طراحی یک مدل موجودی چند معیاره - چند تصمیم‌گیرنده در یک ساختار غیر سری زنجیره عرضه با تقاضای احتمالی

سید محمد تقی فاطمی قمی[i] ؛ نگین اسدی[ii] ؛ رضا توکلی مقدم[iii]

چکیده

برنامه‌ریزی و کنترل موجودی بیشتر سبب تامین مداوم و به‌موقع محصول و در عین حال، باعث صرف منابع و هزینهٔ بیشتر می‌شود. مدل‌های متداول در کنترل موجودی، یک ضریب هزینه را به هر عامل هزینه متصل کرده و یک معادلهٔ تک متغیره بر اساس هزینه ایجاد می‌کنند که با محدودیت و یا بدون آن حل می‌شود. امروزه، ایدهٔ زنجیرهٔ عرضه در مدل‌های کنترل موجودی بسیار گسترش توسعه یافته است. در این مقاله، مسألهٔ کنترل موجودی به صورت یک مدل موجودی چند معیاره - چند تصمیم‌گیرنده در یک ساختار غیر سری زنجیره عرضه با تقاضای احتمالی بررسی شده است. در این مدل توسعه یافته، یک زنجیره عرضه در چهار شرکت در نظر گرفته شده است به‌نحوی‌که در هر شرکت، یک تصمیم‌گیرندهٔ مستقل وجود دارد. این مسألهٔ کنترل موجودی چند معیارهٔ با در نظر گرفتن سه معیار در حالتی که تقاضا احتمالی و دارای توزیع یکنواخت است برای هر یک از شرکت‌ها حل می‌شود. معیارهای به کار گرفته شده عبارتند از: متوسط سرمایهٔ موجودی، تعداد سفارش‌ها در سال و ریسک خالی بودن از موجودی.

کلمات کلیدی

مدل موجودی چند معیاره، زنجیرهٔ عرضه، تقاضای احتمالی، توزیع یکنواخت

Design of a Multi Criteria – Multi Decision Maker Inventory Model in a Non-Serial Supply Chain with Stochastic Demands

S.M.T. Fatemi Ghom; N. Asadi; R. Tavakkoli-Moghaddam

ABSTRACT

Inventory control and planning can provide a continuous supply of products as well as JIT inventory. It is costly by using up some resource. Traditionally, inventory models have included a cost coefficient to each resource and thus created a single cost-oriented equation to be minimized with or without constraints. Nowadays, the concept of supply chain in inventory control models is widely extended. This paper considers inventory control problems in supply chain as a multi criteria - multi decision makers inventory model in a non-serial supply chain with stochastic demands holding uniform distribution. In this developed model, we consider the supply chain in four companies in which there is only one independent decision maker in each company. Finally, this multi-criteria inventory control problem considering three criteria in a stochastic demand is solved for each company. These criteria are as follows: average inventory capital, number of orders per year, and risk of stockouts.

KEYWORDS

Multi-criteria inventory model, Supply chain, Stochastic demand, Uniform distribution.

[i] استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر Fatemi@aut.ac.ir

[ii] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[iii] دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

۱- مقدمه

امروزه به تولید بعنوان یک سلاح رقابتی نگریسته می‌شود که در نتیجه این نگرش، کارخانجات تولیدی در محیطی کاملاً تغییر یافته قرار گرفته‌اند. در نتیجهٔ این نگرش سازمان‌های امروزی باید بتوانند در کلاس جهانی رقابت کرده و مشتری گرایی را سرلوحه کار خود قرار دهند. همچنین آنها باید انعطاف، سرعت و کیفیت بالا داشته باشند تا بتوانند در این رقابت، زنده بمانند.

موفقیت در این امر، تنها به عملکرد کارخانه ای که تولید نهایی محصول را انجام می‌دهد، بستگی ندارد؛ بلکه عوامل بسیاری روی این اهداف تاثیر گذارند که ممکن است از حیطهٔ سازمانی آن کارخانه خارج باشند. بدیهی است که ایجاد هماهنگی و یکپارچگی میان مراحل مختلفی که به هریک از عوامل فوق منجر می‌شوند برروی رقابت پذیر بودن محصول یا خدمات مورد ارائه تاثیر مستقیم خواهد گذاشت. این تفکر، یا همان ایجاد یکپارچگی میان سطوح مختلف تامین مواد و قطعات، تولید و توزیع محصول؛ که به تفکر زنجیرهٔ عرضه معروف شده است، در دههٔ اخیر، مورد توجه بسیاری از صنایع قرار گرفته است [۷-۱].

در دیدگاه زنجیرهٔ عرضه، تمامی شرکت‌هایی که در تولید محصول نقشی دارند، مانند حلقه‌های یک زنجیر به‌هم متصلند و سعی دارند به مصرف کنندهٔ نهایی محصول خدمت بهتری ارائه دهند. شرکت‌های متعلق به یک زنجیره تا حد امکان به‌یکدیگر کمک می‌کنند و تنها به ارتقای خود فکر نمی‌کنند و اطلاعات موجود در یک شرکت تنها به آن شرکت متعلق نیست، بلکه به تمامی اعضاء زنجیرهٔ متعلق است. به همین خاطر، در یک زنجیرهٔ عرضه، تبادل اطلاعات میان اعضای آن، نقشی بنیادی ایفا می‌کند. چرا که زنجیرهٔ عرضه شامل شبکه‌ای از شرکت‌هاست که ضمن دنبال کردن هدف واحد عملکرد بهینهٔ کل زنجیره، هریک تصمیم گیرندگانی مستقل دارند و در حقیقت، در یک زنجیرهٔ عرضه با یک تصمیم گیرندهٔ واحد مواجه نیستیم؛ بلکه حداقل به تعداد اجزای موجود در شبکه یا زنجیره، تصمیم گیرنده وجود دارد. لذا نیل به عملکرد بهینهٔ زنجیره میسر نیست؛ مگر در صورتی که میان تصمیم‌گیرندگان هریک از شرکت‌ها یا اجزای زنجیره، مبادلهٔ مداوم و صحیح اطلاعات صورت گیرد.

یکی از فاکتورهای اصلی تاثیرگذار در مدیریت زنجیرهٔ عرضه، طبیعت تقاضای مشتری است که شدیداً در طی دهه‌های گذشته تغییر کرده است. طبیعت تقاضای مشتری به تمامی اعضای زنجیره القا می‌کند که بر روی کنترل موجودی خود به‌طور بهینه تصمیم‌گیری کنند. نگهداری بیشتر موجودی سبب تامین مداوم و بموقع محصول برای مشتری می‌شود. در عین حال، نگهداری موجودی باعث صرف منابع بیشتر و در نتیجه، دربر گیرندهٔ هزینهٔ بیشتر نیز هست؛ و به همین دلیل، بسیاری از شرکت‌ها سیستم بدون موجودی یا JIT را ترجیح می‌دهند و بسیاری دیگر نیز ناگزیر به نگهداری موجودی هستند و در نتیجه، تصمیم‌گیری در خصوص اتخاذ سیاست‌های نگهداری و کنترل موجودی برای ایشان بسیار حائز اهمیت است.

