

# تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص در یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین چندسطحی با در نظرگیری ارزش خالص فعلی جریان نقدی

امیرحسین نوبیل\* (دانشجوی دکترا)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

سید تقی اخوان‌نیاکی (استاد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۳۹۴  
دوری ۱ - ۳۱، شماره ۱، ص. ۱۰۷-۱۱۳

در این مطالعه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص در یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین چهارسطحی بیان شده است. اولین سطح این شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین به تأمین‌کنندگان، دومین سطح به کارخانه‌ها، سومین سطح به توزیع‌کنندگان و آخرین سطح آن به مناطق مشتریان اختصاص دارد. در این مدل هدف بیشینه‌کردن ارزش خالص فعلی جریان نقدی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین است. در این شبکه هزینه‌ی احداث کارخانه‌ها توسط سرمایه‌ی اولیه‌ی موجود یا با وام گرفتن از بانک به دست می‌آید. مدل ریاضی مکان‌یابی - تخصیص شامل هزینه‌ی سرمایه‌گذاری، هزینه‌ی تهیه‌ی ماده‌ی اولیه، هزینه‌ی تولید کالا، هزینه‌ی احداث، هزینه‌ی نگهداری موجودی و هزینه‌ی ارسال کالاهاست. در مدل ارائه‌شده، ارزش خالص فعلی جریان نقدی بعد از کسر مالیات برای دوره‌های زمانی مختلف بیشینه می‌شود. در نهایت، در این مطالعه برای توضیح هرچه بهتر مدل ارائه‌شده یک مثال عددی با نرم‌افزار GAMS حل شده است.

واژگان کلیدی: مسائل مکان‌یابی - تخصیص، زنجیره‌ی تأمین، ارزش خالص فعلی (NPV)، برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط.

## ۱. مقدمه

در سال‌های اخیر فعالیت‌های زنجیره‌ی تأمین و نیز مدیریت این فعالیت‌ها بیش از پیش اهمیت یافته است. زنجیره‌ی تأمین شامل تمامی تسهیلات، وظایف، کارها و فعالیت‌هایی است که در تولید و تحویل کالا یا خدمات به مشتری نهایی دخیل‌اند. مدیریت زنجیره‌ی تأمین نه تنها به بررسی راه‌های ترویج کاهش هزینه‌ها در سراسر زنجیره‌ی تأمین می‌پردازد، بلکه بین تقاضای روزافزون مشتریان برای ارائه‌ی خدمات به موقع و کارآمد موازنه ایجاد می‌کند. از همین رو، مدیریت زنجیره‌ی تأمین به سازمان امکان می‌دهد تا تولید و انتقال محصولات را، از تأمین مواد خام یا قطعات گرفته تا ارسال محصول نهایی به مشتریان نهایی، در کل شبکه‌ی تولید و توزیع هماهنگ سازد.

مدیریت زنجیره‌ی تأمین را می‌توان در سه دسته: طراحی زنجیره‌ی تأمین، برنامه‌ریزی زنجیره‌ی تأمین، و کنترل زنجیره‌ی تأمین تقسیم‌بندی کرد.<sup>[۱]</sup> تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص مدیریت زنجیره‌ی تأمین را در طراحی با انتخاب تسهیلات، انتخاب مکان‌های مناسب برای احداث تسهیلات، و انتخاب شبکه‌ی توزیع مناسب بین تسهیلات، تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان کمک می‌کند. همچنین، برنامه‌ریزی میزان تولید هر کارخانه، مقدار مواد اولیه از هر تأمین‌کننده، و تعداد کالای ارسالی به هر توزیع‌کننده در حیطه‌ی مدیریت زنجیره‌ی تأمین قرار دارد. تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص به طور همزمان بر مکان‌یابی تسهیلات و مشخص کردن شبکه توزیع

مدیریت زنجیره‌ی تأمین بر سیستم‌های اقتصادی آثار قابل ملاحظه‌ی دارد و منجر به افزایش سود، افزایش کیفیت محصولات و ایجاد موازنه بین سطوح زنجیره‌ی تأمین می‌شود. در زنجیره‌ی تأمین، ابتدا مواد خام از تأمین‌کنندگان به کارخانه‌ها منتقل می‌شود؛ بعد از تولید نیز محصولات از کارخانه به انبارها و مراکز توزیع ارسال می‌شود

\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۹، اصلاحیه ۱۳۹۳/۱/۱۵، پذیرش ۱۳۹۳/۱۲/۴.

