

ارائه یک مدل برای شبکه توزیع اقلام فسادپذیر در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن سیاست تخفیف

مجتبی حاجیان حیدری^{۱*}، سیدمحمدتقی فاطمی قمی^۲، بهروز کریمی^۳

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۰۱

چکیده

یکی از عوامل مهم در هر زنجیره تأمین، توزیع مناسب کالاها از طریق مراکز توزیع است. گاهی اوقات اقلامی که تاریخ انقضا دارند برای شبکه توزیع محدودیت زمانی به وجود می‌آورند. زیرا با گذشت زمان فسادپذیری کالاها موجب هزینه‌هایی برای مشتری می‌شود. از طرف دیگر در زنجیره تأمین معمولاً سیاست‌های تخفیف که منجر به کاهش هزینه‌های مشتری برای مقادیر سفارش بیشتر می‌گردد، ارائه می‌شود. در این مقاله یک زنجیره تأمین سه سطحی، شامل یک تولیدکننده، چندین توزیع‌کننده و مشتری توسعه داده شده است که در آن توزیع‌کننده‌ها برای مقادیر مختلف سفارش مشتری قیمت‌گذاری متفاوتی را در نظر می‌گیرند. در این نوع زنجیره تأمین ابتدا شبکه توزیع به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مدل‌بندی شده و سپس دو الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تیرید و ژنتیک برای حل مدل ارائه می‌شود. در نهایت نتایج حاصل از این دو الگوریتم با فرض وجود و عدم وجود تخفیف، مورد بحث و مقایسه قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین، شبکه توزیع، اقلام فسادپذیر، تخفیف، الگوریتم فراابتکاری.

۱- مقدمه

معمولاً هدف از طراحی شبکه توزیع طراحی سیستمی است که تقاضای تمام مشتریان را برآورده می‌کند بدون اینکه از ظرفیت انبارها و کارخانه‌ها تجاوز کند [۳].

برای طراحی شبکه توزیع مدل‌های گسسته مکان‌یابی مناسب‌تر هستند. مسائل طراحی شبکه در زنجیره تأمین به صورت‌های گوناگون توسعه داده شده است؛ در نظر گرفتن انواع مختلف تجهیزات و محصولات، چند سطحی کردن زنجیره تأمین، بررسی احتمالی و پویای پارامترهای تقاضا و هزینه و غیره از جمله این موارد است [۴].

طراحی شبکه در زنجیره تأمین شامل مکان‌یابی، مسیریابی و تخصیص در زنجیره تأمین می‌باشد. از این رو می‌توان اظهار نمود که مسائل طراحی شبکه به زنجیره تأمین نگاه جامعی دارد. کالای فسادپذیر به کالایی گفته می‌شود که آسیب‌پذیر، فاسد شونده، تبخیر شونده و یا به طور کلی دارای تاریخ انقضا باشد. محصولاتمانند مواد غذایی و دارویی، فیلم عکاسی، الکل و غیره جزء این دسته هستند. توزیع این نوع اقلام شرایط خاصی را می‌طلبد از جمله اینکه محدودیت زمانی

طی ده سال اخیر یکی از مباحث مهم در تحقیقات، مدیریت زنجیره تأمین است. مدیریت زنجیره تأمین شامل مدیریت جریان مواد و اطلاعات هم در فروشنده‌ها، کارخانه‌های ساخت و مونتاژ و مراکز توزیع و هم بین آنها می‌باشد [۱]. لجستیک هنر فراهم کردن مقدار مناسب از محصول در مکان و زمان مناسب برای مشتری است که معمولاً به مسائل زنجیره تأمین مربوط می‌شود [۲]. این دو واژه گاهی به اشتباه به جای یکدیگر به کار برده می‌شوند.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیکی: mojtabahajian@aut.ac.ir، نشانی: تهران، خیابان انقلاب، کوچه شهید سعید، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲. استاد دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پست الکترونیکی: fatemi@aut.ac.ir

۳. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پست الکترونیکی: B.Karimi@aut.ac.ir

رئو^۷ و همکاران یک مدل موجودی برای اقلام فسادپذیر فسادپذیر در زنجیره تأمین چند سطحی ارائه کردند [۹]. آنها هزینه‌های سالانه را برای کل زنجیره تأمین بهینه کردند. همچنین راکسیان^۸ و همکاران کلیه مطالعات صورت گرفته در زمینه فسادپذیری موجودی‌ها را در یک مقاله مروری به طور کامل بررسی کرده‌اند [۱۰]. بررسی شبکه توزیع در زنجیره تأمین نیز مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. کوپرا^۹ مقاله‌ای با عنوان طراحی شبکه توزیع در زنجیره تأمین ارائه کرد که پایه‌ای برای مطالعات بعدی شد، وی در مقاله خود شبکه‌های توزیع را به شش دسته عمده تقسیم کرد [۱۱]:

- ۱- انبارش توسط تولیدکننده با انتقال مستقیم،
- ۲- انبارش تولیدکننده با انتقال مستقیم و ادغام در حین حمل،
- ۳- انبارش توزیع کننده با ارسال توسط شرکت حمل،
- ۴- انبارش توزیع کننده با تحویل به صورت LMD^{۱۱}،
- ۵- انبارش تولیدکننده یا توزیع کننده با دریافت مشتری
- ۶- انبارش خرده فروشی با دریافت مشتری.

