



استفاده از روش تجزیه بندرز برای حل مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین چند محصولی دو سطحی با تقاضای تصادفی

زهرا افشاری‌نیا^۱، رضا توکلی‌مقدم^{۲*}، یوسف قلی‌پورکنعانی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل

۲. استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

۳. استادیار گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر

خلاصه

در این مقاله، مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین چند سطحی چند محصولی با تقاضای احتمالی در نظر گرفته می‌شود. این شبکه شامل کارخانه‌ها، انبارهای توزیع و خرده‌فروشان (یا مشتریان نهایی) در یک دوره زمانی می‌شود. این مسأله شامل تصمیمات استراتژیک (شامل مکان‌یابی و تعیین ظرفیت برای کارخانه‌ها و انبارهای توزیع) و تصمیمات عملیاتی (شامل نحوه انتقال محصولات از کارخانه‌ها به انبارهای توزیع و از انبارهای توزیع به مشتریان) است. همچنین، تقاضا به شکل احتمالی در نظر گرفته و مسأله با استفاده از برنامه‌ریزی احتمالی مدل می‌شود. سپس برای حل مدل پیشنهادی به شکل کارا یک روش تجزیه بندرز پیشنهاد و در نهایت نتایج گزارش آرایه می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۳۹۲/۵/۲۴

پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۵

کلمات کلیدی:

طراحی شبکه زنجیره تأمین

مکان‌یابی تسهیلات

برنامه‌ریزی احتمالی

تجزیه بندرز

۱- مقدمه

برای پاسخ دادن به شرایط در حال تغییر در عرصه اقتصاد و تجارت، شرکت‌های تولیدکننده محصولات صنعتی مجبور شدند تا مبادرت به انجام برنامه‌ریزی استراتژیک، که شامل طراحی شبکه زنجیره تأمین می‌شود، نمایند. برای موفقیت در بازارهایی که به شکل فزاینده‌ای جهانی گردیده و رقابتی است، شرکت‌ها باید پیوسته تلاش کنند تا در حالی که برای رویارویی با این شرایط غیره

منتظره برنامه‌ریزی می‌کنند، از هزینه‌های زنجیره تأمین بکاهد و خدمات مشتریان را بهبود دهند [۱].

طراحی شبکه زنجیره تأمین، عبارت است از برنامه‌ریزی استراتژیک زنجیره‌های تأمین، که به تعداد، موقعیت مکانی، و ظرفیت تاسیسات و مراکز توزیع، فناوری تولیدی که در هر یک از تاسیسات بکار گرفته می‌شود، انتخاب عرضه‌کننده، تصمیمات در خصوص مسأله ساختن یا خریدن، و طراحی شبکه حمل و نقل مربوط می‌شود [۲]. طراحی شبکه زنجیره تأمین، فناوری، فرآیند و دارایی‌های تولیدی یک شرکت ظرف سال‌های آینده را مشخص می‌کند، سال‌هایی که طی آن شرکت باید دارای توان رقابت با شرکت‌های دیگر را داشته باشد و همچنین بتواند تقاضاهای مشتریان را به بهترین نحو برآورده نماید. علاوه بر این، معمولاً تصمیمات استراتژیک مستلزم هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا هستند، هزینه‌هایی که به راحتی قابل

* نویسنده مسئول. رضا توکلی‌مقدم

تلفن: ۰۲۰۸۴۱۸۳؛ پست الکترونیکی: tavakoli@ut.ac.ir

نظر می‌گیرند، تقاضا را به عنوان تنها پارامتر تصادفی در نظر می‌گیرند. اقزاف [۱۰] برنامه‌ریزی ظرفیت استراتژیک و مسأله مکان انبار در زنجیره تأمین را تحت عدم قطعیت تقاضا بررسی کرد. او یک مدل بهینه سازی پایدار برای مسأله ارائه کرد، و نشان داد که چگونه راه حل‌های پایدار می‌توانند با یک الگوریتم تجزیه کارا با استفاده از یک روش آزاد سازی لاگرانژ خاص تعیین شوند. مکس شن و کیو [۱۱] مسأله زنجیره تأمینی را در نظر گرفتند، که در آن تعداد و مکان مراکز توزیع تعیین می‌شود. مشتریان با تقاضای تصادفی مواجه هستند، و هر مرکز توزیع یک مقدار معینی ذخیره تضمینی به منظور رسیدن به سطح سرویس معین برای مشتریانی که به آن‌ها سرویس می‌دهند، نگهداری می‌کنند. آن‌ها یک الگوریتم مبتنی بر آزاد سازی لاگرانژ برای این مسأله در نظر می‌گیرند.

در همه این مطالعات، ظرفیت تسهیلات ثابت در نظر گرفته شده‌اند؛ ولی در واقعیت می‌توان تسهیلات با ظرفیت‌های مختلف با هزینه‌های متفاوت احداث نمود. تحقیقات کمی این وضعیت را در SCND در نظر گرفته‌اند. امیری [۱۲] طراحی یک شبکه توزیع دو سطحی تک دوره‌ای برای مدیریت زنجیره تأمین را مورد مطالعه قرار می‌دهد. این مسأله شامل مکان‌یابی کارخانه‌ها و انبارهای توزیع است و همچنین ظرفیت این تسهیلات نیز از بین گزینه‌های ممکن انتخاب شده، تصمیمات مربوط به نحوه توزیع کالا از کارخانه به انبارهای توزیع و همچنین از انبارهای توزیع به مشتری‌ها نیز تعیین می‌شود. او مدلی برای حل مسأله طراحی شبکه توزیع در حالتی که تسهیلات چند ظرفیتی هستند ارائه می‌دهد. او مدل پیشنهادی خود را با استفاده از برنامه ریزی اعداد صحیح فرموله کرده، برای حل کاراتر آن یک الگوریتم ابتکاری ارائه می‌دهد. محدودیت‌های مدل در نظر گرفته شده توسط آنها تک محصولی بودن آن و همچنین قطعی در نظر گرفتن تقاضاها است.

سجادی [۱۳] بیان می‌کند که مدل ارائه شده توسط امیری دارای محدودیت‌هایی از قبیل تک محصولی بودن و همچنین تک حالت بودن روش‌های حمل و نقل است، سپس آنها با رهاسازی این محدودیت‌ها یک مدل دو سطحی چند محصوله با امکان حمل و نقل چند حالت که در آن می‌توان از بین روش‌های مختلف حمل و نقل روش مناسب را انتخاب نمود، برای این مسأله پیشنهاد دادند. آنها این مسأله را با استفاده از برنامه ریزی اعداد صحیح مختلط فرموله کرده، سپس یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر رهاسازی لاگرانژ برای حل مسأله در ابعاد واقعی پیشنهاد می‌دهند.

