# رویکرد حل مستقیم برای طراحی شبکه زنجیره تأمین با متغیرهای فازی

**مهدی بشیری[1*]، مهتاب شرافتی[2]، امیر فرشباف[3]**
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد دانشکده فنی دانشگاه تهران

**تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۰۲**
**تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۳/۱۲**

## چکیده

یکی از اساسی‌ترین مشکلات طراحی شبکه زنجیره تأمین عدم قطعیت است، برای در نظر گرفتن این موضوع در این تحقیق از یک روش نوین حل مستقیم برای طراحی شبکه لجستیک سه سطحی، در محیط فازی استفاده می‌گردد. رویکرد حل مستقیم ارائه شده، بر اساس یک روش رتبه‌بندی فازی و الگوریتم فراابتکاری بوده و جوابی که بتواند موازنه‌ای بین درجه شدنی بودن محدودیت‌ها و بهینگی تابع هدف (با توجه به وزن‌های در نظر گرفته شده) ایجاد کند، ارائه می‌کند. هم‌چنین نوآوری دیگر این تحقیق را می‌توان در طراحی شبکه زنجیره تأمین در حضور پارامترها و متغیرهای فازی عنوان کرد. زیرا در مطالعات پیشین با وجود فازی بودن محیط، متغیرها قطعی در نظر گرفته شده‌اند. علاوه بر این، هر مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی شامل متغیرهای تصمیم فازی را می‌توان با روش مستقیم پیشنهادی به‌سادگی حل کرد. برای نشان دادن عملکرد روش پیشنهادی، مثال عددی شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج بیانگر کارآیی مناسب روش پیشنهادی است.

**واژه‌های کلیدی:** طراحی شبکه زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی ریاضی فازی، متغیر تصمیم فازی، الگوریتم‌های فراابتکاری، الگوریتم ژنتیک.

## ۱- مقدمه

جهت کارآیی و اثربخشی یک شبکه لجستیک، پیکربندی شبکه زنجیره تأمین منسجم و یکپارچه ضروری است. برای طراحی یک شبکه لجستیک منسجم که به دنیای واقعی نزدیک باشد بسیاری از محققان برنامه‌ریزی ریاضی فازی را پیشنهاد می‌دهند (به‌عنوان مثال، [۱] و [۲]). در تحقیقات پیشین طراحی شبکه زنجیره تأمین که در محیط فازی مدل‌سازی و حل شده‌اند، شامل متغیرهای تصمیم قطعی می‌باشند. حال آنکه با مبهم فرض کردن متغیرها، تصمیمات تاکتیکی و راهبردی منعطف‌تری اخذ می‌گردند و مدیران زنجیره تأمین به‌راحتی و با هزینه کمتری می‌توانند تغییرات دلخواه را اعمال کنند[۳]. هم‌چنین، تعیین مقدار محصولات ارسالی و برگشتی همیشه با عدم قطعیت همراه است و نمی‌توان به‌راحتی آنها را تخمین زد[۴].

همان‌طور که بایکاسگلو[4] و گوکن[5] [۵] بیان می‌کنند تعداد کمی از مقالات برنامه‌ریزی ریاضی فازی به حل مدل‌ها شامل متغیرهای تصمیم مبهم پرداخته‌اند و به ارائه روش‌هایی برای بهینه‌سازی این مسائل احساس نیاز می‌شود. در این مطالعه سعی بر آن است که به خلا اشاره شده پرداخته شده و روشی برای بهینه‌سازی هر مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی شامل متغیرهای تصمیم فازی پیشنهاد گردد.

بایکاسگلو و گوکن [۶] به روش‌های اندک بهینه‌سازی

۱*- دانشیار گروه مهندسی صنایع دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: Bashiri.m@gmail.com، نشانی: تهران، اتوبان خلیج فارس، دانشگاه شاهد، دانشکده فنی، گروه مهندسی صنایع.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، پست‌الکترونیکی: mahtab.sherafatizangeneh@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، پست‌الکترونیکی: afarshbaf@ut.ac.ir

4- Baykasoglu
5- Gocken

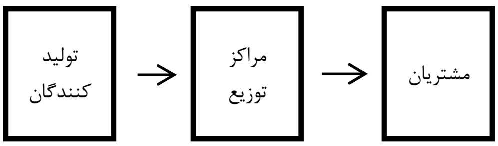
برای حل مسائل شامل متغیرهای فازی اشاره کرده‌اند. این روش‌ها عبارت‌اند از: استفاده از معیار رضایت‌مندی فازی [۷]، استفاده از توزیع احتمال [۸]، تبدیل به معادل قطعی [۹]، روش‌های رتبه‌بندی فازی [۱۰]، به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری [۶] و [۱۱]. علاوه بر روش‌های فوق می‌توان به روش دومرحله‌ای [۳] و توابع رتبه‌بندی [۱۲] و [۱۳] نیز اشاره کرد.