در مقاله حاضر، مدل توسعه داده شده بر اساس طبقه‌بندی کوپرا، مدل نوع ۴ است. همان‌طور که در منبع [۱۱] بیان شده است، مدل چهارم مناسب کالاهای اساسی در صنعت خواروبار فروشی است. امیری^{۱۱} به بررسی مسئله طراحی شبکه توزیع در زنجیره تأمین پرداخته است [۳]. بدین منظور او یک مدل جایابی تسهیلات تک محصولی چند کارخانه‌ای توسعه داده است که در آن تسهیلات (کارخانجات و انبارها) از سطوح چندگانه ظرفیتی برخوردارند و ظرفیت بهینه تسهیلات توسط مدل تعیین می‌گردد. برای حل مسئله یک روش ابتکاری ارائه شده است. برخی از محققان نیز به بررسی توزیع اقلام فسادپذیر در زنجیره تأمین پرداخته‌اند.

جایارامانان^{۱۲} و پیرکول^{۱۳} به بررسی مسئله جایابی تسهیلات چندکارخانه‌ای چند محصولی با ظرفیت محدود و با هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های ثابت برپایی تسهیلات و هزینه‌های متغیر ارسال و پردازش کالاها پرداخته‌اند [۱۲]. آنان در کار خود برای حل این مسئله روش خلاقانه‌ای مبتنی بر لاگرانژ ارائه کرده‌اند. راس^{۱۴} و

برای توزیع وجود دارد. این کالاها اگر در زمان مناسب به مقصد نرسند، بخشی از آن و یا به‌طور کامل غیرقابل مصرف می‌شوند. سیاست تخفیف از جمله سیستم‌هایی است که برای تشویق مشتریان برای خرید یا سفارش بیشتر کالا اعمال می‌شود. گاهی اوقات شرکت‌های توزیع نیز برای جذب سفارش بیشتر، اقدام به ارائه سیاست‌های تخفیف می‌کنند به‌صورتی که هرچه مقدار حمل کالا برای مشتری بیشتر باشد، قیمت حمل را کاهش می‌دهد. با این کار هم مشتری هزینه کمتری را پرداخت می‌کند و هم توزیع‌کننده سود بیشتری از فعالیت اقتصادی خود می‌برد. در بخش ۲، کارهای مرتبط انجام شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۳، مدل و اجزای آن به همراه فرضیات مسئله شرح داده می‌شود. در بخش ۴ با استفاده از یک مثال عددی، مسئله با در نظر گرفتن تخفیف و بدون آن بررسی شده است. در نهایت بخش ۵ به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات آتی اختصاص داده شده است.

۲- مرور ادبیات

مقالات بسیاری به بررسی کنترل موجودی اقلام فسادپذیر در زنجیره تأمین پرداخته‌اند. گارند^۱ و اسکرادر^۲ برای اولین بار تأثیر تخریب کالا در عملکرد سیستم موجودی را بررسی کردند [۵]. آنها نرخ تخریب را بر اساس تابع چگالی وایبول در نظر گرفتند. وی^۳ مدلی جهت تعیین میزان تولید اقتصادی برای اقلام فسادپذیر با در نظر گرفتن نرخ تولید ثابت و مجاز نبودن کمبود ارائه نمود [۶]. سارکر^۴ و همکاران یک مدل زنجیره تأمین برای کالاهای فسادپذیر با در نظر گرفتن تورم و تأخیر در پرداخت و امکان کمبود و با هدف تعیین سیاست سفارش بهینه برای خریدار طراحی کرده‌اند [۷]. میرانداند^۵ و گاریدو^۶ یک مدل برای بهینه‌سازی سطح سرویس در شبکه توزیع دو سطحی ارائه کردند [۸]. آنها با استفاده از یک الگوریتم تکراری سطح سرویس بهینه و سایر پارامترهای مربوط به شبکه به‌دست آوردند. این الگوریتم در سطح اول نرخ سرویس را بهینه می‌کند و در سطح دوم تصمیمات مربوط به مکان‌یابی و موجودی باقیمانده را با توجه به مرحله قبل دریافت می‌کند.

7. Rau
8. Ruxian
9. Chopra
10. Last Mile Delivery
11. Amiri
12. Jayaraman
13. Pirkul
14. Ross

1. Ghareand
2. Schrader
3. Wee
4. Sarker
5. Mirandaand
6. Garrido

۳- توسعه مدل مسئله

فرض کنید در یک زنجیره تأمین اقلام فسادپذیر چندین مرکز توزیع و چندین مشتری وجود دارند و همچنین مراکز توزیع بر اساس سفارشات رسیده و اطلاعات قبلی به اندازه کافی از یک نوع کالای خاص برای توزیع در اختیار دارند. وجه تمایز این توزیع کننده‌ها در مقادیر تخفیفی است که ارائه می‌کنند و مشتری‌ها نیز بر اساس این اطلاعات، در مورد مقدار سفارش از هر یک از توزیع کنندگان تصمیم می‌گیرند. مقدار سفارش باید به گونه‌ای باشد که کمترین هزینه را به مشتریان تحمیل نماید. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های نگهداری، فسادپذیری و سفارش و حمل است. در این حالت کمبود مجاز نمی‌باشد.