مبحث فوق، یعنی طراحی و حل یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره برای کنترل موجودی در یک زنجیرهٔ عرضه، موضوعی است که این مقاله بدان می پردازد.

نخستین مطالعات روی کنترل موجودی چند معیاره به‌وسیله براون [۸] انجام شد که میان تعداد سفارش‌های سالیانه و مقدار سفارش در هر سیکل بهینه سازی انجام داده بود.

استار و میلر [۹] یک مسألهٔ کنترل موجودی را به‌صورت یک مسألهٔ دو معیاره در نظر گرفتند که اهداف آن سرمایهٔ موجودی و تعداد سفارش‌ها بود. آنها در شرکت مورد مطالعهٔ خود دریافتند که حاصلضرب سرمایهٔ ذخیره در میزان سفارش‌ها یک مقدار ثابت است. سپس براین اساس یک منحنی رسم کردند که شرکت می‌توانست سیاست کنترل موجودی خود را از روی آن تعیین کند.

پریچارد و ایگل [۱۰] و پس از آن هم پلاسل و ویت [۱۱] روش‌هایی برای به‌دست آوردن و رسم این منحنی ارائه کردند.

گاردنر و دنبرینگ [۱۲] یک مسالهٔ چند معیارهٔ کنترل موجودی را با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی و معرفی سطح سرویس، به‌عنوان یک تابع هدف جدید در نظر گرفتند. سطح سرویس به‌صورت درصد کمبود موجودی بیان می‌شد. بار کاری به‌وسیله تعداد ذخیره‌های انجام شده در سال اندازه گیری می‌شد. سرمایه، عبارت بود از مجموع دوره‌ها و ذخیره‌های ایمن. با استفاده از این سه تابع هدف آنها جواب‌هایی به‌دست می‌آوردند که اساساً جزو جواب‌های غیرپست بود. با انتخاب یک نقطه، که روی این سطح قرار داشت، آنها اطمینان حاصل می‌کردند که سیاست اتخاذ شده مؤثر است. مقاله همچنین یک مرور بر ادبیات انجام شده بر تئوری موجودی چند معیاره انجام و نیز روش‌هایی را برای تجزیه و تحلیل جواب‌های مؤثر ارائه می‌داد.

الشر و اشنایدر [۱۳] همین مدل و هدف را با روش حل دیگری دنبال کرد.

بوک بایندر و چن [۱٤] مدلی برای حل مسأله‌ای دو معیاره در یک سیستم دو مرحله ای ارائه کردند. آنها حالت یک انبار مرکزی و یک خرده فروش را درنظر گرفتند. ابتدا آنها مسأله را

برای حالت تقاضای قطعی حل کردند. دو معیاری که آنها درنظر گرفتند عبارت بود از: ۱- کل هزینهٔ سفارش و هزینه نگهداری و ۲- هزینه حمل و نقل. این مسأله به‌صورت یک مسألهٔ غیرخطی برنامه‌ریزی عدد صحیح حل شد.

برای فرموله کردن مساله، آنها فرض مهمی را درنظر گرفتند که ارتباط میان مقدار سفارش در انبار و مقدار سفارش در خرده فروش‌ها بود. آنها فرض کردند که مقدار سفارش در انبار یک مضرب صحیح از مقدار سفارش در خرده فروش‌هاست. این فرض بر مبنای یک مقاله از کراوستون و همکاران [۱۵] بود.

لئونارد و ری [۱۶]، یک روش شبیه‌سازی برای مسألهٔ چند معیاره در نظر گرفتند. سه معیاری که در نظر گرفتند عبارت بود از: سطح متوسط ذخیره، تعداد کمبودها در سال (سطح سرویس مشتری) و بارکاری. نتیجه این مدل، جواب‌های غیرپست را بصورت تقریبی به‌دست می‌داد.

آگرل [۱۷]، مسألهٔ سه معیاره را برای یک محصول حل کرده است. سه معیار عبارتند از: هزینهٔ سالیانهٔ کل، تعداد پیشامدهای کمبودهای مورد انتظار در سال و تعداد اقلامی که در هر پیشامد دچار کمبود شده اند. روش حل او یک روش واکنش مقابل است و از میکروسافت اکسل برای حل آن استفاده کرده است.

در گزارشی از تحقیقات IBM به اتل و همکاران [۱۸] تصمیم‌گیری‌هایی روی زنجیرهٔ عرضه بررسی شده است. تصمیم‌گیری میان سرمایه و سطح سرویس است. آنها هر گره را در زنجیرهٔ عرضه به‌عنوان یک منبع موجودی فرض کرده‌اند و با تقریب‌هایی عملکرد و سطح سرویس هر گره را به‌دست آورده‌اند. در نهایت، مصرف کننده می‌تواند با انتخاب سطح سرویس موردنیاز، سیاست کنترل موجودی را دریافت کند.

پیرتو فرناندز [۱۹] مسألهٔ چند معیاره را برای یک شرکت در نظر گرفتند و در آن سفارش‌های به تأخیر افتاده را نیز منظور کردند. مسأله برای هر دو حالت تقاضای قطعی و احتمالی حل شد. دو معیار مور دنظر ایشان هزینه سفارش و هزینه کمبود بود.

نکته لازم به ذکراین است که در مقالات فوق و نیز در سایر مطالعات، مقالات و بررسی‌های دیگر که پیرامون کنترل موجودی، زنجیره عرضه و تصمیم گیری مورد مطالعه قرار گرفت مسألهٔ وجود "چند تصمیم‌گیرنده" در زنجیره مشاهده نشد. تنها موردی که این مسأله را در اصول تحقیق خود به کار گرفته است تیرومالای [۲۰] است که این مقاله، توسعه‌ای است بر پایان‌نامه دکترای ایشان که در دانشگاه پنسیلوانیا ارائه شده است.

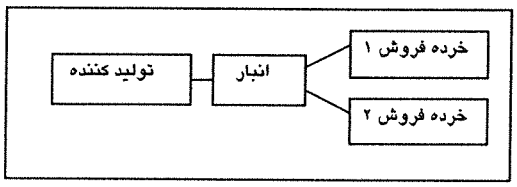
تیرامالای [۲۰]، مسألهٔ چند معیاره را در یک زنجیرهٔ عرضهٔ سه جزئی؛ که اجزای آن به‌صورت سری قرار گرفته‌اند، مطرح می‌کند و آن را برای حالتی که تقاضا قطعی است حل و فصل می‌کند. نقش تصمیم گیرنده و راه حل ابتکاری به کاررفته در این پایان‌نامه شایان توجه است و به‌طور محسوس، مسألهٔ چند تصمیم‌گیرنده بودن و نقش آنها را در راه حل نهایی؛ که برای اتخاذ سیاست موجودی به کار رفته است، نشان می‌دهد.