کالا تمرکز دارند. بدون شک این تصمیمات یکی از مباحث بسیار مهم در زنجیره‌های تأمین است که تأثیر فراوانی بر کاهش هزینه‌ها، افزایش سود، کاهش زمان انتظار و ارائه خدمات بهتر به مشتریان را در زنجیره تأمین به دنبال دارد.<sup>[۳]</sup>

در سال ۱۹۰۹، آلفرد وبر برای اولین بار مسائل مکان‌یابی را به صورت فرموله بیان کرد که گامی بزرگ در زمینه علمی این مسائل تلقی می‌شود.<sup>[۴]</sup> او مکان یک انبار را با استفاده از مسئله مکان‌یابی مشخص کرد. در مدل پیشنهادی او، هدف کمیته کردن فاصله بین انبار و مشتریان بود. مسئله‌ی وبر یک مسئله مکان‌یابی میانه (حداقل مجموع) یک تسهیل روی فضای پیوسته دو بعدی (صفحه) است.

در سال ۱۹۶۵، بالینسکی یک مدل مکان‌یابی با هدف کمیته کردن هزینه‌ی احداث و هزینه‌ی انتقال بین کاندیدها و مشتریان ارائه کرد.<sup>[۵]</sup> او از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای حل مسئله مکان‌یابی تسهیلات بدون ظرفیت استفاده کرد. مسائل مکان‌یابی را از حیث ظرفیت می‌توان به مسائل با ظرفیت و بدون ظرفیت تقسیم کرد. مسائل مکان‌یابی با ظرفیت شامل تسهیلاتی است که ظرفیت آن‌ها مشخص و معلوم است. این مسائل از مسائل مکان‌یابی بدون ظرفیت به مراتب مشکل‌ترند.

در سال ۲۰۰۹، میلو و همکاران مروری نظری بر مسائل مکان‌یابی تسهیلات در مدیریت زنجیره تأمین انجام دادند.<sup>[۶]</sup> آنها ویژگی‌های اساسی مدل‌های حامی تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی استراتژیک زنجیره تأمین را شناسایی و فهرستی از مسائل نیازمند به تحقیقات بیشتر را ارائه کردند. همچنین در سال ۲۰۱۰، فراهانی و همکاران مروری بر مطالعات اخیر مسائل مکان‌یابی چندمعیاره انجام دادند که این معیارها سه دسته دوهدفه، چندهدفه و چندصفتی را شامل می‌شد.<sup>[۷]</sup> آنها در مطالعه‌ی خود نتایج حاصل از مرور معیارهای مختلف استفاده شده را ذکر کرده‌اند.

در سال ۲۰۱۱، وانگ و همکاران تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص در زنجیره تأمین دوسطحی با تقاضای تصادفی را با هدف کمیته‌سازی هزینه‌ی راه‌اندازی و ارتباط بین مرکز توزیع و تولید، و نیز بیشینه کردن سود ارائه دادند.<sup>[۸]</sup> مدل مکان‌یابی - تخصیص آن‌ها، یک برنامه‌ریزی تصادفی دوسطحی است که برای حل آن از ترکیب الگوریتم ژنتیک با برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم آزمندانه استفاده شده است. در روش حل پیشنهادی آنها، هزینه در سطح اول و سود در سطح دوم به دست آمده و با یکدیگر ادغام می‌شود. مدل پیشنهادی آن‌ها یک مسئله تک‌منبعی است که براساس آن هر توزیع‌کننده می‌تواند فقط از یک کارخانه کالا دریافت کند. در مقابل مسائل تک‌منبعی، مسائل دیگری به نام چندمنبعی وجود دارد که در آن‌ها هر توزیع‌کننده می‌تواند از چندین کارخانه کالا دریافت کند.

نوبیل و همکاران در سال ۲۰۱۲ مدلی را برای تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص شبکه‌ی توزیع به منظور کمیته کردن دو هدف هزینه و زمان در داخل زنجیره تأمین سه‌سطحی ارائه دادند.<sup>[۹]</sup> مدل آنها یک مسئله برنامه‌ریزی مکان‌یابی تسهیلات غیرخطی عدد صحیح دودویی با در نظرگیری فواصل متعامد بین سطوح زنجیره تأمین است. در نهایت، آنها یک الگوریتم ژنتیک توسعه یافته برای حل این مدل پیشنهاد دادند.

شانکار و همکاران در سال ۲۰۱۳، تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص را برای یک شبکه‌ی زنجیره تأمین چهارسطحی شامل تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مناطق مشتریان ارائه دادند.<sup>[۱۰]</sup> مدل پیشنهادی آن‌ها با استفاده از

الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات چندهدفه، هزینه‌ی تولید، احداث و ارسال در شبکه‌ی زنجیره تأمین را کمیته و نرخ پردازش را بیشینه می‌کند. مدل آن‌ها برای مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با یک دوره‌ی زمانی ارائه شده بود.

