ارائه مدلی به منظور برنامه‌ریزی یکپارچه تولید - توزیع در یک زنجیره تأمین

ابوالفضل کاظمی*[۱]، کیوان صراف‌ها[۲]، علیرضا علی‌نژاد[۳]

[۱*و۳] استادیار دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

[۲] کارشناسی ارشدصنایع، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: فروردین۱۳۹۳، اصلاحیه: شهریور ۱۳۹۳، پذیرش: آبان ۱۳۹۳

چکیده

یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح شده در زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی یکپارچه تولید- توزیع است. تولید و توزیع یکپارچه محصولات در یک زنجیره تأمین نقش مهمی را در کاهش هزینه‌های زنجیره بر عهده دارد. در این مقاله، مدلی دو هدفه برای مسئله تولید- توزیع یکپارچه در یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان برای چند نوع محصول و در طی چندین دوره زمانی ارائه شده است. دو هدف غیر هم راستا شامل کمینه کردن کل هزینه‌های زنجیره و به حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به انبارهای توزیع، در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. از روش Lp- متریک با پارامترهای $P = 1$ و $P = \infty$ به منظور حل مدل، استفاده شده است. در نهایت به منظور اثبات عملکرد مناسب روش حل مسئله، با در نظر گرفتن دو شاخص کیفیت، جواب به صورت تابع هدف، یکپارچه شده و زمان محاسباتی این روش بر روی مسائل مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی تولید و توزیع یکپارچه، بهینه‌سازی چند هدفه، Lp- متریک.

۱- مقدمه

امروزه شیوه‌های مدیریت تولید سنتی که یکپارچگی کمتری را در فرایندهایشان دنبال می‌کنند، کارایی خود را از دست داده‌اند و زنجیره تأمین[۱] به عنوان یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت مناسب جریان مواد، کالا، اطلاعات و مالی، معرفی شده است. این نگرش از رویکردهایی است که در چند دهه اخیر به دلیل افزایش روز افزون رقابت‌پذیری و تلاش سازمان‌ها برای بقا، مورد توجه قرار گرفته است [۱]. بنابراین، مدیریت زنجیره تأمین یک مجموعه از روش‌هایی است که برای یکپارچه نمودن مؤثر تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و خرده‌فروشان به کار می‌رود، تا محصولات مورد نیاز به مقدار مشخص و در زمان معین و در مکان معین تولید شده و به مشتریان عرضه شود تا هزینه‌های کل زنجیره حداقل گردد و در ضمن نیاز مشتریان با سطح خدمت بالا برآورده شود [۲]. هسته اصلی مسائل مدیریت زنجیره تأمین، مربوط به برنامه‌ریزی تولید و توزیع است. مسئله برنامه‌ریزی تولید در زنجیره تأمین تصمیماتی است که سازنده جهت تولید کالای سفارش شده و زمان و تعداد آن به منظور برآورده‌کردن نیاز مشتری خواهد گرفت. مسئله برنامه‌ریزی توزیع در زنجیره تأمین نیز در برگیرنده تصمیماتی برای پیدا کردن کانالی جهت تحویل کالا از یک سازنده به یک توزیع کننده یا به یک مشتری است.

این مسائل وابستگی متقابلی به یکدیگر دارند از این رو بایستی آن ها را به طور هم‌زمان در یک روش یکپارچه به کار برد تا هزینه‌ها یا سود حاصل از آن در زنجیره مینیمم (ماکزیمم) شود [۳].

محققان زیادی در زمینه طراحی و مدل سازی اجزای مختلف مسئله یکپارچه تولید- توزیع به مطالعه پرداخته‌اند. از جمله Fahimnia و همکاران [۴] مرور ادبیات کاملی از مسئله برنامه‌ریزی تولید- توزیع در زنجیره تأمین انجام دادند. در این راستا King و Love [۵] یک مطالعه موردی از سیستم به کار گرفته شده در شرکت "کلی اسپرینگ فیلد[۲]" ارائه کردند. این شرکت در آن زمان با چهار کارخانه ساخت و تولید و نه مرکز عمده توزیع، یکی از تولیدکنندگان اصلی تایر اتومبیل در آمریکا بود. این سیستم از چهار واحد تولید، کنترل موجودی، توزیع و پیش-بینی تشکیل شده است و تصمیم‌گیری در آن، طبق ساختار سنتی به صورت سلسله مراتبی انجام گرفته است. در ادامه Cohen و Lee [۶] یک مدل عدد صحیح ترکیبی قطعی برای بیشینه‌سازی سودها بعد از کسر مالیات برای خط‌مشی‌های بهینه‌سازی طراحی شبکه تسهیلات و جریان مواد ارائه کردند. در این مقاله تصمیمات استراتژیک (مکان‌یابی و تصمیمات مربوط به ظرفیت کارخانجات و مراکز توزیع) و تصمیمات تاکتیکی (میزان انتقال از یک فروشنده به یک کارخانه، از یک کارخانه به

