بهینه‌سازی بر مبنای شبیه‌سازی سیستم موجودی چندسطحی در زنجیره تأمین دارویی در شرایط عدم قطعیت و اولویت‌بندی تقاضاها (مطالعه موردی داروسازی ثامن مشهد)

مهدی عرفانیان[1*]، بهنام بیانی[2]
دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶

چکیده
یکی از مباحث مهم در یکپارچگی اجزاء زنجیره تأمین، مدیریت موجودی‌ها است. تحقیقات نشان می‌دهد که مدیریت موجودی زنجیره تأمین در مقایسه با مدیریت موجودی مستقل هریک از اجزاء، کارایی بیشتری دارد. در این مقاله یک مدل شبیه‌سازی برای مسئله کنترل موجودی چندسطحی در زنجیره تأمین با نرم‌افزار ارنا ایجاد شده است. زنجیره تأمین مورد نظر شامل خرده‌فروش، مرکز توزیع، تولیدکننده و تأمین‌کننده می‌باشد. در این مقاله با فرض اینکه مدل به‌صورت چندمحصولی و با اولویت متفاوت بین محصولات تشکیل شده و پارامترهای تقاضا و موعد تحویل دارای عدم قطعیت می‌باشد. همچنین سیاست سفارش‌دهی همه سطوح به غیر از تولیدکننده (r,Q) است. تولیدکننده به دلیل محدودیت فضای انبار از سیاست (r,R) استفاده می‌کند. با توجه به اینکه زنجیره تأمین مورد نظر دارویی است، حداکثرنمودن سطح سرویس به مشتریان از اهمیت زیادی برخوردار است. برای نشان‌دادن کاربردی بودن این مدل، زنجیره تأمین داروسازی ثامن مشهد به‌عنوان مطالعه موردی مورد تحقیق قرارگرفته است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت موجودی چندسطحی، بهینه‌سازی برمبنای شبیه‌سازی

۱- مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین شامل یک رویکرد یکپارچه برای برنامه‌ریزی و کنترل جریان مواد و اطلاعات از تأمین‌کننده تا مشتری نهایی است و باعث ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان‌ها می‌شود[۱]. اعضای یک زنجیره تأمین به چند گروه کلی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها، خرده‌فروشان، سیستم‌های حمل و نقل و مشتریان تقسیم می‌شوند[۲]. در واقع مجموعه‌ای از رویکردها در مدیریت زنجیره تأمین باعث هماهنگی و یکپارچگی این اعضاء می‌شوند. در مطالعات مربوط به زنجیره تأمین حوزه‌های زیادی از جمله حمل و نقل، کنترل موجودی، تولید، توزیع و غیره مطرح است.

با توجه اینکه همواره ایجاد توازن بین حداقل‌سازی سطح موجودی و حداکثرسازی سطح خدمت به مشتریان یکی از مسائل تصمیم‌گیری اساسی در مدیریت موجودی‌ها می‌باشد، توسعه این رویکرد به زنجیره تأمین باعث شده تا مدیریت موجودی زنجیره تأمین نیز جزء مسائل حیاتی عملیات زنجیره تأمین قرار گیرد. موجودی‌ها معمولاً بین ۲۰ تا ۶۰ درصد کل دارایی‌های یک شرکت را تشکیل می‌دهند،بنابراین سیاست‌های مدیریت موجودی نقش کلیدی در تعیین موفقیت یک سازمان دارند[۳]. موجودی‌ها در کل یک شبکه زنجیره تأمین به اشکال و دلایل متفاوتی نگهداری می‌شوند[۴]. عدم هماهنگی در مدیریت موجودی در کل یک زنجیره تأمین منجر به ایجاد اثر شلاق چرمی می‌شود. این موضوع به معنای تورم تغییرپذیری تقاضاها در سطوح بالادستی می‌شود. اثر شلاق چرمی منجر به درگیرشدن سرمایه در موجودی‌ها، کاهش درآمد، حمل و نقل ناکارآمد،

۱*- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، داروسازی ثامن مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیک: ma.erfanian@yahoo.com، نشانی: مشهد، کیلومتر ۱۵ بزرگراه آسیایی
۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، مدیر مهندسی صنایع، واحد بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد، داروسازی ثامن مشهد، پست الکترونیک: jbayani@gmail.com

خطا در زمان‌بندی تولید و سطح خدمت ضعیف به مشتریان می‌شود[۵].علاوه‌بر مباحث یکپارچه‌سازی،شرایط عدم‌قطعیت پارامترها و شرایط سیستم منجر به پیچیده‌شدن مدل‌سازی سیستم‌های موجودی چندسطحی شده است.

