

# مدل ریاضی منبع‌یابی چندهدفه استوار- فازی: رویکردی در مدیریت ریسک زنجیره تأمین ایران خودرو

عادل آذر<sup>۱\*</sup>، مسعود ربیعه<sup>۲</sup>، محمد مدرس یزدی<sup>۳</sup>، محمد فطانت فرد حقیقی<sup>۴</sup>

- ۱- استاد گروه مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۲- دانشجوی دکتری مدیریت گرایش تحقیق در عملیات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- ۳- استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
- ۴- استادیار دانشکده مدیریت، دانشگاه امام صادق (ع)، تهران، ایران

پذیرش: ۸۹/۵/۳

دریافت: ۸۹/۳/۱۷

## چکیده

انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب به شکل قابل ملاحظه‌ای هزینه‌ها را کاهش و قابلیت رقابت‌پذیری سازمان را افزایش می‌دهد. از سویی در محیط رقابتی کسب‌وکار، سرعت بالای تغییرات بر عدم اطمینان و ابهام در تصمیم‌گیری‌ها افزوده است. با توجه به این دو مهم در این تحقیق به منظور کاهش ریسک و رفع ابهام موجود در تصمیم‌گیری از رویکرد ابداعی بهینه‌سازی استوار- فازی در برنامه‌ریزی تأمین قطعات دو محصول شرکت ایران خودرو و ارزیابی تأمین‌کنندگان استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن حجم وسیع قطعات هر خودرو، قطعات با ارزش برای بررسی انتخاب می‌شود. مدل تأمین این قطعات در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه طراحی می‌شود. با توجه به نبود اطمینان حاکم بر برخی پارامترهای مدل، این نوع پارامترها به صورت متغیری تصادفی که در بازه‌ای متقارن نوسان می‌کند، لحاظ می‌شوند. به منظور رفع نگرانی از این نوع پارامترها و با توجه به این‌که تعیین طول بازه برخی از این پارامترها برای تصمیم‌گیرنده مبهم است، مدل با رویکرد ابداعی به مدل استوار- فازی تبدیل می‌شود تا پاسخ‌های به دست آمده از آن قابل اتکا باشد. در پایان به منظور ارزیابی عملکرد مدل و بررسی کیفیت جواب‌های به دست آمده از تکنیک شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** منبع‌یابی (انتخاب تأمین‌کننده)، ریسک، استوار، فازی، شبیه‌سازی، زنجیره تأمین.



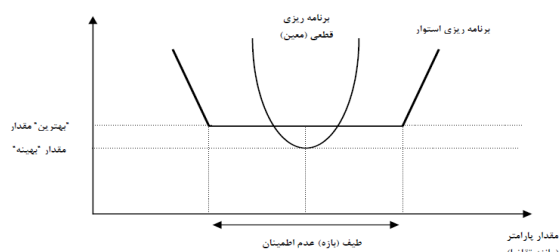
## ۱- مقدمه

در بیش‌تر صنایع، هزینه مواد خام و اجزای تشکیل‌دهنده محصول، بخش عمده‌ای از بهای تمام شده محصول را در برمی‌گیرد [۱، صص ۱۹۹-۲۱۲]. در چنین شرایطی، بخش تدارکات می‌تواند نقشی کلیدی در کارایی و اثربخشی سازمان ایفا کند و تأثیر مستقیمی بر کاهش هزینه‌ها، سودآوری و انعطاف‌پذیری یک شرکت داشته باشد [۲، صص ۱۵-۲۷]. درحقیقت انتخاب مجموعه مناسبی از تأمین‌کنندگان برای کار با آن‌ها، در جهت موفقیت یک شرکت امری بسیار مهم و حیاتی است [۳، صص ۱-۱۹]. به‌تازگی با حضور مفهوم مدیریت زنجیره تأمین بیشتر محققان، دانشمندان و مدیران پی برده‌اند که انتخاب تأمین‌کننده مناسب و مدیریت آن وسیله‌ای است که از آن می‌توان برای افزایش رقابت‌پذیری زنجیره تأمین استفاده کرد [۴، صص ۳۰۷-۳۱۸]. بنابراین به لحاظ اهمیت، مسأله انتخاب تأمین‌کننده تصمیمی مهم و استراتژیک در حوزه زنجیره تأمین می‌باشد [۵]. در ادامه به مروری گذرا بر حوزه انتخاب تأمین‌کننده پرداخته می‌شود.

تحقیق اول درحوزه انتخاب تأمین‌کننده به‌وسیله دیکسون انجام و منجر به شناسایی و رتبه‌بندی ۲۳ معیار شد [۶، صص ۵-۱۷]. وبر و همکارانش در مروری جامع ۷۴ مقاله را بررسی و آن‌ها را برحسب معیارهای دیکسون دسته‌بندی کردند [۷، صص ۲-۱۸]. ادبیات نظری وسیعی در حوزه انتخاب تأمین‌کننده و مدل‌های تصمیم‌گیری آن وجود دارد. این مدل‌های تصمیم‌گیری موجود به‌طور اساسی در صدد پاسخ‌گویی به سؤالات ذیل هستند: چه تعداد تأمین‌کننده مناسب است؟ خط مشی سفارش‌دهی بهینه چیست؟ در راستای پاسخ به این سؤالات مدل‌های قطعی بسیاری ارائه شده‌اند. از جمله محققانی که چنین مدل‌هایی را ارائه کرده‌اند، عبارتند از بنتون [۸، صص ۱۹۵۳-۱۹۶۱]، هانگ و هایا [۹، صص ۱۷۵-۱۸۱]، قدسی‌پور و ابرایان [۱۰، صص ۱۹۹-۲۱۲]، داهل [۱۰، صص ۳۳۵-۳۴۲]، هانگ هونگ و همکاران [۱۱، صص ۱-۱۱]، باسنت و لونگ [۱۲، صص ۱-۱۴]. عیب اصلی مدل‌های قطعی آن است که قادر نیستند در برابر ماهیت تصادفی سیستم‌های دنیای واقعی پاسخگو باشند. اما محققانی وجود دارند که درباره مدل‌های احتمالی صحبت کرده و بر اهمیت بحث تصادفی بودن و عدم قطعیت در مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده تأکید داشته و مدل‌هایی را ارائه کرده‌اند: گوتیرز و کولیز، کاسیلینگام و لی [۵]، ورالد ولاگون [۱۳، صص ۱۱۲۵-۱۱۳۳]، برگر و زنگ [۱۴، صص ۲۵۰-۲۶۱]، رویزتورس و محمودی، لی و زلدا [۵].