از آنجایی که برآورده کردن برخی محدودیت‌ها در زنجیره تأمین حیاتی است، گاهی اهمیت بیشتری نسبت به بهینه‌سازی تابع هدف پیدا می‌کند. در روش پیشنهادی بر اساس روش رتبه‌بندی فازی، درجه شدنی بودن برای محدودیت‌ها تعریف می‌گردد و در نهایت جوابی که بتواند موازنه‌ای بین درجه شدنی بودن محدودیت‌ها و بهینگی تابع هدف ایجاد کند، ارائه می‌شود. علاوه بر این، رویکرد مستقیم توانایی حل هر مدل شامل متغیرهای تصمیم مبهم و برنامه‌ریزی ریاضی فازی کامل[1] را دارد. یکی از اهداف ارائه این مقاله نشان دادن این موضوع است که می‌توان مسائل برنامه‌ریزی ریاضی فازی شامل متغیر تصمیم فازی را به‌طور مستقیم (بدون نیاز به قطعی کردن مدل) با کمک روش رتبه‌بندی فازی و الگوریتم‌های فراابتکاری بهینه‌سازی کرد.

ساختار این پژوهش به شرح زیر است: در بخش ۲ مدل زنجیره تأمین سه سطحی ارائه شده و در بخش ۳ روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی فازی شامل متغیر تصمیم فازی و هم‌چنین مزیت‌های این روش نسبت به روش‌های پیشین بیان می‌گردد. سپس در بخش ۴ رویکرد پیشنهادی در یک مثال عددی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در نهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی ذکر می‌شوند.

## ۲- مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین سه سطحی

همان‌گونه که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود، شبکه زنجیره تأمین، شامل سه سطح تولیدکنندگان، مراکز توزیع و مشتریان می‌باشد. از آنجایی که زنجیره تأمین سرشار از عدم قطعیت می‌باشد برای افزایش کارآیی بهتر است متغیرهای تصمیم نیز به‌طور فازی در نظر گرفته شوند تا بتوان تصمیمات منعطف‌تری را اخذ نمود ([۳] و [۴]). همان‌طور که پیش از این ذکر شد از نوآوری‌های این مقاله مبهم در نظر گرفتن کلیه پارامترها و متغیرهای تصمیم مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین می‌باشد.




**شکل (۱): ساختار شبکه لجستیک سه سطحی**

اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم در ادامه ارائه می‌گردند.

### ۲-۱- اندیس‌ها

تولیدکنندگان $p=1,\dots,P$ — $P$

مراکز توزیع $d=1,\dots,D$ — $D$

مشتریان $c=1,\dots,C$ — $C$

### ۲-۲- پارامترها

هزینه احداث تولیدکننده $p$ — $\tilde{F}p_p$

هزینه احداث مرکز توزیع $d$ — $\tilde{F}d_d$

هزینه تولید محصول در کارخانه $p$ — $\tilde{MC}_p$

هزینه حمل و نقل از تولیدکننده $p$ به مرکز توزیع $d$ — $T\tilde{C}p_{pd}$

هزینه حمل و نقل از مرکز توزیع $d$ به مشتری $c$ — $T\tilde{C}d_{dc}$

ظرفیت تولید کارخانه $p$ — $\tilde{C}m_m$

1- Fully fuzzy mathematical programming

ظرفیت مرکز توزیع $d$ — $\tilde{C}d_d$

تقاضا مشتری $c$ — $\tilde{D}_c$

### ۲-۳- متغیرهای تصمیم

مقدار محصول که در کارخانه $p$ تولید شده و به مرکز توزیع $d$ ارسال می‌گردد. — $\tilde{x}_{pd}$

مقدار محصول که از مرکز توزیع $d$ به مشتری $c$ ارسال می‌شود. — $\tilde{y}_{dc}$

۱: اگر کارخانه $p$ احداث شود و ۰: در غیر این‌صورت — $u_p$

۱: اگر مرکز توزیع $d$ احداث شود و ۰: در غیر این‌صورت — $n_d$

### ۲-۴- تابع هدف

$$\min \ TC = \sum_p \tilde{F}p_p \times u_p + \sum_d \tilde{F}d_d \times n_d + \sum_p \tilde{M}C_p \sum_d \tilde{x}_{pd} + \sum_p \sum_d T\tilde{C}p_{pd} \times \tilde{x}_{pd} + \sum_d \sum_c T\tilde{C}d_{dc} \times \tilde{y}_{dc} \tag{۱}$$

تابع هدف (۱) جهت حداقل کردن هزینه‌های احداث، تولید و ارسال می‌باشد.