براساس مطالعاتی که ما در این حوزه انجام داده‌ایم بیشتر کارهای انجام شده در مسائل مکان‌یابی - تخصیص تسهیلات در زنجیره تأمین - شامل افزایش سود، کاهش زمان تحویل و بیشینه کردن نرخ پردازش - بوده است و در این حوزه کم‌تر کاری از دید سیستم‌های اقتصادی انجام شده است. افزون بر این، در بیشتر مطالعات انجام شده، دوره‌های زمانی مختلف و همچنین امکان ارتباط چندمنبعی سطوح با یکدیگر در نظر گرفته نشده است. در این مطالعه، ما ارزش خالص فعلی جریان نقدی شبکه‌ی زنجیره تأمین چهارسطحی را با یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط بیشینه می‌کنیم. با مشخص بودن قیمت فروش کالای نهایی، هزینه‌ها عبارت خواهد بود از: هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه تهیه ماده‌ی اولیه، هزینه احداث کارخانه، هزینه تولید کالا، هزینه نگهداری کالا در انبارها، هزینه ارسال کالا به مشتریان. مدل پیشنهادی، یک مسئله مکان‌یابی - تخصیص تسهیلات با ظرفیت، چندمنبعی و با چندین دوره زمانی است. همچنین در این مدل هزینه احداث کارخانه‌ها از سرمایه‌ی اولیه موجود یا از وام گرفتن از بانک فراهم می‌شود.

در ادامه، در بخش ۲ به تعریف مسئله خواهیم پرداخت. در بخش ۳ مدل ریاضی این مسئله به طور کامل شرح داده می‌شود. سپس در بخش ۴، به حل مسئله با شرح یک مثال عددی می‌پردازیم. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای مطالعات آتی در بخش ۵ بیان می‌شوند.

## ۲. بیان مسئله

در این بخش مسئله مکان‌یابی - تخصیص ارائه شده به طور کامل تشریح می‌شود. این مسئله برنامه‌ریزی خطی شامل یک هدف برای یک شبکه‌ی زنجیره تأمین چهارسطحی است. شبکه‌ی زنجیره تأمین این مسئله، در گام اول ماده‌ی اولیه مورد نیاز کارخانه‌ها را توسط تأمین‌کنندگان فراهم می‌کند. در گام بعدی کارخانه‌های احداثی این مواد اولیه را به کالاهای نهایی تبدیل می‌کنند. در گام سوم این کالاها به انبار توزیع‌کنندگان ارسال می‌شوند که در آن، کالاها برای استفاده به مناطق مشتریان ارسال یا برای دوره‌های زمانی بعد نگهداری می‌شود. در این مسئله تعدادی مکان کاندید برای احداث کارخانه‌ها وجود دارد و می‌توان هزینه احداث کارخانه‌ها را یا از سرمایه‌ی اولیه موجود یا با اخذ وام فراهم کرد. در این مسئله نیز دوره‌های زمانی مختلف برای شبکه‌ی زنجیره تأمین در نظر گرفته شده که در این دوره‌ها کالاهای نهایی به صورت موجودی یا مصرفی است.

هدف این مسئله بیشینه کردن ارزش فعلی بعد از کسر مالیات جریان نقدی با توجه به موارد یاد شده است. این ارزش خالص فعلی با توجه به درآمدها، هزینه‌ها و مقدار سرمایه‌ی درگیر محاسبه می‌شود. از همین رو، ما برای حل این مسئله از تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص در زنجیره تأمین به منظور بهینه‌سازی ارزش خالص فعلی استفاده کرده‌ایم. این تصمیمات برای این شبکه‌ی زنجیره تأمین به هفت سؤال اساسی پاسخ می‌دهد:

۱. چه مقدار از سرمایه‌ی اولیه موجود برای احداث کارخانه‌ها برداشته شود؟

### ۱.۳. مجموعه‌ها

$K$ : تعداد تأمین‌کنندگان ( $k = 1, 2, \dots, K$ )؛  
 $N$ : تعداد مکان‌های کاندید کارخانه‌ها ( $i = 1, 2, \dots, N$ )؛  
 $J$ : تعداد توزیع‌کنندگان ( $j = 1, 2, \dots, J$ )؛  
 $E$ : تعداد مناطق مشتریان ( $e = 1, 2, \dots, E$ )؛  
 $T$ : تعداد دوره‌های زمانی ( $t = 1, 2, \dots, T$ ).