مبنای کار تیرامالای، اساس این مقاله فرض شده است. در این مقاله، با فرض تقاضا به‌صورت احتمالی و برای توزیع یکنواخت مسألهٔ چندمعیاره چند تصمیم‌گیرنده برای یک زنجیرهٔ عرضه ٤ جزئی؛ که شامل یک تولید کننده، یک انبار مرکزی و دو خرده فروش است، مطرح و حل می‌شود.

۲- مدل تصمیم‌گیری چند معیاره در یک زنجیرهٔ عرضهٔ چهار جزئی

سیستم مورد بررسی، یک زنجیرهٔ عرضه چهار جزئی است که شامل یک تولید کننده، یک انبار مرکزی و دو خرده فروش است که به‌طور موازی با انبار مرکزی در تبادل هستند. شکل (۱) تصویر کلی زنجیرهٔ مورد بحث را نشان می‌دهد.

فرض بر این است که در هریک از اجزای زنجیره یا تک شرکت‌ها، یک تصمیم‌گیرنده موجود است که تعیین سیاست‌های کنترل موجودی آن شرکت به عهدهٔ اوست.



شکل (۱): تصویر کلی از زنجیره مورد بررسی

فرض بر این است که در هریک از اجزای زنجیره یا تک شرکت‌ها یک تصمیم‌گیرنده وجود دارد که تعیین سیاست‌های کنترل موجودی آن شرکت به عهدهٔ اوست. بنابراین، در هر شرکت، یک مسألهٔ چند معیاره وجود دارد که بهینه ساختن آن به عملکرد بهینهٔ تک شرکت منجر خواهد شد؛ اما ازآنجا که عملکرد بهینهٔ تک تک اعضای زنجیره، الزاماً به معنای رفتار بهینهٔ زنجیره نیست، لذا در سطح بعدی، مسألهٔ چند معیارهٔ زنجیره مطرح می‌شود که در ادامه مقاله به هر دو سطح طرح مسأله پرداخته خواهد شد.

سایر فرضیات به کار گرفته شده در این قسمت عبارتند از:

۱- در کل زنجیره، تنها یک محصول تبادل می‌شود.

۲- جریان محصول از تولید کننده به سمت خرده فروش‌هاست و تقاضا در جهت عکس و در طول زنجیره از خرده فروش‌ها به سمت تولید کننده منتقل می‌شود.

۳- تقاضا به‌صورت احتمالی و تابع توزیع آن یکنواخت فرض شده است.

٤- زمان تدارک ثابت فرض شده است.

٥- سیاست مرور پیوسته (Q, r) در تمامی اجزای زنجیره به کار می رود.

٦- متوسط کمبود در مقایسه با موجودی متوسط ناچیز است.

۷- در ظرفیت‌ها و قیمت‌ها محدودیت وجود ندارد.

۸- ذخیره ایمنی هر جزء مقداری است مثبت.

۹- نرخ متوسط موجودی ثابت است.

۲-۱- تعریف توابع هدف

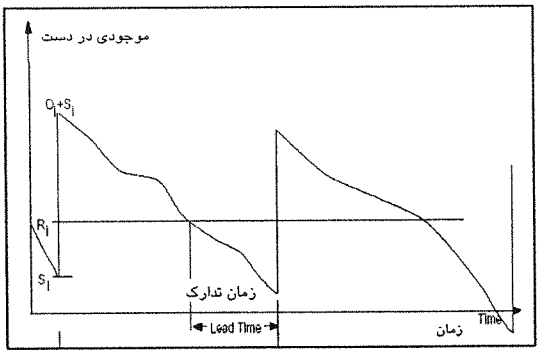
در بیشتر مدل‌های پیشین، انواع هزینه‌های موجود در نگهداری موجودی محاسبه و با به‌دست آوردن مجموع آنها، یک مسألهٔ تک هدفه حاصل می‌شد که بهینه‌سازی آن معادل با حل مدل بود.

علی‌رغم وجود فرضیات آسان کننده در فرموله کردن این تابع هدف‌ها، همچنان محاسبهٔ انواع هزینه‌ها در عمل دشوار است. در مدل حاضر با فرض چند معیاره بودن سیستم، سه تابع هدف؛ که در عمل قابل محاسبه شدن هستند، در نظر گرفته شده است. همچنین در مدل‌های قبلی، تصمیم‌گیرنده تنها یک نفر در نظر گرفته می‌شود؛ در حالی‌که در زنجیرهٔ عرضه، شرکت‌ها تصمیم‌گیرندگان مستقل دارند. در مدل حاضر نیز این ماهیت چند تصمیم‌گیرندگی در زنجیرهٔ عرضه منظور شده است. در هر چهار شرکت و در زنجیره، توابع هدف یکسانند.

۲-۱-۱- توابع هدف تک شرکت‌ها

سرمایه موجودی مورد انتظار

هر جا که کالایی به‌صورت موجودی نگهداری شود، مقداری سرمایه راکد مانده است که حداقل کردن آن می‌تواند به‌عنوان یکی از اهداف مسألهٔ چند معیاره مطرح شود. بنابراین، چنانچه در شکل (۲) پیداست، در زمان رسیدن یک سفارش، موجودی مورد انتظار در شرکت i برابر با ذخیرهٔ ایمنی (Si) است. بعد از رسیدن سفارش (Qi) موجودی مورد انتظار به $Qi+Si$ می‌رسد. بنابراین، موجودی بین Qi و $Qi+Si$ تغییر می‌کند.



شکل (۲): الگوی موجودی برای تقاضای تصادفی

در نتیجه، مقدار متوسط موجودی در یک سیکل عبارت است از:

$$(1/2)(Qi+Si) +(1/2)Si =(1/2)Qi+ Si$$

بنابراین، مقدار مورد انتظار سرمایه موجودی به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$Z_1^i =(1/2)(Qi +Si\ )\ Ci$$

تعداد سفارش‌های مورد انتظار

تعداد سفارش‌های مورد انتظار در یک سیکل بررسی، برابراست با نسبت تقاضای مورد انتظار به مقدار سفارش، یعنی:

$$Z_2^i =(\frac{D}{Q_i})$$

بنابراین، حداقل شدن تعداد سفارش‌ها، معادل است با زیاد شدن مقدار سفارش در هر نوبت؛ که با هدف پیشین در تضاد است.

سطح سرویس مشتری

سطح سرویس مشتری را به‌صورت ریسک خالی بودن از موجودی تعریف می کنیم و احتمال آن است که تقاضا از مقدار ذخیرهٔ ایمنی بیشتر و به کمبودمنجر شود. بنابراین، اگر تابع چگالی احتمال تقاضا $f(x)$ باشد و با توجه به اینکه تقاضا از توزیع یکنواخت برخوردار و مقادیر آن محدود به بازهٔ (a, b) است داریم:

$$Z_3^i =\int_{S_i}^{b_i} \frac{1}{b_i -a_i} dx =\frac{b_i -S_i}{b_i -a_i}$$

ریسک مواجه شدن با کمبود، با افزایش مقدار ذخیرهٔ ایمنی، کاهش می‌یابد. بنابراین، مشاهده می‌شود که این هدف نیز با هدف نخست، که کاهش سرمایه موجودی است، در تضاد است.

