

ارائه مدل بهینه‌سازی استوار شبکه یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس در شرایط عدم قطعیت

محمد مهدی پایدار^{۱*}، ابوالقاسم یوسفی بابادی^۲، اشکان داودی^۳
دانشگاه صنعتی بابل، دانشگاه یزد، دانشگاه علوم و فنون
مازندران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵

چکیده

امروزه از جمله مباحث مطروحه صنایع مختلف در حوزه لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین، موضوع "لجستیک معکوس" و "مدیریت بازگشتی‌ها" است؛ امری که تاکنون در صنایع مختلف کشورمان به آن توجه جدی نشده است. اخیراً، شرکت‌ها و صنایع بسیاری در کشورهای پیشرفته بررسی در این زمینه را آغاز کرده و لجستیک معکوس را یکی از فرآیندهای مهم در زنجیره تأمین خود در نظر گرفته‌اند. عمده‌ترین هدف یک سیستم لجستیک معکوس، استمرار بهبود و رضایت‌مندی مصرف‌کننده است. طراحی شبکه لجستیک معکوس به‌عنوان یکی از تصمیم‌های سطح راهبردی مدیریت زنجیره تأمین از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در این مقاله یک مدل یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس شامل مراکز تولید، توزیع، مشتری، جمع‌آوری، انهدام و احیا در شرایط عدم قطعیت توسعه داده شده است. در این مدل پارامترهای هزینه قطعی نبوده و از روش بهینه‌سازی استوار تحت سناریو استفاده شده است. هدف مدل مذکور کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم و یافتن جوابی استوار است. در نهایت، یک مطالعه موردی جهت اعتبارسنجی مدل پیشنهادی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین، لجستیک مستقیم، لجستیک معکوس، بهینه‌سازی استوار.

۱- مقدمه

در این مقاله بر یک مدل یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس و قطعی کردن آن به روش بهینه‌سازی استوار^۴ بحث می‌شود. در گذشته پیرامون مدل‌های یکپارچه بحث‌های بسیاری شده، اما بیشتر به‌صورت غیرقطعی

بوده‌اند و کمتر به‌صورت قطعی درآمده است. آراس و همکاران^۵ به ارائه یک مدل غیرخطی برای تعیین محل مراکز جمع‌آوری محصولات مصرف‌شده در یک شبکه لجستیک معکوس پرداخته‌اند [۳]. آنها برای حل این مدل از یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای روش جستجوی ممنوع^۶ استفاده کردند. یوستر و همکاران^۷ یک شبکه نیمه یکپارچه که در آن شبکه لجستیک مستقیم موجود فرض شده و فقط مراکز جمع‌آوری و احیا در لجستیک معکوس مکان‌یابی می‌شوند را طراحی کرده‌اند، اما در آنها جریان مستقیم و معکوس هم‌زمان بهینه می‌شوند [۴].

*۱- استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی بابل، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: paydar@nit.ac.ir؛ نشانی: مازندران، شهرستان بابل، خیابان شریعتی، دانشگاه صنعتی بابل، گروه مهندسی صنایع، کدپستی: ۴۷۱۴۸۷۱۱۶۷

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه یزد، پست‌الکترونیکی: a.yousefi@stu.yazd.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه علوم و فنون مازندران، پست‌الکترونیکی: a.davoudi@ustmb.ac.ir

4- Robust

5- Aras et al
6- Tabu Search
7- Uster et al.

احیا به مراکز احیا حمل شده و در آنجا بر حسب کیفیت، عملیات ساخت مجدد (تعمیر) روی آنها انجام گرفته و در غیر این صورت عملیات جداسازی روی محصولات برگشتی انجام گرفته و قطعات قابل استفاده آنها در عملیات تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند. محصولات قراضه نیز به مرکز انهدام حمل شده و عملیات انهدام ایمن روی آنها صورت می‌پذیرد.

این شبکه تحت حمایت انواع صنایع مانند صنایع تولید تجهیزات الکترونیکی و دیجیتالی، صنایع تولید وسایل نقلیه و سایر صنایع مشابه می‌باشد. نکته مهم دیگر، استفاده از تسهیلات ترکیبی توزیع و جمع‌آوری است. این تسهیلات در جریان مستقیم، نقش مراکز توزیع و در جریان معکوس، نقش مراکز جمع‌آوری را ایفا می‌کند. استفاده از این تسهیلات باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های احداث و نگهداری می‌شود.

از عوامل مهمی که باید در طراحی مدل مورد توجه قرار گیرد می‌توان به عدم قطعیت در پارامترهای طراحی شبکه اشاره کرد. این امر در طراحی شبکه‌های لجستیک معکوس تشدید می‌شود. به‌طور کلی پارامترهای مهمی هم‌چون تقاضای مشتریان، میزان و کیفیت برگشتی‌ها، هزینه‌های حمل‌ونقل و برخی پارامترهای دیگر از عدم قطعیت بالایی برخوردارند. تاکنون روش‌های حل مختلفی بر پایه تئوری احتمال، تئوری فازی و بهینه‌سازی استوار بر مقابله با عدم قطعیت در پارامترها توسعه داده شده است [۲]. در این مقاله برای حل این موضوع از روش بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو^۵ استفاده شده است. در این مدل، تقاضای مشتریان، مقدار و کیفیت بازگشتی‌ها و هزینه‌های حمل‌ونقل دارای عدم قطعیت فرض می‌شوند.

۲-۱- مدل پیشنهادی

مجموعه‌ها

I = مجموعه نقاط کاندیدا برای مراکز تولید و احیا $i \in I$

J = مجموعه نقاط کاندیدا برای تسهیلات ترکیبی توزیع و جمع‌آوری $j \in J$

K = مجموعه نقاط مشتریان $k \in K$

M = مجموعه نقاط کاندیدا برای مراکز انهدام $m \in M$

Ω = مجموعه سناریوهای در نظر گرفته شده $s \in \Omega$

اقدام به طراحی لجستیک مستقیم و معکوس به‌طور جداگانه و غیر هم‌زمان می‌تواند موجبات زیر بهینگی را فراهم آورد. طراحی یکپارچه شبکه لجستیک می‌تواند در جهت نیل به یکپارچگی مورد نظر قرار گیرد. فلیسچمن و همکاران^۱ نشان دادند که طراحی شبکه لجستیک به‌طور یکپارچه و هم‌زمان در مقایسه با رویکرد سنتی می‌تواند موجب صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها گردد [۵]. مطلب دیگری که در یکپارچه‌سازی لجستیک مستقیم و معکوس مورد توجه قرار گرفته، استفاده از تسهیلات ترکیبی انبار، جمع‌آوری یا انبار و تعمیر است. به لحاظ تاریخی، بهینه‌سازی در شرایط غیرقطعی در اواخر دهه ۱۹۵۰ شروع شده و هم‌زمان در زمینه تئوری و الگوریتم به‌سرعت پیشرفت کرد. رویکردهای بسیاری برای بهینه‌سازی در شرایط غیرقطعی مورد استفاده قرار گرفته که از آن جمله، کمینه کردن امید ریاضی، کمینه کردن انحراف از آرمان‌ها، کمینه کردن بیش‌ترین هزینه‌ها را می‌توان نام برد. در این میان می‌توان سه رویکرد اصلی برنامه‌ریزی احتمالی^۲، برنامه‌ریزی فازی^۳ و برنامه‌ریزی پویای احتمالی^۴ را متمایز کرد. در اواسط دهه ۱۹۵۰ برنامه‌ریزی احتمالی به‌عنوان یک رویکرد برای مدل کردن عدم قطعیت داده‌ها معرفی شده است [۱]. در این مقاله با ارائه یک مدل یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس قابلیت یافتن جوابی استوار در مقابل شرایط عدم قطعیت با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار تحت سناریو مشخص می‌گردد.