### ۲.۳. پارامترها

$f_i$ : هزینه‌ی احداث کارخانه در مکان کاندید  $i$  در ابتدای افق برنامه‌ریزی؛  
 $o_{kit}$ : هزینه‌ی تهیه‌ی هر واحد ماده‌ی اولیه توسط تأمین‌کننده‌ی  $k$  و ارسال به کارخانه‌ی  $i$  در دوره‌ی زمانی  $t$ ؛  
 $u_{ijt}$ : هزینه‌ی تولید هر واحد کالا توسط کارخانه‌ی  $i$  و ارسال به توزیع‌کننده‌ی  $j$  در دوره‌ی زمانی  $t$ ؛  
 $n_{jet}$ : هزینه‌ی ارسال هر واحد کالا از توزیع‌کننده‌ی  $j$  به منطقه‌ی مشتری  $e$  در دوره‌ی زمانی  $t$ ؛  
 $s_{jet}$ : قیمت فروش هر واحد کالای ارسالی از توزیع‌کننده‌ی  $j$  به منطقه‌ی مشتری  $e$  در دوره‌ی زمانی  $t$ ؛  
 $h_{ijt}$ : هزینه‌ی هر واحد کالای نگهداری شده توسط توزیع‌کننده‌ی  $j$  در دوره‌ی زمانی  $t$ ؛  
 $q_t$ : هزینه‌ی جریمی هر واحد کالای تأمین نشده‌ی مشتریان در دوره‌ی زمانی  $t$ ؛  
 $M$ : حداکثر سرمایه‌ی اولیه‌ی موجود برای احداث کارخانه‌ها در ابتدای افق برنامه‌ریزی؛  
 $L$ : حداکثر وام دریافتی از بانک برای احداث کارخانه‌ها در ابتدای افق برنامه‌ریزی؛  
 $B_k$ : ظرفیت تهیه ماده‌ی اولیه توسط تأمین‌کننده‌ی  $k$ ؛  
 $C_i$ : ظرفیت تولید کالا توسط کارخانه‌ی  $i$ ؛  
 $G_j$ : ظرفیت انبار توزیع‌کننده‌ی  $j$ ؛  
 $D_{et}$ : تقاضای منطقه‌ی مشتری  $e$ ؛  
 $\alpha$ : حداقل نرخ جذب‌کننده؛  
 $R$ : نرخ بهره‌ی بانکی ساده برای بازپرداخت وام؛  
 $TR$ : نرخ مالیات؛  
 $PR$ : درصدی از اصل وام که باید در هر دوره پرداخت شود؛  
 $I$ : مقدار بهره‌ی وامی که باید در هر دوره پرداخت شود؛  
 $TI_t$ : درآمدی که مشمول مالیات در دوره‌ی زمانی  $t$  می‌شود؛  
 $TX_t$ : مالیاتی که در دوره‌ی زمانی  $t$  باید پرداخت شود؛  
 $CFBT_t$ : جریان نقدی قبل از کسر مالیات؛  
 $CFAT_t$ : جریان نقدی بعد از کسر مالیات.

### ۳.۳. متغیرها

$b$ : نسیتی از سرمایه‌ی اولیه‌ی موجود که برای احداث کارخانه‌ها برداشته می‌شود.  
 $a$ : نسبت وام دریافتی از بانک برای احداث کارخانه‌ها.  
 $x_{kit}$ : مقدار ماده‌ی اولیه که در دوره‌ی زمانی  $t$  از تأمین‌کننده‌ی  $k$  به کارخانه‌ی  $i$  ارسال می‌شود.  
 $w_{ijt}$ : مقدار کالایی که در دوره‌ی زمانی  $t$  از کارخانه‌ی  $i$  به توزیع‌کننده‌ی  $j$  ارسال می‌شود.

۲. برای احداث کارخانه‌ها چه مقدار وام از بانک گرفته شود؟

۳. چه تعداد کارخانه و در چه مکان‌هایی احداث شوند؟

۴. در هر دوره‌ی زمانی، چه مقدار ماده‌ی اولیه از هر تأمین‌کننده به کارخانه‌ها ارسال شود؟

۵. در هر دوره‌ی زمانی، چه مقدار کالا از هر کارخانه به توزیع‌کنندگان ارسال شود؟

۶. در هر دوره‌ی زمانی، چه مقدار کالا از هر توزیع‌کننده به مناطق مشتریان ارسال شود؟

۷. در هر دوره‌ی زمانی، چه مقدار کالا در انبار هر توزیع‌کننده نگهداری شود؟

فرضیات این مسئله نیز عبارت است از:

