

مدل سازی و حل یک مسئله‌ی دوهدفه‌ی زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی و تحلیل حساسیت آن با استفاده از آزمون فرض آماری و روش‌های تاپسیس و میانگین ساده‌ی وزنی

حسن حیدری فتحیان (دانشجوی کارشناسی ارشد)

سید حمیدرضا پسندیده* (دانشیار)

گروه مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۳۹۷ (۱۳۹۷)
دوری (۱۳۴-۱)، شماره ۱/۱، ص. ۸۷-۹۳

این تحقیق به ارائه‌ی مدلی دوهدفه برای بهینه‌سازی یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی می‌پردازد. این زنجیره‌ی تأمین از نوع چندمحصولی و چنددوره‌یی است و سطوح آن به ترتیب شامل واحدهای تولیدی، مراکز پخش و مشتریان است. اهداف این مسئله شامل کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین و به‌طور همزمان بیشینه‌سازی میانگین سطوح موجودی اطمینان است. مسئله در ابتدا در قالب یک مدل دوهدفه‌ی غیرخطی عدد صحیح فرمول‌بندی می‌شود. سپس به‌منظور حل مدل از دو روش بیشینه - کمینه و معیار جامع استفاده می‌شود. مدل با استفاده از نرم‌افزار GAMS و در ۳۰ اندازه‌ی مختلف اجرا می‌شود. در ادامه براساس سه معیار و با استفاده از آزمون فرض آماری روش‌های پیشنهادی با یکدیگر مقایسه و از دو الگوریتم تاپسیس و مجموع ساده‌ی وزنی برای انتخاب روش برتر استفاده می‌شود. در نهایت تحلیل حساسیت بر روی چند پارامتر صورت می‌گیرد.

واژگان کلیدی: مدیریت زنجیره‌ی تأمین، بهینه‌سازی چندهدفه، تصمیم‌گیری چندمعیاره، آزمون فرض آماری.

std_fathian@khu.ac.ir
shr_pasandideh@khu.ac.ir

۱. مقدمه

برای تصمیمات مکان‌یابی -- تخصیص یک زنجیره‌ی تأمین چهارسطحی با هدف بیشینه‌کردن ارزش خالص فعلی جریان نقدی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین ارائه کردند.^[۵] در سال ۲۰۰۹ گبئینی و همکاران یک سیستم تولید - توزیع سه‌سطحی را به‌منظور کمینه‌سازی هزینه‌ها ارائه کردند که در آن یک مسئله‌ی مکان‌یابی - تخصیص پویا با کنترل سطح خدمت‌رسانی به مشتریان و بهینه‌سازی موجودی اطمینان مدل‌سازی شد.^[۶] تحقیق دیگری در همین سال توسط یاداو و همکاران صورت گرفت که هدف آن بهینه‌سازی مجموع هزینه‌های یک مدل زنجیره‌ی تأمین بود.^[۷] در اکثر موارد توابع هدف با یکدیگر در تضادند. مثلاً بیشینه‌سازی سطح خدمت‌رسانی موجب افزایش هزینه‌ها می‌شود. بنابراین هدف باید یافتن راه حلی باشد که نتایج قابل قبولی برای تمام توابع هدف در حال رقابت ارائه کند. در سال ۲۰۱۰ فرانکا و همکاران، یک مدل چندهدفه‌ی تصادفی را به‌منظور ارزیابی تعادل بین هزینه و کیفیت زنجیره‌ی تأمین مدل‌سازی کردند.^[۸] در سال ۲۰۱۱ میرزاپور و همکاران یک مدل زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی را در نظر گرفتند. مدل آنها دارای دو هدف بود که اولی سعی در کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره داشت و دومی مجموع بیشترین مقادیر کمبود مشتریان را کمینه می‌کرد.^[۹] در سال ۲۰۱۲ چیپلس و همکاران مدل دو هدفه‌یی را پیشنهاد کردند که در آن زنجیره‌ی تأمین را هم از لحاظ اقتصادی و

زنجیره‌ی تأمین شبکه‌یی یکپارچه از تأمین‌کنندگان، واحدهای تولیدی، مراکز پخش و مشتریان است. دریافت مواد خام و تبدیل آنها به محصول نهایی، مکان‌یابی مراکز پخش و رساندن محصول به مشتری نهایی در مقدار مناسب^۱، محل مناسب^۲ و زمان مناسب^۳ فعالیت‌هایی هستند که اجزای زنجیره‌ی تأمین برای انجام آنها سازماندهی شده‌اند.^[۱] بهینه‌سازی زنجیره‌ی تأمین به معنای انتخاب منابع به نحوی است که تابع یا توابع هدف مورد نظر بهینه شوند.^[۲] هدف از مدیریت زنجیره‌ی تأمین در بیشتر زنجیره‌های تأمین تک‌هدفه کمینه‌کردن هزینه یا بیشینه‌کردن سود است. اما در عمل، مدل‌سازی زنجیره‌ی تأمین نیازمند اهداف دیگری همچون کمینه‌سازی زمان تحویل، بیشینه‌سازی سطح خدمت‌رسانی، اثرات زیست‌محیطی^۴ و... نیز هست.^[۳] در سال ۲۰۰۶ امیری یک مدل زنجیره‌ی تأمین را به‌منظور دست‌یابی به بهترین تصمیمات راهبردی در مکان‌یابی واحدهای تولیدی و مراکز پخش برای ارسال کالا به مشتریان با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های شبکه‌ی توزیع ارائه کرد.^[۴] در سال ۲۰۱۵ نوییل و اخوان‌نیاکی یک مدل تک‌هدفه‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۲/۲۷، اصلاحیه ۱۳۹۵/۴/۱۴، پذیرش ۱۳۹۵/۵/۶

