مقاله پژوهشی

ارزیابی سیستم توزیع متمرکز پوشاک با رویکرد تقسیم مخاطره (مطالعه موردی)

رضا قاسمی یقین[1*]، گلشن احمدی[2]

دانشگاه صنعتی امیر کبیر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۰

چکیده

زمانی که یک زنجیره عرضه ازنظر مکان‌های توزیع پراکنده می‌شود، ریسک‌ها افزایش می‌یابند و بر عملکرد بهینه موجودی برای ارضای تقاضا تأثیر می‌گذارد. مفهوم اساسی تقسیم مخاطره بر تجمیع موجودی در سیستم متمرکز در مقابل سیستم‌های چندمکانی است که نه‌تنها سود را افزایش می‌دهد بلکه سطوح موجودی و هزینه‌ها را افزایش می‌دهد. با توجه به تقاضای متغیر کالای پوشاک، مدیریت مؤثر موجودی در زنجیره عرضه پوشاک باعث کاهش هزینه‌ها و رقابت‌پذیری می‌شود. در این مقاله، اثر عدم قطعیت تقاضا در یک سیستم چند مکانی تحت دو راهبرد متمرکز و غیرمتمرکز سنجیده می‌شود. اثر تقسیم مخاطره و نتیجه‌ی آن در یک سیستم کنترل موجودی (s,S) تحت دو سناریو ۱) تقاضای تصادفی و ۲) تقاضا و مهلت تحویل تصادفی برای یک شرکت تولیدی پوشاک حلقوی و زنجیره عرضه دوسطحی آن تحلیل می‌شود. شبکه عرضه، به‌صورت یک تولیدکننده، چند توزیع‌کننده و چند خرده‌فروش (نقاط تقاضا) در نظر گرفته می‌شود. سپس مکان‌یابی انبار تجمیعی باهدف کمینه‌سازی هزینه‌های لجستیکی و با ملاحظه انواع مدهای حمل‌ونقل انجام می‌شود. نتایج عددی نشان می‌دهد که در صورت نرمال بودن تقاضای کالاها و خطی بودن هزینه نگهداری، سیستم متمرکز میانگین موجودی کمتری در مقایسه با سیستم غیرمتمرکز دارد. درنهایت، میزان تغییرات میانگین موجودی سیستم متمرکز به تغییرات سطح خدمت، آنالیز حساسیت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت موجودی زنجیره عرضه، سیاست موجودی (s,S)، تقسیم مخاطره، سیستم توزیع متمرکز، صنعت پوشاک، تصمیمات لجستیکی

۱- مقدمه

مدیریت و کنترل موجودی، جریان اقلام موجود در سازمان را با در نظر گرفتن عوامل زمان، مکان، تعداد، کیفیت و هزینه، برای بخش‌های عملیاتی تولید، توزیع، فروش یا مهندسی تضمین می‌کند. میزان سفارش و زمان سفارش دهی توسط کنترل موجودی تعیین می‌شوند. هدف از کنترل موجودی بررسی و نگهداشت سطحی از موجودی است که هزینه‌های سیستم و سازمان یا کارخانه صنعتی را کمینه می‌کند [۱].

برنامه‌ریزی سطوح موجودی ادغامی، اغلب درگیر طرح‌ریزی این است که چگونه سطوح موجودی در نقاط مختلف تغییر خواهد کرد. همراه با تغییراتی در تعداد موقعیت‌های انبارها و توان عملیاتی آن‌ها در برنامه‌ریزی لجستیک یک شبکه، پراکندگی و افزایش تعداد نقاط توزیع برای خدمات‌رسانی بهتر به مشتری و کاهش هزینه‌یک رهیافت متداول است. تقسیم مخاطره به این نکته اشاره دارد که اگر تقاضاهای چند مکان تجمیع شود، تغییرپذیری

۱*- استادیار، گروه مهندسی پوشاک و مدیریت، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، نویسنده مسئول، پست الکترونیک: yaghin@aut.ac.ir نشانی: تهران، میدان ولیعصر، خیابان حافظ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

۲- فارغ التحصیل کارشناسی مهندسی نساجی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، پست الکترونیک: ggolshanahmadii@gmail.com

تقاضا کاهش می‌یابد زیرا با تجمیع تقاضا در مکان‌های مختلف احتمال این‌که تقاضای زیاد یک مشتری با تقاضای کم مشتری دیگر جبران شود، بیشتر می‌شود [۱]. این کاهش تغییرپذیری، امکان کاهش موجودی اطمینان و درنتیجه کاهش میانگین موجودی را فراهم می‌آورد. چند نکته در خصوص تقسیم مخاطره وجود دارد که به آن‌ها اشاره می‌شود:

۱- تحت شرایطی متمرکز کردن موجودی، هم موجودی اطمینان و هم میانگین موجودی سیستم را کاهش می‌دهد. در سیستم توزیع متمرکز هرگاه تقاضای یک بخش از بازار بیشتر از میانگین باشد درحالی‌که تقاضای بخش دیگر بازار کمتر از میانگین باشد، اقلامی از انبار را که در ابتدا به یک بازار اختصاص داده‌شده بود می‌توان مجدداً به بازار دیگر اختصاص داد. [۱].

۲- هرچه ضریب تغییر بیشتر باشد، سود بیشتری از به‌کارگیری سیستم‌های متمرکز حاصل می‌شود. یعنی سود حاصل از تقسیم مخاطره بیشتر می‌شود. هرچه ضریب تغییر بزرگ‌تر باشد تأثیر موجودی اطمینان بر کاهش موجودی بیشتر می‌شود [۱].

منافع حاصل از تقسیم مخاطره بستگی به رفتار تقاضا در یک بازار نسبت به بازار دیگر دارد. تقاضای دو بازار همیشه مثبت است اگر این احتمال زیاد باشد که هرگاه تقاضای یک بازار بیشتر از میانگین شود، تقاضای بازار دیگر نیز همین‌گونه خواهد بود. به‌طور شهودی هنگامی‌که همبستگی بین تقاضای دو بازار مثبت‌تر شود، سود حاصل از تقسیم مخاطره کاهش می‌یابد.

یکی از راهکارهای کنترل موجودی ادغامی، تقسیم مخاطره است که به کمک آن می‌توان هزینه‌های نگهداری موجودی را کاهش داد. از طرف دیگر، اگر در صنعت پوشاک که رقابتی است یک راهکار برای کاهش هزینه‌های لجستیکی استفاده شود در قیمت نهایی و رقابت‌پذیری تأثیر دارد. ازآنجایی‌که این راهبرد در صنایع دیگر تحت شرایطی مفید واقع‌شده است بررسی این موضوع در صنعت پوشاک می‌تواند ارزشمند باشد [۲]. انگیزه این مقاله، مبتنی بر وجود تقاضای فصلی و متغیر در سیستم چندانباری یک شرکت تولیدکننده پوشاک و چالش‌های مدیریت موجودی آن است. زنجیره عرضه پوشاک و ضرورت مدیریت یک زنجیره عرضه پاسخگو و کارای هزینه است. مضاف بر آنکه تعیین درجه تمرکز مراکز توزیع پوشاک برای ارسال کالا به خرده‌فروشان (نمایندگی‌های شرکت تولیدی مرکزی) باهدف کاهش هزینه‌ها (در مقایسه با رقبای خارجی) مشکل واقعی زنجیره عرضه شرکت تحت بررسی است.

در ادامه مقاله به این صورت دنبال می‌شود: در بخش دوم مرور پژوهش‌ها و تحقیقاتی در حوزه موجودی تجمعی، مزایای متمرکز ساختن آن و تقسیم مخاطره است. در بخش سوم به تعریف مسئله پرداخته می‌شود، در بخش چهارم مدل‌سازی یک سیستم چندمکانی در توزیع پوشاک انجام می‌شود که با توجه به عدم قطعیت تقاضا و زمان‌های تدارک یک سیستم (s,S) برای آن به‌کاربرده می‌شود در بخش پنجم، تحلیل عددی تخمین الگوی تقاضای مشتریان (خرده‌فروشی‌ها) محاسبه نقطه سفارش مجدد و سطح هدف سفارش برای هر کالا انجام‌شده همچنین میزان صرفه‌جویی هزینه‌ها در صورت اجرای تقسیم مخاطره به دست می‌آید. در بخش ششم در خصوص هزینه‌های حمل‌ونقل به مرکز توزیع ادغامی بحث می‌شود. در بخش هفتم تحلیل حساسیت مدل به میزان سطح خدمت سنجیده می‌شود و درنهایت در بخش هشتم نتایج این مقاله و مسیرهای توسعه آتی آورده می‌شود.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

در طی دهه‌های اخیر مطالعات موردی زیادی در خصوص مدیریت موجودی انجام گرفت، که اغلب در صنایع الکترونیک، شیمی و خودروسازی بودند. از اولین تحقیقات در این زمینه می‌توان به گلدرز و لوی [۳] اشاره کرد که سیاست‌های موجودی متنوعی را برای کالاهای آرام رونده و تند رونده در یک کارخانه پتروشیمی با ۲۲۵۰۰ واحد نگهداری سهام ارائه داد. دانش متعارف برای ادغام موجودی این است که اگر تقاضا از تمامی منابع توسط یک سیستم متمرکز ادغام شود، پس‌ازآن نه‌تنها انتظار می‌رود که سود افزایش یابد، بلکه سطوح موجودی و هزینه‌ها نیز کاهش پیدا کند [۴]. اگرچه مزایای ادغام موجودی ممکن است بسته به درجه همبستگی میان جریان تقاضا متنوع باشد، اما به‌طور گسترده‌ای به رسمیت شناخته‌شده است که یافته‌های اولیه اپن در سال ۱۹۷۹ هنوز برای انواع سیستم-ها استفاده می‌شود [۵]. ادغام و تمرکز تقاضا نه‌تنها می‌تواند مخاطرات شرکت در ارتباط با خطاهای پیش‌بینی و سوء مدیریت موجودی را کاهش دهد [۶]، همچنین می‌تواند یک راه که به‌طور چشمگیری کاهش منابع موجودی در سراسر زنجیره تأمین را سبب می‌شود را ارائه کند. گاهی

محصولاتی هستند که هنگامی‌که در انبار موجود نباشند قابل جایگزینی هستند. یانگ و همکاران [۷] نشان دادند هنگامی‌که تقاضا غیر مشخص است تمایل به‌جایگزینی محصولات باعث سود بیشتری خواهد شد. یانگ و همکاران [۷] به این نتیجه رسیدند که اگر توزیع تقاضا چوله باشد، موجودی بی‌قاعده افزایش خواهد یافت درصورتی‌که کاهش هزینه‌ها به ازای هر واحد به‌طور میانگین بیشتر از هزینه نگهداری هر واحد باشد، حتی باوجود همبستگی منفی تقاضا، موجودی ممکن است به دلیل تجمیع تقاضای جزئی افزایش یابد. کومز و دالیان [۸] کارایی مدیریت موجودی را با تحلیل همبستگی بین بازار هدف و کارخانه عرضه‌کننده را قبل و بعد از ادغام تحلیل کردند. آن‌ها نمونه‌هایی از معادلات ادغام‌شده را که از پایگاه داده شرکت‌های امنیتی ایالات‌متحده کسب‌شده بود را جمع‌آوری کردند و بررسی کردند که آیا شرکت‌ها و کارخانه‌هایی که ادغام شدند تأثیرات مشخصات تقاضا بر تغییرات بالقوه را تغییر می‌دهند یا خیر. بالو [۹] یک معادله چندجمله‌ای ساده که ضرایب آن با استفاده از تکنیک‌های تحلیل خطی به دست می‌آید را معرفی نمود که ابزاری اساسی و مفید برای تخمین سطوح موجودی کل است که می‌تواند پایه و اساسی برای کنترل سیاست‌های موجودی به کار رود. هم‌چنین هنگامی‌که تعداد محصولات در یک کانال توزیع متنوع است، تخمین تعداد انبارها در تعریف هزینه‌های موجودی سیستم مؤثر است. رابطه‌ای که بالو در این مقاله معرفی می‌کند آن را در برنامه‌ریزی و تحلیل و اجزای موجودی یک سیستم لجستیک مؤثر می‌داند.

$$I_T = \sum_{i=1}^{N} (w + mD_i + aD_i^b) \qquad (۱)$$

در همین راستا، تحقیق دیگری توسط شمیت و همکاران [۱۰] برای بررسی تقاضا و عرضه غیرقطعی در یک سسیستم با چندین مرکز تقاضا انجام شد. در این مطالعه موجودی در یک انبار نگهداری شده تا ریسک تقاضا را کاهش دهد و یا در چندین انبار نگهداری می‌شود تا ریسک تأمین را کاهش دهد. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که با در نظر گرفتن تأثیر تنوع ریسک، هزینه‌های مورد انتظار در سیستم متمرکز و غیرمتمرکز یکسان است. اما واریانس هزینه در سیستم‌های غیرمتمرکز کمتر است. شرکت‌ها از انبارهای چندگانه به‌عنوان وسیله‌ای برای افزایش پوشش بازار یا برای دستیابی به بخش‌های جدید بازار استفاده می‌کنند. این نوع تنظیم بازارها در زنجیره، می‌تواند زمان تحویل به بازار را کاهش دهد و برخی از مدل‌های کسب‌وکار از چند انبار برای ارضای تقاضای سطوح پایین‌تر استفاده می‌کنند.