همانطور که از مرور ادبیات می‌توان فهمید، مطالعه‌ای که شبکه چند محصولی با چندین ظرفیت برای تسهیلات و تقاضای تصادفی را در نظر بگیرد، وجود ندارد. در این مقاله، با توسعه مدل امیری و برداشتن محدودیت‌های بیان شده (تک محصولی بودن و قطعی در نظر گرفتن تقاضاها)، مدل ریاضی پیشنهادی ارائه می‌شود و سپس برای حل مدل پیشنهادی به شکل کارا یک روش تجزیه بندرز پیشنهاد می‌شود.

بازگشت نیستند. بنابراین، برای موفقیت بلند مدت هر شرکت تولیدی، طراحی شبکه زنجیره تأمین بسیار ضروری است.

جفرین و گریوز [۳] یکی از اولین مدل‌های بهینه سازی طراحی شبکه زنجیره تأمین را ارائه می‌دهند. این کار، تعیین موقعیت مکانی مراکز توزیع بین تاسیسات ثابت و بازارها، به شکل بهینه و نیز مشخص کردن ارتباطات بین بازارها و مراکز توزیع می‌باشد. ساختار شبکه‌ای محیط پیرامونی نسبتاً ساده است، شبکه مراکز توزیع تنها یک سطح منفرد دارد، هیچ دوره زمانی وجود ندارد، اما فرآورده‌های متنوعی وجود دارند. همچنین یک تصمیم عملیاتی منفرد وجود دارد. یک تکنیک حل مبتنی بر تجزیه بندرز بسط داده می‌شود، که موثر بودن آن ثابت می‌شود. جایارمن [۴] یک مسأله طراحی شبکه چند محصوله تک دوره‌ای را مورد مطالعه قرار می‌دهد. این مسأله شامل تصمیم گیری درباره مکان انبارهای توزیع و نحوه توزیع محصولات از کارخانه‌های ثابت به انبارها و از انبارها به مشتری‌ها است. آنها برای حل این مسأله از یک الگوریتم مبتنی بر رهاسازی لاگرانژ استفاده می‌کنند. محدودیت این تحقیق در این است که اولاً مکان کارخانه‌ها را ثابت در نظر گرفته است. همچنین تسهیلات تک ظرفیتی در نظر گرفته شده‌اند. همچنین در این تحقیق تقاضای مشتری‌ها قطعی در نظر گرفته شده است. پیرکول و جایارمن [۵] یک مسأله طراحی شبکه چند محصوله تک دوره‌ای را مورد مطالعه قرار می‌دهند. مسأله مورد مطالعه آنها شامل مکان‌یابی کارخانه‌ها و انبارهای توزیع و همچنین تصمیم گیری در مورد نحوه توزیع کالا از کارخانه‌ها به انبارهای توزیع و از انبارها به مشتری‌ها است. تفاوت این تحقیق با تحقیق جایارمن [۴] در این است که در این تحقیق مکان کارخانه‌ها از ابتدا مشخص نیست و به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شده است. آنها برای حل این مسأله از روش رهاسازی لاگرانژ استفاده می‌کنند. محدودیت این تحقیق نیز در تسهیلات تک ظرفیتی و تقاضاهای قطعی است.

در جدیدترین بررسی روی تحقیقات مکان‌یابی و مدیریت زنجیره تأمین، ملو و همکاران [۶] نشان دادند که اکثر مطالعات در این زمینه اشاره به مدل‌های قطعی دارند و عدم قطعیت پارامترها در مدل‌هایشان بررسی نمی‌شود. به هر حال، عدم قطعیت یکی از مهمترین مسأله‌ها در SCM است [۷]. به خاطر سختی حل مدل‌های (SCND) تصادفی، تحقیق‌های زیادی که مدل‌های چند سطحی پیچیده و تصادفی را در نظر بگیرند، وجود ندارد. بسیاری از این تحقیق‌ها مدل‌هایی هستند، که تقاضا را تصادفی در نظر می‌گیرند. اسنایدر [۸] مروری بر روش‌های بهینه سازی برای مسأله‌های مکان‌یابی انجام داد و کلیبی و همکاران [۹] مسأله‌های SCND تحت عدم قطعیت و مدل‌های موجود را بررسی کرده‌اند، خوانندگان علاقه‌مند به این مراجع، ارجاع داده می‌شوند.

اکثر مطالعاتی که مسأله‌های مکان‌یابی تحت عدم قطعیت را در

1. Supply Chain Network Design (SCND)

۲- تعریف مسأله و ارائه مدل ریاضی پیشنهادی

در این بخش، مدل مورد مطالعه توضیح داده می‌شود، و یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط برای آن پیشنهاد می‌شود تا به حالت بهینه حل شود. این مسأله شامل مکان‌یابی کارخانه‌ها و انبارهای توزیع و تعیین بهترین استراتژی برای توزیع محصول از کارخانه‌ها به انبارهای توزیع و از انبارهای توزیع به خرده فروش‌ها است. هدف این مسأله عبارت است از پیدا کردن تعداد، مکان و ظرفیت بهینه برای کارخانه‌ها و انبارهای توزیع طوری که تقاضای خرده فروش‌ها برآورده شده و هزینه کل طراحی شبکه کمینه شود. برخلاف اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه طراحی شبکه توزیع زنجیره تامین، فرض می‌شود که گزینه‌های مختلف برای ظرفیت کارخانه‌ها و انبارهای توزیع وجود دارد. همچنین، یک شبکه توزیع چند محصولی در نظر گرفته شده‌است و مکان خرده فروش‌ها از ابتدا مشخص است. در نهایت تقاضا به صورت احتمالی در نظر گرفته شده، سعی در مدل‌سازی این مسأله با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی احتمالی دو مرحله‌ای می‌شود.

برنامه‌ریزی تصادفی با مدل‌های ارجاعی برای تحلیل مدل‌های طراحی شبکه و تخصیص منابع از دو دیدگاه مناسب است. آنها مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی قطعی را با مدل‌های تحلیلی تصمیم ترکیب کرده، استراتژی‌های مقابله در شرایط عدم قطعیت فراهم می‌کنند.

موفقیت این روش مدل‌سازی در این است که این مدل می‌تواند تصمیم‌های "اینجا و هم اکنون" را با تصمیم‌های "منتظر باش و ببین" را با هم ترکیب کند. در یک زنجیره تأمین تصمیم‌ها در طی زمان گرفته می‌شوند. تصمیم‌های استراتژیک مانند سطوح ظرفیت تولید برای یک مدت زمان طولانی گرفته می‌شوند، در حالی که تصمیم‌های عملیاتی مانند برنامه‌های توزیع در طی دوره زمانی کوتاه‌تری گرفته می‌شوند. علاوه بر این در زمانی که تصمیم‌های استراتژیک گرفته می‌شوند، اطلاعاتی در مورد بسیاری از پارامترهای جزئی، مانند تقاضای محصول و قیمت‌ها وجود ندارد. اما در زمان گرفتن تصمیم‌های عملیاتی اطلاعات بیشتری درباره تقاضای کالاها و قیمت‌ها وجود دارد.

