

# مکان‌یابی انبارهای متقاطع با در نظر گرفتن چند سطح ظرفیت و بدون محدودیت تعداد

فاطمه حیدری<sup>۱\*</sup>، سید حسام‌الدین ذگردی<sup>۲</sup>، لیلا توکلی<sup>۳</sup>

دانشگاه تربیت مدرس

دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۲۸

## چکیده

در دهه‌های اخیر، مسئله انبارهای متقاطع منجر به پیدایش رویکرد نوینی برای طراحی انبارها و مراکز توزیع در مسائل حمل و نقل شده است. ایده اصلی انبار متقاطع انتقال مستقیم محموله‌های وارده به انبار توسط وسایل نقلیه خروجی بدون ذخیره کردن آنهاست. اولین تصمیم برای به‌کارگیری یک انبار متقاطع، تعیین مکان برای احداث انبار مورد نظر می‌باشد. به‌همین منظور در این مقاله به مسئله طراحی انبارهای متقاطع در شبکه زنجیره تأمین چند محصولی، دو سطحی که در سطح اول تک منبعی و در سطح دوم چند منبعی است، پرداخته می‌شود. به‌منظور افزایش کارایی مسئله، برای هر کدام از انبارها و انبارهای متقاطع چند سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است. در نهایت به منظور اعتبارسنجی مدل و تعیین عملکرد آن ۸ مسئله متفاوت با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل شده است.

**واژه‌های کلیدی:** انبار متقاطع، مکان‌یابی، طراحی شبکه زنجیره‌تأمین، چند سطح ظرفیت.

## ۱- مقدمه

امروزه انبار متقاطع یک استراتژی لجستیک است که توسط بسیاری از شرکت‌ها در صنایع مختلف به‌کار گرفته می‌شود. ایده اصلی انبار متقاطع انتقال مستقیم محموله‌های وارده به انبار توسط وسایل نقلیه خروجی بدون ذخیره کردن آنهاست. این تکنیک می‌تواند اهداف مختلفی را تأمین کند: یکپارچگی حمل و نقل، زمان تحویل کوتاه‌تر، کاهش هزینه‌ها و... [۱].

شکل (۱) جریان مواد در یک انبار متقاطع را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۱) مشخص است سیستم انبار متقاطع عموماً به‌صورت زیر عمل می‌کند:

الف) محصولات (بسته‌ها، کارتن‌ها، جعبه‌ها و غیره) به مرکز توزیع می‌رسند و در سکوهای دریافت اصلاح و اسکن می‌شوند. در بعضی از سیستم‌های انبار متقاطع محصولات در سکوی دریافت وزن شده، اندازه‌گیری می‌شوند و برچسب می‌خورند.

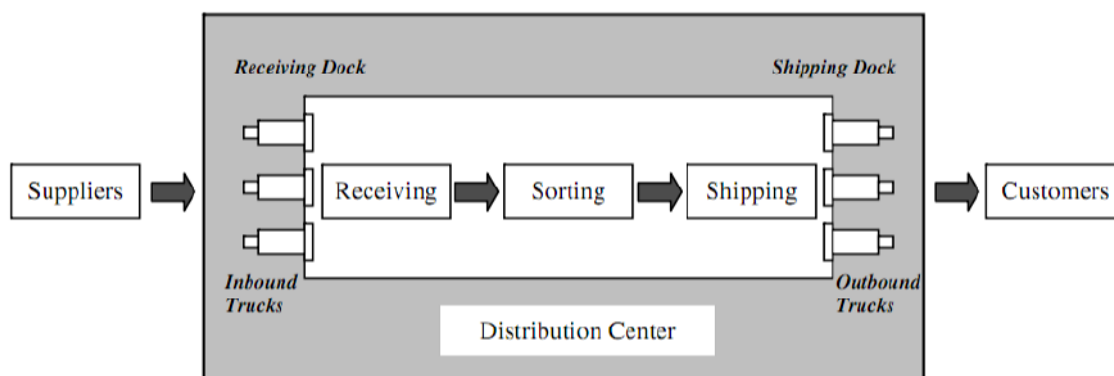
ب) محصولات در سیستم‌های طبقه بندی قرار می‌گیرند، که متناسب با مقصدشان دسته‌بندی می‌شوند.

ج) محصولات پردازش شده در مکان‌های مناسب روی سکوهای ارسال قرار می‌گیرند و پس از بارگیری مرکز توزیع را ترک می‌کنند [۲].