۲-۱-۲- توابع هدف زنجیره

سرمایه موجودی مورد انتظار

سرمایه موجودی مورد انتظار زنجیره به‌صورت حاصل جمع سرمایه‌های موجودی شرکت‌های عضو زنجیره تعریف

می‌شود و عبارت است از:

$$Z_1 = \sum_{i=1}^{4} (Qi + Si)\, Ci$$

تعداد سفارش‌های مورد انتظار

تعداد سفارش‌های مورد انتظار در زنجیره نیز عبارت است از حاصل جمع تعداد سفارش‌های مورد انتظار شرکت‌های عضو زنجیره.

$$Z_2 = \sum_{i=1}^{4} (\frac{D}{Q_i})$$

سطح سرویس مشتری

سطح سرویس مشتری در زنجیره نیز به‌صورت احتمال مواجه شدن زنجیره با کمبود تعریف می‌شود. احتمال ایجاد کمبود در هریک از اجزای زنجیره را با $P(i)$ نشان می‌دهیم. احتمال کمبود در زنجیره عبارت است از:

$$P(SC) = P(1) + P(2) + P(3) + P(4) - P(1\cap 2) - P(1\cap 3) - P(2\cap 3) - P(1\cap 4) - P(2\cap 4) - P(3\cap 4) + P(1\cap 2\cap 3\cap 4) + P(1\cap 2\cap 3)\ P(1\cap 2\cap 4) + P(2\cap 3\cap 4)$$

با توجه به اینکه رضایت مشتری در زنجیره از اهمیت بالایی برخوردار است. احتمال آنکه به‌طور همزمان دو یا بیشتر از اجزای زنجیره دچار کمبود شوند بسیار ناچیز فرض می‌شود. بنابراین:

$$P(SC) = P(1) + P(2) + P(3) + P(4) =$$

$$Z_3 = \sum_{i=1}^{4} \int_{S_i}^{b_i} f(x)dx = \frac{b_i - S_i}{b_i - a_i}$$

۲-۲- طرح مسأله

مسألهٔ چند معیاره در دو سطح مطرح می‌شود: سطح اول عبارت است از مسائل چند معیارهٔ تک شرکت‌ها و سطح دوم مسألهٔ چند معیارهٔ زنجیره است. بدیهی است که عملکرد بهینهٔ تک شرکت‌های زنجیره، الزاماً به معنی عملکرد بهینهٔ زنجیره نیست. این مطلب را با یک مثال ساده بررسی می‌کنیم:

یک زنجیرهٔ ساده متشکل از دو جزء را در نظر بگیرید؛ قیمت کالا در هر شرکت به‌ترتیب: C_1=4 و C_2=16 است. تقاضا در سیستم قطعی و برابر ۲۰۰ واحد فرض می‌شود. فرض می‌کنیم توابع هدف عبارتند از سرمایهٔ موجودی و تعداد سفارش‌ها. حال دو خط مشی زیر را در نظر می‌گیریم:

خط مشی اول: هریک از شرکت‌ها بترتیب مقادیر Q_1=10 و Q_2=2 را به‌عنوان مقادیر سفارش بهینهٔ خود انتخاب کرده‌اند. با در نظر گرفتن توابع هدف، خواهیم داشت:

توابع هدف شرکت ۱:

$Z_1^{\frac{1}{1}} = (Q_1C_1/2) = 10*40/2 = 20$

$Z_1^{\frac{1}{2}} = (D/Q_1) = 200/10 = 20$

توابع هدف شرکت ۲:

$Z_2^{\frac{1}{1}} = (Q_2C_2/2) = 2*16/2 = 16$

$Z_2^{\frac{1}{2}} = (D/Q_2) = 200/2 = 100$

توابع هدف زنجیره:

$SCIC = (Q_1C_1/2) + (Q_2C_2/2) = 36$

$SCNO = (D/Q_1) + (D/Q_2) = 120$

خط مشی دوم: این بار مقادیرسفارش به‌ترتیب برابر Q_1=5 و Q_2=2.5 است.

توابع هدف شرکت ۱:

$Z_1^{\frac{1}{1}} = (Q_1C_1/2) = 5*40/2 = 10$

$Z_1^{\frac{1}{2}} = (D/Q_1) = 200/5 = 40$

توابع هدف شرکت ۲:

$Z_2^{\frac{1}{1}} = (Q_2C_2/2) = 2.5*16/2 = 20$

$Z_2^{\frac{1}{2}} = (D/Q_2) = 200/2.5 = 80$

توابع هدف زنجیره:

$SCIC = (Q_1C_1/2) + (Q_2C_2/2) = 30$

$SCNO = (D/Q_1) + (D/Q_2) = 120$

چنانچه مشاهده می‌شود، در خط مشی دوم، در شرکت ۱، تعداد سفارش‌ها افزایش یافته است، در حالی‌که توابع هدف زنجیره در خط مشی دوم نتایج بهتری نسبت به خط مشی اول نشان می‌دهند.

بنابراین، در طرح مسأله باید هر دو سطح (تک شرکت‌ها، زنجیره) در نظر گرفته شود. در بهینه‌سازی سطح اول، تصمیم‌گیرندگان هر یک از شرکت‌ها، پاسخ‌های بهینهٔ مسألهٔ چند معیارهٔ شرکت خود را بدست می‌آورند و آن دسته از پاسخ‌های بهینهٔ مسائل تک معیاره، که در شرایط غیر پست بودن زنجیره صدق کنند، انتخاب می‌شوند.

۲-۲-۱- مسألهٔ چند معیاره تک شرکت‌ها

$$Z_1^{i} = (\frac{1}{2}Qi + Si)\, Ci$$

$$Z_2^{i} = (\frac{D}{Q_i})$$

$$Z_3^{i} = \int_{S_i}^{b_i} f(x)\, dx = \frac{b_i - S_i}{b_i - a_i}$$

Subject to $Q_i ; S_i \geq 0$

۲-۲-۲- مسألهٔ چندمعیاره زنجیره

$$Z_1^i = \sum_{i=1}^{4} \left(\frac{1}{2} Q i + S i\right) C i$$

$$Z_2^i = \sum_{i=1}^{4} \left(\frac{D}{Q_i}\right)$$

$$Z_3^i = \sum_{i=1}^{4} \int_{S_i}^{b_i} f(x)\, dx = \sum_{i=1}^{4} \frac{b_i - S_i}{b_i - a_i}$$

