نشریه بین‌المللی علوم مهندسی، شماره ۴، جلد۱۷، پاییز ۱۳۸۵، صفحه ۲۱- ۱۳
دانشگاه علم و صنعت ایران

طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره - چند تصمیم‌گیرنده برای کنترل موجودی در یک ساختار غیرسری زنجیره عرضه با تقاضای احتمالی دارای توزیع نمایی

سید محمد تقی فاطمی قمی و نگین اســدی

چکیده: برای شرکت‌ها ضروری است که منابعی را که در اختیار دارند کنترل نمایند. هرچه یک شرکت در مدیریت منابع خود تواناتر باشد در رقابت با سایرین موفق‌تر خواهد بود. مدل‌های ریاضی در ایجاد راه حل‌هایی برای اداره کردن این منابع سودمند بوده‌اند. مدل‌های متداول موجودی یک ضریب هزینه را به هر عامل هزینه متصل کرده و یک معادلهٔ تک متغیره بر اساس هزینه ایجاد می‌کردند که با یا بدون محدودیت حل می‌شد. از آنجا که هر شرکت ساختار و محدودیت‌های متفاوت دارد به تعداد شرکت‌های موجود در دنیا می‌توان مدل داشت. امروزه ایدهٔ زنجیرهٔ عرضه در بسیاری از صنایع گسترش یافته است. توسعه منطقی‌ای که می‌توان بر مدل‌های موجودی اعمال کرد بررسی آن‌ها در زنجیرهٔ عرضه، شامل تولید کنندگان، توزیع کنندگان و خرده فروش‌ها است. یک زنجیره عرضه از تعدادی شرکت تشکیل شده است که هر کدام حداقل یک تصمیم‌گیرنده دارند. این مقاله مسالهٔ کنترل موجودی را در یک زنجیرهٔ عرضه بصورت یک مسالهٔ چند معیاره دارای چند تصمیم‌گیرنده مطرح می‌کند. مدل توسعه یافته، یک زنجیره عرضه شامل چهار شرکت است که عبارتند از یک تولید کننده، یک انبار و دو خرده فروش. تقاضای مشتریان توسط خرده فروش‌ها و تقاضای خرده فروش‌ها توسط انبار و تقاضای انبار توسط تولید کننده برآورده می‌شود. فرض بر این است که در هر شرکت یک تصمیم‌گیرندهٔ مستقل موجود است. ما مسالهٔ چند معیارهٔ کنترل موجودی را با در نظر گرفتن سه هدف در حالتی‌که تقاضا احتمالی و دارای توزیع نمایی است برای هریک از شرکت‌ها حل می‌کنیم. سپس پاسخ‌های حاصل از حل این مساله‌ها را برای حل مساله چند معیاره - چند تصمیم‌گیرندهٔ زنجیره به کار می‌بریم. مدل‌سازی و حل مساله برای توزیع احتمالی تقاضا دارای توزیع نمایی انجام می‌شود. معیارها عبارتند از سرمایهٔ موجودی، تعداد سفارشات در سال و ریسک خالی بودن از موجودی.

واژه‌های کلیدی: زنجیرهٔ عرضه، مدل، موجودی، تقاضای احتمالی، چند معیاره، چند تصمیم‌گیرنده

۱. مقدمه

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

موفقیت در این امرتنها 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 منجربه هریک از عوامل فوق می‌شوند تاثیر مستقیم بر روی رقابت‌پذیر بودن محصول یا خدمات مورد ارائه 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.

نسخه اصلی مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۷/۱۴ واصل، و پس از بازنگری‌های لازم، در تاریخ ۱۳۸۳/۴/۲۵ به تصویب نهایی رسیده است.

دکتر سید محمد تقی فاطمی قمی، استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، fatemi@aut.ac.ir.
نگین اسـدی، کارشناس ارشد مهندسی صنایع

Archive of SID
www.SID.ir

در دیدگاه زنجیرهٔ عرضه، تمامی شرکتهایی که نقشی در تولید محصول دارند مانند حلقه‌های یک زنجیر به‌هم متصلند و سعی در ارائه خدمت بهتر به مصرف کننده نهایی محصول دارند. شرکتهای متعلق به یک زنجیره تا حد امکان به یکدیگر کمک می‌کنند و تنها به ارتقاء خود فکر نمی‌کنند و اطلاعات موجود در یک شرکت تنها متعلق به آن شرکت نیست بلکه متعلق به تمامی اعضاء زنجیره می‌باشد. به همین جهت در یک زنجیرهٔ عرضه تبادل اطلاعات میان اعضاء آن، نقشی بنیادی ایفا می‌کند. چرا که زنجیرهٔ عرضه شامل شبکه ای از شرکتهاست که ضمن دنبال کردن هدف واحد عملکرد بهینهٔ کل زنجیره، هریک دارای تصمیم گیرندگانی مستقل هستند و در حقیقت در یک زنجیرهٔ عرضه با یک تصمیم گیرندهٔ واحد مواجه نیستیم، بلکه حداقل به تعداد اجزاء موجود در شبکه یا زنجیره، تصمیم گیرنده وجود دارد. لذا نیل به عملکرد بهینهٔ زنجیره میسر نیست مگر در صورتی که میان تصمیم گیرندگان هریک از شرکتها یا اجزاء زنجیره، مبادلهٔ مداوم و صحیح اطلاعات صورت گیرد.