* abkaazemi@qiau.ac.ir

1- Supply Chain

2- Kelly-Springfield

Archive of SID

www.SID.ir

یک مرکز توزیع، از یک مرکز توزیع به بازار) مورد بررسی قرار گرفته است. Chandra و Fisher [۷] مدلی با عنوان برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و توزیع ارائه کردند. جهت مقایسه کارایی، مدل‌ها با استفاده از تعدادی شاخص و با مقادیر مختلف برای پارامترهای متعدد، تحلیل شدند. این پارامترها شامل طول پریود، تعداد محصولات، تعداد مشتری‌ها، هزینه‌های ثابت و هزینه‌های موجودی هستند. در این مدل تقاضا برای هر محصول در یک دوره برای هر خرده‌فروش مشخص است. تابع هدف این مدل، به دنبال حداقل‌کردن هزینه کل می‌باشد و یک روش ابتکاری سلسله مراتبی[3] برای حل مسئله پیشنهاد شده است. Sabri و Beamon [۸] به بررسی شبکه زنجیره تأمینی شامل تأمین‌کنندگان، کارخانجات، مراکز توزیع و نواحی تقاضا پرداخته‌اند. در سطح استراتژیک ساختار بهینه شبکه تعیین می‌شود. مساله چند محصولی، چند هدفه با تقاضای غیر قطعی و شامل چند ماده اولیه است. ظرفیت تأمین‌کنندگان و مراکز توزیع محدود است. در این مرحله تصمیمات مکان‌یابی، میزان تولید، تخصیص مراکز توزیع به نواحی تقاضا و میزان حمل کالاها بین تسهیلات با دو تابع هدف بیشینه کردن انعطاف‌پذیری و کمینه کردن هزینه‌ها اتخاذ می‌شوند. Jayarman و Pirkul [۹] در همان سال زنجیره تأمینی شامل تأمین‌کنندگان، کارخانجات، مراکز توزیع و نواحی تقاضا را با چند محصول با تقاضای قطعی بررسی می‌کنند و مدلی برای تصمیم‌گیری همزمان در دو سطح استراتژیک و عملیاتی برای راه‌اندازی تسهیلات، تعیین میزان تولید، تخصیص مراکز توزیع به نواحی تقاضا و میزان حمل ارائه داده‌اند. ظرفیت تولید، مراکز توزیع و تأمین مواد اولیه محدودیت دارد. تابع هدف به صورت کمینه‌سازی هزینه‌هاست. برای حل این مدل از روش هیوریستیکی بر پایه آزادسازی لاگرانژ و بهینه‌سازی زیرگرادیان استفاده شده است. Yilmaz و Catay [۱۰] نیز یک مسئله برنامه‌ریزی استراتژیک را برای یک شبکه تولید- توزیع سه مرحله‌ای ارائه کردند. این مسئله یک کالا، چند تأمین کننده، چند تولیدکننده و چند توزیع کننده را در یک شبکه تولید- توزیع با تقاضای قطعی در نظر می‌گرفت که هدف کمینه کردن هزینه‌های تولید، حمل و نقل و موجودی است. Tsiakis و Papageorgiou [۱۱] به تعیین پیکربندی بهینه یک شبکه تولید- تخصیص و توزیع با توجه به محدودیت‌های مالی و عملیاتی پرداختند. محدودیت‌های عملیاتی شامل محدودیت‌های کیفی، تولیدی و توزیع که در ارتباط با تخصیص تولید و بالانس خط تولید است و محدودیت‌های مالی شامل هزینه‌های تولید، هزینه‌های حمل و نقل و وظایفی است که جهت جریان مواد در شبکه با توجه به نرخ‌های مبادله می‌باشد. هر زمان که سازمان نتواند نیاز مشتری را برآورده کند به برون‌سپاری روی می‌آورد. برای شرح مساله بهینه‌سازی از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح استفاده می‌شود. واحد بازرگانی یک تولیدکننده مواد شیمیایی خاص به عنوان یک شرکت نمونه جهت بررسی این رویکرد انتخاب شده است. Liu و Papageorgiou [۱۲] یک مسئله برنامه‌ریزی تولید - توزیع دو سطحی را با در نظر گرفتن همزمان هزینه، پاسخ‌دهی و سطح خدمت به مشتری ارائه دادند. آن‌ها به‌منظور حل مدل از دو روش ε- محدودیت و لکسیکوگراف استفاده نمودند.

با توجه به مقالات مرور شده، تعداد کمی هستند که دیدگاه هر سطح از زنجیره را به منظور کمینه‌کردن هزینه‌های مربوط به خود در نظر گرفته باشند. لذا ما در این مقاله، مدلی دو هدفه که علاوه بر کمینه‌کردن کل هزینه‌های زنجیره، هزینه‌های مربوط به انبارهای توزیع را نیز به حداقل می‌رساند، ارائه خواهیم داد. همچنین با به کارگیری یکی از روش‌های مناسب حل مسائل بهینه سازی چند هدفه به تجزیه و تحلیل نتایج خواهیم پرداخت.