یکی از مهمترین مدل‌های برنامه ریزی تصادفی مدل برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای همراه با ارجاع است. در برنامه‌ریزی احتمالی دو مرحله‌ای متغیرهای تصمیم به دو دسته تقسیم می‌شوند: متغیرهای مرحله اول که شامل تصمیم‌های استراتژیک بلند مدت هستند و متغیرهای مرحله دوم که شامل تصمیم‌های عملیاتی و کوتاه مدت هستند. در مدل مورد مطالعه تصمیم‌های مرحله اول عبارتند از: تعیین تعداد، مکان و ظرفیت کارخانه‌ها و انبارهای توزیع و تصمیم‌های مرحله دوم عبارتند از نحوه انتقال محصولات از کارخانه‌ها به انبارهای توزیع و از انبارهای توزیع به خرده فروش‌ها.

1. Here and Now
2. Wait and See

پارامترها و متغیرهای مورد استفاده برای مدل کردن این مسأله در ادامه آورده شده است:

N	مجموعه اندیس مشتری‌ها $i \in N$
M	مجموعه اندیس مکان‌های بالقوه برای انبارها $j \in M$
L	مجموعه اندیس مکان‌های بالقوه برای کارخانه‌ها $k \in L$
P	مجموعه انواع اندیس محصول‌ها $p \in P$
R	مجموعه اندیس سطح ظرفیت‌های مختلف برای انبارها $r \in R$
H	مجموعه اندیس سطح ظرفیت‌های مختلف برای کارخانه‌ها $h \in H$
S	مجموعه تمام سناریوهای ممکنه
C_{ij}^p	هزینه فراهم کردن یک واحد محصول p از مکان انبار j به مشتری i
\bar{C}_{jk}^p	هزینه فراهم کردن یک واحد محصول p از مکان کارخانه k به مکان انبار j
F_j^r	هزینه ثابت نصب و راه‌اندازی یک انبار با سطح ظرفیت r در محل j
G_k^h	هزینه ثابت نصب و راه‌اندازی یک کارخانه با سطح ظرفیت h در محل k
v^p	حجم واحد محصول p
a_i^{ps}	تقاضای محصول p مشتری i در واحد زمان برای سناریوی s
p^s	احتمال وقوع سناریوی s
b_j^r	ظرفیت انبار سطح r در مکان j
e_k^h	ظرفیت کارخانه سطح h در مکان k

متغیر های تصمیم مسأله به این شکل هستند:

X_{ij}^{ps}	کسری (نسبت به a_i^{ps}) از تقاضای محصول p مشتری i که توسط انبار موجود در محل j برآورده می‌شود. در حالتی که سناریوی s اتفاق بیفتد.
Y_{jk}^{rps}	کسری (نسبت به b_j^r) از محصول p منتقل شده از کارخانه k به انبار در مکان j با سطح ظرفیت r ، در حالتی که سناریوی s اتفاق بیفتد.
U_j^r	متغیر صفر-یک، برابر یک است اگر یک انبار با سطح ظرفیت r در مکان j راه‌اندازی شود.
V_k^h	متغیر صفر-یک، برابر یک است اگر یک کارخانه با سطح ظرفیت h در محل k راه‌اندازی شود.

مسأله مورد نظر به شکل زیر مدل می‌شود:

$$\min Z_p = \sum_{j \in M} \sum_{r \in R} F_j^r U_j^r + \sum_{k \in L} \sum_{h \in H} G_k^h V_k^h + \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} p^s C_{ij}^p a_i^{ps} X_{ij}^{ps} + \sum_{r \in R} \sum_{j \in M} \sum_{k \in L} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} p^s \bar{C}_{jk}^p b_j^r Y_{jk}^{rps} \quad (1)$$

s.t.

حالی که مسأله اصلی شامل متغیرهای صحیح و یک متغیر پیوسته است که دو مسأله را به هم مرتبط می‌کند. حل بهینه برای مسأله اصلی یک حد پایین برای هدف مورد نظر فراهم می‌کند. با استفاده از حل بدست آمده توسط مسأله اصلی، با ثابت کردن متغیرهای صحیح به عنوان ورودی زیرمسأله یک دوگان برای زیرمسأله حل می‌شود؛ با استفاده از این حل می‌توان یک حد بالا برای هدف کلی مسأله تعریف نمود. همچنین حل دوگان زیرمسأله برای ساخت یک برش بندرز که شامل متغیرهای پیوسته اضافه شده به مسأله اصلی است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تکرار بعدی این برش به مسأله اصلی اضافه شده با استفاده از حل این مسأله یک حد پایین جدید برای مسأله کلی بدست می‌آید، که تضمین می‌شود بدتر از حد پایین کنونی نباشد. به این ترتیب مسأله اصلی و زیرمسأله مکررا حل شده تا زمانی که به یک شرط خاتمه برسیم، که عبارت است از کمتر شدن فاصله حد بالا و حد پایین از یک عدد کوچک. روش تجزیه بندرز در تکرارهای متناهی به جواب بهینه می‌رسد.

قبل از توسعه دادن مسائل اصلی و زیر مسأله در چارچوب بندرز، فرمول‌بندی مسأله کلی ارائه می‌شود، این مسأله را می‌توان به شکل زیر بیان نمود:

$$\min Z_p = \sum_{j \in M} \sum_{r \in R} F_j^r U_j^r + \sum_{k \in L} \sum_{h \in H} G_k^h V_k^h + BSP(X, Y | U, V) \quad (12)$$

s.t.

$$\text{Equations (5) and (6)} \quad (13)$$

یا به عبارت دقیق‌تر:

$$\min Z_p = \sum_{j \in M} \sum_{r \in R} F_j^r U_j^r + \sum_{k \in L} \sum_{h \in H} G_k^h V_k^h + BSP(x, y | \hat{U}, \hat{V}) \quad (14)$$

s.t.

$$\sum_{r \in R} U_j^r \leq 1 \quad \forall j \in M \quad (15)$$

$$\sum_{h \in H} V_k^h \leq 1 \quad \forall k \in L \quad (16)$$

که در آن $BSP(x, y | \hat{U}, \hat{V})$ زیرمسأله بندرز است که جزئیات آن در ادامه آورده می‌شود.