- در این شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین برای دوره‌های زمانی مختلف تورم وجود ندارد.
- دوره‌ی زمانی بازپرداخت وام دریافتی با دوره‌های زمانی شبکه برابر در نظر گرفته شده است.
- شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین شامل یک نوع کالا و یک نوع ماده‌ی اولیه است.
- تولید هر واحد کالا نیازمند یک واحد ماده‌ی اولیه است.
- لزومی به محقق شدن همه‌ی تقاضاهای مشتریان نیست.
- هر کارخانه با چندین تأمین‌کننده ارتباط دارد و بالعکس.
- هر توزیع‌کننده با چندین کارخانه ارتباط دارد و بالعکس.
- هر منطقه‌ی مشتریان با چندین توزیع‌کننده ارتباط دارد و بالعکس.
- مکان‌های کاندید برای احداث کارخانه‌ها مشخص است.
- هزینه‌ی احداث کارخانه‌ها با اخذ وام از بانک یا سرمایه‌ی اولیه موجود تأمین می‌شود.
- مکان و ظرفیت تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها، توزیع‌کنندگان و تقاضای مشتریان برای هر دوره‌ی زمانی معلوم و ثابت است.
- اطلاعات لازم برای این مسئله عبارت است از:

۱. تعداد دوره‌های زمانی؛

۲. سرمایه‌ی اولیه موجود و کم‌ترین مقدار وام دریافتی؛

۳. هزینه‌ی احداث کارخانه‌ها، هزینه‌ی تهیه ماده‌ی اولیه، هزینه‌ی تولید کالا، هزینه‌ی نگهداری موجودی، هزینه‌ی ارسال کالا و قیمت فروش هر واحد کالا در هر دوره زمانی؛

۴. ظرفیت کارخانه‌ها، تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مناطق مشتریان؛

۵. نرخ بهره، نرخ مالیات و نرخ بهره بانکی.

### ۳. تعریف مدل

در این بخش، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مکان‌یابی - تخصیص برای مسئله‌ی مورد مطالعه ارائه می‌شود که در آن، ترکیبی از متغیرهای پیوسته و دودویی وجود دارد. متغیر دودویی مسئله برای احداث کارخانه‌ها در مکان‌های کاندید است و متغیرهای پیوسته شامل مقدار درصد وام، مقدار درصد استفاده از سرمایه‌ی اولیه‌ی موجود، مقدار ماده‌ی اولیه، کالای تولیدی، ارسالی و نگهداری شده است. برنامه‌ریزی خطی ارائه‌شده با هدف بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی جریان نقدی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین بیان شده است. نمادهای مدل در ادامه تعریف شده است:

$v_{jet}$ : مقدار کالایی که از توزیع‌کننده  $j$  به منطقه‌ی مشتری  $e$  در دوره‌ی زمانی  $t$  ارسال می‌شود.  
 $p_{jt}$ : مقدار کالایی که در انبار توزیع‌کننده  $j$  در دوره‌ی زمانی  $t$  نگهداری می‌شود.  
 $y_i$ : متغیر دودویی احداث کارخانه که اگر کارخانه در مکان کاندید  $i$  احداث شود مقدار ۱، و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.  
 $NPV$ : ارزش خالص فعلی.

#### ۴.۳. ساختار مدل

$$\text{Max } NPV = \sum_{t \in T} CFAT_t [\exp(-\alpha t)] - bM \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i \in N} f_i y_i \leq aL + bM \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{kit} \leq B_k \quad \forall k \in K, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} x_{kit} - \sum_{j \in J} w_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in N, t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} w_{ijt} \leq y_i C_i \quad \forall i \in N, t \in T \quad (5)$$

$$p_{jt} = \sum_{i \in N} w_{ijt} + p_{j(t-1)} - \sum_{e \in E} v_{jet} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (6)$$

$$p_{jt} \leq G_j \quad \forall j \in J, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} v_{jet} \leq D_{et} \quad \forall e \in E, t \in T \quad (8)$$

$$PR = \frac{aL}{T} \quad (9)$$

$$I = aL \times R \quad (10)$$

$$CFBT_t = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \in J} \sum_{e \in E} (S_{jet} - n_{jet}) v_{jet} \\ - \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} O_{kit} x_{kit} \\ - \sum_{i \in N} \sum_{j \in J} u_{ijt} w_{ijt} - \sum_{j \in J} h_{jt} p_{jt} \\ - qt \left( \sum_{e \in E} D_{et} - \sum_{j \in J} \sum_{e \in E} v_{jet} \right) \end{array} \right\} \quad \forall t \in T \quad (11)$$