مقاله لی و زلدا از جمله کارهای تحقیقاتی جدید در حوزه انتخاب تأمین‌کننده استوار<sup>۱</sup> است. آن‌ها در تحقیق خود دو منبع نامطمئن تقاضا و ظرفیت را در نظر گرفته و بیان داشتند که عمده تحقیقات صورت گرفته در فضای احتمالی بر تصادفی بودن و عدم اطمینان تقاضا تأکید کرده‌اند. به عبارتی باید به عدم اطمینان پارامترهای دیگری نیز توجه شود. آنان همچنین بر لزوم ارائه مدل‌های چند معیاره احتمالی در این حوزه تأکید کردند. در تحقیق حاضر سعی شده است که در بحث تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان علاوه بر لحاظ عدم قطعیت و استواری مدل شاخص‌های متنوعی نیز لحاظ شود. به‌طور کلی در ادبیات زنجیره تأمین، بر اهمیت و تأثیر عدم اطمینان در زنجیره به‌طور وسیعی تأکید شده است [۱۵، صص ۷۶۹-۷۸۳]. از این رو به منظور مدیریت عدم اطمینان حاکم بر زنجیره تأمین و داشتن اعتماد کافی به نتایج باید برنامه‌ریزی قابل اتکا و استوار انجام شود تا مدیران بتوانند به نتایج آن اطمینان و اعتماد داشته و ریسک تصمیم‌گیری آن‌ها کاهش پیدا کند. از جمله رویکردهای جدید و قابل اتکا به این منظور، برنامه‌ریزی استوار است.

به‌طور کلی می‌توان مفهوم و مزایای برنامه‌ریزی استوار را در حالت عمومی و به‌طور اخص در زنجیره تأمین در شکل ۱ ملاحظه کرد. این شکل نشان می‌دهد که روش‌های قطعی (غیر استوار) مقادیر معینی (که به طور عمده از راه میانگین‌گیری یا یک حدس خوب) را برای پارامترها در نظر می‌گیرند و جواب بهینه‌ای را حاصل می‌کنند. در مقابل روش‌های استوار جوابی را نزدیک به بهینه ارائه می‌کنند و هزینه را بالاتر نشان می‌دهند، اما جواب به‌دست آمده با اطمینان بالایی قابل اتکا و معتبر است. به عبارتی با لحاظ تغییرپذیری مقادیر پارامترها روی یک طیفی (بازه‌ای) از مقادیر جواب هم‌چنان با اطمینان بالایی قابل اتکا می‌باشد [۱۵، صص ۷۶۹-۷۸۳].



شکل ۱ تأثیر برنامه‌ریزی استوار بر هزینه کل زنجیره تأمین



در این تحقیق، در راستای کاهش ریسک تصمیم‌گیری و رفع ابهام ذهنی تصمیم‌گیرنده از برنامه‌ریزی ریاضی استوار-فازی ابداعی استفاده می‌شود. به‌طور خلاصه بحث مقاله، مدل‌سازی استوار-فازی منبع‌یابی چندگانه با لحاظ شاخص‌های متعدد است. در این مقاله با توجه به آگاهی نداشتن از شکل توزیع برخی پارامترها، این نوع پارامترها به‌صورت عدد تصادفی نوسان‌کننده در بازه‌ای متقارن لحاظ شده‌اند. در مدل‌های بهینه‌سازی استوار مثل برتسیمس و سیم عدد وسط این بازه‌ها به عنوان مقدار اسمی نام‌گذاری شده است. در مواردی از مسائل واقعی برای تصمیم‌گیرنده تعیین دقیق طول بازه‌ای که این عدد اسمی در آن نوسان می‌کند، آسان نمی‌باشد و تعیین طول بازه با ابهاماتی مواجه است. به عبارتی اگر تصمیم‌گیرنده طول بازه را بالا لحاظ کند، سطح محافظه‌کاری را افزایش و هزینه بالاتری متحمل می‌شود. برعکس اگر طول بازه را پایین لحاظ کند ریسک تصمیم‌گیری را بالا برده است. علاوه بر بحث توازن بین ریسک و هزینه، در مواقعی به طور واقعی تصمیم‌گیرنده طول بازه را با ابهام بیان می‌کند. به منظور رفع این مشکل، رویکرد ابداعی ارائه می‌شود که تصمیم‌گیرنده قادر است طول بازه‌ها را به‌صورت عددی فازی بیان کند و ریسک متعادلی داشته باشد. در بخش بعد توضیحاتی در خصوص رویکرد پیشنهادی (متدولوژی کلی) و توصیف مختصری از مسأله ارائه و در بخش‌های بعدی این رویکرد به فضای مورد مطالعه تعمیم داده می‌شود.

## ۲- روش‌شناسی

### ۲-۱- برنامه‌ریزی خطی با منابع فازی: روش ورنر<sup>۱</sup> (مدل نامتقارن فازی)

مدل عمومی برنامه‌ریزی خطی فازی با منابع فازی عبارتند از:

$$\begin{aligned} \text{Max} Z &= f(x) = CX \\ \text{s.t.} &: (AX)_i \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m \\ &X \geq 0 \end{aligned}$$

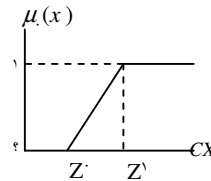
ورنر پیشنهاد داد که تابع هدف مدل بالا باید از نوع فازی باشد تا مدل فوق به مدلی متقارن تبدیل شود. با این منظور فرض می‌شود که توابع  $p_i$  برای منابع فازی موجود و معین است. ورنر برای حل مدل مذکور نخست تعاریف ذیل را برای  $\inf f$  و  $\sup f$  به‌صورت ذیل ارائه کرده است:

1. Werner's

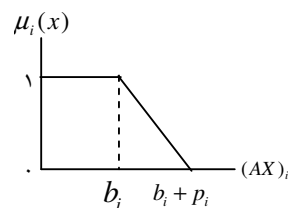
$$\begin{array}{ll} Z^* = \inf f = \text{Max } CX & Z^1 = \sup f = \text{Max } CX \\ \text{s.t. } : (AX)_i \leq b_i & \text{s.t. } : (AX)_i \leq b_i + p_i \\ X \geq 0 & X \geq 0 \end{array}$$

