فصلنامه علمی ـ پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی سال هشتم، شماره ۲۱، تابستان ۹۰
صفحات ۶۳ تا ۸۳

محاسبه سطح ذخیره احتیاطی در زنجیره‌ی تامین با چندین کانال و چندین سطح با استفاده از برنامه ریزی غیرخطی

لعیا الفت *
محمدرضا صادقی **

چکیده

امروزه بحث مدیریت موجودی در زنجیره‌ی تامین از اهمیت زیادی برخوردار است و در ادبیات مدیریت زنجیره‌ی تامین کنترل موجودی و حداقل کردن هزینه‌های مرتبط با موجودی به عنوان چالشی اساسی پیش روی مدیران مطرح شده است. یکی از مباحثی که توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده، تعیین سطح نگهداری ذخیره‌ی احتیاطی به نحوی که رسیدن به نرخ پاسخ‌گویی مناسب در اجزا مختلف زنجیره‌ی تامین میسر شود، می‌باشد. در این مقاله مدلی غیرخطی جهت تعیین سطح نگهداری ذخیره‌ی احتیاطی در اجزا مختلف زنجیره‌ی تامین با هدف حداقل کردن هزینه‌های مرتبط با ذخیره‌ی احتیاطی ارایه شده است.

واژگان کلیدی: زنجیره تامین، ذخیره احتیاطی، برنامه ریزی غیرخطی، ژنکوب ۳

---

* دانشیار دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران (مسئول مکاتبات)
Email: layaolfat@gmail.com
** دانشجوی دکترای مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۱۲

مقدمه

رقابت شدید در عرصه بازارهای جهانی، معرفی محصولات با چرخه عمر کوتاه و انتظارات دائماً متغیر مشتریان باعث شده است که شرکت‌ها انرژی و هزینه‌ی زیادی را صرف زنجیره‌ی تامین و مدیریت آن کنند [۱۴] در یک زنجیره‌ی تامین مواد اولیه توسط تامین‌کنندگان تامین می‌شود و محصولات در یک یا چند کارخانه تولید و به انبارها انتقال داده می‌شوند و از آنجا به خرده فروشان یا مشتریان نهایی عرضه می‌شود. زنجیره‌ی تامین متشکل از تمام بخش‌هایی است که به صورت مستقیم یا غیر مستقیم درگیر تکمیل سفارش مشتری هستند [۷].

مدیریت زنجیره‌ی تامین شامل مجموعه ای از رویکردها است که برای هماهنگی و یک‌پارچگی تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها به صورتی اثربخش به کار می‌روند. این رویکردها کمک می‌کنند که محصولات مورد نیاز در زمان و مکان مورد نظر در سطح عملکرد مطلوب به مشتری عرضه شوند [۱۴].

بحث مدیریت موجودی همواره یکی از ارکان مدیریت زنجیره‌ی تامین بوده است [۱۴] مدیریت موجودی در زنجیره تامین معمولاً با بحث عدم قطعیت مواجه است. عدم قطعیت در تقاضا، لیدتایم‌ها و ظرفیت تولید از جمله مسایلی هستند که پیش روی مدیران قرار دارند[۱۴].

گاهی اوقات اجزاء مختلف زنجیره‌ی تامین برای کم اثر کردن زیان‌های ناشی از عدم قطعیت و بالا بردن سطح رضایت مشتریان اقدام به نگهداری ذخیره‌ی احتیاطی می‌کنند[۱۶]. اما نگهداری ذخیره‌ی احتیاطی در اجزاء مختلف زنجیره‌ی تامین باعث تحمیل هزینه‌هایی بر این اجزا و در نهایت بر کل زنجیره‌ی تامین می‌شود. این هزینه‌ها در نهایت باعث بالا رفتن بهای تمام شده محصولات می‌شود؛ بنابراین نگهداری ذخیره‌ی احتیاطی به میزان مناسب تاثیر زیادی بر اثربخشی زنجیره‌ی تامین خواهد داشت. در این مقاله مساله اصلی تحقیق تعیین میزان ذخیره‌ی احتیاطی نگهداری شده توسط اجزاء مختلف یک زنجیره‌ی تامین چند سطحی است. این مهم با در نظر داشتن برخی مفروضات به وسیله‌ی مدل‌سازی مسئله به صورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی محقق شده است.

در زنجیره‌ی تامین ذخیره‌ی احتیاطی جهت بالابردن میزان پاسخ‌گویی به اضاهای رسیده نگهداری می‌شود. میزان پاسخ‌گویی عبارت است از نسبت بین زان تقاضاهایی که به موقع برآورده شده است و میزان تقاضاهای رسیده از طرف ستریان[۷]. به طور کلی هزینه‌های مرتبط با موجودی در زنجیره تامین به ۴ گروه سیم می‌شوند:[۳]

هزینه‌های مربوط به نگهداری: هزینه‌های مختلفی که به واسطه نگهداری موجودی در انبار بر اجزاء زنجیره‌ی تامین تحمیل می‌شوند از این دسته هستند.

هزینه‌های مربوط به سفارش‌دهی: هزینه‌هایی که به واسطه سفارش دهی به تامین‌کنندگان باید پرداخت شوند همچون هزینه‌های اداری جزء این گروه از هزینه‌ها محسوب می‌شوند.

هزینه‌های مربوط به فرصت از دست رفته: زمانی که تقاضایی از طرف مشتریان برای محصولات وجود دارد اما به دلیل نبود موجودی در انبار شرکت قادر به پاسخ‌گویی به این تقاضا نیست، این نوع هزینه‌ها بر شرکت وارد می‌شوند. بخش اعظم این هزینه شامل سودی است که شرکت در صورت وجود موجودی و عرضه محصول به مشتری می‌توانست کسب کند.

