

تشریح مسأله

در این مسأله توزیع کننده کالا یک محصول را در چندین دوره از تأمین کنندگان مختلف خریداری می کند. تأمین کنندگان تخفیفات کلی پیشنهاد می دهند. توزیع کننده میتواند محصول را یکبار در هر دوره از هر تأمین کننده خریداری کند. برای حمل محصولات خریداری شده از محل تأمین کنندگان تا محل توزیع کننده چند نوع حمل کننده با ظرفیت های متفاوت وجود دارد. حمل کننده ها در طی افقی برنامه ریزی دچار خرابی می شوند. توزیع کننده محصول را به خرده فروشان محلی می فروشد و اقلام فروخته نشده در انتهای دوره (در صورت وجود) نگهداری و به دوره بعد منتقل می شوند. یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح جهت تعیین همزمان زمان های بهینه خرید، اندازه انباشته بهینه و انتخاب بهینه تأمین کننده و حمل کننده با هدف حداقل سازی هزینه کل وقتی که تقاضا احتمالی می باشد، ارائه شده است. سایر فرضیات مسأله به صورت زیر می باشد:

- تقاضا دارای توزیع پواسون می باشد.
- ظرفیت تولید کننده محدود است.
- کمبود پس افت مجاز است.
- قیمت هر واحد محصول به ازای هر تأمین کننده متفاوت است.
- تخفیف کلی برای هزینه خرید در نظر گرفته می شود.
- هزینه حمل و نقل برای حمل کننده های مختلف و تأمین کنندگان مختلف بخاطر ظرفیت حمل کننده و فاصله جغرافیایی محل توزیع کننده از محل تأمین کنندگان متغیر است.
- هزینه سفارش دهی برای هر دوره ای که در آن سفارشی انجام شود بکار می رود.
- حمل کننده ها دارای ظرفیت های متفاوت هستند. هر حمل کننده می تواند هر اندازه انباشته تا اندازه ظرفیت بار کامل کامیونش^۱ حمل کند.
- محصولاتی که به دوره های آتی منتقل می شوند متحمل هزینه نگهداری می شوند.

نمادهای بکار رفته در مدل ریاضی مسأله

از اندیس ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم زیر جهت توصیف مدل ریاضی مسأله استفاده شده است.

• اندیس ها

i : تامین کننده

m : سطح شکست قیمت

t : دوره زمانی

j : حمل کننده

• پارامترها

d_t : تقاضای محصول در دوره t

p_{imt} : هزینه خرید یک واحد محصول از تامین کننده i در سطح شکست قیمت m در دوره t

b_{imt} : مقدار محصول خریداری شده از تامین کننده i در سطح شکست قیمت m در دوره t

O_{it} : هزینه سفارش دهی از تامین کننده i در دوره t

t_{itj} : هزینه حمل و نقل حمل کننده j از تامین کننده i در دوره t

C_{it} : ظرفیت تامین کننده i در دوره t

\cap_{tj} : ظرفیت حمل بار کامل کامیون حمل کننده j در دوره t

v_{tj} : تعداد کل حمل کننده j در دسترس با ظرفیت بار کامل کامیون برابر در دوره t

h_t : هزینه نگهداری یک واحد محصول در دوره t

q_t : هزینه کمبود یک واحد محصول در دوره t

I_t : سطح موجودی در دوره t

I_t : مقدار کمبود در دوره t

• متغیرهای تصمیم

X_{imtj} : اندازه انباشته از تامین کننده i در سطح شکست قیمت m در دوره t با حمل کننده j

متغیر صفر و یک

(اگر سطح شکست قیمت m توسط تامین کننده i در دوره t وقتی حمل کننده j است رخ دهد مقدار

آن یک و در غیر این صورت صفر است.)

u_{imtj} : متغیر صفر و یک

(اگر حمل کننده j برای حمل اندازه انباشته خریداری شده از تأمین کننده i در سطح شکست قیمت m در دوره t انتخاب شود مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است).

z_{it} : متغیر صفر و یک

(اگر تأمین کننده i در دوره t سفارش گرفته باشد مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است).

