طراحی یک مدل ریاضی دوهدفه زنجیره تأمین پویا در شرایط چند تولیدکننده و چند توزیع‌کننده

محمد مهدی پایدار [*]، **سعید صمدی دانا** [۲]، **جان محمد رجبی** [۳]
دانشگاه علم و صنعت دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم) دانشگاه جامع امام حسین(ع)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۰۵

چکیده

در بسیاری از بنگاه‌های اقتصادی تأمین محصولات با کیفیت با کمترین هزینه از اهداف اصلی آنها به‌شمار می‌رود. تحقق این دو هدف هم‌زمان و با یکدیگر در بسیاری موارد امکان‌پذیر نیست. در این مقاله یک مدل ریاضی دو هدفه با رویکردی یکپارچه جهت تعیین جریان محصولات در طول زنجیره تأمین پویا در سطوح تولید، توزیع و بازار ارائه شده است. هدف مدل پیشنهادی کمینه‌سازی هزینه‌های خرید، حمل و نقل و نگهداری محصولات از یک طرف و بیشینه‌سازی خرید محصولات با کیفیت بالاتر از طرف دیگر می‌باشد. در نهایت، جهت ارزیابی مدل پیشنهادی، با به‌کارگیری روش محدودیت اپسیلن [۴] به‌عنوان یک نگرش بهینه‌سازی برای حل مسائل چند هدفه، یک مثال جامع برگرفته از مطالعه موردی یک سازمان نظامی حل شده است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین پویا، تولید، توزیع، روش محدودیت اپسیلن

۱- مقدمه

مفاهیم و روش‌های سنتی مدیریت کسب و کار بر بهینه‌سازی فعالیت‌های درون سازمانی تمرکز داشته‌اند. این روش‌ها در بهبود عملکرد کل سیستم کسب و کار با محدودیت مواجه بوده‌اند. جهانی شدن بازارها و افزایش رقابت بین سازمان‌های مختلف از یک جهت و هم‌چنین افزایش توقعات مشتریان برای محصولات و خدمات با کیفیت بالاتر و با تنوع بالا در ظاهر و کارکرد از سوی دیگر، موجب شده است که سازمان‌ها برای بقا و دوام، دیگر نتوانند فقط بر مدیریت سازمان خود متکی باشند و برای افزایش کارایی خودشان به زنجیره‌های تأمین معطوف شوند[۱]. زنجیره تأمین به‌عنوان یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت مناسب جریان مواد، کالا، اطلاعات و مالی توانایی پاسخگویی به شرایط رقابتی را دارا می‌باشد. در حالت کلی، زنجیره تأمین از دو یا چند سازمان تشکیل می‌شود که رسماً از یکدیگر جدا هستند و به‌وسیله جریان‌های مواد، اطلاعات و مالی به یکدیگر مربوط می‌شوند. این سازمان‌ها می‌توانند بنگاه‌هایی باشند که وظایفی چون؛ تولید، توزیع، انبارش، عمده‌فروشی و خرده‌فروشی محصول نهایی و یا خدمات را بر عهده گیرند. حتی خود مصرف‌کننده نهایی را نیز می‌توان یکی از این سازمان‌ها در نظر گرفت. تعاریف مختلفی از زنجیره تأمین در ادبیات موضوع از دیدگاه‌های مختلف ارائه شده است.

چاپرا [۵] و میندل [۶] زنجیره تأمین را در برگیرنده کلیه اعضایی که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در برآوردن خواسته مشتری دخیل هستند تعریف نموده‌اند[۲]. این اعضا شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده، حامل، انبار، توزیع‌کننده و

۱*- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: paydar@iust.ac.ir ، نشانی: تهران- خیابان هنگام- خیابان دانشگاه- جنب بانک ایران زمین پلاک ۶۹ - شرکت بهاران
۲- کارشناس مهندسی کامپیوتر- نرم‌افزار، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه خوارزمی، پست‌الکترونیکی: s_samadidana@yahoo.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نرم افزار دانشگاه جامع امام حسین(ع)، پست‌الکترونیکی: rajabi.m@baharan.ir

4- ε-constraint method

5- Chopra
6- Meindel

مشتری می‌باشد. یکی از مزایای ایجاد زنجیره تأمین، در نظر گرفتن ارتباط میان سازمان‌های مختلف است که به‌منظور برآورد تقاضای مشتریان، با هم در تعامل هستند. در نگرش زنجیره تأمین کمینه‌سازی هزینه‌ها و انجام برنامه‌ریزی مختلف برای یک سازمان (تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده) به تنهایی اثر گذار نبوده بلکه لازم است سازمان‌های مختلف و تعاملات بین آنها به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته شود.

یکپارچه‌سازی عامل مهمی در بهبود کارایی زنجیره تأمین است. در یک سیستم یکپارچه، ارتباط بین تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان یکی از مهم‌ترین عواملی است که در روش‌های سنتی، فعالیت‌ها در هر مرحله به‌صورت جداگانه و بدون در نظر گرفتن تأثیر متقابل بین آنها در نظر گرفته می‌شود. اتخاذ تصمیمات جداگانه بدون در نظر گرفتن روابط متقابل، رسیدن به تصمیمات کارا را تضمین نمی‌کند.