هزینه‌ی خرید: هزینه‌ی مربوط به خرید مواد و قطعات جهت نگهداری آنها در انبار شرکت.

نگهداری ذخیره‌ی احتیاطی باعث کاهش هزینه‌های فرصت از دست رفته ی‌شود، اما هزینه‌های موجودی را به میزان محسوسی افزایش می‌دهد [۱۰]. بنابراین دیران باید همواره تلاش کنند میزان ذخیره‌ی احتیاطی را در سطح مناسبی نگه رند. بخشی از روش‌های معمول تعیین سطح بهینه‌ی موجودی احتیاطی به کمک جاد تعادل بین هزینه‌ی نگهداری موجودی احتیاطی و هزینه‌ی سفارش از دست ته، به این امر می‌پردازند.

در مطالعات و تحقیقات داخلی و خارجی می‌توان نمونه‌های زیادی از توجه حققان نسبت به مدل‌ها و تکنیک‌های مختلف در زمینه مدیریت موجودی و سطح ینه‌ی ذخیره‌ی احتیاطی در زنجیره‌ی تامین، مشاهده کرد:

ماکویی و طباطبایی [۶] یک متدولوژی برای تخصیص مقادیر ذخیره احتیاطی د
یک زنجیره تأمین معرفی کردند. مسأله مورد نظر آنها دارای دو هدف کمینه نمود
بهترین زمان دسترسی و هزینه موجودی است. علاقه‌بند و رضوی [۴] با به‌کارگیر
روش کنترل خطی و آنالیز توابع تبدیل، روشی برای مدل‌سازی زنجیره تامین در شرای
زمان پیوسته ارایه کرده‌اند به گونه‌ای که یک مبادله بین میزان سفارش و بهترین سط
موجودی ایجاد نماید. آریانژاد و صاحبی [۱] موجودی در سیستم زنجیره تامین چن
مرحله ای را که بر اساس فلسفه تولید به هنگام کار می کند، بررسی کرده‌اند. در مدا
ارایه شده توسط ایشان کانبان نقش مهمی را برای جریان مواد و اطلاعات در یک
زنجیره تامین بر عهده دارد. در نهایت مدل ریاضی ارائه شده تعداد کانبان های مراحل
مختلف و اندازه اقتصادی هر کانبان را به طور بهینه محاسبه می کند.

جانگ و دیگران [۹] برای زنجیره‌های تامین چند مرحله‌ای، رویکردی برای
ارزیابی توابع عملکرد و تصمیمات مرتبط با متغیرهای ذخیره‌ی احتیاطی ارایه کردند
در این رویکرد از دو چارچوب محاسباتی متفاوت جهت ارزیابی توابع عملکر
استفاده شده است. ایشان جهت ارزیابی توابع عملکرد از مدل شبیه سازی گسست
پیشامد استفاده کردند و جهت تعیین متغیرهای مهم ذخیره‌ی احتیاطی در واحد تولی
کننده و انبارها از یک مدل برنامه ریزی خطی استفاده کردند. پرسونا و همکارا
[۱۲] از مدل‌های ابتکاری تحلیلی برمبنای هزینه[1] جهت تعیین میزان ذخیره
احتیاطی در سیستم‌های مونتاژ بر اساس سفارش مشتری و تولید بر اساس سفارش
مشتری، استفاده کردند. نتیجه کاربرد مدل‌های ارایه شده توسط ایشان در د
شرکت تولیدی نشان داد که این مدل‌ها می‌توانند کمک شایانی در کاهش سط
موجودی داشته باشند. تورس و محمودی [۱۵] با اصلاح مدل ارایه شده توس
استس (۲۰۰۷) که بر تغییرات زمان تاخیر و میزان تقاضا تاکید داشت، سعی کردن
مدلی جدید جهت تعیین میزان ذخیره‌ی احتیاطی ارایه کنند. آنها این مدل را در یک
شرکت الکترونیکی اجرا کردند. ناتارجانو گویال [۱۱] برای پاسخ‌گویی به این سوا
که «میزان ذخیره‌ی احتیاطی باید در زنجیره‌های تامین که بر اساس فلسفه‌ی تولید ب

1- innovative cost-based analytical models

نگام کار می‌کنند، در چه سطحی حفظ شود؟» مدل‌های مختلفی را امتحان کردند. شان برای تعیین میزان اثربخشی هر یک از مدل‌ها از تغییرات ایجاد شده در سطح وجودی و اندازه‌ی دسته‌های تولیدی استفاده کردند. ایندرفارچ و مینر [۸] با ارایه ک مدل بهینه‌سازی سعی کردند در سیستم‌های کنترل موجودی که در آنها از یاست مرور دوره‌ای استفاده می‌شود و تقاضاها از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کنند، یزان ذخیره‌ی احتیاطی را محاسبه کنند. مفروضات آنها این بود که هر یک از اجزاء نجیره‌ی تامین دارای یک محدودیت در حداقل سطح سرویس یا نرخ پاسخ‌گویی ستند و تاخیرات درون زنجیره‌ی تامین نیز حداقل است. مایا و کاسیم [۱۰] یک دل برنامه ریزی غیرخطی جهت محاسبه‌ی ذخیره‌ی احتیاطی در زنجیره‌ی تامین دو طحی مشتمل بر گروهی از تامین‌کنندگان و یک تولیدکننده، ارایه کردند. در ایت مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را به کمک روش ماتریس هشین[1] حل کردند.