۳-۱- زیر مسأله بندرز

زیر مسأله $BSP(x, y | \hat{U}, \hat{V})$ یک مسأله کمینه سازی است که مقدار بهینه متغیرهای پیوسته (x, y) را برای متغیرهای ثابت شده (\hat{U}, \hat{V}) بدست می‌آورد. این مسأله را می‌توان به شکل زیر بیان نمود:

$$\sum_{j \in M} X_{ij}^{ps} = 1 \quad \forall i \in N, p \in P, s \in S \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{p \in P} a_i^{ps} v^p X_{ij}^{ps} \leq \sum_{r \in R} b_j^r U_j^r \quad \forall j \in M, s \in S \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} a_i^{ps} v^p X_{ij}^{ps} \leq \sum_{k \in L} \sum_{r \in R} b_j^r Y_{jk}^{rps} \quad \forall j \in M, p \in P, s \in S \quad (4)$$

$$\sum_{r \in R} U_j^r \leq 1 \quad \forall j \in M \quad (5)$$

$$\sum_{h \in H} V_k^h \leq 1 \quad \forall k \in L \quad (6)$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} b_j^r Y_{jk}^{rps} \leq \sum_{h \in H} e_k^h V_k^h \quad \forall k \in L, s \in S \quad (7)$$

$$X_{ij}^{ps} \geq 0 \quad \forall i \in N \text{ and } j \in M, s \in S \quad (8)$$

$$U_j^r \in (0,1) \quad \forall j \in M \text{ and } r \in R \quad (9)$$

$$Y_{jk}^{rps} \geq 0 \quad \forall k \in L, j \in M \text{ and } r \in R, s \in S \quad (10)$$

$$V_k^h \in (0,1) \quad \forall k \in L \text{ and } h \in H \quad (11)$$

در این مدل معادله (۱) نشان دهنده تابع هدف می‌باشد که عبارت است از کمینه کردن هزینه‌های کل شبکه. دو عبارت اول در این معادله به ترتیب نشان دهنده هزینه‌های نصب انبارها و کارخانه‌ها هستند. عبارت سوم نشان دهنده هزینه حمل و نقل محصول بین انبار و مشتری‌ها است. در نهایت عبارت آخر نشان دهنده هزینه حمل و نقل کالا بین کارخانه‌ها و انبارها است. محدودیت (۲) این اطمینان را حاصل می‌کند که برای هر محصول همه تقاضاهای مشتری‌ها با استفاده از انبارهای فعال پاسخ داده شود. محدودیت (۳) و (۴) به ترتیب این اطمینان را حاصل می‌کنند که تقاضاهایی که توسط یک انبار برای تمام محصولات پاسخ داده می‌شوند از ظرفیت آن انبار تجاوز نکند، و همچنین کل تقاضاهایی که توسط یک انبار برای هر محصول پاسخ داده می‌شوند، نباید از کل محصولات ورودی به انبار تجاوز کند (به دلیل تعریف مقدار ورودی به انبار بر اساس نوع محصول، به ازای هر محصول یک محدودیت تعریف می‌شود). محدودیت‌های (۵) و (۶) به ترتیب نشان دهنده این است که برای هر انبار و کارخانه نمی‌توان بیش از یک ظرفیت انتخاب نمود. محدودیت (۷) نشان دهنده محدودیت ظرفیت کارخانه‌ها است. در نهایت محدودیت‌های (۸) و (۱۰) محدودیت‌های غیرمنفی بودن متغیرهای پیوسته هستند. محدودیت‌های (۹) و (۱۱) محدودیت‌های صفر-یک بودن متغیرهای U_j^r و V_k^h هستند.

۳- روش تجزیه بندرز

روش تجزیه بندرز وابسته به تجزیه یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط به یک مسأله اصلی و یک زیرمسأله است که به شکل تکراری با استفاده از جواب یکدیگر حل می‌شوند [۱۴]. زیر مسأله شامل متغیرهای پیوسته و محدودیت‌های مربوط به آن است در

۲-۳- مسأله اصلی بندرز

مسأله اصلی بندرز به شکل زیر مدل می‌شود:

$$\min_{U,V} z \tag{۲۹}$$

s.t.

$$z \geq \sum_{j \in M} \sum_{r \in R} F_j^r U_j^r + \sum_{k \in L} \sum_{h \in H} G_k^h V_k^h \tag{۳۰}$$

$$+ \sum_{i \in N} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} (-\hat{\pi}_{ips}^{1k'} + \hat{\pi}_{ips}^{2k'})$$

$$- \sum_{j \in M} \sum_{s \in S} \left(\hat{\pi}_{js}^{3k'} \sum_{r \in R} b_j^r U_j^r \right)$$

$$- \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \left(\hat{\pi}_{ks}^{5k'} \sum_{h \in H} e_k^h V_k^h \right) \quad \forall k',$$

$$= 1, \dots, K$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} (-\hat{\pi}_{ips}^{1l'} + \hat{\pi}_{ips}^{2l'})$$

$$- \sum_{j \in M} \sum_{s \in S} \left(\hat{\pi}_{js}^{3l'} \sum_{r \in R} b_j^r U_j^r \right) \tag{۳۱}$$

$$- \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \left(\hat{\pi}_{ks}^{5l'} \sum_{h \in H} e_k^h V_k^h \right)$$

$$\leq 0 \quad \forall l' = 1, \dots, L$$

$$\sum_{r \in R} U_j^r \leq 1 \quad \forall j \in M \tag{۳۲}$$

$$\sum_{h \in H} V_k^h \leq 1 \quad \forall k \in L \tag{۳۳}$$

در این مدل معادله (۲۹) نشان‌دهنده تابع هدف مسأله اصلی بندرز است، معادله (۳۰) برش‌های بهینگی هستند که پس از رسیدن به حل بهینه زیر مسأله به مسأله اصلی اضافه می‌شوند، پارامترهای $\hat{\pi}_{ips}^{1k'}$ ، $\hat{\pi}_{ips}^{2k'}$ ، $\hat{\pi}_{js}^{3k'}$ و $\hat{\pi}_{ks}^{5k'}$ مقادیر متغیرهای دوگان حاصل از حل زیر مسأله بندرز هستند، این مقادیر در محدودیت‌های برش به عنوان مقدار ثابت در نظر گرفته می‌شوند. معادله (۳۱) برش‌های شدنی بودن هستند که در صورتی که زیر مسأله شدنی نباشد به مسأله اصلی اضافه می‌شود. پارامترهای $\hat{\pi}_{ips}^{1l'}$ ، $\hat{\pi}_{ips}^{2l'}$ ، $\hat{\pi}_{js}^{3l'}$ و $\hat{\pi}_{ks}^{5l'}$ مقادیر متغیرهای دوگان حاصل از حل زیر مسأله بندرز هستند، این مقادیر در محدودیت‌های برش به عنوان مقدار ثابت در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۳- روند کلی الگوریتم تجزیه بندرز

همانطور که از شبه کد شکل (۱) مشخص است، ابتدا باید یک جواب شدنی برای مسأله اصلی پیدا کنیم، این کار با استفاده از حل مسأله اصلی بدون هیچ نوع برشی انجام می‌شود، سپس جواب‌های بدست آمده توسط مسأله اصلی به زیر مسأله داده شده، زیر مسأله حل می‌شود، در صورتی که زیر مسأله شدنی نباشد و جواب دوگان زیر مسأله بی‌نهایت باشد، یک جهت بی‌نهایت از دوگان گرفته با استفاده

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} p^s C_{ij}^p a_i^{ps} X_{ij}^{ps} + \sum_{r \in R} \sum_{j \in M} \sum_{k \in L} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} p^s \bar{C}_{jk}^p b_j^r Y_{jk}^{rps} \tag{۱۷}$$

s.t.