۲- ادبیات موضوع

نخعی کمال‌آبادی و همکاران یک مدل عدد صحیح آمیخته برای مسئله یکپارچه‌سازی زمان‌بندی و حمل و نقل در زنجیره تأمین سه مرحله‌ای با هدف حداقل‌سازی بیشترین زمان تکمیل انجام کارها در حالت چند محصولی، چندمرحله‌ای ارائه داده‌اند[۳]. مرحله اول شامل تأمین‌کنندگان، مرحله دوم شامل ناوگان حمل و نقل کالاها و مرحله سوم شامل شرکت‌های سازنده محصولات نهایی در نظر گرفته شده است. در نهایت برای حل مسئله مذکور یک الگوریتم ژنتیک با کروموزوم‌های ماتریسی ارائه شده است.

موسوی طباطبائی و ماکوئی یک متدولوژی برای تخصیص مقادیر ذخیره احتیاطی در یک زنجیره تأمین ارائه کرده‌اند[۴]. مسئله مورد نظر، دارای دو هدف کمینه نمودن بهترین زمان دسترسی و هزینه موجودی است. با توجه به ماهیت NP-Hard مسئله، از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل متدولوژی پیشنهادی در مسائل با ابعاد بزرگ استفاده شده است.

نورنگ و مالک با توجه به مشکلات موجود در شرکت قطعات محوری خراسان یک مدل دو هدفه فازی براساس هزینه کل و سطح سرویس مشتری جهت تنظیم ذخیره اطمینان در زنجیره تأمین این شرکت توسعه داده‌اند[۵]. هم‌چنین محدودیت‌هایی نظیر ظرفیت تولید، اندازه دسته در سفارش مواد اولیه در نظر گرفته شده است.

چاوهان[1] و همکاران به بررسی مسئله زمان‌بندی در زنجیره تأمین با تابع هدف کمینه‌سازی حداکثر زمان تکمیل کارها پرداخته‌اند[۶]. آنها مسئله زمان‌بندی در زنجیره تأمین را تبدیل به یک مسئله زمان‌بندی در محیط مونتاژی کرده و مسئله را برای دو حالت وجود یک عملیات مونتاژ و چند عملیات مونتاژ بررسی کرده و برای هر حالت یک الگوریتم ابتکاری ارائه کردند.

ستاک و شریفی یک مدل صحیح غیرخطی موجودی چندمحصولی برای ارزیابی و انتخاب مناسب سطوح اول و دوم تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین با لحاظ عوامل کیفی و کمی ارائه دادند[۷]. در این مدل هزینه‌های نگهداری محصولات مختلف در افق برنامه‌ریزی و میزان تخفیف برای تأمین‌کنندگان سطح اول در نظر گرفته شده است. برای حل مدل مذکور از نگرش برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده است.

کرباسیان و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی استراتژیک با منابع محدود در یک زنجیره تأمین چند لایه ارائه داده‌اند[۸]. هدف اصلی مدل، یافتن استراتژی‌های بهینه در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن توابع کمینه‌سازی هزینه‌های مواد اولیه، تولید، حمل و نقل، توزیع، کمبود و فروش از دست رفته و بیشینه‌سازی درآمد است. محدودیت‌های ظرفیت تدارکات و انبارها، حداقل مقدار اقتصادی تولید در نظر گرفته شده است.

بابازاده و همکاران یک شبکه لجستیک معکوس رو به جلو یکپارچه چند دوره‌ای، چند سطحی و چند محصولی در شرایط عدم قطعیت برای مدیریت زنجیره تأمین طراحی کرده‌اند[۹]. آنها یک مدل پویای برنامه‌ریزی خطی صحیح برای چیدمان تسهیلات با روش‌های مختلف حمل و نقل و ظرفیت‌های انبساطی ارائه دادند. در مدل پیشنهادی، تقاضای مشتریان، نرخ بازگشت و کیفیت بازگشت به‌عنوان پارامترهای عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. آنها یک مدل بهینه‌سازی تصادفی بر پایه سناریو را جهت حل مدل ریاضی ارائه شده به‌کار گرفتند.

۳- مدل ریاضی

مسئله اصلی این تحقیق ارائه یک مدل دو هدفه زنجیره تأمین چند محصولی در محیط پویا در شرایط چند تولیدکننده و چند توزیع کننده برای بهینه سازی هزینه در

1- Chauhan

کل جریان زنجیره و بیشینه سازی میزان خرید محصولات با کیفیت می‌باشد. فرضیات اصلی مسئله به شرح زیر است:

- افق برنامه‌ریزی محدود و گسسته (چنددوره‌ای) است.
- تولیدکنندگان براساس سطح پراکندگی تقاضای بازار و اولویت‌های مشتریان در هر بخش از بازار، محصولات را می‌توانند با چند درجه کیفیت تولید نمایند.
- هزینه‌های خرید، توزیع و حمل و نقل بین سطوح مختلف مشخص می‌باشد.
- تقاضای هر مشتری از هر محصول در هر دوره مشخص می‌باشد.