$$TI_t = CFBT_t - I \quad \forall t \in T \quad (12)$$

$$TX_t = TI_t \times TR \quad \forall t \in T \quad (13)$$

$$CFAT_t = TI_t - TX_t - PR \quad \forall t \in T \quad (14)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad (15)$$

$$x_{kit}, w_{ijt}, v_{jet}, p_{jt} \geq 0 \quad (16)$$

$$0 \leq a, b \leq 1 \quad (17)$$

به‌اندازه‌ی ظرفیتش می‌تواند ماده‌ی اولیه ارسال کند. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۴ بیان می‌کند که مقدار کالای ارسالی از کارخانه‌ی  $i$  باید کوچک‌تر یا مساوی با مقدار ماده‌ی اولیه‌ی دریافتی آن کارخانه باشد. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۵ بیان می‌کند که حداکثر کالای ارسالی از هر کارخانه‌ی احداث شده برابر ظرفیت آن کارخانه است. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۶ نشان‌گر مقدار کالای نگهداری شده در انبار و مقدار کالای ارسالی از هر توزیع‌کننده در هر دوره‌ی زمانی است. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۷ نشان‌گر ظرفیت انبار هر توزیع‌کننده است. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۸ بیان‌گر بیشترین مقدار کالای ارسالی به هر منطقه مشتریان است. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۹ مقدار اصل پول بازپرداختی به بانک را در هر دوره‌ی زمانی محاسبه می‌کند. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۱۰ مقدار بهره‌ی را که بانک به‌منظور دریافت وام در هر دوره‌ی زمانی باید دریافت کند، محاسبه می‌کند. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۱۱ نشان‌گر جریان نقدی قبل از کسر مالیات است. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۱۲ درآمد مشمول مالیات را محاسبه می‌کند. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۱۳ مقدار مالیاتی را که در هر دوره باید پرداخت شود محاسبه می‌کند. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۱۴ نشان‌گر جریان نقدی بعد از کسر مالیات برای این شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین است. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۱۵ نشان‌گر متغیر احداث کارخانه در مکان کاندید  $i$  است که اگر مقدار آن ۱ شود، کارخانه در آن مکان احداث می‌شود و در غیر این صورت احداث نمی‌شود. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۱۶ و ۱۷ نیز متغیرهای تصمیم دیگر مسئله را نشان می‌دهند.

#### ۴. حل مسئله

در این بخش به‌منظور تفهیم مدل پیشنهادی، یک مثال عددی فرضی از یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین حل می‌شود. این مثال برای یک مسئله‌ی مکان‌یابی - تخصیص با ۲ تأمین‌کننده، ۲ مکان کاندید برای احداث کارخانه‌ها، ۲ توزیع‌کننده و ۳ منطقه‌ی مشتری برای ۲ دوره‌ی زمانی آورده شده است. در این مسئله کارخانه‌ها ممکن است در ۲ مکان کاندید جغرافیایی مختلف احداث شوند، پس دو متغیر دودویی خواهیم داشت. از سوی دیگر این دو مکان جغرافیایی می‌توانند با دو تأمین‌کننده و دو توزیع‌کننده در ارتباط باشند. همچنین ۳ منطقه‌ی مشتری وجود دارد که باید تقاضای آن‌ها با توجه به هدف مدل و محدودیت‌های مسئله پاسخ داده شود. ظرفیت تهیه‌ی ماده‌ی اولیه‌ی هر تأمین‌کننده، ظرفیت تولید کالای کارخانه، ظرفیت انبار هر توزیع‌کننده و تقاضای هر منطقه‌ی مشتری در جدول ۱ آمده است. هزینه‌ی تأمین‌کننده برای تهیه‌ی ماده‌ی اولیه و ارسال آن به کارخانه‌ها، هزینه‌ی تولید کالا و ارسال آن به هر توزیع‌کننده و قیمت نگهداری هر واحد کالا در انبار هر توزیع‌کننده در جدول ۲ آمده است. هزینه‌ی ارسال کالا و قیمت کالای ارسالی از هر تأمین‌کننده به هر منطقه‌ی مشتری در جدول ۳ بیان شده است. همچنین، در این مسئله جریمه‌ی برآورده نشدن تقاضا ناچیز و برای تمام دوره‌ها برابر صفر فرض شده است؛ دیگر اطلاعات مسئله در جدول ۴ نشان داده شده است.

این مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با نرم‌افزار GAMS ۲۴.۱.۳ solver CPLEX حل شده‌ی در زمان ۰۰/۲۱۹ ثانیه جواب  $NPV = ۱۹۸۴۱۴۰۵۹۴۰۱۹$  r ۴۱۴۶۴ Released Jul ۲۶, ۲۰۱۳ WEX-WEI x۸۶\_۶۴

تابع هدف مسئله در معادله‌ی ۱، ارزش خالص فعلی جریان نقدی شبکه را برای دوره‌های زمانی مختلف پیشینه می‌کند. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۲ نشان‌دهنده‌ی مکانی است که کارخانه‌ها با توجه به سرمایه‌ی اولیه‌ی موجود یا با اخذ وام باید احداث شوند. محدودیت مسئله در معادله‌ی ۳ نشان‌گر این است که هر تأمین‌کننده

جدول ۱. هزینه‌ی تهیه‌ی ماده‌ی اولیه، تولید کالا و نگهداری آن.

دوره‌ی زمانی	$u_{ijt}$				$o_{kit}$				$h_{jt}$
	$u_{11t}$	$u_{12t}$	$u_{21t}$	$u_{22t}$	$o_{11t}$	$o_{12t}$	$o_{21t}$	$o_{22t}$	
۱	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۹	۹	۱۰	۱۱	۲
۲	۱۶	۱۷	۱۷	۱۹	۱۰	۱۱	۱۳	۱۲	۳

جدول ۲. هزینه‌ی احداث، ظرفیت تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها، انبارها و تقاضای مشتریان.

شماره	$B_k$	$C_i$	$G_j$	$f_i$	$D_{et}$	
					$D_{e1}$	$D_{e2}$
۱	۲۰۱۰	۲۲۰۰	۱۷۵۰	۲۰۳۵	۹۸۵	۹۴۰
۲	۲۱۰۵	۲۱۱۰	۱۸۵۰	۲۰۵۶	۱۱۱۰	۹۹۰
۳	-	-	-	-	۱۳۴۰	۱۲۵۰

جدول ۳. هزینه‌ی ارسال کالا و قیمت هر واحد کالای ارسالی از توزیع‌کنندگان به مشتریان.

دوره‌ی زمانی	$s_{jet}$						$n_{jet}$					
	$s_{11t}$	$s_{12t}$	$s_{21t}$	$s_{22t}$	$s_{23t}$	$s_{24t}$	$n_{11t}$	$n_{12t}$	$n_{21t}$	$n_{22t}$	$n_{23t}$	$n_{24t}$
۱	۶۱	۶۳	۶۸	۷۳	۷۵	۷۴	۵	۶	۶	۴	۵	۶
۲	۶۷	۷۱	۷۵	۷۸	۸۱	۸۰	۶	۷	۷	۵	۶	۷

جدول ۴. اطلاعات دیگر مسئله‌ی فرضی.

$TR$	$R$	$\alpha$	$L$	$M$
۲۵۰۰	۲۱۰۰	٪۱۰	٪۱۰	٪۲۰

جدول ۵. متغیرهای احداث، ماده‌ی اولیه‌ی ارسالی و انبار.

دوره‌ی زمانی	$y_i$	$w_{kit}$				$p_{jt}$	
		$w_{11t}$	$w_{12t}$	$w_{21t}$	$w_{22t}$	$p_{1t}$	$p_{2t}$
۱	۱	۹۵	۱۹۱۵	۲۱۰۵	۰	۹۳۵	
۲	۱	۲۰۱۰	۰	۱۹۰	۳۰۰	۰	

کارخانه و مقدار انبار محصولات در هر توزیع‌کننده در جدول ۵ آمده است. متغیرهای کالای ارسالی از هر کارخانه به هر توزیع‌کننده و از هر توزیع‌کننده به هر منطقه‌ی مشتری در جدول ۶ آمده است. همچنین، متغیرهای تصمیم دیگر مدل در جدول ۷ بیان شده است. همچنین مدل پیشنهادی برای یک مسئله‌ی فرضی با ۵ تأمین‌کننده، ۳ مکان کاندید برای کارخانه‌ها، ۵ توزیع‌کننده، ۵

منطقه مشتریان و با ۱۲ دوره‌ی زمانی نیز با نرم‌افزار GAMS حل شد و در زمان ۰۶/۵۸۵ ثانیه جواب بهینه‌ی  $NPV = ۱۳۷۰۳۰۴۲/۸۲۰۳۸۸$  به دست آمد.