* مدل سازی مسأله

تابع هدف به دنبال کمینه کردن مجموع هزینه های خریدار شامل هزینه خرید، هزینه سفارش دهی، هزینه نگهداری و هزینه حمل و نقل می باشد. هزینه سفارش دهی بستگی به این دارد که آیا سفارش صورت می گیرد یا خیر. به همین خاطر از متغیر باینری z_{it} در عبارت هزینه سفارش دهی استفاده شده است. همچنین هزینه سفارش دهی بستگی به اندازه حمل کننده و تأمین کننده ای دارد که از وی خریداری انجام شده است و از متغیر باینری u_{imtj} در عبارت هزینه حمل و نقل استفاده شده است.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_i \sum_m \sum_t \sum_j p_{imt} x_{imtj} + \sum_i \sum_t o_{it} z_{it} \\ & + \sum_i \sum_m \sum_t \sum_j t_{itj} u_{imtj} + \sum_t h_t I_t^+ + \sum_t q_t I_t^- \end{aligned}$$

محدودیت (۲-۳) معادلات تعادل سطح موجودی را نشان می دهد و بیان می کند که موجودی اولیه به علاوه مقدار خرید دوره جاری منهای مقدار اقلام مرجوعی برای برآورده کردن تقاضای دوره جاری و کمبود دوره قبلی استفاده می شود.

$$I_{t-1}^+ + \sum_i \sum_m \sum_j x_{imtj} - \tilde{d}_t - I_{t-1}^- = I_t^+ - I_t^-$$

محدودیت (۳-۳) تضمین می کند که اندازه انباشته خرید در هر دوره از مجموع تقاضای آن دوره و دوره های بعدی بیش تر نمی باشد.

$$x_{imtj} \leq \left(\sum_{k=t}^T \tilde{d}_k \right) z_{it} \quad \forall i, \forall m, \forall t, \forall j$$

محدودیت (۴-۳) تضمین می کند که مقدار محصول خریداری شده با یک سطح شکست قیمت مشخص در بازه تخفیف ارائه شده قرار دارد.

$$b_{i(m-1)t} y_{imtj} \leq x_{imtj} \leq b_{imt} y_{imtj} \quad \forall i, \forall m, \forall t, \forall j$$

محدودیت (۵-۳) محدودیت اندازه انباشته خرید را با توجه به ظرفیت تأمین کننده نشان می دهد.

$$x_{iMtj} \leq c_{it} y_{iMtj} \quad \forall i, \forall t, \forall j \quad (5-3)$$

محدودیت (۶-۳) تضمین می کند که فقط یک سطح شکست قیمت برای اندازه انباشته که از تأمین کننده i در دوره t خریداری می شود استفاده شود.

$$\sum_m \sum_j y_{imtj} = z_{it} \quad \forall i, \forall t \quad (6-3)$$

محدودیت (۷-۳) نشان می دهد که حمل کننده انتخاب شده نمی تواند اندازه انباشته ای بیش تر از ظرفیت بار کامل کامیون خود حمل کند.

$$x_{imtj} \leq \Omega_{tj} u_{imtj} \quad \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \quad (7-3)$$

محدودیت (۸-۳) محدودیت دسترسی به تعداد حمل کننده های با ظرفیت یکسان در یک دوره را نشان می دهد.

$$\sum_i \sum_m u_{imtj} \leq v_{tj} \quad \forall t, \forall j \quad (8-3)$$

محدودیت های (۹-۳) تا (۱۳-۳) متغیرهای غیرمنفی، عدد صحیح و باینری را نشان می دهد.

$$I_t^+, I_t^- \geq 0 \quad \forall t \quad (9-3)$$

$$x_{imtj} \geq 0, \text{integer} \quad \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \quad (10-3)$$

$$y_{imtj} \in \{0, 1\} \quad \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \quad (11-3)$$

$$u_{imtj} \in \{0, 1\} \quad \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \quad (12-3)$$

$$z_{it} \in \{0, 1\} \quad \forall i, \forall t \quad (13-3)$$

محدودیت (۱۴-۳) نوع توزیع احتمال تقاضا را نشان می دهد.

$$\tilde{d}_t \square POIS(\lambda) \quad \forall t \quad (14-3)$$

بنابراین مدل کلی مسأله به شکل زیر می باشد.

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_m \sum_t \sum_j p_{imt} x_{imtj} + \sum_i \sum_t o_{it} z_{it}$$

$$+ \sum_i \sum_m \sum_t \sum_j t_{itj} u_{imtj} + \sum_t h_t I_t^+ + \sum_t q_t I_t^-$$