Subject to $Q_i ; S_i \geq 0$

۲-۳- حل مسألهٔ چند معیاره تک شرکت

برای حل مسألهٔ چند معیاره تک شرکت از روش معیار جهانی استفاده می‌کنیم:

$$Z = \min \left(\frac{Z_1^* - \left(\frac{Q_i}{2} + S_i\right) C_i}{Z_1^*} \right)^2 + \left(\frac{Z_2^* - \left(\frac{D}{Q_i}\right)}{Z_2^*} \right)^2 + \left(\frac{Z_3^* - \frac{b_i - S_i}{b_i - a_i}}{Z_3^*} \right)^2$$

Subject to $Q_i ; S_i \geq 0$

مقادیر Z_i^* با حل تک تک توابع هدف به‌دست می‌آید. در واقع، سه مسألهٔ برنامه‌ریزی تک متغیره (یک مسألهٔ خطی و دو مسألهٔ غیر خطی) به‌ترتیب ذیل باید حل شوند. برای واقعی‌تر بودن پاسخ‌ها از تصمیم‌گیرندگان می‌خواهیم که حد بالا و پایینی را برای مقادیر Q و S در نظر بگیرند:

$$\min Z = \left(\frac{D}{Q_i}\right)$$

Subject to $Q_i ; S_i \geq 0$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max}$$

$$S_i^{\min} \leq S_i \leq S_i^{\max}$$

$$\min Z = \left(\frac{1}{2} Q_i + S_i\right) C_i$$

Subject to $Q_i ; S_i \geq 0$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max}$$

$$S_i^{\min} \leq S_i \leq S_i^{\max}$$

$$\min Z = \frac{b_i - S_i}{b_i - a_i}$$

Subject to $Q_i ; S_i \geq 0$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max}$$

$$S_i^{\min} \leq S_i \leq S_i^{\max}$$

جواب‌های بهینهٔ حاصل از سه مسألهٔ فوق در مسألهٔ معیار جهانی قرار گرفته و جواب‌های مسألهٔ چند معیارهٔ تک شرکت‌ها بدست می‌آید.

۲-۴- تعیین نقاط غیر پست

می‌دانیم که مجموعهٔ جواب‌های غیر پست یک مسألهٔ چند معیاره برابر است با مجموعهٔ جواب‌های بهینهٔ مسألهٔ تک معیاره‌ای که از ترکیب خطی توابع هدف مسألهٔ چند معیاره تشکیل شده است.

ضرایب مرتبط کننده هر معیار به‌ترتیب λ_{IC}، λ_{NO} و λ_{CS} هستند و مسألهٔ تک معیاره معادل عبارت است از:

$$\min Z = \lambda_{IC} \sum_{i=1}^{4} \left[\left(\frac{1}{2} Q_i + S_i\right) C_i\right] + \lambda_{NO} \sum_{i=1}^{4} \frac{D}{Q_i} + \lambda_{CS} \sum_{i=1}^{4} \frac{b_i - S_i}{b_i - a_i}$$

Subject to $Q_i ; S_i \geq 0$

$$\lambda_{IC}, \lambda_{NO}, \lambda_{CS} \geq 0$$

بنابراین، یک مسألهٔ برنامه‌ریزی غیرخطی چند بعدی با محدودیت داریم که باید شرایط کهن و تاکر در مورد آن بررسی شود و پیش از آن باید محدب بودن تابع هدف مشخص شود.به همین منظور، ابتدا ماتریس هشین را تشکیل می‌دهیم:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial^2 Z}{\partial Q_i^2} & \frac{\partial^2 Z}{\partial Q_i \partial S_i} \\ \frac{\partial^2 Z}{\partial S_i \partial Q_i} & \frac{\partial^2 Z}{\partial S_i^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\lambda_{NO} D}{Q_i^3} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

بررسی شرایط کهن و تاکر

1) $-S_i \leq 0 \qquad -Q_i \leq 0$

$$-\lambda_{IC} \leq 0 \quad , -\lambda_{IC} \leq 0 \quad , \quad -\lambda_{IC} \leq 0$$

2) $U_1 Q_1 = 0 \qquad U2\, S_i = 0$

$$U_3\, \lambda_{IC} = 0 \, , U_4\, \lambda_{NO} = 0 \, , \, U_5\, \lambda_{CS} = 0$$

3) $\nabla Z(Q_i, S_i) - \sum U_i G_i = 0$

4) $U_i \geq 0$

با توجه به اینکه محدودیت‌های هریک از متغیرها فقط بزرگ‌تر یا مساوی صفر بودن است شرط سوم و چهارم منجر خواهند شد به مساوی صفر قراردادن گرادیان Z نسبت به هر یک از متغیرها؛ و در نتیجه خواهیم داشت:

$$(\partial Z / \partial Q_i) = 0 \;\Rightarrow\; \frac{\lambda_{IC} C_i}{2} - \frac{\lambda_{NO} D}{Q_i^2} = 0 \;\Rightarrow$$

$$Qi = \sqrt{\frac{2D\lambda_{NO}}{C_i \lambda_{IC}}}$$

$$(\partial Z / \partial S_i) = 0 \;\Rightarrow$$

$$C_i \lambda_{IC} - \lambda_{CS} \frac{1}{(b_i - a_i)} = 0 \quad \Rightarrow$$

$$(\lambda_{IC} / \lambda_{CS}) = \frac{C_i}{(b_i - a_i)}$$

چنانچه مشاهده می‌شود، روابط فوق بین متغیرها و مقادیر ثابت مساله برقرار است. نکتهٔ قابل ذکر اینکه در شرایط مذکور S_i حذف شده است. بنابراین، S_i های حاصل از تک شرکت‌ها را می‌توان ثابت نگاه داشت.

۲-۵- حل مسألهٔ چند معیاره - چند تصمیم‌گیرندهٔ زنجیره

با توجه به روابط بدست آمده در قسمت (۲-٤) برای دو جزء i و j در زنجیره داریم:

$$\frac{Q_i}{Q_j} = \sqrt{\frac{C_j}{C_i}}$$

بنابراین، اگر بین جواب‌های به‌دست آمده از مسائل تک شرکت‌ها رابطهٔ فوق برقرار باشد، آن جواب‌ها جزو مجموعه جواب‌های غیر پست زنجیره خواهند بود. در غیر این‌صورت برای حل مسألهٔ چند معیاره - چند تصمیم‌گیرندهٔ زنجیرهٔ عرضه از روش پیشنهادی تیرامالای [۲۰] استفاده می شود.