با توجه به اینکه تعداد اجزایی که باید با یکدیگر هماهنگ شوند نسبتاً زیاد هستند، مدیریت موجودی در زنجیره تأمین چندسطحی اهمیت زیادی یافته است. عدم قطعیت تقاضا، موعد تحویل، زمان تولید، قیمت محصولات، هزینه‌ها و غیره نیز منجر به پیچیده‌شدن مدیریت موجودی بین سطوح مختلف تولید می‌شود[۵].

یکی از اولین تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت موجودی چندسطحی توسط کلارک و اسکارف[۱][۶] انجام شده‌است. آنها یک مدل موجودی دو سطحی بر مبنای سیاست $(r.R)$ ارائه دادند و با فرض $r = R - 1$، به بهینه‌سازی پارامترهای مربوط به این مدل پرداختند.

سانجای[۲] و همکاران [۷]، یک مدل ترکیبی مرور دائم – دوره‌ای برای مسئله‌ای با یک توزیع‌کننده و چند خرده‌فروش ارائه دادند.

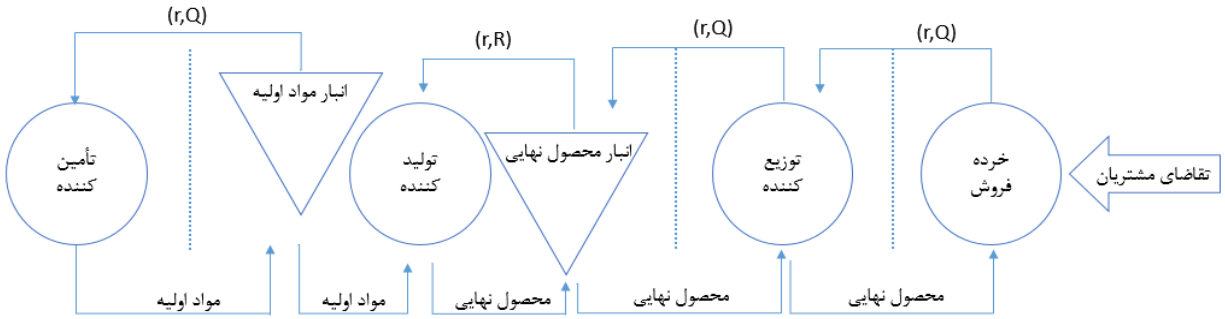
جای و ژاو[۳][۸] یک سیستم موجودی چندسطحی با هدف بهینه‌سازی سطح کل موجودی در کل شبکه زنجیره تأمین و بدون درنظر گرفتن هزینه موجودی ارائه دادند. پاتیل[۴] و همکاران[۹] یک مدل چندسطحی با این فرض که خرده‌فروشان با یکدیگر ارتباط دارند ارائه کردند. در مدل آنها چنانچه یک خرده‌فروش به سفارش مجدد نیاز داشت باشد، ابتدا موجودی خرده‌فروش دیگر را بررسی کرده و اگر برای برآوردن تقاضا کافی بود از همان موجودی استفاده می‌کند، در غیر این‌صورت تقاضای خود را به سطح بالادستی ارسال می‌نمایند. آنها نشان دادن طبق این سیاست، کمبود به دلیل فروش ازدست رفته در کل شبکه در مقایسه با حالتی که ارتباط بین فروشندگان نیست کاهش می‌یابد. برای مطالعه بیشتر در این حوزه به مقالات مروری که در منابع [۳] و [۱۰] آمده مراجعه کنید.

۲- تعریف مدل و فرضیات

در این مقاله یک مدل موجودی چندسطحی با فرض عدم‌قطعیت تقاضا، موعد تحویل و زمان تولید ارائه شده است.