در مابقی مقاله در بخش دوم، با تعریف پارامترها و متغیرهای تصمیم به بیان مسئله می‌پردازیم . در بخش سوم با رویکرد تصمیم‌گیری‌های چند هدفه و با کمک روش Lp- متریک به ارزیابی جواب‌ها می‌پردازیم. نتایج عددی و تجزیه و تحلیل حاصل از آن در بخش چهارم صورت می‌گیرد. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی نیز در بخش پنجم ارائه می‌گردد.

۲- بیان مسئله

زنجیره تأمین مورد مطالعه، دربرگیرنده‌ی سه سطح کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مشتریان نهایی می‌باشد. تصمیمات برای چندین محصول و در طی چندین دوره زمانی در نظر گرفته می‌شود. در این زنجیره، محصولات مختلفی توسط کارخانه‌ها با ظرفیت معین و در صورت تولید در دوره مربوطه تولید شده و برای توزیع‌کنندگان مختلف با توجه به ظرفیت مراکز توزیع برآورده می‌شود. در نهایت این محصولات با توجه به تقاضای مشتریان به دست آنان می‌رسد. در اینجا یک توزیع‌کننده می‌تواند از طریق یک سری انبارهای لجستیکی، محصولات نهایی دریافتی از یک تولیدکننده را به دست مشتری برساند. هر تولید کننده می‌تواند محصولات مختلفی را بسازد و حتی می‌تواند تمامی محصولات را نیز تولید کند. سطوح زنجیره تأمین مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. هدف این مسئله برنامه‌ریزی تولید - توزیع یکپارچه در یک زنجیره تأمین سه سطحی با در نظر گرفتن اهداف، شامل کمینه کردن کل هزینه‌های زنجیره و به حداقل رساندن هزینه‌های موجود برای انبارهای توزیع در سطح توزیع کننده است. این اهداف در زنجیره‌های تأمین می‌توانند به صورت اهداف غیر هم‌راستا در نظر گرفته شوند، زیرا از یک سو هر سطح به دنبال کمینه‌کردن هزینه‌های مربوط به خود است و از طرفی دیگر به حداقل رساندن کل هزینه‌های زنجیره نیز مورد نیاز است. لذا کمینه‌کردن یک سطح از زنجیره می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های کل زنجیره گردد. در واقع این‌ها دلایل انتخاب دو هدف ذکر شده برای مسئله می‌باشند. در ادامه پارامترها، متغیرهای تصمیم و توابع هدف و محدودیت‌ها با ذکر جزئیات ارائه می‌شوند.

۲-۱ نمادها و پارامترها

p: تعداد کارخانه‌های تولیدی $(p=1, 2, ..., P)$

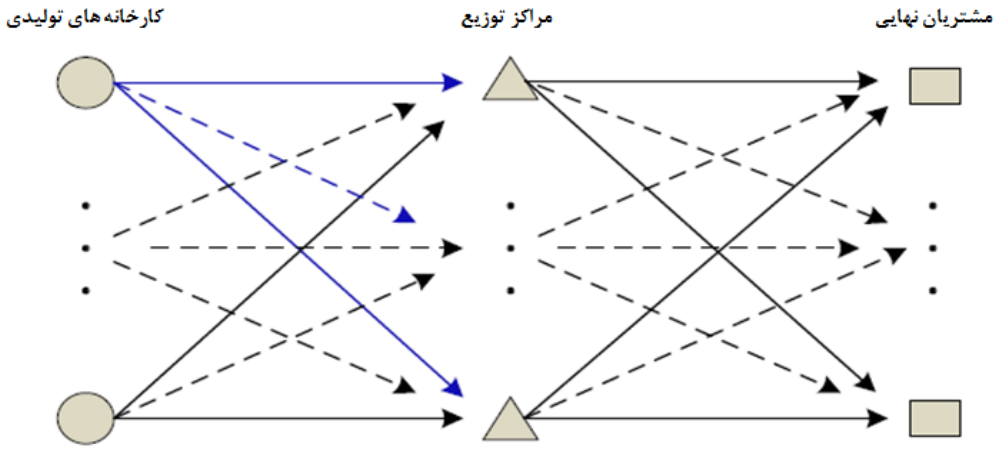
d: تعداد مراکز توزیع $(d=1, 2, ..., D)$

c: تعداد مشتریان نهایی $(c=1, 2, ..., C)$

3- Hierarchical

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۱): شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه

t: تعداد دوره‌های زمانی ($t=1, 2, \ldots, T$)

i: تعداد محصولات ($i=1, 2, \ldots, I$)

DE_{cit}: تقاضای مشتری c از محصول i در دوره t

CP_{pit}: هزینه تولید محصول i توسط کارخانه p در دوره t

CSE_{pit}: هزینه آماده‌سازی تولید برای محصول i توسط کارخانه p در دوره t

CH_{pit}: هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول i توسط کارخانه p در دوره t

