر در پایگاه بالادستی است. در قبل عنوان شد وقتی n بزرگ باشد($n \geq ۲۰$)، سفارشات، هر یک از اندازه‌های Qr_i مطابق فرایند پواسون دریافت می‌شود. این مطلب در تحلیلها و صنعت موجودی در انبار مرکزی کمک می‌کند.

---

1. renewal process
2. nonstationary
3. stationary
4. Wal - Mart

۳-۳- تحلیل موجودی در انبار مرکزی

تحلیل موجودی در انبار مرکزی (در بیشتر قسمتها) مشابه تحلیل خرده‌فروشیها است ولی دو تفاوت با آن دارد:

۱) باید این موضوع را مد نظر داشت که سفارش باید در اندازه‌های Qr_i باشد؛

۲) باید توجه داشت که انبار مرکزی از چندین تأمین‌کننده استفاده می‌کند؛

برای نرخ پوشش مشخص (ρw)، تعداد سفارشهای هدفی که پاسخ داده نمی‌شود، عبارت خواهد بود از:

$$\text{TNS} = \sum_{j=۱}^{m} Qw_j (۱-\rho w) \qquad (۸)$$

اگر ESw را تعداد سفارشهای مورد انتظار برای پاسخ ندادن در نظر گرفته شود، همانگونه که در قبل نیز عنوان شد، برای Qw مشخص، هدف تعیین Sw است، به‌طوری‌که:

$$ESw \le Q_w (۱-\rho w) \qquad (۹)$$

تعیین Qw و البته Sw بستگی به هدف نهایی ما در حداقل کردن هزینه دارد. تقاضای دوره در انبار مرکزی، Dw، همان‌گونه که در قسمت قبل نیز عنوان شد، از توزیع پواسون با نرخ λw پیروی می‌کند (باید توجه داشت که در هر تقاضا در انبار مرکزی در اندازه‌ای Qr_i واحدی است). اگر Tw_j زمان تحویل j این تأمین‌کننده باشد ($j = ۱,۲,...m$)، چون انبار مرکزی m سفارش هم زمان به اندازه Qw_j سفارش می‌دهد، قسمت اول سفارشهای زمانی معادل کمترین زمان m زمان تحویل طول خواهد کشید. زمان تحویل انبار مرکزی Tw را می‌توان به‌صورت زیر نوشت :

$$Tw = M_{in}(Tw_۱,...Tw_m) + \gamma_w \qquad (۱۰)$$

اگر $H_j(t)$ تابع توزیع تجمعی هر یک از Tw_jها باشد، بنابراین تابع تجمعی Tw، I(t,n) را که می‌توان به‌صورت $P(Tw \le t)$ نوشت، به‌صورت زیر خواهد بود:

$$I(t,n) = 1 - \prod_{j=1}^{m} [1 - H_j(t)] \qquad (۱۱)$$

اگر EStw بیانگر تعداد سفارشهای مورد انتظار برای یک زمان تحویل مشخص، tw باشد، همان‌طور که در قبل ذکر شد می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

$$EStw(sw) = \sum_{k=Sw}^{\infty} (k - Sw) \sum_{j=1}^{m} e^{-\lambda w_j tw} (\lambda w_j tw)^k / k! \quad (t_w = 1,2,....l \text{ برای}) \quad (۱۲)$$

بنابراین اینک می‌توان ESw را در کل زمان تحویل تصادفی به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$ESw = [\ \sum_{tw-1}^{l} EStw(Sw, Qr_i)\ ]Ptw \quad (۱۳)$$

برای $j = 1,2,....m$ به‌صورتی‌که Ptw احتمال این است که $T_w = t_w$ برای $t_w = 1,2,....l$ باشد.

۳-۴- مدل هزینه کل

هزینه کل سالیانه مورد انتظار برای سیستم به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$WTAC\ (Qw_j, Sw\ , Qr_i, Sr_i) = Cp\ + Co\ + Ch\ + Cs \quad (۱٤)$$

به‌طوری‌که Cp هزینه خرید، Co هزینه سفارش، Ch هزینه نگهداری و Cs هزینه حمل ونقل می‌باشند.