$$\sum_{j \in M} X_{ij}^{ps} \leq 1 \quad \forall i \in N, p \in P, s \in S \tag{۱۸}$$

$$\sum_{j \in M} X_{ij}^{ps} \geq 1 \quad \forall i \in N, p \in P, s \in S \tag{۱۹}$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{p \in P} a_i^{ps} v^p X_{ij}^{ps} \leq \sum_{r \in R} b_j^r \bar{U}_j^r \quad \forall j \in M, s \in S \tag{۲۰}$$

$$\sum_{i \in N} a_i^{ps} v^p X_{ij}^{ps} \leq \sum_{k \in L} \sum_{r \in R} b_j^r Y_{jk}^{rps} \quad \forall j \in M, p \in P, s \in S \tag{۲۱}$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{r \in R} \sum_{p \in P} b_j^r Y_{jk}^{rps} \leq \sum_{h \in H} e_k^h \hat{V}_k^h \quad \forall k \in L, s \in S \tag{۲۲}$$

$$X_{ij}^{ps} \geq 0 \quad \forall i \in N \text{ and } j \in M, s \in S \tag{۲۳}$$

$$Y_{jk}^{rps} \geq 0 \quad \forall k \in L, j \in M \text{ and } r \in R, s \in S \tag{۲۴}$$

توجه داریم که محدودیت (۲) در مدل احتمالی پیشنهادی، که به شکل مساوی است، بدون تغییر در فضای جواب و حل بهینه تبدیل به دو محدودیت کمتر-مساوی و بیشتر-مساوی در (۱۸) و (۱۹) تبدیل شده است، این کار برای بدست آوردن ساده‌تر مسأله دوگان انجام شده‌است.

برای تولید برش‌های اصلی برای مسأله اصلی از دوگان $BSP(x, y | \bar{U}, \hat{V})$ استفاده می‌شود. برای بدست آوردن دوگان این مسئله از متغیرهای دوگان $\pi_{ips}^1, \pi_{ips}^2, \pi_{js}^3, \pi_{ips}^4, \pi_{ips}^5$ برای هر یک از محدودیت‌های (۱۸)، (۱۹)، (۲۰)، (۲۱) و (۲۲) استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن این متغیرها مسأله دوگان زیرمسأله با نام $DBSP(\pi^1, \pi^2, \pi^3, \pi^4, \pi^5 | \bar{U}, \hat{V})$ به شکل زیر خواهد بود:

$$\max \sum_{i \in N} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} (-\pi_{ips}^1 + \pi_{ips}^2) - \sum_{j \in M} \sum_{s \in S} \left(\pi_{js}^3 \sum_{r \in R} b_j^r \bar{U}_j^r \right) - \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \left(\pi_{ks}^5 \sum_{h \in H} e_k^h \hat{V}_k^h \right) \tag{۲۵}$$

s.t.

$$-\pi_{ips}^1 + \pi_{ips}^2 - a_i^{ps} v^p \pi_{js}^3 - a_i^{ps} v^p \pi_{ips}^4 \leq p^s C_{ij}^p a_i^{ps} \quad \forall i, j, p, s \tag{۲۶}$$

$$b_j^r \pi_{ips}^4 - b_j^r \pi_{ks}^5 \leq p^s \bar{C}_{jk}^p b_j^r \quad \forall j, k, r, p, s \tag{۲۷}$$

$$\pi_{ips}^1, \pi_{ips}^2, \pi_{js}^3, \pi_{ips}^4, \pi_{ks}^5 \geq 0 \quad \forall i, j, k, p, s \tag{۲۸}$$

۰.۲۵، ۰.۴۵ و ۰.۱۷ است. تقاضای مشتریان در هر سناریو به صورت تصادفی عددی بین ۵ و ۷۰ تولید می‌شود، به طوری که برای هر مشتری، تقاضا در سناریوی که نشان دهنده وضعیت اقتصادی بهتر است، کمتر از سناریوهای که نشان دهنده وضعیت‌های اقتصادی بدتر است، نباشد. نتایج در دو حالت تک محصولی و چند محصولی ارائه می‌شود.

۴-۱- حالت تک محصولی

با استفاده از روش تولید مسأله توضیح داده شده در قسمت قبل، یک مسأله آزمایشی با ۵ مکان بالقوه برای کارخانه، ۸ مکان بالقوه برای انبار توزیع و ۱۰ خرده‌فروش تولید شده و با روش تجزیه بندرز پیشنهادی حل می‌شود. نحوه همگرایی روش بندرز در شکل (۲) نمایش داده شده است. روش تجزیه بندرز پس از ۳۹ تکرار همگرا شده است. همچنین نحوه برآورده شدن تقاضای خرده فروش‌ها برای هر یک از سناریوها در جدول (۱) آورده شده است. همانطور که از این جدول برمی‌آید، می‌توان به یک اولویت‌بندی برای تامین تقاضای خرده فروش‌ها توسط انبارهای توزیع دست یافت، همانطور که از جدول (۱) پیداست انبار توزیع شماره سه بیشترین درصد پاسخگویی به تقاضای خرده فروش‌ها را داشته است و تمام تقاضاهای خرده فروش‌های (۱)، (۴)، (۱۰) و بخشی عمده‌ای از تقاضای خرده فروش (۵) توسط این انبار تامین شده است، باقی‌مانده تقاضای این خرده فروش توسط انبار توزیع (۲) تامین شده است، با افزایش تقاضای خرده فروش‌ها در سناریوی دوم ظرفیت انبار توزیع (۳) به درصد کمتری از تقاضای این خرده فروش‌ها می‌تواند پاسخ دهد، همانطور که پیداست این کم شدن توان در کم شدن درصد تقاضای تامین شده خرده فروش (۵) توسط انبار توزیع (۳) نمود پیدا می‌کند. انبار جایگزین برای تامین این تقاضا انبار (۲) است، به طور کلی مشاهده می‌شود که انبار توزیع (۲) نقش جایگزین برای انبار (۳) را دارد، زیرا در سناریو سوم با افزایش بیشتر تقاضای خرده فروش‌ها انبار (۳) قادر به پاسخ‌گویی به تقاضای خرده فروش (۹) نبوده، انبار (۲) تقاضای این خرده فروش را تامین می‌کند، این موضوع فرضیه جایگزین شدن انبار (۳) توسط انبار (۲) را حمایت می‌کند. به همین ترتیب می‌توان تحلیل‌هایی روی اینکه اولویت تامین تقاضای یک خرده فروش با کدام انبار است انجام داد. همچنین در صورتی که انبار توان تامین تقاضای یک خرده فروش را به علت افزایش تقاضای خرده فروش‌ها نداشته باشد، می‌توان بهترین انبار توزیع جایگزین برای تامین تقاضای خرده فروش پیدا کرد.