همان‌طور که در شکل (۱) نشان‌داده شده اعضای زنجیره تأمین مورد نظر شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده، یک مرکز پخش و یک خرده‌فروش است. خرده‌فروش در پایین‌ترین سطح، با تقاضای مشتریان مواجه است و از سیاست $(r.Q)$ برای کنترل موجودی خود استفاده می‌کند. در لحظه ورود یک تقاضا، چنانچه موجودی در دست خرده‌فروش از تقاضای مشتری کمتر نباشد، بلافاصله پاسخگویی می‌شود و در غیر این‌صورت فروش از دست خواهد رفت. مرور سطح موجودی خرده‌فروش به‌صورت دائم انجام می‌گیرد و هر لحظه موقعیت موجودی به سطح r برسد به میزان ثابت Q به توزیع‌کننده سفارش داده می‌شود. اگر توزیع‌کننده میزان کالای مورد نیاز خرده‌فروش را داشته باشد، زمان تحویل فقط شامل زمان حمل و نقل خواهد بود در غیر این صورت به میزان اختلاف تقاضای خرده‌فروش و موجودی در دست توزیع‌کننده، کمبود از نوع پس‌افت در سیستم باقی می‌ماند. برای توزیع‌کننده از سیاست مشابه خرده‌فروش نیز استفاده می‌شود. تقاضای مربوط به توزیع‌کننده از تولیدکننده‌ای تأمین می‌شود که دارای محدودیت ظرفیت انبارش محصول نهایی است. به همین دلیل از سیاست $(r.R)$ برای کنترل موجودی آن استفاده می‌شود. در این سیاست میزان سفارش تا سقف R امکان‌پذیر است. اگر تقاضای توزیع‌کننده با موجودی در دست انبار محصول نهایی برآورده شود، زمان تحویل فقط شامل زمان حمل از تولیدکننده به توزیع‌کننده است در غیر این‌صورت مدت زمان تولید نیز به آن اضافه می‌شود. کمبود موجودی در سطح تولیدکننده نیز به‌صورت پس‌افت است. برای تولید محصول نهایی از مواد اولیه موجود در انبار مواد اولیه تولیدکننده استفاده می‌شود به‌صورتی‌که برای هر واحد محصول به یک واحد از موجودی مواد اولیه نیاز است. این سیستم تولید در معرض خرابی‌ها و توقفاتی قرار دارد که به‌صورت تصادفی اتفاق می‌افتد. سیستم تولید در این مدل محصولات را در اندازه انباشته‌های یک واحدی تولید می‌کند و همچنین اگر مواد اولیه به اندازه کافی برای تولید موجود نباشد، منجر به توقف تولید می‌شود. مواد اولیه از تأمین‌کننده‌ای خریداری می‌شود که هیچ محدودیتی در تأمین مواد اولیه برای این سیستم ندارد.

1- Clarck & Scarf
2- Sanjay
3- Wan & Zhao
4- Patil



شکل (۱): زنجیره تأمین مدل مورد نظر و سیاست سفارش‌دهی هر یک از اجزاء

در این مدل تمام پارامترها از جمله زمان حمل مواد و محصول نهایی بین سطوح مختلف، زمان تولید و جریان تقاضا ماهیت احتمالی داشته و سیستم تولید به‌صورت تصادفی دچار خرابی می‌شود. از دیگر فرضیات این مدل که منجر به توسعه مدل‌های قبلی شده این است که مدل به‌طور چندمحصولی همراه با اولویت نابرابر در تأمین آنها می‌باشد. به این معنا که که اگر چند محصول در یک زمان به نقطه سفارش رسیده باشند، اولویت برخی محصولات نسبت به سایر محصولات بیشتر بوده و لازم است که ابتدا آن اقلام تدارک دیده شود.

در این مدل نقطه سفارش و میزان سفارش هریک از سطوح این زنجیره تأمین به نحوی تعیین خواهد شد که با حداقل هزینه، سطح خدمت به مشتریان حداکثر شود. این مدل با استفاده از نرم‌افزار Arena شبیه‌سازی و با قابلیت OptQuest در این نرم‌افزار بهینه‌سازی شده است.