اکثر مدل‌های ارایه شده جهت تعیین ذخیره‌ی احتیاطی، به صورتی مستقل، در حدهای درگیر در عرضه‌ی یک محصول به مشتریان اقدام به این کار می‌کنند و جهی به تاثیر پارامترهای میزان پاسخ‌گویی اجزاء زنجیره‌ی تامین در میزان خیره‌ی احتیاطی ندارند. تنها مدلی که به تعیین ذخیره‌ی احتیاطی با در نظر گرفتن زان پاسخ‌گویی اجزاء زنجیره‌ی تامین پرداخته مدل ارایه شده توسط مایا و کاسیم ست. زنجیره‌ی تامین در نظر گرفته شده در مدل مایا و کاسیم یک زنجیره‌ی دو طحی است که شامل یک سطح تامین کننده (مشتمل بر چند تامین‌کننده) و یک ولید کننده است. در این مقاله سعی شده است مدل ارایه شده توسط ایشان به جیره‌ای با چندین سطح شامل تامین‌کنندگان و تولید کنندگان بسط داده شود؛ ضمن اینکه برای حل مدل از نرم‌افزاری که از الگوریتم ژنتیک جهت حل مدل‌های نامه‌ریزی غیرخطی سود می‌جوید، استفاده شده است.

ریف مسئله تحقیق و مفروضات مدل

زنجیره‌ی تامین در نظر گرفته شده در شکل شماره یک را در نظر بگیرد.

1- Hessian matrix

همان‌طور که در شکل نیز قابل مشاهده است این زنجیره از n مرحله تشکیل شد
است؛ به کمک همکاری این n مرحله محصول نهایی تولید و به مشتریان نهایی
عرضه می‌شود. تولید و مونتاژ محصول نهایی در مرحله‌ی rام صورت می‌گیرد
(1<r<n). محصول ارایه شده توسط این زنجیره‌ی تامین از m نوع کالای نیما
ساخته یا مواد اولیه تشکیل شده است که هر یک توسط کانال تامین جداگانه ای
تامین می‌شود. بعد از تولید محصول، کالا توسط s کانال توزیع به دست مصرف
کننده نهایی خواهد رسید. فرضیات اصلی مدل به شرح زیر هستند:

۱. هر یک از اجزای زنجیره‌ی تامین قبل از مرحله تولید و مونتاژ نهایی، قطعات نیما
ساخته را تولید و به مراحل بعد از خود تحویل می‌دهند. به دلیل اینکه نرخ پاسخ
گویی هر یک از اجزاء قبل از مرحله مونتاژ برابر ۱۰۰ درصد نیست هر یک از
اجزاء برای پاسخ‌گویی مناسب به سطح بعد از خود مقداری ذخیره‌ی احتیاطی
نگهداری می‌کنند. همچنین در مرحله‌ی تولید نیز مقداری از محصول نهایی به
عنوان ذخیره‌ی احتیاطی نگهداری می‌شود.

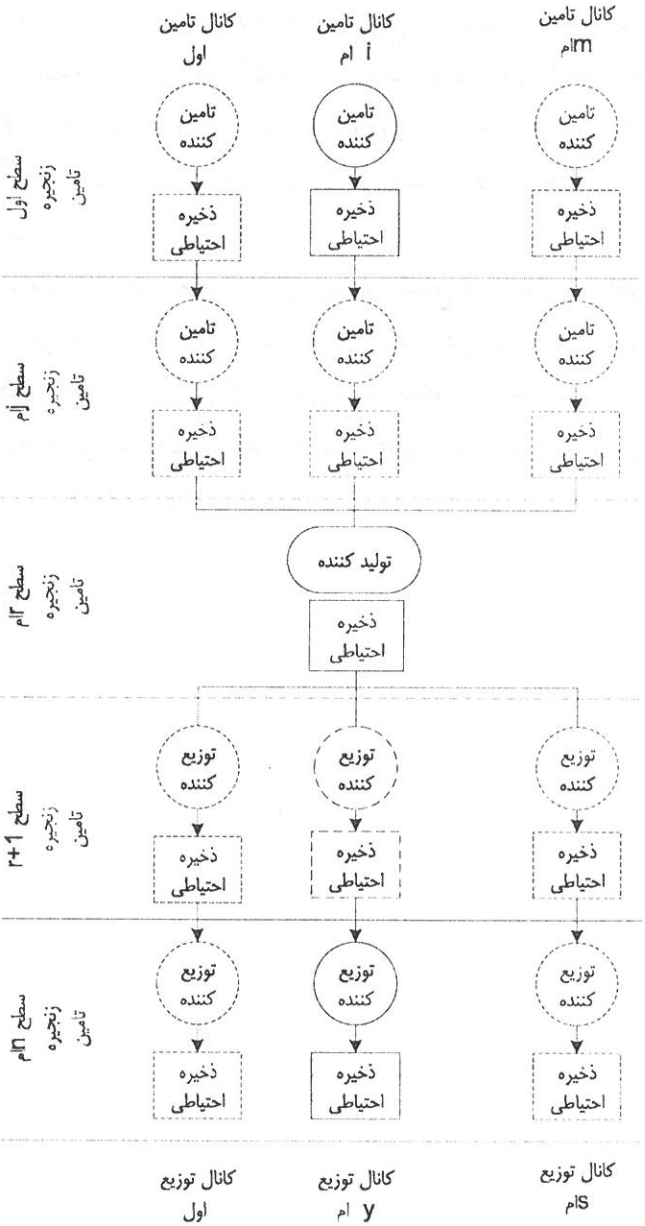
۲. هر یک از اجزای زنجیره‌ی تامین، تقاضاهای رسیده از طرف مراحل بعد را به دو
صورت می‌توانند پاسخ دهند الف) توسط محصولات یا قطعات و موادی که
همان لحظه از اجزاء موجود در مرحله‌ی قبل خود دریافت داشته‌اند و مراحل
تولید لازم را اجرا کرده‌اند ب) به کمک ذخیره‌ی احتیاطی که از تولیدات خود
در انبار نگه داشته‌اند.