\*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: fateme.heidari@modares.ac.ir، نشانی: تهران، خیابان کارگر شمالی، خیابان شهریور، پلاک ۵۳، طبقه ۳.

۲- دانشیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، پست‌الکترونیکی: zegordi@modares.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده فنی دانشگاه تهران، پست‌الکترونیکی: l.tavakoli@ut.ac.ir



شکل (۱): جریان مواد در سیستم انبار متقاطع [۶]

مطالعات انبارهای متقاطع نقش مراکز توزیع را در شبکه لجستیک بر عهده دارند. یکی دیگر از اهداف استفاده از انبارهای متقاطع در شبکه لجستیک، ایجاد هماهنگی در فرآیندهای بازپرسازی و انتقال است. بازپرسازی هماهنگ، به صورت فعالیتی تعریف می‌شود که در آن یک تصمیم‌گیر مرکزی بر پایه اطلاعات سایر اعضای سیستم تصمیم می‌گیرد، در چه زمانی و به چه مقدار برای کل سیستم سفارش دهد [۳].

با به اشتراک‌گذاری اطلاعات مربوط به تقاضا، موجودی و نیز میزان تأمین، میان اعضای زنجیره تأمین، با هدف کاهش هزینه‌های لجستیک (شامل حمل و نقل و انبار)، بسیاری از شرکت‌ها به شکل فزاینده‌ای از شیوه‌های انتقال و بازپرسازی هماهنگ، برای مدیریت سیستم‌های توزیع خود استفاده می‌کنند. در بین روش‌های مختلف تعریف شده در این زمینه می‌توان به حمل و نقل مستقیم، تکمیل حین حمل<sup>۳</sup> و انبارهای متقاطع اشاره کرد، که انبارهای متقاطع کارترین تسهیل برای هماهنگی وظایف بازپرسازی و انتقال هستند [۴].

در حالت کلی هیچ موجودی در انبار متقاطع وجود ندارد. جایی که به علت تأخیر تقاضا و یا محدودیت ظرفیت انبار متقاطع ممکن است کمبود رخ دهد، استراتژی انبارهای متقاطع را نمی‌توان استفاده کرد. در چنین شرایطی لازم است بخشی از موجودی در انبار ذخیره شود تا بتوان به تغییرات تقاضا در آینده پاسخ داد. در نتیجه انبارهای متقاطع بیشتر برای کالاهایی مناسب هستند که تقاضای آنها پایدار و هزینه کمبود کمی داشته باشند. برای مثال می‌توان به خواربار و یا محصولات کشاورزی اشاره کرد که چنین ویژگی را دارند. این کالاها به علت تازگی و

وان بل و همکاران<sup>۱</sup> انبار متقاطع را به صورت زیر تعریف کرده‌اند. [۱]

"دریافت محصول از یک تأمین‌کننده یا تولیدکننده برای چندین مقصد نهایی و ادغام این محصولات با محصولات دریافت شده از سایر تأمین‌کنندگان برای تحویل به مقصد مشترک".

در این تعریف تمرکز بر یکپارچگی و ارسال به‌منظور دستیابی به هزینه‌های اقتصادی حمل و نقل است.

صنعت حمل و نقل آمریکا<sup>۲</sup> (MHIA) انبار متقاطع را به این صورت تعریف می‌کند: "فرآیند انتقال کالا از سکوی دریافت به سکوی ارسال برای بارگیری بدون اینکه کالا انبار شود." (واژه‌نامه MHIA). در این تعریف تمرکز بر حمل و نقل است نه نگهداری کالا. در اینجا به یک هم‌زمانی صحیح بین وسایل نقلیه ورودی و خروجی نیاز می‌باشد. هر چند دستیابی به یک هم‌زمانی مؤثر مشکل است.

انبار متقاطع را می‌توان به‌عنوان یک فرآیند یکپارچه‌سازی کالا با مقصد یکسان (اما از چند منبع متفاوت)، با حداقل جابه‌جایی و ذخیره‌سازی یا بدون ذخیره‌سازی در فاصله بین تخلیه و بارگیری کالاها تعریف کرد. اگر کالاها به صورت موقت ذخیره شده باشند، مدت زمان ذخیره باید برای یک دوره زمانی کوتاه مدت باشد. تعریف یک محدوده دقیق مشکل است. به‌طور تقریبی این دوره زمانی را ۲۴ ساعت در نظر می‌گیرند [۱].

