شبیه سازی هزینه حمل ونقل طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن تقاضای وابسته به قیمت و کیفیت

سید محمد مهدی کاظمی
استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد دماوند)، تهران، ایران
پیمان تاکی
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد دماوند)، تهران، ایران

چکیده طراحی مناسب شبکه، اثرات بسیاری بر عملکرد، بهره‌وری و اثربخشی زنجیره‌های تأمین در رسیدن به اهداف انتظاری و برآورده نمودن نیازهای مشتریان دارد. در این پژوهش، یک مدل چندهدفه‌ی چندسطحی برای طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن قیمت-گذاری، سطح کیفی محصولات و اختلال ارائه شده است. هزینه‌ی حمل‌ونقل هر وسیله‌ی نقلیه یک تابع تصادفی پویا و نه پارامتر فرض شده است. بنابراین از شبیه‌سازی گسسته-پیشامد برای ارزیابی هزینه‌های حمل‌ونقل استفاده شده است. با توجه به نقش مهم مفاهیم ریسک و اختلال در طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین، کمینه‌سازی ریسک به همراه بیشینه‌سازی سود با توجه به مفاهیم قیمت‌گذاری و کیفیت، به عنوان توابع هدف تعریف شده‌اند. تقاضای زنجیره تأمین تابعی خطی از قیمت و سطح کیفی محصولات در نظر گرفته شده است. در نهایت، مسئله‌ی طراحی شبکه زنجیره تأمین با شبیه‌سازی، ریسک و تقاضای وابسته به قیمت و کیفیت با الگوریتم NSGA-II حل و نتایج با الگوریتم MOSA اعتبارسنجی شده‌اند.

کلمات کلیدی طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین، شبیه‌سازی گسسته-پیشامد، اختلال، قیمت‌گذاری، کیفیت

۱- مقدمه

۱-۱- طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین

امروزه، مسائل بسیاری نظیر اختلال، بحران، فسادپذیری کالاها و سایر موضوعات مرتبط برای زنجیره‌های تأمین و قیمت‌گذاری با اهمیت هستند [۱]. فضای رقابتی کسب‌وکارِ امروز، تأثیر بسیار زیادی بر بازارها و انتظارات مشتریان دارد و تمرکز را از بنگاه‌های مجزا بر زنجیره‌های تأمین معطوف می‌کند [۲]. اهداف طراحی شبکه زنجیره تأمین عموماً به صورت بیشینه-سازی اهدافی نظیر سود یا سطح خدمت و کمینه‌سازی هزینه، ریسک و آسیب‌های محیط‌زیستی و اجتماعی تعریف می‌شود. بنابراین، برای افزایش بهره‌وری بیش از پیش، شرکت‌ها باید مدل‌هایی مناسب و کاربردی را برای شبکه‌های خود انتخاب و همکاری میان اعضاء را ارتقا دهند. طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین، شکل دادن به تسهیلاتی نظیر تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع، خرده‌فروشان و بازارهای آن‌ها در ارتباط با یک‌دیگر با در نظر گرفتن سیستم‌ها، زیر سیستم‌ها، فرآیندهای عملیاتی و ارتباطات میان آن‌ها تعریف می‌شود [۳].

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۲

*(Corresponding author) kazemi@damavandiau.ac.ir

شبیه‌سازی گسسته-پیشامد (*DES*)

شبیه‌سازی گسسته-پیشامد ابزار قدرتمندی برای تجسم بخشیدن به پیشامدها است. در شبیه سازی گسسته-پیشامد، مدل در طول زمان به جلو و به سمت وقوع پیشامدهای بعدی حرکت می‌کنند. در نتیجه، شبیه سازی گسسته-پیشامد می‌تواند با تحلیل داده-های ورودی و مدل‌سازی تأثیرات محدودیت‌های ظرفیت و صف‌ها و از طریق نمایش ویژگی‌هایی که عموماً در برنامه‌ریزی ریاضی در نظر گرفته نمی‌شوند، انعطاف پذیری بیشتری برای طراحی شبکه زنجیره تأمین فراهم آورد [۴]. احتیاجات و نیازمندی‌های جدید زنجیره‌های تأمین، مستلزم توسعه و ارزیابی راه‌حل‌های جدید است. یکی از ابزارهای مهم، رویکرد شبیه‌سازی گسسته-پیشامد است [۵].

شبیه‌سازی به عنوان یک ابزار مدل‌سازی، به صورت گسترده‌ای در تحقیق در عملیات استفاده می‌شود، جایی که مدل‌های کامپیوتری برای شناخت و آزمایش سیستم‌ها به کار می‌روند [۶]. شرکت‌ها و تولیدکنندگان می‌توانند برای تحلیل و ارزیابی تأثیرات و عملکرد تصمیمات خود قبل از اعمال تغییرات روی سیستم‌های واقعی، از شبیه سازی گسسته-پیشامد استفاده کنند [۱]. در پژوهش خود تأثیر استفاده از استراتژی یکپارچه موجودی-توزیع را بررسی کردند.