یکی از فاکتورهای اصلی تاثیر گذار در مدیریت زنجیره عرضه، طبیعت تقاضای مشتری است که شدیداً در طی دهه‌های گذشته تغییر کرده است. طبیعت تقاضای مشتری به تمامی اعضاء زنجیره القا می‌کند که بر روی کنترل موجودی خود تصمیم گیری‌های بهینه اتخاذ نمایند. 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. به همین دلیل بسیاری از شرکتها سیستم بدون موجودی یا JIT را ترجیح می‌دهند. با این حال بسیاری دیگر نیز ناگزیر به نگهداری موجودی هستند و در نتیجه تصمیم گیری در خصوص اتخاذ سیاستهای نگهداری و کنترل موجودی برای ایشان بسیار حائز اهمیت است.

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

نخستین مطالعات روی کنترل موجودی چند معیاره توسط براون [1] انجام شد که میان تعداد سفارشات سالیانه و مقدار سفارش در هر سیکل بهینه سازی انجام داده بود.

استار و میلر [2] یک مساله کنترل موجودی را بصوت یک مساله دو معیاره در نظر گرفتند که اهداف آن سرمایهٔ موجودی و تعداد سفارشات بود. آنها در شرکت مورد مطالعهٔ خود دریافتند که حاصل‌ضرب سرمایهٔ ذخیره در میزان سفارشات یک مقدار ثابت است. سپس براین اساس یک منحنی رسم نمودند که شرکت می‌توانست سیاست کنترل موجودی خود را از روی آن تعیین نماید.

پریچارد و ایگل [3] و پس از آن هم پلاسل و ویت [4] روش‌هایی برای بدست آوردن و رسم این منحنی ارائه نمودند.

گاردنر و دننبرینگ [5] یک مسالهٔ چند معیاره کنترل موجودی را با در نظر گرفتن تقاضای احتمالی و معرفی سطح سرویس بعنوان یک تابع هدف جدید در نظر گرفتند. سطح سرویس بصورت درصد کمبود موجودی بیان می‌شد. بار کاری توسط تعداد ذخیره‌های انجام شده در سال اندازه گیری می‌شد. سرمایه عبارت بود از مجموع دوره‌ها و ذخیره‌های ایمنی. با استفاده از این سه تابع هدف آنها جوابهایی بدست 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 جهت تجزیه و تحلیل جواب‌های مؤثر ارائه می‌داد. اشنایدر [6] همین مدل و هدف را با روش حل دیگری دنبال نمود.

بوک بایندر و چن [7] مدلی برای حل مساله ای دو معیاره در یک سیستم دو مرحله ای ارائه کردند. آنها حالت یک انبار مرکزی و یک خرده فروش را درنظر گرفتند. ابتدا آنها مساله را برای حالت تقاضای قطعی حل کردند. دو معیاری که آنها درنظر گرفتند عبارت بود از ۱- هزینه سفارش + هزینه نگهداری و ۲- هزینه حمل و نقل. این مساله به‌صورت یک مساله غیرخطی برنامه ریزی عدد صحیح حل شد.

برای فرموله کردن مساله، آنها فرض مهمی را درنظر گرفتند که ارتباط میان مقدار سفارش درانبار و مقدار سفارش در خرده فروش‌ها بود. آنها فرض کردند که مقدار سفارش در انبار یک مضرب صحیح از مقدارسفارش در خرده فروش‌هاست. این فرض بر مبنای مقاله از کراوستون و همکاران [8] و لی و بیلنگتون [9] بود.

لئونارد و ری [10] یک روش شبیه سازی برای مساله چند معیاره درنظر گرفتند. سه معیاری که در نظر گرفتند عبارت بود از سطح متوسط ذخیره، تعداد کمبودها در سال (سطح سرویس مشتری) و بار کاری. نتیجه این مدل جواب‌های غیرپست را بصورت تقریبی بدست می‌داد.

آگرل [11] مساله سه معیاره را برای یک محصول حل کرده است. سه معیار عبارتند از: هزینه سالیانه 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 استفاده کرده است.

در گزارشی از تحقیقات IBM توسط اتل و همکاران [12] تصمیم‌گیری‌هایی روی زنجیره عرضه بررسی شده است. تصمیم‌گیری میان سرمایه و سطح سرویس است. آنها هر گره را در زنجیره عرضه بعنوان یک منبع موجودی فرض کرده‌اند و با تقریب‌هایی عملکرد و سطح سرویس هر گره را بدست آورده‌اند. در نهایت مصرف کننده می‌تواند با انتخاب سطح سرویس موردنیاز سیاست کنترل موجودی را دریافت کند.

Archive of SID
www.SID.ir

پیترو و فرناندز [13] مساله چند معیاره را برای یک شرکت درنظر گرفتند و در آن سفارش‌های به تأخیر افتاده را نیز منظور کردند. مساله برای هر دو حالت تقاضای قطعی و احتمالی حل شد. دو معیار موردنظر ایشان هزینه سفارش و هزینه کمبود بود.