۴-۲- حالت چند محصولی

در این بخش، یک شبکه توزیع با دو محصول در نظر گرفته می‌شود. برای حالت چند محصولی نیز یک مسأله آزمایشی با ۵ مکان بالقوه برای کارخانه، ۸ مکان بالقوه برای انبار توزیع و ۱۰ خرده‌فروش تولید شده و با روش تجزیه بندرز پیشنهادی حل می‌شود. روش تجزیه

از این جهت یک برش شدنی بودن تولید شده این برش به مسأله اصلی اضافه می‌شود، در صورتی که زیر مسأله شدنی بوده و دارای جواب بهینه باشد، با استفاده از جواب‌های بهینه زیر مسأله دوگان یک برش بهینگی تولید شده به مسأله اصلی اضافه می‌شود، در صورتی که جواب بدست آمده حد بالای بهتری بدست می‌دهد، حد بالا به روز می‌شود. سپس مسأله اصلی با استفاده از برش جدید دوباره حل شده حد پایین به روز می‌شود. این کار تا زمانی تکرار می‌شود که فاصله بین حد بالا و حد پایین از یک مقدار مشخصی کمتر شود.

۴- نتایج عددی

در این بخش، نتایج عددی ارائه می‌شود، برای تولید مثال مورد نظر از روش توضیح داده شده در مطالعه امیری [۱۲] با کمی تغییر استفاده می‌شود. مکان‌های مشتری‌ها و نقاط کاندید برای انبارها و کارخانه‌ها به طور تصادفی روی یک مربع فرضی با ضلع ۱۰۰ واحد تولید می‌شود. تقاضای مشتری‌ها برای هر محصول به طور تصادفی از توزیع یکنواخت بین ۱۰ و ۱۰۰ تولید می‌شود. برای هر یک از انبارها و کارخانه‌ها ۵ سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است. فرض کنید $TotDem$ حجم کل تقاضای مشتری‌ها باشد. حال اگر تعریف شود $Cap = [0.75 * TotDem / (|M|)]$ ، ظرفیت‌های مختلف برای یک انبار در نقطه z به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$b_j^1 = 0.5 * Cap, b_j^2 = 0.75 * Cap, b_j^3 = Cap, b_j^4 = 1.25 * Cap, b_j^5 = 1.5 * Cap$$

به همین ترتیب ظرفیت‌های مختلف برای کارخانه‌ها در مکان k بر حسب ظرفیت‌های مختلف برای یک انبار در نقطه z (b_j^h) نیز به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$e_k^h = 6 * b_k^h \text{ for } h \in H$$

ضرایب هزینه C_{ij}^p و \bar{C}_{jk}^p به ترتیب متناسب با فاصله اقلیدسی بین مشتری‌ها و انبارها و فاصله انبارها و کارخانه‌ها تعریف می‌شوند. فرض شده است که هزینه ثابت نصب تسهیلات انبار توزیع و کارخانه، مطابق با دنیای واقعی، به این شکل تعریف می‌شود: F_j^3 برای یک انبار در مکان کاندید z با سطح ظرفیت ۳ عبارت است از ۵ برابر فاصله بین آن نقطه با مرکز ثقل مربع فرضی که با ضلع ۱۰۰ واحد در نظر گرفته شد. ضریب هزینه برای سطوح ظرفیت دیگر به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$F_j^1 = [0.6 * F_j^3], F_j^2 = [0.85 * F_j^3], F_j^4 = [1.15 * F_j^3], F_j^5 = [1.35 * F_j^3]$$

به طور مشابه ضرایب هزینه برای نصب کارخانه در هر یک از محل‌های کاندید بر حسب هزینه ثابت نصب انبارهای توزیع (F_j^h) به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

$$G_k^h = 4 * F_k^h \text{ for } h \in H$$

فرض کنید که وضعیت اقتصادی آینده به یکی از حالت‌های خیلی خوب، خوب، متوسط و بد (چهار وضعیت) با احتمال به ترتیب ۰.۱۳،

نموده و انبار (۳) تنها محصول دوم را تامین می‌نماید. حال در سناریوی دوم با افزایش تقاضای خرده فروش‌ها انبار (۳) قادر به تامین تقاضای خرده فروش‌های خود در سناریوی اول نبوده انبار (۶) جایگزین این انبار شده تقاضای خرده فروش (۵) و بخشی از تقاضای خرده فروش (۴) را تامین می‌کند، این موضوع نشان‌دهنده این است که در سناریوی اول انبار (۶) به طور کامل استفاده نشده است. به همین ترتیب می‌توان تحلیل‌های روی اولویت تامین تقاضای خرده فروش‌ها توسط انبارها انجام داد و این اولویت‌ها را در عمل پیاده نمود.

بندرز پس از ۱۹ تکرار همگرا شده است. نحوه همگرایی روش بندرز در شکل (۳) نمایش داده شده است. همچنین نحوه برآورده شدن تقاضای خرده فروش‌ها برای هر یک از سناریوها در جدول‌های (۲) و (۳) آورده شده است.