۱-۲-ایجاد هماهنگی در زنجیره تأمین

اعضای زنجیره تأمین عموماً مجزا و از نظر اقتصادی مستقل هستند، در نتیجه یکی از مسائل کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین، که می‌تواند بر توسعه‌ی مکانیزم‌هایی برای هم تراز کردن اعضای زنجیره و اهداف آن‌ها موثر باشد، هماهنگ‌کردن فعالیت-های آن‌هاست [۷]. با افزایش اهمیت تأمین سطحِ بالا و استفاده از مزایای هماهنگی زنجیره تأمین، چالش یک سازمان می‌تواند انتخاب مکانیزم‌های هماهنگی مناسب برای مدیریت واحدهای وابسته‌ی سازمانی تعریف شود [۸] و [۹]. هماهنگی زنجیره تأمین می‌تواند سود کل زنجیره را افزایش دهد اگر تمام سطوح زنجیره در آن مشارکت کنند. عدم هماهنگی می‌تواند ناشی از تضاد اهداف سطوح مختلف زنجیره تأمین و یا تأخیر و تحریف جریان‌های اطلاعاتی میان سطوح مختلف زنجیره باشد. تلاش هر سطح برای بیشینه‌سازی اهداف خود، می‌تواند بر فعالیت‌ها و سود کلی زنجیره تأمین مؤثر باشد [۱۰].

۱-۳-ریسک

چپرا و همکاران ریسک را احتمال اشتباه کردن، خطرات ناشی از نقص‌ها، شکست‌ها و کمبودهایی که ممکن است در آینده اتفاق بیفتد به عنوان ریسک شناخته می‌شود [۱۱]. آنان در پژوهش خود ریسک ابعاد مختلف زنجیره تأمین نظیر طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین، کنترل موجودی، تولید و برنامه‌ریزی، مسیریابی، پیش‌بینی تقاضا و مدیریت درآمد را معرفی کرده‌اند. نوع دیگری از ریسک تحت عنوان اختلال شناخته می‌شود. اختلال هر پیشامدی است که سیستم را دچار آشفتگی و بی‌نظمی کند [۱۲]. بر طبق تعریف ریسک اختلال ممکن است در هر قسمت از زنجیره تأمین، نظیر حمل‌ونقل اتفاق بیفتد [۱۱]. آزاد و همکارانش در پژوهش‌های خود وقوع اختلال تصادفی در مراکز توزیع و حمل-ونقل را در طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین در نظر گرفته‌اند [۱۳] و [۱۴]. سینگ و همکارانش در پژوهش خود، ریسک تولید، حمل‌ونقل و کیفیت را در طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین در نظر گرفته‌اند [۱۵]. گری و باردهن یک زنجیره تأمین متشکل از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش در نظر گرفته‌اند [۱۶]. تقاضای بازار احتمالی و تأمین‌کننده در معرض اختلال است. برای کاهش اثرات ناشی از وقوع اختلال، یک تأمین‌کننده‌ی پشتیبان برای زنجیره در نظر گرفته شده است. زو و همکارانش یک روش کمی برای ارزیابی مقاومت پیش‌بینی شده‌ی زنجیره تأمین بر اساس تکامل ساختاری در شرایط اختلال تصادفیِ تأمین توسعه دادند [۱۷]. فنگ و ژیائو هزینه‌ی زنجیره چرخه‌ی کیفیت را در ساختار شبکه‌ای تحت کنترل حلقه بسته‌ی مثبت و منفی، به علاوه‌ی ساختار کنترلی کانال خرده‌فروشی و کانال الکترونیکی بررسی کردند [۱۸]. علاوه بر این، یک مکانیزم امنیتی هشداردهنده‌ی زودهنگام ارائه کردند تا پویایی شبکه‌ی هشدار زودهنگام مربوط به زنجیره‌ی چرخه‌ی کیفیت دو کاناله تحت اختلال در زمان تحویلِ کانال الکترونیکی را مدیریت کنند.

۱-۴-انگیزش

در این پژوهش، مفاهیم اختلال، همکاری در حوزه‌ی قیمت-گذاری زنجیره تأمین با توجه به کیفیت محصولات و شبیه‌سازی گسسته-پیشامد برای طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین ادغام شده-اند. پژوهش‌های بسیاری مفاهیم طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین، همکاری در قیمت‌گذاری، کیفیت و اختلال را در نظر گرفته‌اند، اما بر اساس ادبیات موجود، هیچ پژوهشی تمام موارد مطرح شده را در با هم در نظر نگرفته است. یو و همکارانش در پژوهش خود از شبیه‌سازی برای بررسی اختلال تأمین بدون توجه به وجود یا عدم وجود همکاری در زنجیره تأمین استفاده کرده‌اند [۱۹].

قیمت‌گذاری یک تلاش اقتصادی برای افزایش سود ناشی از عرضه‌ی محدود دارایی‌های زنجیره تأمین است. برای افزایش سود حاشیه‌ای منتج شده از این دارایی‌ها، مدیران باید از تمام اهرم-های موجود، از جمله قیمت‌گذاری و سطح کیفی محصولات استفاده کنند. بنابراین، تنظیم قیمت‌گذاری و عرضه‌ی موجود دارایی‌ها می‌تواند سود کل زنجیره تأمین را بیشینه نماید. برای غلبه بر شکاف یافت شده در ادبیات موجود، پژوهش حاضر یک مدل کاربردی چندسطحی و چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین ارائه می‌کند که ۱) مفاهیم قیمت‌گذاری را در حوزه‌ی مورد بررسی در نظر می‌گیرد، ۲) هزینه‌های حمل‌ونقل را با شبیه‌سازی گسسته-پیشامد ارزیابی می‌کند، ۳) اختلال را که یکی از مفاهیم مطرح در ریسک است، به عنوان یکی از توابع هدف به همراه کل درآمد زنجیره تأمین در نظر می‌گیرد.