DOI: 10.24200/J65.2018.5542

هم از لحاظ زیست‌محیطی بررسی کردند. هدف آنها رسیدن به مطلوبیت اقتصادی با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی بود.^[۱۱] در سال ۲۰۱۳ رزمی و همکاران یک مدل دوهدفه را به منظور طراحی مجدد یک شبکه‌ی انبار ارائه کردند. اهداف مدل ارائه شده، کمینه‌سازی هزینه‌ها و همچنین بیشینه‌سازی درصد پوشش تقاضای مشتری بود.^[۱۲] سوسمیتا و رنجان در تحقیق دیگری در همان سال مدل دوهدفه‌ی پیشنهاد کردند که اهداف آن شامل کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های زنجیره و دیگری کمینه‌سازی اثر شلاقی در طول زنجیره‌ی تأمین بود.^[۱۳] در سال ۲۰۱۴ کاردونا والدز و همکاران به توسعه مدلی برای طراحی یک زنجیره‌ی تأمین پرداختند. مدل ارائه شده دارای دو هدف به منظور کمینه‌کردن هزینه‌ها و به طور همزمان کمینه‌سازی زمان خدمت‌دهی بود.^[۱۴] روش‌های مختلفی به منظور حل مسائل چندهدفه وجود دارد. در سال ۲۰۱۵ پسندیده و همکاران یک مدل دوهدفه را برای یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی ارائه و از شش روش مختلف به منظور حل آن استفاده کردند.^[۱۵] در همین سال وحدانی و محمدی مدل دوهدفه‌ی برای طراحی یک زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته ارائه کردند. اهداف مدل ارائه شده شامل کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ها و همین‌طور کمینه‌سازی بیشینه‌ی زمان‌های انتظار در صف محصولات تولیدی بود.^[۱۶] سلطانی و همکاران در همین سال مدل دوهدفه‌ی را ارائه کردند که به دنبال کمینه‌سازی هزینه‌ها و همچنین کمینه‌سازی میزان کربن‌دی‌اکسید تولیدشده در اثر حمل‌ونقل در طول زنجیره‌ی تأمین بود.^[۱۷] در سال ۲۰۱۶ فلیکس و همکاران، یک مدل دوهدفه را برای یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی پیشنهاد دادند. هدف از مدل ارائه شده توسط آنها، کمینه‌سازی هزینه‌ها و به طور همزمان کمینه‌سازی تعداد دفعاتی بود که خرده‌فروشان محصولات سفارش داده شده خود را به موقع دریافت نمی‌کردند.^[۱۸] در همین سال تحقیق دیگری صورت گرفت که در آن دو هدف به منظور کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین و همچنین بیشینه‌سازی سطح خدمت‌دهی پیشنهاد شده بود.^[۱۹] در این مقاله یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی چنددوره‌ی شامل واحدهای تولیدی که محصولات مختلفی را تولید می‌کنند، مراکز پخش که محصولات تولیدی را به منظور پاسخگویی به نیازهای مشتریان ذخیره می‌کنند، و در نهایت مشتریان که سطح نهایی زنجیره‌ی تأمین هستند، در نظر گرفته شده است. قابلیت پاسخگویی بالا برای رفع نیازهای مشتری از جمله اهدافی است که در مدیریت زنجیره‌ی تأمین بسیار حائز اهمیت است. نوآوری این تحقیق که در سایر پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه مشاهده نشده است، ارائه‌ی تابعی برای بیشینه‌سازی میانگین سطح موجودی اطمینان به منظور کاهش احتمال مواجه شدن با کمبود در هنگام تقاضای مشتری و افزایش قابلیت پاسخگویی است. عدم توانایی در برطرف ساختن نیازهای مشتری می‌تواند باعث ازدست‌دادن مشتری و اعتبار شود. می‌توان با تعیین سیاست‌هایی با این مشکل احتمالی مقابله کرد. این رویکرد می‌تواند در همه‌ی شرکت‌هایی که در آنها داشتن قابلیت پاسخگویی بالا یک امر مهم تلقی می‌شود، به‌کار گرفته شود. اهداف این مسئله تعیین تعداد و مکان بهینه‌ی مراکز پخش، تعداد بهینه‌ی محصولات تولیدی کارخانه‌ها، میزان بهینه‌ی محصولات ارسال شده از واحدهای تولیدی به مراکز پخش و از مراکز پخش به مشتریان، مقدار بهینه‌ی موجودی در مراکز پخش و واحدهای تولیدی، میزان بهینه‌ی موجودی اطمینان کوتاه در واحدهای تولیدی و مراکز پخش، و مقدار بهینه‌ی کمبود محصولات مشتریان است. مسئله دارای دو تابع هدف متضاد است. هدف اول کمینه‌سازی هزینه‌ی کل زنجیره‌ی تأمین و هدف دوم بیشینه‌سازی میانگین سطح موجودی اطمینان واحدهای تولیدی و مراکز پخش است. مسئله در ابتدا در قالب یک مدل غیرخطی دوهدفه فرمول‌بندی می‌شود. روش‌های حل گوناگونی برای حل مدل‌های چندهدفه وجود دارد. در این تحقیق از دو روش حل مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه به منظور حل مدل ارائه شده استفاده می‌شود. نوآوری

دیگر این تحقیق نسبت به سایر تحقیقات صورت‌گرفته، در روش حل آن است. بدین ترتیب که در هر یک از دو روش پیشنهادی به منظور حل مدل، مدل مسئله در ۳۰ اندازه‌ی مختلف با استفاده از نرم‌افزار GAMS اجرا و سپس از آزمون فرض آماری به منظور مقایسه‌ی دو روش پیشنهادی استفاده می‌شود. بدین منظور براساس سه معیار از پیش تعیین‌شده، میانگین نتایج ۳۰ مرتبه اجرای مدل در دو روش توسط آزمون فرض برابری میانگین‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در ادامه برای انتخاب روش برتر از الگوریتم‌های تاپسیس^۵ و مجموع ساده‌ی وزنی^۶ استفاده می‌شود. همچنین در نهایت، تحلیل حساسیت بر روی چند پارامتر مسئله صورت می‌گیرد.

در بخش دوم، مسئله و مدل ریاضی ارائه شده به‌طور کامل بیان می‌شود. در بخش سوم روش حل مسئله توضیح داده شده می‌شود و مثال عددی در بخش چهارم بیان خواهد شد. مسئله در بخش پنجم مورد تحلیل حساسیت واقع می‌شود و نهایتاً در بخش ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

۲. بیان مسئله

در این بخش به توضیح مسئله پرداخته می‌شود. این مسئله دارای دو تابع هدف متضاد برای یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی است. تابع هدف نخست سعی در کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین دارد. تابع هدف دوم نیز به دنبال بیشینه‌سازی میانگین سطح موجودی اطمینان برای افزایش قابلیت پاسخگویی تقاضای مشتری است. با توجه به این‌که افزایش سطح موجودی باعث افزایش هزینه‌های نگهداری و در واقع افزایش هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین می‌شود، نمی‌توان هر دو تابع هدف را همزمان بهینه‌ی مطابق کرد و به عبارت دیگر دو تابع هدف با یکدیگر در تضادند. اولین سطح این زنجیره‌ی تأمین شامل کارخانه‌های تولیدی است که مواد اولیه را به محصول مورد نظر تبدیل می‌کنند. سطح دوم این زنجیره‌ی تأمین به مراکز توزیع اختصاص دارد که کالاها را، که از کارخانه‌های تولیدی دریافت می‌کنند، در خود ذخیره می‌کند و کالاها را به سطح سوم این زنجیره‌ی تأمین، که مشتریان کالاها هستند، ارسال می‌کنند. در این مسئله تعدادی مرکز پخش به صورت کاندید در نظر گرفته شده‌اند که با توجه به هزینه‌ی ثابت احداث و ظرفیت مراکز پخش تعداد مناسب آنها تعیین می‌شود. همچنین مسئله در دوره‌های مختلف و با چند نوع کالای تولیدی بررسی می‌شود.