نکته لازم به ذکر این 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 مسالهٔ وجود "چند تصمیم گیرنده" در زنجیره مشاهده نشد. تنها موردی که این مساله را در اصول تحقیق خود به کار گرفته است تیرامالای [14] است که این مقاله توسعه‌ای است بر پایان نامه دکترای ایشان که در دانشگاه پنسیلوانیا ارائه شده است.

تیرامالای مساله چندمعیاره را در یک زنجیره عرضه سه جزئی که اجزاء آن بصورت 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 کار رفته در این پایان نامه شایان توجه است و بطور محسوس مساله چند تصمیم گیرنده بودن و نقش آنها 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 بصورت احتمالی و برای توزیع نمایی مساله چندمعیاره چند تصمیم گیرنده برای یک زنجیره عرضه ۴ جزئی که شامل یک تولید کننده، یک انبار مرکزی، و دو خرده فروش است، مطرح و حل می‌شود.

۲. مدل تصمیم گیری چند معیاره- چند تصمیم گیرنده برای کنترل موجودی در یک زنجیرهٔ عرضهٔ چهار جزئی با زمان تدارک ثابت و تقاضای احتمالی با توزیع نمایی

سیستم مورد بررسی، یک زنجیرهٔ عرضه چهار جزئی است که شامل یک تولید کننده، یک انبار مرکزی، و دو خرده فروش است که بطور موازی با انبار مرکزی در تبادل هستند فرض بر این است که در هریک از اجزاء زنجیره یا تک شرکت‌ها یک تصمیم گیرنده موجود است که تعیین سیاست‌های کنترل موجودی آن شرکت به عهدهٔ اوست. بنابراین در هر شرکت یک مساله چند معیاره وجود دارد که بهینه ساختن آن منجر به عملکرد بهینهٔ تک شرکت خواهد بود.

اما ازآنجا که عملکرد بهینهٔ تک تک اعضاء زنجیره، الزاما به معنی رفتار بهینهٔ زنجیره نیست، لذا در سطح بعدی مسالهٔ چند معیارهٔ زنجیره مطرح می‌شود.

سایر فرضیات به کار گرفته شده عبارتند از:

۱- در کل زنجیره تنها یک محصول تبادل می‌شود.

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

۳- تقاضا بصورت احتمالی و تابع توزیع آن نمایی فرض شده است.

۴- زمان تدارک ثابت فرض شده است.

۵- سیاست مرور پیوسته (Q,r) در تمامی اجزائ زنجیره به کار می‌رود.

۶- در ظرفیت‌ها و قیمت‌ها محدودیت وجود ندارد.

۷- ذخیره ایمنی هر جزء مقداری است مثبت.

۸- نرخ متوسط موجودی ثابت است.

۲-۱. نماد گذاری

i : شمارهٔ اعضاء زنجیره. برای تولید کننده i=۱، انبار i=۲، توزیع کنندهٔ اول i =۳ و توزیع کنندهٔ دوم i=۴ است.

b_i : پارامتر توزیع نمایی

D : تقاضای مورد انتظار (واحد در سال)

C_i : قیمت کالا (ریال)

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

S_i : ذخیرهٔ ایمنی شرکت i

Z_1^i : مقدار مورد انتظار سرمایهٔ موجودی شرکت i

Z_2^i : تعداد سفارشات 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 سفارشات مورد انتظار زنجیره

SCCS: احتمال مواجه شدن با کمبود در زنجیره

۲-۲. تعریف توابع هدف

در بیشترمدل‌های پیشین انواع هزینه‌های موجود در نگهداری موجودی محاسبه و با بدست آوردن مجموع آن‌ها، یک مسالهٔ تک هدفه حاصل می‌شد که اپتیمم سازی آن معادل با حل مدل بود.

علی‌رغم وجود فرضیات آسان‌کننده 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 شده‌اند. همچنین در مدل‌های قبلی، تصمیم گیرنده تنها یک نفر در نظر گرفته می‌شود. در حالی‌که در زنجیرهٔ عرضه شرکت‌ها دارای تصمیم گیرندگان مستقل هستند. در مدل حاضر نیز این ماهیت چند تصمیم گیرندگی در زنجیرهٔ عرضه منظور شده است. در هر چهار شرکت، و در زنجیره توابع هدف یکسانند.

۲-۲-۱. توابع هدف تک شرکت‌ها

۲-۱-۲-۱. سرمایه موجودی مورد انتظار

هر جا که کالایی بصورت موجودی نگهداری شود، مقداری سرمایه راکد مانده است، که حداقل کردن آن می‌تواند بعنوان یکی از اهداف

Archive of SID

www.SID.ir

مسالهٔ چند معیاره مطرح شود. بنابراین 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. پس مقدار متوسط موجودی در یک سیکل مطابق فرمول (۱) است:

$$\frac{1}{2}(Q_i+S_i)+\frac{1}{2}S_i=\frac{1}{2}Q_i+S_i \qquad (۱)$$

ومقدار مورد انتظار سرمایه موجودی بصورت رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$Z_1^i=(\frac{1}{2}Q_i+S_i)\,C_i \qquad (۲)$$