### ۲-۵- محدودیت‌ها

$$\sum_p \tilde{x}_{pd} = \sum_c \tilde{y}_{dc} \qquad \forall d \tag{۲}$$

$$\sum_d \tilde{x}_{pd} \le u_p \times \tilde{C}p_p \qquad \forall p \tag{۳}$$

$$\sum_c \tilde{y}_{dc} \le n_d \times \tilde{C}d_d \qquad \forall d \tag{۴}$$

$$\sum_d \tilde{y}_{cd} \ge \tilde{D}_c \qquad \forall c \tag{۵}$$

$$n_d , u_p \in \{0,1\} \qquad \forall p, d \tag{۶}$$

$$\tilde{y}_{cd}, \tilde{x}_{dp} \ge 0 \qquad \forall d, p, c \tag{۷}$$

رابطه (۲) محدودیت تعادل است و تعداد کالاهای ورودی به مراکز توزیع و خروجی برابر باهم را تضمین می‌کند. محدودیت (۳) باعث می‌شود تولیدکنندگان انتخابی حداکثر به اندازه ظرفیت تولیدی خود، محصول تولید کنند. بر اساس رابطه (۴) به اندازه ظرفیت مراکز توزیع، حداکثر کالا ارسال می‌شوند. محدودیت (۵) برآورده شدن تقاضای مشتریان را تضمین می‌کند. روابط (۶) و (۷) نوع متغیرهای تصمیم را تعیین می‌کنند.

## ۳- روش حل پیشنهادی

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، تعداد کمی از روش‌های بهینه‌سازی قابلیت حل مسائل شامل متغیرهای تصمیم فازی را دارند. بایکاسگلو و گوکن [۵]، در مقاله‌ای حدود ۲۰۰ روش برنامه‌ریزی ریاضی فازی را مرور کرده و در پایان مقاله ذکر می‌کنند که به ارائه روش‌های بهینه‌سازی مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی شامل متغیرهای تصمیم مبهم احساس نیاز می‌شود. از آنجا که، توابع هدف و محدودیت‌ها شامل ضرب پارامترها و متغیرهای فازی هستند و ضرب دو عدد فازی، یک عدد فازی با تابع عضویت غیرخطی می‌شود، پس بنابراین ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری و روش‌های رتبه‌بندی فازی می‌تواند روشی مؤثر و کارا برای حل این مسائل باشد [۵]. در این مطالعه سعی بر آن است تا بر اساس روش‌های پیشین، رویکرد جدید و مفیدتری که بتواند نقاط ضعف را برطرف سازد، معرفی گردد.

در بیشتر مقالات پیشین که به حل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی پرداخته شده، ابتدا مدل فازی به معادل

قطعی[1] تبدیل می‌گردد و سپس با استفاده از روش‌های کلاسیک جواب بهینه به‌دست می‌آید. یکی از معایب قطعی کردن مدل، افزایش تعداد محدودیت‌ها و به تبع آن افزایش ابعاد و پیچیدگی مسئله می‌باشد. اما در روش مستقیم پیشنهادی می‌توان به‌راحتی با استفاده از روش‌های رتبه‌بندی فازی و الگوریتم‌های فراابتکاری مسئله را بهینه‌سازی کرد. رویکرد مستقیم بر اساس بایکاسگلو و گوکن [۶]، تاپکان[2] و همکاران [۱۱] و همچنین روش رتبه‌بندی فازی خمینز[3] [۱۴] بوده و از الگوریتم ژنتیک برای یافتن نقطه بهینه استفاده می‌شود.