۲- طراحی مدل یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس

شبکه مورد بررسی، یک شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس با قابلیت حمایت از انواع صنایع را دارد که در شبکه لجستیک معکوس آنها احیا و بازیافت محصولاتی که در پایان عمر قرار دارند، انجام می‌گیرد. در مدل طراحی شده در جریان مستقیم، کالاهای تولیدشده از مراکز تولید به مراکز توزیع و از آنجا به مشتریان منتقل می‌شوند. در جریان معکوس، محصولات برگشتی پس از جمع‌آوری و بازرسی به دو گروه محصولات قابل احیا و محصولات قراضه تقسیم می‌شوند (شکل ۱).

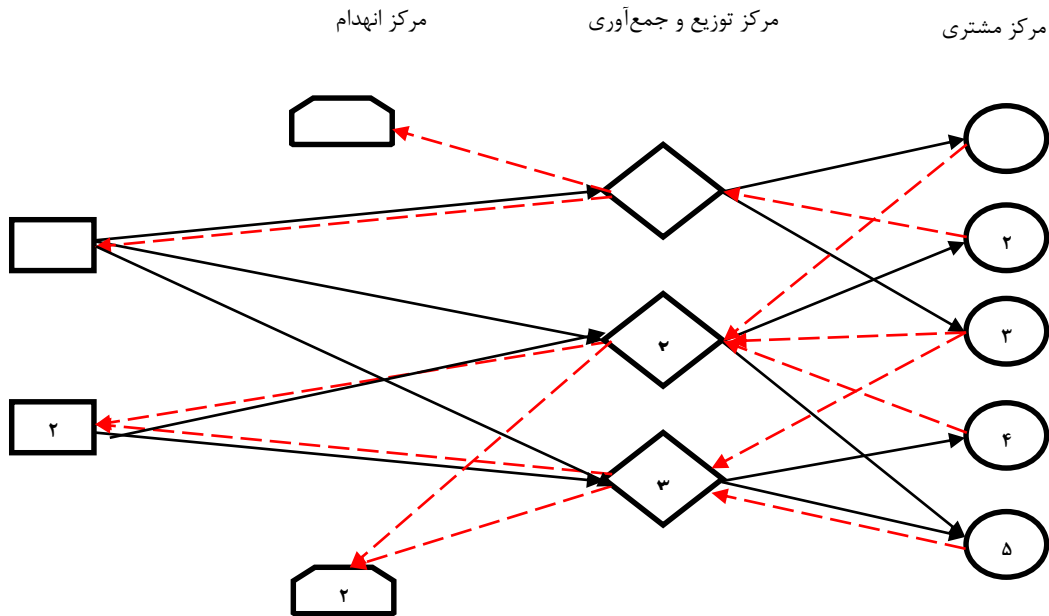
1- Fleischmann et al

2- Stochastic Programming

3- Fuzzy Programming

4- Stochastic Dynamic Programming

5- Scenario Based Robust Optimization



شکل (۱): ساختار شبکه لجستیک یکپارچه مورد بررسی (تمام مراکز با هم در ارتباط هستند)

پارامترها

- d_{ks} = تقاضای مرکز مشتری k تحت سناریوی s
- re_{ks} = نرخ بازگشتی از مرکز مشتری k تحت سناریوی s
- r = متوسط کسر محصولات انهدامی $= c_{ijs}$ هزینه حمل یک واحد محصول از مرکز تولید و احیای i به مرکز توزیع و جمع‌آوری j تحت سناریوی s
- α_{jks} = هزینه حمل یک واحد محصول از مرکز توزیع و جمع‌آوری j به مرکز مشتری k تحت سناریوی s
- b_{kjs} = هزینه جمع‌آوری یک واحد محصول برگشتی از مرکز مشتری k به مرکز توزیع و جمع‌آوری j تحت سناریوی s
- e_{jis} = هزینه حمل یک واحد محصول برگشتی از مرکز توزیع و جمع‌آوری j به مرکز تولید و احیای i تحت سناریوی s
- P_{jms} = هزینه حمل یک واحد محصول برگشتی از مرکز توزیع و جمع‌آوری j به مرکز انهدام m تحت سناریوی s
- f_i = هزینه ثابت احداث مرکز تولید و احیای در نقطه i
- g_j = هزینه ثابت احداث تسهیل ترکیبی توزیع و جمع‌آوری در نقطه j
- h_m = هزینه ثابت احداث مرکز انهدام در نقطه m
- CW_i = ظرفیت تولید در مرکز تولید و احیای i
- CY_i = ظرفیت پخش در مرکز توزیع و جمع‌آوری j
- CZ_m = ظرفیت نابودی در مرکز انهدام m

CY_i = ظرفیت جمع‌آوری در مرکز توزیع و جمع‌آوری j
 CW_i = ظرفیت تعمیر در مرکز تولید و احیای i

متغیرها

- W_i = ۱ اگر مرکز تولید و احیای در نقطه i احداث شود، ۰ در غیر این صورت
- Y_j = ۱ اگر تسهیل ترکیبی توزیع و جمع‌آوری در نقطه j احداث شود، ۰ در غیر این صورت
- Z_m = ۱ اگر مرکز انهدام در نقطه m احداث شود، ۰ در غیر این صورت
- X_{ijs} = مقدار محصولی که از مرکز تولید و احیای i به مرکز توزیع و جمع‌آوری j تحت سناریوی s حمل می‌شود
- U_{jks} = مقدار محصولی که از مرکز توزیع و جمع‌آوری j به مرکز مشتری k تحت سناریوی s حمل می‌شود
- Q_{kjs} = مقدار محصول برگشتی که از مرکز مشتری k به مرکز توزیع و جمع‌آوری j تحت سناریوی s حمل می‌شود
- V_{jis} = مقدار محصول برگشتی که از مرکز توزیع و جمع‌آوری j به مرکز تولید و احیای i تحت سناریوی s حمل می‌شود
- T_{jms} = مقدار محصول برگشتی که از مرکز توزیع و جمع‌آوری j به مرکز انهدام m تحت سناریوی s حمل می‌شود.

$$\begin{aligned}
\text{Min } F_s = & \sum_{i \in I} f_i w_i + \sum_{j \in J} g_j y_j + \sum_{m \in M} h_m z_m \\
& + \sum_{s \in \Omega} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ijs} X_{ijs} + \sum_{s \in \Omega} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \alpha_{jks} U_{jks} \\
& + \sum_{s \in \Omega} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} b_{kjs} Q_{kjs} + \sum_{s \in \Omega} \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} e_{jis} V_{jis} \\
& + \sum_{s \in \Omega} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} p_{jms} T_{jms}
\end{aligned} \tag{1}$$