۲- مدل‌سازی مسئله

۲-۳- تعریف مسئله

یک زنجیره تأمین چندسطحی متشکل از کارخانه‌ها و خرده-فروشان مفروض است. چند مکان بالقوه برای احداث کارخانه‌ها و خرده فروشان در نظر گرفته شده است. کارخانه‌ها محصول را تولید می‌کنند و دارای محدودیت ظرفیت هستند. کارخانجات تولیدی تک‌محصولی هستند. تمام وسایل نقلیه که برای فعالیت-های حمل‌ونقل استفاده می‌شوند، از یک نوع هستند. هزینه‌ی متوسط فعالیت‌های حمل‌ونقل به متغیرهایی نظیر زمان حمل-ونقل، متوسط زمان انتظار و متوسط زمان بارگیری و تخلیه وابسته است. بنابراین برای تخمین هزینه‌های فعالیت‌های حمل-ونقل از شبیه سازی گسسته-پیشامد استفاده شده است. چهار پیشامد تعریف شده‌اند که عبارتند از: ۱) پیشامد سفر از کارخانه‌ی i به خرده‌فروش j، ۲) پیشامد سفر از خرده‌فروش j به کارخانه‌ی i، ۳) پایان پیشامد تخلیه‌ی وسیله‌ی حمل‌ونقل برای خرده‌فروش j، و ۴) پیشامد بارگیری وسیله‌ی حمل‌ونقل برای کارخانه‌ی i.اندیس M و N به ترتیب متعلق به مکان‌های بالقوه برای احداث کارخانجات تولیدی و خرده‌فروشان هستند. پس به آسانی می‌توان نتیجه گرفت که $M \times N$ وضعیت مختلف برای کارخانجات و خرده‌فروشان ایجاد می‌شود. سایر مفروضات مدل پیشنهادی به شرح زیراست:

۱. هر خرده‌فروش تنها می‌تواند توسط یک کارخانه تأمین شود.
۲. در مدل پیشنهادی، تقاضای محصولات تابعی از قیمت و کیفیت در نظر گرفته شده است. بنابراین محصولات با قیمت و سطح کیفیت منحصر به فرد فروخته می-شوند.
۳. سیاست‌های موجودی در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین، هر خرده‌فروش سفارش‌دهی محصولات از کارخانه را بر اساس سیاست موجودی زنجیره تأمین پیشنهادی انجام می‌دهد.

۲-۳-فرمول‌بندی مدل

علائم و نشانه‌های به کار رفته در مدل عبارتند از:

اندیس‌ها

i	مکان‌های بالقوه‌ی احداث برای کارخانجات $i = ۱,۲, \dots \mathrm{N}$
j	مکان‌های بالقوه‌ی احداث برای خرده‌فروشان $j = ۱,۲, \dots, M$

پارامترها

C_{iq} هزینه‌ی تولید یک واحد محصول در کارخانه‌ی i با سطح کیفیت q

B_i هزینه‌ی ثابت احداث کارخانه‌ی i

CAP_i حداکثر ظرفیت تولیدی کارخانه‌ی i

D_j تقاضای خرده‌فروش j

h_j هزینه‌ی نگهداری یک واحد محصول توسط خرده-فروش j

A_j هزینه‌ی ثابت سفارش‌دهی خرده‌فروش j

E_j هزینه‌ی ثابت احداث خرده‌فروش j

S حداکثر ظرفیت فعالیت‌های حمل‌ونقل

متغیرهای تصمیم

U_i ۱، اگر مکان بالقوه‌ی i برای احداث کارخانه استفاده شود. در غیر این صورت، صفر.

r_i احتمال وقوع اختلال در کارخانه‌ی i

V_j ۱، اگر مکان بالقوه‌ی j برای احداث خرده‌فروشی انتخاب شود، در غیر این صورت، صفر.

ρ_j احتمال وقوع اختلال برای خرده‌فروش j

Q_j اندازه‌ی سفارش خرده‌فروش j

M_{ij} هزینه‌ی واحد حمل‌ونقل از کارخانه‌ی i به خرده‌فروش j

Ψ_{ij} احتمال وقوع اختلال در حمل‌ونقل از کارخانه‌ی i به خرده‌فروش j

X_{ij} ۱، اگر کارخانه‌ی i با خرده‌فروش j در ارتباط باشد. در غیر این صورت، صفر.

