

ارائه مدلی پایدار جهت مکان یابی - موجودی زنجیره تامین سه سطحی تک دوره ای شرکت های کوچک و متوسط با تقاضای غیر قطعی

نقیسه آقا بزرگی^{*}، سید مجتبی سجادی^{**}، مهدی علینقیان^{***}

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۱۸

چکیده

امروزه عرصه تولید و خدمات با تغییر الگوی رقابت از میان شرکت های مستقل با رقابت میان زنجیره های تامین مواجه است. در غالب واحدهای تولیدی کوچک و متوسط ایران هنوز از دیدگاه سنتی برای برنامه ریزی تامین، تولید و توزیع استفاده می شود. یعنی هر کدام از این اجزاء به طور مستقل اقدام به برنامه ریزی برای فعالیت خود می نمایند، این امر در اکثریت مواقع باعث افزایش هزینه های کل زنجیره تامین این گونه شرکت ها می گردد. در این تحقیق یک مدل پایدار مکان یابی - موجودی برای زنجیره تامین سه سطحی همراه با تقاضای غیر قطعی ارائه می شود. مدل در حالت تک دوره ای، چند محصولی، همراه با چند مد حمل و نقل و سه سطحی با حلقه های تولید کنندگان - توزیع کنندگان - خرده فروشان به صورت قطعی و رویاست (پایدار) در نظر گرفته شده است. در نظرگیری چند مد حمل و نقل همراه با پایدار کردن مدل و امکان ارسال مستقیم کالا از کارخانه به خرده فروش از جمله نوآوری های این مقاله است. اهداف مدل پیشنهادی حداقل سازی هزینه های کل زنجیره تامین سه سطحی است. مدل قطعی با استفاده از نرم افزار GAMS حل شده و مدل رویاست با استفاده از نرم افزار GAMS در حالت تک هدفه حل شده و سپس با استفاده از روش محدودیت اسپیلن تقویت شده به صورت دو هدفه درآمده و پس از حل نتایج مورد بحث قرار گرفته شده است.

کلمات کلیدی:

زنجیره تامین، مکان یابی، موجودی، تقاضای غیر قطعی، بهینه سازی پایدار، شرکت های کوچک و متوسط

^{*} - کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^{**} - استادیار دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران msajadi@ut.ac.ir

^{***} - استادیار گروه مهندسی صنایع و سیستم ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

مقدمه

امروزه شیوه‌های مدیریت تولید گذشته که یکپارچگی کمتری را در فرایندهایشان دنبال می‌کردند کارایی خود را از دست داده‌اند و زنجیره تأمین به عنوان یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت مناسب جریان مواد، کالا، اطلاعات و مالی، توانایی پاسخگویی به شرایط را دارا می‌باشد. (صادقی مقدم، مومنی و نالچیکر، ۱۳۸۸) صنایع معمولاً با چالش‌های مختلفی در تلاش برای حل تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص وظایف تحت عدم قطعیت تقاضا و پارامترهای دیگر مواجه هستند. (وانگ، ۲۰۱۱). زنجیره تأمین: یک سیستم از تسهیلات و فعالیت‌هاست که به منظور تأمین، تولید و توزیع مواد و کالاها به مشتریان عمل می‌نماید. (اسمیچ و لوی، ۲۰۰۰). زنجیره تأمین موثر، کارآمد و پایدار مزیت رقابتی پایدار برای کشورها و شرکت‌ها است و آنها را برای مقابله با افزایش اغتشاشات زیست محیطی و فشارهای رقابتی شدید آماده می‌کند (پیشوایی، ربانی و ترابی، ۲۰۱۱). تصمیمات مکان‌یابی نقش حیاتی در طراحی استراتژیک شبکه‌های زنجیره تأمین بازی می‌کنند (ملو، نیکل و سالدانها، ۲۰۱۰). موجودی‌ها از اجزای جدانشدنی تجارت هستند. مسئله موجودی با مسائل توزیع، انبارش، تولید، جابه‌جایی مواد، بازاریابی و مالی در هم آمیخته شده‌اند. هدف اولیه از موجودی، ایجاد ذخیره‌ای جهت مقابله با عدم قطعیت در زنجیره تأمین است. هدف از مدیریت موجودی داشتن مقادیر درخور و مناسبی از مواد در محل درست، در زمان صحیح و با هزینه‌ی پایین است (کریمی و جنابی، ۱۳۹۱). نقش موجودی‌ها، نقش اصلی در موفقیت یا شکست زنجیره تأمین می‌باشد. از این رو هماهنگی سطوح موجودی در سرتاسر زنجیره تأمین حائز اهمیت است (صادقی مقدم و همکاران، ۱۳۸۸). فرآیندها، سیستم‌ها و سازمان‌های هماهنگ در زنجیره تأمین موجب کاهش موجودی انبارها، افزایش بهره‌گیری از ظرفیت، کوتاه شدن مدت تحویل سفارش یا کهنگی پذیری کمتر و کاهش هزینه‌های نگهداری سیستم فن آوری اطلاعات می‌گردد. تصمیمات بحرانی می‌توانند سریع‌تر گرفته شوند و به این

1- Smich & Leivi

2-Melo, Nickel & Saldanha

ترتیب سطح خدمت رسانی به مشتری بهبود می یابد (عسگری و زنجیری فراهانی، ۱۳۸۵). در این پژوهش یک مدل مکان یابی - موجودی برای یک زنجیره تامین سه سطحی شامل سطوح تولید کننده، توزیع کننده و خرده فروش همراه با تقاضای غیر قطعی ارائه شده است. مدل با استفاده از نرم افزار GAMS حل شده است. سپس مدل به صورت دو هدفه درآمده است و با استفاده از روش محدودیت اسپیلن حل شد. نتایج حل مدل در حالت دو هدفه با استفاده از روش محدودیت اسپیلن نتایج حل مدل در حالت تک هدفه را تایید کرد. در نظریه چند مد حمل و نقل همراه با پایدار کردن مدل و امکان ارسال مستقیم کالا از کارخانه به خرده فروش از جمله نوآوری های مدل است.

مرور ادبیات

تاکنون تحقیقاتی در زمینه مکان یابی، موجودی و به صورت ترکیبی در زنجیره تامین صورت گرفته است که در زیر به برخی از آنها اشاره می گردد. هونگ ژائو، چن و ژوو^۱ (۲۰۰۸) یک مدل و الگوریتم برای تصمیمات مسیریابی و موجودی در سیستم لجستیک سه سطحی ارائه کردند. استراتژی به نام پارتیشن ثابت و قدرت دو (FP-POT) برای حل مشکل در نظر گرفته شده و الگوریتم (VLNS) که یک مورد خاص الگوریتم جستجو محلی متغیر (VNS) ارائه شده و توسعه داده شده است. لیو، ژو و ژانگ^۲ (۲۰۱۰) یک مدل مکان یابی ظرفیت با تقاضای کششی آنلاین در زنجیره تامین چند کاناله ارائه کردند. هدف به حداقل رساندن هزینه حمل و نقل، هزینه های موجودی و هزینه های حمل و نقل ثابت در سیستم در هنگام تخصیص تقاضای آنلاین در نظر گرفته شده است. هونگ تاو، لی و ژوو^۳ (۲۰۱۱) یک مدل تصمیم گیری بهینه در زنجیره تامین دو سطحی ارائه دادند. هدف اصلی تعیین قیمت عمده فروشی، هزینه های بازاریابی برای عرضه کنندگان کالا و خرده فروشان، چرخه دوباره پر کردن محصول و مقدار

1-Hong zhao ,Chen & Xun

2-Liu,Zhou & Zhang

3-Hongtao, Li & Zhao

سفارش بازگشتی به نحوی که سود کل برای هر دو سطح بیشینه شود. این سناریو با بازی Stackelberg مدل سازی شده است. مدرس یزدی، جعفرنژاد، یدالهی و جمالی (۱۳۸۵) یک زنجیره تامین مبتنی بر نوع و چرخه‌ی عمر محصول طراحی کردند. در این پژوهش زنجیره‌های تامین ساخت به سه نوع ناب، چابک و ترکیبی و زنجیره تامین متناسب با نوع محصول به سه نوع استاندارد، ابداعی و ترکیبی تقسیم شده اند. سپس چارچوبی جهت طبقه بندی ارائه شده و در آخر مدلی جهت انتخاب زنجیره متناسب با نوع محصول توسط هر سازمان مورد بحث قرار گرفته است. شکوهیار، حسینی و سجادی (۱۳۸۷) در پژوهشی به مدلسازی و بهینه سازی زنجیره تامین کشتی تحت کنترل سیاست CONWIP پرداختند. تابع هدف مساله به صورت مجموع هزینه‌های کار در جریان، کمبود و تامین مواد خام در نظر گرفته شده که بایست حداقل گردد.