در این صورت می‌توان هر یک از هزینه‌ها را به‌صورت ذیل بیان کرد. باید توجه داشت که بخش اول در رابطه هزینه‌های مربوط به انبار مرکزی و قسمت دوم بیانگر هزینه‌های مربوط به کل خرده‌فروشان می باشد.

هزینه خرید عبارت از:

$$Cp\ = \sum_{j=1}^{m} Cw_j Qw_j \quad (۱۵)$$

به‌صورتی‌که Cw_j هزینه خرید انبار مرکزی از هر یک تأمین‌کنندگان می‌باشد.

هزینه سفارش عبارت است از:

$$Co\ = (\frac{(a + bm)Rw}{\sum_{j=1}^{m} Qw_j}) + \sum_{i=1}^{n} (Rr_i Ar_i / Qr_i) \quad (۱٦)$$

به‌طوری‌که a و b هزینه‌های ثابت و متغیر پردازش سفارش در انبار مرکزی و Ar_i هزینه سفارش در هر یک از خرده‌فروشی‌ها می‌باشد. برای ($i = ۱,۲,...n$)،

هزینه نگهداری موجودی عبارت است از:

$$C_h = (\frac{\sum_{j=۱}^{m} Qw_j}{۲} + Sw - \mu_{Yw_j})hw + \frac{\sum_{i=۱}^{n} Qr_i h_i}{۲} + \sum_{i=۱}^{n} [(Sr_i - \mu_{Yr_i})h_i)] \quad (۱۷)$$

به‌طوری‌که $\frac{\sum_{j=۱}^{n} Qw_j}{۲}$, $\frac{\sum_{i=۱}^{n} Qr_i}{۲}$, $Sw - \mu_{Yw_j}$, $Sr_i - \mu_{Yr_i}$ به‌ترتیب موجودی‌های دوره در انبار مرکزی و خرده‌فروشی و ذخیره‌های احتیاطی در انبار مرکزی و خرده‌فروشی می‌باشند. همچنین h_w و h_i بیانگر هزینه نگهداری یک واحد کالا، در سال، در انبار مرکزی و خرده‌فروشی‌ها می‌باشد.

هزینه حمل ونقل عبارت است از:

$$Cs = (\frac{Rw}{\sum_{j=۱}^{n} Qw_j})(FCw) - (\sum_{j=۱}^{m} [(Qw_j)(dw_j)(VCw_j)] + (\frac{Rr}{\sum_{i=۱}^{n} Qr_i})(FCr) + (\sum_{i=۱}^{n} Qr_i)(dr_i)(VCr_i) \quad (۱۸)$$

به‌طوری‌که $\frac{Rw}{\sum_{j=۱}^{n} Qw_j}$ تعداد کل سفارشها در سال برای انبار مرکزی و $\frac{Rr}{\sum_{i=۱}^{n} Qr_i}$ بیانگر کل سفارشها در سال برای خرده‌فروش‌ها می‌باشد. FCw و FRr هزینه ثابت حمل و نقل برای انبار مرکزی و خرده‌فروشی‌ها می‌باشد. dw_j و dr_i به ترتیب فاصله بین انبار مرکزی و هر یک از تأمین‌کنندگان و انبار مرکزی به هر یک خرده‌فروشان می‌باشد. VCw_j و VCr_i به ترتیب بیانگر هزینه حمل و نقل متغیر برای انتقال یک واحد کالا از هر یک از تأمین‌کنندگان به انبار مرکزی و انتقال یک واحد کالا از انبار مرکزی به هر یک از خرده‌فروشان در واحد مسافت می‌باشد. بنابراین هزینه انتقال کل کالا عبارت خواهد بود از هزینه حمل و نقل R_w واحد از تأمین‌کنندگان به انبار مرکزی و حمل ونقل R_r واحد از انبار مرکزی به خرده‌فروشان.