P قیمت فروش هر واحد محصول

Qu سطح کیفیت محصول

فرمول‌بندی ریاضی مدل پیشنهادی به شرح زیر است:

$$Max\ f_1 = \sum_{j=1}^{N} PD_j V_j - \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} C_{iq} D_j X_{ij} U_i V_j - \sum_{j=1}^{N} h_j \frac{Q_j}{2} V_j - \sum_{j=1}^{N} A_j \frac{D_j}{Q_j} V_j - \sum_{j=1}^{N} E_j V_j - \sum_{i=1}^{M} B_i U_i - \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} M_{ij} \left\lceil \frac{Q_j}{Q_r} \right\rceil \frac{D_j}{Q_j} X_{ij} U_i V_j \quad (۱)$$

$$Min\ f_2 = \sum_{i=1}^{M} r_i U_i + \sum_{j=1}^{N} \rho_j V_j + \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} \Psi_{ij} X_{ij} U_i V_j \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{M} X_{ij} \le V_j \qquad \forall j \qquad (۳)$$

$$X_{ij} \le U_i \qquad \forall i, j \qquad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{N} Q_j X_{ij} U_i V_j \le CAP_i \qquad \forall i \qquad (۵)$$

$$V_j, U_i, X_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \qquad (۶)$$

$$P, Q_j \ge 0 \qquad \forall j \qquad (۷)$$

معادله‌ی (۱) اولین تابع هدف مدل ریاضی است که سود زنجیره تأمین را با توجه به استراتژی‌های از پیش مشخص شده و مفروضات، بیشینه می‌کند.

اولین عبارت تابع هدف اول درآمد حاصل از فروش محصولات در زنجیره تأمین است. عبارت دوم هزینه‌های تولید کارخانه‌های احداث شده را نشان می‌دهد. عبارت سوم مربوط هزینه‌های موجودی خرده‌فروشی‌های احداث شده است. عبارت چهارم هزینه‌های سفارش‌دهی خرده‌فروشان را ارزیابی می‌کند. عبارت پنجم، کل هزینه‌های حمل‌ونقل با توجه به تعداد وسایل نقلیه‌ی

مورد استفاده و خروجی‌های شبیه سازی گسسته-پیشامد است. دو عبارت آخر مربوط به هزینه‌های راه‌اندازی کارخانجات و خرده-فروشان است. معادله‌ی (۲) تابع هدف دوم مدل است که ریسک ناشی از وقوع اختلال را کمینه می‌کند. عبارت اول مساوی کل احتمال وقوع خرابی در کارخانجات احداث شده و عبارت دوم مساوی کل احتمال وقوع خرابی در خرده‌فروشی‌های احداث شده است. عبارت سوم برای کل احتمال وقوع خرابی در ارتباطات میان کارخانجات و خرده‌فروشی‌های احداث شده تعریف شده است.

معادله‌ی (۳) ارتباطات میان کارخانجات و خرده‌فروشی‌ها را در صورت احداث نشان می‌دهد. در نتیجه نشان می‌دهد تقاضای هر خرده‌فروش تنها می‌تواند توسط یک کارخانه تأمین شود، اما هر کارخانه می‌تواند تقاضای چندین خرده‌فروش را تأمین نماید. معادله‌ی (۴) نشان می‌دهد کارخانه‌ای که هیچ ارتباطی با خرده-فروشان در شبکه‌ی زنجیره تأمین ندارد، نباید احداث شود. معادله‌ی (۵) نشان‌دهنده‌ی محدودیت ظرفیت برای کارخانجات تولیدی است. معادله‌ی (۶) متغیرهای تصمیم باینری (صفر و یک) و معادله‌ی (۷) متغیرهای غیرمنفی را معرفی می‌کند. تقاضای زنجیره تأمین تابعی قطعی از قیمت و کیفیت محصول است. معادله‌ی (۸) تابع تقاضای حساس به قیمت و کیفیت را نشان می‌دهد.

$$D_j = \alpha - \beta P + \gamma Qu \qquad \forall j \qquad (۸)$$

که در آن، β کشسانی قیمت برای مشتریان و γ کشسانی کیفیت محصول را نشان می‌دهد. اندازه‌ی بازار محصولات با α توصیف می‌شود.

۲-۳-مدل‌سازی شبیه سازی گسسته-پیشامد

برای ارزیابی هزینه‌های حمل‌ونقل بین تسهیلات زنجیره تأمین، از شبیه‌سازی گسسته-پیشامد شبیه سازی گسسته-پیشامد استفاده شده است. برای به‌دست آوردن هزینه‌ی واحد حمل‌ونقل از کارخانه‌ی i به خرده‌فروش j، (پارامتر M_{ij}) چهار پیشامد تعریف شده است. این پیشامدها عبارتند از: ۱) پیشامد سفر از کارخانه‌ی i به خرده‌فروش j، ۲) پیشامد سفر از خرده‌فروش j به کارخانه‌ی i، ۳) پایان پیشامد تخلیه‌ی وسیله‌ی حمل‌ونقل برای خرده‌فروش j، و ۴) پیشامد بارگیری وسیله‌ی حمل‌ونقل برای کارخانه‌ی i . فلوچارت پیشامدهای تعریف شده در شکل ۱ تا ۴ نمایش داده شده است.