نمادهای به کار رفته در این مدل به شرح زیر است:

θ : نرخ ثابت فساد پذیری

$I_i(t)$: سطح موجودی مشتری i در زمان t

D_i : تقاضای مشتری i

A_i : هزینه ثابت به ازای هر بار سفارش

t_i : دوره برنامه‌ریزی برای مشتری i

h : هزینه ثابت نگهداری به ازای واحد کالا

p : هزینه فساد پذیری به ازای واحد کالا

سطح موجودی مشتری i در زمان t با استفاده از معادله (۱) به دست می‌آید:

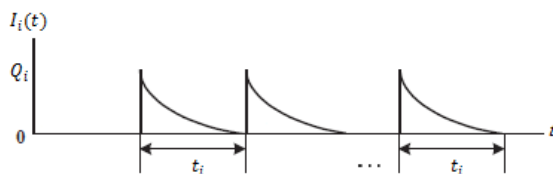
$$\frac{d I_i(t)}{dt} = -D_i - \theta \times I_i(t), 0 \leq t \leq t_i \quad (1)$$

با استفاده از نقاط مرزی که در شکل (۱) مشخص است، معادله دیفرانسیل (۱) حل می‌شود:

$$I_i(t) = \frac{D_i}{\theta} \left(\frac{e^{\theta t_i} - e^{\theta t}}{e^{\theta t}} \right), 0 \leq t \leq t_i \quad (2)$$

در نتیجه اندازه دسته‌ای که از توزیع کننده به مشتری ارسال می‌شود برابر است با:

$$Q_i = \frac{D_i}{\theta} (e^{\theta t_i} - 1) \quad (3)$$



شکل (۱): روند تغییرات سطح موجودی مشتری i

جایارامانان به بررسی دسته‌ای از مسایل طراحی شبکه توزیع پرداخته‌اند که دارای چند نوع محصول، یک کارخانه تولیدی مرکزی، چند مرکز توزیع و مکان‌های انبار موقت و چند بازار تقاضاست [۱۳]. آنان برای حل این مسئله از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بهره گرفته‌اند.

ونگ^۱ یک شبکه توزیع و سیاست بازپرسازی برای زنجیره تأمین مبتنی بر نظریه فازی در شرایط فسادپذیری اقلام طراحی و آن را با استفاده از الگوریتم مورچگان حل کرده است [۱۴]. بر اساس نظریه فازی این مقاله، به مسئله تعیین اندازه دسته پویا در زنجیره تأمین پرداخته شده است. بگام^۲ و همکاران یک مدل مقدار بهینه اقتصادی سفارش برای اقلام فسادپذیر و با در نظر گرفتن هزینه واحد تولید و تقاضای غیرخطی و امکان کمبود ارائه کرده‌اند [۱۵]. تانگ^۳ و یانگ^۴ مسئله طراحی شبکه توزیع اقلام فسادپذیر در زنجیره تأمین را با توسعه یک مدل شامل تولید، کنترل موجودی و مکان‌یابی، بررسی نمودند [۱۶]. هدف از این بررسی، تعیین تعداد مراکز توزیع، مکان‌یابی آنها و تعیین سیاست کنترل موجودی بهینه برای کل زنجیره تأمین است. این کار از طریق کاهش فساد مواد و کاهش هزینه مکان‌یابی، موجودی و حمل و نقل صورت می‌گیرد. برای حل این مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. برخی از مقالات نیز زنجیره تأمین را در شرایط تخفیف بررسی کرده‌اند. تسائو^۵ و لو^۶ مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین را با رویکرد یکپارچه‌سازی مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص موجودی با فرض وجود تخفیف مقداری و تخفیف روی حمل و نقل (تخفیف فاصله‌ای) بررسی کردند و مسئله غیر خطی خود را با استفاده از یک روش ابتکاری حل نمودند [۱۷]. یه^۷ و گو^۸ یک مدل بهینه بهینه حمل و نقل موجودی تحت شرایط تخفیف برای یک زنجیره تأمین دو سطحی شامل یک تأمین کننده و چندین فروشنده را ارائه کردند [۱۸]. آنچه که در ادبیات مورد بررسی قرار نگرفته است مدل‌سازی یک شبکه توزیع برای زنجیره تأمین اقلام فسادپذیر با در نظر گرفتن تخفیف است. در این مقاله شبکه توزیع اقلام فسادپذیر شامل چندین توزیع کننده و چندین مشتری در شرایط وجود تخفیف بر روی مقدار حمل شده از توزیع کننده به مشتریان بررسی شده است.