محدودیت‌ها

$$\begin{aligned}
\sum_{j \in J} U_{jks} & \geq d_{ks} & \forall k \in K, s \in \Omega & \tag{2} \\
\sum_{j \in J} Q_{kjs} & \geq r_{ks} d_{ks} & \forall k \in K, s \in \Omega & \tag{3} \\
\sum_{i \in I} X_{ijs} - \sum_{k \in K} U_{jks} & = 0 & \forall j \in J, s \in \Omega & \tag{4} \\
\sum_{i \in I} V_{jis} - (1-r) \sum_{k \in K} Q_{kjs} & = 0 & \forall j \in J, s \in \Omega & \tag{5} \\
\sum_{m \in M} T_{jms} - r \sum_{k \in K} Q_{kjs} & = 0 & \forall j \in J, s \in \Omega & \tag{6} \\
\sum_{j \in J} V_{jis} - \sum_{j \in J} X_{ijs} & \leq 0 & \forall i \in I, s \in \Omega & \tag{7} \\
\sum_{j \in J} X_{ijs} & \leq c w_i W_i & \forall i \in I, s \in \Omega & \tag{8} \\
\sum_{i \in I} X_{ijs} & \leq c y_j Y_j & \forall j \in J, s \in \Omega & \tag{9} \\
\sum_{k \in K} Q_{kjs} & \leq c y_r Y_j & \forall j \in J, s \in \Omega & \tag{10} \\
\sum_{j \in J} V_{jis} & \leq c w_r W_i & \forall i \in I, s \in \Omega & \tag{11} \\
\sum_{m \in M} T_{jms} & \leq c z_m Z_m & \forall j \in J, s \in \Omega & \tag{12} \\
W_i, Y_j, Z_m & \in \{0,1\} & \forall i \in I, \forall j \in J, \forall m \in M & \tag{13} \\
X_{ij}, U_{jk}, Q_{kj}, V_{ji} & \geq 0, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall m \in M, \forall k \in K & \tag{14}
\end{aligned}$$

تمام مراکز توزیع حداقل باید برآورده‌کننده تقاضای مشتریان باشد. محدودیت (۳) حداقل میزان کالای برگشتی توسط مشتری k ام را تضمین می‌کند. محدودیت (۴) تعادل در مراکز توزیع در سیستم لجستیک مستقیم را بیان می‌دارد. محدودیت (۵) تعادل در مراکز توزیع در سیستم لجستیک معکوس که به سمت مراکز احیا ارسال می‌شود را شرح می‌دهد. محدودیت (۶) تعادل در مراکز توزیع در سیستم لجستیک معکوس که به سمت مراکز انهدام ارسال می‌شود را بیان می‌دارد. محدودیت (۷) تعادل در مراکز تولید و احیا در سیستم یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس را مشخص می‌کند. محدودیت (۸) ظرفیت تولید در مراکز تولید در سیستم لجستیک مستقیم و هم‌چنین

تابع هدف مدل (۱)؛ کمینه‌کننده هزینه‌ها است. این هزینه‌ها شامل: هزینه ثابت احداث مراکز تولید و احیا، هزینه ثابت احداث تسهیلات ترکیبی توزیع و جمع‌آوری، هزینه ثابت احداث مراکز انهدام، هزینه حمل محصولات از مراکز تولید و احیا به مراکز توزیع و جمع‌آوری، هزینه حمل محصولات از مراکز توزیع و جمع‌آوری به مراکز مشتری، هزینه جمع‌آوری محصولات برگشتی از مراکز مشتری به مراکز توزیع و جمع‌آوری، هزینه حمل محصولات برگشتی از مراکز توزیع و جمع‌آوری به مراکز تولید و احیا و هزینه حمل محصولات برگشتی از مراکز توزیع و جمع‌آوری به مراکز انهدام می‌باشد. محدودیت (۲) بیان می‌دارد که مجموع توزیع کالاها در

امکان‌سنجی تأسیس آن مرکز تولید را توضیح می‌دهد. محدودیت (۹) ظرفیت توزیع محصولات تولیدی در مراکز توزیع در سیستم لجستیک مستقیم و همچنین امکان‌سنجی تأسیس آن مرکز را بیان می‌دارد. محدودیت (۱۰) ظرفیت جمع‌آوری محصولات عودتی در مراکز جمع‌آوری در سیستم لجستیک معکوس و همچنین امکان‌سنجی تأسیس آن مرکز جمع‌آوری را تبیین می‌کند. محدودیت (۱۱) ظرفیت بازسازی مراکز احیا در سیستم لجستیک معکوس و همچنین امکان‌سنجی تأسیس آن مرکز را بیان می‌دارد. محدودیت (۱۲) ظرفیت تخریب مراکز انهدام در سیستم لجستیک معکوس و همچنین امکان‌سنجی تأسیس آن مرکز را مشخص می‌کند. محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) جنس متغیرهای تصمیم را توضیح می‌دهد.

در مقایسه انجام‌گرفته در مقاله پیشوایی و همکاران^۱ [۶] نشان داده شده است که در هشت سناریوی در نظر گرفته‌شده، مدل قطعی در شش سناریو به جواب غیرموجه منتج شده است که این امر هزینه‌های زیادی را در برداشته است. در عوض به ازای سناریوی اصلی (داده‌های قطعی) مدل قطعی جواب‌های با کیفیت‌تری را تولید می‌کند. این نتایج مشخص می‌کنند که استفاده از رویکرد احتمالی موجب کاهش ریسک می‌شود، اما در عوض برای کاهش ریسک، هزینه‌های بیشتری را محتمل خواهد شد.

۳- قطعی کردن مدل به روش بهینه‌سازی استوار

غیر محتمل است که جواب مدل (۱) برای همه سناریوهای $\Omega \in \Omega$ ، هم موجه و هم بهینه باشد. به عبارتی، در یک مدل لازم است که مبادله بین استواری مدل و استواری جواب قابل بررسی و قابل سنجش باشد. در ادامه به معرفی روش بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو پرداخت و در ادامه نحوه به‌کارگیری آن برای مدل پیشنهادی بیان می‌گردد.

۳-۱- مدل استوار مبتنی بر سناریو

از نظر مالی و همکاران دو تعریف مهم در حوزه مدل استوار وجود دارد: جواب استوار و مدل استوار که در زیر به هر یک اشاره می‌گردد:

یک جواب برای مدل بهینه‌سازی، جوابی استوار نامیده

می‌شود، اگر آن جواب برای همه سناریوهای داده‌های ورودی مدل نزدیک به بهینه باقی بماند، تقریباً برای همه سناریوهای داده‌های ورودی موجه می‌باشد [۷]، [۸].

با توجه به این مفاهیم و تعاریف ارائه شده، یک فرموله‌بندی مدل عمومی بهینه‌سازی استوار را توسعه داده‌اند. در این روش در مواجهه با مدل‌های بهینه‌سازی دو بخش مجزا به شرح زیر قابل ارائه می‌باشد:

۱- بخش ساختاری: که ثابت است و فاقد هرگونه نویز و پارازیت در داده‌های ورودی آن می‌باشد.

۲- بخش کنترل: که تابع دستخوش داده‌های نویزی و نوسانی است.

هم‌چنین دو مجموعه از متغیرها قابل تعریف هستند: XER^{n1} : بیانگر بردار متغیرهای تصمیم و مشروط به تحقق یافتن پارامترهای نامطمئن نیستند. اینها در حقیقت متغیرهای طراحی هستند.

YER^{n2} : بیانگر متغیرهای تصمیم کنترل^۲ است که مستعد تنظیم پارامترهای نامطمئن هستند. مقادیر بهینه این متغیرها وابسته به تحقق یافتن پارامترهای نامطمئن و مقادیر بهینه متغیرهای طراحی هستند.