زنجیره‌ی تأمین این مسئله دارای یک محیط قابل تشخیص است که در آن تمام پارامترهای ورودی مانند تقاضا، زمان‌های تولید، زمان‌های راه‌اندازی و هزینه‌های مختلف زنجیره مشخص است. کارخانه‌های تولیدی دارای محدودیت در تولید و ذخیره‌ی محصولات در یک دوره‌اند. همچنین مراکز پخش نیز دارای حجم محدود به منظور ذخیره‌ی محصولات یک دوره هستند. هدف مسئله تشخیص موارد زیر است:

- نوع و تعداد محصولاتی که باید در یک دوره توسط کارخانه‌ها تولید شوند؛
- جریان محصولات بین واحدهای تولیدی و مراکز پخش انتخاب شده؛
- تخصیص مشتریان به مراکز پخش انتخاب شده؛
- تعداد و محل مراکز پخش؛
- موجودی واحدهای تولیدی و مراکز پخش در پایان دوره؛
- میزان کمبود تقاضای مشتری؛
- میزان موجودی اطمینان کوتاه.

به طوری که:

۱. مجموع هزینه های زنجیره ی تأمین شامل هزینه ی تولید، حمل و نقل، توزیع، اجرا، احداث مراکز پخش، کمبود و هزینه های موجودی واحدهای تولیدی و مراکز پخش کمیته شود.
۲. میانگین سطوح موجودی اطمینان برای واحدهای تولیدی و مراکز پخش بیشینه شود.

دوره ی زمانی (m^T) ؛

R_m^k : مجموع ظرفیت ارسال در دسترس کارخانه ی m برای ارسال محصول نوع k در هر دوره ی زمانی؛
 DC_{it}^k : میزان تقاضای مشتری i از محصول نوع k در دوره ی زمانی t ؛
 V_k : حجم هر واحد محصول نوع k ، (m^T) ؛
 SI_j^k : میزان موجودی اطمینان محصول k در مرکز پخش j در هر دوره ی زمانی؛
 SI_m^k : میزان موجودی اطمینان محصول k در کارخانه ی m در هر دوره ی زمانی.

۳. مدل سازی مسئله

در این بخش یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح دودفده برای مسئله ارائه می شود. نمادهای مدل مسئله در ادامه تعریف می شوند.

۳.۳. متغیرها

Z_{mt}^k : متغیر دودویی تولید محصول؛ که اگر کارخانه m محصول k را در دوره ی t تولید کند مقدار ۱، و در غیر این صورت مقدار صفر می گیرد؛
 Y_j : متغیر دودویی احداث مراکز پخش؛ که اگر مرکز پخش j احداث شود مقدار ۱، و در غیر این صورت مقدار صفر می گیرد؛
 Q_{mt}^k : میزانی از محصول نوع k که توسط کارخانه ی m در دوره ی زمانی t تولید می شود؛
 U_{jmt}^k : میزانی از محصول نوع k که توسط کارخانه ی m در دوره ی زمانی t به مرکز پخش j ارسال می شود؛
 X_{ijt}^k : میزانی از محصول نوع k که توسط مرکز پخش j در دوره ی زمانی t به مشتری i ارسال می شود؛
 S_{it}^k : میزان کمبود محصول نوع k مربوط به تقاضای مشتری i در دوره ی زمانی t ؛

۱.۳. مجموعه ها

M : تعداد تأمین کنندگان $(m = 1, 2, \dots, M)$ ؛
 J : تعداد محل های کاندید مراکز پخش $(j = 1, 2, \dots, J)$ ؛
 I : تعداد مشتریان $(i = 1, 2, \dots, I)$ ؛
 K : انواع محصولات تولید شده $(k = 1, 2, \dots, K)$ ؛
 T : تعداد دوره های زمانی $(t = 1, 2, \dots, T)$.

۲.۳. پارامترها

C_{mt}^k : هزینه ی تولید هر واحد محصول نوع k توسط کارخانه ی m در دوره ی زمانی t ؛
 d_{jmt}^k : هزینه ی ارسال هر واحد محصول نوع k از کارخانه ی m به مرکز پخش j در دوره ی زمانی t ؛
 d_{ijt}^k : هزینه ی ارسال هر واحد محصول نوع k از مرکز پخش j به مشتری i در دوره ی زمانی t ؛
 $C A_{mt}^k$: هزینه ی راه اندازی تولید محصول نوع k توسط کارخانه ی m در دوره ی زمانی t ؛
 HD_{jt}^k : هزینه ی نگهداری هر واحد محصول نوع k توسط مرکز پخش j در دوره ی زمانی t ؛
 HP_{mt}^k : هزینه ی نگهداری هر واحد محصول نوع k توسط کارخانه ی m در دوره ی زمانی t ؛
 CS_{it}^k : هزینه ی کمبود هر واحد محصول نوع k مورد تقاضای مشتری i در دوره ی زمانی t ؛

۴.۳. مدل مسئله

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_{\downarrow} = & \sum_{j=1}^J f_j Y_j + \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J d_{jmt}^k Z_{mt}^k U_{jmt}^k \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K C A_{mt}^k Z_{mt}^k + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K HD_{jt}^k I_{jt}^k \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J d_{ijt}^k X_{ijt}^k + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K C S_{it}^k S_{it}^k \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K C_{mt}^k Q_{mt}^k + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K HP_{mt}^k I_{mt}^k \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_{\uparrow} = & \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \left(1 - \frac{SH_{mt}^k}{SI_m^k} \right) \\ & + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Y_j \left(1 - \frac{SH_{jt}^k}{SI_j^k} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

f_j : هزینه ی ثابت انتخاب یک مکان به عنوان مرکز پخش؛
 PT_m^k : زمان مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول نوع k توسط کارخانه ی m در هر دوره ی زمانی $(h/unit)$ ؛
 A_m^k : زمان راه اندازی برای تولید محصول نوع k توسط کارخانه ی m در هر دوره ی زمانی؛
 TT_{mt} : مجموع زمان تولید در دسترس کارخانه m به منظور تولید محصولات در دوره ی زمانی t ؛
 W_j : مجموع ظرفیت در دسترس مرکز پخش j برای ذخیره ی محصولات در هر دوره ی زمانی (m^T) ؛
 W_m : مجموع ظرفیت در دسترس کارخانه ی m برای ذخیره ی محصولات در هر