۳. بین کانال‌های توزیع و کانال‌های تامین، ارتباطی مبنی بر دریافت محصول
خدمات وجود ندارد و هر یک از کانال‌های توزیع و تامین به صورت مستقل ا
دیگری فعالیت می‌کند. بدین ترتیب ارتباط افقی بین اجزا وجود نداشته
ارتباطات فقط به صورت عمودی (همانطور که در شکل شماره ۱ مشاهد
می‌شود) وجود دارند.

در زنجیره‌ی تامین در نظر گرفته شده تقاضایی از طرف مشتریان به انتهای
کانال‌های توزیع وارد می‌شود. این تقاضا باعث می‌شود که هر یک اجزاء موجود د
زنجیره که در انتهای کانال‌های توزیع قرار دارند تقاضای خود را به جزء ماقبل خو

رسال کنند و این تقاضا در مسیر کانال‌های توزیع حرکت می‌کند تا به تولید کننده
ی‌رسد. تولید کننده نیز برای پاسخ‌گویی به تقاضاهای دریافت شده از طرف کانال-
ای توزیع، اقدام به تامین قطعات یا مواد اولیه مورد نیاز خود از تامین‌کننده می‌کند.
عبارت دیگر زنجیره‌ی تامین در نظر گرفته شده، یک زنجیره‌ی تامین کششی
حسوب می‌شود.

در تعریف مدل، هدف تعیین مقدار بهینه‌ی سطح ذخیره‌ی احتیاطی به کمک
نداقل کردن هزینه‌های مربوط به موجودی است. در این مدل مبنای محاسبه‌ی
زینه‌ها عملکرد اجزاء زنجیره‌ی تامین می‌باشد. منظور از عملکرد اجزاء زنجیره‌ی
مین نرخ پاسخ‌گویی هر یک از اجزا به تقاضاهایی که از مراحل بعد زنجیره تامین
جزء مربوط ارجاع داده می‌شود، است.



شکل ۱. زنجیره تامین در نظر گرفته شده در مدل ارایه شده

.لسازی مساله

در صورتی که k_{ij} نرخ پاسخ‌گویی جزء iام در سطح jام قبل از مرحله تولید باشد
i=۱،۲،...،n و j=۱،۲،...،r−۱)، آن‌گاه این نرخ در زنجیره‌ی تامین به صورت زیر
ریف می‌شود. [۱۰]

$$k_{ij} = \frac{q^*_{ij}+x_{ij}}{q_{ij}} = p_{ij} + \frac{x_{ij}}{q_{ij}}$$

در رابطه شماره ۱، q_{ij} برابر با تعداد تقاضاهای رسیده به جز iام در سطح jام از
ء مابعد خود است. q^*_{ij} برابر با تعداد تقاضاهایی است که جزء iام در سطح jام به
مک دریافت کالا یا مواد از جزء ماقبل خود در زنجیره‌ی تامین، پاسخ داده است؛
برابر تعداد کالاهایی است که جزء iام در سطح jام در انبار به عنوان ذخیره‌ی
تیاطی به منظور پاسخ‌گویی به اجزاء بعد از خود نگهداری می‌کند؛ p_{ij} نسبتی
قاضا است که جزء iام در سطح jام به کمک کالاهای رسیده از طرف اجزاء
بل پاسخ داده است. در صورتی که هزینه‌ی نگهداری کالا در انبار برای جزء iام
سطح jام برابر با c_{ij} باشد، آن‌گاه هزینه‌ی نگهداری ذخیره‌ی احتیاطی برای این
ء از زنجیره‌ی تامین به کمک رابطه زیر محاسبه می‌شود. توجه شود که به دلیل
که بخشی از تقاضای رسیده از طرف جزء سطح بعد به کمک قطعاتی که همان
ان از سطح قبل دریافت می‌شوند، پاسخ‌داده می‌شوند هزینه‌ی نگهداری به این
عات تعلق نمی‌گیرد. به عبارت دیگر تنها هزینه‌ی مربوط به موجودی، هزینه‌ی
یره‌ی احتیاطی است.

$$C_{ij} = c_{ij} \times x_{ij}$$

توان به کمک رابطه شماره ۱ مقدار x_{ij} را محاسبه و در رابطه شماره ۲ قرار داد تا
طه شماره ۳ حاصل شود.

$$C_{ij} = c_{ij} q_{ij} (k_{ij} - p_{ij})$$

راین کل هزینه‌ی نگهداری ذخیره‌ی احتیاطی در مرحله‌ی Jام برابر است با

$$C_J = \sum_{i=1}^{i=m} \left(c_{ij} q_{ij} (k_{ij} - p_{ij}) \right)$$

با توجه به رابطه‌ی فوق کل هزینه‌ی نگهداری موجودی احتیاطی قبل از تولید

(CB) به کمک رابطه‌ی شماره ۵ به‌دست می‌آید.

$$B = \sum_{j=1}^{j=r-1} \sum_{i=1}^{i=m} (c_{ij} q_{ij} (k_{ij} - p_{ij})) \quad (۵)$$

در صورتی که فرض کنیم x_r برابر میزان ذخیره‌ی احتیاطی محصول نهایی است که توسط تولید کننده در انبار نگهداری می‌شود و p_m برابر درصد پاسخ‌گویی خط تولید باشد، آن‌گاه میزان پاسخ‌گویی تولید کننده به کمک رابطه زیر محاسبه می شود. در این رابطه فرض شده است که میزان پاسخ‌گویی خط تولید برابر میزان حاصل‌ضرب میزان پاسخ‌گویی کانال‌های تامین در نرخ پاسخ‌گویی خط تولید است. میزان پاسخ‌گویی هر یک از کانال‌های تامین نیز از حاصل‌ضرب میزان پاسخ‌گویی اجزاء موجود در آن کانال به‌دست می‌آید.