روش وی یک روش ابتکاری است که مبنای آن شبیه به روش حدی است. می‌دانیم که در روش حدی همهٔ اهداف به جز یکی از آنها به‌صورت محدودیت در نظر گرفته شده و آن یک هدف حداکثر می‌شود. در روش پیشنهادی تیرامالای، در صورت برقرار نبودن شرط بهینگی، به محاسبهٔ نقاط بهبود پرداخته شده است. این نقاط بهبود به هریک از تصمیم‌گیرندگان خواهد گفت برای ایجاد تغییر برروی مقادیر Q_i و S_i را در راستای عملکرد بهینهٔ زنجیره و رفتن به سمت مجموعه جواب‌های غیر پست زنجیره باید چگونه باشد. بنابراین:

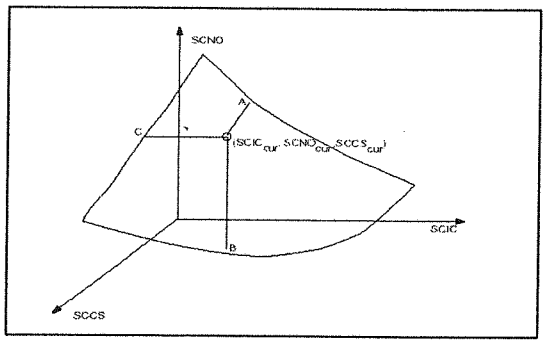
ابتدا از هر یک از شرکت‌ها می‌خواهیم که مقادیر بهینه Q_i و S_i را بر اساس حل مسألهٔ چند معیارهٔ شرکت خود محاسبه کند. به ازای مقادیر Q_i و S_i حاصل از حل مسألهٔ تک شرکت‌ها حساب می‌کنیم که هریک از توابع هدف زنجیره چه مقدار خواهد شد. مقادیر حاصل برای هر یک از توابع هدف را به‌ترتیب $SCIC^{cur}$، $SCNO^{cur}$ و $SCCS^{cur}$ می‌نامیم. شکل (۳) نقاط بهبود بر روی مجموعه جواب‌ها را نشان می‌دهد.

آنگاه در سه مرحله مقادیر به‌دست آمده برای توابع هدف را دو به‌دو ثابت نگهداشته و سومین تابع هدف را حداقل می‌کنیم:

۱) درمرحلهٔ اول، نقطه‌ای را روی مجموعه جواب‌های غیر پست زنجیره می‌یابیم که در آن $SCIC=SCIC^{cur}$ و $SCNO=SCNO^{cur}$ باشد و SCCS را حداقل کند: نقطهٔ A.

۲) در مرحلهٔ دوم، نقطه‌ای، را روی مجموعه جواب‌های غیر پست زنجیره به‌دست می‌آوریم که در آن $SCIC=SCIC^{cur}$ و $SCCS=SCCS^{cur}$ باشد و SCNO را کند: نقطهٔ B.

۳) درمرحلهٔ سوم، نقطهٔ C را روی مجموعه جواب‌های غیر پست زنجیره می‌یابیم که در آن $SCCS=SCCS^{cur}$ و $SCNO=SCNO^{cur}$ باشد و SCIC را حداقل کند.



شکل (۳): نقاط بهبود بر روی مجموعه جواب‌ها

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود در هر یک از نقاط A , B و C یکی از توابع هدف بهینه است. با محاسبه فواصل میان هر یک از نقاط تا نقطهٔ CUR و حداقل کردن آن در تکرارهای متوالی نقطه مذکور را به سمت بهینه شدن پیش می‌بریم. این فواصل به‌صورت زیر خواهند بود:

$$I^{IC} = \sqrt{(SCIC^{cur} - SCIC^{IC})^2}$$

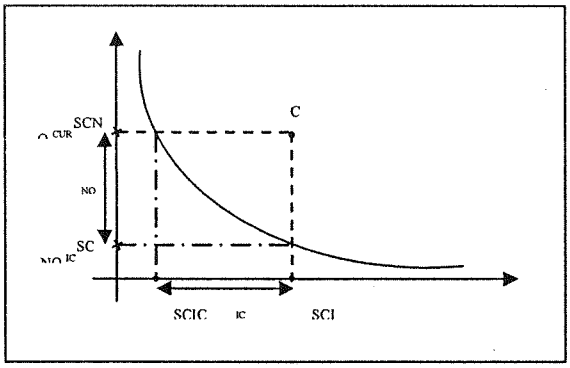
$$I^{NO} = \sqrt{(SCNO^{cur} - SCNO^{NO})^2}$$

$$I^{CS} = \sqrt{(SCCS^{cur} - SCCS^{CS})^2}$$

تکرارها تا زمانی ادامه می‌یابد که بزرگ‌ترین عدد از مقادیر فوق از یک مقدار معین کمتر شود.

همان‌طور که در قسمت (۲-٤) نیز ذکر شد، در مجموعه جواب‌های غیر پست، زنجیره شرط خاصی برای S_i ها بر قرار نیست. بنابراین، S_i های حاصل ازحل مسأله‌های چند معیارهٔ تک شرکت‌ها را می‌توان به‌عنوان پاسخ‌های بهینه در نظر گرفت؛ و به همین جهت، تابع هدف سوم زنجیره یا SCCS به‌دست می‌آید و یک معیار از سه معیار تصمیم‌گیری کاسته می‌شود.

روش تیرامالای را در دو بعد در نظر می‌گیریم:



شکل (۴): نقاط بهبود بر روی مجموعه جواب‌ها درحالت دو بعدی

با همان استدلال برای حالت سه معیاره، فرض می‌شود مقادیر IC و NO به ازای جواب‌های مسائل تک شرکت نقطهٔ CUR را به‌دست دهند. در مرحلهٔ اول با ثابت نگاه داشتن تعداد سفارش‌های، نقطه‌ای را روی مجموعه جواب‌های غیر پست زنجیره به‌دست می‌آوریم که سرمایهٔ موجودی حداقل شود (نقطهٔ B).

در مرحلهٔ دوم، سرمایهٔ موجودی ثابت نگاه داشته شده و تعداد سفارشات حداقل به‌دست می‌آید (نقطهٔ C). سپس مقادیر $SCNO^{IC}$ و $SCIC^{NO}$ و نیز ضرایب I^{IC} و I^{NO} به‌دست می‌آیند.

از روی مقادیر $SCNO^{IC}$ و $SCIC^{NO}$ می‌توان Q های متناظر را به‌دست آورد که به‌ترتیب Q^{IC} و Q^{NO} نامیده می‌شوند. اگر Q^{IC} و Q^{NO} هر دو از Q^{CUR} بیشتر بودند بدین معناست که نقاط مذکور خارج از محدودهٔ BC (به‌دست راست منحنی) هستند. به‌دست در این‌صورت، باید Q شرکت مربوطه افزایش پیداکند تا نقطهٔ CUR به‌طرف راست رانده شود. با همین استدلال می توان گفت که اگر Q^{IC} و Q^{NO} هر دو از Q^{CUR} کمتر بودند باید Q شرکت مربوطه کاهش پیدا کند و اگر یکی از آنها بیشتر و دیگری کمتر بود Q ثابت نگاه داشته می‌شود.

نقش تصمیم‌گیرندگان تک شرکت‌ها برروی عملکرد بهینهٔ زنجیره در این مرحله نمایان می‌شود. آنها با تغییر بر روی مقادیر سفارش سالانهٔ خود، علاوه بر تعیین عملکرد بهینهٔ شرکت خود، روی عملکرد بهینهٔ زنجیره نیز نقش دارند.