تابع عضویت تابع هدف و محدودیت‌ها عبارت است از :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } f(x) \notin Z \\ \frac{f(x) - Z^*}{Z^1 - Z^*} & \text{if } Z^* \leq f(x) \leq Z^1 \\ 1 & \text{if } Z^1 \leq f(x) \end{cases}$$



$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } (AX)_i < b_i \\ \frac{b_i + p_i - (AX)_i}{p_i} & \text{if } b_i \leq (AX)_i \leq b_i + p_i \\ 0 & \text{if } (AX)_i > b_i + p_i \end{cases}$$



با لحاظ توابع عضویت فوق، برای دست پیدا کردن به تصمیم بهینه می‌توان از عملگر ماکس مین<sup>۱</sup> استفاده کرد. بنابراین برنامه‌ریزی خطی فازی می‌تواند تبدیل شود به :

$$\text{Max}_{x \geq 0} \lambda, \text{ where } \lambda = \text{Min} [\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_m(x)] \quad \text{یا}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Max} & \lambda \\ \text{s.t.} & \mu_1(x) \geq \lambda \\ & \mu_2(x) \geq \lambda \\ & \lambda \in [0, 1], \quad X \geq 0 \end{array}$$

این مدل به‌طور اساسی یک مدل متقارن<sup>۲</sup> مشابه با مدل پیشنهادی زیمرمن<sup>۳</sup> است. به‌طور کلی روش‌های ورنر و زیمرمن هر دو دارای این ویژگی مثبت هستند که از عملگر ماکس مین استفاده می‌کنند [۱۷:۱۶].

1. Maxmin  
2. Symmetrical  
3. Zimmermann

## ۲-۲- بهینه‌سازی استوار (مدل برتسیمس و سیم)

در برنامه‌ریزی ریاضی قطعی داده‌های ورودی مدل (پارامترها) معین (قطعی) و معادل با مقادیر اسمی لحاظ می‌شود. این نگرش تأثیر عدم اطمینان را روی کیفیت و موجه بودن مدل مد نظر قرار نمی‌دهد. درحقیقت داده‌هایی که مقادیر متفاوتی را از مقادیر اسمی خود اختیار می‌کنند ممکن است منجر به این شود که تعدادی از محدودیت‌ها نقض شوند و جواب بهینه مدت طولانی بهینه نمانده یا حتی موجه بودن آن از بین برود. بحث حاضر این خواسته طبیعی را به ذهن متبادر می‌کند که روش‌های حلی (مدل‌هایی) طراحی شوند که در مقابل عدم اطمینان داده‌ها ایمنی و حفاظت ایجاد کنند و این روش‌های حل "استوار" نامیده می‌شوند.

اولین قدم در این راستا از سوی سویستر در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای تولید جوابی که برای همه داده‌های متعلق به یک مجموعه محدب موجه باشد، ارائه شد. مدل مذکور جواب‌هایی را ارائه می‌کند که دربرابر بهینگی مسأله اسمی به منظور اطمینان از استواری به شدت محافظه‌کارانه است. درحقیقت این مسأله از اولین مسائل بهینه‌سازی استوار می‌باشد. پس از این گام‌های مهم دیگری به‌طور مستقل در توسعه تئوری بهینه‌سازی استوار به‌وسیله بن تال و میروسکی، ال قاووی و لبرنت، ال قاووی و همکاران و برتسمس و سیم انجام شد [۱۸، صص ۳۵-۵۳]. با توجه به این‌که بحث بهینه‌سازی این تحقیق از نوع عدد صحیح مختلط بوده و استوارسازی مدل با رویکرد مدل برتسیمس و سیم هم‌خوانی دارد؛ در ادامه توضیحی در این خصوص ارائه می‌شود. مسأله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط اسمی زیر را با مجموعه  $\Pi$  متغیر را که  $k$  تای اول آن متغیرهای عدد صحیح هستند در نظر گرفته:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} && c'x \\ & \text{subject to} && Ax \leq b \\ & && l \leq x \leq u \\ & && x_i \in Z, i = 1, \dots, k \end{aligned} \quad (1)$$

بدون از دست دادن کلیت مسأله، فرض می‌شود ماتریس  $A$  و  $c$  شامل داده‌های غیرقطعی و بردار  $b$  شامل اعداد قطعی باشد. با فرض این‌که هرکدام از ضرایب  $a_{ij}$ ,  $j \in N$  به صورت یک متغیر تصادفی مستقل، با توزیع متقارن و کراندار  $\tilde{a}_{ij}$ ,  $j \in N$  مدل می‌شود که در بازه مقدار می‌گیرد. هر کدام از  $c_j$ ,  $j \in N$  در بازه  $[c_j, c_j + d_j]$  مقدار می‌گیرد، به‌طوری که  $d_j$  بیانگر انحراف از ضریب هزینه اسمی  $c_j$  می‌باشد. همچنین تنها فرض برای توزیع ضرایب  $a_{ij}$  متقارن بودن آن است. علاوه بر این اگر عدد سمت راست نیز همانند ضرایب فنی در بازه‌ای متقارن نوسان

کند، هیچ خالی به بحث وارد نمی‌شود و مدلسازی استوار آن شبیه ضرایب فنی صورت می‌گیرد. در راستای تحقق هدف استواری جواب، اعداد  $\Gamma_i, i = 0, 1, \dots, m$  تعریف می‌شود که در فاصله (بازه)  $[0, |J_i|]$  مقدار می‌گیرند؛ به طوری که  $|J_i|$  برابر با تعداد داده‌های غیر قطعی در محدودیت نام می‌باشد. نقش پارامتر  $\Gamma_i$  در محدودیت‌ها تنظیم میزان استواری در مقابل سطح محافظه‌کاری جواب است. پارامتر  $\Gamma$  سطح استوار بودن را برای تابع هدف کنترل می‌کند. اگر  $\Gamma = 0$  باشد، اثر تغییرات در ضرایب هزینه به طور کامل در نظر گرفته می‌شود. اما اگر  $\Gamma = |J_i|$  باشد، همه تغییرات ممکن لحاظ می‌شود که محافظه‌کارانه‌ترین حالت است. همتای استوار برتسیمس و سیم برای مسأله (۱) به شکل زیر است [۱۸، صص ۳۵-۵۳؛ ۱۹، صص ۱۵۰-۱۶۸]:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Min } z = c'x + z_i \Gamma_i + \sum_{j \in J_i} p_{ij} & \forall i \\
 \text{St } : \sum_j a_{ij} x_j + z_i \Gamma_i + \sum_{j \in J_i} p_{ij} \leq b_i & \forall j \in J_i \\
 z_i + p_{ij} \geq d_j y_j & \forall i, j \in J_i \\
 z_i + p_{ij} \geq \hat{a}_{ij} y_j & \forall j \\
 p_{ij} \geq 0 & \forall i \\
 y_{ij} \geq 0 & \forall j \\
 z_i \geq 0 & \forall j \\
 -y_j \leq x_j \leq y_j \quad \forall j & i = 1, \dots, k \\
 l_j \leq x_j \leq u_j \quad \forall j & \\
 x_i \in z & 
 \end{array}$$