تغییرپذیری تقاضا نیز مؤلفه‌ای است که در مدیریت موجودی دارای اهمیت است. در حالت تک کالایی و دو دوره‌ای، ادریسین و اتکینز [۱۱] یک زنجیره تأمین دوسطحی را با تقاضاهای تصادفی و وابسته آنالیز کردند. آن‌ها با بررسی ارسال‌های چندگانه و سیاست حد پایین ارسال، به عملکرد بالای تقسیم مخاطره در کاهش موجودی‌ها رسیدند. در بازارهای همبسته (مثبت و منفی) و با در نظر گرفتن منافع همزمان مکان‌های فروش، آریکان و سیلورمایر [۱۲] روشی را برای بررسی اثر انتقال کالا ارائه کردند. آن‌ها شرایط لازم را برای هماهنگی زنجیره عرضه در برآورد تقاضاهای مشتریان مبتنی بر نظریه بازی‌ها تحلیل کردند. اخیراً، اوثر [۱۳] نقدی بر قانون ریشه مربع برای کارایی آن در متمرکز سازی موجودی در کارخانه‌هایی که از مدل اندازه انباشته اقتصادی و اندازه تولید اقتصادی استفاده می‌کنند داشته است. او با بررسی ۲۶ کارخانه و تحلیل کاهش نقاط ذخیره‌سازی موجودی؛ خطای تخمین سطح موجودی‌ها را به‌صورت مطالعه تجربی محاسبه کرده است.

در یک مسئله تولید-توزیع در سطح استراتژیک، کومار و تیواری [۱۴] برنامه‌ریزی موجودی-مکان‌یابی تحت اثر تقسیم مخاطره بررسی کردند. برای مسئله پسرک روزنامه‌فروش چندمکانی، برمن و همکاران [۱۵] به این نتیجه رسیدند که با افزایش تغییرپذیری تقاضا، مزیت حاصل از تقسیم مخاطره و کارایی هزینه‌ای بهبود می‌یابد. فرض کلی مقاله آن‌ها، تقاضایِ آزاد در توزیع است. در جدول (۱) مقالات بررسی‌شده به‌صورت خلاصه با تفکیک پارامترهای موردبررسی آن‌ها طبقه‌بندی شده‌اند. همان‌گونه که از جدول (۱) استنباط می‌شود، صنعت پوشاک با تقاضای تغییرپذیر به‌جز مطالعه محدودی که توسط سیم چی لوی و همکاران [۲] انجام‌شده است، مورد توجه محققان واقع نشده است.

جدول (۱): دسته‌بندی مقالات مدیریت موجودی و تقسیم مخاطره و جایگاه مقاله

مرجع	تقاضا				محصول		موجودی ادغام‌شده		صنعت موردبررسی	حوزه تمرکز
	قطعی	غیرقطعی	تک دوره‌ای	چند دوره‌ای	تک محصولی	چند محصولی	بله	خیر		
[۱]		✓		✓	✓	✓	✓		مواد بهداشتی، خشکبار	ارزیابی کارایی موجودی با منحنی برگشت
[۲]		✓	✓		✓		✓		تلویزیون	اثر تقسیم مخاطره بر میانگین موجودی
[۴]		✓	—	—	—	—	✓		—	طراحی سیستمی جهت افزایش انبار
[۷]		✓	✓	✓		✓	✓		—	افزایش موجودی با اعمال تقسیم مخاطره
[۸]		✓		✓		✓	✓		شرکت امنیتی	کارایی موجودی با تقسیم مخاطره
[۱۰]	✓	✓		✓	—	—	✓	✓	—	تمرکز انبار در مقابل پراکندگی آن
[۱۴]	✓	✓	—	—		✓	✓		—	طراحی سیستم زنجیره تأمین متمرکز
[۱۵]		✓	—	—	—	—	✓			مزایای تقسیم مخاطره در مدیریت موجودی
این مقاله		✓	✓			✓	✓		پوشاک تریکو	اثر تقسیم مخاطره بر میانگین موجودی و مکان مراکز توزیع ادغامی

آنچه تحلیل و مرور بر ادبیات موضوع روشن می‌سازد این است که اگرچه در زمینه مدیریت موجودی و تقسیم مخاطره پژوهش‌های گسترده‌ای انجام‌شده است، اما تأثیر توأم چند محصولی بودن، تقاضای غیرقطعی و مهلت تدارک غیرقطعی یعنی حالتی که در واقعیت امکان رخ دادن آن بیشتر است، به‌طور کامل بررسی نشده است. این‌که در شرایط مذکور موجودی به‌صورت ادغام‌شده یا پراکنده (سیستم متمرکز در مقابل غیرمتمرکز موجودی) باشد، انبارها در موقعیت‌های معین قرار گرفته باشند و این انبارها چه تعدادی باشند همه عواملی است که تغییر در هریک از آن‌ها می‌تواند نتایج متفاوتی را در تحلیل مدیریت موجودی با تقاضای متغیر بازار بدست دهد. از طرف دیگر با توجه به متغیر بودن تقاضای پوشاک و فصلی بودن آن و هم‌چنین پیروی آن از مد بررسی مدل‌های موجودی ادغامی و اثر آن بر میانگین موجودی و هزینه‌های مرتبط ضرورت می‌یابد. تحلیل مدل‌های موجودی احتمالی توسعه داده‌شده را با چندین مرکز توزیع در مقابل مرکز توزیع ادغامی ازنقطه‌نظر سطح خدمت، کاهش هزینه‌ها و کاهش سطح موجودی به‌ضرورت مطالعه موردی انجام دهد. مورد مهم دیگر که این مقاله را متمایز می‌سازد، مکان‌یابی انبار ادغامی در صورت تعیین رهیافت تمرکز با در نظر گرفتن هزینه‌های حمل‌ونقل است. مضاف بر موارد مطروحه، متناسب‌سازی و توسعه مدل‌های مدیریت موجودی زنجیره عرضه برای یک شرکت تولیدی پوشاک بررسی و تحلیل حساسیت می‌شود.

۳- تعریف مسئله

در این مقاله ساختار مدیریت موجودی و نحوه توزیع کالا در یک شرکت تولید پوشاک تریکو بررسی می‌شود. در هر بار پروسه تولید کالا، محصولات پس از انبار شدن در انبارهای محصول نهایی، توسط خرده‌فروش‌های مختلف سفارش داده می‌شوند. با هر بار سفارش، انبار با دو حالت مواجه می‌شود. ۱- موجود بودن کالای موردنظر در انبار که به دنبال آن محصولات طبق سفارش به خرده‌فروش ارسال خواهند شد ۲- موجود نبودن کالا که با از دست رفتن سفارش همراه است. اما مسئله این است که گاهی یک کالا توسط یک یا چند خرده‌فروش به یک انبار سفارش داده می‌شود و با عدم موجودی مواجه می‌شود این در حالی است که همان کالا در انبار دیگر موجود است و حتی ممکن است تا پایان فصل سفارشی برای آن نباشد و در انبار باقی بماند و همزمان سفارش‌هایی که در رابطه با همین محصول به انبار دیگر داده‌شده از دست برود. شرکت موردبررسی درزمینه‌ی تولید پوشاک تریکو و منسوجات دارای بافت حلقوی است. این شرکت دارای دو انبار محصول و تعدادی

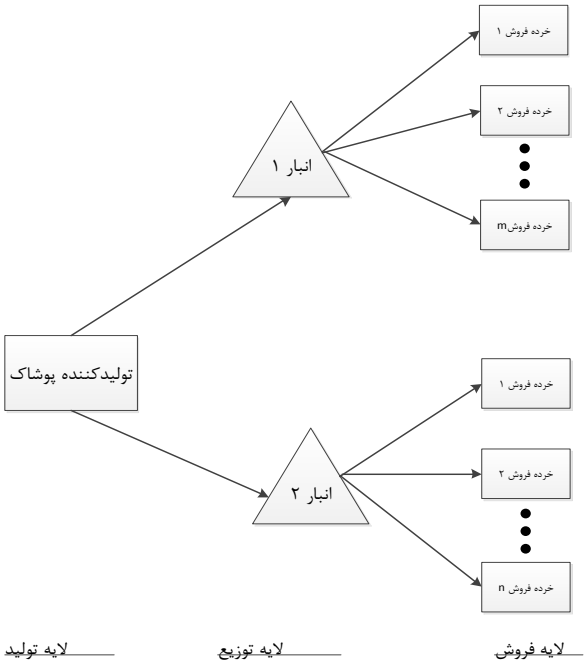
شعبه و مرکز فروش در سراسر کشور است. هر یک از این شعبات از طریق ثبت سفارش‌های خود، محصولات موردنظر را به‌صورت مستقیم از یکی از دو انبار مربوطه دریافت می‌کنند. هر انبار به تعداد مشخصی از مراکز فروش خدمات‌رسانی انجام می‌دهد. این مراکز فروش یا به عبارتی نمایندگی‌ها یا متعلق به سازمان هستند و یا حق نمایندگی را به افراد دیگر واگذار نموده‌اند. این نمایندگی‌ها به‌گونه‌ای تخصیص‌یافته‌اند که فقط می‌توانند نیاز خود را از طریق یکی از انبارها برآورده کنند. در شکل (۱) زنجیره عرضه این شرکت به‌صورت کلی آورده شده است. برای بررسی مسئله تعریف‌شده و مطالعه موردی خرده‌فروشان تخصیص‌یافته به انبارهای ۱ و ۲ شرکت که در گستره استان تهران و البرز فعالیت می‌کنند.

پوشاک کالایی است که از مد پیروی می‌کند و تقاضا برای آن عموماً غیرقطعی، تصادفی و دارای نوسان است. در این صنعت برای ارضای نیاز مشتری باید همواره به میزان تقاضای او برای کالا توجه داشت. همچنین بررسی پیشینه تقاضا برای محصول از جانب مشتری و خرده‌فروشان به جهت پیش‌بینی میزان تولید برای دوره‌های آتی از اهمیت زیادی برخوردار است. از سویی دیگر بااطلاع از پیشینه تقاضای هر محصول می‌توان میزان موجودی انبار را تا حدی که سفارش مشتری را پاسخ دهد، افزایش و یا کاهش داد.

۳-۱- مفروضات

مفروضات این مقاله در مدیریت موجودی‌ها با در نظر گرفتن مفهوم تقسیم مخاطره به شرح زیر است.

- مسئله چند محصولی است و سیستم دارای دو انبار محصول (مراکز توزیع) است.
- در این سیستم توزیع، در سناریوی اول موعد تحویل کالا از عرضه‌کنندگان ثابت بوده اما این مقدار برای هر محصول متفاوت است. در سناریوی دوم، زمان تدارک احتمالی هم مدنظر قرار می‌گیرد.
- میزان تقاضای خرده‌فروشان غیرقطعی و تصادفی است.
- موعد تحویل شرکت به مراکز توزیع در مقایسه با موعد تحویل مراکز توزیع به خرده‌فروشان ناچیز است.
- در این پژوهش از خط‌مشی موجودی کمینه- بیشینه یا (s, S) استفاده‌شده است.
- تابع هزینه نگهداری خطی است.



شکل (۱): شبکه توزیع تحت بررسی

۳-۲- اندیس‌ها

i انبارها $i \in I = \{1,2,..,I\}$

j کالاها $j \in J = \{1,2,..,J\}$

۳-۳- پارامترها و متغیرهای تصمیم

$AVG_{i,j}$ میانگین تقاضای روزانه کالای j ام در انبار i

$AVGL_{i,j}$ میانگین تقاضا در طی مدت تحویل کالای j در انبار i

$STD_{i,j}$ انحراف معیار تقاضای روزانه کالای j در انبار i

h هزینه نگهداری یک واحد محصول j دریک روز برای انبارها

L_j مهلت تحویل کالای j ام از تولیدکننده به انبارها برحسب روز

α سطح خدمت. احتمال موجودی به موجودی $\alpha - 1$ است.

$Q_{i,j}$ مقدار سفارش برای هر برای کالای j در انبار i ام است

K هزینه ثابت در هر بار سفارش دهی به انبار

Z ثابت مربوط به سطح خدمت، ثابت Z به گونه‌ای انتخاب می شود که احتمال تمام شدن موجودی در طی مدت تحویل دقیقا برابر با $\alpha - 1$ باشد.

$SS_{i,j}$ موجودی اطمینان برای کالای j در انبار i

$RS_{i,j}$ موجودی معمولی کالای j ام در انبار i

$OUL_{i,j}$ سطح هدف سفارش کالای j ام در انبار i

$RP_{i,j}$ نقطه سفارش مجدد کالای j در انبار i

$TC_{i,j}$ هزینه نگهداری کل کالای j در انبار i

$I_{i,j}$ میانگین موجودی کالای j ام در انبار i

$\mathrm{Re}(I_{i,j})$ کاهش میانگین موجودی کالای j در انبار T_j

$CV_{i,j}$ ضریب تغییر کالای j ام در انبار i ام

۳-۴- بنیان نظری تقسیم مخاطره

ازآنجایی‌که سطوح تقاضا از فروشگاهی به فروشگاه دیگر متغیر است تقاضای بالای یک فروشگاه را می‌توان با تقاضای کم فروشگاه دیگری به تعادل رساند. این کاهش در تغییرپذیری سبب کاهش در موجودی احتیاطی و میانگین موجودی و به‌تبع کاهش هزینه‌های سیستم خواهد شد [۲]. در مدیریت زنجیره تأمین تقسیم مخاطره عموماً از یک سیستم متمرکز با موجودی تجمیع شده در یک مرکز توزیع، به‌جای یک سیستم غیرمتمرکز با موجودی جداگانه، شکل می‌گیرد. تقسیم مخاطره از این مسئله نشأت می‌گیرد که اگر تقاضا در برخی نواحی بیشتر از میانگین باشد بنابراین در سایر نواحی کمتر از میانگین است. یکی از نکاتی که باید به آن توجه نمود این است که میانگین تقاضایی که در یک مرکز توزیع متمرکز با آن روبرو هستیم برابر با جمع میانگین تقاضا در هر یک از انبارها در سیستم غیرمتمرکز است. هرچند ثابت‌شده است تغییرپذیری که در یک مرکز توزیع متمرکز توسط انحراف معیار یا ضریب تغییر اندازه‌گیری می‌شود، بسیار کوچک‌تر از تغییرپذیری مرکب در انبارهای جداگانه در سیستم غیرمتمرکز است. به‌صورت کلی اگر هر خرده‌فروش موجودی و ذخیره احتیاطی جداگانه‌ای را نگه‌داری کند باید سطح بالاتری از موجودی را نسبت به حالتی که موجودی و ذخیره احتیاطی جمع شده است نگهداری کند. بنابراین یک سیستم با اعمال تقسیم مخاطره موجودی کل کمتری دارد و برای اجرا با همان سطح خدمت هزینه کمتری خواهد داشت. به‌طور خلاصه، ایده اصلی در تقسیم مخاطره طراحی مجدد زنجیره تأمین به‌منظور کاهش عدم قطعیت تقاضا و کمینه نمودن هزینه مورد انتظار در سیستم با حفظ یک سطح خدمت بالا است [۱۷].