شمارنده‌ها

p: شمارنده محصولات $(p=1,2...,P)$

s: شمارنده تولیدکنندگان $(s=1,2,...,S)$

r: شمارنده توزیع‌کنندگان $(r=1,2,...,R)$

c: شمارنده مشتریان $(c=1,2,...,C)$

W_r: شمارنده انبارهای توزیع‌کنندگان $(w=1,2,...,W_r)$

W_c: شمارنده انبارهای مشتریان $(w=1,2,...,W_c)$

q: شمارنده سطوح کیفیت $(q=1,2,...,Q_p)$

t: شمارنده تعداد دوره $(t=1,2,...,T)$

پارامترها:

BS_{pqst}: هزینه خرید هر واحد محصول pام با کیفیت qام از تولیدکننده sام در دوره tام

BR_{prt}: هزینه توزیع هر واحد محصول p ام توسط توزیع کننده rام در دوره tام

DS_{sr}: فاصله بین تولیدکننده s ام و توزیع کننده rام

DR_{rc}: فاصله بین توزیع‌کننده rام و مشتری cام

D_{pct}: تقاضای مشتری c ام از محصول p ام در دوره t ام

MCA_{stpq}: *حداکثر ظرفیت تولید* محصول p ام با کیفیت q ام در دوره t ام توسط تولیدکننده s ام

CCA_{cw}: ظرفیت انبار w ام مشتری c ام

RCA_{rw}: *ظرفیت انبار* wام توزیع‌کننده r ام

BU_{ct}: بودجه مشتری c ام در دوره t ام

H_{pt}: هزینه نگهداری محصول pام در دوره t ام

F_{spq}: ۱اگر تولیدکننده s ام توانایی تولید محصول p را با کیفیت q ام داشته باشد، ۱؛در غیر این صورت،صفر.

T_{pt} :هزینه حمل هر واحد محصول p ام در واحد مسافت در دوره t ام.

α_{pq}: ارزش محصول pام با کیفیت qام برای بازار. فرض بر این است که $0 \le \alpha_{pq} \le 1$ و به ازای هر محصول $\sum_q \alpha_{pq} = 1$

متغیرهای تصمیم

X_{srpqt} : میزان خرید محصول pام با سطح کیفیت qام توسط توزیع‌کننده r ام از تولیدکننده s ام در دوره t ام

Y_{rcpqt} : میزان خرید محصول pام با سطح کیفیت qام توسط مشتری c ام از توزیع‌کننده r ام در دوره t ام

HX_{wrpqt} : میزان نگهداری محصول pام با سطح کیفیت qام در انبار w ام توزیع‌کننده rام در انتهای دوره tام جهت انتقال به دوره $t+1$

HY_{wcpqt}: میزان نگهداری محصول pام با سطح کیفیت q ام در انبار w ام مشتری c/م در انتهای دوره tام جهت انتقال به دوره $t+1$

مدل ریاضی ارائه شده دارای دو تابع هدف می‌باشد. تابع هدف اول مجموع هزینه‌های سیستم را کمینه می‌کند. این هزینه‌ها شامل: هزینه خرید محصولات از تولیدکنندگان توسط توزیع‌کنندگان، هزینه حمل و نقل محصولات بین تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان، هزینه خرید محصولات از توزیع‌کنندگان توسط مشتریان، هزینه حمل و نقل محصولات بین توزیع‌کنندگان و مشتریان، هزینه نگهداری موجودی در انبارهای توزیع‌کنندگان، هزینه نگهداری موجودی در انبارهای مشتریان می‌باشد. هدف هر سیستمی فراهم آوردن محصول با کیفیت با توجه به کمینه‌سازی هزینه‌های لجستیکی می‌باشد. لذا در کنار هدف کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم، تابع هدف دوم به دنبال بیشینه‌سازی خرید محصولات با کیفیت بالاتر توسط مشتریان می‌باشد.

تابع هدف

$$Min = \sum_t \sum_s \sum_r \sum_p \sum_q \left(DS_{sr}T_{pt} + BS_{pqst}\right) X_{srpqt} + \sum_t \sum_r \sum_c \sum_p \sum_q \left(DR_{rc}T_{pt} + BR_{prt}\right) Y_{rcpqt} \quad (1-1)$$

$$+ \sum_t \sum_r \sum_p \sum_q H_{pt} HX_{wrprt} + \sum_t \sum_s \sum_p \sum_q H_{pt} HY_{wcpt}$$

$$Max = \alpha_{pq} Y_{rcpqt} \quad (۱-۲)$$

محدودیت‌ها

$$\sum_{r} F_{spq} X_{srpqt} \le MCA_{stpq} \qquad \forall s,p,q,t \quad (۲)$$

$$\sum_{p}\sum_{q} HX_{wrpqt} \le RCA_{rw} \qquad \forall r,w,t \quad (۳)$$

$$\sum_{p}\sum_{q} HY_{wcpqt} \le CCA_{cw} \qquad \forall c,w,t \quad (۴)$$

$$D_{pct} = \sum_{r=1}^{R}\sum_{q=1}^{Q} Y_{rcpqt} + \sum_{w=1}^{W_c}\sum_{q=1}^{Q} HY_{wcpq(t-1)} - \sum_{w=1}^{W_c}\sum_{q=1}^{Q} HY_{wcpqt} \qquad \forall p,c,t \quad (۵)$$

$$\sum_{s=1}^{S} F_{spq} X_{srpqt} = \sum_{c=1}^{C} Y_{rcpqt} + \sum_{w=1}^{W_r} HX_{wrpq(t-1)} - \sum_{w=1}^{W_r} HX_{wrpqt} \qquad \forall r,p,q,t \quad (۶)$$

$$\sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P}\sum_{q=1}^{Q}\left(DR_{rc}T_{pt} + BR_{prt}\right) Y_{rcpqt} \le BU_{ct} \qquad \forall c,t \quad (۷)$$