در مباحث بهینه‌سازی استوار به ازای هر مسأله اسمی (مسأله حاوی پارامترهای نامطمئن) یک مدل استوار ارائه می‌شود که همتای استوار نام‌گذاری شده است.

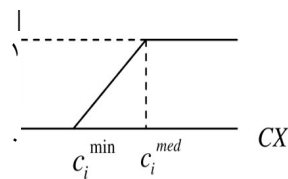
## ۲-۳- توصیف مسأله و استدلال ارائه روش ابداعی

در فضای مسأله این تحقیق برخی پارامترها مانند ظرفیت تأمین‌کننده و هزینه حمل‌ونقل از نظر تصمیم‌گیرنده نامطمئن هستند. با توجه به این‌که توزیع دقیق این داده‌ها مشخص نمی‌باشد، نوسان داده‌ها در قالب بازه‌ای متقارن لحاظ شدند. اما مسئله‌ای که درباره بازه‌ها وجود دارد، تعیین طول

(نیم طول) بازه‌ها است که تصمیم‌گیرنده درخصوص مقدار دقیق آن با ابهام مواجه است. در این تحقیق این مورد برای طول (نیم طول) پارامتر ظرفیت تأمین‌کننده رخ داد. اگر نیم طول بازه مربوط این پارامتر را با  $\hat{C}_i$  نشان داده شود و با توجه به توضیحات قبل این عبارت به صورت عدد فازی مثلثی لحاظ شده و به شکل  $\tilde{C}_i$  نشان داده می‌شود. با این توضیح همتای استوار برتسیمس و سیم به این صورت تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z &= c'x + z_i \Gamma_i + \sum_{j \in J_i} p_{ij} & \forall i \\
 \text{S.t. } & \sum_j a_{ij} x_j + z_i \Gamma_i + \sum_{j \in J_i} p_{ij} \leq b_i & \forall j \in J_i \\
 & & \forall i \neq \cdot, j \in J_i \\
 z_i + p_{ij} & \geq d_j y_j & \forall i \\
 z_i + p_{ij} & \geq \hat{a}_{ij} y_j & \forall i, j \in J_i \\
 z_i + p_{ij} & \geq \hat{b}_i & \forall i, j \\
 p_{ij} & \geq \cdot & \forall i \\
 y_{ij} & \geq \cdot & \forall j \\
 z_i & \geq \cdot & \forall j \\
 -y_j \leq x_j \leq y_j & \forall j & i = 1, \dots, k \\
 l_j \leq x_j \leq u_j & \forall j \\
 x_i & \in z
 \end{aligned}$$

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } f(x) \notin Z^1 \\ \frac{f(x) - c_i^{\min}}{c_i^{\text{med}} - c_i^{\min}} & \text{if } Z^0 \leq f(x) \leq Z^1 \\ 1 & \text{if } Z^{\bar{1}} \leq f(x) \end{cases}$$



مدل مذکور یک مدل برنامه ریزی خطی با منابع فازی (مدل نامتقارن) است و قابل تبدیل به مدل متقارن می‌باشد.



### ۳- رویه کلی مدلسازی و حل

جدول ۱ رویه کلی مدلسازی و حل

۱	تعیین مفروضات مدل (رجوع به ادبیات نظری، مصاحبه مستمر با خیرگان و کارشناسان شرکت)
۲	مدلسازی ریاضی (تعریف متغیرها، پارامترها، تعیین اهداف و محدودیت‌ها) با رجوع به ادبیات نظری، مصاحبه مستمر با خیرگان و کارشناسان شرکت)
۳	تعیین ماهیت پارامترهای غیر قطعی؛ مصاحبه با خیرگان و کارشناسان
۴	تعیین نوع طول بازه پارامترهای غیر قطعی (اعم از قطعی و فازی)
۵	مدلسازی استوار- فازی (تبدیل مدل ریاضی به مدل همتای استوار- فازی)
۶	تعیین ضریب اهمیت اهداف به کمک روش AHP و تهیه پرسشنامه مربوطه
۷	تعیین مقادیر پارامترهای مطمئن، تعیین مقادیر اسمی پارامترهای نامطمئن، تعیین طول بازه‌ها (اعم از قطعی و فازی) و تعیین مقادیر حقیقی آرمان‌ها به وسیله حل مدل در شرایط ایدئال
۸	حل مدل استوار- فازی در حالت کلی و در حالت‌های خاص، شبیه‌سازی و بررسی کیفیت جواب‌ها