مدل بهینه‌سازی دارای ساختاری به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Min} \quad C^T X + d^T Y \quad (15)$$

$$\text{subject to} \quad AX = b \quad (16)$$

$$BX + CY = e \quad (17)$$

$$X, Y \geq 0 \quad (18)$$

محدودیت (۱۶) بیانگر محدودیت‌های ساختاری^۳ است که ضرایب آن ثابت و فاقد هرگونه نویز و نوسان هستند. محدودیت (۱۷) بیانگر محدودیت‌های کنترل^۴ هستند. ضرایب این محدودیت در برگیرنده حالت نویزی و نوسانی هستند. محدودیت (۱۸) بیانگر اطمینان از بردارهای نامنفی می‌باشد. به‌منظور تعریف مسئله بهینه‌سازی استوار مجموعه‌ای از سناریوها بدین شکل تعریف می‌شود:

$$\Omega = \{1, 2, 3, \dots, S\}$$

متناسب با هر سناریو $s \in \Omega$ و مجموعه $\{B_s, C_s, e_s\}$

$\{d_s\}$ از تحقق یافتن را می‌توان مرتبط دانست و احتمال رخداد هر سناریو p_s می‌باشد.

$$\sum_{s=1}^S p_s = 1 \quad (19)$$

2- Control Variables
3- Structural Constraints
4- Control Constrains

1- Pishvae et al

تصمیم‌گیری چند معیاره مدل شوند.

واژه $\sigma(X, Y_1, Y_2, \dots, Y_S)$ به‌وسیله مالوی و همکاران ارائه‌شده شامل مقدار میانگین و به‌علاوه مقدار ثابت λ ضرب در واریانس آن است، به‌طوری که داریم:

$$\sigma(X, Y_1, Y_2, \dots, Y_S) = \sum_{s=1}^S p_s \times \xi_s + \lambda \times \left[\sum_{s=1}^S p_s \times \left(\xi_s - \sum_{s=1}^S p_s \times \xi_s \right)^2 \right] \quad (24)$$

واضح است که عبارت فوق شامل بخشی است که دارای توان دوم است و شکلی کوادراتیک در مدل‌سازی می‌باشد. بر این اساس یو و لی بیان می‌دارند که عبارت $\sigma(X, Y_1, Y_2, \dots, Y_S)$ ارائه‌شده توسط مالوی و همکاران نیازمند محاسبات زیادی است. آنان فرموله‌بندی زیر را به جای آن ارائه نمودند [۱۰]:

$$\sigma(X, Y_1, Y_2, \dots, Y_S) = \sum_{s=1}^S p_s \times \xi_s + \lambda \times \sum_{s=1}^S p_s \times \left| \xi_s - \sum_{s=1}^S p_s \times \xi_s \right| \quad (25)$$

اما این تابع هدف هنوز هم غیرخطی است ولی قابل تبدیل به تابع خطی با اضافه کردن دو متغیر انحراف غیرمنفی می‌باشد. بنا به پیشنهاد یو و لی، به جای حداقل کردن مرجع انحرافات مطلق از میانگین دو تابع فوق، با توجه به محدودیت‌ها دو متغیر انحراف حداقل می‌گردد. اما یو و لی یک روش کارا بر اساس روش حل مسائل برنامه‌ریزی آرمانی را ارائه می‌کنند. رویکرد یو و لی بدین شکل می‌باشد [۱۰]:

$$\text{Min} = \sum_{s=1}^S p_s \times \xi_s + \lambda \times \left[\sum_{s=1}^S p_s \times \left(\left(\xi_s - \sum_{s=1}^S p_s \times \xi_s \right) + 2 \times \theta_s \right) \right] \quad (26)$$

subject to

$$\xi_s - \sum_{s'=1}^S p_{s'} \times \xi_{s'} + \theta_s \geq 0 \quad (27)$$

$$\theta_s \geq 0 \text{ and integer} \quad (28)$$

روش پیشنهادی یو و لی مدل استوار را تبدیل به یک مدل خطی که $n+m$ متغیر اضافی دارد (n تعداد سناریوها و m تعداد محدودیت‌های کنترل است) می‌کند درحالی‌که مدل پیشنهادی مالوی و همکاران $2m+2n$ متغیر نیاز دارد [۱۱].

جواب بهینه مدل ریاضی فوق به لحاظ بهینگی، استوار خواهد بود، اگر به ازای هر تحقق یافتن سناریو نزدیک به بهینه باقی بماند و این استواری جواب نامیده می‌شود. هم‌چنین جواب در قبال موجه بودن استوار است، اگر جواب به ازای هر تحقق یافتن از S تقریباً موجه باشد، این استواری مدل نامیده می‌شود. غیر محتمل است که جواب برای مدل (۱۵) برای همه سناریوهای $SE\Omega$ ، هم موجه و هم بهینه باشد. به عبارتی در یک مدل لازم است که مبادله بین استواری مدل و استواری جواب قابل بررسی و قابل سنجش باشد. مدل بهینه‌سازی ارائه‌شده در بخش بعد روشی را برای سنجش این مبادله ارائه می‌کند [۸]. صورت کلی مدل بهینه‌سازی استوار مالوی و همکاران به شرح زیر است:

$$\text{Min} \quad (20)$$

$$\sigma(X, Y_1, Y_2, \dots, Y_S) + \omega p(Z_1, Z_2, \dots, Z_S)$$

$$\text{subject to} \quad AX = b \quad (21)$$

$$B_s X + C_s Y_s + Z_s = e_s \quad \text{for all } s \in \Omega \quad (22)$$

$$X, Y \geq 0 \quad \text{for all } s \in \Omega \quad (23)$$

در مدل استوار (۲۰) مجموعه $\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_s\}$ مجموعه‌ای از متغیرهای کنترل برای هر سناریو $s \in \Omega$ ، است. هم‌چنین $\{Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_S\}$ مجموعه‌ای از بردارهای خطا است که ناموجهی مجاز در محدودیت‌های کنترل تحت سناریوی s را اندازه‌گیری می‌کنند. با توجه به سناریوهای چندگانه، تابع هدف $\xi = C^T X + d^T Y$ متغیری تصادفی است که مقدار $\xi_s = C^T X + d^T Y_s$ را با احتمال p_s می‌گیرد. مبادله بین استواری جواب و استواری مدل به کمک مفهوم تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ تعیین می‌شود. در حقیقت مدل بهینه‌سازی استوار فوق قادر است میزان این مبادله را بسنجد [۱۰].