محدودیت (۲) بیان می‌کند که میزان فروش هر تولید کننده از هر محصول با هر کیفیتی از حداکثر ظرفیت تولید آن در هر دوره‌ای کمتر می‌باشد. محدودیت (۳) میزان ظرفیت انبارهای هر توزیع‌کننده را در هر دوره کنترل می‌کند. محدودیت (۴) میزان ظرفیت انبارهای هر مشتری را در هر دوره کنترل می‌کند. محدودیت (۵) معادله تعادل بین مشتری و توزیع‌کننده می‌باشد. میزان تقاضای هر مشتری از هر محصول در هر دوره توسط خرید از توزیع‌کنندگان یا از انبارهای خود مشتری تأمین می‌شود. محدودیت (۶) معادله تعادل بین توزیع‌کننده و تولیدکننده می‌باشد. معادله (۷) محدودیت بودجه هر مشتری در هر دوره برای خرید محصولات می‌باشد.

۴- روش حل

امروزه با پیچیده شدن سیستم‌ها و فراهم شدن قابلیت انتخاب استراتژی‌های مختلف توسط مدیران، مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه از اهمیت بالایی برخوردار است. چون سیستم‌ها به دنبال دست‌یابی به اهدافی هستند که لزوماً هم‌راستا با یکدیگر نمی‌باشند یعنی اهداف در تعارض با یکدیگر هستند. مشکل عمده در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه از آنجا ناشی می‌شود که جواب بهینه شدنی توابع هدف مختلف لزوماً با هم یکی نبوده و حتی در بسیاری موارد متعارض یکدیگر نیز می‌باشند. در چنین شرایطی نمی‌توان همه اهداف را به‌صورت هم‌زمان بهینه نمود. در عوض باید به جستجوی تعادل رضایت‌بخشی مابین این جواب‌ها پرداخت.

به‌همین لحاظ مفاهیم بهینگی ویژه‌ای در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه مورد نیاز می‌باشد.

در حل یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه دو نوع پیچیدگی مفهومی را می‌توان شناسایی کرد: جستجو و تصمیم‌گیری. ویژگی اول مربوط به فرآیند بهینه‌سازی است که در آن مجموعه‌ای به عنوان نمونه‌ای از مجموعه بهینه پارتو شناسایی می‌شود. همانند بهینه‌سازی تک‌هدفه، فضاهای جواب بزرگ و پیچیده، فرآیند جستجو را مشکل ساخته و امکان استفاده از روش‌های بهینه‌سازی قطعی نظیر برنامه‌ریزی خطی را محدود می‌سازد. ویژگی دیگر، به چگونگی انتخاب یک جواب‌سازشی[8] از میان مجموعه جواب بهینه پارتو توسط تصمیم‌گیر می‌پردازد. روش‌های مختلفی برای مسائل بهینه‌سازی چندهدفه ارائه شده است که نمونه‌هایی از این روش‌ها: روش وزن‌دهی، برنامه‌ریزی آرمانی، روش لکسیکوگراف و روش محدودیت اپسیلن می‌باشند.

۴-۱- روش محدودیت اپسیلن

یک مسئله چندهدفه ریاضی با p تابع هدف $f_i(x), (i=1,2,...,p)$ را در نظر بگیرید $x \in X$، که یک بردار از متغیرهای تصمیم‌گیرنده فضای جواب شدنی است که توسط محدودیت‌های مسئله چندهدفه مشخص می‌شود. در اینجا فرض می‌کنیم که همه تابع هدف‌ها باید کمینه گردند. در روش محدودیت اپسیلن، ابتدا یکی از توابع هدف با بیشترین اولویت، به‌عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته

8- Compromise

شده و (فرض تابع هدف اول) بهینه می‌شود و بقیه توابع هدف به‌عنوان محدودیت به فضای جواب شدنی X به‌صورت زیر اضافه می‌گردد:

$$\begin{aligned} &\text{Min } f_1(x) \\ &\text{S.t. } f_2(x) \le e_2 \,,\ f_3(x) \le e_3 \,,\ \dots \,,\ f_p(x) \le e_p \,, \\ &x \in X \,. \end{aligned} \qquad (۸)$$