$$p = \frac{x_r}{\sum_{v=1}^{s} q_{yr}} + p_m \prod_{i=1}^{i=m} \prod_{j=1}^{j=r-1} k_{ij} \quad (۶)$$

در رابطه ۶، q_{yr} برابر است با تقاضای رسیده از کانال‌های توزیع yام که در مرحله‌ی rام یا مرحله‌ی تولید وصول می‌شود. در رابطه ۶ میزان پاسخ‌گویی هر یک از کانال‌های تامین برابر است با حاصل‌ضرب میزان پاسخ‌گویی اجزا کانال مربوطه در نهایت میزان پاسخ‌گویی کل کانال‌های تامین برابر است با حاصل‌ضرب میزان پاسخ‌گویی کانال‌های مختلف. این میزان پاسخ‌گویی نهایی در میزان پاسخ‌گویی خط تولید(p_m) ضرب شده تا با سهم تقاضاهای دریافتی که توسط ذخیره‌ی احتیاط تامین می‌شوند جمع شده تا میزان پاسخ‌گویی زنجیره‌ی تامین تا مرحله‌ی تولید محصول حاصل شود. در صورتی که هزینه‌ی نگهداری هر واحد محصول در انبار تولیدکننده برابر با c_r باشد، آن‌گاه هزینه نگهداری موجودی احتیاطی به کمک رابطه شماره ۷ حاصل می‌شود.

$$. = c_r x_r \quad (۷)$$

با محاسبه x_r در رابطه‌ی ۶ و قرار دادن آن در رابطه ۷ رابطه شماره ۸ حاصل خواهد شد.

$$. = c_r \sum_{y=1}^{y=s} (q_{yr}) \left(k_p - p_m \prod_{i=1}^{i=m} \prod_{j=1}^{j=r-1} k_{ij}\right) \quad (۸)$$

همان‌طور که گفته شد این زنجیره‌ی تامین از s کانال توزیع تشکیل شده است (y=۱،۲،...،s). اجزا هر یک از این کانال‌های توزیع در یکی از مراحل j=r،r+1،...،n قرار دارند. در صورتی که فرض کنیم q_{yj} میزان تقاضایی است که از طرف جز بعد به جز yام وارد شده آن‌گاه k_{yj} که عملکرد جز jام در کانال توزیع y ام است به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$k_{yj} = p_{yj} + \frac{x_{yj}}{q_{yj}} \qquad (۹)$$

در صورتی که فرض کنیم c_{yj} هزینه‌ی نگهداری کالا در جز yj ام باشد آن‌گاه هزینه نگهداری موجودی احتیاطی در جز yj ام (C_{yj}) به کمک رابطه شماره ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$C_{yj} = c_{yj}x_{yj} \qquad (۱۰)$$

با محاسبه x_{yj} از طریق رابطه ۹ و قرار دادن آن در رابطه ۱۰ هزینه‌ی نگهداری موجودی در جز yj ام به کمک رابطه ۱۱ قابل محاسبه خواهد بود.

$$C_{yj} = c_{yj}q_{yj}(k_{yj} - p_{yj}) \qquad (۱۱)$$

بنابراین کل هزینه‌ی نگهداری در مرحله j ام بعد از تولید به کمک رابطه شماره ۱۲ قابل محاسبه است.

$$C_j = \sum_{y=1}^{y=s}(c_{yj}q_{yj}(k_{yj} - p_{yj})) \qquad (۱۲)$$

در نهایت کل هزینه‌های نگهداری موجودی بعد از مراحل تولید (CA) به کمک رابطه شماره ۱۳ قابل محاسبه است.

$$CA = \sum_{j=r+1}^{j=n}\sum_{y=1}^{y=s}(c_{yj}q_{yj}(k_{yj} - p_{yj})) \qquad (۱۳)$$

حال فرض کنید هزینه‌ی سفارش از دست رفته برای هر محصول در هر یک از کانال‌های توزیع برابر co_y باشد بنابراین کل هزینه‌ی سفارش از دست رفته در کانال yام را می‌توان به کمک رابطه‌ی شماره ۱۴ محاسبه کرد.

$$CO_y = co_y q_y(1 - k_y) \qquad (۱۴)$$

در رابطه فوق q_y برابر تقاضایی است که به کانال توزیع yام وارد می‌شود و k_y

برابر با میزان پاسخ‌گویی کانال yام است که توسط رابطه شماره ۱۵ قابل محاسبه است.

$$k_y = \prod_{j=r+1}^{j=n} k_{yj} \qquad (۱۵)$$

بنابراین کل هزینه‌ی سفارش از دست داده شده در کانال‌های توزیع به کمک رابطه ۱۶ محاسبه خواهد شد.

$$c_y = \sum_{y=1}^{y=n}(q_y co_y(1 - \prod_{j=r+1}^{j=s} k_{yj})) \qquad (۱۶)$$

بنابراین می‌توان به کمک روابط ۵، ۸، ۱۳ و ۱۶ مدل برنامه‌ریزی غیر خطی زیر را برای تعیین میزان بهینه مقادیر k_{ij} و p_{ij} در نظر گرفت و بعد از حل مدل به کمک روابط بین x_{ij} و k_{ij} (روابط ۱، ۶ و ۹)مقادیر بهینه x_{ij}، x_{yj} و x_r را به‌دست آورد.

$$minTC = \sum_{j=1}^{j=r-1}\sum_{i=1}^{i=m}\left(c_{ij}q_{ij}(k_{ij} - p_{ij})\right) + c_r\sum_{y=1}^{y=s} q_{yr}\,(k_p - p_m\prod_{i=1}^{i=m}\prod_{j=1}^{j=r-1} k_{ij}) + \sum_{j=r+1}^{j=n}\sum_{y=1}^{y=s}\left(c_{yj}q_{yj}(k_{yj} - p_{yj})\right) + \sum_{y=1}^{y=s}(q_y co_y(1 - \prod_{j=r+1}^{j=s} k_{yj}))$$