الف و صادقی (۱۳۹۰) در مقاله ای سطح ذخیره احتیاطی در زنجیره تامین با چندین کانال و چندین سطح با استفاده از برنامه ریزی غیر خطی محاسبه کرده‌اند. در این مقاله مدلی غیر خطی جهت تعیین سطح نگهداری ذخیره احتیاطی در اجزا مختلف زنجیره تامین با هدف حداقل سازی هزینه‌های مرتبط با ذخیره احتیاطی ارائه شده است. نورنگ و مالک (۱۳۹۱) یک مدل دو هدفه فازی جهت تنظیم ذخیره اطمینان در واحدهای ذخیره موجودی زنجیره تامین توسعه دادند. این مدل بر اساس هزینه کل و سطح سرویس مشتری جهت تنظیم ذخیره اطمینان در زنجیره تامین شرکت قطعات محوری خراسان توسعه یافته است.

تعریف مسئله

یکی از مسائلی که در مراحل اولیه طراحی تسهیلات مورد توجه قرار می‌گیرد مکان‌یابی تسهیلات است. در زمینه ساخت، واحد مکانی است که مواد اولیه، تجهیزات لازم برای پردازش و نیروی انسانی کنار هم جمع می‌شوند تا محصول نهایی را تولید کنند. مکان مناسب برای یک واحد منجر به ایجاد اثر بخشی و بهبود در کل سیستم می‌شود (زنجیری فراهانی و

صدیق، ۱۳۸۷). آغاز قرن جدید با تغییرات بی نظیر و بی سابقه‌ای در عملیات سازمانی همراه بوده است. بسیاری از مشکلاتی که یک شرکت را به سمت غیر رقابتی شدن هدایت می‌کند، می‌تواند ریشه در ماموریت‌ها و وظایف ساخت و تولید آن شرکت داشته باشد. مشکلاتی از قبیل کیفیت و قابلیت اطمینان کم، دیرکرد در تحویل، هزینه‌های تولیدی بالا و نبود موجودی مناسب در مکان درست. کاملاً آشکار است سازمان‌هایی که قادر به ادامه فعالیت‌های خود با سطوح موجودی کمتری باشند، از مزایای رقابتی بیشتری بهره می‌برند (کریمی و جنابی، ۱۳۹۱). صنایع معمولاً با چالش‌های مختلفی در تلاش برای حل تصمیمات مکان یابی تسهیلات و تخصیص وظایف تحت عدم قطعیت تقاضا و پارامترهای دیگر مواجه هستند. تغییر احتمالی بسیاری از پارامترها و ثابت‌های مسئله از قبیل تقاضا، هزینه‌های توزیع و غیره... در طول این افق زمانی، نقص بزرگی را برای مدل‌های قطعی، بوجود آورده است؛ چرا که با تغییر کردن برخی از پارامترها ممکن است جواب اولیه دیگر جواب خوبی برای مسئله نباشد و سازمان ملزم به مکان یابی مجدد برای تسهیلات گردد که این امر برای سازمان زمان برد مستلزم صرف هزینه‌های زیاد است. (وانگ و همکاران، ۲۰۱۱). مدل شامل تصمیم‌گیری در مورد مکان یابی مراکز تولید و توزیع و هزینه‌های موجودی در کل زنجیره تامین در جهت نیل به سطحی از یکپارچگی در زنجیره تامین است. مدل همان طور که اشاره شد شامل سه سطح تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان (سه سطحی) است. نتایج و دستاوردهای این تحقیق برای حلقه‌های زنجیره تامین سه سطحی که شامل تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان است کاربرد دارد. همچنین قابلیت تعمیم به موسسات تولیدی و خدماتی، کارخانجات، مراکز تولید، مراکز توزیع جهت کنترل و مدیریت موجودی و مکان یابی مراکز تولید و مراکز توزیع می‌باشد. در نتیجه این امر موجب افزایش سطح خدمت‌رسانی به مشتری، بهبود کیفیت خدمات، کاهش هزینه‌ها و در نتیجه سودآوری و دستیابی به مزیت رقابتی با دوام برای زنجیره تامین می‌گردد.

مفروضات مدل هر دو مدل قطعی و روبات به شرح زیر است:

- سیستم شامل چند کارخانه، چند مرکز توزیع و چند خرده‌فروش (سه سطحی) است.

- یک دوره و چند نوع محصول وجود دارد.
- تقاضای مشتریان غیر قطعی است.
- به منظور پاسخگویی مناسب به تقاضای مشتریان، هزینه‌ی جریمه‌ای برای کمبود در نظر گرفته شده است.
- کمبود مجاز است.
- هر یک از مراکز تقاضا (خرده فروش) نیازمندی خود را از مراکز توزیع یا به صورت مستقیم از کارخانه برآورده می‌کند.
- مراکز توزیع نیازمندی خود را از کارخانه و یا از مرکز توزیع پشتیبان برآورده می‌کنند.
- برای انتقال کالا چند مد حمل و نقل در نظر گرفته شده است.

بهینه سازی پایدار

با وجود این حقیقت که برنامه ریزی تصادفی کاربردهای بسیاری دارد، مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی معمول به دلیل ناتوانی در مدیریت ریسک‌گریزی و یا ترجیحات تصمیمی سازندگان به شدت محدود هستند. برنامه‌ریزی پایدار مول وی، واندربی و زنیوس (۱۹۹۵) که برنامه ریزی تصادفی بهبود یافته برای برخورد با جریان ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرندگان است که برای استفاده در برنامه ریزی تصادفی معمول امکان‌پذیر نیست (بزرگی، جبل عاملی، علینقیان و حیدری، ۲۰۱۲). در این روش مدت تغییرات مربوط به تابع هدف اصلی توسط پارامتر وزنی مربوطه کامل شد تا تحمل خطر مدل‌سازان را نشان دهد. در ادامه شرح مختصری از بهینه‌سازی پایدار آمده است.

برای حداقل سازی معادله بالا یو و لی (۲۰۰۰) یک روش موثر ارائه کردند که به شرح زیر مدل شده است:

معادله (۱-۳)

$$\min \sum_{s \in S} P_s \cdot V_s + \lambda \sum_{s \in S} P_s [V_s - \sum_{\dot{s} \in S} P_{\dot{s}} \cdot V_{\dot{s}} + 2 \theta_s]$$

Subject to:

$$V_s - \sum_{\dot{s} \in S} P_{\dot{s}} \cdot V_{\dot{s}} + \theta_s \geq 0$$

$$\theta_s \geq 0$$

برای پایداری مدل از معادله (۱-۳) استفاده شده است. λ یک در نظر گرفته شده است تا نسبت به تغییرات حساس تر باشیم.

بهینه سازی چند هدفه

بهینه سازی عبارت است از یافتن یک یا چند جواب امکان پذیر که منطبق با مقادیر غایی یک یا چند هدف هستند. یافتن چنین نقاط بهینه ای می تواند در رابطه با حداقل سازی هزینه ها و یا حداکثر سازی سود باشد (دب و همکاران، ۲۰۰۲). یکی از روش های متداول برای بدست آوردن مرز موثر استفاده از روش افزودن محدودیت یا محدودیت اسپیلن^۱ است.