CT_{pdit}: هزینه حمل و خرید هر واحد محصول i از کارخانه p به مرکز توزیع d در دوره t

CH_{dit}: هزینه نگهداری موجودی هر واحد محصول i توسط مرکز توزیع d در دوره t

CPP_{pit}: ظرفیت تولید هر واحد محصول i در کارخانه p در دوره t

CPD_{dit}: ظرفیت مرکز توزیع d برای محصول i در دوره t

CPD_{pit}: ظرفیت کارخانه p برای محصول i در دوره t

۲-۲ متغیرهای تصمیم

QP_{pit}: مقدار تولید برای محصول i توسط کارخانه p در دوره t

QS_{pdit}: مقدار محصول i حمل شده از کارخانه p به مرکز توزیع d در دوره t

I_{pit}: موجودی محصول i در کارخانه p در دوره t

I_{dit}: موجودی محصول i در مرکز توزیع d در دوره t

QS_{dcit}: مقدار محصول i حمل شده از مرکز توزیع d به مشتری c در دوره t

W_{pit}: ۱ اگر محصول i توسط کارخانه p در دوره t تولید شود در غیر این صورت صفر

۲-۳ توابع هدف و محدودیت‌ها

تابع هدف اول در رابطه اول کل هزینه‌های زنجیره، شامل هزینه‌های تولید و آماده‌سازی تولید، هزینه نگهداری موجودی محصول در کارخانه‌ها، هزینه خرید و حمل و نقل محصولات از کارخانه‌ها به مراکز توزیع، هزینه نگهداری موجودی در مراکز توزیع و هزینه حمل و خرید محصولات از مراکز توزیع به مشتریان را کمینه می‌کند. تابع هدف دوم در رابطه ۲ نیز کل هزینه‌های مربوط به سطح توزیع‌کننده شامل هزینه‌های حمل و خرید و هزینه نگهداری موجودی در انبارهای توزیع را به حداقل می‌رساند.

$$Min\ Z_1 = \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CSE_{pit} \times W_{pit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CP_{pit} \times QP_{pit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CH_{pit} \times I_{pit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CT_{pdit} \times QS_{pdit} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CH_{dit} \times I_{dit} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CT_{dcit} \times QS_{dcit} \quad (۱)$$

$$Min\ Z_2 = \sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CT_{pdit} \times QS_{pdit} + \sum_{d=1}^{D}\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} CH_{dit} \times I_{dit} \quad (۲)$$

s.t.

$$\sum_{p=1}^{P} QS_{pdit} - \sum_{c=1}^{C} QS_{dcit} \geq 0 \qquad \forall\, d, i, t \quad (۳)$$

$$\sum_{d=1}^{D} QS_{dcit} = DE_{cit} \qquad \forall\, c, i, t \quad (۴)$$

$$QP_{pit} \leq CPP_{pit} \times W_{pit} \qquad \forall\, p, i, t \quad (۵)$$

$$\sum_{d=1}^{D} QS_{pdit} + I_{pit} \leq CPD_{pit} \qquad \forall\, p, i, t \quad (۶)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$\sum_{c=1}^{C} QS_{dcit} + I_{dit} \le CPD_{dit} \qquad \forall\, d,i,t \qquad (۷)$$

$$I_{pit} = I_{pit-1} + QP_{pit} - \sum_{d=1}^{D} QS_{pdit} \qquad \forall\, p,i,t \qquad (۸)$$

$$I_{dit} = I_{dit-1} + \sum_{p=1}^{P} QS_{pdit} - \sum_{c=1}^{C} QS_{dcit} \qquad \forall\, d,i,t \qquad (۹)$$

$$QP_{pit}, QS_{pdit}, QS_{dcit}, I_{pit}, I_{dit} \ge 0 \qquad \forall p,d,c,i,t \qquad (۱۰)$$

$$W_{pit} \in \{0,1\} \quad , \quad I_{pi0}, I_{di0} = 0 \qquad (۱۱)$$

محدودیت (۳) بیانگر این است که مقدار محصول ارسالی از تمامی کارخانه‌ها به مرکز توزیع d حداقل به اندازه مقدار محصول ارسالی از آن مرکز توزیع به تمامی مشتریان در دوره زمانی t می‌باشد. در محدودیت (۴) بایستی کل محصول ارسالی نوع i از تمامی مراکز توزیع برای مشتری c برابر با تقاضای آن مشتری از محصول i در دوره t می‌باشد. محدودیت (۵) ظرفیت تولید هر واحد محصول را در صورت تولید در دوره مربوطه نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۶) و (۷) نشان‌دهنده ظرفیت هر کارخانه و مرکز توزیع به منظور حمل و نگهداری هر واحد محصول در دوره t است. روابط (۸) و (۹) نیز محدودیت‌های تعادلی موجودی محصول i در سطوح کارخانه و مرکز توزیع می‌باشند. به طور نمونه در محدودیت (۸) موجودی هر واحد محصول i در کارخانه p در دوره t برابر با موجودی محصول در دوره قبل به اضافه مقدار تولید محصول در آن دوره منهای مقادیر ارسالی از کارخانه p به تمامی توزیع کنندگان در دوره مربوطه می‌باشد. محدودیت (۱۰) بیانگر متغیرهای غیرمنفی مسئله می‌باشد. محدودیت (۱۱) نیز نشان دهنده متغیر صفر و یک مسئله و شرایط اولیه موجودی در کارخانه‌ها و مراکز توزیع می‌باشد.