تئوری که در این سیستم در نظر گرفته می‌شود در روابط آماری (۲) تا (۵) آورده شده است [۱۷]. آنچه از روابط برمی‌آید این است که تغییرپذیری که انبار مرکزی با آن روبه‌رو است، بسیار کمتر از تغییرپذیری مرکبی است که انبارهای موجود با آن مواجه هستند و این مورد تأثیر عمده‌ای بر سطح موجودی در سیستم‌های کنونی و پیشنهادی دارد [۲].

$$Var(X_1+X_2)=Var(X_1)+Var(X_2)+2Cov(X_1,X_2) \quad (۲)$$

$$\leq \sigma^2(X_1)+\sigma^2(X_2)+2\sigma(X_1)\sigma(X_2) \quad (۳)$$

$$\leq (\sigma(X_1)+\sigma(X_2))^2 \quad (۴)$$

$$\sigma(X_1+X_2)\le\sigma(X_1)+\sigma(X_2) \qquad (۵)$$

نامساوی شماره (۳) از نامساوی معروف کوشی- شوارتز به‌دست‌آمده است [۱۹].

$$|Cov(X_1,X_2)|\le\sigma(X_1)\sigma(X_2) \qquad (۶)$$

۴- مدل‌سازی

۴-۱- مدل‌سازی با سیستم موجودی (s,S) در حالت تقاضای متغیر(سناریوی اول)

در این بخش برای محاسبه میزان کاهش میانگین موجودی از متناوب سازی سیستم (s,S) با تقاضای متغیر برای شبکه توزیع موردنظر استفاده می‌شود [۲]. برای توصیف ویژگی خط‌مشی موجودی (s,S) نیاز است مفاهیمی همچون s یعنی نقطه سفارش مجدد و S سطح هدف سفارش تعریف شود.

در چنین حالتی به دلیل تصادفی بودن تقاضا باید در انبار، موجودی تحت عنوان ذخیره اطمینان یا موجودی احتیاطی نگه داشت. سطح هدف سفارش،S، شامل دو جزء است. جزء اول، میانگین موجودی در طی مدت تحویل است که حاصل‌ضرب میانگین تقاضای روزانه در مدت تحویل است. این جزء این اطمینان را به وجود می‌آورد که موجودی کافی تا رسیدن سفارش بعدی وجود دارد. بنابراین میانگین تقاضا در طی مدت تحویل به‌طور دقیق برابر است با رابطه (۷) که در زیر آورده شده است.

$$L_{i,j}\times AVG_{i,j} \qquad \forall i,j \qquad (۷)$$

جزء دوم نشانگر موجودی اطمینان است و مقدار موجودی که توزیع‌کننده در انبار برای محافظت در مقابل انحراف از میانگین تقاضا در طی مدت تحویل نگه می‌دارد موجودی اطمینان گفته می‌شود و این مقدار به‌صورت معادله (۸) محاسبه می‌شود:

$$SS_{i,j}=z\times STD_{i,j}\times\sqrt{L_j} \qquad (۸)$$

که در آن z ثابت مربوط به سطح خدمت است و به‌گونه‌ای از جدول آماری انتخاب می‌شود که احتمال تمام شدن موجودی در طی مهلت تحویل دقیقاً برابر با $\alpha-1$ باشد.

در خط‌مشی (s,S) هرگاه سطح موقعیت موجودی به زیر سطح s برسد توزیع‌کننده باید برای رساندن موقعیت موجودی خود به سطح S سفارش دهد. برای به دست آوردن نقطه سفارش مجدد از رابطه (۹) استفاده می‌شود.

$$RP_{i,j}=L\times AVG+z\times STD_{i,j}\times\sqrt{L_j} \qquad (۹)$$

$Q_{i,j}$ مقدار سفارش اقتصادی است و به‌صورت رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$Q_{i,j}=\sqrt{\frac{2\times K\times AVG_{i,j}}{h}} \qquad (۱۰)$$

که در آن K هزینه ثابت برای هر بار سفارش انبار است. اگر تقاضای مشتری تغییرپذیری نداشته باشد، هر زمان که سطح موجودی برابر با $L_{i,j}\times AVG_{i,j}$ باشد توزیع‌کننده به‌اندازه $Q_{i,j}$ قلم کالا سفارش می‌دهد زیرا برای دریافت سفارش L_j روز طول می‌کشد. میانگین موجودی برابر با جمع موجودی معمولی و موجودی اطمینان است و ازآنجایی‌که مهلت تحویل ثابت می‌باشد موجودی معمولی برابر با نصف میزان اقتصادی سفارش است.

$$I_{i,j}=RS_{i,j}+SS_{i,j} \qquad (۱۱)$$

$$I_{i,j}=\frac{Q_{i,j}}{2}+SS_j \qquad (۱۲)$$

در ادامه هزینه نگهداری کل برابر است با میانگین موجودی برای هر محصول در هزینه‌ی نگهداری روزانه‌ی همان محصول است که $I_{i,j}$ از رابطه (۱۲) بدست می‌آید و همان متوسط موجودی در سیستم (s,S) است.

$$TC_{i,j}=I_{i,j}\times h \qquad (۱۳)$$

برای محاسبه کاهش میانگین موجودی (و هزینه نگهداری کل) باید از رابطه (۱۴) استفاده کرد.

$$\mathrm{Re}(I_{i,j}) = \frac{(I_{1,j} + I_{2,j}) - I_{T,j}}{(I_{1,j} + I_{2,j})} \quad (۱۴)$$

در این قسمت برای تحلیل زنجیره عرضه موردنظر در حالتی که مهلت تحویل نیز تصادفی باشد مدل موردنظر آورده می‌شود. در بسیاری از شرایط واقعی، باید فرض کرد که مهلت تحویل به انبار از توزیع نرمال با میانگینی که با

$$s_{i,j} = Q + AVG_{i,j} \times AVGL_{i,j} + z\sqrt{AVGL_{i,j} \times STD_{i,j}{}^2 + AVG_{i,j}{}^2 \times STDL_{i,j}{}^2} \quad \forall i,j \quad (۱۵)$$

که در آن $AVG_{i,j} \times AVGL_{i,j}$ نشان‌دهنده‌ی میانگین تقاضا در طی مدت تحویل است.

$$STD_{i,j} = \sqrt{AVGL_{i,j} \times STD_{i,j}{}^2 + AVG_{i,j}{}^2 \times STDL_{i,j}{}^2} \quad (۱۶)$$

انحراف معیار تقاضا در طی مدت تحویل است. بنابراین مقدار موجودی اطمینان که باید نگه‌داشته شود برابر است با

$$SS_{i,j} = z\sqrt{AVGL_{i,j} \times STD_{i,j}{}^2 + AVG_{i,j}{}^2 \times STDL_{i,j}{}^2} \quad (۱۷)$$

(۱۸)

$$OUL_{i,j} = Q_{i,j} + AVG_{i,j} \times AVGL_{i,j} + z\sqrt{AVGL_{i,j} \times STD_{i,j}{}^2 + AVG_{i,j}{}^2 \times STDL_{i,j}{}^2}$$

۵- مطالعه موردی در صنعت پوشاک

در مدل مورد بررسی ۶ نوع محصول تحت عناوین تاپ، تیشرت، کاپشن، شلوار، شلوار کوتاه و بلوز موردبررسی قرار گرفته است.

$$j \in \{Top, Tshirt, Cardigan, Jean, Minijean, Shirt\}$$

این مدل شامل دو انبار محصول که از انبار اول، ۷ نمایندگی و از دومی ۸ نمایندگی به‌صورت اتفاقی موردبررسی قرار گرفته است.

۵-۱- نیکویی برازش تقاضای محصولات

در اغلب آزمون‌های پارامتری مفروضات مقدماتی بسیاری وجود دارد که تا این مفروضات تأمین نشود نتایج به‌دست‌آمده از آزمون نامعتبر خواهد بود. در میان این مفروضات مهم‌ترین و شایع‌ترین فرض، فرض نرمال بودن داده‌ها می‌باشد. به‌ویژه که در این پژوهش از خط‌مشی (s,S)، استفاده‌شده است و در این خط‌مشی با فرض نرمال بودن داده‌ها محاسبات مذکور انجام‌شده است. منظور از نرمال بودن توزیع داده‌ها این است که هیستوگرام فراوانی داده‌ها تقریباً به‌صورت منحنی نرمال باشد [۱۸]. برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها دو آزمون در دو نرم‌افزار آماری انجام پذیرفت. این آزمون‌ها مشتمل بر کولموگروف-اسمیرنوف و چولگی هستند. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای ۶ محصول در سطح معنا داری $\alpha = 0.05$ در جدول (۲) آورده شده است همان‌گونه که مشاهده می‌شود، برای ۵ محصول از ۶ محصول توابع تقاضا دارای توزیع نرمال در سطح معناداری تعریف‌شده هستند.

جدول (۲): آزمون کولموگروف-اسمیرنف

نام محصول	پذیرش یا رد نرمالیتی توسط آزمون
تاپ	پذیرش
تیشرت	پذیرش
کاپشن	پذیرش
شلوار	پذیرش
شلوار کوتاه	رد
بلوز	پذیرش

۵-۲- مهلت تحویل کالا

مهلت تحویل[1] کالا زمان بین ثبت سفارش برای یک کالا از جانب خرده‌فروش به انبار تا تحویل نهایی آن به همان خرده‌فروش است. مهلت تحویل برای هر کالا با پیروی از مدل زمان پیشبرد در سیستم تولید دسته‌ای براون [۱۶] محاسبه و تخمین شده است. زمان تدارک به تفکیک هر کالا در جدول (۳) آورده شده است.

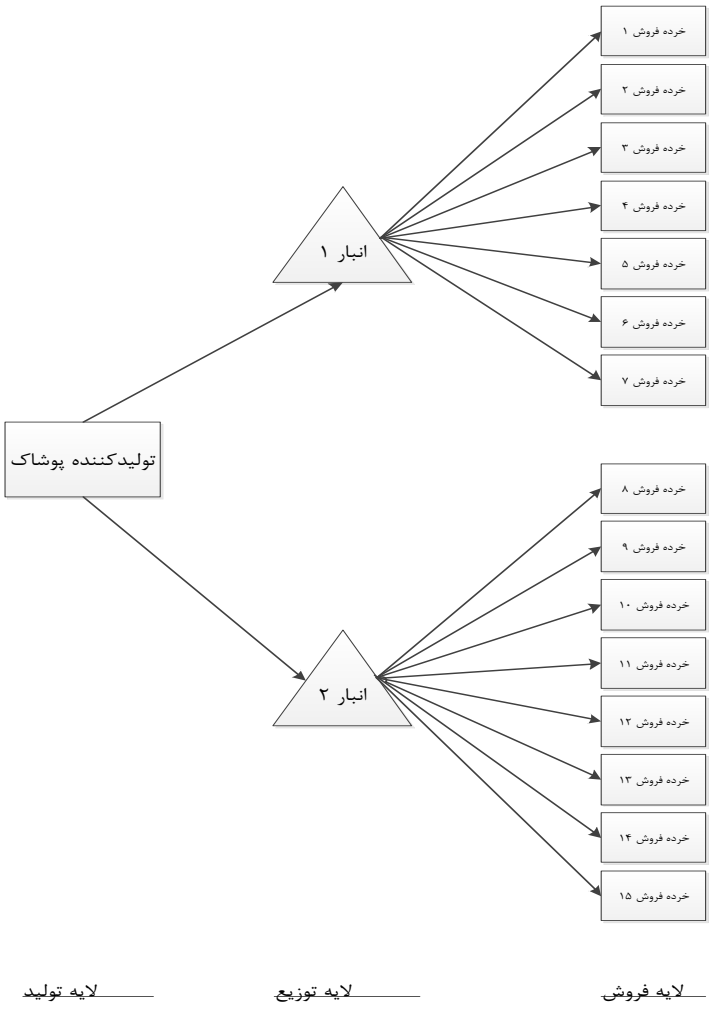
۵-۴- مدل‌سازی با سیستم موجودی (s,S) در حالت تقاضای متغیر و مهلت تحویل متغیر(سناریوی دوم)

$AVGL$ و انحراف معیاری که با $STDL$ نشان داده می‌شود تبعیت می‌کند [۲]. در این حالت نقطه سفارش مجدد، s، به‌صورت در پی آمده محاسبه می‌شود:

1–Leadtime

جدول (۳): تابع توزیع مهلت تحویل متغیر کالا

نام محصول	توزیع مهلت تحویل
تاپ و تیشرت	$\sim N(9,\frac{1}{16})$
کاپشن	$\sim N(12,\frac{1}{4})$
شلوار و شلوار کوتاه	$\sim N(9,\frac{1}{64})$
بلوز	$\sim N(10,\frac{9}{64})$



شکل ۲: شبکه توزیع پوشاک تریکو در مطالعه عددی

۵-۳- محاسبه سطح خدمت فعلی

سطح خدمت توانایی یک سازمان برای برطرف نمودن تقاضای مشتری را نشان می‌دهد. در این مقاله از رابطه (۱۹) برای محاسبات سطح خدمت استفاده می‌شود.

$$\text{سطح خدمت} = 1 - \frac{\text{تعداد روزهای عملیاتی که دچار اتمام موجودی شدند}}{\text{تعداد کل روزهای عملیاتی}} \qquad (۱۹)$$

$$\alpha = (1 - \frac{15}{180}) \times 100 = 91\%$$

۵-۴- جمع‌بندی سوابق داده‌ها در مراکز توزیع

نظر به استفاده از خط‌مشی (s,S) می‌بایستی ابتدا جدولی شامل میانگین تقاضای ماهیانه و انحراف معیار تقاضای ماهیانه برای هر محصول و هم‌چنین ضریب تغییر تقاضایی که هر انبار با آن مواجه است.