۳- مطالعه موردی

سیستم شرح داده شده در قسمت قبل، مربوط به فرضیات و ملاحظات مربوط به شرکت داروسازی ثامن مشهد می‌باشد. این شرکت یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های داروهای تزریقی در کشور است که یکی از محصولات راهبردی آن دیالیز صفاقی است. با توجه به انحصاری بودن تولید دیالیز صفاقی در کشور، تأمین و توزیع این محصول در اولویت بیشتری نسبت به سایر محصولات قرار دارد. هدف تعیین سیاست بهینه کنترل موجودی در زنجیره تأمین این شرکت است. لازم به ذکر است، مواد اولیه مربوط به محصول دیالیز صفاقی از تأمین‌کننده‌ای با ظرفیت نامحدود و از خارج از کشور تهیه می‌شود. تولیدکننده در فضای انبارش محدودیت دارد، توزیع‌کننده شرکت پخشی است که به سایر پخش‌کننده‌های محلی به عنوان خرده‌فروشان محصول را تحویل می‌دهد. همچنین تقاضای مشتریان (بیماران) به دلایلی از جمله پیوند کلیه، فوت یا تغییر شیوه درمان به‌صورت غیرقطعی (توزیع احتمالی) در نظر گرفته شده است. زمان حمل از تأمین‌کننده تا تولیدکننده دارای توزیع نرمال با میانگین ۳ و انحراف استاندارد ۱ ماه و زمان حمل در سطوح پایین‌دستی، توزیع یکنواخت بین ۱۰ الی ۲۰ روز دارد. در سیستم تولیدی زمان تا وقوع خرابی توزیع نمایی با میانگین ۶ ساعت و مدت تعمیر نیز توزیع نمایی با میانگین ۲۰ دقیقه دارد. در ادامه مدل ایجاد شده در نرم‌افزار Arena برای هر یک از سطوح زنجیره تأمین نشان داده شده است.