کارخانه نمی‌تواند از ظرفیت ارسال آن کارخانه بیشتر شود. رابطه‌ی ۸ بیشینه‌ی مقدار ممکن تولید محصول در کارخانه‌ها را با توجه به ظرفیت ذخیره‌ی هر کارخانه مشخص می‌کند. رابطه‌ی ۹ نشان‌گر بیشینه‌ی موجودی قابل نگه‌داری هر کارخانه در پایان هر دوره‌ی زمانی است. رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب مشخص‌کننده‌ی میزان موجودی اطمینان مراکز پخش و کارخانه‌ها در پایان هر دوره‌ی زمانی‌اند. رابطه‌ی ۱۲ میزان کمبود تقاضای مشتری را نشان می‌دهد. رابطه‌ی دو ضابطه‌ی ۱۳ میزان موجودی اطمینان کوتاه محصولات را در کارخانه‌ها در پایان هر دوره‌ی زمانی نشان می‌دهد. هنگامی که میزان موجودی اطمینان از موجودی محصول در پایان دوره‌ی زمانی بیشتر باشد مقدار موجودی اطمینان کوتاه برابر با اختلاف بین موجودی اطمینان و موجودی محصول در پایان دوره است و در غیر این صورت این مقدار صفر می‌شود. به‌طور مشابه رابطه‌ی ۱۴ میزان موجودی اطمینان کوتاه محصولات را در مراکز پخش در پایان هر دوره‌ی زمانی نشان می‌دهد. رابطه‌های ۱۵ و ۱۶ نیز نوع متغیرهای مسئله و مقادیر ممکن آنها را نشان می‌دهند.

۴. حل مدل پیشنهادی

روش‌های مختلفی برای حل مدل‌های چندهدفه وجود دارد. این روش‌ها به چهار طبقه‌ی کلی تقسیم شده‌اند. اولین گروه روش‌هایی هستند که فرایند حل آنها بدون کسب اطلاعات اولیه از تصمیم‌گیرنده صورت می‌پذیرد. روش‌های گروه دوم با کسب اطلاعات اولیه از تصمیم‌گیرنده عمل می‌کنند. گروه سوم شامل روش‌هایی است که در حین حل از تصمیم‌گیرنده اطلاعات دریافت می‌کنند و روش‌های گروه چهارم روش‌هایی هستند که براساس دیدگاه تصمیم‌گیرنده در پایان حل عمل می‌کنند.

روش‌های معیار جامع^۷ و بیشینه - کمینه^۸ از جمله روش‌های گروه اول هستند که در فرایند حل خود اطلاعات اولیه‌ی تصمیم‌گیرنده دریافت نمی‌کنند.^[۱۹] در این تحقیق در ابتدا از این دو روش به منظور حل مدل ارائه‌شده بهره گرفته شده است. سپس به منظور مقایسه‌ی این دو روش از آزمون فرض برابری میانگین‌ها و برای انتخاب بهترین گزینه از بین دو روش، از الگوریتم‌های تاپسیس و مجموع ساده‌ی وزنی استفاده شده است. در ادامه روش‌های حل انتخاب شده به‌طور مختصر بیان شده است.

۴.۱. روش معیار جامع

هدف این روش محاسبه‌ی جواب به گونه‌ی بی است که میزان اختلاف بین p تابع هدف $(f_j; j = 1, 2, \dots, p)$ و مقادیر جواب ایده‌آل آنها که از روش بهینه‌سازی انفرادی محاسبه شده است، $(f_j^*; j = 1, 2, \dots, p)$ کمترین مقدار را داشته باشد. به عبارت دیگر هنگامی که تمام توابع هدف از نوع بیشینه‌سازی هستند (توابع کمینه‌سازی باید به بیشینه‌سازی تبدیل شوند)، این روش بر مبنای کمینه‌سازی مقدار D به صورت زیر عمل می‌کند:

$$\text{Min } D = \left(\sum_{j=1}^p \left(\frac{f_j^* - f_j}{f_j^*} \right)^r \right)^{1/r} \quad (17)$$

در این تحقیق مقدار r برابر با ۲ در نظر گرفته شده است.

۴.۲. روش بیشینه - کمینه

این روش بر روی ضعیف‌ترین هدف تمرکز می‌کند. هدف این روش بیشینه‌سازی کمترین مقداری است که از تقسیم مقادیر توابع هدف بر روی مقادیر جواب ایده‌آل

Subject to

$$\sum_{k=1}^K PT_m^k \cdot Q_{mt}^k + \sum_{k=1}^K A_m^k \cdot Z_{mt}^k \leq TT_{mt} \quad \forall m, t \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M V_k \cdot U_{jmt}^k \leq W_j Y_j \quad \forall j, t \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijt}^k \leq DC_{it}^k \quad \forall i, t, k \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K V_k \cdot I_{jt}^k \leq W_j Y_j \quad \forall j, t \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^J U_{jmt}^k \leq R_m^k Z_{mt}^k \quad \forall k, t, m \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K V_k \cdot Q_{mt}^k \leq W_m \quad \forall m, t \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K V_k \cdot I_{mt}^k \leq W_m \quad \forall m, t \quad (9)$$

$$I_{jt}^k = I_{jt-1}^k + \sum_{m=1}^M U_{jmt}^k - \sum_{i=1}^I X_{ijt}^k \quad \forall j, k, t \quad (10)$$

$$I_{mt}^k = I_{m,t-1}^k + Q_{mt}^k - \sum_{j=1}^J U_{jmt}^k \quad \forall m, k, t \quad (11)$$

$$S_{it}^k = S_{it-1}^k + DC_{it}^k - \sum_{j=1}^J X_{ijt}^k \quad \forall i, k, t \quad (12)$$

$$SH_{mt}^k = \begin{cases} SI_m^k - I_{mt}^k & SI_m^k \geq I_{mt}^k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall m, k, t \quad (13)$$

$$SH_{jt}^k = \begin{cases} SI_j^k - I_{jt}^k & SI_j^k \geq I_{jt}^k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j, k, t \quad (14)$$

$$Y_j, Z_{mt}^k \in \{0, 1\} \quad \forall m, j, k, t \quad (15)$$

$$\left(\begin{matrix} Q_{mt}^k, I_{mt}^k, S_{it}^k, X_{ijt}^k, \\ U_{jmt}^k, I_{jt}^k, SH_{mt}^k, SH_{jt}^k \end{matrix} \right) \geq 0 \quad \forall m, j, i, k, t \quad (16)$$