با تغییر Q ، مسأله و روش حل تکرار می‌شود و تا جایی که ضرایب I^{IC} و I^{NO} به یک معین برسند ادامه پیدا می کند. با حداقل کردن این ضرایب، نقاط B و C به سمت یکدیگر و به سمت نقطهٔ بهینه می‌روند.

مثال عددی

مشخصات اجزای زنجیره در جدول زیر آمده است. تقاضای مورد انتظار ۶۰۰۰۰ واحد در سال است و توزیع یکنواخت دارد.

	تولید کننده (i=۱)	انبار (i=۲)	خرده فروش (i=۳)	خرده فروش (i=٤)
قیمت کالا	20	75	120	150
a	200	100	200	100
b	900	800	750	900

مسألهٔ چند معیارهٔ شرکت ۱

$$Z_1^1 = (\frac{1}{2}Q_1 + S_1)\,C_1 = (\frac{1}{2}Q_1 + S_1)\,20$$

$$Z_2^1 = (\frac{D}{Q_1}) = (\frac{60000}{Q_1})$$

$$Z_3^1 = \frac{b - S_1}{b - a} = \frac{900 - S_1}{900 - 200}$$

$$\text{s.t.:}\quad 200 \le Q_1 \le 1200 \quad \text{و}$$

$$580 \le S_1 \le 880$$

حل مسألهٔ چند معیارهٔ شرکت ۱ با استفاده از روش معیار جهانی:

$$\min Z = \left(\frac{Z_1^* - (\frac{Q_i}{2} + S_i)C_i}{Z_1^*}\right)^2 + \left(\frac{Z_2^* - (\frac{D}{Q_i})}{Z_2^*}\right)^2 + \left(\frac{Z_3^* - \frac{b_i - S_i}{b_i - a_i}}{Z_3^*}\right)^2$$

با استفاده ازبرنامه Solver نرم افزار Excel ؛ که از الگوریتم GRG2 برای حل مسائل غیر خطی استفاده می‌کند مقادیر Q_1 و S_1 به‌دست می‌آیند (حلّ مساله فوق با نرم افزار Lingo نیز انجام و مطابقت خوبی حاصل شد). پس از به‌دست آمدن مقادیر Z، Q_1 و S_1 هریک از توابع هدف محاسبه می‌شوند:

Q_1	S_1		
200	580	Z_1	13600
1200	0	Z_2	50
0	880	Z_3	0.03

Z	1.01
Q_1	851.78
S_1	879.46

IC	26107.00
NO	70.44
CS	0.03

$200 \le Q_1 \le 1200$ و $580 \le S_1 \le 880$

به همین ترتیب، مسائل مربوط به شرکت‌های ۲، ۳ و ٤ نیز حل می‌شوند.

مسالهٔ چند معیارهٔ شرکت ۲

Q_2	S_2		
500	490	Z_1	55500
1000	0	Z_2	60
0	780	Z_3	0.02857

Z	0.13
Q_2	500.00
S_2	759.80

IC	75735.22
NO	120.00
CS	0.06

$500 \le Q_2 \le 1000$ و $490 \le S_2 \le 780$

مسالهٔ چند معیارهٔ شرکت ۳

Q_3	S_3		
400	435	Z_1	76200
1000	0	Z_2	60
0	735	Z_3	0.02727

IC	26107.00
NO	70.44
CS	0.03

$400 \le Q_3 \le 1000$ و $435 \le S_3 \le 735$

مسالهٔ چند معیارهٔ شرکت ۴

Q_4	S_4		
300	685	Z_1	125250
600	0	Z_2	100
0	885	Z_3	0.0375

IC	173224.12
NO	111.14
CS	0.04

$300 \le Q_4 \le 600$ $685 \le S_4 \le 885$

توابع هدف زنجیره بر اساس مقادیر حاضر Q_i و S_i در جدول زیر محاسبه شده است؛ همچنین با به‌دست آمدن مقادیر Q_i به محاسبهٔ نسبت‌های $\frac{Q_i}{Q_j}$ و $\sqrt{\frac{C_j}{C_i}}$ می‌پردازیم:

$\frac{Q_i}{Q_j}$	1	2	3	4
1		1.31	1.07	1.26
2			0.82	0.96
3				1.18
4				

$\sqrt{\frac{C_j}{C_i}}$	1	2	3	4
1		1.94	2.45	2.74
2			1.26	1.41
3				1.12
4				

مشاهده می‌شود که میان نسبت‌های متناظر، تساوی بر قرار نیست. بنابراین، برای محاسبهٔ نقاط بهبود بایست مسائل غیرخطی زیر را حل کنیم:

مسالهٔ ۱) حداقل کردن SCNO به ازای آنکه SCIC=$SCIC^{cur}$:

$$\min Z = \sum_{i=1}^{4} \sqrt{\frac{C_i D \lambda_{IC}}{2\lambda_{NO}}}$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{4} \left(\sqrt{\frac{C_i D \lambda_{NO}}{2\lambda_{IC}}} + S_i \right) = SCIC^{cur}$$

مسالهٔ ۲) حداقل کردن SCIC به ازای آنکه SCNO=$SCNO^{cur}$:

$$\min Z = \sum_{i=1}^{4} \left(\sqrt{\frac{C_i D \lambda_{NO}}{2\lambda_{IC}}} + S_i \;\; C_i \right)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{4} \sqrt{\frac{C_i D \lambda_{IC}}{2\lambda_{NO}}} = SCNO^{cur} + x$$

با حل مسألهٔ (۱) مقادیر $\lambda_{IC}, \lambda_{NO}$ و λ_{CS} و سپس مقادیر Q_i^{NO} و S_i^{NO} بدست می‌آیند. حل مساله (۲) مقادیر $\lambda_{IC}, \lambda_{NO}$ و λ_{CS} و سپس مقادیر Q_i^{IC} را به‌دست می‌دهد. نتایج حاصل و نیز جهت تغییر در تکرارهای بعد، در جداول زیر خلاصه شده‌اند:

	Current		Imp. point 1	
	Qi	*Si*	Q_i	S_i
1	851.78	879.46	1388.39	879.46
2	500.00	759.80	716.96	759.80
3	750.73	734.73	566.81	734.73
4	539.86	884.90	506.97	884.90
SCIC	408278	408278	399291	408278
SCNO	381.5	351.11	381.5	381.5
SCCS	0.1523	0.1523	0.1523	0.1523

	Imp. point 2		Direction	
	Q_i	S_i	Q_i	S_i
1	1277.78	879.46	+	+
2	659.84	759.80	+	-
3	521.65	734.73	-	-
4	466.58	884.90	-	-
SCIC	408278	399291		
SCNO	351.11	381.5		
SCCS	0.1523	0.1523		

Direction	Imp. point 2		Direction	
S_i	Q_i	S_i	Q_i	S_i
+	+	+	+	+
-	+	-	+	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
SCIC	398976		398976	
SCNO	382.67		382.67	
SCCS	0.1523		0.1523	

	CUR
SCIC	408278.19
SCNO	381.50
SCCS	0.15

نتایج نهایی پس از ۱۰ تکرار به‌صورت زیر بدست می‌آید:

	Current	
	Q_i	S_i
1	1146.8	879.46
2	500	759.8
3	400.73	734.73
4	324.86	884.9
SCIC	374103	
SCNO	506.74	
SCCS	0.1523	

۳- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره - چند تصمیم‌گیرنده برای کنترل موجودی در یک زنجیرهٔ عرضه چهار جزئی ارائه و حل می‌شود. تقاضا، تصادفی فرض شده و برای توزیع یکنواخت بررسی شده است. معیارهای تصمیم‌گیری در هر سه حالت عبارتند از: سرمایهٔ موجودی، تعداد سفارش‌ها و احتمال مواجه شدن با کمبود.