۲-۱-۲-۲. تعداد سفارشات مورد انتظار

تعداد سفارشات مورد انتظار در یک سیکل بررسی برابر است با نسبت تقاضای مورد انتظار به مقدار سفارش، مطابق رابطه (۳):

$$Z_2^i=(\frac{D}{Q_i}) \qquad (۳)$$

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

۳-۱-۲-۲. سطح سرویس مشتری

سطح سرویس مشتری را بصورت ریسک خالی بودن از موجودی تعریف می‌کنیم و احتمال آنست که در زمان سفارش تقاضا از مقدار ذخیرهٔ ایمنی بیشتر ومنجر به کمبود شود. بنابراین اگر تابع چگالی احتمال تقاضا $f(x)$ باشد و با توجه به اینکه تقاضا از توزیع نمایی برخوردار است رابطه (۴) را داریم:

$$Z_3^i=\int_{S_i}^{\infty}f(x)dx=1-\exp(-x/b)\,]_{S_i}^{\infty}=\exp(-\frac{Si}{b\,i}) \qquad (۴)$$

۲-۲-۲. توابع هدف زنجیره

۱-۲-۲-۲. سرمایه موجودی مورد انتظار

سرمایه موجودی مورد انتظار زنجیره بصورت حاصل جمع سرمایه-های موجودی شرکت‌های عضو زنجیره تعریف می‌شود و عبارت است از رابطه (۵):

$$Z_1=\sum_{i=1}^{4}(\frac{1}{2}Q_i+S_i)C_i \qquad (۵)$$

۲-۲-۲-۲. تعداد سفارشات مورد انتظار

تعداد سفارشات مورد انتظار در زنجیره مطابق رابطه (۶) است:

$$Z_2=\sum_{i=1}^{4}(\frac{D}{Q_i}) \qquad (۶)$$

۳-۲-۲-۲. سطح سرویس مشتری

سطح سرویس مشتری در زنجیره نیز بصورت احتمال مواجه شدن زنجیره با کمبود تعریف می‌شود. احتمال ایجاد کمبود در هر یک از اجزاء زنجیره را با $P(i)$ نشان می‌دهیم. احتمال کمبود در زنجیره عبارتست از رابطه شماره (۷):

$$P(SC)=P(1)+P(2)+P(3)+P(4)-P(1\cap 2)-P(1\cap 3)-P(2\cap 3)-P(1\cap 4)-P(2\cap 4)-P(3\cap 4)+P(1\cap 2\cap 3\cap 4)+P(1\cap 2\cap 3)\,P(1\cap 2\cap 4)+P(2\cap 3\cap 4) \qquad (۷)$$

با توجه به اینکه رضایت مشتری در زنجیره از اهمیت بالایی برخوردار است احتمال آنکه بطور همزمان دو یا بیشتر از اجزاء زنجیره دچار کمبود باشند بسیار ناچیز فرض می‌شود. بنابراین رابطه (۸) را داریم:

$$\sum_{i=1}^{4}P(SC)=P(1)+P(2)+P(3)+P(4)=Z_3=\sum_{i=1}^{4}1-\exp(-x/b)\,]_{S_i}^{\infty}=\sum_{i=1}^{4}\exp(-\frac{S_i}{b_i}) \qquad (۸)$$

۳-۲. طرح مساله

مساله چند معیاره در دو سطح مطرح می‌شود: سطح اول عبارت است از مسائل چند معیارهٔ تک شرکت‌ها و سطح دوم مسالهٔ 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 بترتیب: $C_1=4$ 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 سفارشات. حال دو خط مشی زیر را در نظر می‌گیریم:

خط مشی اول) هریک از شرکت‌ها به‌ترتیب مقادیر $Q_1=10$ و $Q_2=2$ را به‌عنوان مقادیر سفارش بهینهٔ خود انتخاب کرده اند.با در نظر گرفتن توابع هدف خواهیم داشت:

توابع هدف شرکت ۱:

$Z_1^1=(Q_1C_1/2)=10*40/2=20$

$Z_2^1=(D/Q_1)=200/10=20$

توابع هدف شرکت ۲:

$Z_1^1=(Q_2C_2/2)=2*16/2=16$

$Z_2^1=(D/Q_2)=200/2=100$

توابع هدف زنجیره:

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

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

Archive of SID

www.SID.ir

خط مشی دوم) این بار مقادیر سفارش به‌ترتیب برابر Q_1=5 و Q_2=2.5 است.

توابع هدف شرکت ۱:

$Z\ \frac{1}{1} = (Q_1C_1/2) = ۵*40/2 = ۱۰$

$Z\ \frac{1}{2} = (D/Q_1) = 200/۵ = ۴۰$

توابع هدف شرکت ۲:

$Z\ \frac{1}{1} = (Q_2C_2/2) = 2.۵*16/2 = ۲۰$

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

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 هردو سطح (تک شرکت‌ها، زنجیره) در نظر گرفته می‌شود. در بهینه سازی سطح اول، تصمیم گیرندگان هریک از شرکت‌ها، پاسخ‌های بهینهٔ مسالهٔ چند معیارهٔ شرکت خود را بدست می‌آورند و آن دسته از پاسخ‌های بهینهٔ مسائل تک معیاره که در شرایط غیر پست بودن زنجیره صدق نمایند انتخاب می‌شوند.