در این روش یکی از تابع هدف ها به عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته می شود و سایر تابع هدف ها با حد مجاز ϵ_0 محدود می شود. ممکن است برای تولید مجموعه جواب های پارتویی ϵ_0 تغییر کند. این تغییر توسط تصمیم گیرنده صورت می گیرد تا بتواند جواب های پارتویی را تولید کند. برای یافتن نقاط بهینه و ندیر از رابطه زیر استفاده می شود.

رابطه (۲-۳)

$$Max f_1(X) + \delta \cdot S_2$$

$st: X$

$$f_2(X) - S_2 = e_2$$

در این معادله e_2 جواب ندیر حاصل از روش محدودیت اِپسِلین معمولی است و δ یک عدد بسیار کوچک است. گام‌های حل مدل پیشنهادی به صورت زیر است:

- انتخاب یک هدف به عنوان پایه
- تعیین تعداد نقاط پارتویی
- پیدا کردن جدول نقاط بهینه و ندیر برای توابع هدف
- پیدا کردن جدول نقاط بهینه و ندیر با استفاده از معادله (۲-۳)
- بدست آوردن جواب‌های پارتویی
- انتخاب از بین نقاط پارتویی بهینه‌ی حاصل توسط تصمیم گیرنده
- اگر تصمیم گیرنده از نقطه‌ی انتخابی راضی شد الگوریتم پایان می‌یابد در غیر اینصورت در بین نقاط پارتویی انتخاب شده توسط تصمیم گیرنده دوباره نقاط جدید پارتوی استخراج می‌گردد (نارندرا و لیانگ، ۲۰۰۸).

ارائه مدل

همان طور که پیشتر اشاره شد هدف از طراحی مدل تعیین ساختار کلی زنجیره تامین، حداقل سازی هزینه‌های کل زنجیره تامین است.

مجموعه اندیس‌های به کار رفته در مدل قطعی به شرح زیر است:

جدول ۱: مجموعه اندیس‌ها

$i=1, \dots, I$	مجموعه مکان‌های بالقوه کارخانه
$j=1, \dots, J$	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع
$k=1, \dots, K$	مجموعه خرده فروشان
$a=1, \dots, A$	مجموعه کالاها
$m=1, \dots, M$	مجموعه مدهای حمل و نقل

جدول ۲: متغیرهای مدل قطعی

متغیر	توضیح
X_{ijam}	مقدار کالای a که از کارخانه i به مرکز توزیع j با مد حمل m حمل می‌شود.
Y_{jkam}	مقدار کالای a که از مرکز توزیع j به خرده فروشی k با مد حمل m حمل می‌شود.
E_{ikam}	مقدار کالای a که از کارخانه i به خرده فروشی k با مد حمل m حمل می‌شود.
$W_{j'jam}$	مقدار کالای a که از مرکز توزیع j' به مرکز توزیع j با مد حمل m حمل می‌شود.
I_{ja}	موجودی پایان دوره کالای a در عمده فروشی j
I_{ka}	موجودی پایان دوره کالای a در خرده فروشی k
R_{ka}	مقدار ذخیره اطمینان کالای a در خرده فروشی k
FA_j	متغیر باینری بیان کننده این است که آیا کارخانه i فعال است یا خیر؟
DA_j	متغیر باینری بیان کننده این است که آیا مرکز توزیع j فعال است یا خیر؟
MT_{ij}^m	متغیر باینری بیان کننده این است که اگر از کارخانه i به مرکز توزیع j مد حمل m و نقل

<p>m فعال باشد یک و در غیر این صورت صفر. متغیر باینری بیان کننده این است که اگر از مرکز توزیع j به خرده فروشی k مد حمل و نقل m فعال باشد یک و در غیر این صورت صفر.</p>	MT_{jk}^m
<p>متغیر باینری بیان کننده این است که اگر از کارخانه i به خرده فروشی k مد حمل و نقل m فعال باشد یک و در غیر این صورت صفر.</p>	MT_{ik}^m
<p>متغیر باینری بیان کننده این است که اگر از مرکز توزیع j به مرکز توزیع j مد حمل و نقل m فعال باشد یک و در غیر این صورت صفر.</p>	MT_{jj}^m

در جدول ۳. پارامترهای مدل قطعی آورده شده است.

جدول ۳: پارامترهای مدل قطعی

توضیح	پارامتر
هزینه حمل و نقل هر واحد کالای a از کارخانه i به مرکز توزیع j مد حمل و نقل m	ϕc_{ijam}
هزینه حمل و نقل هر واحد کالای a از مرکز توزیع j به خرده فروشی k مد حمل و نقل m	ϕc_{jkam}
هزینه حمل و نقل هر واحد کالای a از مرکز توزیع j به مرکز توزیع j مد حمل و نقل m	ϕc_{jjam}
هزینه حمل و نقل هر واحد کالای a از کارخانه i به خرده فروشی k مد حمل و نقل m	ϕc_{ikam}
هزینه ثابت عملیاتی کارخانه i	Pf_i
هزینه ثابت عملیاتی مرکز توزیع j	df_j
هزینه تولید هر واحد کالای a	Pm_a
هزینه نگهداری هر واحد کالای a در مرکز توزیع j	h_{ja}
هزینه نگهداری هر واحد کالای a در خرده فروشی k	h_{ka}

تقاضای خرده فروشی k ام برای کالای a ام	d_{ka}
زمان مورد نیاز تولید برای هر واحد کالای a ام	Pw_a
کل زمان تولیدی در دسترس کارخانه i ام	PN_i
کل ظرفیت نگهداری مرکز توزیع j ام	DN_j
حجم هر واحد کالای a ام	V_a
کل ظرفیت حجمی ارسالی مد حمل و نقل m از کارخانه i ام	Pv_{im}
کل ظرفیت حجمی ارسالی مد حمل و نقل m از مرکز توزیع j ام	Dv_{jm}
میزان کمبود کالای a ام در خرده فروشی k ام تحت سناریوی S	b_{ka}
ضریب هزینه مربوط به هر روز-قلم دیرکرد نسبت به موعد تحویل کالای a ام در خرده فروشی k ام	β_{ka}
هزینه ثابت مد حمل و نقل m	CCM^m

پس از معرفی اندیس‌ها، متغیرها و پارامترهای مدل حال تابع هدف و محدودیت‌های مدل قطعی را بیان می‌کنیم. در ابتدا دو هدف تفکیک شده در روش محدودیت افسیلن تقویت شده اشاره می‌گردد و سپس مدل به صورت کامل ذکر می‌شود.

هدف اول (اصلی)

$$Min z = \left(\sum_i P f_i \cdot F A_i + \sum_j d f_j \cdot D A_j \right)$$

هدف دوم

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z = & \left[\sum_m MT_{ij}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,j,a,m} \phi c_{ijam} \cdot X_{ijam} \right. \\
 & + \sum_m MT_{jk}^m \cdot CCM^m + \sum_{j,k,a,m} \phi c_{jkam} \cdot Y_{jkam} \\
 & + \sum_m MT_{ik}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,k,a,m} \phi c_{ikam} \cdot E_{ikam} \\
 & + \sum_m MT_{j'j}^m \cdot CCM^m + \sum_{j',j,a,m} \phi c_{j'jam} \cdot W_{j'jam} \\
 & + \left(\sum_{i,a} Pm_a \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijam} + \sum_k E_{ikam} \right) \right) + \sum_{j,a} h_{ja} \\
 & \left. \cdot I_{ja} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{ka} + R_{ka}) + \sum_{k,a} \beta_{ka} \cdot b_{ka} \right]
 \end{aligned}$$

اما مدل کامل به قرار زیر است:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z = & \left(\sum_i Pf_i \cdot FA_i + \sum_j df_j \cdot DA_j \right) \\
 & + \left[\sum_m MT_{ij}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,j,a,m} \phi c_{ijam} \cdot X_{ijam} \right. \\
 & + \sum_m MT_{jk}^m \cdot CCM^m + \sum_{j,k,a,m} \phi c_{jkam} \cdot Y_{jkam} \\
 & + \sum_m MT_{ik}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,k,a,m} \phi c_{ikam} \cdot E_{ikam} \\
 & + \sum_m MT_{j'j}^m \cdot CCM^m + \sum_{j',j,a,m} \phi c_{j'jam} \cdot W_{j'jam} \\
 & + \left(\sum_{i,a} Pm_a \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijam} + \sum_k E_{ikam} \right) \right) + \sum_{j,a} h_{ja} \\
 & \left. \cdot I_{ja} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{ka} + R_{ka}) + \sum_{k,a} \beta_{ka} \cdot b_{ka} \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