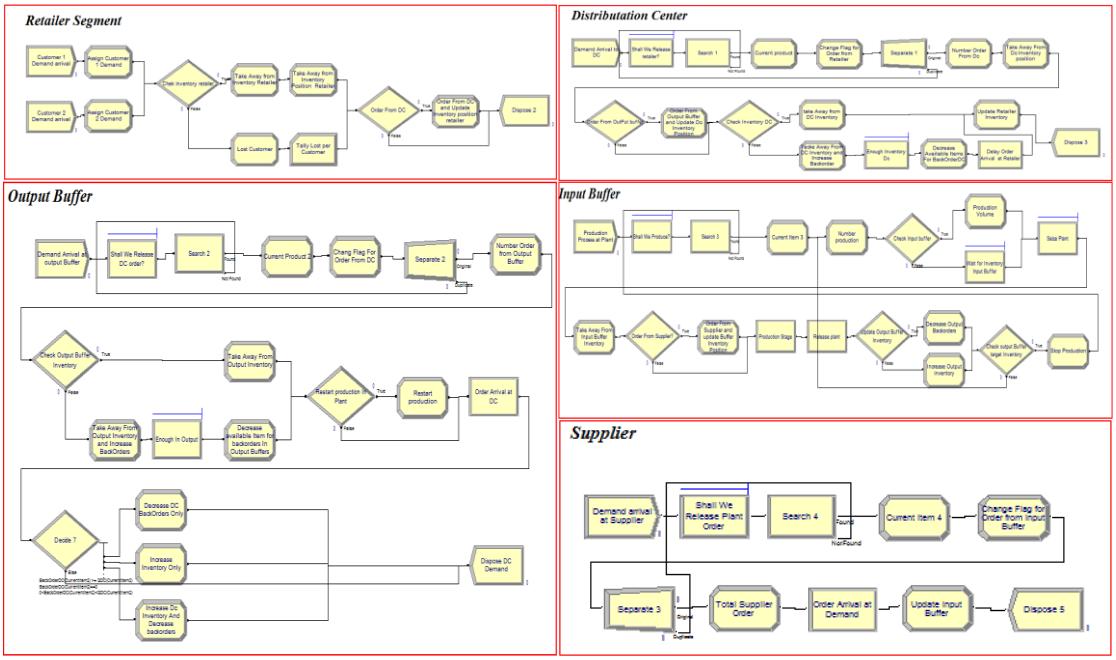
۳-۱- مدل‌سازی

مدل ایجاد شده با استفاده از نرم‌افزار ارنا ایجاد شده و شامل پنج قسمت مختلف برای هریک از اعضای این زنجیره تأمین می‌باشد. شکل (۲) قسمت‌های مختلف این مدل را نشان می‌دهد. اولین قسمت مربوط به کنترل موجودی خرده‌فروش است. در این بخش جریان تقاضا ایجاد شده، پاسخگویی به تقاضا و همچنین در صورت لزوم، صدور سفارش از توزیع‌کننده در این بخش از مدل انجام می‌شود.

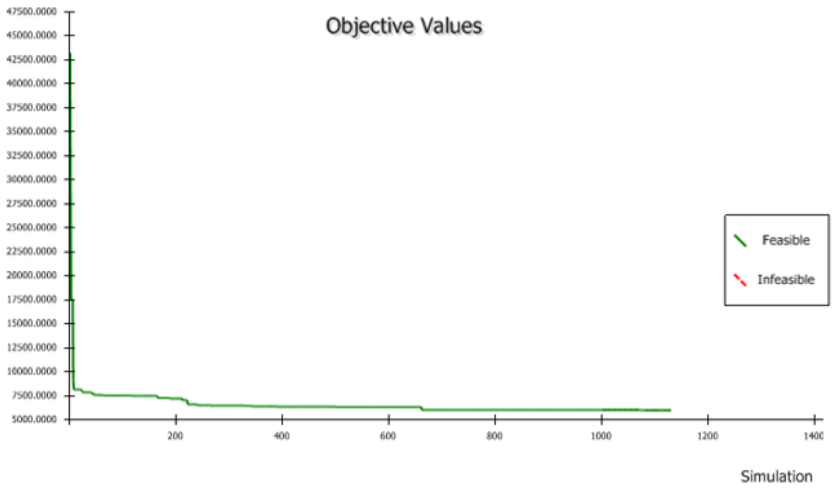
در این قسمت دو نوع تقاضا وارد این سیستم شده و بعد از بررسی سطح موجودی در دست، سطح موجودی و همچنین موقعیت موجودی بررسی می‌شود. در ادامه با مقایسه موقعیت موجودی با نقطه سفارش مجدد، لزوم سفارش به توزیع‌کننده بررسی می‌شود.

قسمت‌دوم مربوط به کنترل موجودی بخش توزیع‌کننده است. در قسمت مربوط به توزیع‌کننده زمانی که سفارشی از سمت خرده‌فروش ارسال می‌شود، ابتدا اولویت محصول بررسی‌شده‌وسپس اقدام‌به پاسخ‌گویی‌به تقاضای خرده‌فروش می‌شود. علاوه‌بر پاسخ‌گویی به تقاضای خرده‌فروش، لزوم سفارش به مرحله بالادستی (انبار محصول نهایی) در این سطح‌انجام‌می‌شود. در قسمت مربوط به انبار محصول نهایی علاوه‌بر پاسخ‌گویی‌به تقاضای توزیع‌کننده، به‌روزرسانی سطح موجودی توزیع‌کننده‌و همچنین تصمیم‌گیری در مورد تولید نیز انجام می‌گیرد.

قسمت دیگر مدل مربوط به کنترل موجودی انبار مواد اولیه را نشان می‌دهد. در این قسمت مصرف مواد اولیه و تولید محصول نهایی مدیریت می‌شود. قسمت نهایی مربوط به تأمین‌کننده اولیه این سیستم است که بدون هیچ محدودیتی امکان تحویل مواد اولیه به سیستم تولیدی را دارد. در این قسمت تأمین مواد مورد نیاز تولید، ارسال مواد اولیه به مرحله پایین‌دستی و به‌روزرسانی سطح موجودی مواداولیه در بخش تولید در این قسمت از مدل انجام می‌گیرد. با توجه به اینکه ظرفیت تأمین‌کننده نامحدود فرض شده است، تأخیر در ارسال سفارشات فقط شامل زمان حمل مواد اولیه می‌شود. در تمام سطوح فوق، فرض مربوط به اولویت محصول ۱ نسبت به محصول ۲ رعایت شده است.