عبارت دوم در تابع هدف یعنی $p(Z_1, Z_2, \dots, Z_S)$ یک تابع جریمه موجه بودن است که به منظور جریمه کردن نقض و تخطی از محدودیت‌های کنترل را با توجه به برخی از سناریوها مد نظر قرار می‌دهد. نقض و تخطی از محدودیت‌های کنترل به این مفهوم است که جواب غیرموجه برای یک مسئله در برخی از سناریوها حاصل سنجیده می‌شود. به کمک وزن ω توازن و مبادله بین استواری جواب و استواری مدل می‌تواند تحت فرآیند

۲-۳- مدل پیشنهادی استوار

همان‌طوری که بیان شد تابع هدف اول دارای پارامترهای هزینه‌ای است که دارای عدم قطعیت می‌باشند که می‌توان با روش بهینه‌سازی استوار بازنویسی نمود:

$$\text{Min } Z = \sum_{s \in \Omega} p_s \cdot F_s + \lambda \sum_{s \in \Omega} p_s \cdot \left[\left(F_s - \sum_{s \in \Omega} p_s \cdot F_s \right) + 2\theta_s \right] \quad (29)$$

محدودیت‌های ۲ تا ۱۴ و

$$F_s - \sum_{s \in \Omega} p_s \cdot F_s + \theta_s \geq 0 \quad (30)$$

$$\theta_s \geq 0 \text{ and integer} \quad (31)$$

که در آن p_s احتمال سناریوی S است. معادله (۲۹) شامل مقدار میانگین به علاوه مقدار ثابت λ ضرب در واریانس توابع هدف هر سناریو است. معادلات (۳۰) و (۳۱) جهت خطی‌سازی عبارت واریانس به کار رفته است.

۴- مطالعه موردی

در بسیاری از کشورهای جهان فرآوری شیر بالاترین ظرفیت تولیدی را در صنایع غذایی به خود اختصاص می‌دهد. خوشبختانه مردم کشور ما در سال‌های اخیر با ارزش غذایی شیر و فرآورده‌های شیر به‌عنوان یک غذای سالم و مغذی آشنایی بیشتری پیدا کرده و تمایل به مصرف لبنیات در بسیاری از خانواده‌های ایرانی مشوق گسترش صنایع شیر در کشور شده است. این امر ضرورت توجه به فناوری و تولید شیر و فرآورده‌های با ارزش غذایی زیاد و کیفیت مطلوب و سالم را مشخص می‌کند. شرکت شیر پاستوریزه ارمغان با نام تجاری مانی ماس در سال ۱۳۶۶ به منظور تأمین بخشی از نیاز لبنی کشور در شهرستان فسا تأسیس گردید و از بهمن‌ماه سال ۱۳۶۸ فعالیت خود را آغاز نمود. این کارخانه در شرق استان فارس، ۱۶ کیلومتر جاده فسا شیراز (۱۲۵ کیلومتری شیراز) و در زمینی به مساحت ۷۰۰۰ مترمربع احداث گردید.

در فاصله سال‌های ۷۰ تا ۷۹ به دلیل عدم حمایت دولت از بخش خصوصی و صرفاً حمایت دولت از شرکت‌های زیرمجموعه خودش، باعث گردید تا این شرکت و سایر شرکت‌های از این دست از رشد و توسعه خوبی برخوردار نگردد. بعد از سال ۷۹ با حمایت از صنایع خصوصی به خصوص لبنیات این شرکت نیز شروع به توسعه، تجهیز، بهسازی نموده و در ادامه این روند با اضافه شدن خط‌های تولید شیر، دوغ، ماست، پنیرخامه‌ای، کشک و سایر فرآورده‌ها و با هدف تولید محصولات متنوع لبنی با بهترین

کیفیت توسط جدیدترین دستگاه‌ها و ماشین‌آلات با دانش فنی روز دنیا فعالیت خود را توسعه داد. راه‌اندازی سیستم دریافت کالاهای عودتی از مشتریان و تبدیل لبنیات فاسده شده و یا در شرف فساد به کودهای طبیعی یا افزودن مواد نگه‌دارنده به آنها در جهت پاسداری از محیط‌زیست گام برداشته است.

در حال حاضر، مدیریت شرکت به خاطر اینکه بتواند بازار رقابتی مواد لبنی را در کنترل داشته باشد و در جایگاه مناسبی در تولید و توزیع مواد لبنی در کشور شود، در تلاش است که با تداوم سیاست توسعه و ورود به عرصه رقابت، استفاده از روش‌های مدرن مدیریت بهره‌وری، تعالی سازمانی، مدیریت ارتباط با مشتریان، سیستم‌های جامع اطلاعاتی، شبکه‌های پیشرفته توزیع و بسیاری از تکنیک‌های روز مدیریت در دستور کار شرکت قرار دهد به نحوی که توانایی آتی شرکت را در ارائه خدمات و محصولات برتر افزایش دهد و هم‌چنین درصدد توسعه شرکت خود می‌باشد، لذا به دنبال ساخت کارخانه‌های بیشتری در سطح کشور ایران می‌باشد. در سال ۱۳۶۶، اولین کارخانه در شهرستان فسا استان فارس ساخته شده است. برای این کار دو مکان دیگر نیز برای ساخت کارخانه در نظر گرفته شده و به دنبال امکان‌سنجی می‌باشد که با توجه به محدودیت‌های موجود امکان ساخت کارخانه در کدام یک از این دو نقطه در نظر گرفته شده وجود دارد.

یکی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد شرکت مانی ماس این است که محصولات فاسد شده خود را پس گرفته و در مقابل محصولات مرجوعی، محصولات سالم به مشتریان عرضه می‌کند از این رو باید تسهیلی به نام مرکز انهدام نیز تأسیس کند تا این محصولات فاسد شده را در آن محل از بین ببرد و یا به مواد آلی تبدیل کند لذا دو مکان برای ساخت مرکز انهدام در نظر گرفته است که با توجه به محدودیت‌های موجود مدیریت شرکت می‌خواهد ببیند در کدام یک از این محل‌ها بهتر است این مراکز انهدام تأسیس گردند. شرکت مانی در حال حاضر دو مرکز توزیع عمده در سراسر کشور ایران دارد، لذا در جهت رویکرد توسعه شرکت، مدیریت سعی در تأسیس شش مرکز توزیع عمده دارد، حال شش مکان تأسیس را در نظر گرفته و می‌خواهد بررسی کند که با توجه به محدودیت‌های موجود از این مکان‌های در نظر گرفته شده کدام یک از موارد قابلیت تأسیس را دارند. تعداد مراکز توزیع خرده‌فروشی شرکت مانی ماس ۱۰ مرکز می‌باشد.

۵- نتایج محاسباتی

جهت ارزیابی مدل ارائه‌شده، از مطالعه موردی بخش ۴ استفاده شده است. بر اساس سوابق اطلاعات بازار، سه نوع سناریوی اقتصادی را برای شرایط آینده می‌توان تعریف نمود: خوب، متوسط و بد که احتمال رخداد هر کدام به ترتیب برابر ۰/۴۵، ۰/۳۵ و ۰/۲ می‌باشد. مفروضات:

۱- مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری هم هستند.

۲- مراکزی که در حال حاضر وجود دارند هم‌چنان باقی خواهند ماند.