۳- روش حل پیشنهادی

مسئله مورد بررسی به صورت یک مدل چند هدفه ارائه شده است. در مسائل بهینه‌سازی تک هدفه، با بهینه ساختن تابع هدف مربوطه، مدل به پایان می‌رسد اما در مسائل چند هدفه، بهینه‌سازی همزمان چند تابع هدف، کار سخت و زمان‌بری است و در اغلب این گونه مسائل تعدادی جواب قابل قبول بر اساس معیارهای نامغلوبی به دست می‌آید. بنابراین جواب نهایی به شکل دسته‌ای از جواب‌ها[۴] است که نماینده موازنه‌ای[۵] از توابع هدف مختلف مسئله می‌باشد. در نهایت یکی از جواب‌ها به عنوان جواب مرجح توسط تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود. یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه کلی را می‌توان به صورت رابطه (۱۲) تعریف کرد:

$$Minimize\ f(x) = [f_1(x),\ f_2(x), \dots, f_Q(x)]$$
Subject to:
$$x \in X \qquad (۱۲)$$

که $X \subseteq R^Q$ فضای حل موجه مسئله و $x = \{x_1,\ x_2, \dots, x_p\}$ مجموعه متغیرهای تصمیم در فضای p بعدی است.

روش‌های مختلفی به منظور حل مدل های چند هدفه ارائه شده است. روش‌های Lp- متریک، لکسیکوگراف، ε- محدودیت و وزن دهی از جمله این روش‌ها می‌باشند. که در این تحقیق از روش Lp- متریک که یکی از روش‌های معروف در ادبیات مسائل چند هدفه می‌باشد استفاده شده است. در این روش به دنبال کمینه‌سازی انحرافات توابع هدف از مقدار بهینه‌شان هستیم [۱۳]. در روش معیار جامع ابتدا جواب‌های انفرادی برای بهینگی هر تابع هدف محاسبه شده سپس تابع هدف (۱۳) کمینه می‌گردد.

$$Min\ F(x) = \left[\sum_{i=1}^{k}\left[w_i\left|\frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^*}\right|\right]^P\right]^{\frac{1}{P}} \qquad (۱۳)$$

که w_i بیانگر درجه اهمیت (وزن) برای هدف iام می‌باشد و $P \in ([1,\infty) \cup \{\infty\})$ می‌باشد. $P = 1$ نشان‌دهنده آن است که اهمیت یکسانی برای تمامی انحرافات در نظر گرفته می‌شود. وقتی P به سمت بی‌نهایت میل می‌کند نشان‌دهنده آن است که بزرگترین انحراف نشان دهنده فاصله می‌باشد [۱۴]. در این تحقیق از $P = 1$ و $P = \infty$ استفاده شده و جواب‌های حاصل از این دو را با هم مقایسه می‌نمائیم. لازم به ذکر است که در $P = 1$ با توجه به رابطه (۱۳) به صورت یک تابع هدف کمینه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. اما، در $P = \infty$ به حداقل رساندن مجموع انحرافات معادل با بیشینه‌کردن تک تک انحرافات است. تابع هدف پیشنهادی با در نظر گرفتن $P = \infty$ به صورت روابط (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) و مدل نهایی (۱۷) مطرح می‌شود:

$$min\left[max\left\{w_1\left|\frac{f_1^* - f_1(x)}{f_1^*}\right|, w_2\left|\frac{f_2^* - f_2(x)}{f_2^*}\right|, \dots, w_k\left|\frac{f_k^* - f_k(x)}{f_k^*}\right|\right\}\right] \qquad (۱۴)$$

$$max\left\{w_1\left|\frac{f_1^* - f_1(x)}{f_1^*}\right|, w_2\left|\frac{f_2^* - f_2(x)}{f_2^*}\right|, \dots, w_k\left|\frac{f_k^* - f_k(x)}{f_k^*}\right|\right\} = Z \qquad (۱۵)$$

$$min\left[max\left\{\begin{matrix} w_1\left|\frac{f_1^* - f_1(x)}{f_1^*}\right|, \\ w_2\left|\frac{f_2^* - f_2(x)}{f_2^*}\right|, \dots, w_k\left|\frac{f_k^* - f_k(x)}{f_k^*}\right| \end{matrix}\right\}\right] = min\ Z \qquad (۱۶)$$

$$\begin{cases} min\ Z \\ subject\ to. \\ x \in X \\ Z \ge w_i\left|\frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^*}\right| \end{cases} \qquad (۱۷)$$

٤- تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش با ارائه مثال‌های مختلف به حل مدل پیشنهادی و همچنین ارزیابی کارایی روش مورد نظر می‌پردازیم. روش پیشنهادی با نرم افزار لینگو ۱۱ کدنویسی شده که بر روی یک نوت بوک Intel Core i5-450M, 2.53 GHz با چهار گیگا بایت RAM اجرا گردیده است. تقاضا از توزیع نرمال با میانگین ۱۰۰۰ و انحراف استاندارد ۲۰ و مابقی پارامترها به صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت در نظر گرفته شده‌اند که در جدول (۱) مقادیر آن‌ها نشان داده شده است.