۲-۴. مساله چند معیاره

۲-۴-۱. مساله چند معیاره تک شرکت‌ها

$$\begin{cases} Z_1^i = (\frac{1}{2} Q_i + S_i)\, C_i \\ Z_2^i = (\frac{D}{Q_i}) \\ Z_3^i = \int_{S_i}^{\infty} f(x)dx = \exp(-Si/b\,i) \\ \text{Subject to } Q_i ; S_i \geq 0 \end{cases} \qquad (۹)$$

۲-۴-۲. مساله چند معیاره زنجیره

$$\begin{cases} Z_1 = \sum_{i=1}^{4} (\frac{1}{2} Q_i + S_i) C_i \\ Z_2^i = (\frac{D}{Q_i}) \\ Z_3 = \sum_{i=1}^{4} 1 - \exp(-x/b)\Big]_{S_i}^{\infty} = \sum_{i=1}^{4} \exp(-\frac{Si}{b\,i}) \\ \text{Subject to } Q_i ; S_i \geq 0 \end{cases} \qquad (۱۰)$$

۲-۵. حل مساله چند معیاره تک شرکت

برای حل مساله چند معیاره تک شرکته از روش معیار جهانی استفاده می‌کنیم و رابطه (۱۱) را خواهیم داشت:

$$MinZ = \left[\frac{Z_1^* - (\frac{Q_i}{2} + S_i) C_i}{Z_1^*}\right]^2 + \left[\frac{Z_2^* - (\frac{D}{Q_i})}{Z_2^*}\right]^2 + \left[\frac{Z_3^* - \exp(-Si/b\,i)}{Z_3^*}\right]^2 \qquad (۱۱)$$

Subject to $Q_i ; S_i >= 0$
And /or other constraints

یک مساله خطی و دو مسالهٔ غیر خطی باید حل شوند. برای واقعی تر بودن پاسخ‌ها از تصمیم گیرندگان می‌خواهیم که حد بالا و پائینی را برای مقادیر Q و S در نظر بگیرند.

جواب‌های بهینه حاصل از سه مساله فوق در مسالهٔ معیار جهانی قرار گرفته و جواب‌های مسالهٔ چند معیارهٔ تک شرکت‌ها به‌دست می‌آید.

۲-۶. حل مساله چند معیاره زنجیره

۲-۶-۱. تعیین نقاط غیر پست

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

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

$$\begin{cases} Min\ Z = \lambda_{IC} \sum_{i=1}^{4} [(\frac{1}{2} Q_i + S_i) C_i] + \lambda_{NO} \sum_{i=1}^{4} (\frac{D}{Q_i}) + \lambda_{CS} \sum_{i=1}^{4} \\ \text{St: } Q_i ; S_i \geq 0 \\ \lambda_{IC}, \lambda_{NO} \text{ و } \lambda_{CS} \geq 0 \end{cases} \qquad (۱۲)$$

با مساوی صفر قراردادن گرادیان Z نسبت به هریک از متغییرها روابط (۱۳) و (۱۴) بدست می آید:

$$(\partial Z / \partial Q_i) = 0 \Rightarrow \frac{\lambda_{IC} C_i}{2} - \frac{\lambda_{NO} D}{Q_i^2} = 0 \Rightarrow \qquad (۱۳)$$

$$Q_i = \sqrt{\frac{2D\lambda_{NO}}{C_i \lambda_{IC}}} \text{ و } \frac{Q_i}{Q_j} = \sqrt{\frac{C_j}{C_i}}$$

$$(\partial Z / \partial S_j) = 0 \Rightarrow$$

$$S_i = (-b_i) \ln(b_i c_i \frac{\lambda_{IC}}{\lambda_{CS}}) \Rightarrow \frac{S_i}{S_j} = \frac{(-b_i) \ln(b_i c_i \frac{\lambda_{IC}}{\lambda_{CS}})}{(-b_j) \ln(b_j c_j \frac{\lambda_{IC}}{\lambda_{CS}})} \qquad (۱۴)$$

Archive of SID
www.SID.ir

۲-۶-۲. حل مسالهٔ چند معیاره-چند تصمیم گیرندهٔ زنجیره

با توجه به روابط بدست آمده در بخش ۱-۶-۲ برای دو جزء i وj در زنجیره اگر بین جواب‌های بدست آمده از مسائل تک شرکت‌ها روابط فوق برقرار باشد، آن جواب‌ها جزو مجموعه جواب‌های غیر پست زنجیره خواهند بود. در غیر اینصورت برای حل مسالهٔ چندمعیاره- چند تصمیم گیرندهٔ زنجیرهٔ عرضه از روش پیشنهادی توسط تیرامالای [14] استفاده می‌شود.