در بسیاری از تحقیقات انجام شده، استفاده از انبارهای متقاطع در جهت کاهش موجودی زنجیره و نیز کاهش زمان تحویل کل بوده است. در واقع هدف حذف انبارش کالا و فعالیت‌های مرتبط با آن در مراکز توزیع بوده است. در این‌گونه

1- Van Bell and et al.

2- The Material Handling Industry of America

3 - Merge in transit

کوتاهی دوره عمر (گردش)، باید به سرعت منتقل شوند، به علاوه هزینه کمبود آنها نیز کم است. در نتیجه راه توزیع این محصولات استفاده از انبارهای متقاطع است [۵].

اما همیشه استفاده از انبارهای متقاطع در شبکه توزیع به معنای حذف انبارها نیست. شبکه‌ای را در نظر بگیرید که شامل چند مرکز توزیع، چند انبار متقاطع و چند خرده‌فروش است. در این شبکه کالاها از تولیدکننده به مراکز توزیع که همان انبارها هستند، منتقل شده و سپس از آنجا به انبارهای متقاطع می‌روند.

بسیاری از سازمان‌های بزرگ تولیدی و خدماتی از چنین ترکیبی به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های ساخت و راه‌اندازی ایجاد تسهیلات جدید استفاده می‌کنند [۶]. در این زمینه یکی از مهم‌ترین نمونه‌ها شرکت وال‌مارت است.

فروشگاه‌های شرکت وال‌مارت به تعداد فراوان در سراسر ایالات متحده پراکنده شده‌اند. راز موفقیت وال‌مارت در استراتژی بازسازی آن نهفته است؛ جایی که شرکت از استراتژی انبارهای متقاطع بهره می‌گیرد. در این سیستم، محصولات به شکلی پیوسته از مراکز تولید به انبارهای توزیع رفته و سپس به انبارهای متقاطع منتقل می‌شوند. در این انبارها هیچ کالایی ذخیره نشده و اقلام پس از ترکیب در کمتر از ۴۸ ساعت منتقل می‌شوند. انبارهای متقاطع شرکت وال‌مارت را قادر ساخته تا ضمن کاهش هزینه‌های نگهداری، از طریق تکمیل ظرفیت وسایل حمل در هزینه‌های حمل و نقل نیز صرفه‌جویی کند [۷].

دست‌اندرکاران انبارهای متقاطع تصمیمات زیادی را در فازهای طراحی و عملیاتی باید بگیرند. این تصمیمات می‌تواند تأثیر مهمی روی کارایی عملکرد انبار متقاطع داشته باشد، بنابراین این تصمیمات باید با دقت گرفته شود. در ادبیات مسائل تصمیم‌گیری زیادی بررسی شده است. بسیاری از این مسائل دارای تأثیرات طولانی مدت می‌باشند (استراتژیک یا تاکتیکی)، در حالی که سایر مسائل تصمیمات کوتاه مدت را بررسی می‌کنند (عملیاتی). اولین تصمیم برای به‌کارگیری یک انبار متقاطع، تعیین مکان برای احداث انبار مورد نظر می‌باشد. این تصمیم یک تصمیم استراتژیک است و در یک افق زمانی بلندمدت مورد بررسی قرار می‌گیرد [۵].

اولین بار توسط سونگ<sup>۱</sup> مدل‌های ترکیبی مکان‌یابی و مسیریابی کامیون‌ها برای انبار متقاطع مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها یک مسئله طراحی شبکه خدمات یکپارچه را

برای مجموعه محموله‌های تقاضا در نظر می‌گیرند که مرتبط با مکان‌یابی انبارهای متقاطع بوده و تخصیص وسایل نقلیه به مسیرها از گره‌های مبدأ به انبارهای متقاطع و از انبارهای متقاطع به گره‌های مقصد می‌باشد. مسئله به‌عنوان یک فرمول‌بندی براساس مسیر است که یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای آن ارائه و با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی ممنوعه حل شده است. [۸].

همین مدل با روش حل متفاوت توسط سونگ و یانگ<sup>۲</sup> ارائه شده است. در اینجا نیز هدف یافتن مکان بهینه انبارهای متقاطع و تخصیص وسایل نقلیه به مسیرها از گره‌های مبدأ به انبارهای متقاطع و از انبارهای متقاطع به گره‌های مقصد می‌باشد [۹].