در این مدل، که توسعه‌ای بر مدل "تیرامالای" است، از روش پیشنهادی وی برای حل مسأله استفاده می شود. در روش حل تیرامالای، مسالهٔ چند تصمیم‌گیرنده بودن و نقش تصمیم گیرنده‌ها در تغییراتی که در تکرارهای حل مسأله باید ایجاد کرد، به‌طور محسوس مشاهده می‌شود و تفاوت این مدل با سایر مدل‌هایی که مورد مطالعه قرار گرفت در همین نکته بود.

در مدل‌های توسعه داده شده در این مقاله، فرضیات ساده کننده‌ای در نظر گرفته شده است که با ایجاد تغییر بر روی این فرضیات می‌توان مدل را در زمینه‌های دیگر توسعه داد. پیشنهادهایی که در این راستا می‌توانند مورد توجه قرار بگیرند عبارتند از:

- مدل حاضر برای یک زنجیرهٔ سادهٔ چهار جزئی در نظر گرفته شده است، در حالی‌که در واقعیت، در زنجیره‌های عرضه پیچیدگی‌های بیشتری وجود دارد که هریک می‌توانند موضوع یک مدل یا مسألهٔ جدید باشند.
- در مدل حاضر، بین متغیرهای شرکت‌ها روابط محدود کننده و اثرات متقابل در نظر گرفته نشده است، حال‌آنکه در عمل، شرکت‌های موجود در یک زنجیره بر روی یکدیگر تاثیر می‌گذارند.
- در این مدل، زمان تدارک ثابت فرض شده است، می‌توان مدل را برای زمان تدارک متغیر نیز در نظر گرفت.

٤- ضمائم: نماد گذاری

i : شمارهٔ اعضای زنجیره. برای تولید کننده $i=$۱ ، انبار $i=$۲ ، توزیع کنندهٔ اول $i=$۳ و توزیع کنندهٔ دوم $i=$٤ است.

a_i , b_i : پارامترهای توزیع یکنواخت.

D : تقاضای مورد انتظار (واحد در سال).

C_i: قیمت کالا (ریال).

Q_i : مقدار تولید یا مقدار سفارش در شرکت i در یک سیکل سفارش است (واحد).

S_i: ذخیرهٔ ایمنی شرکت i.

Z_1^i : مقدار مورد انتظار سرمایهٔ موجودی شرکت i.

Z_2^i : تعداد سفارش‌ها مورد انتظار شرکت i در سال.

Z_3^i : احتمال مواجه شدن با کمبود شرکت i.

$SCIC$: مقدار مورد انتظار سرمایهٔ موجودی زنجیره.

$SCNO$: تعداد سفارش‌ها مورد انتظار زنجیره.

$SCCS$: احتمال مواجه شدن با کمبود در زنجیره.

۵- مراجع

[۱] Handfield, R.B.; Nichols, E.L., JR.; *Introduction to Supply Chain Management*, Prentice Hall, 2000.

[۲] Staedtler, H.; Kilger, C.; *Supply Chain Management and Advanced Planning Systems*, Springer, 2000.

[۳] Lee; H.L.; Billington, C.; "*Material Management in Decentralized Supply Chains*", Operations Research, Vol. 41, No.5, pp.835-847, 1993.

[٤] Thomas; D.J.; Griffin, P.M.; "*Coordinated Supply Chain Management*", European Journal of Operational Research, Vol. 94, pp.1-15, 1996.

[٥] Taylor, D.H.; *Global Case in Logistics and Supply Chain Management*, Int. Thomson Press, 1997.

[٦] Ayers, J.; Ayers, J.B.; *Handbook of Supply Chain Management*, St. Luice, APICS, 2001.

[۷] Whang, H.S.; *Design of Supply-Chain logistics system Considering Service Level*, Computers and Industrial Engineering, Vol. 43, pp. 283-297, 2002.

[۸] Brown, R.G.; *Decision Rules for Inventory Management*, Holt, Rinehart and Winston, 1967.

[۹] Starr, M.K.; Miller, D.W.; *Inventory Control: Theory and Practice*, Prentice-Hall, 1962.

[۱۰] Prichard, J.W.; Eagle, R.H.; *Modern Inventory Management*, John Wiley & Sons, 1965.

[۱۱] Plossl, O.; Wight, W.; *Production and Inventory Control*. Prentice-Hall, 1967.

[۱۲] Jr Gardner, S.; Dannenbring, D.G.; "*Using Optimal Policy Surfaces to Analyze Aggregate Inventory Tradeoffs*", Management Science, Vol. 25, No. 8, pp. 709 720. 1979.

[۱۳] Alscher, J.; Schneider, H.; "*Resolving a Multi-Item Inventory Problem with Unknown Costs*", Engineering Costs and Production Economics, Vol. 6, pp. 9-15, 1982.

[۱٤] Bookbinder, J.H.; Chen, V.Y.X.; "*Multi-Criteria Trade-Off in a Ware House/Retailer System*", Journal of the Operational Research Society, Vol. 43, No. 7, pp. 707-720. 1992.

[۱٥] Crowston, W.B.; Wagner, M.; Williams, J.F.; "*Economic Lot Size Determination in Multi-Stage Assembly Systems*", Management Science, Vol. 19, pp. 517-527, 1973.

[۱٦] Lénard, J.D.; Roy, B.; "*Multi-Item Inventory Control: A Multi-Criteria View*", European J. of Operational Research, Vol. 87, pp. 685-692, 1995.

[۱۷] Agrell, P.J.; "*A Multi-criteria Framework For Inventory Control*", International Journal of Production Economics, Vol. 41, pp. 59-70, 1995.

[۱۸] Ettl, M.; Feigin, G.E.; Lin, G.Y.; Yao, D.D.; *A Supply Network Model with Base-Stock Control and Service Requirements*, Technical Report, IBM Research Report, 1996.

[۱۹] Puerto, J.; Fernandez, F.R.; "*Pareto-Optimality in Classical Inventory Problems*", Naval Research Logistics, Vol. 45, No. 1, pp. 83-98, 1998.

[۲۰] Thirumalai, R.; "*Multi Criteria - Multi Decision Maker Inventory Models For Serial Supply Chains*", PhD Thesis, Pennsylvania State University, 2001.