Subject to

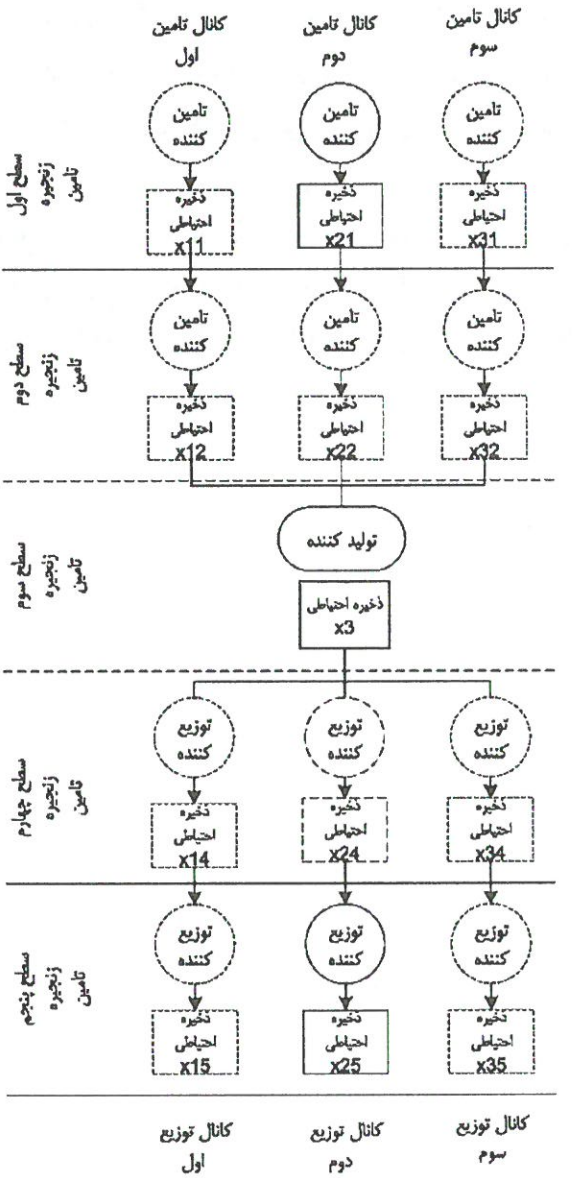
$$k_{ij} \le 1 \quad (i = 1,2,\dots n \text{ and } j = 1,2,\dots r-1)$$
$$k_{ij} \ge p_{ij} \quad (i = 1,2,\dots n \text{ and } j = 1,2,\dots r-1)$$
$$k_p \le 1$$
$$k_p \ge p_m \prod_{i=1}^{i=m}\prod_{j=1}^{j=r-1} k_{ij}$$
$$k_{yj} \le 1 \quad (y = 1,2,\dots s \text{ and } j = r+1, r+2, \dots . s)$$
$$k_{yj} \ge p_{yj} \quad (y = 1,2,\dots s \text{ and } j = r+1, r+2, \dots . s)$$

مثال عددی

در این بخش از مقاله برای نشان دادن کاربرد مدل، حل یک مثال عددی مدنظر قرار گرفته است و میزان ذخیره‌های احتیاطی در هر یک از اجزاء زنجیره‌ی تامین محاسبه می‌شود. زنجیره‌ی تامین موجود در شکل شماره ۲ که از ۵ سطح تشکیل شده است و تولید کننده در سطح سوم قرار دارد را در نظر بگیرید.

همان‌طور که در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود هر یک از اجزاء این زنجیره‌ی تامین برای پاسخ‌گویی به عدم قطعیت ناشی از میزان پاسخ‌گویی اجزاء قبل از خود

مقداری ذخیره‌ی احتیاطی نگهداری می‌کنند. در این قسمت سعی شده است با کمک مدل تعریف شده در قسمت قبل میزان ذخیره‌ی احتیاطی بهینه تعیین شود. در زنجیره‌ی فوق فرض شده است که هزینه‌ی نگهداری در اجزاء مختلف زنجیره‌ی تامین قبل از تولید برابر ۲ واحد و هزینه‌ی نگهداری هر محصول در مرحله‌ی تولید و در کانال‌های توزیع برابر ۱ است. همچنین در مدل فوق میزان سود از دست رفته در هر یک از کانال‌های توزیع به خاطر عدم وجود کالا در کانال‌های توزیع برابر ۱۰ واحد است. میزان تقاضا در هر یک از کانال‌های توزیع به صورت جدول یک قابل مشاهده است.



شکل ۲. زنجیره تامین در پنج سطح و سه کانال توزیع و سه کانال تامین

کل تقاضا (در سه کانال توزیع) برای محصول نهایی برابر ۴۰۰۰ واحد محصول است. همچنین با توجه به درخت محصول و ترکیب مواد اولیه یا قطعات نیمه ساخته

موجود در هر واحد محصول میزان تقاضای رسیده به هر یک از کانال‌های تامین به صورت جدول شماره ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۱. میزان تقاضا در هر یک از کانال‌های توزیع

میزان تقاضا	کانال توزیع
۱۰۰۰	اول
۲۰۰۰	دوم
۱۰۰۰	سوم

جدول ۲. میزان تقاضای وارده به هر یک از کانال‌های تامین

میزان تقاضا	کانال تامین
۴۰۰۰	اول
۸۰۰۰	دوم
۱۲۰۰۰	سوم

متغیرهایی که مدل فوق درصدد یافتن مقدار بهینه‌ی آنها است p_{ij} و k_{ij} است. مدل برنامه‌ریزی غیر خطی برای زنجیره‌ی تامین فوق دارای ۲۶ متغیر و ۲۶ محدودیت است. ۱۳ متغیر p_{ij}ها هستند؛ یادآوری می‌شود که p_{ij} نشان‌دهنده‌ی تقاضاهای وارده به هر جزء است که به صورت مستقیم به کمک دریافت از جزء قبل برآورده می‌شود. ۱۳ متغیر دیگر یعنی k_{ij} ها، نشان‌دهنده‌ی میزان پاسخ‌گویی جزء ij ام است. به کمک داشتن مقدار دو متغیر k_{ij}و p_{ij} می‌توان میزان ذخیره‌ی احتیاطی مورد نیاز در هر یک از اجزاء زنجیره‌ی تامین را محاسبه کرد.