برای حل مسئله ارائه شده یک الگوریتم حل دقیق به نام branch-and-price algorithm مورد استفاده قرار گرفته است.

یک مدل مکان‌یابی با پیچیدگی‌های کمتر نسبت به سایر مدل‌های مکان‌یابی موجود در ادبیات، مدل مکان‌یابی انبارهای متقاطع در یک شبکه زنجیره تأمین است که در دو قسمت استراتژیک و عملیاتی توسط جایارمن و راس<sup>۳</sup> ارائه شده است [۷]. این مسئله بر حسب PLOT (تولید، لجستیک، خروجی و حمل و نقل) طراحی شده است که انبارهای متقاطع را در شبکه زنجیره تأمین در نظر می‌گیرد. شبکه زنجیره تأمین در این مدل دو سطحی، چند محصولی، تک‌منبعی است و با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری شبیه‌سازی تبرید حل شده است. الگوریتم استاندارد مورد استفاده در این مقاله که CROSS-SA نامیده شده است، با تولید یک ساختار اولیه آغاز می‌شود، که در آن مکان‌های انبارهای متقاطع و انبارها جهت گشایش، مشخص می‌شود. هم‌چنین مجموعه مشتریان به انبارهای متقاطع و انبارهای متقاطع برای همه خانواده‌های محصولات به انبارها تخصیص می‌یابند. الگوریتم خروجی مدل استراتژیک را به عنوان ورودی مدل دوم مورد استفاده قرار می‌دهد و مسئله را حل می‌کند، تا مقدار محصولات حمل شده به انبارها و مقدار حمل شده از انبارها به انبارهای متقاطع و از انبارهای متقاطع به مشتریان را تعیین کند.

همین مسئله توسط راس و جایارمن با استفاده از دو الگوریتم ابتکاری TB-SA و RESCALE\_SA حل شده

2- Sung & Yang  
3- Jayarman & Ross

1- Sung

در این مقاله مدل مکان‌یابی انبار متقاطع در یک شبکه زنجیره تأمین در دو سطح استراتژیک و عملیاتی ارائه شده است. مدل استراتژیک با هدف حداقل کردن سه نوع هزینه زیر فرمول‌بندی شده است:

اولین نوع هزینه: هزینه‌های ثابت مربوط به عملیات گشایش انبارها

دومین نوع هزینه: هزینه حمل محصولات از انبارها به انبار متقاطع

سومین نوع هزینه: هزینه حمل و نقل (می‌تواند شامل هزینه‌های نگهداری و موجودی نیز باشد) برای تأمین چندین واحد محصول از انبار متقاطع به مشتریان.

در مدل ارائه شده در این مقاله انبارهای متقاطع در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر خرده‌فروشان، یک نوع محصول را فقط از یک انبار متقاطع، اما انبارهای متقاطع می‌توانند از چند انبار یک نوع محصول را دریافت کنند. هم‌چنین برای انبارها و انبارهای متقاطع چند ظرفیت در نظر گرفته شده است. هم‌چنین فرض می‌شود برای حداکثر تعداد تسهیلات قابل گشایش نیز محدودیتی وجود ندارد.

نمادهای زیر برای تعریف مدل ریاضی به کار گرفته می‌شوند:

است. هر دو روش، شکل اولیه و مقدار تابع هدف را تصادفی تولید می‌کنند [۱۰].

با توجه به مطالب ذکر شده در این مقاله برای اولین بار به طراحی انبارهای متقاطع در یک شبکه زنجیره تأمین چند محصولی، دو سطحی، که در سطح اول تک‌منبعی و در سطح دوم چند منبعی است پرداخته می‌شود. به عبارت دیگر خرده‌فروشان، یک نوع محصول را فقط از یک انبار متقاطع، اما انبارهای متقاطع می‌توانند از چند انبار یک نوع محصول را دریافت کنند. هم‌چنین برای انبارها و انبارهای متقاطع چند سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است. هم‌چنین فرض می‌شود برای حداکثر تعداد تسهیلات قابل گشایش نیز محدودیتی وجود ندارد.

## ۲- مدل‌سازی ریاضی مسئله

فرضیات حاکم بر فرمول‌بندی مدل مکان‌یابی انبار متقاطع می‌باشد.