4- Fronts
5- Trade-off

Archive of SID

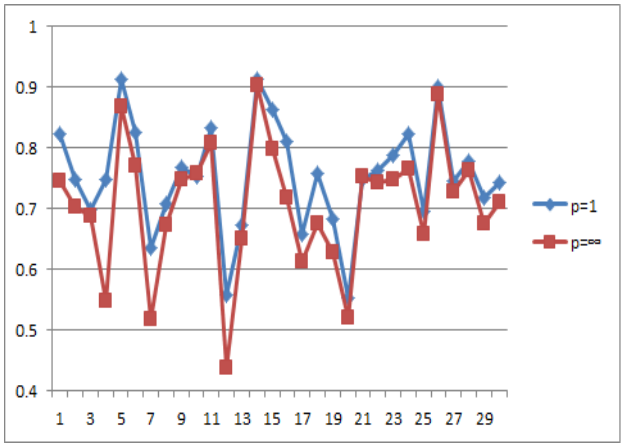
www.SID.ir

جدول (۱): دامنه مقادیر پارامترهای ورودی مسئله

تابع توزیع	پارامتر	تابع توزیع	پارامتر
Uniform(۹۰و۱۰۰)	CT_{dcit}	Norm(۱۰۰۰و۲۰)	DE_{cit}
Uniform(۲۵۰۰و۳۰۰۰)	CPD_{pit}	Uniform(۳۵و۴۵)	CP_{pit}
Uniform(۱۵و۲۰)	CH_{pit}	Uniform(۱۰و۱۵)	CSE_{pit}
Uniform(۶۵و۷۰)	CT_{pdit}	Uniform(۲۰۰۰و۲۵۰۰)	CPP_{pit}
Uniform(۲۰۰۰و۳۰۰۰)	CPD_{dit}	Uniform(۱۰و۱۵)	CH_{dit}

مدل پیشنهادی را برای ۳۰ مسئله نمونه با ابعاد سه کارخانه تولید (P=۳)، چهار مرکز توزیع (D=۴)، پنج مشتری (C=۵) با سه نوع محصول (I=۳) و در طی سه دوره زمانی (T=۳) اجرا گردیده‌اند. جدول (۲) تابع هدف یکپارچه شده و زمان حل هر دو $P = 1$ و $P = \infty$ را نشان می‌دهد. همچنین میانگین این ۳۰ مسئله برای هر دو روش در انتها محاسبه شده است که مقادیر نشان‌دهنده این است که برای کیفیت جواب‌ها $P = \infty$ میانگین جواب‌های بهتری دارد که با رنگ تیره مشخص شده است. برای زمان محاسباتی نیز $P = 1$ در میانگین زمانی کمتری به جواب رسیده است. مقایسه مقادیر به دست آمده از دو روش در شکل‌های (۲) و (۳) به صورت گرافیکی نشان داده است.

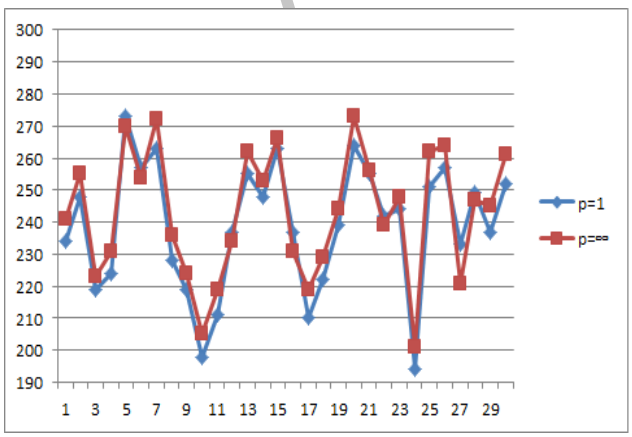
به منظور بررسی و مقایسه دقیق‌تر از تحلیل‌های آماری استفاده کرده‌ایم. در این حیطه از آزمون t بهره جسته‌ایم. بدین منظور خروجی تحلیل واریانس به صورت P-Value های به دست‌آمده گزارش شده است. بدین ترتیب که برای مقدار تابع هدف یکپارچه شده P-Value برابر با ۰/۰۷ و برای زمان محاسباتی برابر با ۰/۴۳ به دست‌آمده که در سطح اطمینان ۰/۹۵ فرض برابری میانگین مقادیر حاصل از دو روش رد نمی‌شود. همچنین، فواصل اطمینان معیارها به صورت نمودارهای فاصله‌ای در شکل‌های (۴) و (۵) ترسیم شده است. لذا خروجی‌های آماری بیانگر این است که تفاوت معنی‌داری بین دو روش وجود ندارد و هر دو کاملاً قابلیت رقابت با یکدیگر را دارند.