رابطه‌ی ۱ نشان‌دهنده‌ی تابع هدف اول است که هدف آن کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین می‌باشد. این هزینه‌ها به ترتیب شامل هزینه‌ی ثابت احداث مرکز پخش، هزینه‌ی ارسال محصولات از کارخانه‌ها به مراکز پخش، هزینه‌ی راه اندازی تولید، هزینه‌ی نگه‌داری محصولات در مراکز پخش، هزینه‌ی ارسال محصولات از مراکز پخش به مشتریان، هزینه‌ی کمبود تقاضای مشتریان، هزینه‌ی تولید محصولات در کارخانه‌ها و هزینه‌ی نگه‌داری محصولات در کارخانه‌ها هستند. تابع هدف دوم نشان‌دهنده‌ی در رابطه‌ی ۲ سعی در بیشینه‌سازی میانگین سطوح موجودی اطمینان کارخانه‌های تولیدی و مراکز پخش دارد. رابطه‌ی ۳ بیشینه‌ی زمان در دسترس برای تولید محصولات را نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۴ نشان‌گر آن است که بیشینه‌ی مقدار کالای ارسالی به مراکز پخش نباید از ظرفیت آنها بیشتر باشد. رابطه‌ی ۵ اعلام می‌کند که مقدار کالای ارسالی هر نوع محصول به مشتری در یک دوره نباید از تقاضای مشتری بیشتر شود. ظرفیت نگه‌داری موجودی مراکز پخش در پایان هر دوره در رابطه‌ی ۶ نشان داده شده است. رابطه‌ی ۷ مشخص می‌کند که میزان کالای ارسالی شده از یک

جدول ۱. مقادیر پارامترهای مسئله.

پارامتر	مقادیر	پارامتر	مقادیر
c_{mt}^k	[۱, ۶]	PT_m^k	[۰, ۱, ۰, ۹]
d_{jmt}^k	[۱۰, ۲۴]	A_m^k	[۱۰, ۳۵]
d_{ijt}^k	[۳, ۱۰]	TT_{mt}	[۴۵, ۲۱۰]
CA_{mt}^k	[۱۰۰, ۳۵۰]	W_j	[۵۰, ۴۰۰]
H_{jt}^k	[۲, ۵]	W_m	[۵۰۰, ۱۲۰۰]
H_{mt}^k	[۴, ۹]	R_m^k	[۴۵, ۸۰]
CS_{it}^k	[۱۰, ۵۰]	DC_{it}^k	[۱۵, ۶۰]
f_j	[۴۰۰۰, ۱۰۰۰۰]	V_k	[۰, ۸, ۱, ۵]
SI_j^k	[۶, ۵۰]	SI_m^k	[۶۲, ۱۵۰]

جدول ۲. نتایج آزمون فرض آماری.

روش	مقدار Z_1	مقدار Z_2	زمان اجرا
معیار جامع	۱۰۶۳۰۰/۴	۴۲, ۱۵۴۶۷	۶۰, ۸۵
بیشینه - کمینه	۱۲۵۲۶۹	۶۰, ۳۴۴۶۶۷	۲۸, ۴۰
پذیرش فرض صفر	رد فرض صفر	پذیرش فرض صفر	

گام ۳. محاسبه ماتریس بی‌مقیاس وزن داده شده (V):

$$V = [v_{ij}] \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (23)$$

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (24)$$

که در آن w_j وزن معیار j ام است و $\sum_{j=1}^n w_j = 1$

در این مسئله مقادیر وزن‌های هر ۳ معیار برابر با $\frac{1}{3}$ در نظر گرفته شده است.

گام ۴. تعیین گزینه‌ی ایده‌آل مثبت (A^+) و گزینه‌ی ایده‌آل منفی (A^-):

$$A^+ = \{(\max v_{ij} | j \in J^+), (\min v_{ij} | j \in J^-) | i = 1, 2, \dots, m\} \\ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (25)$$

$$A^- = \{(\min v_{ij} | j \in J^+), (\max v_{ij} | j \in J^-) | i = 1, 2, \dots, m\} \\ = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (26)$$

گام ۵. محاسبه‌ی میزان فاصله‌ی هر گزینه از ایده‌آل مثبت (d_i^+) و ایده‌آل منفی (d_i^-):

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, \dots, m \quad (27)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, \dots, m \quad (28)$$

گام ۶. تعیین ضریب نزدیکی هر گزینه به گزینه‌ی ایده‌آل (CL_i^*) و رتبه‌بندی گزینه‌ها به ترتیب نزولی مقادیر ضریب نزدیکی:

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad i = 1, \dots, m \quad (29)$$

آنها محاسبه شده است. که در قالب ریاضی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{Max} \left(\text{Min} \left(\frac{f_1}{f_1^*}, \frac{f_2}{f_2^*}, \dots, \frac{f_r}{f_r^*} \right) \right) \quad (18)$$

۳.۴. مثال عددی

به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی کارایی مدل و مقایسه‌ی دو روش حل پیشنهاد شده براساس سه معیار مقدار تابع هدف اول، مقدار تابع هدف دوم و زمان اجرای مورد نیاز مدل مسئله در ۳۰ اندازه‌ی مختلف و با روش‌های بیشینه - کمینه و معیار جامع در رایانه‌ی با مشخصات Intel®Core™ i5-5200 U CPU @ ۲/۲۰GHz استفاده از نرم‌افزار GAMS اجرا شد. تمام پارامترهای مدل مسئله براساس توزیع یکنواخت و با فاصله‌های از پیش تعیین شده در نظر گرفته شده‌اند که در جدول ۱ آمده‌اند.

۴.۴. مقایسه‌ی آماری

به منظور مقایسه‌ی آماری روش‌های پیشنهادی، میانگین نتایج ۳۰ بار اجرای مدل براساس آزمون فرض برابری میانگین‌ها و برای هر ۳ معیار مورد نظر با یکدیگر مقایسه شد. آزمون فرض برابری میانگین‌ها روشی مناسب برای مقایسه‌ی نتایج دو نمونه است.^[۲۰] فرض صفر نشان‌دهنده‌ی برابری میانگین‌های دو روش بیشینه - کمینه و معیار جامع و فرض یک مخالف بودن میانگین‌های آنهاست.

$$\begin{cases} H_0 : \mu_{\text{globalcriteria}} = \mu_{\text{MaxiMin}} & \forall Z_1, Z_2, \text{CPU Time} \\ H_1 : \mu_{\text{globalcriteria}} \neq \mu_{\text{MaxiMin}} \end{cases} \quad (19)$$

این آزمون فرض با سطح اطمینان ۹۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار Minitab ۱۶ اجرا شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. براین اساس، فرض صفر درخصوص معیارهای مقدار تابع هدف اول و زمان اجرای مدل پذیرفته می‌شود. بدین معنی که با سطح اطمینان ۹۵ درصد، اختلاف معنی‌داری بین میانگین مقادیر تابع هدف اول و زمان اجرای مدل در دو روش پیشنهادی مشاهده نمی‌شود. این فرض درخصوص معیار مقدار تابع هدف دوم رد می‌شود. بدین معنی که با سطح اطمینان ۹۵ درصد، میانگین مقدار تابع هدف دوم در دو روش پیشنهادی با یکدیگر اختلاف دارد.