الف) تعداد مشتریان (تأمین‌کنندگان) و تقاضای آنها (ظرفیت‌ها) مشخص است.

ب) تعداد تسهیلات بالقوه و حداکثر ظرفیت‌های آنها مشخص است.

ج) مشتریان فقط از یک منبع تأمین می‌شوند.

$I$	مجموعه مشتریان
$J$	مجموعه مکان‌های بالقوه انبار متقاطع
$K$	مجموعه مکان‌های بالقوه انبارها
$L$	مجموعه محصولات هم خانواده

### پارامترهای مسئله:

$Q_j = \{1, 2, \dots, s_j\}$	مجموعه سطوح ظرفیت در دسترس برای انبار متقاطع $j$
$Q_k = \{1, 2, \dots, s_k\}$	مجموعه سطوح ظرفیت در دسترس برای انبار $k$
$V_k^{q'}$	هزینه ثابت گشایش انبار $k$ ام با سطح ظرفیت $q'$
$F_j^q$	هزینه ثابت گشایش انبار متقاطع $j$ ام با سطح ظرفیت $q$
$C_{jkl}$	هزینه حمل و نقل محصول $l$ ام از انبار $k$ ام به انبار متقاطع $j$ ام
$q$	سطوح ظرفیت انبارهای متقاطع
$q'$	سطوح ظرفیت انبارها
$b_j^q$	ظرفیت انبار متقاطع $j$ ام در سطح $q$
$d_k^{q'}$	ظرفیت انبار $k$ ام در سطح $q'$
$C_{ijl}$	هزینه حمل و نقل محصول $l$ ام از انبار متقاطع $j$ ام به مشتری $i$ ام
$a_{il}$	تقاضای مشتری $i$ ام برای محصول $l$ ام

متغیرهای تصمیم

اگر مشتری $i$ ام محصول $l$ ام را از انبار متقاطع $z$ ام تأمین کند، برابر یک است و صفر در غیر این صورت	$X_{ijl}$
در صدی از محصول $l$ ام که انبار متقاطع $z$ ام را از انبار $k$ ام، دریافت می‌کند.	$Y_{jkl}$
مجموعه انبارهای متقاطع $z$ ام که در سطح ظرفیت $q$	$Z_j^q$
مجموعه انبارهای $k$ ام که در سطح ظرفیت $q'$	$P_k^{q'}$

$$MinZ = \sum_j F_j^q Z_j^q + \sum_k V_k^{q'} P_k^{q'} + \sum_i \sum_j \sum_l a_{il} C_{ijl} X_{ijl} + \sum_i \sum_j \sum_l \sum_k C_{jkl} a_{il} X_{ijl} Y_{jkl} \quad (1)$$

$$\sum_j X_{ijl} = 1 \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$\sum_k Y_{jkl} = \sum_q Z_j^q \quad \forall j, l \quad (3)$$

$$\sum_j \sum_l b_j^q Z_j^q Y_{jkl} \leq \sum_{q'} d_k^{q'} P_k^{q'} \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_l a_{il} X_{ijl} \leq \sum_q b_j^q Z_j^q \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_i a_{il} X_{ijl} = \sum_k \sum_i a_{il} X_{ijl} Y_{jkl} \quad \forall l, j \quad (6)$$

$$\sum_j a_{il} X_{ijl} = a_{il} \quad \forall i, l \quad (7)$$

$$\sum_q Z_j^q \leq 1 \quad \forall j \quad (8)$$

$$\sum_{q'} P_k^{q'} \leq 1 \quad \forall k \quad (9)$$

$$X_{ijl} \geq 0, Y_{jkl} \geq 0, P_k^{q'} \geq 0, Z_j^q \geq 0 \quad (10)$$

(۴) جمع تعداد محصولات که توسط انبارهای متقاطع با سطح ظرفیت  $q$  از انبار  $k$  ام با سطح ظرفیت  $q'$ ، درخواست می‌شود، نباید از ظرفیت انبار  $k$  ام بیشتر باشد.

(۵) جمع تقاضای مشتریان برای محصولات از ظرفیت انبار متقاطع  $z$  ام نباید بیشتر باشد.

(۶) کل محصول  $l$  ام منتقل شده از انبارها به انبار متقاطع  $z$  ام برابر کل محصول  $l$  ام منتقل شده از انبار متقاطع  $z$  ام به مشتریان است.