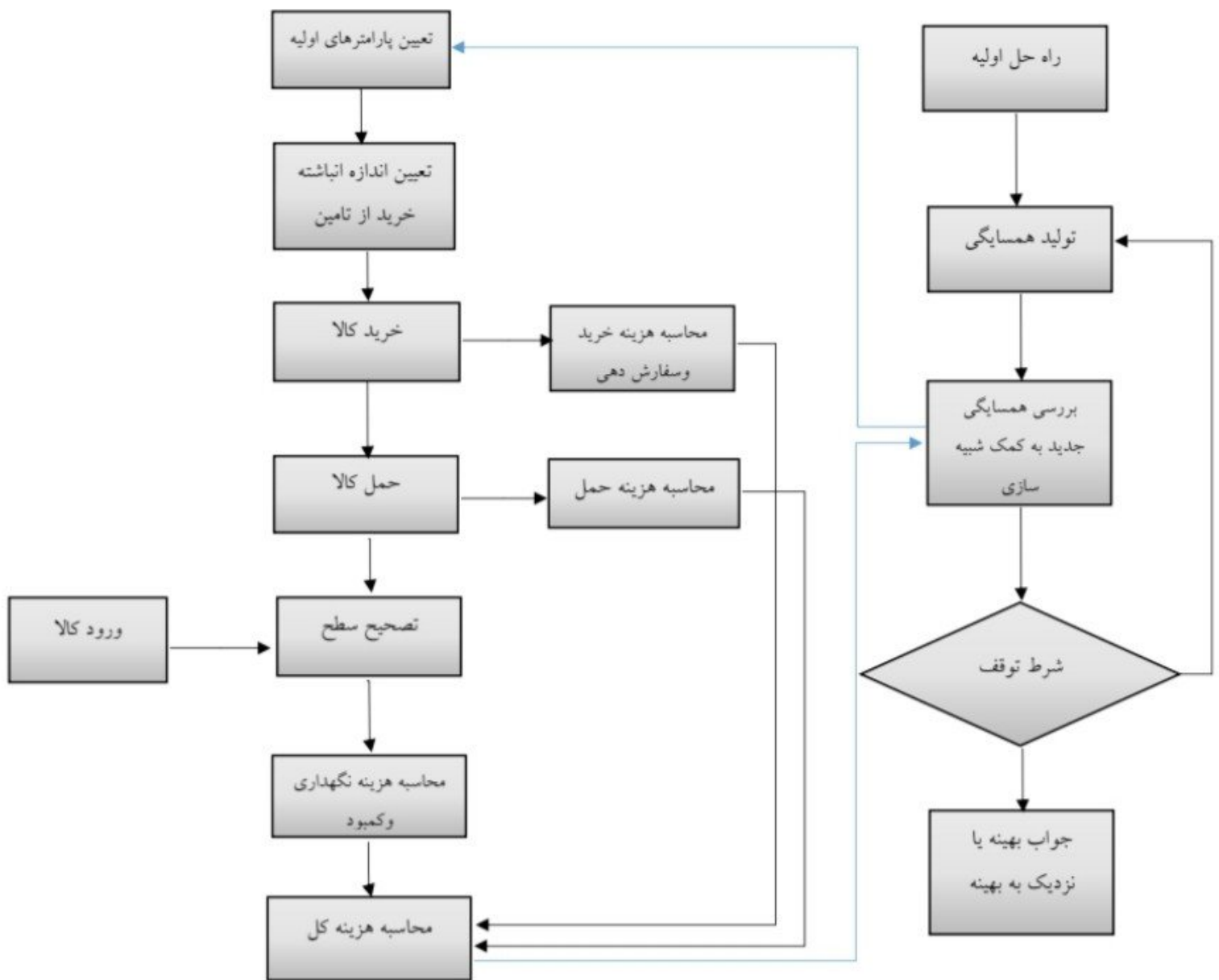
s.t.

$$\begin{aligned}
I_{t-1}^+ + \sum_i \sum_m \sum_j x_{imtj} - \tilde{d}_t - I_{t-1}^- &= I_t^+ - I_t^- \\
x_{imtj} &\leq (\sum_{k=t}^T \tilde{d}_k) z_{it} && \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \\
b_{i(m-1)t} y_{imtj} &\leq x_{imtj} \leq b_{imt} y_{imtj} && \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \\
x_{iMtj} &\leq c_{it} y_{iMtj} && \forall i, \forall t, \forall j \\
\sum_m \sum_j y_{imtj} &= z_{it} && \forall i, \forall t \\
x_{imtj} &\leq \Omega_{tj} u_{imtj} && \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \\
\sum_i \sum_m u_{imtj} &\leq v_{tj} && \forall t, \forall j \\
I_t^+, I_t^- &\geq 0 && \forall t \\
x_{imtj} &\geq 0, \text{integer} && \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \\
y_{imtj} &\in \{0, 1\} && \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \\
u_{imtj} &\in \{0, 1\} && \forall i, \forall m, \forall t, \forall j \\
z_{it} &\in \{0, 1\} && \forall i, \forall t \\
\tilde{d}_t &\square POIS(\lambda) && \forall t
\end{aligned}$$