Subject to:

$$\sum_a Pw_a \left(\sum_{j,m} X_{ijam} + \sum_k E_{ikam} \right) \leq PN_i \cdot FA_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_a Va \left(\sum_{i,m} X_{ijam} + \sum_{j' \neq j,m} W_{j'jam} \right) \leq DN_j \cdot DA_j \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{i,m} X_{ijam} + \sum_{j' \neq j,m} W_{j'jam} - \sum_{k,m} Y_{jkam} + I_{ja} \geq 0 \quad \forall j, a \quad (4)$$

$$\sum_{j,k,a} V_a \cdot (X_{ijam} + E_{ikam}) \leq Pv_{im} \quad \forall i, m \quad (5)$$

$$\sum_{j' \neq j,k,a} V_a \cdot (Y_{jkam} + W_{j'jam}) \leq Dv_{jm} \quad \forall i, j, m \quad (6)$$

$$\sum_{i,j,m} (Y_{jkam} + E_{ikam}) + R_{ka} + I_{ka} - b_{ka} = d_{ka} \quad \forall k, a \quad (7)$$

$$\sum_m MT_{ij}^m = 1 \quad (8)$$

$$X_{ijam} \leq MT_{ij}^m \cdot bigM \forall i, j, a, m \quad (9)$$

$$\sum_m MT_{jk}^m = 1 \quad (10)$$

$$Y_{jkam} \leq MT_{jk}^m \cdot bigM \forall j, k, a, m \quad (11)$$

$$\sum_m MT_{ik}^m = 1 \quad (12)$$

$$E_{ikam} \leq MT_{ik}^m \cdot bigM \forall i, k, a, m \quad (13)$$

$$\sum_m MT_{j'j}^m = 1 \quad (14)$$

$$W_{j'jam} \leq MT_{j'j}^m \cdot bigM \forall j', j, a, m \quad (15)$$

$$X_{ijam} \leq FA_i \cdot bigM \forall i, j, a, m \quad (16)$$

$$X_{ijam} \leq DA_j \cdot bigM \forall i, j, a, m \quad (17)$$

$$Y_{jkam} \leq DA_j \cdot bigM \forall j, k, a, m \quad (18)$$

$$W_{j'jam} \leq DA_j \cdot bigM \forall j', j, a, m \quad (19)$$

$$E_{ikam} \leq FA_i \cdot bigM \forall i, k, a, m \quad (20)$$

$$X_{ijam}, Y_{jkam}, E_{ikam}, W_{j'jam}, R_{ka}, I_{ja} \geq 0 \quad (21)$$

$$FA_i, DA_j, MT_{ij}^m, MT_{jk}^m, MT_{ik}^m, MT_{j'j}^m \in \{0,1\} \quad (22)$$

محدودیت‌های مدل به شرح زیر می‌باشد

معادله (۱) تابع هدف مدل است که برای کمینه سازی هزینه‌هاست که شامل هزینه‌های ثابت عملیاتی تاسیس کارخانه و مرکز توزیع، هزینه‌های حمل و نقل، هزینه تولید و هزینه‌های نگهداری و هزینه جریمه است.

محدودیت (۲): حداکثر به اندازه زمان در دسترس کارخانه می‌توان کالا تولید نمود.

محدودیت (۳): محدودیت ظرفیت مراکز توزیع

محدودیت (۴): مجموع کالاهای خروجی از هر عمده فروش از کل موجودی آن بالاتر نرود.

محدودیت (۵): محدودیت ظرفیت مدهای حمل و نقل برای کارخانه i است.

محدودیت (۶): این محدودیت محدودیت ظرفیت مدهای حمل و نقل برای مرکز توزیع j است.

محدودیت (۷): این رابطه کمبود یا سطح موجودی در هر خرده فروش را نشان می‌دهد.

محدودیت (۸-۱۵): محدودیت‌های مربوط به انتخاب مد حمل و نقل می‌باشند. $big M$ یک عدد خیلی بزرگ می‌باشد.

محدودیت (۱۶-۲۰): وابستگی مقدار کالاهای حمل شده به کارخانه و مرکز توزیع را نشان می‌دهد. یعنی باید کارخانه و مرکز توزیع تاسیس شده باشند تا این مقادیر برقرار باشد.

محدودیت (۲۱): متغیرهای مسئله که باید که بزرگتر و مساوی صفر باشد.

محدودیت (۲۲): نشان دهنده متغیرهای صفر و یک مدل را نشان می‌دهد.

پس از ارائه مدل قطعی به معرفی اندیس‌ها، متغیرها و پارامترهای مدل رو باست و سپس

ارائه‌ی مدل رو باست می‌پردازیم.

مجموعه اندیس‌های به کار رفته در مدل روباست همان مجموعه اندیس‌های قطعی است به علاوه

مجموعه سناریوهای ممکن $s=1, \dots, S$

متغیرها و پارامترهای مدل روباست مانند مدل قطعی است به جز مواردی که در جدول ذیل آمده است.

جدول ۴: متغیرهای مدل روباست

متغیر	توضیح
X_{ijams}	مقدار کالای a که از کارخانه i ام به مرکز توزیع j ام با مد حمل و نقل m تحت سناریوی s حمل می‌شود.
Y_{jkams}	مقدار کالای a که از مرکز توزیع j ام به خرده فروشی k ام با مد حمل و نقل m تحت سناریوی s حمل می‌شود.
E_{ikams}	مقدار کالای a که از کارخانه i ام به خرده فروشی k ام با مد حمل و نقل m تحت سناریوی s حمل می‌شود.
$W_{j'jams}$	مقدار کالای a که از مرکز توزیع j' ام به مرکز توزیع j ام با مد حمل و نقل m تحت سناریوی s حمل می‌شود.
I_{jas}	موجودی پایان دوره کالای a در عمده فروشی j ام تحت سناریوی s
I_{kas}	موجودی پایان دوره کالای a در خرده فروشی k ام تحت سناریوی s
R_{kas}	مقدار ذخیره اطمینان کالای a در خرده فروشی k ام تحت سناریوی s
θ_s	متغیر مورد استفاده برای خطی سازی انحراف هزینه‌ها

در جدول ۵ پارامترهای مدل روباست که نسبت به مدل قطعی تغییر کرده اند آمده است.

جدول ۶. پارامترهای مدل روبااست

پارامتر	توضیح
ϕC_{ijams}	هزینه حمل و نقل هر واحد کالای a_m از کارخانه i به مرکز توزیع j با مد حمل و نقل m تحت سناریوی S
ϕC_{jkams}	هزینه حمل و نقل هر واحد کالای a از مرکز توزیع j به خرده فروشی k با مد حمل و نقل m تحت سناریوی S
$\phi C_{j'jams}$	هزینه حمل و نقل هر واحد کالای a_m از مرکز توزیع j' به مرکز توزیع j با مد حمل و نقل m تحت سناریوی S
ϕC_{ikams}	هزینه حمل و نقل هر واحد کالای a_m از کارخانه i به خرده فروشی k با مد حمل و نقل m تحت سناریوی S
d_{kas}	تقاضای خرده فروشی k برای کالای a تحت سناریوی S
Pv_{ims}	کل ظرفیت حجمی ارسالی مد حمل و نقل m از کارخانه i تحت سناریوی S
Dv_{jms}	کل ظرفیت حجمی ارسالی مد حمل و نقل m از مرکز توزیع j تحت سناریوی S
b_{kas}	میزان کمبود کالای a در خرده فروشی k تحت سناریوی S
P_s	احتمال وقوع سناریو S

پس از معرفی اندیس‌ها، متغیرها و پارامترهای مدل حال تابع هدف و محدودیت‌های مدل را بیان می‌کنیم.