آمار	محصول	میانگین تقاضا	انحراف معیار تقاضا	ضریب تغییر
انبار ۱	تاپ	۱۵۶/۶	۴۷/۱۸۷۵	۰/۳۰۱۳
انبار ۱	تیشرت	۱۹۱/۶	۵۱/۸۳۳۰	۰/۲۷۰۵
انبار ۱	کاپشن	۱۰۰	۵۷/۸۷۹۱	۰/۵۷۸۷
انبار ۱	شلوار	۱۹۶/۱۶	۴۳/۱۷۶	۰/۲۵۵۲
انبار ۱	شلوار کوتاه	۱۳۷/۵	۲۸/۷۶۶۳	۰/۲۰۹۲
انبار ۱	بلوز	۱۲۷/۵	۴۷/۴۰۷۸	۰/۳۷۱۸
انبار ۲	تاپ	۱۹۵/۸۳	۵۴/۴۴۱	۰/۲۷۸۰
انبار ۲	تیشرت	۲۳۰/۸۳	۴۹/۲۳۵۸	۰/۲۱۳۲
انبار ۲	کاپشن	۱۰۵	۵۱/۰۸۸۱	۰/۴۸۶۵
انبار ۲	شلوار	۲۰۱/۶۶	۵۷/۰۶۷۲	۰/۲۸۲۹
انبار ۲	شلوار کوتاه	۱۸۳/۳۳	۴۶/۶۵۴۷	۰/۲۵۴۴
انبار ۲	بلوز	۱۲۴/۱۶	۴۲/۷۱۰۲	۰/۳۴۳۹
جمع	تاپ	۳۵۲/۴۳	۱۰۱/۰۸۱	۰/۲۸۶۸
جمع	تیشرت	۴۲۲/۴۳	۹۹/۸۳۷۳	۰/۲۳۶۳
جمع	کاپشن	۲۰۵	۱۰۷/۰۰۴۷	۰/۵۲۱۹
جمع	شلوار	۳۷۰/۸۲	۹۹/۸۷۰۷	۰/۲۶۹۳
جمع	شلوار کوتاه	۳۲۰/۸۳	۷۴/۹۹۴۴	۰/۲۳۳۷
جمع	بلوز	۲۵۱/۶۶	۸۹/۷۰۳۲	۰/۳۵۴۶

۵-۵- محاسبه پارامترهای موجودی در سیستم در (s,S) برای تقاضای متغیر و مهلت تحویل قطعی

در جدول (۵) تمامی پارامترها و متغیرهایی که در بخش مدل‌سازی با سیستم موجودی (s,S) در حالت تقاضای متغیر گفته شد جهت محاسبه میزان کاهش موجودی در حالتی که انبارها ادغام شوند، محاسبه می‌گردد. ستون اول در این جدول شامل انبارها و جمع انبارها یا به‌عبارت‌دیگر حالت ادغام‌شده انبارها نوشته‌شده است. در ستون دوم نام محصولات مقابل این انبارها نوشته‌شده است. در ستون سوم میانگین تقاضایی که هر محصول در هر انبار دارد و در جدول محاسبه‌شده نوشته‌شده است. ستون بعدی شامل میانگین تقاضا در طی مدت تحویل است که با استفاده از رابطه (۶) برابر است با حاصل‌ضرب میانگین تقاضای محصول j ام در انبار i در مدت تحویل آن محصول. به‌طور نمونه برای کالای تاپ در انبار ۱ میانگین تقاضا در طی مدت تحویل به‌صورت در پی آمده محاسبه می‌شود:

$$AVGL_{1,1} = AVG_{1,1} \times L_1 = 156.6 \times 9 = 1409.4 \quad (۲۰)$$

$$SS_{i,j} = z \times STD_{i,j} \times \sqrt{L}_j \quad (۲۱)$$

که در آن ثابت Z با توجه به سطح خدمت ۹۱٪ از جدول نرمال به دست می‌آید. به‌طور نمونه برای کالای تاپ در انبار ۱ که دارای مهلت تحویل ۹ روز است موجودی احتیاطی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SS_{1,1} = z \times STD_{1,1} \times \sqrt{L}_1 = 1.34 \times 47.19 \times \sqrt{9} \quad (۲۲)$$

ستون هفتم شامل نقطه سفارش مجدد کالای j ام در انبار i است و با استفاده از رابطه (۲۳) به این صورت محاسبه می‌گردد.

$$\mathrm{Re}P_{i,j} = L \times AVG + z \times STD_{i,j} \times \sqrt{L_j} \quad \forall i, j \quad (۲۳)$$

به‌طور نمونه برای کالای تاپ در انبار ۱ این مقدار برابر است با

$$\mathrm{Re}P_{1,1} = L \times AVG_{1,1} + z \times STD_{1,1} \times \sqrt{L_1} = 1409.4 + 1.34 \times 47.19 \times \sqrt{9} = 1599.09 \quad (۲۴)$$

مقدار اقتصادی سفارش یا Q برابر با رابطه (۲۵) است.

$$Q_{i,j} = \sqrt{\frac{2 \times K \times AVG_{i,j}}{h}} \quad (۲۵)$$

که این مقدار به‌طور مثال برای تاپ در انبار ۱ این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$Q_{1,1} = \sqrt{\frac{2 \times K \times AVG_{1,1}}{h}}$$
$$= \sqrt{\frac{2 \times 50000 \times 156.6}{30}} = 722.50$$

سطح هدف سفارش که در ستون نهم محاسبه‌شده است حاصل جمع Q و نقطه سفارش مجدد است. و اگر بخواهیم این مقدار را به‌طور مثال برای تاپ در انبار ۱ محاسبه کنیم به این صورت عمل می‌شود:

$$OUL_{1,1} = Q_{1,1} + RP_{i,j} \quad (۲۶)$$
$$= 722.5 + 1599.09 = 2321.59$$

در ستون بعدی میانگین موجودی برای کالای j ام در انبار i ام محاسبه می‌شود. با توجه به رابطه (۲۷) به‌صورت در پی آمده است.

$$I_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{2} + SS_j \quad (۲۷)$$

به‌طور مثال این مقدار برای تاپ در انبار اول این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$I_{1,1} = \frac{Q_{1,1}}{2} + SS_{1,1} \quad (۲۸)$$
$$= \frac{722.5}{2} + 189.69 = 550.94$$

در ستون یازدهم هزینه نگهداری کل برای هر کالا در هر انبار محاسبه می‌شود که این مقدار با توجه به رابطه ذکرشده (۲۹) مطابق زیر بدست می‌آید.

$$TC_{i,j} = I_{i,j} \times h \quad (۲۹)$$

اگر بخواهیم هزینه نگهداری کل برای کالای تاپ در انبار ۱ را محاسبه کنیم به‌صورت زیر عمل می‌شود:

$$TC_{1,1} = I_{1,1} \times h = 550.94 \times 30 = 16528.26$$

در ستون آخر درصد کاهش موجودی و هزینه نگهداری کل نوشته‌شده که این مقدار در مقابل هر محصول در جمع انبارها یعنی در حالتی که انبارها با یکدیگر ادغام شوند محاسبه‌شده است. برای محاسبه کاهش میانگین موجودی برای کالای j ام می‌بایست میانگین موجودی آن محصول در انبار ۱ و ۲ را با یکدیگر جمع کرده و از میانگین موجودی همان محصول در حالت جمع انبارها کسر نموده و این مقدار را بر جمع میانگین موجودی کالای i ام در انبار ۱ و ۲ تقسیم نمود. به‌طور مثال برای تاپ این مقدار به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{Re}(I_{1,1}) = \frac{(16528.26 + 18685.06)}{(16528.26 + 18685.06)} - \frac{28448.45}{(16528.26 + 18685.06)} = 19\% \quad (۳۰)$$

جدول (۵): تحلیل داده‌ها برای حالت تقاضا متغیر و مهلت تحویل ثابت (سناریوی اول)

آمار	محصول	میانگین تقاضا	میانگین تقاضا در طی مهلت تحویل	انحراف معیار تقاضا	موجودی احتیاطی	نقطه سفارش مجدد	Q	سطح هدف سفارش	میانگین موجودی	هزینه نگهداری کل	درصد کاهش موجودی و هزینه نگهداری کل
انبار ۱	تاپ	۶/۱۵۶	۴/۱۴۰۹	۱۹/۴۷	۶۹/۱۸۹	۰۹/۱۵۹۹	۵۰/۷۲۲	۵۹/۲۳۲۱	۹۴/۵۵۰	۲۶/۱۶۵۲۸	-
انبار ۱	تیشرت	۶/۱۹۱	۴/۱۷۲۴	۸۳/۵۱	۳۷/۲۰۸	۷۷/۱۹۳۲	۱۷/۷۹۹	۹۴/۲۷۳۱	۹۵/۶۰۷	۵۶/۱۸۲۳۸	-
انبار ۱	کاپشن	۱۰۰	۱۲۰۰	۸۸/۵۷	۶۷/۲۶۸	۶۷/۱۴۶۸	۳۵/۵۷۷	۰۲/۲۰۴۶	۳۴/۵۵۷	۳۳/۱۶۷۲۰	-
انبار ۱	شلوار	۲/۱۶۹	۴۴/۱۵۲۲	۱۸/۴۳	۵۷/۱۷۳	۰۱/۱۶۹۶	۹۱/۷۵۰	۹۲/۲۴۴۶	۰۲/۵۴۹	۶۸/۱۶۴۷۰	-
انبار ۱	شلوار کوتاه	۵/۱۳۷	۵/۱۲۳۷	۷۷/۲۸	۶۴/۱۱۵	۱۴/۱۳۵۳	۰۰/۶۷۷	۱۴/۲۰۳۰	۱۴/۴۵۴	۲۶/۱۳۶۲۴	-
انبار ۱	بلوز	۵/۱۲۷	۱۲۷۵	۴۱/۴۷	۸۹/۲۰۰	۸۹/۱۴۷۵	۹۲/۶۵۱	۸۱/۲۱۲۷	۸۵/۵۲۶	۴۵/۱۵۸۰۵	-
انبار ۲	تاپ	۸/۱۹۵	۴۷/۱۷۶۲	۴۴/۵۴	۸۷/۲۱۸	۳۴/۱۹۸۱	۹۴/۸۰۷	۲۸/۲۷۸۹	۸۴/۶۲۲	۰۶/۱۸۶۸۵	-
انبار ۲	تیشرت	۸/۲۳۰	۴۷/۲۰۷۷	۲۴/۴۹	۹۳.۱۹۷	۴۰/۲۲۷۵	۱۷/۸۷۷	۵۷/۳۱۵۲	۵۱/۶۳۶	۴۴/۱۹۰۹۵	-
انبار ۲	کاپشن	۱۰۵	۱۲۶۰	۰۹/۵۱	۱۵/۲۳۷	۱۵/۱۴۹۷	۶۱/۵۹۱	۷۵/۲۰۸۸	۹۵/۵۳۲	۵۰/۱۵۹۸۸	-
انبار ۲	شلوار	۷/۲۰۱	۹۴/۱۸۱۴	۰۷/۵۷	۴۱/۲۲۹	۳۵/۲۰۴۴	۸۸/۸۱۹	۲۳/۲۸۶۴	۳۵/۶۳۹	۴۸/۱۹۱۸۰	-
انبار ۲	شلوار کوتاه	۳/۱۸۳	۹۷/۱۶۴۹	۶۵/۴۶	۵۵/۱۸۷	۵۲/۱۸۳۷	۷۳/۷۸۱	۲۵/۲۶۱۹	۴۲/۵۷۸	۵۰/۱۷۳۵۲	-
انبار ۲	بلوز	۲/۱۲۴	۶/۱۲۴۱	۷۱/۴۲	۹۸/۱۸۰	۵۸/۱۴۲۲	۳۲/۶۴۳	۹۱/۲۰۶۵	۶۵/۵۰۲	۳۵/۱۵۰۷۹	-
جمع	تاپ	۴/۳۵۲	۸۷/۳۱۷۱	۰۸/۱۰۱	۳۵/۴۰۶	۲۲/۳۵۷۸	۸۷/۱۰۸۳	۰۸/۴۶۶۲	۲۸/۹۴۸	۴۵/۲۸۴۴۸	%۱۹
جمع	تیشرت	۴/۴۲۲	۸۷/۳۸۰۱	۸۴/۹۹	۳۵/۴۰۱	۲۲/۴۲۰۳	۶۳/۱۱۸۶	۸۵/۵۳۸۹	۶۶/۹۹۴	۹۰/۲۹۸۳۹	%۲۰
جمع	کاپشن	۲۰۵	۲۴۶۰	۰۰/۱۰۷	۷۰/۴۹۶	۷۰/۲۹۵۶	۶۴/۸۲۶	۳۴/۳۷۸۳	۰۲/۹۱۰	۷۴/۲۷۳۰۰	%۱۷
جمع	شلوار	۸/۳۷۰	۳۸/۳۳۳۷	۸۷/۹۹	۴۸/۴۰۱	۸۶/۳۷۳۸	۷۹/۱۱۱۱	۶۵/۴۸۵۰	۳۷/۹۵۷	۱۹/۲۸۷۲۱	%۱۹
جمع	شلوار کوتاه	۸/۳۲۰	۴۷/۲۸۸۷	۹۹/۷۴	۴۸/۳۰۱	۹۵/۳۱۸۸	۱۳/۱۰۳۴	۰۸/۴۲۲۳	۵۴/۸۱۸	۳۴/۲۴۵۵۶	%۲۱
جمع	بلوز	۷/۲۵۱	۶/۲۵۱۶	۷۰/۸۹	۱۱/۳۸۰	۷۱/۲۸۹۶	۹۰/۹۱۵	۶۱/۳۸۱۲	۰۶/۸۳۸	۸۴/۲۵۱۴۱	%۱۹