1. Wong
2. Begum
3. Tang
4. Yang
5. Tsao
6. Lu
7. Ye
8. Gu

حل رابطه (۱۰) به خاطر وجود توابع نمایی دشوار است، لذا با استفاده از بسط تیلور و نادیده گرفتن توان‌های سوم و بالاتر θ و به ازای مقادیر کوچک θ ، این توابع ساده‌سازی می‌شود. برای این منظور از رابطه (۱۱) استفاده می‌گردد.

$$e^{\theta t} \cong \frac{2 + \theta t}{2 - \theta t} \quad (11)$$

از معادله (۱۰) نسبت به t_i مشتق می‌گیریم و برابر صفر قرار می‌دهیم. در نتیجه خواهیم داشت:

$$t_i^* = \frac{2}{\theta + \sqrt{\frac{2D_i(h+p\theta)}{A_i + \sum_j \sum_k c_{jk} y_{ijk} x_{ijk}}}} \quad (12)$$

با جای‌گذاری مقدار فوق در رابطه (۱۰) می‌توان هزینه کل را با استفاده از رابطه (۱۳) تخمین زد:

$$\begin{aligned} \overline{TC}_i = & \sqrt{2D_i(h+p\theta) \times (A_i + \sum_j \sum_k c_{jk} y_{ijk} x_{ijk})} \\ & + \frac{\theta}{2} \times (A_i + \sum_j \sum_k c_{jk} y_{ijk} x_{ijk}) \end{aligned} \quad (13)$$

برای دسترسی به رابطه (۱۳) از بسط تیلور و نادیده گرفتن توان‌های سوم و بالاتر استفاده شده است، $\overline{TC}_i \leq TC_i$ هم‌چنین تفاوت هزینه تخمینی و هزینه واقعی از مرتبه $\theta^2 t_i^2$ است. بنابراین به ازای مقادیر کوچک θ رابطه (۱۳) تخمین مناسبی را ارائه می‌کند. لذا مدل توزیع اقلام فسادپذیر برای مشتریان با هدف کمینه کردن هزینه‌ها به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{i=1}^n & \left(\sqrt{2D_i(h+p\theta) \times (A_i + \sum_j \sum_k c_{jk} y_{ijk} x_{ijk})} \right. \\ & \left. + \frac{\theta}{2} \times (A_i + \sum_j \sum_k c_{jk} y_{ijk} x_{ijk}) \right) \end{aligned} \quad (14-1)$$

Subject to:

$$\frac{2D_i t_i}{2 - \theta t_i} \leq \sum_j \sum_k x_{ijk} \quad (14-2)$$

$$\varepsilon \times y_{ij1} < x_{ij1} \leq d_j \times y_{ij1} \quad (14-3)$$

$$d_j \times y_{ij2} < x_{ij2} \leq M \times y_{ij2} \quad (14-4)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ijk} \leq 1 \quad (14-5)$$

$$y_{ijk} = 0, 1; x_{ijk} \geq 0, \text{ integer} \quad (14-6)$$

هزینه نگهداری، هزینه فسادپذیری و هزینه سفارش برای مشتری i به صورت زیر است:

$$HC_i = \frac{h}{t_i} \int_0^{t_i} I_i(t) dt = \frac{hD_i(e^{\theta t_i} - \theta t_i - 1)}{t_i \theta^2} \quad (4)$$

$$DC_i = \frac{p(Q_i - D_i t_i)}{t_i} \quad (5)$$

$$OC_i = \frac{A_i}{t_i} \quad (6)$$

توزیع‌کننده‌ها نیز برای ترغیب مشتریان به خرید بیشتر، برای مقادیر مختلف سفارش، قیمت‌های متفاوتی را برای حمل کالا ارائه می‌کنند. بنابراین اگر x_{ijk} مقدار سفارش مشتری i از توزیع‌کننده j در سطح قیمت k باشد، توزیع‌کننده j به صورت زیر با افزایش سفارش، قیمت را تغییر می‌دهد:

$$c_{jk} = \begin{cases} c_{j1} & \text{if } x_{ijk} < d_j \\ c_{j2} & \text{if } x_{ijk} \geq d_j \end{cases}, k = 1, 2 \quad (7)$$

متغیر باینری y_{ijk} به این گونه تعریف می‌شود که چنانچه مشتری i از توزیع‌کننده j در سطح k سفارش دهد $y_{ijk} = 1$ و در غیر این صورت $y_{ijk} = 0$ باشد. با این تعریف هزینه حمل برابر است با:

$$TRC_i = \frac{\sum_j \sum_k c_{jk} y_{ijk} x_{ijk}}{t_i} \quad (8)$$

نظر به اینکه کمبود مجاز نیست مقدار کالایی که از توزیع‌کنندگان به مشتری i ارسال می‌شود باید حداقل به بزرگی میزان سفارش مشتری i (Q_i) باشد: (با توجه به تابع هدف حداقل هزینه، سمت راست محدودیت (۹) تا حد ممکن به سمت چپ آن نزدیک می‌شود)

$$\sum_j \sum_k x_{ijk} \geq Q_i \quad (9)$$

بنابراین هزینه کل سالانه مشتری i برابر است با:

$$\begin{aligned} TC_i = & HC_i + DC_i + TRC_i + OC_i \\ = & \frac{hD_i(e^{\theta t_i} - \theta t_i - 1)}{t_i \theta^2} \\ & + \frac{p(Q_i - D_i t_i)}{t_i} \\ & + \frac{\sum_j \sum_k c_{jk} y_{ijk} x_{ijk}}{t_i} + \frac{A_i}{t_i} \end{aligned} \quad (10)$$

تابع هدف (۱-۱۴) مجموع هزینه‌های سالانه نگهداری، فسادپذیری، حمل و نقل و سفارش را کمینه می‌کند. محدودیت (۲-۱۴) بیانگر آن است که مقدار کالای ارسالی از توزیع کنندگان به مشتری i باید حداقل به بزرگی میزان سفارش مشتری i باشد. در این محدودیت به جای t_i مقدار به‌دست آمده از رابطه (۱۲) را قرار دهید. نتیجه به صورت زیر خواهد بود:

$$\sqrt{\frac{2D_i}{h+p\theta}} \left(A + \sum_j \sum_k c_{jk} y_{ijk} x_{ijk} \right) \leq \sum_j \sum_k x_{ijk} y_{ijk} \quad \forall i \quad (15)$$