در ابتدا مانند مدل قطعی دو هدف تفکیک شده در روش محدودیت افسیلین تقویت شده اشاره می‌گردد و سپس مدل کامل روبااست آورده می‌شود.

هدف اول (اصلی)

$$\text{Min } z = \left(\sum_i P f_i \cdot F A_i + \sum_j d f_j \cdot D A_j \right)$$

هدف دوم

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z = & \sum_{s \in S} P_s \left[\sum_m MT_{ij}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,j,a,m} \phi c_{ijams} \cdot X_{ijams} \right. \\
 & + \sum_m MT_{jk}^m \cdot CCM^m + \sum_{j,k,a,m} \phi c_{jkams} \cdot Y_{jkams} \\
 & + \sum_m MT_{ik}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,k,a,m} \phi c_{ikams} \cdot E_{ikams} \\
 & + \sum_m MT_{j'j}^m \cdot CCM^m + \sum_{j',j,a,m} \phi c_{j'jams} \cdot W_{j'jams} \\
 & + \left(\sum_{i,a} Pm_a \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijams} + \sum_k E_{ikams} \right) \right) + \sum_{j,a} h_{ja} \\
 & \cdot I_{jas} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{kas} + R_{kas}) + \sum_{k,a} \beta_{ka} \cdot b_{kas} \left. \right] \\
 & + \sum_{s \in S} P_s \left[\sum_m MT_{ij}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,j,a,m} \phi c_{ijams} \cdot X_{ijams} \right. \\
 & + \sum_m MT_{jk}^m \cdot CCM^m + \sum_{j,k,a,m} \phi c_{jkams} \cdot Y_{jkams} \\
 & + \sum_m MT_{ik}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,k,a,m} \phi c_{ikams} \cdot E_{ikams} \\
 & + \sum_m MT_{j'j}^m \cdot CCM^m + \sum_{j',j,a,m} \phi c_{j'jams} \cdot W_{j'jams} \\
 & + \left(\sum_{i,a} Pm_{ia} \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijams} + \sum_k E_{ikams} \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_{j,a} h_{ja} \cdot I_{jas} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{kas} + R_{kas}) + \sum_{k,a} \beta_{ka} \\
 & \cdot b_{kas} \\
 & - \sum_{\acute{s} \in S} P_{\acute{s}} \left(\sum_m MT_{ij}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,j,a,m} \phi_{c_{ijam\acute{s}}} \cdot X_{ijam\acute{s}} \right. \\
 & + \sum_m MT_{jk}^m \cdot CCM^m + \sum_{j,k,a,m} \phi_{c_{jkam\acute{s}}} \cdot Y_{jkam\acute{s}} \\
 & + \sum_m MT_{ik}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,k,a,m} \phi_{c_{ikam\acute{s}}} \cdot E_{ikam\acute{s}} \\
 & + \sum_m MT_{j'j}^m \cdot CCM^m + \sum_{j',j,a,m} \phi_{c_{j'jam\acute{s}}} \cdot W_{j'jam\acute{s}} \\
 & \left. + \left(\sum_{i,a} P_{m_a} \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijam\acute{s}} + \sum_k E_{ikam\acute{s}} \right) \right) + \sum_{j,a} h_{ja} \right. \\
 & \left. \cdot I_{ja\acute{s}} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{ka\acute{s}} + R_{ka\acute{s}}) + \sum_{k,a} \beta_{ka} \cdot b_{ka\acute{s}} \right) 2\theta_s \Big]
 \end{aligned}$$

حال مدل کامل رو باست به شرح زیر است:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z = & \left(\sum_i P f_i \cdot F A_i + \sum_j d f_j \cdot D A_j \right) \\
 & + \sum_{s \in S} P_s \left[\sum_m M T_{ij}^m \cdot C C M^m + \sum_{i,j,a,m} \phi C_{ijams} \cdot X_{ijams} \right. \\
 & + \sum_m M T_{jk}^m \cdot C C M^m + \sum_{j,k,a,m} \phi C_{jkams} \cdot Y_{jkams} \\
 & + \sum_m M T_{ik}^m \cdot C C M^m + \sum_{i,k,a,m} \phi C_{ikams} \cdot E_{ikams} \\
 & + \sum_m M T_{j'j}^m \cdot C C M^m + \sum_{j',j,a,m} \phi C_{j'jams} \cdot W_{j'jams} \\
 & + \left. \left(\sum_{i,a} P m_a \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijams} + \sum_k E_{ikams} \right) \right) + \sum_{j,a} h_{ja} \right. \\
 & \cdot I_{jas} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{kas} + R_{kas}) + \left. \sum_{k,a} \beta_{ka} \cdot b_{kas} \right] \\
 & + \sum_{s \in S} P_s \left[\sum_m M T_{ij}^m \cdot C C M^m + \sum_{i,j,a,m} \phi C_{ijams} \cdot X_{ijams} \right. \\
 & + \sum_m M T_{jk}^m \cdot C C M^m + \sum_{j,k,a,m} \phi C_{jkams} \cdot Y_{jkams} \\
 & + \sum_m M T_{ik}^m \cdot C C M^m + \sum_{i,k,a,m} \phi C_{ikams} \cdot E_{ikams} \\
 & + \sum_m M T_{j'j}^m \cdot C C M^m + \sum_{j',j,a,m} \phi C_{j'jams} \cdot W_{j'jams}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \left(\sum_{i,a} Pm_{ia} \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijams} + \sum_k E_{ikams} \right) \right) \\
 & + \sum_{j,a} h_{ja} \cdot I_{jas} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{kas} + R_{kas}) + \sum_{k,a} \beta_{ka} \\
 & \cdot b_{kas} \\
 & - \sum_{s \in S} P_s \left(\sum_m MT_{ij}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,j,a,m} \phi_{c_{ijams}} \cdot X_{ijams} \right. \\
 & + \sum_m MT_{jk}^m \cdot CCM^m + \sum_{j,k,a,m} \phi_{c_{jkams}} \cdot Y_{jkams} \\
 & + \sum_m MT_{ik}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,k,a,m} \phi_{c_{ikams}} \cdot E_{ikams} \\
 & + \left. \sum_m MT_{j'j}^m \cdot CCM^m + \sum_{j',j,a,m} \phi_{c_{j'jams}} \cdot W_{j'jams} \right) \\
 & + \left(\sum_{i,a} Pm_a \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijams} + \sum_k E_{ikams} \right) \right) + \sum_{j,a} h_{ja} \\
 & \cdot I_{jas} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{kas} + R_{kas}) + \sum_{k,a} \beta_{ka} \cdot b_{kas} \\
 & \left. + 2\theta_s \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

Subject to:

$$\sum_a PW_a \left(\sum_{j,m} X_{ijams} + \sum_k E_{ikams} \right) \leq PN_i \cdot FA_i \quad \forall i, s \quad (2)$$

$$\sum_a V_a \left(\sum_{i,m} X_{ijams} + \sum_{j \neq j,m} W_{j'jams} \right) \leq DN_j \cdot DA_j \quad \forall j, s \quad (3)$$

$$\sum_{i,m} X_{ijams} + \sum_{j \neq j,m} W_{j'jams} - \sum_{k,m} Y_{jkams} + I_{jas} \geq 0 \quad \forall j, a, s \quad (4)$$

$$\sum_{j,k,a} V_a \cdot (X_{ijams} + E_{ikams}) \leq Pv_{ims} \quad \forall i, m, s \quad (5)$$

$$\sum_{j \neq j,k,a} V_a \cdot (Y_{jkams} + W_{j'jams}) \leq Dv_{jms} \quad \forall i, j, m, s \quad (6)$$

$$\sum_{i,j,m} (Y_{jkams} + E_{ikams}) + R_{kas} + I_{kas} - b_{kas} = d_{kas} \quad \forall k, a, s \quad (7)$$