در رابطه (۸) منظور از اندیس‌هایی که برای توابع هدف در نظر گرفته شد، همان اولویت‌هایی است که تصمیم‌گیرنده مشخص می‌کند. جواب‌های بهینه پارتو با کمک متغیرهای پارامتری سمت راست $(e_2, e_3, \dots, e_p)$ محدودیت‌های جدید محاسبه می‌گردد. برای به‌کار بردن روش محدودیت اپسیلن باید دامنه هر تابع هدف (حداقل p-1 تابع هدفی که در محدودیت قرار می‌گیرند) را داشته باشیم، که این دامنه‌ها جهت تعیین نقاط شبکه برای مقادیر متغیرهای پارامتری سمت راست مورد استفاده قرار می‌گیرد. متداول‌ترین روش برای محاسبه دامنه توابع هدف، استفاده از جدول بازده[9] است. برای تشکیل جدول بازده برای مسائل چندهدفه ابتدا هر تابع هدف f_i به‌صورت جداگانه با محدودیت‌های اصلی حل شده و جواب بهینه آن محاسبه می‌گردد. مقدار بهینه f_i با $f_i^*(x_i^*)$ نشان داده می‌شود که x^*_i بردار متغیرهای تصمیم است که تابع هدف f_i را بهینه می‌کند، سپس با این بردار متغیر تصمیم، مقادیر دیگر توابع هدف $f_1, f_2, .., f_{i-1}, f_{i+1}, .., f_p$ را محاسبه می‌کنیم که به‌صورت $f_1(x_i^*), f_2(x_i^*), .., f_{i-1}(x_i^*), f_{i+1}(x_i^*), .., f_p(x_i^*)$ نشان داده می‌شود. در این روش جدول بازده دارای p سطر و p ستون می‌باشد.

$$\phi = \begin{pmatrix} f_1^*(\bar{x}_1^*) & \dots & f_i^*(\bar{x}_1^*) & \dots & f_p^*(\bar{x}_1^*) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_1^*(\bar{x}_i^*) & \dots & f_i^*(\bar{x}_i^*) & \dots & f_p^*(\bar{x}_i^*) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_1^*(\bar{x}_p^*) & \dots & f_i^*(\bar{x}_p^*) & \dots & f_p^*(\bar{x}_p^*) \end{pmatrix}$$

در این جدول هر ستون مربوط به یک تابع هدف است. لذا دامنه هر تابع هدف از این ستون‌ها قابل محاسبه است. در ادامه به تعریف چند مفهوم استفاده شده در روش محدودیت اپسیلن می‌پردازیم.

نقطه ایده‌آل: نقطه‌ای است که در آن تمامی توابع هدف در بهترین ارزش خود از لحاظ بهینگی هستند.

$$f_i^U = \min_x \{ f_i(x) | x \in X \} \quad \forall i = 1,2,\dots,p$$

$$f^U = [f_i^U] = \left[f_1^*(x_1^*) \ ,\dots, \ f_i^*(x_i^*) \ ,\dots, \ f_p^*(x_p^*) \right]$$

نقطه غیر ایده‌آل (حضیض): نقطه‌ای است که در آن تمامی توابع هدف در بدترین ارزش خود از لحاظ بهینگی هستند.

$$f_i^N = \max_x \{ f_i(x) \mid x \in X \} \quad \forall i = 1,2,\dots,p$$

$$f^N = [f_i^N]$$

نقطه شبه غیر ایده‌آل: این تعریف مفهوم نزدیکی به تعریف نقطه غیر ایده‌آل دارد که به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$f^{SN} = \left[f_1^{SN}, \dots, f_i^{SN}, \dots, f_p^{SN} \right]$$

$$f_i^{SN} = \max \left[f_i(x_1^*), \dots, f_i^*(x_i^*), \dots, f_i(x_p^*) \right]$$

لازم به ذکر است که نقاط ایده‌آل، غیر ایده‌آل و شبه غیرایده‌آل در فضای هدف یا معیار تعریف می‌شود.

$$f_i^U \le f_i(x) \le f_i^{SN} \qquad (۹)$$

بعد از یافتن دامنه همه توابع هدف با استفاده از رابطه(۹)، تکنیک محدودیت اپسیلن دامنه p-1 تابع هدف $f_2, f_3, \dots, f_p$ را به $q_2, q_3, \dots, q_p$ فاصله مساوی تقسیم می‌شود. که این فاصله‌ها با استفاده از $(q_2\text{-}1), (q_3\text{-}1), \dots, (q_p\text{-}1)$ نقطه شبکه‌ای میانی با فاصله مساوی تشکیل می‌شوند. با در نظر گرفتن نقاط ماکزیمم و مینیمم تابع هدف‌ها، در کل تعداد نقاط شبکه‌ای برای هر تابع هدف f_i برابر (q_i+1) است (برای $i=2,..,p$). بنابراین ما باید $\prod_{i=2}(q_i+1)$ زیرمسئله بهینه‌سازی حل کنیم، که زیر مسئله‌های $(n_2, n_3, \dots, n_p)$ به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} &\text{Min} \quad f_1(x) \\ &\text{S.t.} \quad f_2(x) \le e_{2,n2} \ ,\dots, f_p(x) \le e_{p,np} \qquad x \in X \end{aligned}$$

متغیرهای پارامتری سمت راست به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$e_{i,ni} = f_i^{SN} - \left(\frac{f_i^{SN} - f_i^U}{q_i} \right) \times n_i \quad ; \quad n_i = 0,1,2,\dots,q_i$$

با حل هر زیرمسئله بهینه یک جواب کاندید برای مسئله مورد نظر یا یک جواب بهینه پارتو به‌دست می‌آید. برخی از زیرمسئله‌ها ممکن است فضای حل نشدنی داشته باشد که کنار گذاشته می‌شوند. در میان جواب‌های بهینه

9- Payoff table

پارتوی به‌دست آمده، جواب با بالاترین اولویت توسط تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود.