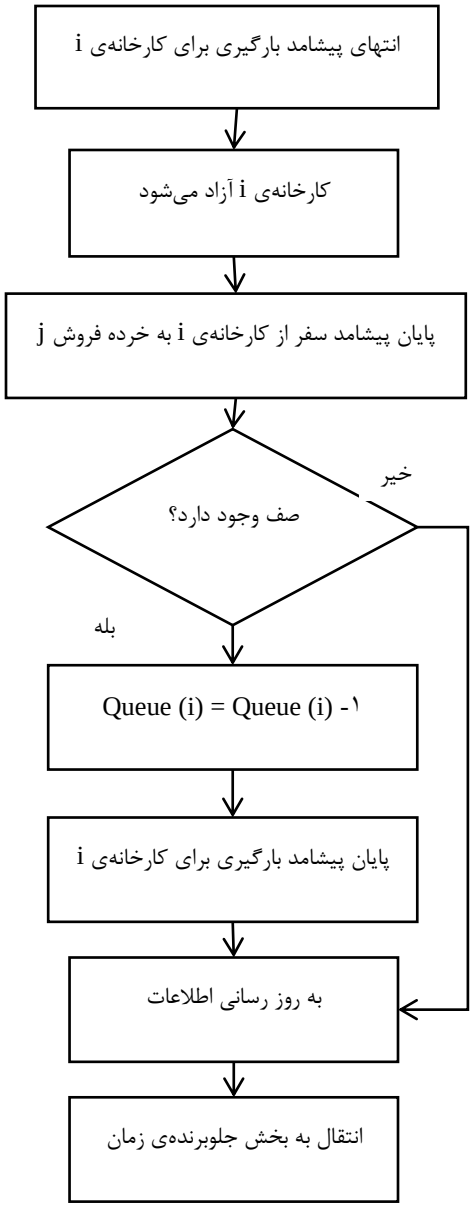
۳- روش حل

مدل ریاضی ارائه شده یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی است که حل آن با استفاده از روش‌های حل دقیق امکان‌پذیر نیست و یا زمان حل بسیار بالاست. بنابرین از الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) برای تخمین جبهه پارتوی جواب‌های نزدیک بهینه در مدل ریاضیِ ارائه شده استفاده شده است. این الگوریتم در ویژوال بیسیک ۲۰۱۲ و برای اجرای آن از سیستم عاملی با پردازنده‌ی ۵ هسته ای ۲,۵ هرتز و ۸ گیگابایت رم استفاده شده است.

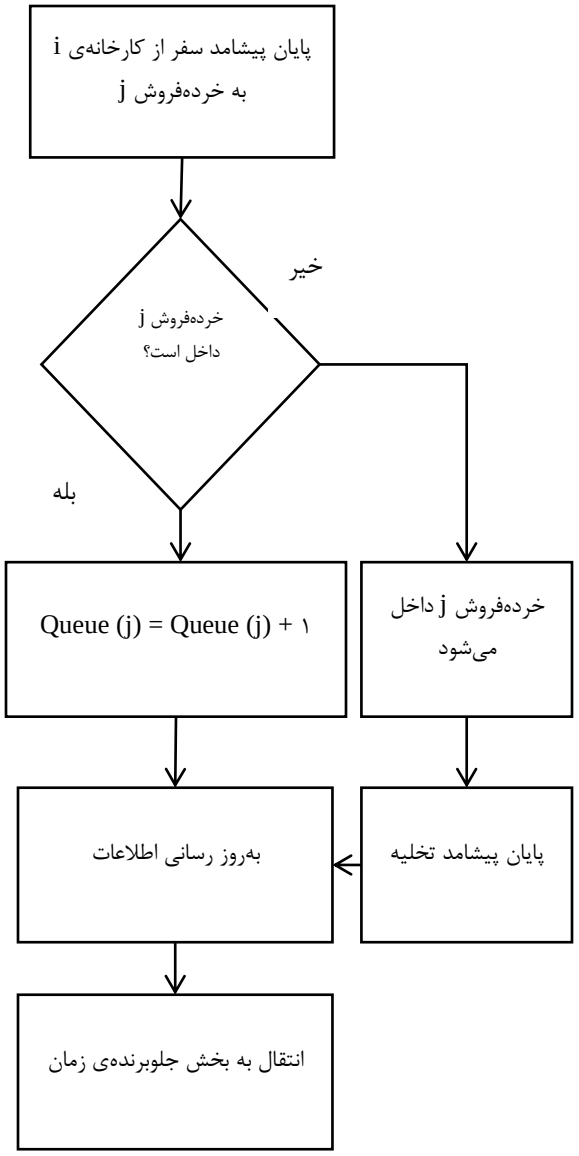
برای صحه‌گذاری و اعتبارسنجی جبهه‌ی پارتو از الگوریتم چندهدفه‌ی تبرید شبیه‌سازی شده استفاده شده است. شکل ۵ فلوچارت الگوریتم ژنتیک چندهدفه با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) را نشان می‌دهد. برای مدل‌سازی مسئله‌ی ارائه شده در NSGA-II از ۱۰۰ کروموزوم به عنوان جمعیت اولیه استفاده شده است. علاوه بر این نرخ تقاطع و جهش به ترتیب ۰,۹ و ۰,۱ در نظر گرفته شده است.