بنـابراین مـسأله، یـافتن Q_{wj}، S_w، Q_{ri}، S_{ri} بـرای حـداقل کـردن ETAC بـا توجـه بـه محدودیتهای ذیل می‌باشد.

$$ETAC(Qw_j, Sw, Qr_i, Sr_i) = Cp + Cp + Ck + Cs \quad (۱۹)$$

Subject to:

$$\mathrm{ESw} \le \mathrm{Qw}\ (۱-\rho \mathrm{w}) / \sum \mathrm{Qr_i} \quad (۲۰)$$

$$\mathrm{ESr_i} \le \mathrm{Qw}\ (۱-\rho \mathrm{r_i}) \quad i = ۱,۲,....n \text{ برای} \quad (۲۱)$$

$$Qw_j = Kw_j Q \quad (۲۲)$$

$$Qr_i = Kr_i Q \quad (۲۳)$$

$$Qw_j \le CAP_j \quad (j = ۱,۲,....m \text{ برای}) \quad (۲٤)$$

$$\sum_{j=1}^{m} Q_{wj} \le ICAP_w \quad (۲۵)$$

$$Qr_i \le ICA\,\mathrm{Pr}_i \quad (i = ۱,۲,....n \text{ برای}) \quad (۲٦)$$

$$Sw, Sr \ge ۱ \quad (۲۷)$$

$$Qr_i, Qw_j, Kw_j, Kr_i \ge ۰ \quad (۲۸)$$

به‌طوری‌که رابطه‌هـای (۲۱) و (۲۲) بیـانگر سـطح خـدمت‌رسـانی بـه مـشتری مـی‌باشـد. رابطه‌های (۲۳) و (۲٤) موجب می‌شود که سفارشها در اندازه دسته‌های Q تایی سفارش داده شود. رابطهٔ (۲۵) محدودیت ظرفیت هر یک از عرضه‌کنندگان می‌باشد. رابطه‌های (۲٦) و (۲۷) مربوط به ظرفیت انبار در انبار مرکزی و خرده‌فروشی می‌باشد.

۴- پیاده‌سازی مدل

مدل طراحی شده در این تحقیق، یک مدل عمومی است و در هـر سیـستمی کـه دارای چنـدین تأمین‌کننـده، یـک انبـار مرکـزی و چنـدین خـرده‌فروشـی باشـد، قابـل اجراسـت. تنهـا بـرای پیاده‌سازی مدل در هر صنعت یا سیستمی بایـد شـرایط آن محـیط بررسـی شـده و مراحـل مختلف مدل طراحی مجدد شود.

برای اجرای واقعی مدل در یک محیط محدود، گروه پشتیبانی پایانهال[1] جهت مطالعه موردی تحقیق انتخاب شد که عوامل زیر در این انتخاب مؤثر بودند:

الف) تشابه سیستم موجودی گروه پشتیبانی پایانهال با وضعیت در نظر گرفته شده برای مدل(دارای چندین تأمینکننده، یک انبار مرکزی، چندین خردهفروشی)؛

ب) وجود اطلاعات و آمار مناسبتر نسبت به سایر شرکتها؛

جهت استخراج توابع توزیع تقاضای خردهفروشیها و زمانهای تحویل از دادههای سال ۱۳۸۳ استفاده شد.

همچنین به علت تنوع زیاد محصولات و موجودیهای گروه پشتیبانی پایانهال و از آنجا که مدل طراحی شده از نوع تک کالایی[2] است، برای اجرای مدل تنها یک محصول(محصول BF-۱۷۲۵) در نظر گرفته شد. دلیل این امر آن است که محصول BF-۱۷۲۵ در این شرکت قست اعظمی از ظرفیت موجودی را به خود اختصاص داده و همچنین در صورت موفقیت در اجرای مدل در این بخش -که مهمترین بخش شرکت میباشد- بهسادگی میتوان آن را به محصولات دیگر نیز تعمیم داد.