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص پیشنهاد شد. این تصمیمات مکان‌یابی - تخصیص برای یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین چهارسطحی شامل تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها، توزیع‌کنندگان و مناطق مشتری ارائه شد. در این مطالعه هدف پیشینه کردن ارزش خالص فعلی جریان نقدی این شبکه بود که متشکل از هزینه‌ی سرمایه‌گذاری و جریان نقدی بعد از کسر مالیات است. این جریان نقدی بعد از کسر مالیات شامل هزینه‌ی احداث، هزینه‌ی تهیه ماده‌ی اولیه، هزینه‌ی تولید کالا، هزینه‌ی نگهداری کالا، هزینه‌ی ارسال کالا، قیمت فروش کالاهاست. هزینه‌ی احداث کارخانه‌ها در این مطالعه از سرمایه‌گذاری اولیه‌ی موجود یا با اخذ وام از بانک فراهم شد. همچنین، مدل پیشنهادی ارائه شده شامل چندین دوره‌ی زمانی و تسهیلات با ظرفیت بود. در نهایت این مدل به دلیل خطی بودن و عدد صحیح مختلط بودن با روش برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در نرم‌افزار GAMS حل شد. در پایان یک مثال عددی در ابعاد کوچک به همراه حل ارائه شد و نیز زمان

جدول ۶. متغیرهای کالای ارسالی از هر کارخانه و هر توزیع‌کننده.

$w_{ijt}$				$v_{jet}$						دوره‌ی زمانی
$w_{11t}$	$w_{12t}$	$w_{21t}$	$w_{22t}$	$v_{11t}$	$v_{12t}$	$v_{13t}$	$v_{21t}$	$v_{22t}$	$v_{23t}$	
۰	۲۲۰۰	۰	۱۹۱۵	۰	۰	۰	۹۴۰	۹۹۰	۱۲۵۰	۱
۰	۲۲۰۰	۳۰۰	۰	۰	۰	۳۰۰	۹۸۵	۱۱۱۰	۱۰۴۰	۲

جدول ۷. مابقی متغیرهای تصمیم مسئله‌ی فرضی.

$I$	$PR$	$a$	$b$	$CFAT_t$	$TX_t$	$TI_t$	$CFBT_t$	دوره‌ی زمانی
۲۱۰	۱۰۵۰	۱	۰,۷۹۶۴	۸۹۶۰۶	۲۲۶۶۴	$۱,۱۳۳۲E + ۵$	$۱,۱۳۵۳E + ۵$	۱
				$۱,۴۵۷۵E + ۵$	۳۶۶۹۹	$۱,۸۳۴۹E + ۵$	$۲,۸۳۷۱E + ۵$	۲

یک فضای پیوسته در نظر گرفت.

۳. دوره‌ی پرداخت زمانی وام را می‌توان متفاوت از دوره‌ی زمانی شبکه در نظر گرفت.

۴. در این شبکه می‌توان موارد دیگری مانند استهلاک و تورم را لحاظ کرد.

۵. تصمیمات را می‌توان با مسائل دیگر مانند مسیریابی و قابلیت اطمینان ترکیب کرد.

حل برای یک مثال عددی با ابعاد بزرگ داده شد. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود:

۱. در این مسئله علاوه بر هدف ارزش خالص فعلی، چندین تابع هدف دیگر از جمله نرخ پردازش و زمان را در نظر گرفته و با الگوریتم‌های چندهدفه حل کرد.

۲. مکان احداث کارخانه‌ها را می‌توان به جای نقاط مشخص گسسته‌ی کاندید در

## منابع (References)

- Chopra, S. and Meindel, P., *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations*, Prentice-Hall Inc, Chapter 1 (2001).
- Latha Shankar, B., Basavarajappa, S., Chen, J.C.H. and Kadavevaramath, R.S. "Location and allocation decisions for multi-echelon supply chain network – a multi-objective evolutionary approach", *Expert Systems with Applications*, **40**, pp. 551-562 (2013).
- Wang, K.-J., Makond, B. and Liu, S.Y. "Demand – a genetic-algorithm based solution", *Expert Systems with Applications*, **38**, pp. 6125-6131 (2011).
- Farahani, R.Z., SteadieSeifi, M. and Asgari, N. "Multiple criteria facility location problems: A survey", *Applied Mathematical Modelling*, **34**, pp. 1689-1709 (2010).
- Balinski, M., *Integer Programming: Methods, Uses, Computation*, in: Jünger, M., Liebling, T.M., Naddef, D., Nemhauser, G.L., Pulleyblank, W.R., Reinelt, G., Rinaldi, G., Wolsey, L.A. (Eds.), *50 Years of Integer Programming 1958-2008*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 133-197 (2010).
- Melo, M.T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F. "Facility location and supply chain management – a review", *European Journal of Operational Research*, **196**, pp. 401-412 (2009).
- Nobil, A.H., Kazemi, A. and Alinejad, A. "A two objective model for location-allocation in supply chain", *The Journal of Mathematics and Computer Science*, **4**, pp. 392-401 (2012).