۱. توزیع یکنواخت پیوسته از ۱۲۰ تا ۱۵۰ دقیقه
۲. توزیع یکنواخت پیوسته از ۱۰۰ تا ۱۳۰ دقیقه
۳. توزیع یکنواخت پیوسته از ۷۰ تا ۹۰ دقیقه
۴. توزیع یکنواخت پیوسته از ۳۰ تا ۵۰ دقیقه
۵. توزیع یکنواخت پیوسته از ۹۰ تا ۱۱۰ دقیقه

هزینه‌ی بارگیری به ازای هر دقیقه ۲۰، هزینه‌ی تخلیه به ازای هر دقیقه ۱۰، هزینه‌ی سفر به ازای هر دقیقه ۵ و هزینه‌ی انتظار به ازای هر دقیقه ۲ در نظر گرفته شده است. هزینه‌ی ثابت حمل‌ونقل بین تسهیلات در بازه‌ی ۷۲۰ تا ۱۳۷۰ تعیین شده است.



شکل ۱- فلوچارت مدل شبیه سازی گسسته-پیشامد برای پایان پیشامد بارگیری

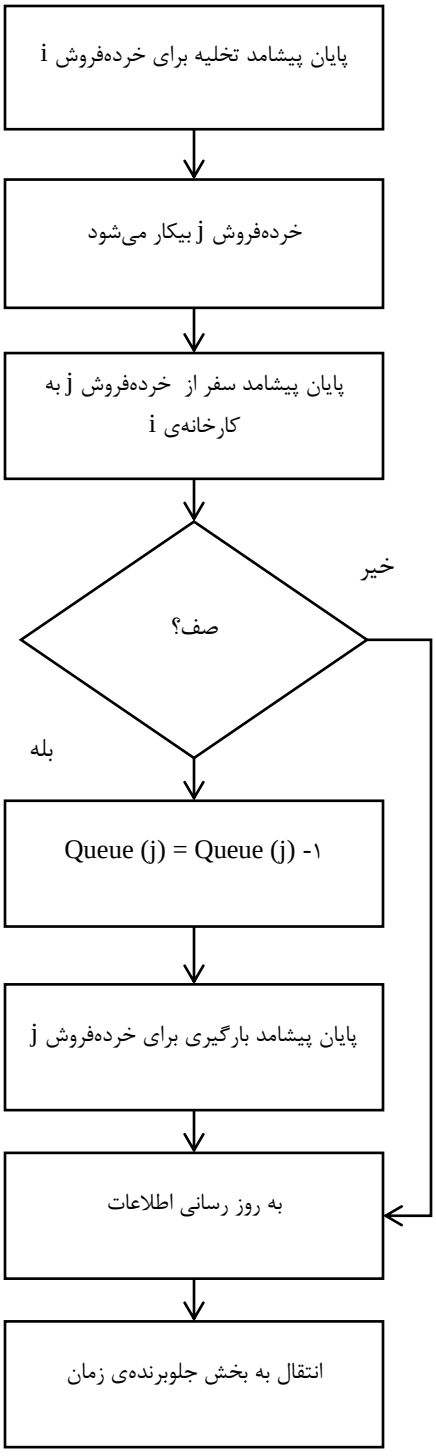


شکل ۲- فلوچارت مدل شبیه سازی گسسته-پیشامد برای پایان پیشامد سفر از کارخانه i به خرده‌فروش j

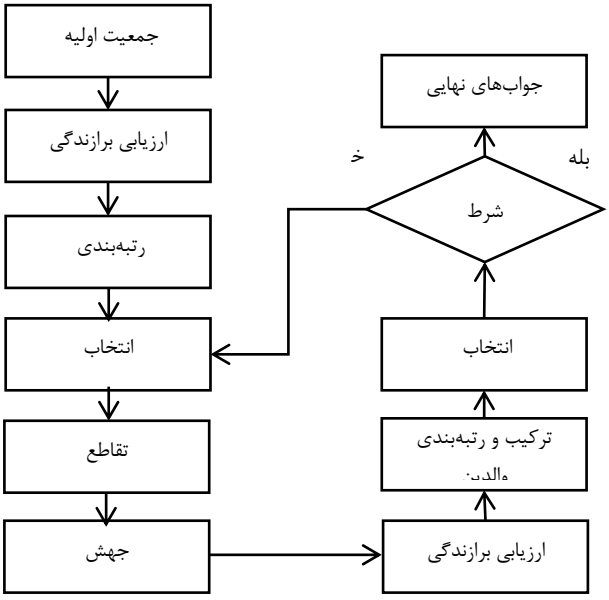
همچنین ۲۰ مکان بالقوه برای تولیدکنندگان و خرده‌فروشان در نظر گرفته شده است. حداکثر ظرفیت هر وسیله‌ی حمل‌ونقل ۱۲۱ محصول و ۲۰ سطح کیفی مختلف برای محصولات در نظر گرفته شده است. در گام دوم، مدل ریاضی توسط NSGA-II و MOSA کد شده است. جواب‌های به دست آمده در جدول ۱ ارائه شده است.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، یک مدل چندهدفه‌ی چندسطحی برای طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن قیمت‌گذاری و سطح کیفی محصولات و اختلال ارائه شده است. هزینه‌ی حمل‌ونقل هر وسیله‌ی نقلیه یک تابع تصادفی پویا و نه پارامتر فرض شده است. بنابراین از شبیه‌سازی گسسته-پیشامد برای ارزیابی هزینه‌های حمل‌ونقل با در نظر گرفتن چهار پیشامد بارگیری، تخلیه، سفر از کارخانه به خرده‌فروش و برعکس استفاده شده است. توابع هدف، بیشینه‌سازی کل سود زنجیره تأمین و کمینه‌سازی ریسک تعریف شده‌اند.