محدودیت (۳-۱۴) و (۴-۱۴) تغییر قیمت را به ازای مقادیر مختلف سفارش نشان می‌دهد. اگر میزان سفارش از d_j کمتر باشد، قیمتی که توزیع کننده j برای حمل هر واحد کالا ارائه می‌دهد برابر c_{j1} و اگر میزان سفارش از d_j بیشتر باشد، قیمت حمل برابر c_{j2} خواهد بود. هم‌چنین این شرط را نیز ارضا می‌کند که وقتی از یک سطح قیمت سفارش انجام نشود ($y_{ijk} = 0$)، مقدار سفارش نیز صفر می‌شود ($x_{ijk} = 0$). محدودیت (۵-۱۴)، این شرط را کنترل می‌کند که سفارش مشتری i از توزیع کننده j در یکی از سطوح تخفیف صورت می‌گیرد. محدودیت (۶-۱۴) نیز محدودیت‌های فنی را نشان می‌دهد. هم‌چنین میزان سفارش اقلام فسادپذیر به دلیل محدودیت فضای وسائل حمل‌ونقل به صورت بسته‌ای در نظر گرفته شده است، یعنی هر واحد کالا به صورت یک بسته با وزن مشخص در نظر گرفته می‌شود. برای وسایل نقلیه هیچ‌گونه محدودیت ظرفیت در نظر گرفته نشده است. با توجه به اینکه تابع هدف مسئله غیرخطی است، حل مدل حاصل به ویژه برای مسائل با مقیاس بزرگ دشوار است. بنابراین برای حل، از دو روش فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید (SA) و ژنتیک (GA) (که کاربرد زیادی در ادبیات موضوع دارند) استفاده و نتایج آن بررسی شده است.

۴- مثال عددی

در این بخش نحوه عملکرد مدل ارائه شده با استفاده از یک مثال مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، ابتدا الگوریتم پیشنهادی شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک توضیح داده شده و سپس نتایج حل مدل با استفاده از این الگوریتم‌ها ارائه می‌شود.

۴-۱- شبیه‌سازی تبرید

اولین بار الگوریتم شبیه‌سازی تبرید توسط کرک پاتریک^۱ و همکاران [۱۹] برای مسائل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. هدف این الگوریتم، انتقال سیستم از حالت اولیه دلخواه به حالتی است که سیستم در آن کمترین انرژی را داشته باشد. نظر به اینکه که این الگوریتم بهبود دهنده است، برای حل یک مسئله بهینه‌سازی ابتدا از یک جواب اولیه شروع می‌کند و سپس در یک حلقه تکرار به جواب‌های همسایه حرکت می‌کند. اگر جواب همسایه بهتر از جواب فعلی باشد، الگوریتم آن را به‌عنوان جواب فعلی قرار می‌دهد، در غیر این‌صورت، الگوریتم آن جواب را با احتمال $\exp(-\Delta E/T)$ به‌عنوان جواب فعلی می‌پذیرد. در این رابطه ΔE تفاوت بین تابع هدف جواب فعلی و جواب همسایه است و T یک پارامتر به نام دما است. در هر دما، چندین تکرار انجام می‌شود و سپس دما به آرامی کاهش داده می‌شود. در گام‌های اولیه دما خیلی بالا قرار داده می‌شود تا احتمال بیشتری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود داشته باشد. با کاهش تدریجی دما، در گام‌های پایانی احتمال کمتری برای پذیرش جواب‌های بدتر وجود خواهد داشت و بنابراین الگوریتم به سمت، جواب خوب همگرا می‌شود.

۴-۲- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید پیشنهادی

در این مثال هدف، کمینه کردن تابع هزینه است و متغیرهای تصمیم مقدار سفارش مشتری از توزیع‌کننده‌ها و متغیر باینری انتخاب توزیع‌کننده است. تقاضا دارای توزیع یکنواخت بین (۰ و ۱۰۰۰) است.

۱- با یک جواب اولیه قابل قبول و یک دمای اولیه شروع می‌شود.

۲- برای هر مشتری از بین سطوح تخفیفی که توسط هر توزیع کننده ارائه شده است به تصادف یکی انتخاب می‌شود و یک مقدار صفر یا یک به متغیر انتخاب شده (y) تخصیص داده می‌شود.

۳- تخصیص سفارش به توزیع‌کنندگانی صورت می‌گیرد که در قدم ۲ انتخاب شده باشند، بنابراین به ازای متغیرهایی که مقدار یک دارند، یک عدد صحیح به طور تصادفی به صورت زیر تولید می‌شود:

۳-۱- اگر $d_j < D_i$ باشد، برای سطح تخفیف اول، یک عدد تصادفی بین ۱ تا d_j و برای سطح تخفیف دوم، یک

1. Kirk Patrick

۲- با استفاده از عملگر انتخاب چرخ رولت^۳، جواب‌های والد را انتخاب کرده و عملگر تقاطع (دو نقطه‌ای) را اعمال می‌شود.