۵-۶- محاسبه پارامترهای موجودی در سیستم (s,S) برای تقاضای و مهلت تحویل متغیر

در این قسمت مثال عددی مطرح‌شده برای سناریوی دوم بررسی می‌شود. در جدول (۶) همانند جدول (۵) ستون اول انبارها و جمع دو انبار نوشته‌شده ستون مقابل آن نام محصولات روبه روی انبارها نوشته‌شده است. در ستون سوم میانگین تقاضایی که در جدول محاسبه‌شده نوشته‌شده است. ستون چهارم میانگین تقاضا در طی مدت تحویل همانند جدول محاسبه‌شده است. ستون بعدی انحراف معیار تقاضا است که از جدول به دست آمد. ستون ششم شامل موجودی احتیاطی برای محصول j ام در انبار i ام است و برای حالتی که مهلت تحویل متغیر باشد.

برای محصول تاپ در انبار ۱ با توجه به جدول که شامل تابع مهلت تحویل متغیر است، این‌گونه عمل می‌شود:

$$SS_{1,1} = z\sqrt{AVGL_{1,1} \times STD_{1,1}{}^2 + AVG_{1,1}{}^2 \times STDL_{1,1}{}^2} = 1.34 \times \sqrt{(156.6 \times 9 \times \frac{1}{4}) + (156.6^2 \times \frac{1}{4})} = 107.89 \quad (۳۱)$$

در ستون بعدی میزان اقتصادی سفارش همانند جدول برای مهلت تحویل ثابت محاسبه‌شده است. در ستون بعدی که سطح هدف سفارش نوشته‌شده است که به‌طور مثال برای کالای تاپ در انبار ۱ این مقدار برابر است با:

$$OUL_{1,1} = Q_{1,1} + AVG_{1,1} \times AVGL_{1,1} + z\sqrt{AVGL_{1,1} \times STD_{1,1}{}^2 + AVG_{1,1}{}^2 \times STDL_{1,1}{}^2} = 722.5 + 156.6 \times 1409.40 + 1.34\sqrt{(1409.40 \times \frac{1}{4}) + (156.6^2 \times \frac{1}{4})} = 2239.79 \quad (۳۲)$$

در ستون نهم که شامل میانگین موجودی است همانند جدول بدین‌صورت محاسبه می‌شود:

$$I_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{2} + SS_j \quad (۳۳)$$

که به‌طور نمونه این مقدار برای تاپ در انبار ۱ برابر است با رابطه (۳۴):

$$I_{1,1} = \frac{Q_{1,1}}{2} + SS_1 = \frac{722.5}{2} + 107.89 = 469.14 \quad (۳۴)$$

هزینه نگهداری نیز همانند جدول از حاصل‌ضرب میانگین موجودی در هزینه نگهداری یک واحد کالا در روزبه دست می‌آید که به‌طور مثال این مقدار برای تاپ در انبار ۱ برابر است با:

$$TC_{1,1} = I_{1,1} \times h = 469.14 \times 30 = 14074.28 \quad (۳۵)$$

درصد کاهش میانگین موجودی و هزینه نگهداری کل از رابطه (۳۶) به‌دست‌آمده:

$$\mathrm{Re}(I_{i,j}) = \frac{(I_{1,j} + I_{2,j}) - I_{T,j}}{(I_{1,j} + I_{2,j})} \quad (۳۶)$$

محاسبه کاهش میانگین موجودی برای کالای تاپ در انبار ادغام‌شده برای مثال بدین‌صورت محاسبه می‌گردد:

$$\mathrm{Re}(I_{1,1}) = \frac{(I_{1,1} + I_{2,1}) - I_{T,1}}{(I_{1,1} + I_{2,1})} = \frac{(469.14 + 538.16) - 781.06}{(469.14 + 538.16)} = 22\% \quad (۳۷)$$

جدول (۶): تحلیل داده‌ها برای حالت تقاضا و مهلت تحویل متغیر (سناریوی دوم)

آمار	محصول	میانگین تقاضا	میانگین تقاضا در طی مهلت تحویل	انحراف معیار تقاضا	موجودی احتیاطی	Q	نقطه سفارش مجدد	سطح هدف سفارش	میانگین موجودی	هزینه نگهداری کل	درصد کاهش موجودی و هزینه نگهداری کل
انبار ۱	تاپ	۶۰/۱۵۶	۴۰/۱۴۰۹	۱۹/۴۷	۸۹/۱۰۷	۵۰/۷۲۲	۲۹/۱۵۱۷	۷۹/۲۲۳۹	۱۴/۴۶۹	۲۸/۱۴۰۷۴	-
انبار ۱	تیشرت	۶۰/۱۹۱	۴۰/۱۷۲۴	۸۳/۵۱	۳۵/۱۳۱	۱۷/۷۹۹	۷۵/۱۸۵۵	۹۲/۲۶۵۴	۹۴/۵۳۰	۰۷/۱۵۹۲۸	-
انبار ۱	کاپشن	۰۰/۱۰۰	۰۰/۱۲۰۰	۸۸/۵۷	۲۸/۱۰۰	۳۵/۵۷۷	۲۸/۱۳۰۰	۶۳/۱۸۷۷	۹۵/۳۸۸	۵۵/۱۱۶۶۸	-
انبار ۱	شلوار	۱۶/۱۶۹	۴۴/۱۵۲۲	۱۸/۴۳	۲۵/۸۲	۹۱/۷۵۰	۶۹/۱۶۰۴	۶۰/۲۳۵۵	۷۰/۴۵۷	۰۳/۱۳۷۳۱	-
انبار ۱	شلوار کوتاه	۵۰/۱۳۷	۵۰/۱۲۳۷	۷۷/۲۸	۲۴/۶۷	۰۰/۶۷۷	۷۴/۱۳۰۴	۷۴/۱۹۸۱	۷۴/۴۰۵	۲۶/۱۲۱۷۲	-
انبار ۱	بلوز	۵۰/۱۲۷	۰۰/۱۲۷۵	۴۱/۴۷	۶۵/۱۰۸	۹۲/۶۵۱	۵۷/۱۴۵۸	۵۷/۲۰۳۵	۶۱/۴۳۴	۲۸/۱۳۰۳۸	-
انبار ۲	تاپ	۸۳/۱۹۵	۴۷/۱۷۶۲	۴۴/۵۴	۱۹/۱۳۴	۹۴/۸۰۷	۶۶/۱۸۹۶	۶۰/۲۷۰۴	۱۶/۵۳۸	۷۱/۱۶۱۴۴	-
انبار ۲	تیشرت	۸۳/۲۳۰	۴۷/۲۰۷۷	۲۴/۴۹	۶۴/۱۵۷	۱۷/۸۷۷	۱۱/۲۲۳۵	۲۹/۳۱۱۲	۲۳/۵۹۶	۸۷/۱۷۸۸۶	-
انبار ۲	کاپشن	۰۰/۱۰۵	۰۰/۱۲۶۰	۰۹/۵۱	۰۲/۱۰۵	۶۱/۵۹۱	۰۲/۱۳۶۵	۶۳/۱۹۵۶	۸۳/۴۰۰	۷۶/۱۲۰۲۴	-
انبار ۲	شلوار	۶۶/۲۰۱	۹۴/۱۸۱۴	۰۷/۵۷	۶۵/۹۷	۸۸/۸۱۹	۵۹/۱۹۱۲	۴۷/۲۷۳۲	۵۹/۵۰۷	۵۹/۱۵۲۲۷	-
انبار ۲	شلوار کوتاه	۳۳/۱۸۳	۹۷/۱۶۴۹	۶۵/۴۶	۹۶/۸۸	۷۳/۷۸۱	۹۳/۱۷۳۸	۶۶/۲۵۲۰	۸۳/۴۷۹	۷۷/۱۴۳۹۴	-
انبار ۲	بلوز	۱۶/۱۲۴	۶۰/۱۲۴۱	۷۱/۴۲	۹۱/۱۰۵	۳۲/۶۴۳	۴۲/۱۴۲۰	۸۳/۱۹۹۰	۵۷/۴۲۷	۰۷/۱۲۸۲۷	-
جمع	تاپ	۴۳/۳۵۲	۸۷/۳۱۷۱	۰۸/۱۰۱	۱۲/۲۳۹	۸۷/۱۰۸۳	۹۹/۳۴۱۰	۸۶/۴۴۹۴	۰۶/۷۸۱	۷۲/۲۳۴۳۱	%۲۲
جمع	تیشرت	۴۳/۴۲۲	۸۷/۳۸۰۱	۸۴/۹۹	۰۳/۲۸۶	۶۳/۱۱۸۶	۹۰/۴۰۸۷	۵۳/۵۲۷۴	۳۴/۸۷۹	۳۲/۲۶۳۸۰	%۲۲
جمع	کاپشن	۰۰/۲۰۵	۰۰/۲۴۶۰	۰۰/۱۰۷	۸۵/۱۹۹	۶۴/۸۲۶	۸۵/۲۶۵۹	۴۹/۳۴۸۶	۱۷/۶۱۳	۹۹/۱۸۳۹۴	%۲۲
جمع	شلوار	۸۲/۳۷۰	۳۸/۳۳۳۷	۸۷/۹۹	۸۰/۱۷۷	۷۹/۱۱۱۱	۱۸/۳۵۱۵	۹۶/۴۶۲۶	۶۹/۷۳۳	۷۶/۲۲۰۱۰	%۲۴
جمع	شلوار کوتاه	۸۳/۳۲۰	۴۷/۲۸۸۷	۹۹/۷۴	۱۱/۱۵۴	۱۳/۱۰۳۴	۵۸/۳۰۴۱	۷۲/۴۰۷۵	۱۸/۶۷۱	۴۳/۲۰۱۳۵	%۲۴
جمع	بلوز	۶۶/۲۵۱	۶۰/۲۵۱۶	۷۰/۸۹	۵۷/۲۱۰	۹۰/۹۱۵	۶۴/۲۸۷۶	۰۷/۳۶۴۳	۵۲/۶۶۸	۵۵/۲۰۰۵۵	%۲۲

۶- ملاحظات حمل‌ونقل در انتقال محصولات به مرکز توزیع ادغامی

در این راستا برای یافتن منطقه بهینه چندین مکان منتخب در نظر گرفته می‌شود و شرایط حمل کالا به آن منطقه بررسی می‌شود. یکی از مسائلی که بر هزینه حمل‌ونقل تأثیرگذار است، نوع ماشین حمل بار است که با توجه به میزان سفارش برای انبار تجمیعی مشخص می‌شود. مد حمل‌ونقل در مطالعات لجستیکی به‌صورت TL[1] و LTL[2] بررسی می‌شود که در اینجا حالت TL که در واقعیت اتفاق می‌افتد مدل‌سازی می‌شود. برای مشخص نمودن نوع ماشین حمل بار باید به ظرفیت ماشین و میزان سفارش توجه نمود. حجم متوسط هر کالا $30\times20\times5=3000cm^3$ در نظر گرفته می‌شود. حجم یک کامیون حمل بار با ظرفیت حمل ۱۰ تن بار، $15660000cm^3$ است. از تقسیم ظرفیت حجمی کامیون به حجم کالا تعداد کالاهایی که با استفاده از این

1– Truck Load (TL)

2–Less than Truck Load (LTL)

ماشین می‌توان جابه‌جا کرد به دست می‌آید. که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$n_p = \frac{\bar{V}_t}{\bar{V}_p} = \frac{15660000}{3000} = 5220 \quad (۳۸)$$

از سویی دیگر میزان اقتصادی سفارش برای هر کالا برای انبار تجمعی از جدول (۵) به دست می‌آید و مجموع این سفارش‌ها ۶۱۵۵ عدد است. که با بسته‌بندی و فشرده‌سازی کالاها این تعداد را می‌توان با یک کامیون با ظرفیت ۱۰ تن جابه‌جا کرد. یعنی محدودیت ظرفیت حجمی بار کل کامیون (TL) برآورده می‌شود.

$$\sum_{i=1}^{6} Q_i \times \bar{V}_p \le MCap^t \quad (۳۹)$$

اما درصورتی‌که انبار تجمعی فرضی داخل تهران باشد امکان حمل‌ونقل با کامیون وجود ندارد و باید این حمل‌ونقل توسط نیسان وانت انجام شود. حجم اتاقک نیسان وانت $6400000\ cm^3$ است و تعداد کالاهایی که توسط نیسان قابل‌حمل است ۲۱۳۴ عدد است که برای حمل سفارش‌های ۶۱۵۵ عددی انبار تجمعی ۳ عدد نیسان نیاز است. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد برای خدمات‌رسانی بهتر و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل بهتر است که انبار تجمیعی در محلی نزدیک به خرده‌فروشان قرار گیرد. ازاین‌رو چندین مکان به‌عنوان مکان‌های پیشنهادی انتخاب شد. در بررسی شرایط هر انبار فرضی ابتدا مسافت و زمان حمل‌ونقل از کارخانه تولیدی به انبارهای فعلی اندازه‌گیری شد. از محل کارخانه تولیدی به انبار ۱ که در تهرانپارس قرار دارد ۵۲ دقیقه طول می‌کشد. انبار ۲ در نزدیکی محل کارخانه قرار دارد لذا زمان حمل‌ونقل به این انبار را می‌توان ۰ در نظر گرفت. هزینه حمل بار در داخل و خارج تهران در زیر آمده است. با استفاده از مدهای زیر ۱۵ مکان پیشنهادی برای انبار تجمعی در نظر گرفته‌شده که مسافت و هزینه حمل بار به هریک از آن‌ها در جدول آورده شده است.