شکل ۳- فلوچارت مدل شبیه سازی گسسته-پیشامد برای پایان پیشامد تخلیه



شکل ۵- فلوچارت NSGA-II

جدول ۱- نتایج عددی

مسئله	الگوریتم		S_1^*	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	زمان
P_1	NSGA-II	f_1	۵۰۱۵۷۲/۸	۵۰۲۵۷۷/۸	۵۲۹۰۷۲/۷	۵۴۰۹۱۸/۱	۵۷۷۷۰۶/۷	۵۸۵۷۰۹/۴	۵۹۵۷۱۴/۴	۶۱۱۵۷۲/۸	۲۲
		f_2	۱۰/۵	۱۰/۶	۱۰/۹	۱۱/۰	۱۱/۲	۱۱/۳	۱۱/۵	۱۲/۵	
		P	۹۹/۷	۹۸/۲	۱۱۲/۰	۹۰/۲	۱۴۵/۳	۱۶۰/۵	۲۱۰/۶	۹۹/۷	
	MOSA	f_1	۴۹۴۰۴۹/۲	۵۱۵۰۳۹/۱	۵۱۸۱۳۶/۶	۵۲۲۹۵۴/۳	۵۶۹۰۴۱/۱	۵۷۶۹۲۳/۸	۵۹۶۷۷۸/۷	---	۳۶
		f_2	۱۰/۳	۱۰/۵	۱۰/۷	۱۰/۹	۱۱/۰	۱۱/۲	۱۱/۳	---	
		P	۷۹/۸	۷۸/۶	۸۹/۶	۷۲/۲	۱۱۶/۲	۱۲۸/۴	۱۶۸/۵	---	
P_2	NSGA-II	f_1	۶۰۱۸۸۷/۴	۶۰۳۰۹۳/۴	۶۳۴۸۸۷/۲	۶۳۷۱۰۱/۷	۶۶۳۲۴۸/۰	۷۰۲۸۵۱/۳	---	---	۲۵
		f_2	۱۵/۸	۱۵/۹	۱۶/۴	۱۶/۷	۱۶/۸	۱۷/۳	---	---	
		P	۱۰۶/۱	۱۰۴/۵	۱۱۹/۲	۹۶/۰	۱۵۴/۶	۱۷۰/۸	---	---	
	MOSA	f_1	۵۶۵۳۱۲/۲	۵۷۸۱۳۵/۲	۵۸۴۳۰۴/۳	۶۰۹۶۳۰/۷	۶۱۱۷۳۸/۱	۶۸۷۹۲۵/۹	---	---	۳۳
		f_2	۷/۲	۸/۳	۱۰/۸	۱۰/۹	۱۱/۰	۱۲/۲	---	---	
		P	۳۱/۵	۶۹/۳	۵۴/۶	۲۶/۱	۹۱/۸	۱۵/۵	---	---	
P_3	NSGA-II	f_1	۳۹۶۷۵۶/۳	۳۹۹۲۲۳/۱	۴۰۵۵۱۲/۲	۴۵۰۲۷۳/۸	۴۸۲۷۶۸/۲	۵۲۱۰۲۳/۶	۵۸۴۷۱۰/۷	۵۹۴۰۰۳/۳	۲۹
		f_2	۳/۲	۴/۴	۴/۵	۵/۴	۷/۳	۷/۵	۷/۷	۹/۴	
		P	۴۹/۶	۳۷/۸	۳۶/۶	۶۱/۱	۹۷/۴	۳۶/۳	۱۷۶/۷	۵۹/۹	
	MOSA	f_1	۳۹۷۷۰۷/۵	۴۰۶۶۰۸/۴	۴۱۲۸۷۶/۶	۴۳۰۷۷۸/۳	۴۷۹۱۴۵/۷	۵۳۲۲۶۱/۰	۵۵۰۶۶۰/۷	۵۹۹۶۴۶/۸	۴۱
		f_2	۶/۷	۷/۷	۸/۱	۸/۲	۹/۲	۹/۴	۹/۶	۱۰/۲	
		P	۸۸/۰	۵۴/۱	۸۶/۴	۸۷/۵	۳۱/۹	۳۹/۷	۱۳۵/۴	۷۱/۷	
P_4	NSGA-II	f_1	۲۹۶۹۱۲/۲	۳۱۵۵۸۱/۵	۳۳۱۲۸۶/۰	۳۵۱۲۸۷/۰	۴۵۰۸۴۰/۶	---	---	---	۳۲
		f_2	۳/۴	¾	۴/۷	۵/۷	۵/۸	---	---	---	
		P	۵۸/۱	۷۷/۰	۸۸/۷	۱۸/۶	۷۰/۸	---	---	---	
	MOSA	f_1	۲۳۶۵۴۷/۸	۲۵۹۱۲۵/۷	۲۶۶۵۸۵/۱	۳۲۸۵۸۵/۷	۳۷۵۴۰۹/۲	۴۷۹۸۸۹/۳	---	---	۳۳
		f_2	۴/۳	۴/۸	۶/۲	۶/۷	۹/۳	۹/۴	---	---	
		P	۸۷/۱	۹۶/۸	۲۲/۹	۳۵/۹	۵۸/۳	۲۱/۱	---	---	
P_5	NSGA-II	f_1	۳۰۸۰۳۷/۴	۳۳۶۹۹۲/۸	۳۶۳۴۹۳/۷	۴۳۸۱۱۸/۲	---	---	---	---	۲۶
		f_2	۴/۳	۴/۴	۵/۳	۵/۵	---	---	---	---	
		P	۸۶/۰	۶۳/۲	۵۴/۹	۳۲/۸	---	---	---	---	
	MOSA	f_1	۳۲۸۰۸۰/۳	۳۷۴۹۹۴/۰	۳۹۱۲۸۹/۰	۴۲۹۳۰۵/۱	---	---	---	---	۲۸
		f_2	۴/۷	۵/۲	۵/۴	۵/۶	---	---	---	---	
		P	۷۱/۰	۹۰/۶	۳۶/۶	۴۹/۹	---	---	---	---	