برای درک بهتر مثال زیر را در نظر بگیرید:

$$\min \quad f_1 = x_2$$
$$\min \quad f_2 = -3x_1 - x_2$$
$$s.t:$$
$$x_1 - x_2 \le 30$$
$$x_2 \le 40$$
$$x_1 \ge 20$$
$$x_2 \ge 10$$

با استفاده از روش محدودیت اپسیلن معمولی، جدول بازده به‌صورت جدول (۱) به‌دست می‌آید.

جدول (۱): جدول بازده به‌دست آمده از روش بهینه‌سازی معمولی

	f_1	f_2
Min f_1	۱۰	-۷۰
Min f_2	۴۰	-۲۵۰

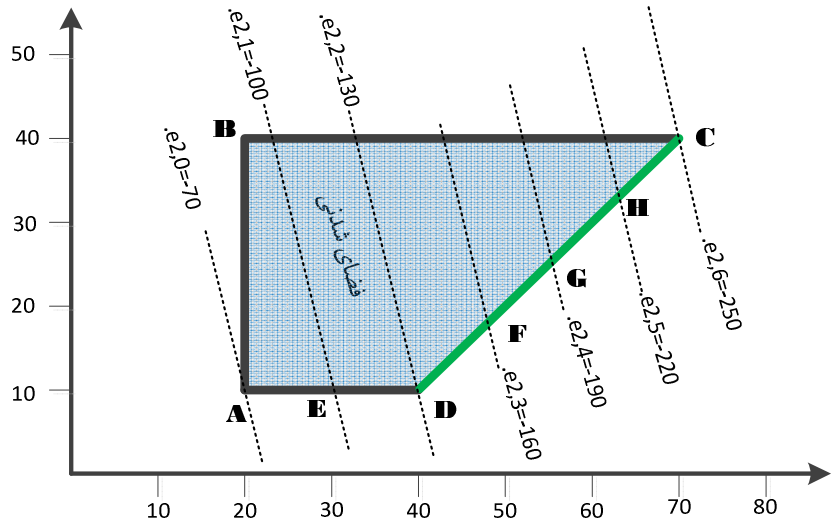
در جدول (۱) ابتدا بدون در نظر گرفتن تابع هدف دوم، تابع هدف اول را با محدودیت‌های مسئله، به‌عنوان زیر مسئله اول حل می‌کنیم که در نقطه A به بهینگی می‌رسد و مقدار آن ۱۰ می‌باشد. سپس بردار بهینه متغیرهای تصمیم به‌دست آمده (x^*=(۱۰،۲۰)) از زیر مسئله اول را در تابع هدف دوم قرار داده و مقدار آن را در جدول (۱) برابر ۷۰- است. سپس تابع هدف دوم را با محدودیت‌ها به‌عنوان یک زیر مسئله حل می‌کنیم که در نقطه C با مقدار ۲۵۰- به بهینگی می‌رسد. بردار بهینه متغیرهای تصمیم در این نقطه (x^*=(۷۰،۴۰)) است، که آن را در تابع هدف اول قرار می‌دهیم و مقدار آن ۴۰ می‌شود. بعد از تکمیل جدول بازده، باید دامنه تابع هدف دوم یعنی f_2 (در حالت کلی دامنه p-1 تابعی که در محدودیت قرار می‌گیرند) را به q_2 قسمت مساوی تقسیم کرد که در این مثال ۶ فرض می‌شود لذا این تقسیم‌بندی با q_2+1 (در این مثال ۷) نقطه شبکه‌ای با مقادیر $e_{2,n2}, (n2 = 0,1,...,6)$ انجام می‌شود. بنابراین در این مثال دامنه تابع هدف دوم را مطابق شکل (۱) با ۷ نقطه شبکه‌ای به‌صورت زیر تقسیم‌بندی می‌کنیم:

$$e_{2,0} = -250, \quad e_{2,1} = -220 \quad ,..., \quad e_{2,6} = -70$$

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود روش محدودیت اپسیلن نقاط A، E، D، F، G، H و Cرا به‌عنوان مجموعه پارتو اتخاذ می‌کند که نقاط D، F، G، H و C کارا هستند و نقاط A و E جواب‌های مغلوب جواب D اند و ناکارا می‌باشند.

۵- مثال عددی

در این بخش مثالی جامع برگرفته از یک سازمان نظامی برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار لینگو بر روی یک رایانه شخصی با پردازنده Intel® Core (TM) i52.4 GHz با فضای حافظه ۴ گیگا بایت حل شده است. این سازمان نظامی به‌دنبال تأمین ۸ نوع محصول مورد نیاز ۲۰ یگان خود می‌باشد. ۵ تولیدکننده مختلف، محصولات مورد نیاز را تولید می‌کنند و ۳ توزیع کننده سازمانی، وظیفه توزیع



شکل(۱): نتیجه روش محدودیت اپسیلن معمولی توزیع

محصولات بین یگان‌های سازمان را دارند. هر محصول در سه نوع کیفیت مختلف توسط تولیدکنندگان تولید می‌شود. برای حل مدل توسط روش محدودیت اپسیلن، ابتدا باید جدول بازده تشکیل داده شود. بدین منظور، هر تابع هدف به‌صورت جداگانه با محدودیت‌های اصلی حل شده و جواب بهینه آن محاسبه می‌گردد. جدول بازده مثال ارائه شده در جدول (۲) نمایش داده شده است.