با توجه به محرمانه بودن اطلاعات، مقادیر پارامترهای مورد نیاز از توزیع یکنواخت به‌صورت زیر حاصل شده‌اند:

$$cw_i = \text{uniform}(1000, 1500) \quad (32)$$

$$cy_j = \text{uniform}(700, 1000) \quad (33)$$

$$cz_m = \text{uniform}(400, 700) \quad (34)$$

$$cyr_j = \text{uniform}(400, 500) \quad (35)$$

$$cwr_i = \text{uniform}(500, 1000) \quad (36)$$

$$f_i = \text{uniform}(2000000, 2500000) \quad (37)$$

$$g_j = \text{uniform}(12000, 15000) \quad (38)$$

$$h_m = \text{uniform}(7000, 9000) \quad (39)$$

$$d_{ks} = \text{uniform}(100, 200) \quad (40)$$

$$c_{ijs} = \text{uniform}(15, 25) \quad (41)$$

$$\alpha_{jks} = \text{uniform}(10, 20) \quad (42)$$

$$b_{kjs} = \text{uniform}(10, 20) \quad (43)$$

$$e_{jis} = \text{uniform}(15, 25) \quad (44)$$

$$p_{jms} = \text{uniform}(7, 15) \quad (45)$$

هزینه‌های حمل‌ونقل بین مراکز (مشتری، جمع‌آوری و توزیع، تولید و احیا، انهدام) را برای هر سناریو؛ هم‌چنین هزینه‌های ثابت راه‌اندازی که مستقل از نوع سناریو است و متوسط کسر انهدامی و ظرفیت هر مرکز (مشتری، جمع‌آوری و توزیع، تولید و احیا، انهدام) مفروض است. بعد از حل مدل فوق با استفاده از داده‌های مفروض و نرم‌افزار GAMS 22.21 در سیستمی با مشخصات RAM=8 Gig در زمان ۲:۵۳ دقیقه جواب بهینه به‌صورت زیر حاصل شده است:

- علاوه بر مرکز تولید شماره ۱ که وجود دارد باید مرکز تولید شماره ۲ نیز احداث شود، اما مرکز تولید ۳ اقتصادی نیست.
- فقط مرکز انهدام پیشنهادی شماره ۱ باید احداث شود و ساخت مرکز انهدام ۲ اقتصادی نیست.
- علاوه بر دو مرکز توزیع-پخش و جمع‌آوری شماره ۱ و ۲ باید مراکز توزیع-پخش و جمع‌آوری ۴ و ۵ نیز باید احداث شوند تا شرکت بتواند محدوده مورد نظر خود را پوشش دهد اما ساخت مراکز ۳ و ۶ اقتصادی نیست.
- هزینه بهینه شبکه برابر با ۳۱۸۰۵۷۲۴۲۹۲۱۰۰ واحد است.
- میزان حمل‌ونقل‌های زیر مقدار صفر را به خود گرفتند:

$X_{111}; X_{122}; X_{13s}; X_{14s}; X_{151}; X_{153}; X_{16s}; X_{212}; X_{213}; X_{221}; X_{223}; X_{23s}; X_{241}; X_{252}; X_{253}; X_{26s}; X_{3js}$.

$U_{11s}; U_{121}; U_{123}; U_{131}; U_{132}; U_{151}; U_{152}; U_{162}; U_{172}; U_{182}; U_{192}; U_{212}; U_{231}; U_{233}; U_{241}; U_{242}; U_{252}; U_{261}; U_{263}; U_{271}; U_{273}; U_{281}; U_{282}; U_{292}; U_{210s}; U_{3ks}; U_{411}; U_{413}; U_{421}; U_{422}; U_{43s}; U_{44s}; U_{45s}; U_{461}; U_{462}; U_{47s}; U_{48s}; U_{491}; U_{493}; U_{410s}; U_{51s}; U_{522}; U_{523}; U_{532}; U_{533}; U_{54s}; U_{551}; U_{553}; U_{56s}; U_{57s}; U_{581}; U_{583}; U_{59s}; U_{510s}; U_{6ks}$.

$Q_{111}; Q_{113}; Q_{12s}; Q_{13s}; Q_{142}; Q_{151}; Q_{152}; Q_{16s}; Q_{211}; Q_{22s}; Q_{23s}; Q_{242}; Q_{243}; Q_{25s}; Q_{26s}; Q_{311}; Q_{312}; Q_{322}; Q_{323}; Q_{33s}; Q_{341}; Q_{343}; Q_{35s}; Q_{36s}; Q_{411}; Q_{412}; Q_{422}; Q_{423}; Q_{43s}; Q_{44s}; Q_{451}; Q_{453}; Q_{46s}; Q_{511}; Q_{513}; Q_{522}; Q_{523}; Q_{53s}; Q_{54s}; Q_{551}; Q_{552}; Q_{56s}; Q_{611}; Q_{613}; Q_{62s}; Q_{63s}; Q_{642}; Q_{65s}; Q_{66s}; Q_{71s}; Q_{72s}; Q_{73s}; Q_{743}; Q_{751}; Q_{752}; Q_{76s}; Q_{76s}; Q_{81s}; Q_{82s}; Q_{83s}; Q_{842}; Q_{843}; Q_{851}; Q_{86s}; Q_{911}; Q_{913}; Q_{92s}; Q_{93s}; Q_{942}; Q_{943}; Q_{951}; Q_{952}; Q_{96s}; Q_{101s}; Q_{1022}; Q_{1023}; Q_{103s}; Q_{1041}; Q_{1043}; Q_{1051}; Q_{1052}; Q_{106s}$.

$V_{111}; V_{113}; V_{121}; V_{122}; V_{13s}; V_{21s}; V_{222}; V_{223}; V_{23s}; V_{3is}; V_{412}; V_{413}; V_{421}; V_{43s}; V_{511}; V_{513}; V_{521}; V_{522}; V_{53s}; V_{6is}$.

$T_{111}; T_{12s}; T_{13s}; T_{212}; T_{213}; T_{22s}; T_{23s}; T_{3is}; T_{42s}; T_{43s}; T_{511}; T_{52s}; T_{53s}; T_{6is}$.

- مقادیر متغیرهای صفویک به‌صورت زیر می‌باشد:

جدول (۱): مقادیر متغیرهای صفرویک

W_i	۱	۲	۳
	۱	۱	۰

Y_j	۱	۲	۳	۴	۵	۶
	۱	۱	۰	۱	۱	۰

Z_m	۱	۲
	۱	۰

• مقادیر متغیرهای مثبت به صورت زیر می‌باشد:

جدول (۲): مقادیر متغیرهای مثبت

متغیر	سناریو		
X_{ijs}	۱	۲	۳
۱,۱	۰	۴۳۱	۷۹۰
۱,۲	۳۰۸	۰	۲۹۶
۱,۵	۰	۳۳۷	۰
۲,۱	۷۱۰	۰	۰
۲,۲	۰	۳۵۶	۰
۲,۴	۰	۲۸۴	۲۰۶
۲,۵	۳۴۳	۰	۰

متغیر	سناریو		
Q_{kjs}	۱	۲	۳
۱,۱	۰	۱۶	۰
۱,۴	۱۳	۰	۰
۱,۵	۰	۰	۱۱
۲,۱	۰	۲۳	۱۰
۲,۴	۱۶	۰	۰
۳,۱	۰	۰	۱۲
۳,۲	۱۸	۰	۰
۳,۴	۰	۱۶	۰
۴,۱	۰	۰	۱۲
۴,۲	۱۵	۰	۰
۴,۵	۰	۲۶	۰
۵,۱	۰	۲۴	۰
۵,۲	۱۰	۰	۰
۵,۵	۰	۰	۱۶
۶,۱	۰	۲۰	۰
۶,۴	۱۴	۰	۱۲
۷,۴	۱۳	۱۷	۰
۷,۵	۰	۰	۱۹
۸,۴	۱۴	۰	۰