### ۴- فرموله کردن مدل

خودروسازی از اجزای مهم و جدایی‌ناپذیر تجارت و صنعت در دنیا می‌باشد. زنجیره تأمین این صنعت از پویاترین زنجیره‌ها است. با توجه به این مهم زنجیره تأمین ایران خودرو به عنوان بزرگ‌ترین زنجیره فعال در این حوزه برای مطالعه انتخاب شد. در این زنجیره هر خودرو شامل هزاران قطعه است. صرف‌نظر از تک منبع بودن برخی قطعات، بسیاری از قطعات دارای چندین منبع تأمین می‌باشند، به عبارتی برنامه‌ریزی درست تأمین قطعات با لحاظ معیارهای مختلف و لحاظ عدم اطمینان بالای موجود در برخی شاخص‌ها بر اهمیت برنامه‌ریزی استوار در این زنجیره افزوده است. در این تحقیق برنامه‌ریزی استوار تأمین قطعات دو نوع خودرو (پژو ۴۰۵ و پارس) مد نظر قرار گرفته است. این قطعات بیش از ۷۰ درصد ارزش کل هر خودرو را به خود اختصاص داده‌اند. برنامه‌ریزی تأمین این قطعات بر مبنای برنامه تولید کارخانه تهران بوده اما مدلسازی به شکل کلی توسعه داده شده تا برای چندین کارخانه قابل اجرا باشد. داده‌های تحقیق به‌طور عمده از شرکت سایکو و ایران‌خودرو حاصل شده است. تأمین قطعات موردنیاز در تولید خودرو از تأمین‌کنندگان مناسب با ویژگی‌های متفاوت با توجه به حجم بالای قطعات از اهمیت بسیاری برخوردار است. در خرید از این تأمین‌کنندگان باید ویژگی‌های آن‌ها و همچنین محدودیت‌های شرکت در خرید از آن‌ها نیز لحاظ شود. مدلسازی این تحقیق با مصاحبه‌های مکرر با مدیران و خیرگان در حوزه زنجیره تأمین مورد مطالعه انجام شده و از روایی و اعتبار بالایی برخوردار است. قبل از تشریح

مدلسازی در جدول ۲ مفروضات، اندیس‌ها، متغیرها و پارامترهای مدل آورده شده است:

جدول ۲ ویژگی‌های مدل، تعریف اندیس‌ها، متغیرها و پارامترهای مدل

مفروضات	اندیس‌ها	تعریف متغیرها	پارامترهای قطعی	موارد مربوط به پارامترهای غیرقطعی
عدم محدودیت فضای انبار، ثبات قیمت در طول سال، مجاز نبودن کمبود قطعه، تصافی بودن ماهیت داده‌های نامطمئن، تبعیت تغییرپذیری (نوسان) داده‌های نامطمئن از توزیع متقارن	$i$ : محصول (خودرو)، $j$ : کارخانه (سایت تولیدی)، $m$ : قطعه، $n$ : تأمین کننده، $t$ : دوره زمانی برنامه‌ریزی، $r$ : تابع هدف	$S_{mjt}$ = میزان تأمین قطعه $m$ در دوره زمانی $t$ ام $S_{mnjt}$ = میزان تأمین قطعه $m$ از تأمین کننده $n$ ام در دوره زمانی $t$ ام برای کارخانه $j$ ام $S_{mnjt}$ = میزان موجودی قطعه $m$ ام در دوره زمانی $t$ ام $IS_{mjt}$ = میزان موجودی قطعه $m$ ام در کارخانه (سایت) $j$ ام $IS_{mnjt}$ = میزان موجودی قطعه $m$ ام تأمین کننده $n$ ام در دوره زمانی $t$ ام در کارخانه $j$ ام $d_i^+$ = متغیر انحراف از آرمان (انحراف مثبت) $d_i^-$ = متغیر انحراف از آرمان (انحراف منفی) $\lambda$ = درجه (میزان) اقتناع محدودیت‌ها	$P_{jt}$ = میزان تولید خودرو $i$ ام، در دوره زمانی $t$ ام $P_{ijt}$ = میزان تولید خودرو $i$ ام، در کارخانه $j$ ام و در دوره زمانی $t$ ام $CS_{mn}$ = هزینه خرید هر قطعه $Ch_{mnjt}$ = هزینه نگهداری هر قطعه در سایت تولیدی $CSTOP_{mn}$ = هزینه توقف خط تولید ناشی از عملکرد تأمین‌کنندگان $COMP_{mn}$ = میزان شکایت خط تولید از قطعات تأمین‌کنندگان $PPM_{mn}$ = شاخص قطعات برگشتی (PPM) تأمین‌کنندگان $VC_{im}$ = ضریب مصرف قطعه $m$ در محصول $i$ ام $DP_{mn}$ = عدد تحویل به موقع تأمین‌کننده $n$ ام در تحویل قطعه $m$ ام $W_r$ = ضریب اهمیت تابع هدف $r$ ام $G_r$ = مقدار آرمان $r$ ام $LT_m$ = زمان تأمین قطعه $m$ ام $\alpha$ = ضریب اطمینان تعیین‌کننده سطوح مجاز موجودی $\beta$ = ضریب تعیین‌کننده حداقل خرید از هر تأمین‌کننده $I$ = ضریب سطح حفاظت مدل استوار	$\bar{C}t_{mnj}$ = عدد اسمی هزینه حمل و نقل قطعه $m$ ام از تأمین‌کننده $n$ ام تا سایت‌های تولیدی $\bar{C}_{mn}$ = عدد اسمی ظرفیت تأمین‌کننده $n$ ام برای تأمین قطعه $m$ ام $\hat{C}t_{mnj}$ = طول بازه‌ای که عدد اسمی هزینه حمل و نقل قطعه $m$ ام در آن نوسان می‌کند. $\tilde{C}_{mn}$ = طول بازه‌ای که عدد اسمی ظرفیت تأمین‌کننده در آن نوسان می‌کند.