$$\sum_m MT_{ij}^m = 1 \quad (8)$$

$$X_{ijams} \leq MT_{ij}^m \cdot bigM \quad \forall i, j, a, m, s \quad (9)$$

$$\sum_m MT_{jk}^m = 1 \quad (10)$$

$$Y_{jkams} \leq MT_{jk}^m \cdot bigM \quad \forall j, k, a, m, s \quad (11)$$

$$\sum_m MT_{ik}^m = 1 \quad (12)$$

$$E_{ikams} \leq MT_{ik}^m \cdot bigM \forall i, k, a, m, s \quad (13)$$

$$\sum_m MT_{jj}^m = 1 \quad (14)$$

$$W_{j'jams} \leq MT_{j'j}^m \cdot bigM \forall j', j, a, m, s \quad (15)$$

$$X_{ijams} \leq FA_i \cdot bigM \forall i, j, a, m, s \quad (16)$$

$$X_{ijams} \leq DA_i \cdot bigM \forall i, j, a, m, s \quad (17)$$

$$Y_{jkams} \leq DA_i \cdot bigM \forall j, k, a, m, s \quad (18)$$

$$W_{j'jams} \leq DA_i \cdot bigM \forall j', j, a, m, s \quad (19)$$

$$E_{ikams} \leq FA_i \cdot bigM \forall i, k, a, m, s \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
 & \left[\sum_m MT_{ij}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,j,a,m} \phi C_{ijams} \cdot X_{ijams} \right. \\
 & + \sum_m MT_{jk}^m \cdot CCM^m + \sum_{j,k,a,m} \phi C_{jkams} \cdot Y_{jkams} \\
 & + \sum_m MT_{ik}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,k,a,m} \phi C_{ikams} \cdot E_{ikams} \\
 & + \sum_m MT_{j'j}^m \cdot CCM^m + \sum_{j',j,a,m} \phi C_{j'jams} \cdot W_{j'jams} \\
 & + \left(\sum_{i,a} Pm_a \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijams} + \sum_k E_{ikams} \right) \right) + \sum_{j,a} h_{ja} \\
 & \cdot I_{jas} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{kas} + R_{kas}) + \sum_{k,a} \beta_{ka} \cdot b_{kas} \\
 & - \sum_{\acute{s} \in S} P_{\acute{s}} \left(\sum_m MT_{ij}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,j,a,m} \phi C_{ijams} \cdot X_{ijams} \right. \\
 & + \sum_m MT_{jk}^m \cdot CCM^m + \sum_{j,k,a,m} \phi C_{jkams} \cdot Y_{jkams} \\
 & + \sum_m MT_{ik}^m \cdot CCM^m + \sum_{i,k,a,m} \phi C_{ikams} \cdot E_{ikams} \\
 & + \sum_m MT_{j'j}^m \cdot CCM^m + \sum_{j',j,a,m} \phi C_{j'jams} \cdot W_{j'jams} \\
 & \left. + \left(\sum_{i,a} Pm_a \cdot \left(\sum_{j,m} X_{ijams} + \sum_k E_{ikams} \right) \right) + \sum_{j,a} h_{ja} \right]
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} & \cdot I_{jas} + \sum_{k,a} h_{ka} (I_{kas} + R_{kas}) + \sum_{k,a} \beta_{ka} \cdot b_{kas} \\ & + \theta_s \end{aligned} \right] \geq 0 \quad \forall s \quad (21)$$

$$\theta_s \geq 0 \quad \forall s \quad (22)$$

$$X_{ijams}, Y_{jkams}, E_{ikams}, W_{j'jams}, R_{kas}, I_{jas} \geq 0 \quad (23)$$

$$FA_i, DA_j, MT_{ij}^m, MT_{jk}^m, MT_{ik}^m, MT_{j'j}^m \in \{0,1\} \quad (24)$$

حال محدودیت‌های مدل را معرفی می‌کنیم:

معادله (۱) تابع هدف مدل است که برای کمینه‌سازی هزینه‌هاست که شامل هزینه‌های ثابت عملیاتی تاسیس کارخانه و مرکز توزیع، هزینه‌های حمل و نقل، هزینه تولید و هزینه‌های نگهداری و هزینه جریمه است.

محدودیت (۲): حداکثر به اندازه زمان در دسترس کارخانه می‌توان کالا تولید نمود.

محدودیت (۳): محدودیت ظرفیت مراکز توزیع

محدودیت (۴): مجموع کالاهای خروجی از هر عمده فروش از کل موجودی آن بالاتر نرود.

محدودیت (۵): محدودیت ظرفیت مدهای حمل و نقل برای کارخانه i است.

محدودیت (۶): این محدودیت محدودیت ظرفیت مدهای حمل و نقل برای مراکز توزیع j است.

محدودیت (۷): این رابطه کمبود یا سطح موجودی در هر خرده فروش را نشان می‌دهد.

محدودیت (۸-۱۵): محدودیت‌های مربوط به انتخاب مد حمل و نقل می‌باشند. M یک عدد خیلی بزرگ می‌باشد.

محدودیت (۱۶-۲۰): وابستگی مقدار کالاهای حمل شده به کارخانه و مرکز توزیع را نشان می‌دهد. یعنی باید کارخانه و مرکز توزیع تاسیس شده باشند تا این مقادیر برقرار باشد.

محدودیت (۲۱-۲۲): محدودیت Robust (پایداری) مدل است.
محدودیت (۲۳): متغیرهای مسئله که باید که بزرگتر و مساوی صفر باشد.
محدودیت (۲۴): نشان دهنده متغیرهای صفر و یک مدل را نشان می دهد.

بررسی نتایج

در این قسمت به منظور صحت گذاری بر مدل‌های ارائه شده با حل چندین مثال نمونه به بررسی نتایج حاصل پرداخته شده است. بدلیل عدم وجود داده‌های موجه در ادبیات موضوع نیاز بود تا مسائل نمونه تولید گردد. برای این منظور از روال تولید مثال نمونه که در ادامه در مورد آن توضیح داده می شود برای تولید مثال بهره برده شد.

تولید مثال‌های نمونه

همان طور که اشاره شد از آنجا که مدل پیشنهادی در ادبیات موضوع مشاهده نشده و مدلی که همه‌ی پارامترهای در نظر گرفته شده را داشته باشد موجود نبوده است، لذا مسائل نمونه و پارامترهای مدل به صورت تصادفی تولید گردیده اند.

حل یک مثال عددی

یک مثال زیر در ابعاد کوچک حل شد و نتایج بدست آمده از آن به شرح زیر است.

جدول ۷: حل یک مثال در ابعاد کوچک

کد مسئله	تعداد کارخانه‌ها	تعداد مراکز توزیع	تعداد خرده فروشان	تعداد نوع کالا	تعداد مدل حمل و نقل	مقدار تابع هدف قطعی	مقدار تابع هدف	دوایست	زمان حل تابع هدف	زمان حل تابع هدف (ثانیه)
۱	۲	۳	۵	۱	۲	۳۱۲۵,۱۴۵	۴۲۸۱,۷۵۹	۰,۰۳۱	۰,۰۲	

در مدل روباست مدل کارخانه ۲ و مرکز توزیع ۳ و ۲ را تاسیس کرد. اما در مدل قطعی مدل کارخانه ۱ و مرکز توزیع ۲ و ۱ را تاسیس نمود.

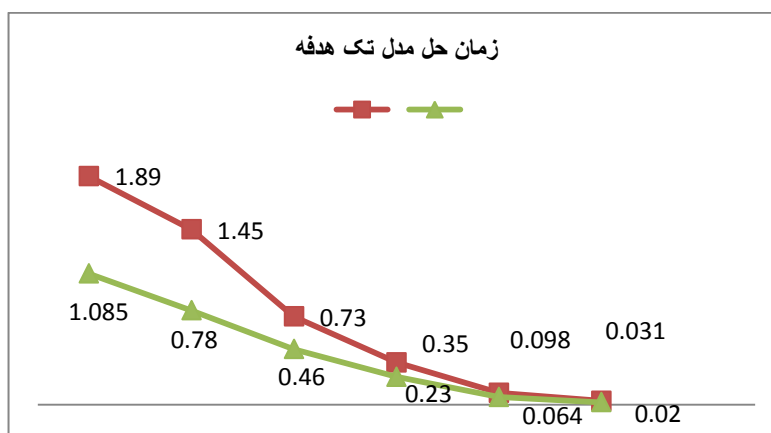
تاثیر ابعاد مسئله بر زمان حل

در این قسمت به منظور بررسی تاثیر افزایش ابعاد مسئله بر زمان حل آن پنج مسئله مورد بررسی قرار گرفته و حل شدند. در مدل تک هدفه دو هدف مطرح مسئله با روش وزندهی به یک هدف تبدیل شده و با اوزان مساوی ۰,۵ با هم جمع شدند.