مد ۱ تراک، حمل بار خارج از تهران:
- $x < 100km$ ۱۲۰ هزار تومان
- $101 \le x \le 200$ ۲۵۰ هزار تومان
- $201 \le x \le 300$ ۴۰۰ هزار تومان
- $301 \le x \le 400$ ۴۸۰ هزار تومان

مد ۲ وانت، حمل بار داخل تهران:
- ۶۰ هزار تومان
- هزینه به ازای ساعت کار اضافی
- ۱۹ هزار تومان

۶-۱-مکان‌یابی انبار تجمیعی بر اساس هزینه‌های لجستیکی

در این بخش هدف یافتن مکانی برای انبار تجمیعی است که در این مکان هزینه‌های لجستیکی بهینه باشد. برای محاسبه هزینه لجستیک انبار تجمعی، باید هزینه‌های حمل‌ونقل و نگهداری کالا را با یکدیگر جمع کرد.

در جدول (۴) هزینه نگهداری برای هر کالا به ازای میانگین موجودی کالا محاسبه‌شده اما ازآنجایی‌که هزینه حمل‌ونقل و اجاره انبار به‌صورت کلی برای تمام کالاهاست، بنابراین جهت محاسبه هزینه لجستیک هزینه‌های نگهداری کالاها با یکدیگر جمع می‌شود و نتیجه با استفاده از رابطه زیر برای مکان‌های منتخب در جدول آورده شده است.

$$T = t_c + t_h \quad (۴۰)$$

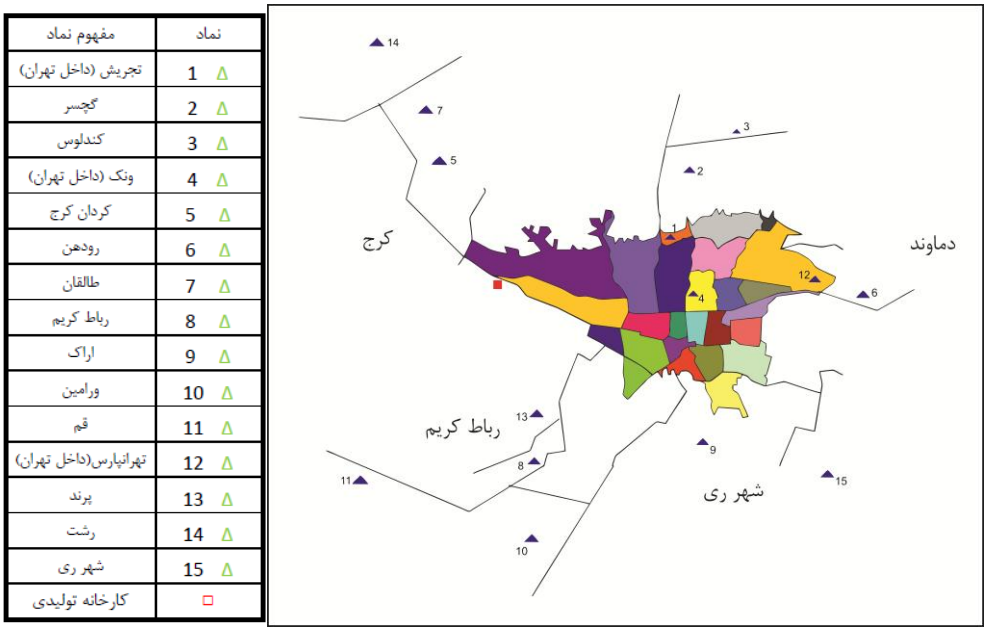
به‌طور نمونه برای منطقه رودهن با هزینه حمل‌ونقل ۱۲۰ هزار تومان هزینه لجستیک به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$T = t_c + t_h = 120000 + 164008.46 = 284008.46$$

جدول (۷): هزینه‌های لجستیک

مکان‌های منتخب	هزینه حمل‌ونقل	هزینه نگهداری کالا	هزینه لجستیک
تجریش (داخل تهران)	۱۸۰ هزارتومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۳۴۴۰۰۸/۴۶
گچسر	۱۲۰هزارتومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۲۸۴۰۰۸/۴۶
کندلوس	۲۵۰ هزارتومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۴۱۴۰۰۸/۴۶
ونک (داخل تهران)	۱۸۰ هزارتومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۳۴۴۰۰۸/۴۶
کردان کرج	۱۲۰هزارتومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۲۸۴۰۰۸/۴۶
رودهن	۱۲۰ هزار تومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۲۸۴۰۰۸/۴۶
طالقان	۲۵۰ هزار تومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۴۱۴۰۰۸/۴۶
رباط کریم	۱۲۰ هزار تومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۲۸۴۰۰۸/۴۶
اراک	۴۰۰ هزارتومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۵۶۴۰۰۸/۴۶
ورامین	۱۲۰ هزار تومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۲۸۴۰۰۸/۴۶
قم	۲۵۰ هزار تومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۴۱۴۰۰۸/۴۶
تهرانپارس(داخل تهران)	۱۸۰ هزار تومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۳۴۴۰۰۸/۴۶
پرند	۱۲۰ هزار تومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۲۸۴۰۰۸/۴۶
رشت	۴۸۰ هزار تومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۶۴۴۰۰۸/۴۶
شهر ری	۱۲۰ هزار تومان	۱۶۴۰۰۸/۴۶	۲۸۴۰۰۸/۴۶

در شکل (۲) نقشه‌ای از شهر تهران که موقعیت فرضی انبارها در آن قرار داده‌شده، آورده شده است.



نماد	مفهوم نماد
Δ 1	تجریش (داخل تهران)
Δ 2	گچسر
Δ 3	کندلوس
Δ 4	ونک (داخل تهران)
Δ 5	کردان کرج
Δ 6	رودهن
Δ 7	طالقان
Δ 8	رباط کریم
Δ 9	اراک
Δ 10	ورامین
Δ 11	قم
Δ 12	تهرانپارس(داخل تهران)
Δ 13	پرند
Δ 14	رشت
Δ 15	شهر ری
□	کارخانه تولیدی

شکل (۲): نقشه شهر تهران و مکان‌یابی انبار تجمیعی

۷-آنالیز حساسیت

در جداول ۴ و ۵ پارامترهای مرتبط با مهلت تحویل ثابت برای سطح خدمت ۹۱٪ و $z=1.34$ نوشته‌شده است. در این بخش این پارامترها برای سطح خدمت‌های متفاوت اندازه‌گیری می‌شود تا درنهایت مقایسه‌ای بین میانگین موجودی در سطح خدمت‌های گوناگون در هردو انبار و در حالت تجمیع انبارها انجام شود.

۷-۱- آنالیز حساسیت در حالت مهلت تحویل ثابت (سناریوی اول)

در جدول (۴) پارامترها در درصد سطح خدمت‌های مختلف برای کالای تاپ در انبار ۱ محاسبه‌شده است. در جدول (۸) در ستون اول پارامترهایی چون نقطه سفارش مجدد، موجودی احتیاطی، Q، سطح هدف سفارش، میانگین موجودی و هزینه کل نگهداری نوشته‌شده است. در ستون‌های بعدی درصد سطوح خدمت مختلف از ۹۰٪ تا ۹۹/۹٪ نوشته‌شده است. در اینجا به دلیل محدودیت صفحات نتایج آنالیز حساسیت فقط برای دو کالای تاپ و شلوار کوتاه آورده شده است.

جدول (۸): آنالیز حساسیت برای کالای کاپشن در انبار ۱

پارامترها/سطح خدمت	٪۹۰	٪۹۳	٪۹۵	٪۹۷	٪۹۹	٪۹۹/۹
نقطه سفارش مجدد	۱۴۵۸/۳۳۸	۱۴۹۶/۳۳۸	۱۵۳۰/۴۳۲	۱۵۷۶/۴۹۲	۱۶۶۶/۶۱	۱۸۱۶/۸۰۷
موجودی احتیاطی	۲۵۸/۳۳۷۹	۲۹۶/۳۸۷۷	۳۳۰/۴۳۲۲	۳۷۶/۴۹۲۵	۴۶۶/۶۱۰۴	۶۱۶/۸۰۶۸
Q	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵
سطح هدف سفارش	۲۰۳۵/۶۸۸	۲۰۷۳/۷۳۸	۲۱۰۷/۷۸۲	۲۱۵۳/۸۴۲	۲۲۴۳/۹۶	۲۳۹۴/۱۵۷
میانگین موجودی	۵۴۷/۰۱۲۹	۵۷۵/۰۶۲۸	۶۱۹/۱۰۷۲	۶۶۵/۱۶۷۵	۷۵۵/۲۸۵۴	۹۰۵/۴۸۱۸
هزینه نگهداری	۱۶۴۱۰/۳۹	۱۷۵۵۱/۸۸	۱۸۵۷۳/۲۲	۱۹۹۵۵/۰۲	۲۲۶۸۵/۵۶	۲۷۱۶۴/۴۶

جدول (۹): آنالیز حساسیت برای کالای کاپشن در انبار۲

پارامترها/سطح خدمت	٪۹۰	٪۹۳	٪۹۵	٪۹۷	٪۹۹	٪۹۹/۹
نقطه سفارش مجدد	۱۴۸۴/۰۷۳	۱۵۲۱/۶۱۲	۱۵۵۱/۶۶۲	۱۵۹۲/۳۱۸	۱۶۷۱/۸۶۳	۱۸۰۴/۴۳۶
موجودی احتیاطی	۲۲۴/۰۷۲۷	۲۶۱/۶۱۲۲	۲۹۱/۶۶۲۳	۳۳۲/۳۱۸۳	۴۱۱/۸۶۲۵	۵۴۴/۴۳۶۳
Q	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱
سطح هدف سفارش	۲۰۷۵/۶۸۳	۲۱۱۳/۲۲۲	۲۱۴۳/۲۷۲	۲۱۸۳/۹۲۸	۲۲۶۳/۴۷۳	۲۳۹۶/۰۴۶
میانگین موجودی	۵۱۹/۸۷۷۷	۵۵۷/۴۱۷۲	۵۸۷/۴۶۷۳	۶۲۸/۱۲۳۳	۷۰۷/۶۶۷۵	۸۴۰/۲۴۱۳
هزینه نگهداری	۱۵۵۹۶/۳۳	۱۶۷۲۲/۵۲	۱۷۶۲۴/۰۲	۱۸۸۴۳/۷	۲۱۲۳۰/۰۳	۲۵۲۰۷/۲۴