با توجه به تعداد محدودیت‌ها و متغیرهای موجود، برای حل مدل از نرم‌افزار ژنکوب ۳[1] استفاده شد. این نرم‌افزار برای حل مدل‌های غیرخطی با محدودیت‌های غیرخطی به‌کار می‌رود و برای کاربرد در سیستم عامل لینوکس تهیه شده. الگوریتم ژنکوب برای حل مسایل بهینه سازی از روش حل مساله ژنتیک استفاده می‌کند. الگوریتم ژنکوب متفاوت از سایر الگوریتم‌های ژنتیک (که مبتنی بر تابع جریمه

1- Genocob III

هستند) بر اساس ایده‌های تکامل و بازسازی طراحی شده است. این اگوریتم توسط میچالوئیز[1] و ناژیات[2] (۱۹۹۵) معرفی شد. ویرایش‌های اولیه الگوریتم ژنکوب برای حل مسایل خطی کاربرد دارد ولی در ویرایش‌های بعدی حل مدل‌های دارای محدودیت‌های غیر خطی و توابع هدف غیرخطی نیز لحاظ شدند. میچالوئیز و ناژیات برای هر یک از ویرایش‌های الگوریتم ژنتیک نرم‌افزارخاص خود را ارایه دادند که نرم‌افزار ژنکوب از یکی از این نرم‌افزارها است. نتایج حل در جدول شماره ۳ قابل مشاهده است. در این جدول بعد از تعیین میزان متغیرهای p_{ij} و k_{ij} میزان ذخیره‌ی احتیاطی مورد نیاز هر یک از اجزاء زنجیره‌ی تامین نیز محاسبه شده است. همچنین فایل‌های ورودی و خروجی نرم‌افزار نیز در قسمت ضمیمه قابل مشاهده است.

همان‌طور که در جدول ۳ قابل مشاهده است میزان k_{ij} ها (نرخ پاسخ‌گویی اجزاء) قبل از تولید به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر از میزان پاسخ‌گویی اجزاء در کانال‌های توزیع است که دلیل اصلی این موضوع را می‌توان در لحاظ کردن هزینه-ی سفارش از دست رفته برای اجزاء موجود در کانال‌های توزیع دانست. از طرف دیگر میزان ذخیره‌ی احتیاطی محاسبه شده برای هر یک از کانال‌های توزیع یا تامین متناسب با میزان تقاضای رسیده شده به آن کانال است که دلیل این امر نیز شرایط یکسان هر یک از کانال‌های توزیع است. این شرایط عبارتند از هزینه‌ی نگهداری موجودی احتیاطی و همچنین هزینه‌ی فرصت از دست رفته.

1- Michalewicz
2- Nazhiat

جدول ۳. نتایج حل مدل و محاسبه‌ی میزان ذخیره‌های احتیاطی

متغیر	مقدار متغیر	میزان تقاضا	میزان ذخیره احتیاطی
k11	0.87	4000	360
p11	0.78		
k12	0.89	4000	360
p12	0.8		
k21	0.88	8000	720
p21	0.79		
k22	0.83	8000	720
p22	0.74		
k31	0.86	12000	1080
p31	0.77		
k32	0.87	12000	1080
p32	0.78		
kp	0.9	4000	400
pm	0.8		

متغیر	میزان متغیر	میزان تقاضا	میزان ذخیره احتیاطی
k14	690.	1000	80
p14	880.		
k15	690.	1000	80
p15	880.		
k24	680.	2000	160
p24	870.		
k25	890.	2000	160
p25	90.		
k34	390.	1000	08
p34	850.		
k35	490.	1000	08
p35	860.		

نتیجه‌گیری

تعیین میزان بهینه‌ی ذخیره‌ی احتیاطی در اجزاء مختلف زنجیره‌ی تامین همواره یکی از چالش‌های پیش روی مدیران در زنجیره‌ی تامین بوده است. چرا که وجود ذخیره‌ی احتیاطی باعث تحمیل هزینه‌های نگهداری به زنجیره می‌شود و از طرف دیگر مانع از ایجاد هزینه‌هایی همچون هزینه‌ی فرصت از دست رفته یا هزینه‌ی توقف خط تولید می‌شود. با توجه به مطالب فوق مدیران همواره سعی در یافتن روش‌هایی جهت تعیین میزان بهینه‌ی ذخیره‌ی احتیاطی داشته‌اند.

همان‌طور که گفته شد در این مقاله، هدف ارایه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی جهت محاسبه‌ی ذخیره‌ی احتیاطی در یک زنجیره‌ی تامین چند سطحی با چندین کانال تامین و چندین کانال توزیع بوده است. این مدل به کمک رویکرد حداقل‌سازی هزینه‌های مرتبط با نگهداری ذخیره‌ی احتیاطی طراحی شده است. مدل برنامه‌ریزی غیرخطی ارایه شده در این مقاله به کمک نرم‌افزارهای رایج تحقیق در عملیات قابل حل است. نتایج حل مدل حاکی از این بود که میزان ذخیره‌ی احتیاطی در هر یک از اجزاء زنجیره‌ی تامین متناسب با شرایط حاکم بر آن بخش از زنجیره است. شرایطی همچون مقدار هزینه‌ی فرصت از دست رفته و مقدار هزینه‌ی نگهداری موجودی در زنجیره‌ی تامین.