روش به کار رفته توسط 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 بصورت محدودیت در نظر گرفته شده و آن یک هدف حداکثر می‌گردد. در روش پیشنهادی تیرامالای در صورت برقرار نبودن شرط بهینگی به محاسبهٔ نقاط بهبود پرداخته شده است. این نقاط بهبود به هریک از تصمیم گیرندگان خواهد گفت جهت ایجاد تغییر بر روی مقادیر Q_i , S_i را در راستای عملکرد بهینهٔ زنجیره و رفتن به سمت مجموعه جواب‌های غیر پست زنجیره باید چگونه باشد. بنابراین:

ابتدا ازهریک از شرکت‌ها می‌خواهیم که مقادیر بهینه Q_i و S_i را بر اساس حل مسالهٔ چند معیارهٔ شرکت خود محاسبه نمایند. به ازاء مقادیر Q_i , S_i حاصل از حل مسالهٔ تک شرکت‌هاحساب می‌کنیم که هریک از توابع هدف زنجیره چه مقدار خواهد شد. مقادیر حاصل برای هریک از توابع هدف را بترتیب $SCIC^{cur}$، $SCNO^{cur}$ و $SCCS^{cur}$ می‌نامیم.

آنگاه در سه مرحله مقادیر بدست آمده برای توابع هدف را دو بدو ثابت نگهداشته و سومین تابع هدف را می‌نیمم می‌کنیم:

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

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

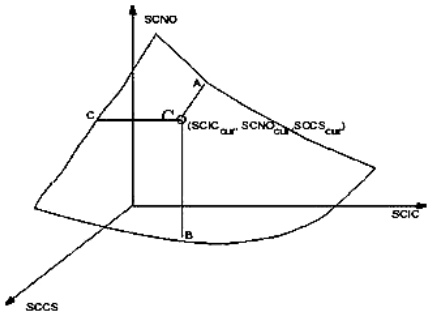
در مرحلهٔ سوم نقطهٔ C را روی مجموعه جواب‌های غیر پست زنجیره می‌یابیم که در آن $SCCS=SCCS^{cur}$، و $SCNO=SCNO^{cur}$ باشد و SCIC را مینیمم کند.

چنانچه روی شکل نیز مشاهده می‌شود در هر یک ازنقاط C, B , A یکی از توابع هدف بهینه است. با محاسبه فواصل میان هریک از نقاط تا نقطهٔ CUR و می‌نیمم کردن آن در تکرارهای متوالی نقطه مذکور را به سمت اپتیمم شدن پیش می‌بریم. این فواصل بصورت روابط (۱۵) الی (۱۷) خواهند بود:

$$I^{IC} = \sqrt{(SCIC^{cur} - SCIC^{IC})^2} \qquad (۱۵)$$

$$I^{NO} = \sqrt{(SCNO^{cur} - SCNO^{IC})^2} \qquad (۱۶)$$

$$I^{CS} = \sqrt{(SCCS^{cur} - SCICS^{IC})^2} \qquad (۱۷)$$



شکل ۱. نقاط بهبود بر روی مجموعه جوابهای غیر پست

تکرارها تا زمانی ادامه می‌یابد که بزرگترین عدد از مقادیر فوق از یک مقدار معین کمتر گردد. از روی مقادیر $SCNO^{IC}$ و $SCIC^{NO}$ می‌توان Q های متناظر را بدست آورد که به ترتیب Q^{IC} وQ^{NO} نامیده می‌شوند. اگرQ^{IC} وQ^{NO} هر دو از Q^{CUR} بیشتر بودند بدین معنی است که نقاط مذکور خارج از محدودهٔ BC (بسمت راست منحنی) هستند. در اینصورت باید Q شرکت مربوطه افزایش پیداکند تا نقطهٔ CUR بطرف راست رانده شود. با همین استدلال می‌توان گفت که اگرQ^{IC} وQ^{NO} هردو از Q^{CUR} کمتربودند باید Q شرکت مربوطه کاهش پیدا کند و اگر یکی از آن‌ها بیشتر و دیگری کمتر بود Q ثابت نگاه داشته می‌شود .نقش تصمیم گیرندگان تک شرکت‌ها بر روی عملکرد بهینهٔ زنجیره در این مرحله نمایان می-شود. و آن‌ها و با تغییر بر روی مقادیر سفارش سالانهٔ خود، علاوه بر تعیین عملکرد بهینهٔ شرکت خود، روی عملکرد بهینهٔ زنجیره نیز نقش داشته باشند با تغییر Q، مساله و روش حل تکرار می‌شود و تا جایی که ضرایب I^{IC} وI^{NO} به یک مینیمم معین برسند ادامه پیدا می‌کند. با مینیمم کردن این ضرایب، نقاط B و C به سمت یکدیگر و به سمت نقطهٔ بهینه می‌روند.

۳-۶-۲. مثال

مشخصات اجزاء زنجیره در جدول۱ آمده است.تقاضای مورد انتظار ۶۰۰۰۰ واحد در سال است و دارای توزیع نمایی می‌باشد.