بایکاسگلو و گوکن [۶] با استفاده از روش رتبه‌بندی فازی چن[4] و لو[5] [۱۵] و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات مثال کوچک و ساده‌ای را حل کردند. در آن روش به ازای $\beta$های تعیین شده ($\beta$پارامتر است) به‌صورت قطعی تعیین می‌شود که محدودیت برقرار می‌باشد یا خیر. در حالی که در روش پیشنهادی در این مطالعه، با استفاده از روش رتبه‌بندی خمینز [۱۴] یک تابع عضویت، برای شدنی بودن[6] هر یک از محدودیت‌ها تعریف شده و جوابی که بیشترین تابع عضویت شدنی بودن محدودیت‌ها را داشته باشد انتخاب می‌شود. علاوه بر این، در روش بایکاسگلو و گوکن [۵]، نقاط دو به دو مقایسه می‌شوند و این امر محاسبات را زمان‌بر و پیچیده می‌کند، به‌خصوص در حالتی که تعداد جمعیت اولیه زیاد باشد. اما در روش پیشنهادی، برای هر جواب یک امتیاز در نظر گرفته شده و همه جواب‌ها باهم مقایسه می‌شوند. پس می‌توان تعداد جمعیت اولیه زیادی در روش پیشنهادی ایجاد کرد.

در رویکرد حل مستقیم پیشنهادی، بر اساس خمینز [۱۴] برای هر محدودیت یک درجه برقراری محدودیت[7] تعریف شده و جوابی انتخاب می‌شود که موازنه‌ای بین بهینگی و شدنی بودن بر اساس وزن‌های در نظر گرفته شده برای آنها، ایجاد کند.

درجه برقراری محدودیت بیان می‌کند که در هر محدودیت، مقدار سمت راست با درجه عضویتی از مقدار سمت چپ، بزرگ‌تر، کوچک‌تر و مساوی است و ما معتقدیم برای مقایسه دو عدد فازی این بهترین روش است.

خمینز یک روش رتبه‌بندی برای اعداد فازی ارائه داد[۱۴]. در این روش رتبه‌بندی پیشنهادی، فاصله مورد انتظار[8] و مقدار مورد انتظار[9] برای اعداد فازی مثلثی $(c^l, c^m, c^u)$ طبق روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شود.

$$EI(\tilde{c}) = [E_1^c, E_2^c] = [\int_0^1 f_c^{-1}(x)dx, \int_0^1 g_c^{-1}(x)dx] = [\frac{1}{2}(c^l + c^u), \frac{1}{2}(c^l + c^u)]$$ (۸)

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_2^c}{2} = \frac{c^l + 2c^m + c^u}{4}$$ (۹)

بر اساس خمینز [۱۴] روابط زیر برای محدودیت $\tilde{a}_i x \geq_\alpha \tilde{b}_i \quad i = 1,\dots,m$ در نظر گرفته می‌شود. عدد فازی $\tilde{a}$ با درجه عضویتی بزرگ‌تر (یا مساوی) از عدد فازی $\tilde{b}$ بوده و به‌صورت $\tilde{a} \geq_\alpha \tilde{b}$ بیان می‌شود. با استفاده از (۸) و (۹)، مقادیر $E_1^a$، $E_1^b$، $E_2^a$ و $E_2^b$ به‌دست آمده و در رابطه (۱۰) قرار داده می‌شود.

$$\mu_i(\tilde{a}, \tilde{b}) = \begin{cases} 1 & if \quad E_1^a - E_2^b > 0 \\ \dfrac{E_2^a - E_1^b}{E_2^a - E_1^b - (E_1^a - E_2^b)} & if \quad 0 \in [E_1^a - E_2^b, E_2^a - E_1^b] \\ 0 & if \quad E_2^a - E_1^b < 0 \end{cases}$$ **(۱۰)**

$$\alpha = \min_{i=1,\dots,m} \{\mu_i(\tilde{a}_i x, \tilde{b}_i)\}$$ (۱۱)

پس از دفازی کردن تابع هدف به کمک رابطه (۹)، تابع عضویتِ تابع هدف (هزینه کل) با استفاده از (۱۲) به‌دست می‌آید.

$$\mu_F = \begin{cases} 1 & if \quad TC < TC^{\min} \\ \dfrac{TC^{\max} - TC}{TC^{\max} - TC^{\min}} & if \quad TC^{\min} \leq Z_2 \leq TC^{\max} \\ 0 & if \quad TC > TC^{\max} \end{cases}$$ **(۱۲)**

سپس با استفاده از روش ترابی و هسینی [۱۶] مقدار درجه رضایت‌مندی کل ($\beta$) برای ادغام محاسبه می‌گردد.

$$\beta = \gamma\alpha + (1-\gamma)\left[\theta_F . \mu_F + \sum_i \theta_i . \mu_i\right]$$ **(۱۳)**

1- Crisp Equivalent
2- Tapkan
3- Jimeneze
4- Chen
5- Lu
6- Feasibility
7- Degree of Satisfaction of Constraint