(۷) مشتری  $i$  ام محصول نوع  $l$  را فقط از یک انبار متقاطع  $z$  ام دریافت می‌کند.

(۸) انبار متقاطع  $z$  ام تنها در یک سطح ظرفیت گشایش می‌یابد.

(۹) انبار  $k$  ام تنها در یک سطح ظرفیت گشایش می‌یابد.

(۱۰) تمامی متغیرها غیر منفی می‌باشند.

عبارت (۱) تابع هدف را نشان می‌دهد که هدف آن حداقل کردن هزینه‌های ثابت گشایش انبارها و انبارهای متقاطع در سطوح مختلف و هزینه‌های حمل و نقل محصولات بین خرده‌فروشان و انبارهای متقاطع، و بین انبارهای متقاطع و انبارهاست.

عبارت‌های (۲) تا (۱۰) محدودیت‌های مدل را نشان می‌دهد که به ترتیب بیان‌کننده مفاهیم زیر می‌باشند:

(۲) هر مشتری برای هر نوع محصول فقط به یک انبار متقاطع تخصیص می‌یابد.

(۳) انبار متقاطع  $z$  ام فقط از یک انبار با سطح ظرفیت مشخص محصول  $l$  ام را می‌گیرد.

### ۳- محاسبات عددی

$$d_k^{q_1} \leq d_k^{q_2} \leq \dots \leq d_k^{q_{s_k}} \quad \text{و} \quad b_j^{q_1} \leq b_j^{q_2} \leq \dots \leq b_j^{q_{s_j}}$$

به علاوه شرط شدنی بودن برای مسئله عبارت است از:

$$\sum_k d_k^{q_{s_k}} \geq \sum_j b_j^{q_{s_j}} \quad \text{و} \quad \sum_j b_j^{q_{s_j}} \geq \sum_i a_{il} \quad \forall l$$

که روابط فوق در تولید داده‌های مسائل نمونه لحاظ شده‌اند.

نتایج حاصل از حل مسائل نمونه تولید شده در جدول (۳) نمایش داده شده است. ستون اول شماره مسئله نمونه مورد نظر را نشان می‌دهد. ستون دوم سطوح ظرفیت انتخابی برای انبارهای متقاطع راه‌اندازی شده و ستون سوم سطوح ظرفیت انتخابی برای انبارهای راه‌اندازی شده را نشان می‌دهند. همچنین مقدار تابع هدف به دست آمده از حل مدل در ستون چهارم و زمان حل هر مسئله در آخرین ستون نمایش داده شده‌اند.

نتایج حاصل نشان می‌دهند که چنانچه مدل ارائه شده توانایی انتخاب یک سطح ظرفیت از بین چند سطح ظرفیت پیشنهادی را داشته باشد، می‌تواند منجر به طراحی شبکه‌ای با هزینه‌های کمتر گردد. همچنین در شرایطی که هیچ محدودیتی بر روی تعداد انبارها و انبارهای متقاطع وجود نداشته باشد، امکان تخصیص‌های چندگانه می‌تواند منجر به راه‌اندازی تعداد بالاتری از انبارها و انبارهای متقاطع نسبت به مسائلی باشد که تنها مجاز به تخصیص‌های تکی هستیم.

به منظور ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی یک روش حل دقیق مورد نیاز است. به همین منظور و با توجه به غیرخطی بودن مدل، در این مقاله نرم‌افزار GAMS با موتور حل BARON استفاده می‌شود. در این مقاله ۸ مسئله نمونه طراحی شده است که ویژگی‌های آنها را می‌توان در جدول (۱) مشاهده کرد. از آنجایی که داده‌های موجود در ادبیات مسئله مکان‌یابی انبارهای متقاطع برای حل مسئله مورد نظر مناسب نمی‌باشند، بنابراین داده‌های مورد نظر به‌طور تصادفی و به نحوی که بتوانند جواب‌های شدنی برای مسئله ارائه دهند، تولید شده‌اند. جدول (۲) مقادیر پارامترها و توزیع‌های احتمالی مربوط به آنها را برای مسائل نمونه مورد نظر نشان می‌دهد.