از آنجاییکه مدل تحقیق شامل دو سطح تأمینکنندگان و خردهفروشان میشود، لذا اطلاعات مورد نیاز برای پیاده سازی مدل در این دو سطح جمع آوری شده است.

در حال حاضر گروه پشتیبانی پایانهال برای خرید کالاهای مورد نیاز خود از دو تأمینکننده استفاده میکند. اخیراً، تأمینکنندگان سومی نیز برای این محصول خود شناسایی شده است که استفاده از این تأمینکننده بررسی خواهد شد.

انبار مرکزی گروه پشتیبانی پایانهال موجودیهای خود را از طریق ۷۲ خردهفروشی در سراسر کشور عرضه میکند، همچنین بهطور مستقیم، محصولات مورد نیاز سه شرکت خودروسازی بزرگ کشور را تأمین مینماید.

این شرکت برای مدیریت موجودیهای خود از مدل EOQ استفاده میکند. بهاین صورت که تمام خردهفروشان و انبار مرکزی از مدل EOQ استفاده میکنند و انبار مرکزی نیز سفارشهای دریافتی خود را جمعبندی کرده و موجودیهای مورد نیاز خود را بهطور مساوی از دو تأمینکننده خود تهیه میکند.

---

۱. نام شرکت است.

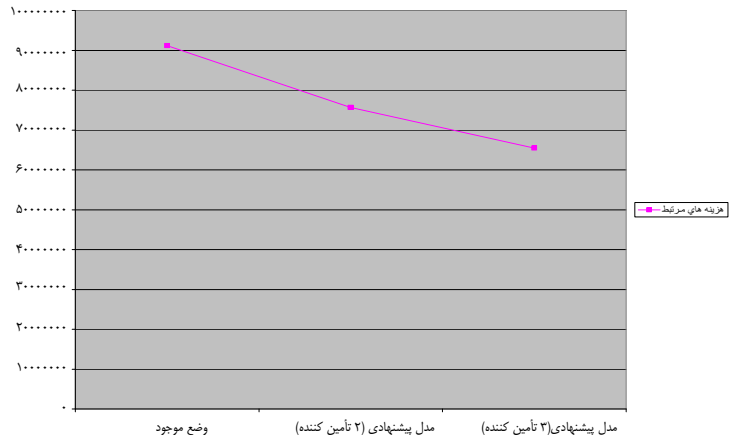
2. Singleitem

پس از حل مدل، برنامه دقیق مدیریت موجودی به‌دست آمده است که شامل مقدار سفارش و نقطه سفارش برای هر یک از خرده‌فروشان و نقطه سفارش و مقدار سفارش از هر یک از تأمین‌کنندگان برای انبار مرکزی می‌باشد.

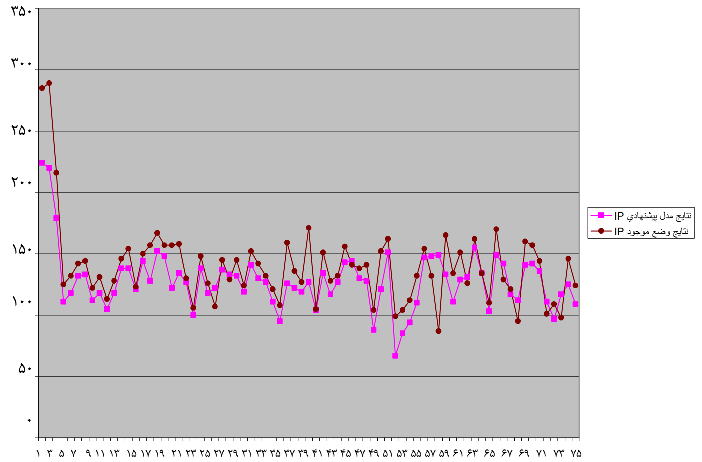
در ادامه نتایج بهینه حاصل از اجرای مدل ریاضی مدیریت موجودی با وضعیت واقعی شرکت مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت. این مقایسه‌ها در جدولهای ٥ و ٦ و شکلهای ۲ و ۳ آمده شده است. همچنان که در نمودارها مشخص است، در همه موارد جوابهای حاصل از مدل پیشنهادی وضعیت بهتری را نسبت به شرایط واقعی شرکت دارد. در این جدولها IP بیانگر وضعیت موجودی می‌باشد که عبارت است از:

تعداد کمبود کالا – ذخیره احتیاطی + موجودی در راه = وضعیت موجودی

از آنجا که در وضع موجود برای محاسبات از حداکثر زمان تحویل استفاده می‌شود، در نتیجه اجازه وقوع کمبود کالا داده نمی‌شود ولی در مدل پیشنهادی محاسبات بر پایه سطح پوشش ۹۷ درصد صورت گرفته است که بالطبع با کمبود مواجه خواهیم بود.



شکل۲ مقایسه وضعیت موجودی در مدل پیشنهادی با وضع موجود



شکل۳ مقایسه نقطه سفارش مجدد در مدل پیشنهادی با وضع موجود

جدول۵ مقایسه وضع موجود با نتایج مدل پیشنهادی در انبار مرکزی

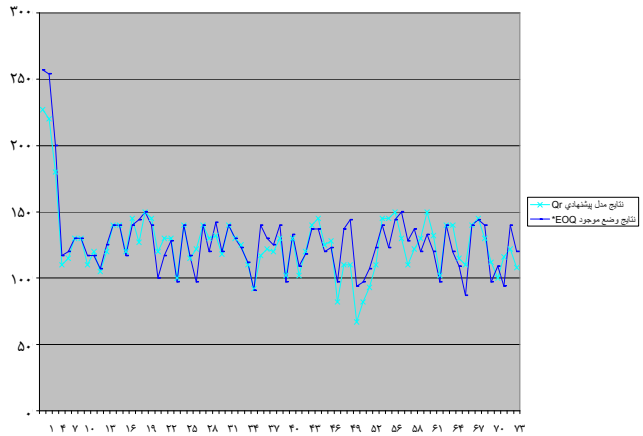
تأمین‌کننده	نتایج مدل پیشنهادی		نتایج وضع موجود	
	QWj	Sw	EOQ*	ROP*
۱	۲٦۱۳	۲۸۳۰	۱۷٥۰	۳٥٤۱
۲	۲۱۳۷		۱۷٥۰	

در جدول ٦، مقایسه‌ای بین هزینه‌های استفاده از رویکردهای مختلف مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که هزینه‌های مدل پیشنهادی شامل هزینه‌های خرید، سفارش، نگهداری و انتقال می‌باشد ولی در مدل EOQ تنها هزینه‌های نگهداری و سفارش مد نظر قرار می‌گیرند. برای مقایسه هزینه‌های این دو رویکرد ابتدا هزینه‌های خرید از کل هزینه‌های مدل پیشنهادی کسر شده و هزینه‌های انتقال نیز به عنوان پارامتری در محاسبه میزان هزینه‌های نگهداری سالیانه مد نظر قرار گرفت.