8- Expected Interval
9- Expected Value

که البته مقدار $\alpha$ به‌صورت زیر است

$$\alpha = \min_{i=1,\dots,m} \left\{ \mu_i(\tilde{a}_i x, \tilde{b}_i), \mu_F \right\} \tag{۱۴}$$

$\gamma$، $\theta_f$ و $\theta_i$ها توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. با افزایش $\gamma$وزن مقدار حداقل درجه برقراری محدودیت‌ها زیاد می‌شود. $\gamma$بزرگ باعث می‌شود حداقل وزن بزرگ‌تری بگیرد. از طرفی ($\gamma$-۱) نیز کوچک شده، سایر درجه عضویت‌های بزرگ‌تر از $\alpha$ کوچک می‌شوند، در نتیجه درجه عضویت‌ها به هم نزدیک می‌شوند و اختلاف کمی نسبت به هم خواهند داشت. برعکس $\gamma$ کوچک باعث به وجود آمدن اختلاف بین درجه عضویت‌ها می‌شود. در روش پیشنهادی نیز بهتر است که مقدار $\gamma$ زیاد در نظر گرفته شود تا از برآورده شدن بیشتر محدودیت‌ها مطمئن شویم.

تابع برازندگی (درجه رضایت‌مندی کل) شامل تابع عضویت تابع هدف و درجه عضویت برقراری محدودیت‌ها است. جمع وزن‌های تابع عضویت تابع هدف و محدودیت‌ها باید برابر ۱ شود. گاهی مناسب بودن مقدار تابع هدف در برقراری محدودیت‌ها ارجحیت دارد و بالعکس. تصمیم‌گیرنده می‌تواند با تغییر مقدار وزن، جواب مرجح را به‌دست آورد.

حال با استفاده از الگوریتم ژنتیک جواب بهینه مسئله مشخص می‌شود. در اکثر مقالات بهینه‌سازی طراحی شبکه زنجیره تأمین که از روش‌های فراابتکاری استفاده می‌کنند، الگوریتم ژنتیک برای یافتن نقطه بهینه به کار می‌رود (مانند [۴]، [۱۷]، [۱۸]و غیره). علاوه بر این، در فرآیند بهینه‌سازی مسئله شبکه زنجیره تأمین با استفاده از عملگرهای متقاطع و جهش بر روی هر متغیر تصمیم پیوسته و یا صفر و یک راحت‌تر می‌توان جواب بهینه‌ها یافت.

نکته حائز اهمیت در کدنویسی مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین وابستگی متغیرهای صفر و یک و پیوسته به یکدیگر است. به‌عنوان مثال متغیر صفر و یک مربوط به تولیدکننده در ارتباط مستقیم با جریان‌های وارد شونده و خارج شونده به آن تولیدکننده است. با هر تغییری بر روی متغیر صفر و یک، مقدار جریان‌های متناظر نیز باید تغییر کنند و بالعکس.

شبه کد مسئله به‌صورت شکل (۲) می‌باشد.

## ۴- مثال عددی

در این قسمت یک مثال عددی شبیه‌سازی شده، برای نشان دادن عملکرد روش برنامه‌ریزی ریاضی فازی پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مثال، پنج مکان بالقوه برای کارخانه تولیدی، پنج مکان بالقوه برای مراکز توزیع و ده منطقه مشتری فرض شده‌اند. پارامترها به‌صورت فازی مثلثی فرض شده و با استفاده از اعداد تصادفی تولید می‌شوند. بعضی از این پارامترها در جدول ۳ قابل مشاهده می‌باشند. مثال عددی شامل ۷۵ متغیر تصمیم، ۱۰ متغیر صفر و یک و ۲۵ محدودیت می‌باشد.

همان‌طور که قبلاً بیان شد مقدار $\gamma$ و $\theta_f$ که به ترتیب ضریب جبران و وزن تابع عضویت هزینه کل هستند توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شوند. نتایج به‌دست آمده در تکرارهای مختلف به ازای $\gamma$ =۰/۹ و $\theta_f$ =۰/۵ به‌صورت نمودار شکل (۳) می‌باشد. شکل (۳) کارآیی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با گذشت زمان جواب‌هایی به‌دست می‌آیند که مقدار هزینه کل کمتر و میزان فازی بودن بیشتری دارند. یعنی هر دو معیار در حال بهبود هستند. در این شکل منظور از درجه‌های شدنی بودن[1] میانگین درجه‌های برقراری کل محدودیت‌ها است.