جدول (۲): جدول بازده مثال ارائه شده

	f_1	f_2
$Min\ f_1$	۹۴۴۷۵۰	۱۲۴۵۰
$Max\ f_2$	۱۰۹۴۴۵۶	۶۰۵۹۷

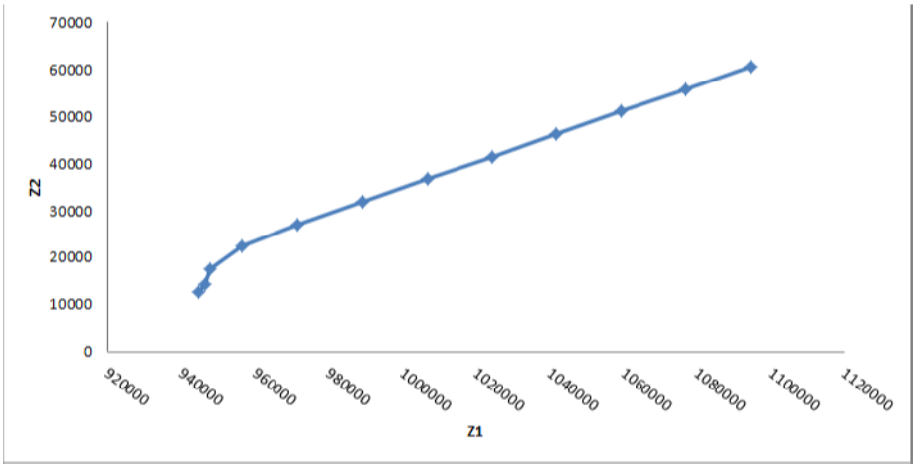
در ادامه، تابع هدف هزینه را به‌عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته و تابع هدف دوم را به‌عنوان محدودیت به فضای جواب شدنی اضافه می‌کنیم. با توجه به جدول بازده، دامنه تابع هدف دوم برابر ۴۸۱۴۷ می‌باشد که آن را به ۱۲ قسمت مساوی تقسیم کرده و مدل محدودیت اپسیلن را در ۱۲ حالت حل می‌کنیم. جواب‌های به‌دست آمده در جدول (۳) و شکل (۲) نشان داده شده است. برای مثال، برنامه-ریزی خرید و توزیع محصولات در دوره اول برای یگان اول برای جواب حالت پنجم در جدول (۴) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، محصولات ۲و۳و۵ و۷ همگی با بالاترین کیفیت (کیفیت سوم)، محصول ۶ با کیفیت دوم و محصول اول تقریباً با کیفیت اول توسط یگان یکم از توزیع‌کنندگان خریداری می‌شود. برنامه‌ریزی خرید و توزیع سایر یگان‌ها در سه دوره مختلف به‌همین صورت است.

۶- نتیجه‌گیری

کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی در مدل‌سازی مسائل مختلف به ویژه در حوزه تصمیم‌گیری موجب شده است محققان دیدگاه ویژه‌ای به این مدل‌ها در حل و بهینه‌سازی مسائل مختلف داشته باشند. از طرفی، همان‌طور که اشاره شد، هدف از این تحقیق ایجاد هماهنگی مؤثر بین تولیدکننده،

جدول (۳): جواب‌های کارای به‌دست آمده برای مثال ارائه شده

جواب کارا	۱	۲	۳	۴	۵	۶
هدف اول	۹۴۴۷۵۰	۹۴۶۴۸۶	۹۴۷۹۳۳	۹۵۶۳۱۳	۹۷۱۷۳۲	۹۸۹۲۶۴
هدف دوم	۱۲۴۵۰	۱۴۱۳۹	۱۷۲۶۴	۲۲۰۷۹	۲۶۸۹۴	۳۱۷۰۸
جواب کارا	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
هدف اول	۱۰۰۶۷۹۶	۱۰۲۴۳۲۷	۱۰۴۱۸۵۹	۱۰۵۹۳۹۰	۱۰۷۶۹۲۲	۱۰۹۴۴۵۶
هدف دوم	۳۶۵۲۳	۴۱۳۳۸	۴۶۱۵۲	۵۰۹۶۷	۵۵۷۸۲	۶۰۵۹۷



شکل (۲): جواب‌های کارای به‌دست آمده برای مثال ارائه شده

جدول (۴): برنامه‌ریزی خرید و توزیع محصولات در دوره اول برای یگان اول برای جواب حالت پنجم