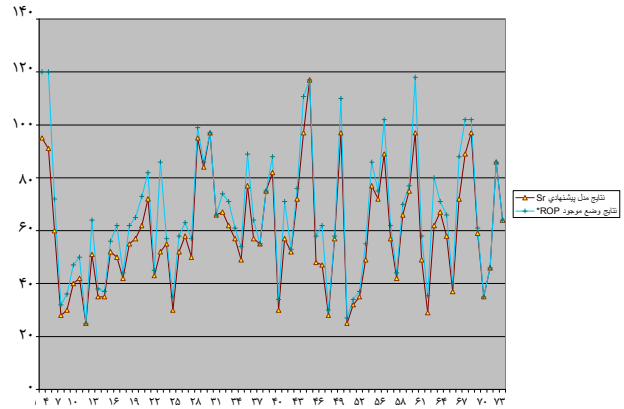
جدول ۶ مقایسه هزینه‌های رویکردهای مختلف

رویکردهای مدیریت موجودی	هزینه کل	هزینه‌های مرتبط
وضع موجود	۹۱۱۷۹۷۳٤	۹۱۱۷۹۷۳٤
مدل پیشنهادی(۲ تأمین‌کننده)	۳۸۳۲۷۹۰۰۰	۷٥٦۸٤۸٤۲
مدل پیشنهادی(۳ تأمین‌کننده)	۳۸۰۰۰۰۰۰	٦٥٤۷۳۳۲۸

همان‌گونه که در شکلهای ۲-٤ مشاهده می‌شود، وضعیت موجودی در بیشتر خرده‌فروشان در مدل پیشنهادی پایینتر از وضع موجود قرار دارد. همچنین می‌توان تفاوتهای مقادیر سفارش و مقادیر نقطه سفارش مجدد را مشاهده کرد. همچنین در شکل ٥ مشاهده می‌شود که مدل پیشنهادی، هزینه‌ای بمراتب کمتری را نسبت به مدل کلاسیک موجود ارائه می‌دهد. همچنین با توجه به پایین‌آمدن هزینه‌ها در زمانی که از تأمین‌کننده سوم استفاده می‌شود، مدل پیشنهاد می‌دهد که از این تأمین کننده استفاده شود.



شکل۴ نمودار مقایسه مقدار سفارش در مدل پیشنهادی با وضع موجود



شکل ۵ نمودار مقایسه هزینه رویکردهای مختلف

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل ریاضی بر اساس سیاست موجودی نوع (S،Q) برای شبکه‌های تولید / توزیع چند مرحله‌ای طراحی شده است. این مدل از سه بخش تشکیل شده است:

۱) تحلیل موجودی در خرده‌فروشان؛

۲) فرایند تقاضا در انبار مرکزی؛

۳) تحلیل موجودی در انبار مرکزی.

هدف نهایی، حداقل کردن هزینه‌ها شامل هزینه‌های موجودی، حمل و نقل، خرید و سفارش می‌باشد. مدل طراحی شده با داده‌های واقعی آزمون شد و نتایج آن با مدلهای کلاسیک موجودی مورد مقایسه قرارگرفت. این مقایسه‌ها نشان دادند که مدل ارائه شده نتایج بهتری را در جهت کاهش هزینه‌ها ارائه می‌دهد. در مجموع استفاده از مدل تحقیق، نتایج مثبت زیادی برای شرکتهای استفاده کننده در پی دارد که می‌توان چند نمونه از آنها را به شرح زیر ذکر کرد:

از آنجایی‌که برنامه‌ریزی موجودی تمام پایگاههای زنجیره به‌طور همزمان و هماهنگ و از طریق مدل ریاضی صورت می‌پذیرد، لذا وضعیت به‌گونه‌ای خواهد بود که سفارشهای موجودیها بر حسب نیاز باشد و در نتیجه اولاً موجودیهای زاید که هزینه‌های بسیاری را نیز تحمیل می‌کند، وجود نخواهد داشت و از طرف دیگر می‌توان در سطح خدمت‌رسانی هدف(نرخ پوشش هدف) که به‌وسیله خود شرکت تعیین می‌شود، احتمالات مواجهه با کمبود برنامه‌ریزی نشده را به صفر رساند.

با اجرای مدل و انجام تحلیل حساسیت روی مدل ریاضی می‌توان تعداد بهینه تأمین‌کنندگان را مشخص کرد، به‌طوری‌که حتی ممکن است از تأمین‌کننده‌ای که قیمت بالایی را پیشنهاد می‌دهد برای پوشش سطح خدمت‌رسانی هدف تعیین‌شده استفاده کرد. مدل ریاضی طراحی شده این امکان را فراهم می‌کند تا عوامل تصادفی همانند تقاضاهای تصادفی و زمانهای تحویل تصادفی را در مدل وارد کرده و بر اساس آنها تصمیم‌گیری شود. با اجرای مدل برنامه‌ریزی، توزیع به‌صورت دقیق و بهینه انجام می‌پذیرد.