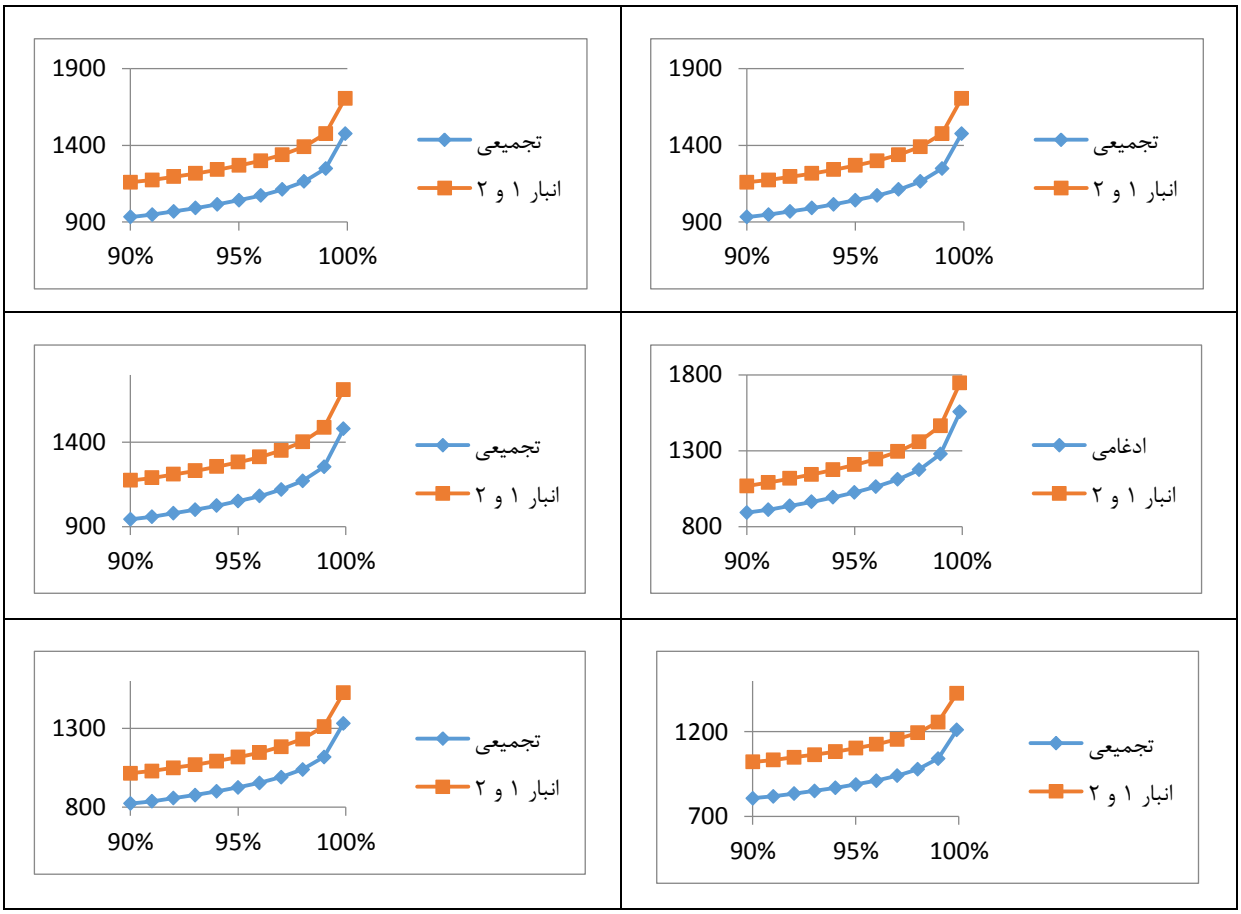
جدول (۱۰): آنالیز حساسیت برای کالای کاپشن در انبارتجمیعی

پارامترها/سطح خدمت	٪۹۰	٪۹۳	٪۹۵	٪۹۷	٪۹۹	٪۹۹/۹
نقطه سفارش مجدد	۲۹۳۸/۱۷۱	۳۰۰۸/۵۹۹	۳۰۷۱/۶۱۴	۳۱۵۶/۸۶۹	۳۳۲۳/۶۷۳	۳۶۰۱/۶۷۹
موجودی احتیاطی	۴۷۸/۱۷۰۹	۵۴۸/۵۹۹۲	۶۱۱/۶۱۴	۶۹۶/۸۶۹۳	۸۶۳/۶۷۳۱	۱۱۴۱/۶۷۹
Q	۸۲۶/۶۳۹۸	۸۲۶/۶۳۹۸	۸۲۶/۶۳۹۸	۸۲۶/۶۳۹۸	۸۲۶/۶۳۹۸	۸۲۶/۶۳۹۸
سطح هدف سفارش	۳۷۶۴/۸۱۱	۳۸۳۵/۲۳۹	۳۸۹۸/۲۵۴	۳۹۸۳/۵۰۹	۴۱۵۰/۳۱۳	۴۴۲۸/۳۱۹
میانگین موجودی	۸۹۱/۴۹۰۸	۹۶۱/۹۱۹۱	۱۰۲۴/۹۳۴	۱۱۱۰/۱۸۹	۱۲۷۶/۹۹۳	۱۵۵۴/۹۹۹
هزینه نگهداری	۲۶۷۴۴/۷۳	۲۸۸۵۷/۵۷	۳۰۷۴۸/۰۲	۳۳۳۰۵/۶۸	۳۸۳۰۹/۷۹	۴۶۶۴۹/۹۸

جدول (۱۱): آنالیز حساسیت برای کالای بلوز در انبار تجمیعی

پارامترها/سطح خدمت	٪۹۰	٪۹۳	٪۹۵	٪۹۷	٪۹۹	٪۹۹/۹
نقطه سفارش مجدد	۲۸۸۲/۵۳	۲۹۳۶/۴۲۶	۲۹۸۴/۶۵	۳۰۴۹/۸۹۳	۳۱۷۷/۵۴۳	۳۳۹۰/۲۹۳
موجودی احتیاطی	۳۶۵/۹۲۹۷	۴۱۹/۸۲۶۴	۴۶۸/۰۴۹۷	۵۳۳/۲۹۲۹	۶۶۰/۹۴۲۸	۸۷۳/۶۹۲۷
Q	۹۱۵/۸۹۶۶	۹۱۵/۸۹۶۶	۹۱۵/۸۹۶۶	۹۱۵/۸۹۶۶	۹۱۵/۸۹۶۶	۹۱۵/۸۹۶۶
سطح هدف سفارش	۳۷۹۸/۴۲۶	۳۸۵۲/۳۲۳	۳۹۰۰/۵۴۶	۳۹۶۵/۷۹	۴۰۹۳/۴۳۹	۴۳۰۶/۱۸۹
میانگین موجودی	۸۲۳/۸۷۸۱	۸۷۷/۷۷۴۷	۹۲۵/۹۹۸	۹۹۱/۲۴۱۳	۱۱۱۸/۸۹۱	۱۳۳۱/۶۴۱
هزینه نگهداری	۲۴۷۱۶/۳۴	۲۶۳۳۳/۲۴	۲۷۷۷۹/۹۴	۲۹۷۳۷/۲۴	۳۳۵۶۶/۷۴	۳۹۹۴۹/۲۳

از شکل (۳) این‌گونه استنباط می‌شود که میانگین موجودی در یک سطح خدمت مشخص در حالتی که انبارها تجمیع شوند کمتر از حالتی است که دو انبار مجزا وجود داشته باشد. برای نمونه در مورد کالای شلوار کوتاه، هنگامی‌که مهلت تحویل ثابت است، در سطح خدمت ٪۹۷ میانگین موجودی ۹۴۰/۰۳۵۷ است و مجموع میانگین موجودی انبارهای ۱ و ۲، ۱۱۵۴/۷۴ است. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش سطح خدمت، میانگین موجودی نیز افزایش می‌یابد، در مدل انبارهای ادغام‌شده با میانگین موجودی کمتری نسبت به میانگین موجودی مجموع انبارهای ۱ و ۲ می‌توان سطح خدمت را افزایش داد. برای نمونه برای کالای تاپ اگر بخواهیم سطح خدمت را از ٪۹۱ به ٪۹۲ افزایش دهیم، میانگین موجودی در انبارهای ۱ و ۲ باید به ۱۱۹۵/۱۲۲ برسد، درصورتی‌که در انبار ادغام‌شده برای رسیدن به سطح خدمت ٪۹۲ میانگین موجودی باید ۹۶۹/۵۰۸۹ باشد.



شکل (۳): نمودارهای آنالیز حساسیت محصولات برای مهلت تحویل ثابت

۷-۲- آنالیز حساسیت در حالت مهلت تحویل متغیر (سناریوی دوم)

در جداول آنالیز حساسیت برای سناریوی دوم آورده شده است.

جدول (۱۲): آنالیز حساسیت برای کالای تاپ در انبار ۱

پارامترها/سطح خدمت	٪۹۰	٪۹۳	٪۹۵	٪۹۷	٪۹۹	٪۹۹/۹
نقطه سفارش مجدد	۱۲۹۶/۵۳	۱۳۱۰/۷۵	۱۳۲۳/۴۷	۱۳۴۰/۶۹	۱۳۷۴/۳۶	۱۴۳۰/۴۹
موجودی احتیاطی	۹۶/۵۳	۱۱۰/۷۵	۱۲۳/۴۷	۱۴۰/۶۹	۱۷۴/۳۶	۲۳۰/۴۹
Q	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵	۵۷۷/۳۵
سطح هدف سفارش	۱۸۷۳/۸۸	۱۸۸۸/۱۰	۱۹۰۰/۸۲	۱۹۱۸/۰۴	۱۹۵۱/۷۱	۲۰۰۷/۸۴
میانگین موجودی	۳۸۵/۲۱	۳۹۹/۴۳	۴۱۲/۱۵	۴۲۹/۳۶	۴۶۳/۰۴	۵۱۹/۱۶
هزینه نگهداری	۱۱۵۵۶/۲۹	۱۱۹۸۲/۸۴	۱۲۳۶۴/۴۹	۱۲۸۸۰/۸۴	۱۳۸۹۱/۰۹	۱۵۵۷۴/۸۳

جدول (۱۳): آنالیز حساسیت برای کالای تاپ در انبار ۲

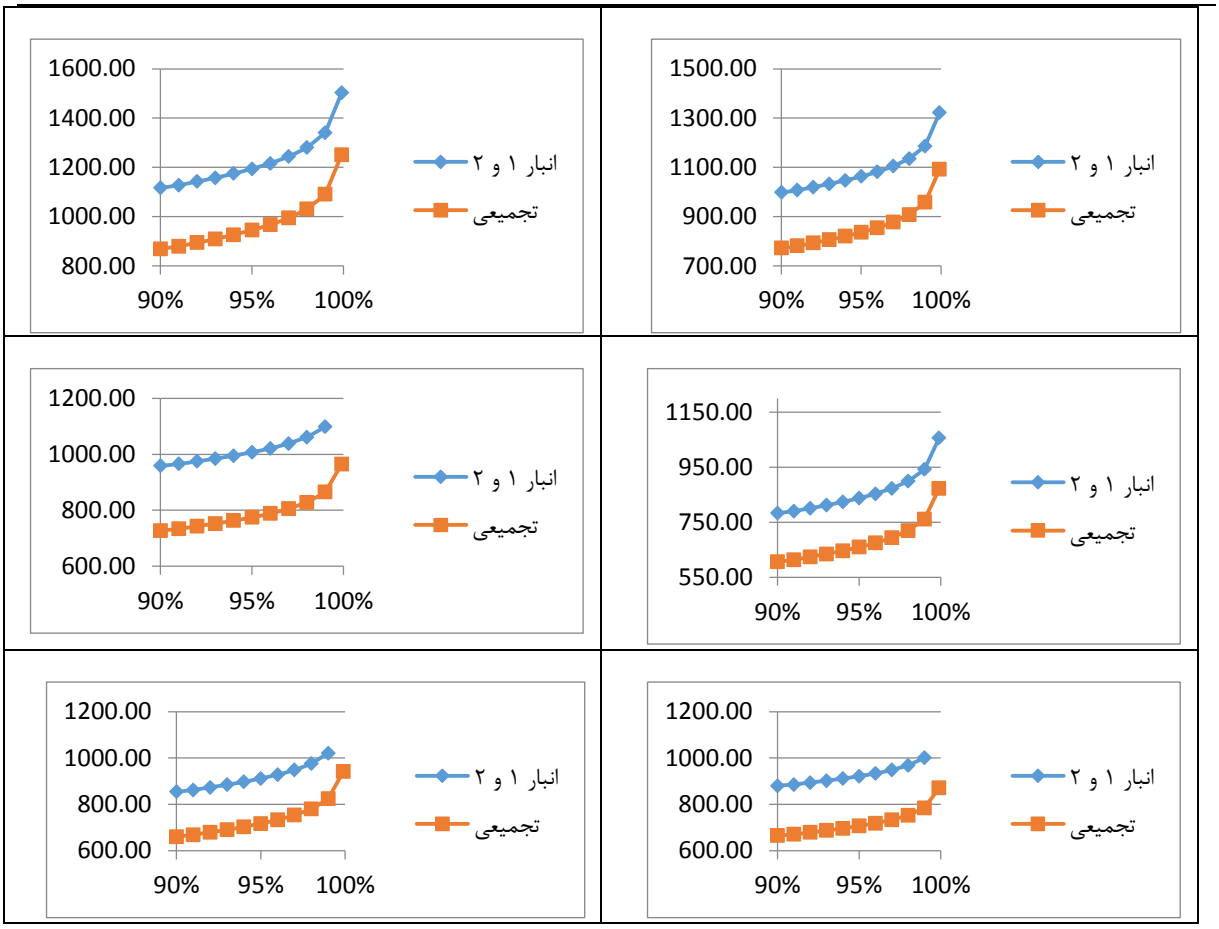
پارامترها/سطح خدمت	٪۹۰	٪۹۳	٪۹۵	٪۹۷	٪۹۹	٪۹۹/۹
نقطه سفارش مجدد	۱۳۶۱/۱۰	۱۳۷۵/۹۹	۱۳۸۹/۳۲	۱۴۰۷/۳۴	۱۴۴۲/۶۱	۱۵۰/۳۹
موجودی احتیاطی	۱۰۱/۱۰	۱۱۵/۹۹	۱۲۹/۳۲	۱۴۷/۳۴	۱۸۲/۶۱	۲۴۱/۳۹
Q	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱	۵۹۱/۶۱
سطح هدف سفارش	۱۹۵۲/۷۱	۱۹۶۷/۶۰	۱۹۸۰/۹۳	۱۹۹۸/۹۵	۲۰۳۴/۲۲	۲۰۹۳/۰۰
میانگین موجودی	۳۹۶/۹۱	۴۱۱/۸۰	۴۲۵/۱۲	۴۴۳/۱۵	۴۷۸/۴۲	۵۳۷/۲۰
هزینه نگهداری	۱۱۹۰۷/۲۳	۱۲۳۵۳/۹۶	۱۲۷۵۳/۶۷	۱۳۲۹۴/۴۵	۱۴۳۵۲/۵۰	۱۶۱۱۵/۹۲