مختصات نقاط مربوط به مشتریان، انبارها و انبارهای متقاطع براساس بازه‌های زیر به دست می‌آیند. سپس فاصله بین مشتریان و انبارهای متقاطع و نیز بین انبارهای متقاطع و انبارها به دست آمده و برای محاسبه هزینه حمل و نقل بین مشتریان و انبارهای متقاطع فاصله مربوطه را در ۰.۶ ضرب و برای انبارهای متقاطع و انبارها در ۰.۷۵ ضرب می‌کنیم.

$$(x,y) = (U[0 \ 100], U[0 \ 100])$$

همچنین فرض می‌شود هزینه حمل کالا بین مشتریان و انبارهای متقاطع و نیز بین انبارهای متقاطع و انبارها برای همه انواع محصولات برابر می‌باشد.

همچنین با توجه به محدودیت ظرفیت روابط زیر برای هر انبار و انبار متقاطع فرض می‌شوند:

جدول (۱): مسائل نمونه تولید شده

شماره مسئله	تعداد انبار	تعداد انبارهای متقاطع	تعداد مشتریان	سطوح ظرفیت انبارها	سطوح ظرفیت انبارهای متقاطع	تعداد محصولات
۱	۵	۱۵	۶۵	۲	۲	۲
۲	۵	۱۵	۶۵	۲	۲	۳
۳	۵	۱۵	۶۵	۳	۳	۲
۴	۵	۱۵	۶۵	۳	۳	۳
۵	۵	۱۰	۴۰	۲	۲	۲
۶	۵	۱۰	۴۰	۲	۲	۳

جدول (۱): مسائل نمونه تولید شده

تعداد محصولات	سطوح ظرفیت انبارهای متقاطع	سطوح ظرفیت انبارها	تعداد مشتریان	تعداد انبارهای متقاطع	تعداد انبار	شماره مسئله
۲	۳	۳	۴۰	۱۰	۵	۷
۳	۳	۳	۴۰	۱۰	۵	۸

جدول (۲): توزیع احتمالی پارامترهای مسئله

$F_j^q$	$V_k^q$	$a_{ij}$	$b_j^q$	$d_k^q$
$U \sim [400 \ 1000]$	$U \sim [700 \ 1200]$	$U \sim [0 \ 100]$	$U \sim [500 \ 1400]$	$U \sim [4000 \ 10000]$

جدول (۳): نتایج حاصل از حل مسائل نمونه با استفاده از نرم‌افزار GAMS

شماره مسئله	مقدار تابع هدف	(سطح ظرفیت / انبار راه‌اندازی شده)	(سطح ظرفیت / انبار متقاطع راه‌اندازی شده)
۱	۷۵۸۴۹٫۹۳۱	(۱/۲)، (۲/۱)، (۳/۲)، (۵/۱)	(۱/۱)، (۳/۱)، (۴/۱)، (۵/۱)، (۶/۱)، (۷/۱)، (۸/۱)، (۹/۱)، (۱۰/۱)، (۱۱/۲)، (۱۲/۱)، (۱۳/۳)، (۱۴/۱)
۲	غیر قابل حل در زمان مجاز	غیر قابل حل در زمان مجاز	غیر قابل حل در زمان مجاز
۳	۷۲۷۳۴٫۷۵۲	(۱/۳)، (۲/۱)، (۳/۲)	(۱/۱)، (۳/۱)، (۴/۱)، (۵/۲)، (۶/۱)، (۷/۳)، (۸/۲)، (۹/۱)، (۱۰/۱)، (۱۱/۲)، (۱۲/۱)، (۱۳/۳)، (۱۴/۱)
۴	۲۱۴۲۰۰	(۱/۳)، (۲/۳)، (۳/۳)، (۴/۳)، (۵/۲)	(۱/۳)، (۲/۲)، (۳/۳)، (۴/۳)، (۵/۱)، (۶/۳)، (۷/۳)، (۸/۱)، (۹/۲)، (۱۰/۱)، (۱۱/۳)، (۱۲/۳)، (۱۳/۳)، (۱۴/۳)، (۱۵/۳)
۵	۵۸۷۵۵٫۸۰۸	(۲/۱)، (۳/۱)، (۵/۲)	(۱/۱)، (۲/۱)، (۳/۱)، (۴/۱)، (۵/۲)، (۶/۱)، (۷/۱)، (۸/۱)، (۹/۱)، (۱۰/۱)
۶	۸۷۸۰۱٫۳۲۹	(۱/۲)، (۲/۱)، (۳/۲)، (۵/۱)	(۱/۱)، (۲/۱)، (۳/۱)، (۴/۲)، (۵/۲)، (۶/۱)، (۷/۱)، (۸/۲)، (۹/۲)، (۱۰/۱)
۷	۵۶۵۶۳٫۴۰۰	(۲/۳)، (۳/۲)	(۱/۱)، (۲/۱)، (۳/۱)، (۴/۱)، (۵/۳)، (۶/۲)، (۷/۱)، (۸/۱)، (۹/۱)
۸	۷۹۸۹۴٫۰۳۸	(۱/۱)، (۲/۲)، (۳/۲)، (۵/۳)	(۱/۱)، (۲/۲)، (۳/۱)، (۴/۱)، (۵/۳)، (۶/۱)، (۷/۱)، (۸/۲)، (۹/۱)، (۱۰/۱)