شکل (۲): مدل ایجاد شده در ارنا



شکل (۳): تابع هدف حاصل از حل مدل

Best Solutions

Objective Value	Status	QDC[1]	QDC[2]	QInput[1]	QInput[2]	QR[1]	QR[2]	RDC[1]	RDC[2]	RInput[1]	RInput[2]	rPlant[1]	rPlant[2]	RR[1]	RR[2]
5996.108175	Feasible	354.264046	382.713069	228.617675	313.691229	159.005144	200.881831	360.358645	377.422620	475.428346	188.649771	372.346275	426.536543	301.493717	130.604516

شکل (۴): مقدار متغیرهای تصمیم

۴- نتایج

هدف از این مدل، تعیین نقطه سفارش و میزان سفارش در هر سطح از زنجیره‌تأمین مورد نظر به نحوی است که علاوه‌بر حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های نگهداری موجودی، کمبود و سفارش‌دهی، سطح خدمت به مشتریان بیشتر از ۹۵ درصد شود. نمودار (۳) نتیجه بهینه‌سازی انجام شده توسط OptQuest و شکل (۴) نتایج به‌دست آمده برای هر یک از متغیرهای مدل را نشان می‌دهد.

۵- جمع‌بندی

در این مقاله یک مدل چندمحصولی، چندسطحی تولید/ موجودی با فرض عدم قطعیت تقاضا و وجود اولویت در تأمین محصولات با در نظر گرفتن خرابی سیستم تولید و عدم قطعیت زمان تحویل ارائه شده است. هدف تعیین نقاط سفارش و میزان سفارش هرسطح از زنجیره به گونه‌ای است که سطح خدمت بیشتر از ۹۵ درصد و مجموع هزینه‌ها در حداقل مقدار خود باشد. با توجه به غیرخطی بودن مدل و پیچیدگی حل آن با روش‌های دقیق، رویکرد بهینه‌سازی بر مبنای شبیه‌سازی برای حل این مدل انتخاب شده است. نرم‌افزار ارنا برای مدل‌سازی و همچنین به‌منظور بهینه‌سازی متغیرهای تصمیم این مدل از قابلیت OptQuest موجود در این نرم‌افزار استفاده شده است تا میزان سفارش و نقطه سفارش در هر یک از سطوح این زنجیره به‌دست آید.

۶- منابع

[1] Minner, S., ***"Multiple-supplier inventory models in supply chain management: a review"***, International Journal of Production Econimics, 265-279. 2003.

[2] Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P., ***"Inventory management in supply chains: a reinforcement learning approach"***, International Journal of Production Econimics, 153-161, 2002.

[3] Taskin, A., Fuat, A., ***"Multi-echelon inventory management in supply chains with uncertain demand and lead times: literature review from an operational research perspective"***, Engineering Manufacture, 221-239, 2007.

[4] Ganeshan, R., ***"Managing supply chain inventories: a multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model"***, International Journal of Production Econimics, 341-354, 1999.

[5] Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P., and Scozzi, B., ***"A fuzzy echelon approach for inventory management in supply chains"***, European Journal of Operational Research, 185-196, 2003.

[6] clarck, A., Scarf, H., ***"Optimal policies for a multi-echelon inventory problem"***, management science, 475-490, 1960.

[7] Sanjay, L., Charles, P., ***"A model for a mixed continuous periodic review one warehouse N-retailer inventory system"***, European Journal of operational research, 62-82, 1996.

[8] Wan, J., Zhao, C., ***"Simulation research on multi-echelon inventory system in supply chain based on Arena"***, The International Conference on information science and engineering, China, 9-14, 2009.

[9] Patil, K., Jin, K., Hua, L., ***"Arena Simulation Model for Multi Echelon Inventory System in Supply Chain Management"***, International Industrial Engineering Conference, Texas, USA ,90-96, 2011.

[10] Yingxin, Y., ***"Research on cost optimization of multi-echelon inventory system with arena"***, International Industrial Engineering Conference, Tianjin, China,10-14, 2007.