۳- با استفاده از عملگر چرخ رولت، جواب‌ها را برای جهش انتخاب کرده و عملگر جهش (تعویض جفتی) را اعمال می‌شود.

۴- جواب‌های حاصل از گام‌های ۱، ۲ و ۳ را در یک مجموعه قرار می‌دهند. برای هر جواب باینری (Y) موجود، متغیر X را بر اساس متغیر باینری مربوطه تولید می‌کنند.

۵- از بین جواب‌های موجود گام ۴، بهترین جواب (کمترین تابع هدف) انتخاب می‌شود.

۶- با استفاده از عملگر انتخاب (چرخ رولت)، جمعیت جدید را تشکیل داده و به گام ۲ بر می‌گردند.

۷- الگوریتم تا برقراری شرط توقف ادامه می‌یابد.

در الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه ۵۰، فشار انتخاب ۳۰ و احتمال‌های تقاطع و جهش به ترتیب ۰/۸ و ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

مثالی با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی حل شده و نتایج آن ارائه شده است. برای حل این مسئله، از رایانه‌ای با پردازشگر Intel® 2.8 GHz با حافظه 3GB استفاده شده است. نمونه مسائل متعددی با ابعاد کوچک و متوسط، برای مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح توزیع اقلام فسادپذیر با استفاده از الگوریتم‌های ارائه شده حل شده است که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد. برای نمونه مسئله متوسط (۱۰ توزیع کننده و ۳۰ مشتری)، مقادیر قیمت‌های پیشنهادی (سیاست‌های تخفیف) از طرف توزیع کننده در جدول (۱) و مقادیر کل نرخ تقاضای مشتریان در جدول (۲) ارائه شده است. نرخ فسادپذیری ۲ درصد، هزینه فسادپذیری ۴۰ واحد، هزینه نگهداری ۵۰ واحد و هزینه سفارش برای همه مشتریان ۱۰۰ واحد است.

عدد تصادفی بین d_j تا D_i انتخاب می‌شود. ۲-۳- اگر $d_j > D_i$ باشد، برای سطح تخفیف اول یک عدد تصادفی بین ۱ تا D_i تولید می‌شود. مقدار سفارش در سطح تخفیف دوم نیز صفر است.

۴- اگر جواب به دست آمده بهتر از جواب فعلی باشد، باید آن را جایگزین بهترین جواب فعلی کرد، در غیر این صورت باید با یک احتمال مشخص آن را جایگزین کرد.

۵- دما را کاهش داده و این الگوریتم را تا جایی ادامه می‌دهند که شرط توقف تعریف شده برآورده شود.

در الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، دمای اولیه ۱۰۰۰ و دمای نهایی ۰/۱ در نظر گرفته شده است. هم‌چنین در مکانیزم تولید همسایگی از دو روش ۱- تعویض جفتی و ۲- تغییر مکان بر اساس رشته تصادفی، استفاده شده است.

۳-۴- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت است که به‌عنوان یک روش عددی جستجوی مستقیم و تصادفی معرفی می‌شود. برای اولین بار، جان هالند^۱ در مقاله‌ای تحت عنوان سیستم‌های مصنوعی و انطباق در طبیعت، این الگوریتم را مطرح کرد [۲۰]. هم‌چنین با نوآوری‌های گلدبرگ^۲، کاربردهای الگوریتم ژنتیک در زمینه‌های مختلف آغاز شد [۲۱].

الگوریتم ژنتیک بر مبنای نظریه تکامل داروین استوار است. در این نظریه دو نکته اصلی مورد توجه قرار می‌گیرد:

۱- نسل‌های بعدی در اثر تکامل نسل‌های قبلی حاصل می‌شوند و در واقع نسل‌های بعدی، فرزندان نسل‌های گذشته هستند.

۲- در تنازع برای بقا، قوی‌ترها شانس بیشتری دارند. براساس ایده ذکر شده، هر موجود در جامعه، معادل یک جواب و الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. در واقع این الگوریتم مبتنی بر جمعیت است. هم‌چنین قوی‌تر بودن هر موجود در این الگوریتم معادل تابع هدف بهتر برای آن جواب است.

۴-۴- الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

مانند الگوریتم پیشین، در اینجا نیز متغیر تصمیم، مقدار و مسیر انتقال کالا از توزیع کننده‌ها به مشتریان است.

۱- جمعیت اولیه، جواب‌ها را به‌طور تصادفی تولید می‌کنند.

3. Roulette Wheel Selection

1. John Holland
2. Goldberg

جدول (۱): قیمت‌های پیشنهادی از طرف توزیع کننده به ازای مقادیر مختلف حمل (نمونه مسئله متوسط)

قیمت	مقادیر حمل	توزیع کننده	قیمت	مقادیر حمل	توزیع کننده
۶	≤ 700	۶	۷	≤ 800	۱
۴	$700 <$		۱	$800 <$	
۵	≤ 400	۷	۴	≤ 400	۲
۳	$400 <$		۲	$400 <$	
۵	≤ 600	۸	۶	≤ 600	۳
۳	$600 <$		۳	$600 <$	
۷	≤ 800	۹	۷	≤ 700	۴
۵	$800 <$		۳	$700 <$	
۶	≤ 500	۱۰	۵	≤ 500	۵
۲	$500 <$		۳	$500 <$	