جدول۱. طرح مثال

	تولید کننده (i=۱)	انبار (i=۲)	خرده فروش (i=۳)	خرده فروش (i=۴)
قیمت کالا	20	75	120	150
B	100	150	200	250

حل مسالهٔ چند معیارهٔ شرکت ۱ با استفاده از روش معیار جهانی براساس رابطه(۱۱):

Archive of SID
www.SID.ir

$$MinZ = \left(\frac{z_1^* - \left(\frac{Q_i}{2} + S_i\right)C_i}{z_1^*}\right)^2 + \left(\frac{z_2^* - \left(\frac{D}{Q_i}\right)}{z_2^*}\right)^2 + \left(\frac{z_3^* - \exp\left(\frac{-S_i}{b_i}\right)}{z_3^*}\right)^2$$

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

با استفاده از برنامه Solver نرم افزار Excell که از الگوریتم GRG2 برای حل مسائل غیرخطی استفاده می‌کند مقادیر Q_1 و S_1 بدست می‌آیند. (حل مساله فوق با نرم افزار LINGO نیز انجام و مطابقت خوبی حاصل شد). پس از به‌دست آمدن مقادیر Z، Q_1 و S_1 هر یک از توابع هدف محاسبه می‌شوند:

به همین ترتیب مسائل مربوط به شرکت‌های ۲، ۳، و ۴ نیز حل می‌شوند.

جدول۲. حل مسائل تک معیاره شرکت ۱

Q_1	S_1		
200	580	Z_1	13600
1200	0	Z_2	50
0	880	Z_3	0.00

جدول۳. حل مساله چند معیاره شرکت ۱

Z	2.01	IC	26116.53
Q_1	851.65	NO	70.45
S_1	880.00	CS	0.00015

مسالهٔ چند معیارهٔ شرکت ۲:

جدول۴. حل مسائل تک معیاره شرکت ۲

Q_2	S_2		
500	490	Z_1	55500
1000	0	Z_2	60
0	780	Z_3	0.00

جدول۵. حل مساله چند معیاره شرکت ۲

Z	1.29		IC	96000.00
Q2	1000.00		NO	60.00
S2	780.00		CS	0.00041

مسالهٔ چند معیارهٔ شرکت۳:

جدول۶. حل مسائل تک معیاره شرکت ۳

Q_3	S_3		
400	435	Z_1	76200
1000	0	Z_2	60
0	735	Z_3	0.00064

جدول۷. حل مساله چند معیاره شرکت ۳

Z	1.46		IC	148200.00
Q3	1000.00		NO	60.00
S3	735.00		CS	0.00064

مسالهٔ چند معیارهٔ شرکت۴:

جدول۸. حل مسائل تک معیاره شرکت ۴

Q4	S4		
300	685	Z1	125250
600	0	Z2	100
0	885	Z3	0.00014

جدول۹. حل مساله چند معیاره شرکت ۴

Z	1.66		IC	177750.00
Q4	600.00		NO	100.00
S4	885.00		CS	0.00014

توابع هدف زنجیره بر اساس مقادیر حاضر Q_iو S_i در جدول زیر محاسبه شده است:

جدول۱۰. محاسبه توابع هدف زنجیره

	CUR
SCIC	448066.53
SCNO	290.45
SCCS	0.00135

همچنین با به‌دست آمدن مقادیر Q_i به محاسبهٔ نسبت‌های $\frac{Q_i}{Q_j}$ و $\sqrt{\frac{S_j}{S_i}}$ می‌پردازیم:

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱۱. محاسبه نسبت Q_i/Q_j				
$\frac{Q_i}{Q_j}$	1	2	3	4
1		0.92	0.92	1.19
2			1.00	1.29
3				1.29
4				

جدول۱۲. محاسبه نسبت S_i/S_j				
$\sqrt{\frac{S_j}{S_i}}$	1	2	3	4
1		1.13	1.20	0.99
2			1.06	0.88
3				0.83
4				

مشاهده می‌شود که شرط بهینگی در روابط فوق برقرار نیست. بنابراین جهت محاسبهٔ نقاط بهبود بایست مسائل غیر خطی زیر را حل کنیم:

مسالهٔ ۱) مینیمم کردن SCIC به ازاء آنکه SCIC=SCICcur , SCNO= SCNOcur:

$$\min Z = \exp\left(\frac{(-b_i)\ln(b_i c_i \frac{\lambda_{IC}}{\lambda_{CS}})}{b_i}\right)$$

$$St: \sum_{i=1}^{4}\left[\left(\sqrt{\frac{C_i D\lambda_{NO}}{2\lambda_{IC}}}+(-b_i)\ln(b_i c_i \frac{\lambda_{IC}}{\lambda_{CS}})\right)C_i\right] = \text{SCIC}^{\text{cur}}$$

$$\rightarrow \lambda_{NO}, \lambda_{IC} \rightarrow Q_i^{NO} \rightarrow SCIC^{NO}$$

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

مسالهٔ ۲) مینیمم کردن SCNO به ازاء آنکه SCIC=SCIC^{cur} , SCCS= SCCS^{cur}

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

$$St: \sum_{i=1}^{4}\left[\left(\sqrt{\frac{C_i D\lambda_{NO}}{2\lambda_{IC}}}+(-b_i)\ln(b_i c_i \frac{\lambda_{IC}}{\lambda_{CS}})\right)C_i\right] = \text{SCIC}^{\text{cur}}$$

$$\rightarrow \lambda_{NO}, \lambda_{IC} \rightarrow Q_i^{NO} \rightarrow SCIC^{NO}$$

$$\sum_{i=1}^{4}\exp\left(\frac{(-b_i)\ln(b_i c_i \frac{\lambda_{IC}}{\lambda_{CS}})}{b_i}\right) = \text{SCCS}^{\text{cur}}$$