محصول	۱	۲	۳	۴
D_{p11}	۱۳۰۰	۸۰۰	۲۱۰۰	۰
X_{srpq1}	X(4, 2, 1, 1, 1) = 464 X(1, 1, 1, 1, 1)=5229	X(1, 1, 2, 3, 1)=2346	X(4, 2, 3, 3, 1)=1848 X(4, 3, 3, 3, 1) =4762	X(3, 2, 4, 3, 1)=1017
Y_{r1pq1}	Y(1, 1, 1, 1, 1)= 1299 Y(1, 1, 1, 2, 1)=1	Y(1, 1, 2, 3, 1)=800	Y(1, 1, 3, 3, 1)=2100	-
محصول	۵	۶	۷	۸
D_{p11}	۴۵۰	۲۰	۸۱۰	۰
X_{srpq1}	X(3, 2, 5, 3, 1)=190 X(1, 1, 5, 3, 1)=2835	X(4, 2, 6, 2, 1)=179 X(4, 3, 6, 2, 1)=451	X(3, 1, 7, 3, 1)=2731	X(5, 1, 8, 3, 1)=1007
Y_{r1pq1}	Y(1, 1, 5, 3, 1)=450	Y(1, 1, 6, 2, 1)=20	Y(1, 1, 7, 3, 1)= 810	-

توزیع‌کننده و مشتریان با در نظر گرفتن اهداف مشترک آنها بوده است. در این راستا یک مدل برنامه‌ریزی صحیح دو هدفه جهت یکپارچه‌سازی عملیات تولید-توزیع در زنجیره تأمین سه سطحی ارائه شده است. از ویژگی‌های در نظر گرفته شده در مدل پیشنهادی می‌توان به تولید محصولات مختلف با کیفیت‌های گوناگون، چند دوره‌ای بودن افق برنامه‌ریزی، وجود توزیع‌کنندگان سازمانی جهت تأمین محصولات مشتریان اشاره کرد. از دیگر ویژگی‌های بارز مدل ارائه شده، باید به عمومی بودن مدل اشاره کرد که امکان استفاده از مدل در صنایع مختلف تولیدی وجود دارد. جهت حل و ارزیابی مدل پیشنهادی، با استفاده از روش محدودیت اپسیلن، مثالی برگرفته از مطالعه موردی یک سازمان نظامی حل شده و نتایج محاسباتی آن ارائه گردیده است. برخی از مهم‌ترین مواردی که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد کنکاش و بررسی بیشتر قرار گیرد عبارتنداز:

الف) اعمال شرایط عدم قطعیت محیط و سیستم مانند تقاضای محصولات و ظرفیت تولیدکنندگان در دوره‌های مختلف،

ب) ارائه روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل مدل در اندازه‌های بزرگ و واقعی.

منابع

[۱] نخعی کمال آبادی، ع.، قسیمی، ص.، قدسی، ر.، "***توسعه و بهبود مدل‌های کنترل موجودی کالاهای فاسد شدنی در زنجیره تأمین سه سطحی با شرط لجستیک به‌هنگام***"، فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی، جلد۱، شماره ۱، صفحات۱۸-۹، سال ۱۳۸۸.

[2] Chopra, S., P. Meindel, "***Supply chain management - strategy, planning & operation***". 3rd ed. 1 vols: Pearson Prentice Hall, 2007.

[۳] نخعی کمال‌آبادی، ع.، جوادیان ،ن.، گوران ،م.، نورزاده ، ب.، "***ارائه یک مدل ریاضی برای یکپارچه‌سازی زمان‌بندی و حمل و نقل در زنجیره تأمین چند کارخانه‌ای***"، فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی، جلد۱۳، شماره ۱، صفحات ۲۴-۳، سال ۱۳۸۶.

[۴] موسوی طباطبائی، س.ر، ماکوئی، ا، "***متدولوژی برای تخصیص مقادیر ذخیره احتیاطی در یک زنجیره تأمین با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید***"، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، جلد۴۳، شماره ۱، ۱۰۹-۹۵، سال ۱۳۸۸.

[۵] نورنگ، ا.، مالک، م.، "***توسعه یک مدل دو هدفه فازی جهت تنظیم ذخیره اطمینان در واحدهای ذخیره موجودی زنجیره تأمین***"، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد۲۳، شماره ۲، صفحات ۲۲۵-۲۱۲، سال ۱۳۹۱.

[6] Chauhan, S.S., Eremeev, A.V., Romanova, A.A., Servakh, V.V., Woeginger, G.J., "***Approximation of the supply scheduling problem***", Operations Research Letters, Vol.33, No.3, 249-254, 2005.

[۷] ستاک، م.، شریفی، س.، "***یک مدل ریاضی یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کنندگان دولایه از زنجیره تأمین***"، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۲، شماره ۱،۹۸-۹۲، سال ۱۳۹۰.

[8] Karbasian, M., Bashiri, M., Safaei, M., "***Complex Integrated Supply Chain Planning with Multiple Modes Supply, Production and Distribution by ELECTRE Method***", International Journal of Industrial Engineering & Production Research, Vol.22, No.3, pp. 187-198, 2011.

[9] Babazadeh, R., Tavakkoli-Moghaddam, R., Razmi, J., "***A Complex Design of the Integrated Forward-Reverse Logistics Network under Uncertainty***", International Journal of Industrial Engineering & Production Research, Vol.23, No.2, pp.113-123, 2009.