۵.۴. رتبه‌بندی روش‌های پیشنهادی از طریق الگوریتم تاپسیس

در ادامه از الگوریتم تاپسیس به منظور رتبه‌بندی و انتخاب بهترین روش از بین دو روش موجود استفاده می‌شود. الگوریتم تاپسیس یکی از روش‌های مفید تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی چند گزینه است.^[۲۱] مراحل الگوریتم تاپسیس به شرح زیر است:

گام ۱. تشکیل ماتریس تصمیم X به وسیله‌ی m گزینه‌ی مورد نظر و n معیار ارزیابی:

$$X = [x_{ij}] \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (20)$$

گام ۲. تشکیل ماتریس بی‌مقیاس شده (R):

$$R = [r_{ij}] \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (21)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (22)$$

جدول ۳. نتایج الگوریتم تاپسیس.

رتبه	روش	CL_i^*
۲	معیار جامع	۰/۱۷۵۴۰۸
۱	بیشینه - کمینه	۰/۸۲۴۵۹۲

جدول ۴. نتایج الگوریتم مجموع ساده‌ی وزنی.

رتبه	روش	A_i
۲	معیار جامع	۷۲.۰
۱	بیشینه - کمینه	۰/۹۴

نتایج حاصل از به‌کارگیری روش تاپسیس در جدول ۳ قابل مشاهده است که با توجه به این‌که مقدار ضریب نزدیکی روش بیشینه - کمینه بیشتر است، این روش به‌عنوان روش برتر انتخاب می‌شود.

۶.۴. رتبه‌بندی روش‌های پیشنهادی از طریق روش مجموع ساده‌ی وزنی

به‌منظور رتبه‌بندی روش‌های حل، از الگوریتم دیگری نیز به نام مجموع ساده‌ی وزنی استفاده شد.^[۲۱] گام‌های این الگوریتم به شرح زیر است:

گام ۱. تشکیل ماتریس تصمیم X به‌وسیله‌ی m گزینه‌ی مورد نظر و n معیار ارزیابی:

$$X = [x_{ij}] \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (30)$$

گام ۲. تشکیل ماتریس بی‌مقیاس شده (R) :

$$R = [r_{ij}] \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (31)$$

برای معیارهای زمان اجرا و مقدار Z_1 که کم‌بودن آنها مطلوب است:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{j\max}} \quad (32)$$

برای معیار مقدار Z_2 که زیاد بودن آن مطلوب است:

$$r_{ij} = \frac{x_{j\min}}{x_{ij}} \quad (33)$$

گام ۳. محاسبه‌ی ماتریس بی‌مقیاس وزن داده شده (V) :

$$V = [v_{ij}] \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (34)$$

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (35)$$

که در آن w_j وزن معیار j ام است و $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

در این مسئله مقادیر وزن‌های هر ۳ معیار برابر با $\frac{1}{3}$ در نظر گرفته شده است.

گام ۴. محاسبه‌ی A_i و رتبه‌بندی گزینه‌ها به‌ترتیب نزولی مقادیر A_i :

$$A_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (36)$$

نتایج حاصل از به‌کارگیری روش مجموع ساده‌ی وزنی در جدول ۴ آمده است که روش بیشینه - کمینه به‌عنوان روش برتر انتخاب می‌شود. مشاهده می‌شود که نتایج هر دو الگوریتم ارائه شده یکسان است و روش بیشینه - کمینه در هر دو الگوریتم به‌عنوان روش برتر انتخاب می‌شود.

۵. تحلیل حساسیت

در این بخش به‌منظور ارزیابی اثر تغییرات پارامترهای مدل بر روی نتیجه‌ی توابع هدف، از تحلیل حساسیت استفاده شده است. بدین‌منظور پارامترهای هزینه‌ی نگهداری موجودی در کارخانه و مرکز پخش برای بررسی تغییرات بر روی میزان تابع هدف اول و پارامترهای موجودی اطمینان در کارخانه و مرکز پخش برای بررسی تغییرات بر روی میزان تابع هدف دوم انتخاب شده‌اند. به‌طور مشابه می‌توان این تحلیل را برای پارامترهای دیگر مسئله نیز انجام داد. نحوه‌ی انجام تحلیل حساسیت بدین صورت است که تمام پارامترهای مسئله به‌جز پارامتر مورد بررسی ثابت باقی می‌مانند و با ایجاد تغییرات در مقادیر پارامتری که برای انجام تحلیل حساسیت انتخاب شده است نتایج این تحلیل بررسی می‌شود. نتایج این تحلیل حساسیت در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

• هزینه‌های نگهداری موجودی در کارخانه و در مرکز پخش:

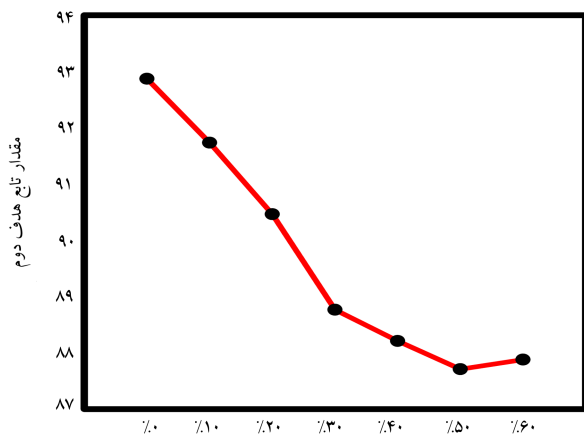
شکل ۱ نشان‌دهنده‌ی میزان تغییرات تابع هدف اول به‌ازای درصدهای مختلف تغییر در پارامتر هزینه‌ی نگهداری موجودی در مرکز پخش و همچنین پارامتر هزینه‌ی نگهداری موجودی در کارخانه است. در شکل ۱ الف ملاحظه می‌شود که با افزایش پارامتر هزینه‌ی نگهداری در مرکز پخش تا ۲۰ درصد میزان اولیه، مقدار تابع هدف کاهش می‌یابد و سپس از این نقطه به بعد افزایش در تابع هزینه مشاهده می‌شود. کمترین مقدار هزینه نیز در ۶۰ درصد افزایش رخ داده است.