## ۵- مدلسازی توابع هدف مدل

جدول ۳ مدلسازی توابع هدف مدل

توابع هدف	شرح مدلسازی
کمینه کردن شکایات خط تولید از قطعات تأمین‌کنندگان	<p>حوزه لجستیک شرکت ساپکو همواره با شکایات خط تولید خودرو از قطعات تأمین‌کنندگان مواجه است و این عاملی تأثیرگذار در تخصیص سفارش می باشد. مدلسازی این عامل به این شکل است که هر تأمین‌کننده‌ای که در قیاس با سایر تأمین‌کنندگان قطعه از شکایات کم‌تری برخوردار باشد میزان سفارش بیش‌تری را به خود اختصاص دهد. لذا داریم:</p> $\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \text{COMP}_{mn} S_{mnt}$
کمینه کردن قطعات معیوب تأمین‌کنندگان (PPM)	<p>شاخص (Part Per Million) از جمله شاخص‌های مهم در ارزیابی و تخصیص سفارش می باشد. به‌طور خلاصه اهمیت این شاخص تنها در لحاظ کردن تعداد قطعات معیوب نیست بلکه نکته در آن است که این شاخص، تعداد عیوب را نسبت به حجم محموله ارسالی تأمین‌کننده محاسبه می‌کند. بنابراین تأمین‌کننده‌ای که دارای PPM کم‌تری است باید میزان بیش‌تری از خرید محصول را به خود تخصیص دهد. در این صورت مدلسازی این بحث عبارت است از:</p> $\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \text{PPM}_{mn} S_{mnt}$
بیشینه‌کردن تحویل به موقع	<p>تحویل به موقع از جمله شاخص‌هایی است که در ادبیات انتخاب تأمین‌کننده و از نظر خیرگان صنعت مورد مطالعه بسیار مورد تأکید قرار گرفته است. مدلسازی تابع هدف مربوط این شاخص به این شکل انجام شده که به تأمین‌کننده‌ای که در این شاخص دارای ضریب بالاتری است، تخصیص بیش‌تری صورت گیرد و در این صورت داریم:</p> $\text{Max} \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \text{DP}_{mn} S_{mnt}$
هزینه کل تأمین قطعات	<p>در حوزه تأمین زنجیره تأمین مورد مطالعه هزینه کل تأمین شامل چهار نوع هزینه است: هزینه خرید قطعات، هزینه حمل و نقل قطعات تا سایت‌های تولیدی، هزینه توقف خط تولید ناشی از عملکرد تأمین‌کنندگان و هزینه نگهداری موجودی قطعات در هر سایت تولید. با توجه به تعاریف پارامترها و متغیرهای مدلسازی ریاضی تابع هزینه کل تأمین برای تمام دوره‌ها عبارت است از:</p> $\text{Min} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \text{CS}_{mn} S_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \bar{\text{Ct}}_{mnj} S_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \text{CSTOP}_{mn} S_{mnt} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \text{Ch}_{mn} \text{IS}_{mntj}$

## ۶- محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های این مدل را می‌توان در حالت کلی به چندین دسته طبقه‌بندی کرد (جدول ۴).

جدول ۴ دسته‌بندی کلی محدودیت‌های مدل

محدودیت تقاضا، محدودیت حداقل مجاز موجودی، محدودیت سقف مجاز موجودی، محدودیت ظرفیت، محدودیت حداقل میزان خرید از هر تأمین‌کننده.	محدودیت‌های اصلی
محدودیت‌هایی که در حقیقت اهداف بوده و با توجه به آرمان هر هدف به محدودیت تبدیل شده‌اند.	محدودیت‌های آرمانی
در خصوص علامت و ماهیت گسسته و پیوسته بودن متغیرها اعمال شده‌اند.	محدودیت‌های علامتی و عدد صحیح
در حین تبدیل مدل اصلی به مدل استوار (همتای استوار) به مدل اضافه شده‌اند.	محدودیت‌های استواری

جدول ۵ مدلسازی محدودیت‌های مدل

شرح مدلسازی	محدودیت‌ها
<p>میزان تقاضای قطعات هر دوره زمانی به سه عامل میزان تولید خودرو (برنامه تولید خودرو) در آن دوره، ضریب مصرف قطعه در هر خودرو، موجودی اول دوره و میزان موجودی مورد نیاز در پایان دوره وابسته است. در این صورت میزان تقاضای قطعه <math>m</math> در دوره <math>t</math> ام برای سایت تولیدی <math>j</math> ام از رابطه زیر به دست می‌آید:</p> $S_{mj} = \sum_{n=1}^n S_{mnmj} = \sum_{i=1}^i VC_{im} P_{ijt} - \sum_{n=1}^n IS_{mjt-1} + \sum_{n=1}^i IS_{mjt} \quad \forall j, m, t$	تقاضای قطعات
<p>بنابر نظر کارشناسان میزان موجودی در طی دوره از فرمولی تبعیت می‌کند. این فرمول ضریبی از میزان تولید محصول در آن دوره، ضریب مصرف قطعه، زمان تأمین قطعه و ضریب اطمینانی که با <math>\alpha</math> نمایش داده می‌شود در این صورت میزان حداقل و حداکثر (سقف) مجاز موجودی از رابطه زیر حاصل می‌شود:</p> $\sum_{i=1}^n IS_{mj} \geq VC_{im} \times X_{ijt} \times \alpha \times LT_m \quad \forall j, m, t$ $\sum_{i=1}^n IS_{mj} \leq VC_{im} \times X_{ijt} \times (1 + \alpha) \times LT_m \quad \forall j, m, t$	سقف موجودی و حداقلی موجودی

### ادامه جدول 5

محدودیت‌ها	شرح مدلسازی
ظرفیت تأمین‌کنندگان	این محدودیت به این شکل قابل اعمال است که تأمین‌کننده $i$ ام تنها می‌تواند مقدار محدودی از تقاضای ما برای قطعه $m$ یعنی را برآورده کند. در واقع ظرفیت سالیانه تولید یا حداکثر ظرفیت سالیانه‌ای که عرضه‌کننده $i$ ام به خریدار تخصیص می‌دهد باید کمتر یا مساوی $C_i$ در سال باشد، از این رو داریم: $\sum_{j=1}^J S_{mnjt} \leq \bar{C}_{mn} \quad \forall m, n, t$
حداقل میزان خرید از هر تأمین‌کننده	با توجه به سیاست‌های شرکت در خرید از تمام تأمین‌کنندگان یک قطعه و با لحاظ ضریبی به عنوان حداقل خرید از هر تأمین‌کننده داریم: $\sum_{j=1}^J S_{mnjt} \geq \beta \times \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J S_{mnjt} \quad \forall m, n, t$

### 7- مدل آرمانی اسمی

$$Min Z = \sum_{r=1}^R w_r (d_r^+, d_r^-) = w_v d_v^+ + w_d d_d^+ + w_t d_t^- + w_p d_p^+$$