شکل (۲): نمودار گرافیکی مقایسه توابع هدف یکپارچه شده برای هر دو مقدار p

جدول (۲): نتایج و ارزیابی عملکرد روش ارایه شده در مسائل نمونه

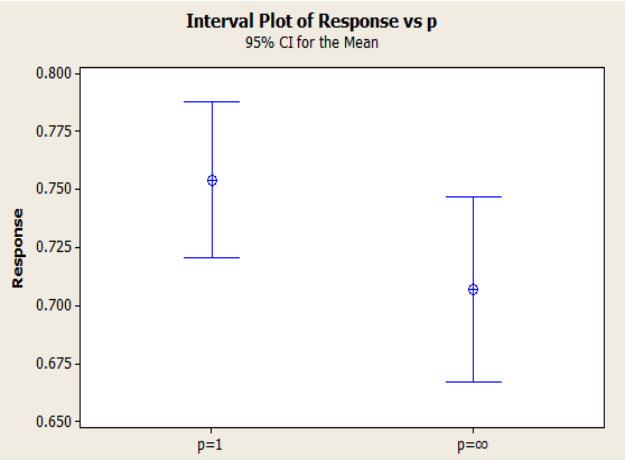
شماره مسئله	p=1		p=∞	
	تابع هدف یکپارچه شده	زمان (ثانیه)	تابع هدف یکپارچه شده	زمان (ثانیه)
۱	۰/۸۲۲	۲۳٤	۰/۷٤٥	۲٤۱
۲	۰/۷۹٤	۲٤۸	۰/۷۰۳	۲٥٥
۳	۰/٦٦۹	۲۱۹	۰/٦۸۸	۲۲۳
٤	۰/۷٤۷	۲۲٤	۰/٥٤۷	۲۳۱
٥	۰/۹۱٤	۲۷۳	۰/۸٦۹	۲۷۰
٦	۰/۸۲٦	۲٥۷	۰/۷۷۱	۲٥٤
۷	۰/٦۳٥	۲٦۳	۰/٥۱۷	۲۷۲
۸	۰/۷۰۹	۲۲۸	۰/٦۷۲	۲۳٦
۹	۰/۷٦۸	۲۱۹	۰/۷٤۸	۲۲٤
۱۰	۰/۷٥۳	۱۹۸	۰,۷٥۸	۲۰٥
۱۱	۰/۸۳۳	۲۱۱	۰/۸۰۸	۲۱۹
۱۲	۰/٥٥۷	۲۳۷	۰/٤۳۹	۲۳٤
۱۳	۰/٦۷۳	۲٥٥	۰/٦٥۱	۲٦۲
۱٤	۰/۹۱۲	۲٤۸	۰/۹۰٤	۲٥۳
۱٥	۰/۸٦۳	۲٦۳	۰/۷۹۹	۲٦٦
۱٦	۰/۸۱۱	۲۳۷	۰/۷۱۸	۲۳۱
۱۷	۰/٦٥۹	۲۱۰	۰/٦۱٤	۲۱۹
۱۸	۰/۷٥۸	۲۲۲	۰/٦۷٥	۲۲۹
۱۹	۰/٦۸٤	۲۳۹	۰/٦۲۸	۲٤٤
۲۰	۰/٥٥٤	۲٦٤	۰/٥۲۱	۲۷۳
۲۱	۰/۷٤۷	۲٥٥	۰/۷٥۲	۲٥٦
۲۲	۰/۷٦۲	۲٤۲	۰/۷٤٤	۲۳۹
۲۳	۰/۷۸۷	۲٤٤	۰/۷٤۸	۲٤۸
۲٤	۰/۸۲۳	۱۹٤	۰/۷٦٦	۲۰۱
۲٥	۰/٦۹٥	۲٥۱	۰/٦٥۹	۲٦۲
۲٦	۰/۹۰۱	۲٥۷	۰/۸۸۹	۲٦٤
۲۷	۰/۷٤٥	۲۳۳	۰/۷۲۷	۲۲۱
۲۸	۰/۷۷۸	۲٤۹	۰/۷٦۳	۲٤۷
۲۹	۰/۷۱۸	۲۳۷	۰/٦۷٦	۲٤٥
۳۰	۰/۷٤۳	۲٥۲	۰/۷۱۰	۲٦۱
میانگین	۰/۷٥٤۱	۲۳۸/۷٦	۰/۷۰٦۹	۲٤۲/۸۳