جدول ۸: نتایج حاصل از حل دو مدل در حالت تک هدفه

کد مسئله	تعداد کارخانه‌ها (i)	تعداد مراکز توزیع (j)	تعداد خرده فروشان (k)	تعداد نوع کالا (a)	تعداد مد حمل و نقل (m)	مقدار تابع هدف تک هدفه قطعی	زمان حل تک هدفه قطعی (ثانیه)	مقدار تابع هدف تک هدفه روابست	زمان حل تک هدفه روابست
۱	۲	۳	۵	۱	۲	۳۱۲۵,۱۴۵	۰,۰۲	۴۲۸۱,۷۵۹	۰,۰۳۱
۲	۳	۴	۵	۲	۳	۴۳۸۵,۵۶۴	۰,۰۶۴	۵۲۳۴,۸۷۹	۰,۰۹۸
۳	۴	۶	۸	۲	۴	۷۸۲۵,۳۲۵	۰,۲۳	۸۹۵۴,۲۵۴	۰,۳۵
۴	۵	۸	۱۲	۴	۳	۱۸۶۵۴,۱۴۷	۰,۴۶	۲۱۸۶۴,۳۱۱	۰,۷۳
۵	۵	۸	۱۵	۴	۴	۲۰۸۷۹,۹۵۴	۰,۷۸	۲۵۵۶۲,۴۶۴	۱,۴۵
۶	۷	۱۰	۱۸	۶	۴	۲۵۰۰۱,۷۸۴	۱,۰۸۵	۳۱۱۲۱,۱۹۹	۱,۸۹

شکل ۲ نمودار تفاوت زمان حل تک هدفه قطعی و روابست.



همان طور که در نمودار مشخص است زمان حل مدل روابست از مدل قطعی بیشتر است.

نتایج حاصل از مدل دو هدفه

در این قسمت نیز به منظور بررسی زمان حل مدل با افزایش ابعاد مسئله مدل دو هدفه قطعی و روبات با استفاده از رویکرد محدودیت اپسیلون تقویت شده حل گردید برای این منظور تعداد ۴ نقطه پارتو در نظر گرفته شد. جدول ۹ نتایج را نشان می دهد.

جدول ۹: حاصل از نتایج حل مدل در حالت دو هدفه

کد مسئله	i /j/k/a/m	دو هدفه قطعی		دو هدفه پایدار	
		مقادیر تابع هدف	زمان حل	مقادیر تابع هدف	زمان حل
۱	۲-۳-۵-۱-۲	(۱۵,۳۶۱-۳۲۳۱,۸۱۳) (۱۷,۸۶۱-۳۲۰۱,۱۲۵) (۲۳,۴۱۲-۳۱۸۹,۴۹۵) (۲۵,۳۱۷-۳۱۸۵,۱۹۳)	۱,۰۶۵	(۲۱,۱۶۱-۴۳۹۴,۷۴۴) (۲۲,۶۵۸-۴۳۹۴,۷۴۴) (۳۴,۲۵۱-۴۳۶۹,۷۱۷) (۳۵,۱۱۵-۴۳۵۹,۱۲۱)	۱,۲۵۸
۲	۳-۴-۵-۲-۳	(۱۸,۲۳۹-۴۴۹۱,۷۸۳) (۲۱,۷۶۶-۴۴۷۹,۱۸۵) (۲۵,۵۴۳-۴۴۶۱,۲۰۹) (۲۶,۸۳۷-۴۴۵۹,۳۵۸)	۱,۲۰۵	(۲۶,۲۶۱-۵۳۱۴,۷۴۴) (۳۱,۶۵۸-۵۳۰۱,۹۶۸) (۳۹,۲۱۵-۵۲۸۸,۷۱۷) (۳۹,۸۱۷۵-۵۲۸۷,۱۲۱)	۱,۸۴۶
۳	۴-۶-۸-۲-۴	(۲۹,۳۱۷-۷۹۴۱,۱۹۹) (۳۴,۴۶۵-۷۹۲۵,۸۴۵) (۳۷,۱۰۵-۷۹۱۳,۴۳۴) (۳۸,۰۰۹-۷۹۱۰,۱۸۱)	۱,۸۶۹	(۳۹,۲۰۴-۵۵۳۱,۳۸۳) (۴۲,۶۳۲-۵۵۲۶,۲۷۱) (۴۷,۳۲۲-۵۵۰۳,۹۸۰) (۴۸,۵۴۳-۵۵۰۱,۱۲۲)	۲,۳۱۵
۴	-۸-۱۲-۴-۳ ۵	(۴۳,۳۵۵-۱۹۸۳۷,۲۷۱) (۴۶,۹۲۳-۱۹۸۲۱,۲۵۳) (۴۹,۷۹۶-۱۹۸۰۱,۳۲۲) (۵۱,۱۰۳-۱۹۷۹۸,۹۸۳)	۲,۱۲۵	(۵۹,۱۰۵-۲۲۶۷۳,۲۲۵) (۶۹,۵۳۵-۲۲۴۳۰,۲۹۳) (۷۵,۵۳۵-۲۲۱۵۷,۳۰۶) (۷۹,۱۵۲-۲۲۱۰۵,۹۴۲)	۳,۰۰۱
۵	-۸-۱۵-۴-۴ ۵	(۵۷,۵۳۵-۲۱۹۰۵,۱۰۰) (۵۹,۹۱۴-۲۱۸۸۵,۹۳۵)	۲,۴۵۸	(۶۵,۱۰۵-۲۵۶۷۳,۲۲۵) (۷۷,۵۳۵-۲۵۶۶۰,۲۹۳)	۳,۴۵۶

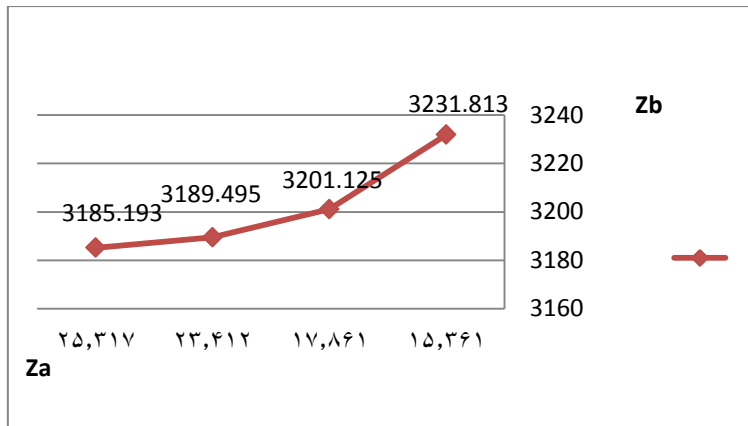
کد مسئله	<i>i /j/k/a/m</i>	دو هدفه قطعی		دو هدفه پایدار	
		مقادیر تابع هدف	زمان حل	مقادیر تابع هدف	زمان حل
		(۶۵,۴۹۱-۲۱۸۷۱,۵۳۵)		(۸۶,۵۳۵-۲۵۶۴۳,۳۰۶)	
		(۶۶,۹۵۳-۲۱۸۷۰,۴۵۲)		(۸۸,۱۵۲-۲۵۶۳۳,۹۴۲)	
۶	-۱۸-۶-۴ ۷-۱۰	(۶۹,۴۴۲-۲۶۱۰۳,۳۷۴)	۳,۵۸۴	(۷۲,۵۴۰-۳۱۱۷۰,۲۳۷)	۵,۶۱۱
		(۷۵,۸۱۴-۲۶۹۲,۴۶۳)		(۷۹,۳۷۴-۳۱۱۵۰,۷۸۸)	
		(۷۹,۳۹۷-۲۶۷۵,۸۴۹)		(۸۶,۳۴۶-۳۱۱۲۹,۹۸۴)	
		(۸۰,۱۱۴-۲۶۷۷,۱۲۵)		(۹۲,۱۲۵-۳۱۱۰۷,۹۶۵)	

نتایج جدول همان طور که مشاهده می شود میزان مجموع تابع هدفها در حالت دو هدفه در هر دو مدل قطعی و روبات نتایج مدلها در حالت تک هدفه را با درصد کمی خطا تایید می کنند که نشان از کارایی روش به کار گرفته شده دارد. زمان حل مل روبات در اینجا نیز نسبت به مدل قطعی بیشتر است.