جدول (۱۴): آنالیز حساسیت برای کالای تاپ در انبار تجمیعی

پارامترها/سطح خدمت	٪۹۰	٪۹۳	٪۹۵	٪۹۷	٪۹۹	٪۹۹/۹
نقطه سفارش مجدد	۲۶۵۲/۳۹	۲۶۸۰/۷۳	۲۷۰۶/۰۸	۲۷۴۰/۳۸	۲۸۰۷/۴۹	۲۹۱۹/۳۵
موجودی احتیاطی	۱۹۲/۳۹	۲۲۰/۷۳	۲۴۶/۰۸	۲۸۰/۳۸	۳۴۷/۴۹	۴۵۹/۳۵
Q	۸۲۶/۶۴	۸۲۶/۶۴	۸۲۶/۶۴	۸۲۶/۶۴	۸۲۶/۶۴	۸۲۶/۶۴
سطح هدف سفارش	۳۴۷۹/۰۳	۳۵۰۷/۳۷	۳۵۳۲/۷۲	۳۵۶۷/۰۲	۳۶۳۴/۱۳	۳۷۴۵/۹۹
میانگین موجودی	۶۰۵/۷۱	۶۳۴/۰۵	۶۵۹/۴۰	۶۹۳/۷۰	۷۶۰/۸۱	۸۷۲/۶۷
هزینه نگهداری	۱۸۱۷۱/۲۹	۱۹۰۲۱/۳۸	۱۹۷۸۱/۹۹	۲۰۸۱۱/۰۵	۲۲۸۲۴/۴۳	۲۶۱۸۰/۰۶

جدول (۱۵): آنالیز حساسیت برای کالای بلوز در انبار تجمیعی

پارامترها/سطح خدمت	٪۹۰	٪۹۳	٪۹۵	٪۹۷	٪۹۹	٪۹۹/۹
نقطه سفارش مجدد	۲۷۱۹/۳۱	۲۷۴۹/۱۷	۲۷۷۵/۸۸	۲۸۱۲/۰۳	۲۸۸۲/۷۴	۳۰۰۰/۶۰
موجودی احتیاطی	۲۰۲/۷۱	۲۳۲/۵۷	۲۵۹/۲۸	۲۹۵/۴۳	۳۶۶/۱۴	۴۸۴/۰۰
Q	۹۱۵/۹۰	۹۱۵/۹۰	۹۱۵/۹۰	۹۱۵/۹۰	۹۱۵/۹۰	۹۱۵/۹۰
سطح هدف سفارش	۳۶۳۵/۲۱	۳۶۶۵/۰۷	۳۶۹۱/۷۸	۳۷۲۷/۹۳	۳۷۹۸/۶۴	۳۹۱۶/۵۰
میانگین موجودی	۶۶۰/۶	۶۹۰/۵۲	۷۱۷/۲۳	۷۵۳/۳۸	۸۲۴/۰۹	۹۴۱/۹۵
هزینه نگهداری	۱۹۸۱۹/۸۸	۲۰۷۱۵/۵۹	۲۱۵۱۷/۰۱	۲۲۶۰۱/۲۹	۲۴۷۲۲/۷۰	۲۸۲۵۸/۳۹



شکل(۴): نمودارهای آنالیز حساسیت محصولات در مهلت تحویل متغیر

از شکل (۴) می‌توان نتیجه گرفت که به‌طورکلی میانگین موجودی در یک سطح خدمت خاص در حالتی که انبارها تجمیع شوند کمتر از حالتی است که دو انبار مجزا وجود داشته باشد و این حالت علاوه بر مهلت تحویل ثابت برای مهلت تحویل متغیر برقرار است. برای نمونه برای کالای بلوز در سطح خدمت ۹۵٪ میانگین موجودی در انبار ادغام‌شده ۷۱۷/۲۳ و برای انبارهای ۱ و ۲، ۹۱۱/۸۱ است. از طرف دیگر برای افزایش سطح خدمت می‌بایستی میانگین موجودی نیز افزایش یابد، در مدل انبارهای ادغام‌شده با میانگین موجودی کمتری نسبت به میانگین موجودی مجموع انبارهای ۱ و ۲ می‌توان سطح خدمت را افزایش داد. برای نمونه در حالتی که مهلت تحویل متغیر باشد، برای کالای تیشرت اگر بخواهیم سطح خدمت را از ۹۳٪ به ۹۴٪ افزایش دهیم، میانگین موجودی در انبارهای ۱ و ۲ باید به ۱۱۷۴/۶۱ برسد، درصورتی‌که در انبار ادغام‌شده برای رسیدن به سطح خدمت ۹۴٪ میانگین موجودی باید ۹۲۶/۳۰ باشد.

۷-۳- بینش مدیریتی

نتایج حاصل از بررسی و تحلیل داده‌ها را می‌توان به شکل زیر خلاصه کرد:

با استناد به جداول ۳ و ۴ و ۵ نتیجه می‌شود که هرچقدر ضریب تغییر بیشتر باشد کاهش میانگین موجودی کمتر است. درنتیجه کالای کاپشن با بیشترین مقدار ضریب تغییر، دارای کمترین میزان کاهش میانگین موجودی است و کالای تیشرت و شلوار کوتاه با کمترین میزان ضریب تغییر، بیشترین میزان کاهش موجودی را دارند. به‌طورکلی اگر دو انبار یکی شوند با حفظ سطح خدمت فعلی، میانگین موجودی کاهش می‌یابد. و به همین ترتیب هزینه‌های نگهداری کاهش خواهند یافت که میزان این کاهش در جداول ۴ و ۵ نشان داده‌شده است. به‌بیان‌دیگر، اثر تقسیم مخاطره زمانی که موجودی‌ها در یک انبار برای توزیع ذخیره‌سازی شوند، اتفاق می‌افتد که اجازه می‌دهد واریانس تقاضاها ترکیب‌شده و منجر به کاهش هزینه‌های موجودی شود. اگر سطح خدمت ثابت نگه داشته شود میانگین موجودی در انبار ادغام‌شده از مجموع موجودی هردو انبار کمتر است و قاعدتاً اگر میانگین موجودی را بیشتر کنیم، به سطح خدمت بالاتری دست خواهیم یافت. که با توجه به نمودارهای رسم شده در شکل‌های (۳و۴) نتیجه می‌شود در انبار ادغام‌شده با داشتن میانگین موجودی کمتری به نسبت جمع دو انبار می‌توان به همان سطح خدمت دست یافت.

۸- بحث و نتیجه‌گیری

برای بررسی اثر تقسیم مخاطره در یک سیستم توزیع پوشاک تحت دو سناریو پارامترهای سیستم موجودی (s,S) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. سناریوی اول شامل موقعیتی بود که در آن تقاضای خرده‌فروشان پوشاک تصادفی اما مهلت تحویل ثابت بود و در سناریوی دوم تقاضا و مهلت تحویل هر دو رفتار تصادفی داشتند. بر اساس نتایج عددی کسب‌شده می‌توان مشاهده کرد که اگر شبکه‌ی تولید - توزیع[1] پوشاک در شرکت موردبررسی متمرکز شود و تقاضای چندین مکان را تجمیع کنند هزینه‌های موجودی کاهش پیدا می‌کند و انحراف معیار تقاضا در سیستم متمرکز کمتر از مجموع تغییرپذیری تقاضاها در انبار ۱ و ۲ است. جدول (۵) (سناریوی اول) نشان می‌دهد که در سیستم متمرکز میزان کاهش هزینه‌ها حداقل به میزان ۱۷٪ است و بیشترین کاهش هزینه در صورت متمرکزسازی سیستم توزیع، برای کالای شلوار کوتاه رخ داده است. میانگین موجودی محصولات در انبار متمرکز نیز به‌مراتب کمتر از مجموع انبارهای ۱ و ۲ است. برای نمونه میزان میانگین موجودی کالای شلوار در انبار ۱، ۵۴۹/۰۲۰۱ و در انبار ۲، ۵۳۲/۹۵ است درحالی‌که میزان میانگین موجودی این کالا در انبار متمرکزشده ۹۵۷/۳۷ است که از مجموع انبار ۱ و ۲ کمتر است. به‌طور مشابه میزان تغییرپذیری کالاهای این شبکه تولید-توزیع بر طبق نظریه‌ی اساسی تقسیم مخاطره در انبار متمرکز از مجموع تغییرپذیری مجزای انبارهای ۱ و ۲ کمتر است (رابطه‌ی ۶ را ببینید).

در این مقاله مدل‌سازی برای تقاضای متغیر و مهلت تحویل ثابت و متغیر برای یک شرکت تولید پوشاک تریکو با چندین محصول و دو انبار انجام شد. برای تکمیل مطالعات می‌توان مسیرهای زیر را پیشنهاد نمود.

الف) اگر تأمین دارای عدم قطعیت باشد آنگاه باوجود اثر تقسیم مخاطره چه نوع سیستمی (متمرکز یا غیرمتمرکز) راهبرد بهینه خواهد بود. لذا بررسی توأم عدم قطعیت تأمین و تقاضا از جذابیت بالا در صنعت پوشاک برخوردار است. خصوصاً اینکه موارد عدم قطعیت تأمین به دلیل مؤلفه‌های جهانی‌شدن بیش از پیش اهمیت یافته است.

ب) به‌طورکلی باوجود تمرکزگرایی در سیستم توزیع، مهلت تحویل به بازار تغییر خواهد یافت. بررسی اثر مهلت تحویل و هزینه‌های حمل‌ونقل حاصله بر نتایج این مقاله می‌تواند تحلیل شود.

ج) در این مقاله مدل‌سازی با سیستم موجودی (s,S) انجام شد، می‌توان در مطالعات آتی آن را برای سایر سیاست‌های موجودی همچون (r,Q)، (R,T) توسعه داد و نتایج آن‌ها را با یافته‌های این تحقیق مقایسه نمود.

1 –Production – distribution network

۶- منابع و مآخذ

[1] Ballou, R.H.; Business logistics/ ***Supply chain managemen***t; Pushp Print, Fifth Edition, 2006.

[2] Simchi-levi, D.; ***Designing and Managing The Supply Chain-Concept, Strategies, and Cases***; McGraw-hill Higher Education, 2000.

[3] Gelders,L.F.; Van Looy; "***An Inventory Policy For Slow And Fast Movers in a Petrochemical Plant: A case study***"; Journal of Operational Research Society, 29(9), 867-874, 1978.

[4] Eppen, G; "***Effects of Centralization on Expected Costs in a Multi- Location Newsvendor Problem***", Management Science 25, 498-50, 1979.

[5] Benjaafar, S., Cooper, W. "***On the Benefit Of Inventory Pooling In Production-Inventory Systems***", Management Science 51, 548-565, 2005.

[6] Chopra, S., Sodhi, M. "***Managing Risk to Avoid Supply Chain Breakdown***", Sloan Management Review 46, 53-61, 2004.

[7] Yang, H., Schrage, L. "***Conditions That Cause Risk Pooling to Increase Inventory***"; European Journal of Operational Research, 192, 837-851, 2009.

[8] Çömez-Dolgana, N., Tanyerib, B. "***Inventory Performance with Pooling: Evidence from Mergers and Acquisitions***"; International Journal of Production Economics, 168, 331-339, 2015.

[9] Ballou, R.H.; "***Evaluating Inventory Management Performance Using a Turnover Curve***"; International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 30(1), 72-85, 1999.

[10] Schmitt, A.J., Anthony, S., Siyuan, Synder, V., Max Shen, Z. "***Centralization Versus Decentralization: Risk Pooling, Risk Diversification, and Supply Chain Disruptions***", International Journal of Production Economics, 59, 643-650, 2014.

[11] C. Edirisinghe, D. Atkins, "***Lower bounding inventory allocations for risk pooling in two-echelon supply chains***", International Journal of Production Economics, 187, 159-167, 2017.

[12] E. Arikan and L. Silbermayr, "***Risk pooling via unidirectional inventory transshipments in a decentralized supply chain***", International Journal of Production Research, 56(17), 5593-5610, 2018.

[13] G. Oeser, "***What's the penalty for using the Square Root Law of inventory centralisation?***", International Journal of Retail & Distribution Management, 47(3), 292-310, 2019.

[14] Kumar, S., Tiwari, M.K. "***Supply Chain System Design Integrated With Risk Pooling***"; Computers & Industrial Engineering, 64, 580-588, 2013.

[15] Berman, O., Krass D., Tajbakhsh, M.M. "***On The Benefits of Risk Pooling in Inventory Management***" Production and Operations Management, 20(1), 57-71, 2011.

[16] Browne, J; ***Production Management Systems: An Integrated Perspective***; Addison-Wesley Publishing Company, 1996.

[17] Dong-lei, "***On The Effects of Risk Pooling in Supply Chain Management: Review and Extensions***" Acta Mathematicae Applicatae Sinica, English Series, 4, 709–722, 2009.

[18] Freund, J E, Miller, I,; ***Mathematical Statistics with Applications***; 8th Edition, 2014.

[19] Boyd, S., Vandenberghe, L., ***Convex Optimization***; Cambridge University Press, 2004.