میزان تغییرات تابع هدف اول به‌ازای درصدهای مختلف افزایش در پارامتر هزینه‌ی نگهداری موجودی در کارخانه در شکل ۱ ب نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است، تغییرات پارامتر باعث ایجاد روند منظمی در تغییر تابع هدف نمی‌شود و کمترین میزان هزینه هنگام ۴۰ درصد افزایش پارامتر هزینه‌ی نگهداری و بیشترین مقدار آن هنگام افزایش ۶۰ درصدی پارامتر مشاهده می‌شود.

• موجودی اطمینان محصولات در کارخانه و در مرکز پخش:

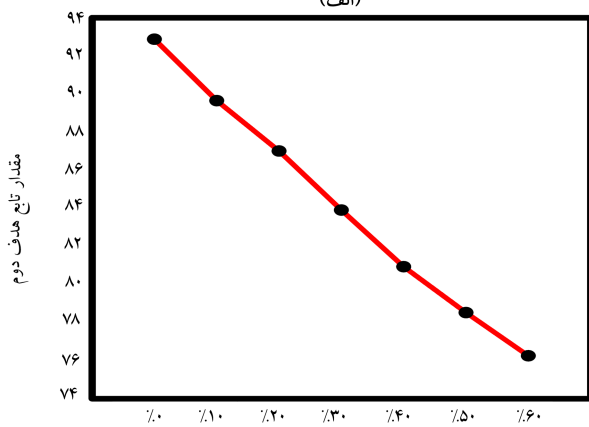
تحلیل حساسیت بعدی مربوط به تغییرات موجودی اطمینان و تأثیر آن در تابع هدف دوم است که نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ الف مشاهده می‌شود که افزایش میزان موجودی اطمینان کارخانه‌ها باعث کاهش میزان تابع هدف دوم شده است و فقط هنگام افزایش ۶۰ درصدی پارامتر موجودی اطمینان این مقدار کمی از افزایش ۵۰ درصدی آن بیشتر است. دلیل این موضوع وابستگی متغیر موجودی اطمینان کوتاه به پارامتر موجودی اطمینان است که باعث شده با وجود افزایش موجودی اطمینان میزان تابع هدف دوم کاهش یابد.

شکل ۲ ب نیز مربوط به بررسی تغییرات موجودی اطمینان مرکز پخش و تابع هدف دوم است که همان‌طور که مشخص است، در این جا نیز افزایش موجودی اطمینان مرکز پخش موجب کاهش تابع هدف دوم شده است.



درصد تغییر پارامتر میزان موجودی اطمینان در کارخانه

(الف)



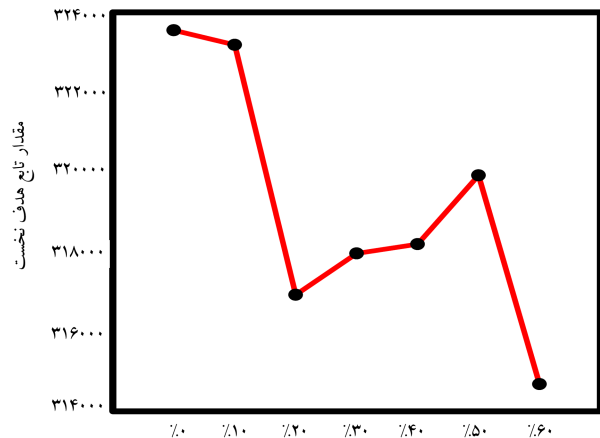
درصد تغییر پارامتر میزان موجودی اطمینان در مرکز پخش

(ب)

شکل ۲. مقدار تغییر در تابع هدف دوم به ازای درصدهای مختلف تغییر در پارامترهای موجودی اطمینان مرکز پخش و کارخانه.

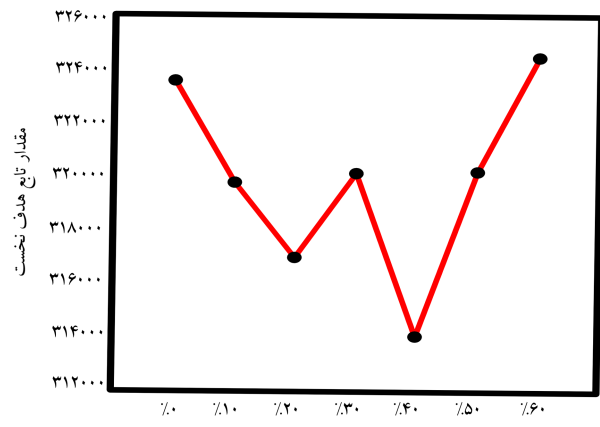
دو روش براساس این معیار بود. در ادامه برای اولویت بندی روش های معیار جامع و بیشینه - کمینه و انتخاب روش بهتر از دو الگوریتم تاپسیس و مجموع ساده وزنی استفاده شد. نتایج هر دو الگوریتم نشان دهنده اولویت روش بیشینه - کمینه بر روش معیار جامع بود. در نهایت تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای هزینه ی نگاه داری موجودی در کارخانه ها و مراکز پخش، برای بررسی تأثیر تغییرات آنها بر روی تابع هدف نخست صورت پذیرفت. تحلیل ها نشان داد که وابستگی منظمی بین افزایش این پارامترها و مقدار تابع هدف اول وجود ندارد و بر حسب میزان افزایش پارامترها، میزان تابع هدف ممکن است کاهش یا افزایش داشته باشد. همچنین پارامترهای موجودی اطمینان کارخانه ها و مراکز پخش برای بررسی تأثیر تغییرات آنها بر روی تابع هدف دوم انتخاب شدند. نتایج این تحلیل حساسیت نشان داد که با افزایش پارامترهای انتخاب شده تابع هدف دوم کاهش پیدا می کند.

برای تحقیقات آتی می توان پارامترهای مسئله را به صورت غیرقطعی در نظر گرفت. همچنین می توان از روش های دیگر بهینه سازی چندهدفه به منظور حل مدل استفاده کرد. استفاده از روش های دیگر تصمیم گیری چندمعیاره به منظور رتبه بندی نهایی می تواند قابل بررسی باشد. با توجه به این که با گسترش ابعاد مسئله، زمان حل مدل به میزان قابل توجهی افزایش می یابد، استفاده از روش های ابتکاری یا فرایهتکاری می تواند در تحقیقات آتی مورد استفاده قرار گیرد.