#### ۴- نتیجه‌گیری

مقاله حاضر به ارائه یک مدل ریاضی جدید به منظور طراحی شبکه‌ای از انبارها و انبارهای متقاطع در شبکه زنجیره تأمین چند محصولی- دو سطحی می‌پردازد، که در سطح اول تک‌منبعی و در سطح دوم چند منبعی است. به منظور افزایش کارایی مسئله، برای هر کدام از انبارها و انبارهای متقاطع چند سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از حل مسائل نمونه تولید شده با استفاده از نرم‌افزار GAMS کاهش هزینه‌های طراحی شبکه زنجیره

تأمین در شرایط به‌کارگیری چند سطح را نشان می‌دهد. همچنین عدم وجود محدودیت بر روی تعداد انبارها و انبارهای متقاطع می‌تواند منجر به راه‌اندازی تعداد بالاتری انبار و انبار موقت نسبت به حالت وجود محدودیت تعداد شود. با توجه به NP-hard بودن مسائل مکان‌یابی و از جمله مکان‌یابی انبارهای متقاطع پیشنهاد می‌شود که مسئله مطرح شده برای اندازه‌های بزرگ با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری حل شود.



- [۱] Van Belle, J., Valckenaers, P., Cattrysse, D., "Cross-docking: State of the art", Omega, Vol. 40, pp. 827-846, 2012.
- [۲] Yu, W., Egbelu P.J., "Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage", European Journal of Operational Research, Vol. 184, No. 1, pp. 377-96, 2008.
- [۳] Cheung, K.L., Lee, H.L., "The inventory benefit of shipment coordination and stock rebalancing in a supply chain", Management science, Vol. 48, pp. 300-306, 2002.
- [۴] Gurbuz, M.C., monizade, K., Zhou, Y.p., "Coordinated replenishment strategies in inventory, distribution systems", Management science, Vol. 53, pp. 293-307, 2007.
- [۵] Lee, Y.H., Jung, J.W., Lee, K.M., "Vehicle routing scheduling for cross-docking in the supply chain", Computers & Industrial Engineering, Vol. 51, No. 2: pp. 247-56, 2006.
- [۶] Stalk, G., Evans, P., Shulman, L.E., "Competing on capabilities: the new rules of corporate strategy", Harvard Business Review, pp.57-69, 1992.
- [۷] Jayaraman, V., Ross, A., "A simulated annealing methodology to distribution". European Journal of Operational Research, Vol. 144, pp. 629-645, 2003.
- [۸] Sung, C. S., Song, S. H., "Integrated service network design for a cross-docking supply chain network", Journal of the Operational Research Society, Vol. 54, pp. 1283-1295, 2003.
- [۹] Sung, C. S., Yang, W., "An exact algorithm for a cross-docking supply chain network design problem", Journal of the Operational Research Society, Vol. 59, pp. 119-136, 2006.
- [۱۰] Ross, A., Jayaraman, V., "An evaluation of new heuristics for the location of cross-docks distribution centers in supply chain network design", Computers & Industrial Engineering, Vol. 55, pp. 64-79, 2008.
- [۱۱] Vahdani, B., Zandieh, M., "Scheduling trucks in cross-docking systems: robust meta-heuristics", Computers & Industrial Engineering, Vol. 58, No. 1, pp. 12-24, 2010.
- [۱۲] Du, F., & Evans, G., "A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service", Computers & Operations Research, pp. 2617-2634, 2008.
- [13] Kinnear, E., "Is there any magic in cross-docking?", Supply Chain Management: An International Journal, pp.49-52, 1997.