مسالهٔ ۳) مینیمم کردن SCIC به ازاء آنکه SCNO=SCNO^{cur} , SCCS= SCCS^{cur}:

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

$$St: \sum_{i=1}^{4}\left[\sqrt{\frac{C_i D\lambda_{IC}}{2\lambda_{NO}}}\right] = \text{SCNO}^{\text{cur}}$$

$$\sum_{i=1}^{4}\exp\left(\frac{(-b_i)\ln(b_i c_i \frac{\lambda_{IC}}{\lambda_{CS}})}{b_i}\right) = \text{SCCS}^{\text{cur}}$$

با حل مسائل فوق مقادیر λ_{IC}، λ_{NO} و λ_{CS} وسپس مقادیر Q_i, S_i بدست می‌آیند. نتایج حاصل و نیز جهت تغییردر تکرار بعد در جداول زیر خلاصه شده اند:

جدول۱۳. محاسبه مقادیر Q_i و S_i پس از حل مسائل غیر خطی				
	Current		Imp .point 1	
	Q_i	S_i	Q_i	S_i
1	851	880	1678.34	649.99
2	1000	780	866.69	715.89
3	1000	735	685.18	802.99
4	600	885	612.84	892.16
SCIC	448067		448067	
SCNO	290.45		290.45	

ادامه جدول۱۳.					
Imp .point 2		Imp .point 3		Direction	
Qi	Si	Qi	Si	Qi	Si
1644.50	673.51	1678.34	690.78	+	-
849.22	751.18	866.69	777.08	-	-
671.36	850.03	685.18	884.57	+	+
600.49	950.97	612.84	994.14	+	+
448067		463724			
296.43		290.45			
0.0444		0.0374			

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج نهایی پس از ۱۵ تکرار در جدول ۱۴ خلاصه شده اند:

جدول۱۴. نتایج نهایی و جواب مساله

	current	
	Qi	Si
1	1142.00	800.00
2	900.00	756.00
3	800.00	690.00
4	700.00	950.00
SCIC	443670.00	
SCNO	279.92	
SCCS	0.00194	

۳. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مدل که توسعه ای بر مدل "تیرامالای" است، از روش پیشنهادی وی برای حل مساله استفاده می‌شود. در روش حل تیرامالای مسالهٔ چند تصمیم گیرنده بودن و نقش تصمیم گیرنده‌ها در تغییراتی که در تکرارهای حل مساله باید ایجاد کرد بطور 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 کننده ای 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 مسالهٔ جدید باشند.

در مدل حاضر بین متغیرهای شرکت‌ها روابط محدود کننده و اثرات متقابل در نظر گرفته نشده است، حال آنکه در عمل شرکت‌های موجود در یک زنجیره برروی یکدیگر تاثیر می‌گذارند.

در مدل زمان تدارک ثابت فرض شده است، می‌توان مدل را برای زمان تدارک متغیر نیز در نظر گرفت.

مراجع

[1] Brown R.G., *Decision rules for inventory management*, Holt, Rinehart and Winston, 1967.

[2] Starr M.K. and Miller D.W., *Inventory control: Theory and practice*, Prentice-Hall Co., 1962.

[3] Prichard J.W. and Eagle R.H., *Modern inventory management*, John Wiley, 1965.

[4] Plossl G.W. and Wight O.W., *Production and inventory control*, Prentice-Hall Co., 1967.

[5] Jr Gardner S. and Dannenbring D.G., "*Using optimal policy surfaces to analyze aggregate inventory tradeoffs*", Management Science, 25 (8), 1979, pp. 709-720.

[6] Schneider H., *Resolving a multi-item inventory problem with unknown costs*, Engineering Costs and Production Economics, 6, 1982, pp. 9-15.

[7] Bookbinder J.H. and Chen V.Y.X., "*Multicriteria trade-off in a ware house/retailer system*", J. of the Operational Research Society, 43, 1992, pp. 707-720.

[8] Crowston W.B., Wagner M. and Williams J.F., "*Economic lot size determination in multi-stage assembly systems*", Management Science, 19 (5), 1973, pp. 517-527.

[9] Lee H.L. and Billington C., *Material management in decentralized supply chains*, Operation Research, 41 (5), 1993, pp.835-847.

[10] Lenard J.D. and Roy B., "*Multi-item inventory control: A multicriteria view*", European Journal of Operational Research, 87, 1995, pp. 685-692.

[11] Agrell P.J., "*A multicriteria framework for inventory control*", International Journal of Production Economics, 41, 1995, pp. 59-70.

[12] Ettl M., Feigin G.E., Lin G.Y. and Yao D.D., *A supply network model with base-stock control and service requirements*, IBM Research Report, 1996.

[13] Puerto J. and Fernandez F.R., *Pareto-optimality in classical inventory problems*, Naval Research Logistics, 45, 1998, pp. 83-98.

[14] Thirumalai R., *Multi criteria - multi decision maker inventory models for serial supply chains*, PhD Thesis in Industrial & Manufacturing Engineering, The Pennsylvania State University, 2001.

Archive of SID

www.SID.ir