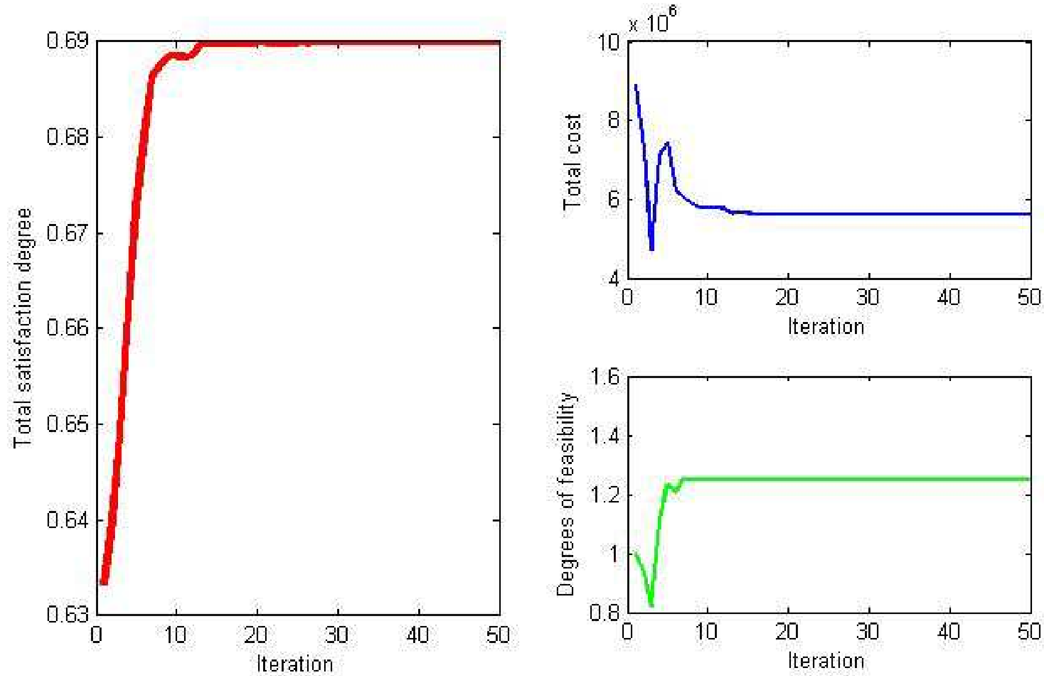
1- Feasibility of Degrees

گام ۱- ایجاد جمعیت اولیه (به‌اندازه $n$)
گام ۲- محاسبه درجه رضایتمندی کل برای همه جمعیت و رتبه‌بندی آن‌ها
گام ۳- انتخاب از جمعیت اولیه جهت تقاطع
۳-۱- انتخاب با استفاده از چرخه رولت
۳-۲- اعمال عملگر تقاطع بر روی جمعیت انتخاب شده
گام ۴- انتخاب از جمعیت اولیه جهت جهش
۴-۲- انتخاب تصادفی
۴-۲- اعمال عملگر تقاطع بر روی جمعیت انتخاب شده
گام ۵- محاسبه درجه رضایتمندی کل برای جمعیت حاصل از عملگرهای تقاطع و جهش
گام ۶- ادغام جمعیت حاصل از تقاطع و جهش و جمعیت اولیه، سپس رتبه‌بندی جمعیت جدید
گام ۷- حذف جمعیت اضافی تا رسیدن به اندازه $n$
گام ۸- بررسی شرایط خاتمه. اگر به شرایط خاتمه رسیده پایان الگوریتم و در غیر این‌صورت برو به گام ۳

**شکل (۲): شبه کد الگوریتم پیشنهادی**

**جدول (۱): هزینه تولید محصولات و میزان تقاضای مشتریان**

| | |
|---|---|
| توزیع یکنواخت [۵۰۰۰و۵۲۰۰] | $\widetilde{MC}_p^l$ |
| توزیع یکنواخت [۵۲۵۰و۵۴۵۰] | $\widetilde{MC}_p^m$ |
| توزیع یکنواخت [۵۵۰۰و۵۷۰۰] | $\widetilde{MC}_p^u$ |
| توزیع یکنواخت [۱۲۰۰و۱۳۵۰] | $\widetilde{D}_c^l$ |
| توزیع یکنواخت [۱۴۰۰و۱۵۵۰] | $\widetilde{D}_c^m$ |
| توزیع یکنواخت [۱۶۰۰و۱۷۵۰] | $\widetilde{D}_c^u$ |