مدل ریاضی طراحی شده به علت ساختار ریاضی این امکان را فراهم می‌کند تا پارامترهای مورد نظر مدیریت و همچنین پارامترهای تصادفی را در هر لحظه به آن وارد کرده و برنامه‌های جدید جامع و دقیق موجودی را به دست آورد. با استفاده از مدل، مدت

زمانی که طول می‌کشد تا محصول به دست مشتری برسد، حداقل خواهد شد؛ زیرا تمام تصمیمها براساس سطح خدمت‌رسانی هدف صورت می‌گیرد.

اگر چه این مدل توانسته است محدودیتهای متعددی را برطرف کند، مواردی برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود:

یکی از روشهای بهبود روابط بین پایگاههای مختلف زنجیره تأمین و در نتیجه گردش درست اطلاعات، منابع مالی و موجودیهای بین آنها، فرهنگ‌سازی این مفهوم است. لذا انجام تحقیقی در زمینه راههای ایجاد بستر فرهنگی متناسب با زنجیره تأمین در شرکتهای ایرانی ضروری به نظر می‌رسد.

مدل طراحی شده، یک مدل تک کالایی است. طراحی یک مدل موجود چند کالایی می‌تواند زمینه تحقیق مناسبی باشد. مدل طراحی شده دو مرحله از زنجیره تأمین را در بر می‌گیرد، امکان انتقال موجودی بین مراکز توزیع را نمی‌دهد و .... که می‌توان تحقیقی دیگر برای پوشش دادن به این مفروضات طراحی کرد.

۶- منابع

[1] Stenger A. J.; Inventory decision framework; in: J. F. Robeson, W. C. Copucino (Eds.), The Logistics Handbook,The Free Press, New York, 1994.

[2] Ballou R. H.; Business logistics management; 3rd ed., Prentice-Hall, Englewood Cli¤s, NJ, 1992.

[3] Lee H. L. Billington C.; Supply chain management: Pitfallsand opportunities, Sloan Management Review Vol. 33, 1992.

[4] Stenross F. M. Sweet G. J.; Implementing an integrated supply chain in annual conference proceedings; Oak Brook, Vol. 2, Ill: Council of Logistics Management, 1991.

[5] Lee H. L. Billington, C.; The evolution of supply-chain management models and practice at Hewlett-Packard, Interfaces, Vol. 25, Vo. 5, 1995.

[6] Sherbrooke C. C.; METRIC: A multi-echelon technique for recoverable item control; Operations Research, Vol. 16, 1968.

[7] Graves S. C.; "A multi-echelon inventory model for a repairable item with one-for-one replenishment"; *Management Science*, Vol. 31, 1985.

[8] Axsater S.; Continuous review policies for multi-level inventory systems with stochastic demand; in: S. C. Graves, A. Rinnooy Kan, P. Zipkin (Eds.), Handbook in Operations Research and Management Science, Vol. 4, Logistics of Production and Inventory, 1993.

[9] Federgruen A.; Centralized planning models, in: L. B. Schwarz (Ed.), Studies in Management Sciences, vol. 16, Multi-Level Production/ Inventory Control Systems, North-Holland, Amsterdam, 1993.

[10] Lee H. L.; A multi-echelon inventory model for repairable items with emergency lateral shipments; Management Science, Vol. 33, 1987.

[11] Muckstadt J. A.; A model for a multi-item, multi-echelon, multi-indenture inventory system; Management Science, Vol. 20, 1973.

[12] Forrester J.; Industrial Dynamics; Cambridge; MA: MIT Press, 1961.

[13] Chen Y.F., Drezner Z., Ryan JK, Simchi-Levi D.; Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times and information. Management Science, 2000, Vol.;46, 3, 2000.