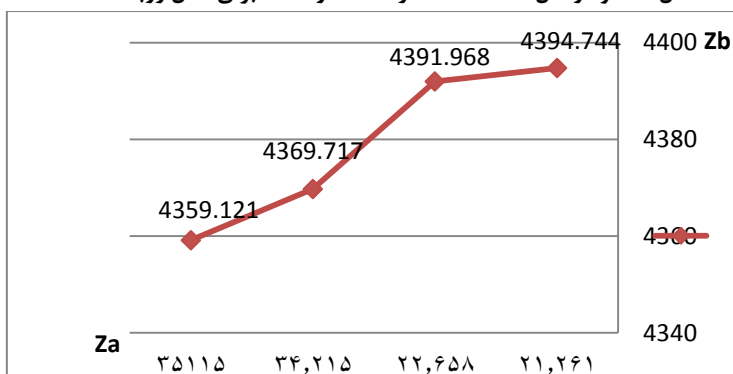
تضاد در توابع هدف

در این قسمت به منظور بررسی تضاد در توابع هدف مطرح شده یک نمودار برای مسئله یک آورده شده است. در نمودار مشخص است که دو هدف اول و دوم در تضاد با هم بوده و با کاهش تابع هدف دوم، تابع هدف اول افزایش می یابد. زمان حل در حالت دو هدفه روبات از دو هدفه قطعی بیشتر است.

شکل ۳: نمودار حل کد مسئله ۱ در حالت دو هدفه برای مدل قطعی



شکل ۴: نمودار حل کد مسئله ۱ در حالت دو هدفه برای مدل روابست



نتیجه

در این مقاله ما یک مدل مکان یابی، موجودی در یک زنجیره تامین سه سطحی شامل تولید کنندگان، توزیع کنندگان و خرده فروشان را ارائه کردیم. مدل به صورت برنامه ریزی خطی عدد صحیح فرموله شد و پس از تولید مسائل نمونه به کمک نرم افزار حل شد. شایان ذکر است که برای پایداری مدل از تحقیقات مول وی و همکاران که قبلاً ذکر شد استفاده و مدل

فرموله شد. با افزایش تعداد عوامل دخیل در زنجیره همان طور که انتظار می‌رود هزینه‌ها افزایش می‌یابد. هدف در این مدل کمینه سازی این هزینه‌ها بود. مدل روباست به علت اینکه واریانس هزینه‌ها را نیز حساب می‌کند مقادیر آن بیشتر از مدل قطعی است. اما مزیت مدل روباست نسبت به مدل قطعی این است که در نظرگیری واریانس هزینه‌ها و سناریوگیری برای تقاضا باعث می‌شود مدل روباست همیشه پاسخگو باشد، اما مدل قطعی ممکن است در برابر برخی تغییرات تقاضاها جوابگو نباشد. نتایج از حل مدل روباست در حالت دو هدفه نیز جواب‌های حاصل از حل مدل در حالت تک هدفه را تایید کردند؛ یعنی مجموع دو تابع هدف با تابع هدف تک هدفه تقریباً با درصدی از خطا برابر شد. این نتایج زنجیره تامین را برای دستیابی به سود بیشتر، تصمیم‌گیری بهتر در شرایط بحرانی و افزایش سطح خدمت رسانی به مشتریان کمک می‌کند. می‌توان در تحقیقات آتی پارامترهای دیگری به مدل اضافه کرد و مدل را در حالت چند دوره‌ای بررسی کرد. علاوه بر آن می‌توان از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مدل استفاده کرد.

مراجع

- اشتدلر. هارتموت، کیلگر. کریستوف، (۱۳۸۵)، مدیریت زنجیره تامین، دکتر عسگری، نسرین و دکتر زنجیرانی فراهانی، رضا، تهران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- شکوهیار. سجاد، معطر حسینی. سید محمد، ترابی. سید علی، (۱۳۸۷)، مدل سازی و بهینه سازی زنجیره تامین کشتی تحت کنترل سیاست CONWIP، نشریه بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، جلد ۱۹، شماره ۱، صص ۴۳-۵۱
- صادق مقدم. محمدرضا، مومنی. منصور نالچیگر. سروش، (۱۳۸۸)، برنامه ریزی یکپارچه تامین، تولید و توزیع زنجیره تامین با بکارگیری الگوریتم ژنتیک، نشریه مدیریت صنعتی، دوره ۱، شماره ۲، صص ۷۱ تا ۸۸
- کریمی. بهروز، جنابی. مسعود، (۱۳۹۱)، برنامه ریزی و کنترل تولید و موجودی ها، جلد اول، تهران، جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیر کبیر)
- مدرس یزدی. محمد، یدالهی. جهانگیر، جعفر نژاد. احمد، جمالی. غلامرضا، (۱۳۸۵)، طراحی زنجیره تامین مبتنی بر نوع و چرخه عمر محصول، فصلنامه دانش مدیریت، سال ۱۹، شماره ۷۵، صص ۱۴۹ تا ۱۷۶
- نورنگ. احمد، مالک. محمود، (۱۳۹۱)، توسعه یک مدل دو هدفه فازی جهت تنظیم ذخیره اطمینان در واحدهای ذخیره موجودی زنجیره تامین، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران، جلد ۲۳، شماره ۲، صص ۲۱۲
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., Alinaghian, M., & Heydari, M. (2012). *A modified particle swarm optimization for disaster relief logistics under uncertain environment*. International Journal of Advance Manufacturing Technology, 60, 357-371.
- Deb, K. Pratap, A. Agarwal, S. Meyarivan, T. (2002). "A Fast and Elitist Multi-objective Genetic Algorithm: NSGA-II". IEEE Transactions on Evolutionary Computations. Vol. 6, pp. 182-197.

Hong zhao .Q , Chen . S ,Zang .X,(2008),"Model and algorithm for inventory/routing decision in a three-echelon logistics system",European Journal of Operational Research,Volume 191, Issue 3, pp 623-635.

Hongtao . Sh, Li. Y, Zhao . D,(2011) ," An optimal dicisional model in two-echelon supplychain", Original Research Article Procedia Engineering, Volume 15, pp 4282-4286.

Liu .K ,Zhou . Y , Zhang . Z, "Capacitated location model with online demand pooling in a multi-channel supply chain", European Journal of Operational Research, Volume 207, Issue 1, pp 218-23.

Melo.M.T , Nickel . S , Saldanha-da-Gama F. ,(2010) ," Facility location and supply chain management – A review" , European Journal of Operational Research ,(2009) , Volume 196 ,issue 2 , pp 401-412.

Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995).Robust optimization of large scale systems. operational Research, 43(2), 264-281.

Narendra, N. Liang, L. (2008). "Identification and systems optimization" .IEEE Transportation systems.Volume 125. pp. 312-325.

Pishvae .M S , Rabbani . M, Torabi.S. A, (2011), "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainly",Applied Mathematical Modelling,pp 637-649.

Wang .K, Makond .B , Liu . S-Y,(2011),"Location and allocation decisions in a two-echelon supply chain with stochastic demand – A genetic-algorithm based solution",Expert Systems with Applications, Volume 38, Issue 5, pp 6125-613.

Wang . K, Lin . Y.S , Jonas C.P. Yu,(2011)," Optimizing inventory policy for products with time-sensitive deteriorating rates in a multi-echelon supply chain", International Journal of Production Economics, Volume 130, Issue 1, pp 66-76.