**شکل (۳): تغییرات هزینه کل، میزان برقراری محدودیت‌ها و درجه رضایت کل در تکرارهای مختلف**

**جدول (۲): تحلیل حساسیت مقادیر تابع عضویت نسبت به $\theta_F$ و γهای مختلف**

| | | $\mu_F$ | $\mu_1$ | $\mu_2$ | $\mu_3$ | $\mu_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\gamma=0.9$ | $\theta_f=0.9$ | ۰/۷۸ | ۰/۵۴ | ۰/۵۷ | ۰/۶۵ | ۰/۴۹ |
| | $\theta_f=0.7$ | ۰/۷۳ | ۰/۵۸ | ۰/۶۵ | ۰/۶۹ | ۰/۵۶ |
| | $\theta_f=0.5$ | ۰/۶۹ | ۰/۶۳ | ۰/۶۸ | ۰/۷۲ | ۰/۶۱ |
| $\gamma=0.5$ | $\theta_f=0.9$ | ۰/۷۴ | ۰/۳۱ | ۰/۵۹ | ۰/۴۱ | ۰/۵۳ |
| | $\theta_f=0.7$ | ۰/۶۷ | ۰/۳۶ | ۰/۶۱ | ۰/۵۹ | ۰/۶۲ |
| | $\theta_f=0.5$ | ۰/۶۵ | ۰/۳۷ | ۰/۶۹ | ۰/۶۸ | ۰/۶۴ |
| $\gamma=0.1$ | $\theta_f=0.9$ | ۰/۷۱ | ۰/۲۱ | ۰/۵۳ | ۰/۳۷ | ۰/۴۶ |
| | $\theta_f=0.7$ | ۰/۶۹ | ۰/۲۵ | ۰/۷۹ | ۰/۵۲ | ۰/۵۲ |
| | $\theta_f=0.5$ | ۰/۶۴ | ۰/۳۲ | ۰/۸۳ | ۰/۷۳ | ۰/۷۷ |

در پایان مطالعاتی که به معرفی رویکرد جدید بهینه‌سازی بر اساس الگوریتم‌های فراابتکاری و روش‌های فازی پرداخته شده، تحلیل حساسیتی روی برخی از پارامترها انجام گرفته است (مانند تحلیل حساسیت بایکاسگلو و گوکن [۶]). از این طریق صحت روش پیشنهادی تأیید می‌شود.

در ادامه با تحلیل حساسیت به ازای $\theta_f$ و $\gamma$های مختلف به صحه‌گذاری روش پیشنهادی پرداخته می‌شود. نتایج در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد.

همان‌طور که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود، با $\gamma$ ثابت و افزایش مقدار $\theta_f$ وزن تابع عضویت هزینه کل افزایش یافته، از طرف دیگر اهمیت کمتری به درجه عضویت‌های برقراری محدودیت‌ها می‌شود، در نتیجه مقدار آنها کاهش می‌یابد. به ازای $\theta_f$ ثابت و افزایش مقدار $\gamma$، به دلیل اهمیت بیشتر به حداقل توابع عضویت، مقدار آن افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر چون به سایر توابع عضویت وزن کمتری اختصاص می‌یابد، از مقدار آنها نیز کاسته می‌شود. در نتیجه توابع عضویت به هم نزدیک‌تر شده و متعادل می‌شوند. به‌عبارت دیگر $\gamma$ زیاد اختلاف بین درجه عضویت‌ها را کاهش می‌دهد و توابع عضویت کوچک با توابع عضویت بزرگ جبران می‌شوند. $\gamma$ کوچک توانایی متعادل کردن توابع عضویت را ندارد. همان‌طور که اشاره شد بهتر است که مقدار γ زیاد در نظر گرفته شود تا از برقراری محدودیت‌ها اطمینان بیشتری داشته باشیم.

## ۵- نتیجه و جمع‌بندی

از آنجایی که با مبهم در نظر گرفتن متغیرهای تصمیم (یعنی تصمیمات تاکتیکی)، می‌توان مدل لجستیک را به شرایط دنیای واقعی نزدیک‌تر کرد و بهترین و منعطف‌ترین تصمیمات را گرفت، روشی برای حل برنامه‌ریزی ریاضی فازی شامل متغیرهای تصمیم فازی پیشنهاد شد. فازی فرض کردن متغیرهای تصمیم در زنجیره تأمین می‌تواند منجر به اخذ تصمیمات منعطف‌تر و کاراتر در همه اجزای زنجیره تأمین شده و باعث عملکرد مطلوب‌تر و رضایت بخش‌تر شبکه زنجیره تأمین نزد مشتریان و مدیران گردد [۳]. علاوه بر این، به دلیل پیچیدگی و پویایی شبکه زنجیره تأمین مقدار دقیق کالاهای ارسالی مشخص نیست [۴] و [۱۳]. این روش بر اساس روش‌های رتبه‌بندی فازی و الگوریتم‌های فراابتکاری بوده و قابلیت حل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی کامل را به‌طور مستقیم و به سادگی دارد. یک مثال عددی برای صحت کارآیی روش پیشنهادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب روش بود و بر کارآیی آن صحه گذاشت. به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی، در نظر گرفتن متغیرها و پارامترهای فازی با تابع عضویت‌های متفاوت می‌تواند روش پیشنهادی را بیشتر به دنیای واقعی نزدیک‌تر نماید. استفاده از سایر روش‌های رتبه‌بندی فازی و هم‌چنین سایر روش‌های فرا ابتکاری می‌تواند پیشنهاد دیگری برای تحقیقات آتی تلقی گردد.