متغیر	سناریو		
U_{jks}	۱	۲	۳
۱,۲	۰	۱۵۵	۰
۱,۳	۰	۰	۱۱۸
۱,۴	۱۵۳	۱۷۵	۶۲
۱,۵	۰	۰	۱۶۲
۱,۶	۱۳۹	۰	۲۱
۱,۷	۱۲۵	۰	۱۹۳
۱,۸	۱۳۸	۰	۰
۱,۹	۳۶	۰	۱۰۷
۱,۱۰	۱۲۰	۱۰۱	۱۲۷
۲,۱	۱۲۸	۰	۱۱۰
۲,۳	۰	۱۰۷	۰
۲,۴	۰	۰	۵۶
۲,۵	۱۰۳	۰	۰
۲,۶	۰	۱۳۶	۰
۲,۷	۰	۱۱۳	۰
۲,۸	۰	۰	۱۳۰
۲,۹	۷۷	۰	۰
۴,۱	۰	۱۰۹	۰
۴,۲	۰	۰	۱۰۳

جدول (۲): مقادیر متغیرهای مثبت

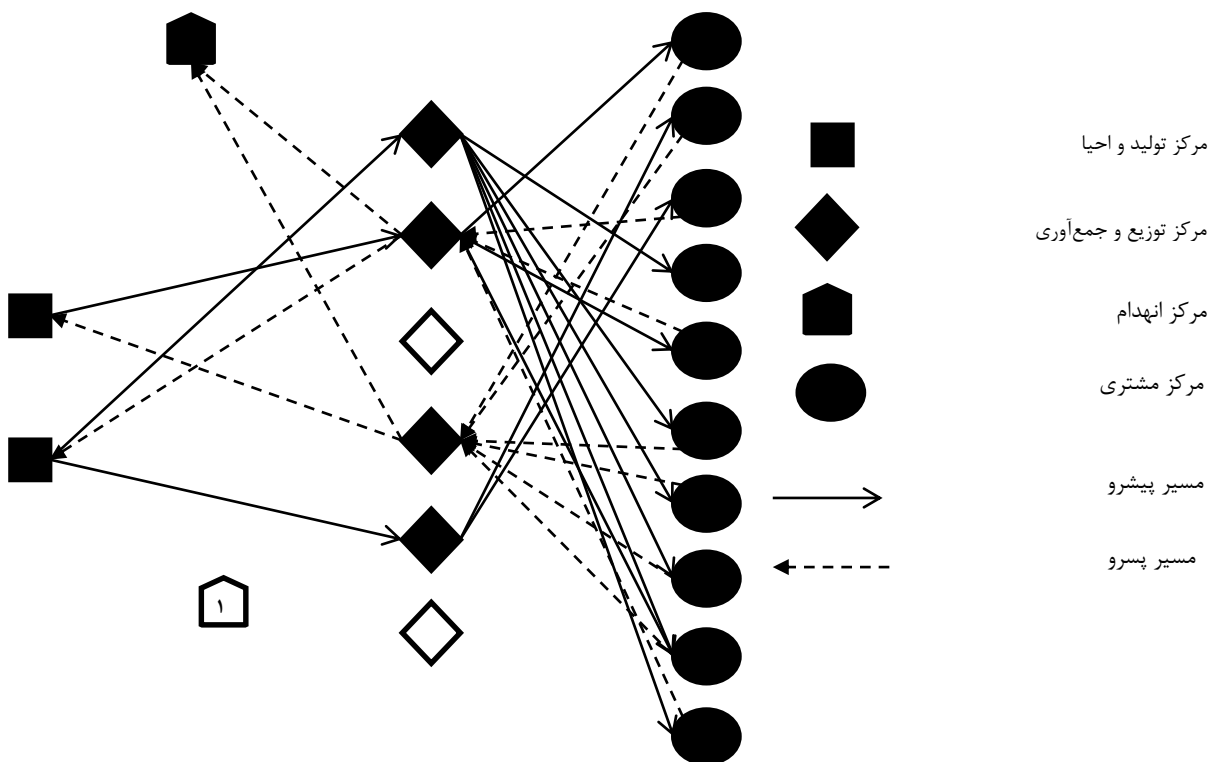
متغیر	سناریو		
Q_{kjs}	۱	۲	۳
۸,۵	۰	۲۷	۱۳
۹,۱	۰	۲۶	۰
۹,۴	۱۱	۰	۰
۹,۵	۰	۰	۱۱
۱۰,۲	۱۲	۰	۰
۱۰,۴	۰	۱۵	۰
۱۰,۵	۰	۰	۱۳

متغیر	سناریو		
U_{jks}	۱	۲	۳
۴,۶	۰	۰	۱۰۳
۴,۹	۰	۱۷۵	۰
۵,۲	۱۶۴	۰	۰
۵,۳	۱۷۹	۰	۰
۵,۵	۰	۱۵۹	۰
۵,۸	۰	۱۷۸	۰

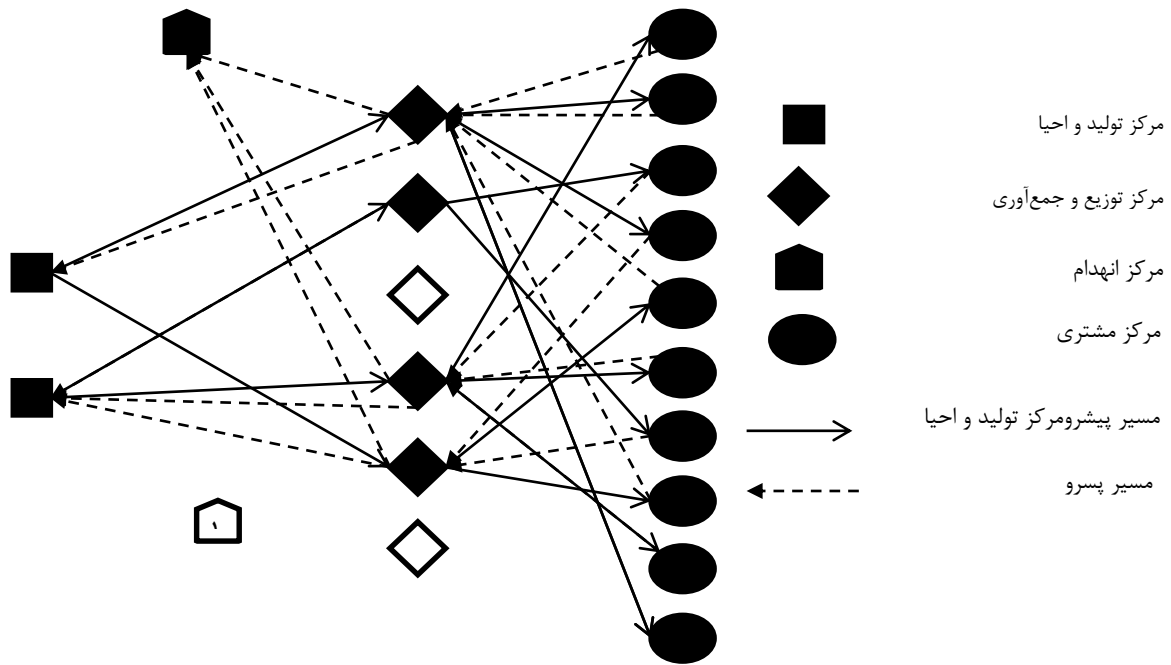
متغیر	سناریو		
T_{jms}	۱	۲	۳
۱,۱	۰	۶	۲
۲,۱	۳	۰	۰
۴,۱	۴	۲	۱
۵,۱	۰	۳	۴

متغیر	سناریو		
V_{jis}	۱	۲	۳
۱,۱	۰	۱۰۵	۰
۱,۲	۰	۰	۳۲
۲,۲	۵۳	۰	۰
۴,۱	۷۶	۰	۰
۴,۲	۰	۴۶	۱۲
۵,۱	۰	۵۰	۰
۵,۲	۰	۰	۷۹