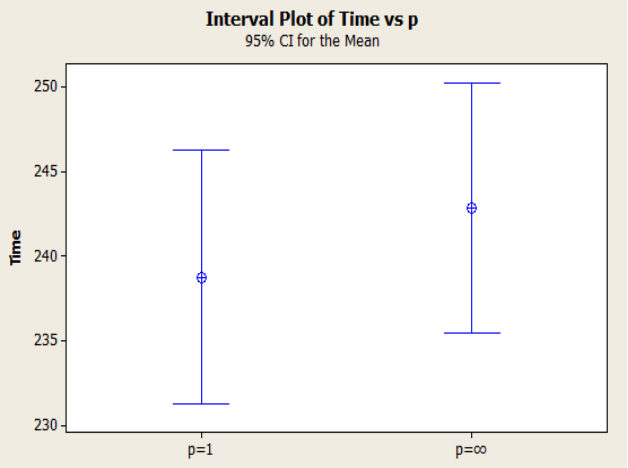
شکل (۳): نمودار گرافیکی مقایسه زمان محاسباتی برای هر دو مقدار p

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (٤): نمودار فاصله‌ای مقایسه توابع هدف یکپارچه شده برای هر دو مقدار p



شکل (٥): نمودار فاصله‌ای مقایسه زمان محاسباتی برای هر دو مقدار p

٥- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مدلی دو هدفه برای مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه تولید-توزیع در یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل کارخانه‌های تولیدی، مراکز توزیع و مشتریان نهایی ارائه گردید. مدل مسئله در برگیرنده دو هدف غیر هم راستا با کمینه‌کردن کل هزینه‌های زنجیره شامل هزینه های آماده‌سازی و تولید، هزینه حمل و نگهداری موجودی در سطح تولیدکننده و همین طور برای مراکز توزیع و ارسال آن برای مشتریان و به حداقل رساندن کل هزینه‌های مربوط به مراکز توزیع شامل هزینه‌های حمل و خرید و نگهداری موجودی است.

به منظور حل مدل پیشنهادی یکی از روش‌های شناخته‌شده در حل مسائل چند هدفه به نام روش Lp- متریک با پارامترهای $P = 1$ و $P = \infty$ پیشنهاد شده است. برای هر کدام ۳۰ مثال عددی مورد اجرا قرار گرفته است و دو شاخص جواب به صورت تابع هدف یکپارچه شده و زمان محاسباتی برای آن مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است. برای تحقیقات آتی می توان مدل را با در نظر گرفتن عدم قطعیت در برخی از پارامترها مانند تقاضا، ظرفیت حمل و نقل و ظرفیت تولید به کار برد و آن را از طریق روش‌های حل مسائل چند هدفه فازی حل نمود.

٦- منابع و مآخذ

[1] Ballou, R.H. (2004). **Business Logistics/Supply Chaun Management**. Perentic Hall.

[2] Chandra, P., & Fisher, M.L. (1994). **Coordination of production and distribution planning**. European Journal of Operational Research, 72 (3), 503-17.

[3] Chopra, S., & Meindle, P. (2005). **Supply chain management-strategy**, planning and operation, 2nd Ed. Prentic Hall.

[4] Cohen, M.A., & Lee, H.L. (1989). **Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks**, Journal of Manufacturing and Operation Management, 2(1), 81-104.

[5] Fahimnia, B., Zanjirani Farahani, R., Marian, R. & Luong, L. (2013). **A review and critique on integrated production–distribution planning models and techniques**. Journal of Manufacturing Systems. 32(1), 1-19.

[6] Jayaraman, V., & Pirkul, H. (2001). **Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities**, European Journal of Operational Research, 133(2), 394-408.

[7] King, R.H., & Love, R.R. (1980). **Coordination decisions for increased profits**, Management Science, 10(6), 4-19.

[8] Pasandideh, S.H.R., Niaki, S.T.A., & Hajipour, V. (2013). **A multi-objective facility location model with batch arrivals: two parameter tuned meta-heuristic algorithms**, Journal of Intelligent Manufacturing, 24(2), 331-348.

[9] Sabri, E.H., & Beamon, B.M. (2000). **A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design**, Omega, 28(5), 581-598.

[10] Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2000). **Designing and Managing the Supply Chain Concepts, Strategies, and Case Studies**, McGraw-Hill. Boston.

[11] Tsiakis, P., & Papageorgiou, L.G. (2008). **Optimal production allocation and distribution supply chain networks**, International Journal of Production Economics, 111(2), 468-483

[12] Liu, S., Papageorgiou L.G. (2013). **Multi objective optimization of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry**. Omega, 41(2), 369-382.

[13] Stadler, W. (1984). **Application of Multi-criteria Optimization in Engineering and Science (A Survey)**, In: Zeleny, M. (ed.) Multiple Criteria Decision Making-Past Decade and Future Trends. Greenwich, CT: JAI.

[14] Yilmaz, P., & Catay, B. (2006), **Strategic level three-stage production-distribution planning with capacity expansion**. Computers and Industrial Engineering; 51 (4), 609-620.

Archive of SID

www.SID.ir