## ۶- مراجع

[۱] Pishvaee, M.S., Torabi, S.A., "*A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty*", Fuzzy Sets and Systems, No. 161, pp. 2668–2683, 2010.

[۲] Pishvaee, M. S., Torabi, S.A. and Razmi, J,. "*Credibility-based fuzzy mathematical*

programming model for green logistics design under uncertainty*", Computers & Industrial Engineering, No. 62, pp. 624–632, 2012
[۳] Kabak, Ö., andÜlengin, F., "***Possibilistic linear-programming approach for supply chain networking decisions,***" European Journal of Operational Research, vol. 209, pp. 253-264, 2011.
[۴] Qin, Z., andJi, X., "***Logistics network design for product recovery in fuzzy environment***," European Journal of Operational Research, vol. 202, pp. 479-490, 2010.
[۵] Baykasoğlu, A., andGöçken, T., "***A review and classification of fuzzy mathematical programs***," Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, vol. 19, pp. 205-229, 2008.
[۶] Baykasoğlu, A., andGöçken, T., "***A direct solution approach to fuzzy mathematical programs with fuzzy decision variables***," Expert Systems with Applications, vol. 39, pp. 1972-1978, 2012.
[۷] Tanaka, H., andAsai, K., "***Fuzzy linear programming problems with fuzzy numbers***," Fuzzy Sets and Systems, vol. 13, pp. 1-10, 1984.
[۸] Tanaka, H., Guo, P., and Zimmermann, H. J., "***Possibility distributions of fuzzy decision variables obtained from possibilistic linear programming problems***," Fuzzy Sets and Systems, vol. 113, pp. 323-332, 2000.
[۹] Allahviranloo, T., HosseinzadehLotfi, F., Kiasary, M. K., Kiani, N. A., and Alizadeh, L., "***Solving fully fuzzy linear programming problem by the ranking function***," Applied Mathematical Sciences, vol. 2, pp. 19-32, 2008.
[۱۰] Hashemi, S. M., Modarres, M., Nasrabadi, E., and Nasrabadi, M. M., "***Fully fuzzified linear programming, solution and duality***," Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, vol. 17, pp. 253-261, 2006.
[۱۱] Tapkan, P., ÖZbakıR, L., and Baykasoğlu, A., "***Solving fuzzy multiple objective generalized assignment problems directly via bees algorithm and fuzzy ranking***," Expert Systems with Applications, vol. 40, pp. 892-898, 2013.
[۱۲] Kumar, A., Kaur, J., and Singh, P., "***A new method for solving fully fuzzy linear programming problems***," Applied Mathematical Modelling, vol. 35, pp. 817-823, 2011.
[۱۳] Fazlollahtabar, H., Mahdavi, I., and Mohajeri, A., "***Applying fuzzy mathematical programming approach to optimize a multiple supply network in uncertain condition with comparative analysis***," Applied Soft Computing, pp. 550–562, 2012.
[۱۴] Jiménez, M., "***Ranking fuzzy numbers through the comparison of its expected intervals***," International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, vol. 4, pp. 379-388, 1996.
[۱۵] Chen L. H., and Lu, H. W., "***An approximate approach for ranking fuzzy numbers based on left and right dominance***," Computers and Mathematics with Applications, vol. 41, pp. 1580–1602, 2001.
[۱۶] Torabi S., andHassini, E., "***An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning***," Fuzzy Sets and Systems, vol. 159, pp. 193-214, 2008.
[۱۷] Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L., and Karaoglan, I., "***A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design***," Computers & Industrial Engineering, vol. 56, pp. 521-537, 2009.
[۱۸] Wang, H.-F., and Hsu, H.-W., "***A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm***," Computers & Operations Research, vol. 37, pp. 376-389, 2010.