$S t :$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T COM P_{mn} S_{mnt} + d_v^- - d_v^+ = G_v$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T PPM_{mn} S_{mnt} + d_t^- - d_t^+ = G_t$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T DP_{mn} S_{mnt} + d_r^- - d_r^+ = G_r$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CS_{mn} S_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T C_{t(mn)} S_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T Ch_{mn} IS_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CSTOP_{mn} IS_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T PP_{mntj} + d_r^- - d_r^+ = G_r$$

$$S_{mntj} = \sum_{n=1}^N S_{mntj} = \sum_{i=1}^I VC_{im} P_{ijt} - \sum_{n=1}^N IS_{mnpj-t} + \sum_{n=1}^N IS_{mnpj} \quad \forall j, m, t$$

$$\sum_{i=1}^I IS_{mtj} \geq VC_{im} \times X_{ijt} \times \alpha \times LT_m \quad \forall j, m, t$$

$$\sum_{i=1}^I IS_{mtj} \leq VC_{im} \times X_{ijt} \times (1 + \alpha) \times LT_m \quad \forall j, m, t$$

$$\sum_{j=1}^J S_{mntj} \leq \bar{C}_{mn} \quad \forall m, n, t$$

$$\sum_{j=1}^J S_{mnjt} \geq \beta \times \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J S_{mnjt} \quad \forall m, n, t$$

$$S_{mnjt}, IS_{mtj} \geq 0, integer \quad \forall m, n, j, t$$



## ۸- مدل همتای استوار- فازی آرمانی

با لحاظ ویژگی‌های مدل برتسیمس و سیم از این مدل در تبدیل مدل به همتای استوار استفاده شد و داریم:

$$Min Z = \sum_{r=1}^R w_r (d_r^+, d_r^-) = w_{\gamma} d_{\gamma}^+ + w_{\gamma} d_{\gamma}^- + w_{\tau} d_{\tau}^+ + w_{\tau} d_{\tau}^-$$

St :

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T COMP_{mn} S_{mnt} + d_{\gamma}^- - d_{\gamma}^+ = G_{\gamma}$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T PPM_{mn} S_{mnt} + d_{\tau}^- - d_{\tau}^+ = G_{\tau}$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T DP_{mn} S_{mnt} + d_{\tau}^- - d_{\tau}^+ = G_{\tau}$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CS_{mn} S_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \bar{C}t_{mnj} S_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T Ch_{mn} IS_{mntj} +$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CSTOP_{mn} IS_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T PP_{mnjt} + Z \times \Gamma_{\gamma} - d_{\gamma}^+ \leq G_{\tau}$$

$$S_{mtj} = \sum_{n=1}^n S_{mntj} = \sum_{i=1}^i VC_{im} P_{ijt} - \sum_{n=1}^n IS_{mnjt-1} + \sum_{n=1}^i IS_{mnjt} \forall j, m, t$$

$$\sum_{i=1}^n IS_{mtj} \geq VC_{im} \times X_{ijt} \times \alpha \times LT_m \forall j, m, t$$

$$\sum_{i=1}^n IS_{mtj} \leq VC_{im} \times X_{ijt} \times (1 + \alpha) \times LT_m \forall j, m, t$$

$$\sum_{j=1}^J S_{mntj} + ZZ_{mnt} \Gamma_{\tau} + ppp_{mnt} \leq \bar{C}_{mn} \forall m, n, t$$

$$\sum_{j=1}^J S_{mnjt} \geq \beta \times \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^J S_{mnjt} \forall m, n, t$$

$$PP_{mnjt} + ZZ \geq \hat{C}t S_{mntj} \forall m, n, j, t$$

$$ZZ_{mnt} + ppp_{mnt} \geq \tilde{C}_{mn} \forall m, n, t$$

$$S_{mnjt}, IS_{mtj} \geq \cdot, \text{integer} \quad \forall m, n, j, t$$

## ۹-مدل همتای استوار- فازی قطعی شده

$$\begin{aligned}
 &Max Z = \lambda \\
 &St : \\
 &w_{\gamma}d_{\gamma}^{+} + w_{\gamma}d_{\gamma}^{-} + w_{\gamma}d_{\gamma}^{+} + w_{\gamma}d_{\gamma}^{-} + (Z^{+} - Z^{-})\lambda \leq Z^{-} \\
 &\sum_{i=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T COMP_{mn} S_{mnt} + d_{\gamma}^{-} - d_{\gamma}^{+} = G_{\gamma} \\
 &\sum_{i=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T PPM_{mn} S_{mnt} + d_{\gamma}^{-} - d_{\gamma}^{+} = G_{\gamma} \\
 &\sum_{i=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T DP_{mn} S_{mnt} + d_{\gamma}^{-} - d_{\gamma}^{+} = G_{\gamma} \\
 &\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CS_{mn} S_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \bar{C}t_{mnj} S_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T Ch_{mn} IS_{mntj} + \\
 &\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T CSTOP_{mn} IS_{mntj} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T PP_{mntj} + Z \times \Gamma_{\gamma} - d_{\gamma}^{+} \leq G_{\gamma} \\
 &S_{mjt} = \sum_{n=1}^n S_{mntj} = \sum_{i=1}^i VC_{im} P_{ijt} - \sum_{n=1}^n IS_{mnjt-1} + \sum_{n=1}^i IS_{mnjt} \forall j, m, t \\
 &\sum_{i=1}^n IS_{mjt} \geq VC_{im} \times X_{ijt} \times \alpha \times LT_m \forall j, m, t \\
 &\sum_{i=1}^n IS_{mjt} \leq VC_{im} \times X_{ijt} \times (1 + \alpha) \times LT_m \forall j, m, t \\
 &\sum_{j=1}^J S_{mntj} + ZZ_{mnt} \Gamma_{\gamma} + ppp_{mnt} \leq \bar{C}_{mn} \forall m, n, t \\
 &\sum_{j=1}^J S_{mnjt} \geq \beta \times \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^J S_{mnjt} \forall m, n, t \\
 &PP_{mnjt} + ZZ \geq \hat{C}t_{m} S_{mij} \forall m, n, j, t \\
 &ZZ_{mnt} + ppp_{mnt} + \lambda(C_{med} - C_{min}) \geq C_{min} \forall m, n, t \\
 &S_{mjt}, IS_{mjt} \geq \cdot, integer \quad \forall m, n, j, t
 \end{aligned}$$

## ۱۰- مدلسازی نرم (تعیین ضریب اهمیت آرمان‌ها)

در تحقیق حاضر از تکنیک AHP برای تعیین اولویت آرمان‌ها (اهداف) استفاده شد. به این منظور به کمک پرسشنامه AHP از ۱۰ تن از مدیران و کارشناسان شرکت نظرخواهی شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه به تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel و Expert Choice پرداخته شد و نرخ سازگاری برابر ۰/۰۴ حاصل شد. با توجه به این‌که نرخ سازگاری از ۰/۱ است، اوزان به دست آمده قابل اعتماد می‌باشد.