درصد تغییر پارامتر هزینه نگهداری موجودی در مرکز پخش

(الف)



درصد تغییر پارامتر هزینه نگهداری موجودی در کارخانه

(ب)

شکل ۱. مقدار تغییر در تابع هدف نخست به ازای درصدهای مختلف تغییر در پارامترهای هزینه ی نگاه داری موجودی در مرکز پخش و کارخانه.

۶. نتیجه گیری

در این نوشتار یک مدل دو هدفه ی غیرخطی برای یک زنجیره ی تأمین سه سطحی شامل تولیدکنندگان، مراکز پخش و مشتریان در حالت چنددوره یی و چندمحصولی با محدودیت های زمان تولید، ظرفیت انبار و ظرفیت تولید ارائه شد. اهداف مسئله شامل کمینه سازی هزینه های زنجیره ی تأمین و بیشینه سازی میانگین سطوح موجودی اطمینان کارخانه ها و مراکز پخش بود. برای حل مدل ارائه شده از دو روش از روش های حل مسائل تصمیم گیری چندهدفه به نام های معیار جامع و بیشینه - کمینه استفاده شد. مدل مسئله به صورت جداگانه با هر یک از دو روش ارائه و با استفاده از نرم افزار GAMS در ۳۰ اندازه ی مختلف اجرا شد. سپس میانگین نتایج ۳۰ بار اجرای مدل در هر یک از روش ها با استفاده از آزمون فرض برابری میانگین ها مقایسه شد. برای این کار ۳ معیار کیفیت تابع هدف نخست، کیفیت تابع هدف دوم و زمان اجرای مدل در نظر گرفته شد. بر این اساس، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، فرض برابری میانگین های دو روش در مقابل فرض عدم برابری میانگین های آنها براساس معیارهای کیفیت تابع هدف نخست و زمان اجرای مدل پذیرفته شد. اما این فرض در خصوص کیفیت تابع هدف دوم رد شد که نشان دهنده ی عدم برابری میانگین های

پانوشتها

1. right quantity
2. right location
3. right time
4. environmental impact
5. Topsis
6. simple additive weighting (SAW)
7. global Criteria
8. max-min

منابع (References)

1. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E. *Designing and Managing the Supply Chain*, New York: Irwin McGraw-Hill (2000).
2. Roy, B. "Problems and methods with multiple objective functions", *Mathematical Programming*, **1**(1), pp. 239-266 (1971).
3. Voudouris, V.T. "Mathematical programming techniques to debottleneck the supply chain of fine chemical industries", *Computers and Chemical Engineering*, **20**, pp. 1269-1274 (1996).
4. Amiri, A. "Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure", *European Journal of Operational Research*, **171**, pp. 567-576 (2006).
5. Nobil, A.H., and Niaki STA. "Location-allocation decisions in a multi-echelon supply chain network with net present value," *Sharif Journal of Industrial Engineering and Management*, **31**, pp. 107-112, (In Persian) (2015).
6. Gebennini, E., Gamberini, R. and Manzini, R. "An integrated production—distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization", *International Journal of Production Economics*, **122**, pp. 286-304 (2009).
7. Yadav, S.R., Muddada, R.R., Tiwari, M.K. and Shankar, R. "An algorithm portfolio based solution methodology to solve a supply chain optimization problem", *Expert Systems with Applications*, **36**, pp. 8407-8420 (2009).
8. Franca, R., Jones, E., Richards, C. and Carlson, J. "Multi-objective stochastic supply chain modeling to evaluate tradeoffs between profit and quality", *International Journal of Production Economics*, **127**, pp. 292-299 (2010).
9. Mirzapour Al-e-Hashem, S.M.J., Malekly, H. and Aryanezhad, M.B. "A multiobjective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty", *International Journal of Production Economics*, **134**, pp. 28-42 (2011).
10. Chibeles-Martins, N., Pinto-Varela, T., Barbósa-Póvoa, A. and Novais, A.Q. "A simulated annealing algorithm for the design and planning of supply chains with economic and environmental objectives", *Computer Aided Chemical Engineering*, **30**, pp. 21-25 (2012).
11. Cardona-Valdés, Y., Álvarez, A. and Pacheco, J. "Metaheuristic procedure for a bi-objective supply chain design problem with uncertainty", *Transportation Research PartB: Methodological*, **60**, pp. 66-84 (2014).
12. Razmi, J., Zahedi-Anarak, A.H. and Zakerinia, M.S. "A bi-objective stochastic optimization model for reliable warehouse network redesign", *Mathematical and Computer Modelling*, **58**, pp. 1804-1813 (2013).
13. Bandyopadhyay, S. and Bhattacharya, R. "Applying modified NSGA-II for bi-objective supply chain problem", *Journal of Intelligent Manufacturing*, **24**, pp. 707-716 (2013).
14. Pasandideh, S.H.R., Akhavan Niaki, S.T. and Asadi, K. "Optimizing a bi-objective multi-product multi-period three echelon supply chain network with warehouse reliability", *Expert Systems with Applications*, **42**, pp. 2615-2623 (2015).
15. Vahdani, B. and Mohammadi, M. "A bi-objective interval-stochastic robust optimization model for designing closed loop supply chain network with multi-priority queuing system", *International Journal of Production Economics*, **170**, pp. 67-87 (2015).
16. Soltani Tehrani, M., Hassan Pour, H.A. and Ramezani, S. "Optimization of a bi-objective closed loop supply chain consisting cost and carbon dioxide", *Management Research in Iran*, **19**, pp.169-189, (In Persian) (2015).
17. Chan, F.T.S, Jha, A. and Tiwari, M.K. "Bi-objective optimization of three echelon supply chain involving truck selection and loading using NSGA-II with heuristics algorithm", *Applied Soft Computing*, **38**, pp. 978-987 (2016).
18. Alegoz, M. and Ozturk, Z.K. "A multi objective multi echelon supply chain network model for a household goods company", *Modelling, Computation and Optimization in Information Systems and Management Sciences*, **359**, pp. 307-318 (2016).
19. Hwang, C.-L. and Masud, A.S.M., *Multiple Objective Decision Making, Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey*, Berlin: Springer-Verlag (1979).
20. Wellek, S., *Testing Statistical Hypotheses of Equivalence and Noninferiority*, Second Edition, Boca Raton: Chapman & Hall/CRC (2010).
21. Hwang, C.L and Yoon, K., *Multiple Attribute Decision Making, Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey*, Berlin: Springer-Verlag (1981).