جدول (۲): تقاضای مشتریان برای کالا (نمونه مسئله متوسط)

مشتری	تقاضا	مشتری	تقاضا	مشتری	تقاضا	مشتری	تقاضا	مشتری	تقاضا	مشتری	تقاضا
۱	۶۴۲	۶	۳۹۱	۱۱	۸۸۰	۱۶	۳۹۲	۲۱	۴۱۶	۲۶	۵۹۶
۲	۵۴۸	۷	۹۷۱	۱۲	۸۰۰	۱۷	۴۸۹	۲۲	۴۹	۲۷	۱۸۱
۳	۴۳۳	۸	۲۰۳	۱۳	۹۰۷	۱۸	۹۴۷	۲۳	۵۷۹	۲۸	۶۸۴
۴	۸۴۴	۹	۹۹۰	۱۴	۴۴۶	۱۹	۶۸	۲۴	۹۴	۲۹	۱۵۶
۵	۴۹۵	۱۰	۵۱	۱۵	۲۸۰	۲۰	۲۸۲	۲۵	۵۲۷	۳۰	۹۹۰

حال اگر این مسئله را بدون در نظر گرفتن تخفیف بررسی کنید، مدل توسعه داده شده به شکل زیر در می‌آید:
 $(y_{ij1} = 1 \text{ و } k=1)$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \left(2D_i(h+p\theta) \times \left(A_i + \sum_j c_j x_{ij} \right) + \frac{\theta}{2} \times (A_i + \sum_j c_j x_{ij}) \right) \quad (16-1)$$

Subject to:

$$\sqrt{2D_i \times \frac{A_i + \sum_j c_j x_{ij}}{h+p\theta}} \leq \sum_j x_{ij} \quad (16-2)$$

$$x_{ij} \geq 0, \text{ integer} \quad (16-3)$$

در اینجا با توجه به اینکه تنها یک قیمت برای حمل کالا موجود است (قیمت سطح اول تخفیف)، x_{ijk} به x_{ij} تبدیل می‌شود. با استفاده از روش‌های فرابابتکاری شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک، برای مثال مطرح شده مدل بدون تخفیف ارائه می‌شود.

جدول (۵): مقادیر تابع هدف با استفاده از دو الگوریتم

برای نمونه مسئله بدون تخفیف

	الگوریتم شبیه‌سازی تبرید	الگوریتم ژنتیک
جواب نمونه مسئله (متوسط) بدون تخفیف	۱۶۴۶۴۰۹,۶۴	۱۵۲۹۳۰۸,۸۵

همان‌گونه که از جداول (۳) و (۵) مشاهده می‌شود، اعمال تخفیف بر روی هزینه حمل، موجب کاهش هزینه‌های مشتریان می‌گردد. هم‌چنین سمت راست رابطه (۱۶-۲) به دلیل استفاده

مقادیر تقاضا در این نمونه مسئله، عددی تصادفی در بازه [۰،۱۰۰۰] در نظر گرفته شده است.

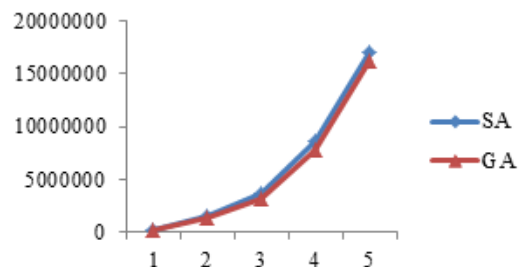
جدول (۳): مقادیر تابع هدف با استفاده از دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک

	الگوریتم ژنتیک	الگوریتم شبیه‌سازی تبرید
جواب نمونه مسئله (متوسط) با در نظر گرفتن تخفیف	۱۳۵۱۷۵۲,۸	۱۴۹۰۲۸۹,۷۸

شکل (۲)، روند جواب‌های ارائه شده از دو الگوریتم برای نمونه مسائل مختلف (جدول ۴) را ارائه می‌دهد.

جدول (۴): نمونه مسائل مختلف حل شده با استفاده از الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک

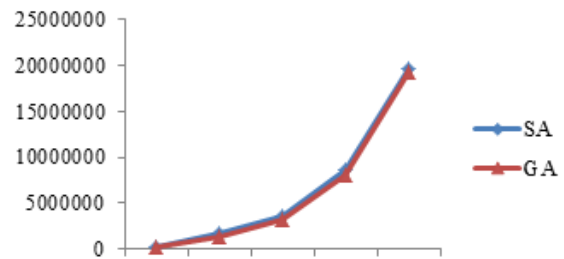
نمونه مسئله	۱	۲	۳	۴	۵
توزیع کننده	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
مشتری	۱۰	۳۰	۵۰	۷۰	۱۰۰



شکل (۲): جواب‌های نمونه مسائل با استفاده از دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک

- [2] Tilanus, B., "Introduction to Information System in Logistics and Transportation", Information Systems in Logistics and Transportation. Amsterdam: Elsevier, 1997.
- [3] Amiri.A., "Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure", European Journal of Operational Research, 171, pp. 567-576, 2006.
- [4] Sadjady.H., Davoudpour. H., "Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection, lead-times and inventory costs", Computers & Operations Research, 39, pp. 1345-1354, 2012.
- [5] Ghare.P.M., S. S. F., "A model for exponentially decaying inventory", Journal of Industrial Engineering, 14, pp. 233-243, 1963.
- [6] Wee.H.M., "Economic production lot size model for deteriorating items", Computer & Industrial Engineering, 6, pp. 309-317, 1993.
- [7] Sarker.B.R., Jamal. A. M. M., Wang.S., "Supply chain models for perishable products under inflation and permissible delay in payment", Computers & Operations Research, 27, pp.59-75, 2000.
- [8] Miranda.P.A., G. R. A., "Inventory service-level optimization within distribution network design problem". International urnal of production Economics, 122, pp. 276-285, 2009.
- [9] Rau.H., W. M. Y., Wee.H.M. "Integrated inventory model for deteriorating items under a multi-echelon supply chain environment". International urnal of production Economics, 86, pp. 155-168, 2003.
- [10] Ruxian.L., L. H., Mawhinney.J.R., "A Review on Deteriorating Inventory Study". Journal of Service Science & Management, 3, pp. 117-129, 2010.
- [11] Chopra.S., "Designing the distribution network in a supply chain". Transportation Research Part E, 39, 123-140, 2003.
- [12] Pirkul H., J. V., "A multi commodity multi plant capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution", Computers & Operations Research, 25, pp. 869-878, 1998.
- [13] Jayaraman V., Ross. A., "A simulated annealing methodology to distribution network design and management". European Journal of Operational Research, 144, pp. 629-645, 2003.
- [14] Wong.J.T., "The distribution processing and replenishment policy of the supply chain under asymmetric information and deterioration", Expert Systems with Applications, 37, pp. 2347-2353, 2010.
- [15] Begum.R., S.S.K., Sahoo.R.R., "An EOQ model for deteriorating items with weibull distribution deterioration, unit production cost with quadratic demand and shortages". Applied Mathematical Sciences, 4, 271 - 288, 2010.
- [16] Tang.K., Yang. C., "A distribution network design model for deteriorating item". International Journal of Logistics Systems and Management, 4, pp. 366-383, 2008.
- [17] Kirkpatrick.S., G. J. C. D., Vecchi.M.P., Optimization by simulated annealing. science. 220 (4598), 671-680, 1983.
- [18] Tsao.Y.C., Lu. J. C., "A supply chain network design considering transportation cost discounts". Transportation Research Part E, 48, pp. 401-414, 2012.
- [19] Ye.Y., G. L. C., "Supply chain inventory-transportation optimal model under discount for perishable items", 2, pp. 579-582, 2010.
- [20] Holland.J.H., "Adaptation in Natural and Artificial Systems". Ann Arbor: illustrated, University of Michigan Press, 1975.
- [21] Goldberg.D.E., "Genetic algorithms in search, optimization and machine learning", Addison-Wesley, illustrated, reprint, 1989.

نکردن از سیاست‌های تخفیف (که باعث کاهش هزینه کل می‌شود)، به مقدار بهینه سفارش نزدیک‌تر است. اگر تفاوت قیمت‌ها در نقاط شکست بیشتر شود، این نقاط شامل تخفیف کمتری می‌گردد. لذا این اختلاف هزینه مشهودتر خواهد بود. برای حالت بدون تخفیف نیز نمونه مسائل با ابعاد مختلف با استفاده از هر دو الگوریتم حل شده‌اند که در شکل ۳ نمایش داده شده است:



شکل (۳): جواب‌های نمونه مسائل مختلف با استفاده از دو الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و ژنتیک (بدون تخفیف)

۵- نتیجه‌گیری و مطالعات آتی

در این مقاله یک مدل برای توزیع اقلام فسادپذیر در زنجیره تأمین با فرض وجود تخفیف بر روی مقدار حمل کالاها ارائه شد. تخفیف بر روی قیمت حمل که از طرف توزیع کنندگان اعلام می‌گردد، موجب می‌شود که مشتریان تمایل به سفارش مقادیر بیشتری داشته باشند. این امر باعث می‌شود که درآمد توزیع کنندگان بیشتر و هزینه‌های مشتریان کمتر شود. بر اساس مدل ارائه شده، دو الگوریتم فراابتکاری برای حل نمونه مسائل مختلف توسعه داده شد. همچنین حالتی که تخفیف برای مدل وجود ندارد نیز بررسی شد و نتایج نشان داد که تخفیف‌های ارائه شده مجموع هزینه‌های مشتریان را کاهش می‌دهد. هر چه تفاوت قیمت در نقطه شکست بیشتر و نقطه شکست نیز کمتر باشد، این اختلاف در هزینه‌ها مشهودتر می‌شود. بر اساس نتایجی که از حل نمونه مسائل مختلف برای مدل شبکه توزیع به دست آمد، الگوریتم ژنتیک کارایی بهتری را از خود نشان داد. برای مطالعات آتی نیز می‌توان مدل را برای حالت مجاز بودن کمبود و در نظر گرفتن سطوح دیگر زنجیره تأمین بررسی نمود. همچنین کاربرد مدل مقدار اقتصادی تولید نیز می‌تواند به عنوان مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- [1] Thomas.D.J., Griffin. P. M., "Coordinated supply chain management", European Journal of Operational Research, 94, pp.1-15, 1996.