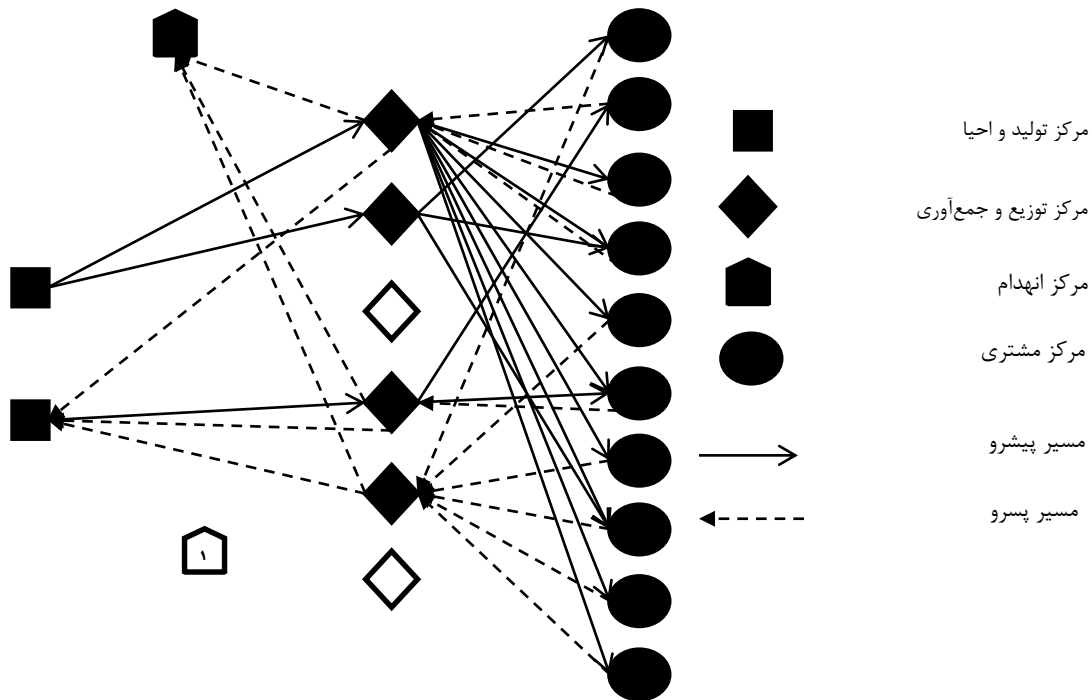
می‌توان لجستیک یکپارچه شرکت مانی تحت هر سناریو شبکه‌های زیر را رسم کرد. در اشکال زیر تسهیلات توپر باید احداث شوند و احداث تسهیلات تو خالی نیاز نمی‌باشد.



شکل (۲) - شبکه لجستیک یکپارچه در سناریوی اول



شکل (۳) - شبکه لجستیک یکپارچه در سناریوی دوم



شکل (۴) - شبکه لجستیک یکپارچه در سناریوی سوم

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، ابتدا یک شبکه یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس طراحی شده و سپس با توجه به غیرقطعی بودن برخی پارامترها یک مدل غیرقطعی تحت سناریو برای این شبکه ارائه شد و در نهایت جهت دستیابی به یک جواب بهینه استوار با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار مدل را

قطعی کردیم. این شبکه قابل حمایت در انواع صنایع مانند صنایع تولید تجهیزات الکترونیکی و دیجیتالی، صنایع تولید وسایل نقلیه و سایر صنایع مشابه را دارد که در این صنایع، استفاده درست از این مدل صرفه‌جویی‌های هنگفتی را به همراه خواهد داشت. نکته مهم دیگر، استفاده از تسهیلات ترکیبی توزیع و

characterisation of logistics networks for product recovery, Omega". Pages 653–666, December 2000.

[6] Mir Saman Pishvaei, Fariborz Jolai, Jafar Razmi, "A stochastic optimization model for integrated forward/reverse logistics network design". Journal of Manufacturing Systems, Pages 107–114, December 2009.

[7] Mulvey, J.M. Vanderbei, R.J. Zenios, S.A., "Robust optimization of large scale systems, Operations Research". 43, 264-281, 1995.

[8] Leung, S.C.H., Tsang, S.O.S., Ng, W.L., Wu, Y., "A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment". European Journal of Operational Research, 181, 224-238, 2007.

[9] Mulvey, J.M., Ruszczynski, A.. "A new scenario decomposition method for large-scale stochastic optimization, Operations Research". 43, 477–490, 1995.

[10] Yu, C.S., Li, H.L.. "A robust optimization model for stochastic logistic problems". International Journal of Production Economics 64, 385–397, 2000.

[11] Li, H.L., "An efficient method for solving linear goal programming problems". Journal of Optimization Theory and Applications 90, 465–469, 1996.

جمع‌آوری است. این تسهیلات در جریان مستقیم نقش مراکز توزیع و در جریان معکوس نقش مراکز جمع‌آوری را ایفا می‌کند. استفاده از این تسهیلات باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های احداث و نگهداری می‌شود. از جمله موضوعات تکمیل‌کننده این مدل در آینده این است که در صورت برآورده نشدن تقاضای مشتریان، هزینه جریمه به تابع هدف اضافه می‌گردد که این هزینه می‌تواند تحت هر سناریو مقداری متفاوت داشته باشد.

از جمله موضوعاتی تکمیل‌کننده این مدل در آینده این است که در صورت برآورده نشدن تقاضای مشتریان هزینه کمبود به تابع هدف اضافه می‌گردد که این هزینه کمبود می‌تواند تحت هر سناریو مقداری متفاوت داشته باشد. در این مقاله تعداد محصولات در نظر گرفته شده یک نوع می‌باشد.

موضوع دیگری که می‌تواند در این مدل ذکر گردد تا مدل جامعیت بیشتری پیدا کند این است که انواع محصولات را در نظر گرفته و مدل را بازسازی کرد. عامل دیگری که در آینده می‌توان بر آن بحث کرد، در نظر گرفتن مراکز تأمین مواد اولیه می‌باشد.

۷- منابع

[۱] میر غفوری، سید حبیب ا...، "طراحی مدل ریاضی زنجیر عرضه صنایع لاستیک‌سازی ایران (مورد مجتمع صنایع لاستیک یزد)"، پایان‌نامه دکترای مدیریت (گرایش تولید)، به راهنمایی سید اصفهانی، میر مهدی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۲.

[۲] تیموری، ابراهیم. شفیعیان بجستانی، جواد. کلب‌خانی، کاظم، "انتخاب و توسعه هم‌زمان تأمین‌کنندگان در شرایط فازی (fuzzy)"، اولین کنفرانس ملی لجستیک و زنجیره تأمین، ۱۳۸۳.

[3] Necati Aras, Deniz Aksent, "Locating collection centers for distance- and incentive-dependent returns". International Journal of Production Economics, Pages 316–333, February 2008.

[4] Burcu B. Keskin, Halit Üster, "Meta-heuristic approaches with memory and evolution for a multi-product production/distribution system design problem". European Journal of Operational Research, Pages 663–682, 16 October 2007.

[5] Mortiz Fleischmann, Hans Ronald Krikke, Rommert Dekker, Simme Douwe P. Flapper, "A