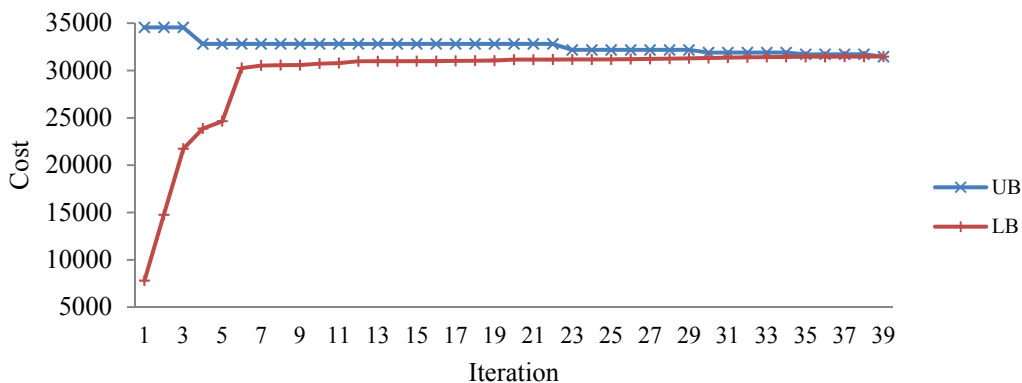
مانند حالت تک محصولی، برای حالت چند محصولی نیز می‌توان تحلیل‌هایی درباره اولویت تامین تقاضای خرده فروش‌ها توسط انبارها انجام داد، نکته مهم این است که این تحلیل‌ها باید با در نظر گرفتن همزمان دو محصول انجام شوند. با در نظر گرفتن همزمان دو محصول، انبارهای (۶) و (۳) بیشترین درصد تقاضا را در سناریو اول تامین نموده‌اند، در این سناریو انبار (۶) تنها محصول اول را تامین

```

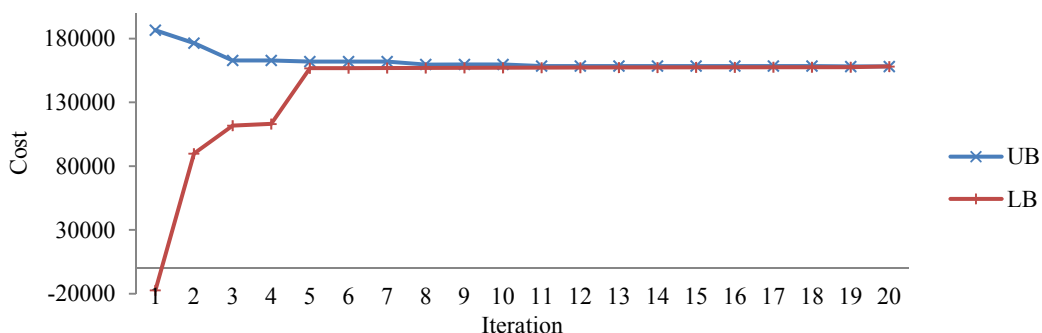
{initialization}
(U, V) = initial feasible integer solution
LB := -∞
UB := +∞
L' = K' = 0
while (UB - LB > ε) Do
  {solve subproblem}
  if (Subproblem is Unbounded) then
    Get unbounded ray π
    Add cut  $\sum_{i \in N} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} (-\hat{\pi}_{ips}^{1l'} + \hat{\pi}_{ips}^{2l'}) - \sum_{j \in M} \sum_{s \in S} \left( \hat{\pi}_{js}^{3l'} \sum_{r \in R} b_j^r U_j^r \right) - \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \left( \hat{\pi}_{ks}^{5l'} \sum_{h \in H} e_k^h V_k^h \right) \leq 0$ 
    to master problem
    L' := L' + 1;
  Else
    Get extreme point π
    Add cut  $z \geq \sum_{j \in M} \sum_{r \in R} F_j^r U_j^r + \sum_{k \in L} \sum_{h \in H} G_k^h V_k^h + \sum_{i \in N} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} (-\hat{\pi}_{ips}^{1k'} + \hat{\pi}_{ips}^{2k'}) - \sum_{j \in M} \sum_{s \in S} \left( \hat{\pi}_{js}^{3k'} \sum_{r \in R} b_j^r U_j^r \right) - \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \left( \hat{\pi}_{ks}^{5k'} \sum_{h \in H} e_k^h V_k^h \right)$ 
    to master problem
    K' := K' + 1;
    UB := min {UB,  $\sum_{j \in M} \sum_{r \in R} F_j^r U_j^r + \sum_{k \in L} \sum_{h \in H} G_k^h V_k^h + \sum_{i \in N} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} (-\hat{\pi}_{ips}^{1k'} + \hat{\pi}_{ips}^{2k'}) - \sum_{j \in M} \sum_{s \in S} \left( \hat{\pi}_{js}^{3k'} \sum_{r \in R} b_j^r U_j^r \right) - \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \left( \hat{\pi}_{ks}^{5k'} \sum_{h \in H} e_k^h V_k^h \right)$ }
  end if
  {solve master problem}
  LB := Z //result of master problem
end while

```

شکل (۱): رویه کلی تجزیه بندرز



شکل (۲): ارتباط نحوه همگرایی روش تجزیه بندرز برای مثال تک محصولی



شکل (۳): ارتباط نحوه همگرایی روش تجزیه بندرز برای مثال چند محصولی

استفاده از این روش را برای این مسأله ممکن می‌سازد، لذا در مدل در نظر گرفته شده در این مقاله با یک رویکرد دو مرحله‌ای مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین مدل شده است. به طور دقیق‌تر در این مدل ابتدا تصمیم‌های استراتژیک گرفته شده سپس تصمیم‌های عملیاتی برای همه سناریوهای ممکنه تعیین شده میانگین هزینه‌های عملیاتی به هزینه‌های تصمیم‌های استراتژیک اضافه شده هزینه کل به عنوان تابع هدف نهایی کمینه شده است.

خروجی روش برنامه ریزی تصادفی دومرحله‌ای مورد استفاده یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط است که می‌توان آن را با استفاده از نرم افزارهای تحقیق در عملیات موجود حل نمود. اما برای حل کاراتر این مسأله در این تحقیق یک روش تجزیه بندرز پیشنهاد شده است. این روش از خاصیت دومرحله‌ای بودن مدل و قابلیت تجزیه آن به یک مسأله سخت (شامل تصمیم‌های استراتژیک که متغیرهایی صحیح هستند) و یک مسأله آسان (شامل تصمیم‌های عملیاتی که متغیرهایی پیوسته هستند) استفاده می‌نماید.

در نهایت، دو مثال عددی برای حالت‌های تک محصولی و چند محصولی حل شده، تحلیل‌های مدیریتی برای اولویت‌بندی استفاده از انبارهای توزیع برای تأمین تقاضای خرده فروش‌های مختلف و نحوه جایگزین شدن انبارها هنگامی که تقاضای خرده فروش‌ها افزایش پیدا می‌کند، انجام می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مدل احتمالی مبتنی بر سناریوبندی برای حل مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین توسعه داده شد. مدل مورد بررسی، یک شبکه توزیع دولایه متشکل از کارخانه‌ها و انبارهای توزیع را مورد مطالعه قرار می‌دهد، که در آن برای هر یک از این تسهیلات، ظرفیت‌های مختلف در نظر گرفته شده است. این موضوع در ادبیات طراحی شبکه زنجیره تأمین کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است، همچنین مدل مورد استفاده در این تحقیق با در نظر گرفتن یک شبکه چند محصولی و احتمالی سعی در بازتاب واقعی‌تر شبکه‌های تأمین موجود در واقعیت نموده است.

تصمیم‌های مربوط به مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین را می‌توان از نظر طول مدت دوره تصمیم‌گیری به دو دسته تصمیم‌های استراتژیک (بلندمدت) و تصمیم‌های عملیاتی (کوتاه مدت) تقسیم بندی نمود. به این ترتیب که تصمیم‌های مربوط به نصب و عدم نصب تسهیلاتی مانند کارخانه‌ها و انبارها و تعیین ظرفیت آنها جزو تصمیم‌های استراتژیک بوده و تصمیم‌هایی مانند میزان حمل و نقل از کارخانه‌ها به انبارهای توزیع و از انبارهای توزیع به خرده فروش‌ها تصمیم‌های کوتاه مدت عملیاتی محسوب می‌شوند. این تقسیم‌بندی کاملاً منطبق با مدل‌های برنامه ریزی تصادفی دومرحله‌ای بوده،

جدول (۱): درصد برآورده شدن تقاضای خرده‌فروش‌ها برای هر سناریو

Customer	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Poor economy	WH1	0	100	0	0	0	0	0	100	0
	WH2	0	0	0	0	21.875	0	0	0	0
	WH3	100	0	0	100	78.125	0	0	0	100
	WH4	0	0	0	0	0	0	0	100	0
	WH5	0	0	100	0	0	100	100	0	0
	WH6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fair economy	WH1	0	100	0	0	0	0	0	0	100
	WH2	0	0	0	0	71.053	0	0	0	0
	WH3	100	0	0	100	28.947	0	0	0	100
	WH4	0	0	0	0	0	0	0	100	0
	WH5	0	0	100	0	0	100	100	0	0
	WH6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Good economy	WH1	0	100	10.526	0	0	0	0	0	66.667
	WH2	0	0	0	0	100	0	0	0	100
	WH3	100	0	0	100	0	0	0	0	33.333
	WH4	0	0	0	0	0	0	0	100	0
	WH5	0	0	89.4742	0	0	100	100	0	0
	WH6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boom economy	WH1	0	100	72	0	0	0	0	0	0
	WH2	0	0	0	0	88.462	0	0	0	100
	WH3	100	0	8	37.5	0	0	0	0	100
	WH4	0	0	0	0	5.769	0	0	100	0
	WH5	0	0	20	0	0	100	100	0	0
	WH6	0	0	0	62.5	5.769	0	0	0	0
	WH7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول (۲): درصد برآورده شدن تقاضای محصول اول خرده‌فروش‌ها برای هر سناریو