در این مقاله مفروضاتی برای حل مدل در نظر گرفته شد؛ صفر بودن میزان زمان تاخیر، ثابت و مشخص بودن میزان تقاضا در هر یک از کانال‌های توزیع و وجود فقط یک تولید کننده از جمله این مفروضات بوده است. برای توسعه و بسط مدل در تحقیقات آتی می‌توان هر یک از این مفروضات را تغییر داده و مدل موجود را تعمیم داد.

ابع و مآخذ

آریانژاد، میربهادر قلی و صاحبی، هادی «**مدل موجودی زنجیره‌ی تامین چندمرحله‌ای دارای تخفیف**». ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران، ۱۳۸۷.

حاج شیرمحمدی، علی. **اصول برنامه‌ریزی و کنترل تولید و موجودی‌ها**. انتشارات ارکان، اصفهان، ۱۳۸۷.

حسینی بهاران‌چی، سیدرسول. **برنامه‌ریزی سفارش و کنترل تولید و موجودی‌ها**. موسسه‌ی انتشاراتی جهان جام‌جم تهران، ۱۳۸۱.

علاقه‌بند، علی‌رضا و رضوی، مریم «**مدل‌سازی و کنترل زنجیره‌ی تامین با بکارگیری سیستم‌های کنترل خطی**». پنجمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، تهران. ۱۳۸۶.

غلامی گل‌افشاران، شهرام و افخم، بهنام. «**مدیریت جریان موجودی در زنجیره تامین جهانی با رویکرد کاهش هزینه لجستیک ـ مطالعه موردی ایران خودرو**». پنجمین کنفرانس بین المللی مدیریت، تهران، ۱۳۸۶.

ماکویی، احمد و موسوی طباطبایی، سیدرضا «**الگوریتم تخصیص مقادیر ذخیره احتیاطی در یک زنجیره تأمین**». دومین کنفرانس لجستیک و زنجیره‌ی تامین، تهران، ۱۳۸۵.

7. Chopra, Sunil & Meindl, Peter. **Supply Chain Management Strateg Planning and Operations: Strategy, Planning and Operation**, New York prentice Hall,2000.
8. Inderfurth ,Karl & Minner, Stefan. **Safety stocks in multi-stage invento systems under different service measures**. European Journal Operational Research, 1998, Vol.106, Issue. 1, 57-73.
9. Jung, June Young, Blau, Gary, Pekny, Joseph F., Reklaitis, Gintar V.& Eversdyk, David. **Integrated safety stock management for mul stage supply chains under production capacity constraints**. Compute and Chemical Engineering.2008, Vol. 32, Issue. 11, 2570–2581
10. Maia, Luis OtaHvio Aleotti & Qassim, Raad Yahya . **Minimum co safety stocks for frequent delivery manufacturing**. International journal Production Economics. 1999. Vol. 62, Issue 3 233-236.
11. Natarajan, R. Nat & Goyal, S.K. **Safety Stocks in JIT Environmen** International Journal of Operations & Production Management,199 Vol. 14 Issues: 10, pp.64 – 71
12. Persona, Alessandro, Battini, Daria, Manzini, Riccardo & Paresch Arrigo. **Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturi**

components. International journal of Production Economics. 2007, Volume 110, Issues 1-2, PP 147-159

3. Michalewicz, Z. & Nazhiat, G. **Genocop III: A coevolutionary algorithms for numerical optimization problems with nonlinear constraints**.IEEE Procedings of Second International Confrence on Evolutionary Computations, Perth, Ausralia, 1995, PP.647-651
4. Simchi-Levi, David, Kaminsky, Philip & Simchi-Levi, Edith. **Designing and managing the supply chain: Concepts, Strategies and Case Studies**,third edition, Irwin: McGraw-Hill, 2008.
5. Torres, Alex J. Ruiz & Mahmoodi, Farzad. **Safety stock determination based on parametric lead time and demand information** , International Journal of Production Research. 2009. Volume 48, Issue 10, 2841 - 2857.
6. Zhao, Xiande, Lai, Fujun & Lee,T.S. **Evaluation of afety stock method in multilevel material requirements planning (MRP) system**. Production Planning & Control. 2001. Vol. 12, NO.8, 794-803.

ضمیمه۱: مدل ریاضی برای مثال عددی ارایه شده

```
min = 8000*k11-8000*p11+16000*k21-16000*p21+24000*k31
24000*p31+8000*k12-8000*p12+16000*k22-
16000*p22+24000*k32-24000*p32+4000*kp-
4000*pm*k11*k21*k31*k12*k22*k32+1000*k14-
1000*p14+2000*k24-2000*p24+1000*k34-1000*p34+1000*k35-
1000*p35+2000*k25-2000*p25+1000*k35-1000*p35+10000-
10000*k14*k15+20000-20000*k24*k25+10000-10000*k34*k35;
k11<=1;
k12<=1;
k21<=1;
k22<=1;
k31<=1;
k32<=1;
kp<=1;
k14<=1;
k15<=1;
k24<=1;
k25<=1;
k34<=1;
k35<=1;
p11<=k11;
p12<=k12;
p21<=k21;
p22<=k22;
p31<=k31;
p32<=k32;
pm*k11*k21*k31*k12*k22*k32<=kp;
p14<=k14;
p15<=k15;
p24<=k24;
p25<=k25;
p34<=k34;
p35<=k35;
```