با توجه به نقش مهم قیمت‌گذاری و کیفیت محصولات در طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین، از مفهوم قیمت‌گذاری برای تعیین قیمت بهینه‌ی محصولات با توجه به سطح کیفی آن‌ها برای بیشینه-سازی کل سود زنجیره تأمین استفاده شده است. برای پژوهش-های بعدی، استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی ریاضی، استفاده از شبیه سازی گسسته-پیشامد برای شبیه‌سازی سایر پارامترهای هزینه در مدل و به کار بردن مدل ریاضی ارائه شده در مطالعه-های موردی کاربردی نظیر زنجیره تأمین محصولات فسادپذیر، پیشنهاد می‌شود.

۵- سپاسگزاری

این مقاله از یک پروژه‌ی پژوهشی انجام شده در دانشگاه آزاد اسلامی شعبه‌ی دماوند استخراج شده است. بدین‌وسیله مراتب سپاسگزاری خود را از آن واحد اعلام می‌کنیم.

منابع و مراجع

[1] Kazemi, S. M. M., & Taki, P. (2012). Discrete event simulation of Packed groceries logistics supply system. *2012 4th International Conference on Computer Modeling and Simulation (ICCMS 2012). HongKong, IPCSIT*, 22.

[2] Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T., & Fallah, S. (2014). Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications. *Omega*, *45*(0), 92–118. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2013.08.006

[3] Shapiro, J. (2006). *Modeling the supply chain*. Cengage Learning.

[4] Karnon, J., & Afzali, H. H. A. (2014). When to use discrete event simulation (DES) for the economic evaluation of health technologies? A review and critique of the costs and benefits of DES. *Pharmacoeconomics*, *32*(6), 547–558.

[5] Taki, P., & Kazemi, S. M. M. (2013). A Three Echelon Supply System: A Discrete Event Simulation. In *Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2013 International Conference on* (pp. 850–852). IEEE.

[6] Pidd, M. (1998). Computer simulation in management science.

[7] Li, X., & Wang, Q. (2007). Coordination mechanisms of supply chain systems. *European Journal of Operational Research*, *179*(1), 1–16.

[8] Fugate, B., Sahin, F., & Mentzer, J. T. (2006). Supply chain management coordination mechanisms. *Journal of Business Logistics*, *27*(2), 129–161.

[9] Xu, L., & Beamon, B. M. (2006). Supply chain coordination and cooperation mechanisms: an attribute-based approach. *Journal of Supply Chain Management*, *42*(1), 4–12.

[10] Thomas, D. J., & Griffin, P. M. (1996). Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research*, *94*(1), 1–15.

[11] Chopra, S., & Meindl, P. (2007). Supply chain management. Strategy, planning & operation. In *Das Summa Summarum des Management* (pp. 265–275). Springer.

[12] Xu, N., & Nozick, L. (2009). Modeling supplier selection and the use of option contracts for global supply chain design. *Computers & Operations Research*, *36*(10), 2786–2800. http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2008.12.013

[13] Azad, N., Saharidis, G. K. D., Davoudpour, H., Malekly, H., & Yektamaram, S. A. (2013). Strategies for protecting supply chain networks against facility and transportation disruptions: an improved Benders decomposition approach. *Annals of Operations Research*, *210*(1), 125–163.

[14] Azad, N., Davoudpour, H., Saharidis, G. K. D., & Shiripour, M. (2014). A new model to mitigating random disruption risks of facility and transportation in supply chain network design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *70*(9–12), 1757–1774.

[15] Singh, A. R., Mishra, P. K., Jain, R., & Khurana, M. K. (2012). Design of global supply chain network with operational risks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *60*(1–4), 273–290.

[16] Giri, B. C., & Bardhan, S. (2014). Coordinating a supply chain with backup supplier through buyback contract under supply disruption and uncertain demand. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, *1*(4), 193–204.

[17] Xu, M., Wang, X., & Zhao, L. (2014). Predicted supply chain resilience based on structural evolution against random supply disruptions. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, *1*(2), 105–117.

[18] Fang, H., & Xiao, R. (2014). Cycle quality chain early warning network with e-channel lead time disruption. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, *1*(1), 47–67.

[19] Yu, H., Sun, C., & Chen, J. (2007). Simulating the supply disruption for the coordinated supply chain. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, *16*(3), 323–335.