Customer	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Poor economy	WH1	0	0	100	0	0	8.219	0	0	0
	WH2	0	0	0	0	0	0	0	100	100
	WH3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH4	0	0	0	0	0	0	0	100	0
	WH5	0	0	0	0	0	100	0	0	0
	WH6	100	0	0	100	100	0	0	0	0
	WH7	0	100	0	0	0	0	91.781	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fair economy	WH1	0	0	100	0	0	10	0	0	0
	WH2	0	0	0	0	0	0	0	0	100
	WH3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH4	0	0	0	0	0	0	0	100	0
	WH5	0	0	0	0	0	90	0	0	0
	WH6	100	0	0	100	100	0	0	0	0
	WH7	0	100	0	0	0	0	100	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Good economy	WH1	0	0	100	0	0	0	0	0	0
	WH2	0	0	0	0	100	0	0	0	100
	WH3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH4	0	0	0	0	0	0	0	100	0
	WH5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH6	100	0	0	100	0	0	0	0	0
	WH7	0	100	0	0	0	100	100	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boom economy	WH1	0	0	55.422	0	0	0	0	0	0
	WH2	0	0	33.735	0	0	0	0	0	100
	WH3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH4	0	0	0	0	100	0	0	100	0
	WH5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH6	100	0	0	100	0	0	0	0	0
	WH7	0	0	0	0	0	0	37	0	0
	WH8	0	100	10.843	0	0	100	63	0	0

جدول (۳): درصد برآورده شدن تقاضای محصول دوم خرده‌فروش‌ها برای هر سناریو

	Customer	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Poor economy	WH1	0	100	0	0	0	0	0	0	63.333	0
	WH2	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
	WH3	100	0	41.489	100	100	0	0	0	36.666	100
	WH4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH5	0	0	58.511	0	0	100	100	0	0	0
	WH6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fair economy	WH1	0	100	0	0	0	0	0	0	14.634	0
	WH2	0	0	0	0	0	0	0	0	85.366	0
	WH3	100	0	100	36.875	0	0	0	0	0	100
	WH4	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
	WH5	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0
	WH6	0	0	0	63.125	100	0	0	0	0	0
	WH7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Good economy	WH1	0	56.915	46.970	0	0	0	0	0	0	0
	WH2	0	0	0	0	62.5	0	0	0	100	0
	WH3	100	0	53.030	35.714	0	0	0	0	0	100
	WH4	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
	WH5	0	0	0	0	0	100	97.312	0	0	0
	WH6	0	0	0	64.285	37.5	0	0	0	0	0
	WH7	0	43.085	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boom economy	WH1	0	0	100	0	0	0	24.286	0	0	0
	WH2	0	0	0	0	73.438	0	0	0	100	3.7
	WH3	100	0	0	44.660	0	0	0	0	0	96.3
	WH4	0	0	0	0	26.563	0	0	100	0	0
	WH5	0	0	0	0	0	100	75.714	0	0	0
	WH6	0	0	0	55.340	0	0	0	0	0	0
	WH7	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
	WH8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

۶- مراجع

- [9] Klibi, W., Martel, A. & Guitouni, A. The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review. *European Journal of Operational Research* 2010; 203(283-293).
- [10] Aghezzaf, E. Capacity planning and warehouse location in supply chains with uncertain demands. *Journal of the Operational Research Society* 2004; 56(453-462).
- [11] Max Shen, Z.-J. & Qi, L. Incorporating inventory and routing costs in strategic location models. *European Journal of Operational Research* 2007; 179(372-389).
- [12] Amiri, A. Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure. *European Journal of Operational Research* 2006; 171(567-576).
- [13] Sadjady, H. Davoudpour, H. (2012) 'Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection, lead-times and inventory costs' *Computers & Operations Research*, Vol.39, pp. 1345-1354.
- [14] Benders, J.F. Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. *Numerische mathematik* 1962; 4(238-252).
- [1] Vonderembse, M.A., Uppal, M., Huang, S.H. & Dismukes, J.P. Designing supply chains: Towards theory development. *International Journal of Production Economics* 2006; 100(223-238).
- [2] Shapiro, J.F. *Modeling the supply chain*; South-Western Pub. 2007.
- [3] Geoffrion, A.M. & Graves, G.W. Multicommodity distribution system design by Benders decomposition. *Management Science* 1974; 20(822-844).
- [4] Jayaraman, V. An efficient heuristic procedure for practical sized capacitated warehouse design and management. *Decision Sciences* 1998; 29(729-745).
- [5] Pirkul, H. & Jayaraman, V. A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution. *Computers & Operations Research* 1998; 25(869-878).
- [6] Melo, M. T., Nickel, S. & Saldanha-Da-Gama, F. Facility location and supply chain management—A review. *European Journal of Operational Research* 2009; 196(401-412).
- [7] Sabri, E.H. & Beamon, B.M. A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega* 2000; 28(581-598).
- [8] Snyder, L. V. Facility location under uncertainty: A review. *IIE Transactions* 2006; 38(547-564).



Use of a Benders decomposition method for solving a two-echelon multi-commodity supply chain network design problem with stochastic demands

Z. Afsharinia¹, R. Tavakkoli-Moghaddam^{2,*}, Y. Gholipour-Kanani³

1. Department of Industrial Engineering, Mazandaran University of Science & Technology, Babol
2. School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran
3. Department of Management, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 August 2013

Accepted 4 February 2014

Keywords:

Supply chain network design
Facility location
Stochastic programming
Benders

ABSTRACT

In this paper, a design problem for a two-echelon multi-commodity supply chain network with stochastic demands is taken into account. This network consists of production plants, warehouses and retailer (or final customers) in a single period. The problem considers strategic decisions (including location and capacities of production plants and warehouses) and operational decisions (including the transportation of commodities from the production plant to the warehouses and from warehouses to customers). Additionally, in this study, the demand is assumed to be stochastic and the given problem is modeled using a scenario-based stochastic programming approach. Specifically a two-stage stochastic programming model is presented to solve this problem. Furthermore, a Benders decomposition method is proposed in order to efficiently solve this problem. Finally, the conclusion is presented.

* Corresponding author. Reza Tavakkoli-Moghaddam
Tel.: +98 82084183; E-mail addresses: tavakoli@ut.ac.ir