[14] Alwan LC, Liu JJ, Yao D.; Stochastic characterization of upstream demand process in a supply chain; Vol. 35; IIR Transactions 2003.

[15] Dejonckheere J., Disney SM, Lambrecht MR, Towill DR; "The impact of information enrichment on the bullwhip effect in supply chains: a control engineering perspective"; *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, 2004.

[16] Zhang X.; "The impact of forecasting methods on the bullwhip effect;" *International Journal of Production Economics*, Vol. 88, 2004.

[17] Disney SM., Towill DR; "On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy"; *International Journal of Management Science* 2003, Vol. 31; 2003.

[18] Lee HL, So KC, Tang CS; "The value of information sharing in a two-level supply chain"; *Management Science* 2000, Vol. 46, No. 5, 2000.

[19] Gilbert K.; "An ARIMA supply chain model". Working paper, Management Science Program, University of Tennessee: Available [Online] ttp://bus. utk. edu/mgmtsci/ oldsite/gilbert/, 2002.

[20] Hosoda, T., Disney S. M.; On variance amplification in a three-echelon supply chain with minimum mean square error forecasting.; Omega Vol. 34, 2006.

[21] Aghezza El-Houssaine F., Raa Birger., Landeghem Hendrik Van; "Modeling inventory routing problems in supply chains of high consumption products"; European *Journal of Operational Research*, Vol. 169, 2006.

[22] Persuetti A.; A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor; Ecision Sciences, Vol. 17, No. 3, 1992.

[23] Persuetti, A., Supplier- and buyer-driven channels in a two-stage supply chain; IIE Transactions, Vol. 34, No. 8, 1992.

[24] Sculli D., Wu S. Y.; "Stock control with two suppliers and normal lead times"; *Journal of the Operational Research Society*; Vol. 32, No. 11, 1981.

[25] Sculli D., Shum Y. W.; "Analysis of a continuous review stock-control model with multiple suppliers"; *Journal of Operational Research Society*; Vol. 41, No. 9, 1990.

[26] Kelle P., Silver E. A.; Safety stock reduction by order splitting; Naval Research Logistics, Vol. 37, 1990a.

[27] Kelle P., Silver E. A.; Decreasing expected shortages through order splitting; Engineering Costs and Production Economics, Vol. 19, 1990b.

[28] Ramasesh R. V., Ord J. K., Hayya J. C., Pan A. C., "Sole versus dual sourcing in stochastic lead time (s, Q) inventory models"; Management Science; Vol. 37, No. 4, 1991. R. Ganeshan/Int. J. Production Economics, Vol. 59, 1999.

[29] Ramasesh R. V., Ord J. K., Hayya J. C.; Note: Dual sourcing with non-identical suppliers, Naval Research Logistics, Vol. 40, 1993.

[30] Nets S. K., Chiang F., "Determination ofeconomic production—shipment policy for a single-vendor—singlebuyer system". *European Journal of Operational Research*, Vol. 121, No. 1, 1999.

[31] Lao H., Zhao L. G.; "Optimal ordering policies with two suppliers when lead times and demands are all stochastic"; *European Journal of Operations Research*, Vol. 68, 1993.

[32] Mederage H.,. A study ofquantity discount pricing models with different ordering structures: Order coordination, order consolidation, and multi-tier ordering hierarchy"; *International Journal ofPr oduction Economics*, Vol. 72, No. 3, 1999.

[33] Kotabe M., & Helsen K.; Global marketing strategy; Vol. 3rd ed., Hoboken, NJ: Wiley, 2004.

[34] Kotabe Masaaki, Murray Janet Y.; "Global sourcing strategy and sustainable competitive advantage"; *Industrial Marketing Management*, 2004.

[35] Cinlar E.; Markov renewal theory: A survey; Management Science, Vol. 21, No. 7, 1975.

[36] Kim J. D.; Modeling a two-echelon (*s*, *Q*) distribution system; Unpublished Ph. D. Dissertation, Penn State University, 1991.