۳-۳- رویکرد پیشنهادی

هدف این پژوهش، تعیین اندازه انباشته بهینه و انتخاب بهینه تأمین‌کننده و حمل‌کننده به‌گونه‌ای است که در یک افق برنامه‌ریزی مجموع هزینه‌های خرید، سفارش‌دهی، نگهداری، کمبود و حمل‌ونقل حداقل شود. از معروف‌ترین ابزارهایی که در شناسایی رفتار سیستم تصادفی به‌کار می‌رود شبیه‌سازی می‌باشد (کلتون و همکاران، ۱۳۹۲). به‌دلیل فرض عدم قطعیت پارامترهای مسأله و در نتیجه پیچیدگی حل تحلیلی آن امکان استفاده از بهینه‌سازی بر مبنای شبیه‌سازی فراهم می‌شود (سجادی، ۱۳۸۹). الگوریتم شبیه‌سازی تبرید الگوریتمی ساده جهت حل مسائل پیچیده است و به‌جواب بهینه سراسری همگرا می‌شود (عشقی و کریمی نسب، ۱۳۹۱). هم‌چنین این الگوریتم کارایی بالایی در حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی (مسائل بهینه‌سازی با متغیر تصمیم گسسته) دارد (فتاحی، ۱۳۹۰). بنابراین ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ارنا مسأله شبیه‌سازی می‌شود و سپس الگوریتم شبیه‌سازی تبرید جهت بهینه‌سازی متغیرهای تصمیم به‌کار گرفته می‌شود.

ابتدا پارامترهای اولیه مسأله تعیین مقدار می گردند. تقاضا با فاصله زمانی ثابت برابر با مقدار زمانی یک دوره (در ابتدای هر دوره) به سیستم وارد می شود. مقدار تقاضا احتمالی می باشد. با ورود تقاضا سطح موجودی کاهش می یابد. چنانچه موجودی کافی در دسترس باشد تقاضا تأمین می گردد، در غیر این صورت به شکل تقاضای پس افت در سیستم منتظر خواهد ماند. خرید کالا از تأمین کنندگان در ابتدای هر دوره صورت می گیرد. قیمت واحد کالا بازای هر تأمین کننده متفاوت است و تأمین کنندگان تخفیفات کلی برای خرید پیشنهاد می دهند. برای حمل کالاهای خریداری شده از حمل کننده های با ظرفیت متفاوت استفاده می شود. هم چنین فرض احتمالی بودن زمان کارکرد و خرابی حمل کننده ها به مدل اضافه می گردد. هزینه حمل براساس ظرفیت حمل کننده و محل تأمین کنندگان متفاوت است. با انجام خرید سطح موجودی افزایش می یابد. موجودی اضافی به دوره بعدی منتقل می شود و شامل هزینه نگهداری می شوند. هزینه کل شامل هزینه های سفارش دهی، خرید، نگهداری، کمبود و حمل و نقل می باشد. هزینه کل در طول افق برنامه ریزی معیار عملکردی سیستم و خروجی شبیه سازی می باشد. پس از شبیه سازی مدل در نرم افزار ارنا به بهینه سازی متغیرهای تصمیم با استفاده از الگوریتم فراابتکاری تبرید پرداخته می شود. الگوریتم فراابتکاری تبرید با ایجاد همسایگی و تغییر مقادیر متغیرهای تصمیم در جهت بهبود تابع هدف حرکت می کند و تا رسیدن به جواب بهینه یا نزدیک به بهینه ادامه خواهد داشت. در شکل (۳-۱) مدل مفهومی رویکرد بهینه سازی شبیه سازی نشان داده شده است.



شکل ۳-۱ مدل مفهومی رویکرد بهینه سازی شبیه سازی

۳-۵- شبیه سازی مسأله

شبیه سازی مسأله اندازه بندی انباشته و انتخاب تأمین کنندگان و حمل کنندگان دارای مراحل زیر می باشد:

- تعیین متغیرها و پارامترهای مدل
- ورود تقاضای کالا
- خرید و حمل کالاها از تأمین کننده ۱
- خرید و حمل کالاها از تأمین کننده ۲
- خرید و حمل کالاها از تأمین کننده ۳
- ورود نهاده جهت محاسبه هزینه نگهداری و کمبود پس افت
- ورود نهاده جهت محاسبه هزینه کل

• تعیین زمان کارکرد و خرابی حمل کننده ها

اجزای سازنده مدل های ارتا که فرآیند شبیه سازی را تعریف می کنند. ماژول ها هستند که از دو نوع فلوچارت ماژول و دیتا ماژول تشکیل می شوند. فلوچارت ماژول ها فرآیندهای پویای مدل را توصیف می کنند و روی صفحه مدل نمایش می یابند. آنها مثل مکان هایی هستند که ورودی ها در آنها جریان دارند. دیتا ماژول ها ویژگی های اجزای عملیاتی مختلف را توصیف می کنند و قابلیت نمایش روی صفحه مدل را ندارند (کلتون و همکاران، ۱۳۹۲).

در مدل شبیه سازی این مسأله از فلوچارت ماژول های Create ، assign ، Seize ، release و dispose و دیتا ژول های Variable ، failure ، resource ، attribute ، expression و Set استفاده شده است.