جدول ۶ ضرایب اهمیت آرمان‌ها

اهداف (آرمان‌ها)	اول	دوم	سوم	چهارم
اوزان اهمیت اهداف	۰/۳۵۱۲	۰/۳۰۶۵	۰/۲۰۱۷	۰/۱۴۰۶

### ۱۰- پارامترهای مدل

در حالت کلی پارامترهای مدل را می‌توان به دودسته عمده تقسیم کرد که عبارتند از:  
 - پارامترهای عمومی و قطعی: قیمت، عدد تحویل به موقع، مقادیر آرمان‌ها، ضرایب اهمیت آرمان‌ها و....  
 - پارامترهای غیر قطعی: ظرفیت و هزینه حمل و نقل، اعداد مربوط به (طول بازه) پارامتر هزینه حمل و نقل.

با توجه به این‌که بحث اصلی این تحقیق تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان مناسب است از بین قطعات انتخابی (روش ABC)، قطعات تک منبع حذف شدند. در مجموع ۱۲۹ تأمین‌کننده مورد ارزیابی قرار گرفتند. در ضمن مدل استوار براساس برنامه تولید دو خودروی مورد مطالعه در سایت تهران برای برنامه‌ریزی ۳ دوره‌ای (ماهانه) در سطح تاکتیکی و با داده‌های واقعی شرکت ساپکو و ایران خودرو اجرا شد. در این مقاله به دلیل حجم زیاد داده‌ها از ارائه اعداد پارامترها (داده‌های ورودی) مدل خودداری می‌شود.

### ۱۱- حل مدل، شبیه‌سازی و نتایج به دست آمده

به دلیل پیچیدگی بالای مدل به لحاظ حجم متغیرها، محدودیت‌ها و داده‌ها، مدل در فضای مجموعه‌ها در نرم‌افزار لینگو لینک شده با اکسل برنامه نویسی شد تا داده‌های ورودی مدل از اکسل فراخوانی شود و به این ترتیب کارایی محاسباتی مدل افزایش پیدا کند. پس از اتمام برنامه‌نویسی، مدل استوار-فازی به سه شکل حل شد که آن را حل آلفا، حل بتا و حل گاما می‌نامند:

حل آلفا: ۱۱ بار حل مدل استوار-فازی در حالت عادی به ازای وجود ۱۱ سطح حفاظت  
 حل بتا: ۱۱ بار حل مدل استوار-فازی در حالت وجود محدودیت  $\lambda = 1$ ، (یعنی  $\tilde{C}_i = C_i^{med}$ )  
 به ازای ۱۱ سطح حفاظت.



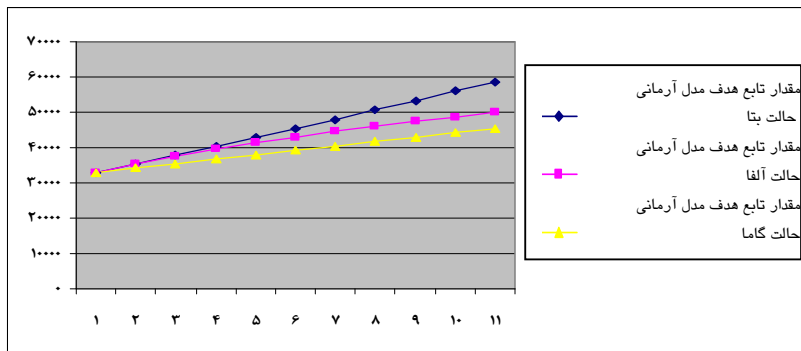
حل گاما: ۱۱ بار حل مدل استوار- فازی در حالت وجود محدودیت  $\lambda = 0$  ( $\tilde{c}_i = c_i^{\min}$ ) به ازای ۱۱ سطح حفاظت

حل بتا و گاما به دلیل نشان دادن صحت جواب‌های مدل استوار- فازی مد نظر قرار گرفته است (در واقع باید مقادیر تابع هدف در حل آلفا برای هر ۱۱ حالت بین حل بتا و حل گاما قرار گیرد). بنابراین در مجموع مدل ۳۳ بار حل شد. به منظور نشان دادن درستی عملکرد مدل در هر حالت مقادیر متغیرهای به دست آمده، ثابت لحاظ شدند و پارامترهای نامطمئن در بازه در نظر گرفته شده به طور تصادفی در قالب تابع توزیع متقارن برای ۱۰۰۰ بار تولید و شبیه‌سازی شدند. برای هر بار شبیه‌سازی مشخص شد که چه تعداد از محدودیت‌ها نقض شده‌اند. به عبارتی با مشخص شدن تعداد کل محدودیت‌های نقض شده به تعداد کل محدودیت‌های دارای پارامترهای نامطمئن، ریسک هر سطح حفاظت تعیین شد. به طور خلاصه به ازای هر بار حل، نتایج شبیه‌سازی شد و در مجموع ۳۳ بار عمل شبیه‌سازی صورت گرفت. خلاصه نتایج در جدول ۷ ارائه شده است.

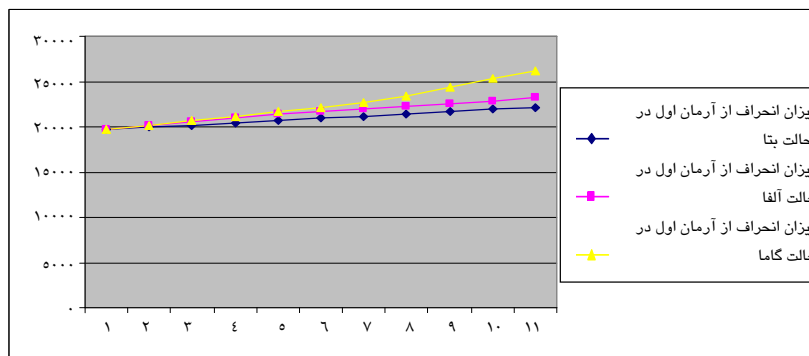
جدول ۷ مقادیر تابع هدف برای هر یک حالت‌های حل آلفا، بتا و گاما

حل گاما		حل بتا		حل آلفا		$\Gamma_2$	$\Gamma_1$	$\Gamma$
مقادیر انحراف از آرمان اول	مجموع انحرافات از آرمانها (تابع هدف اصلی در مدل آرمانی)	مقادیر انحراف از آرمان اول	مجموع انحرافات از آرمانها (تابع هدف اصلی در مدل آرمانی)	مقادیر انحراف از آرمان اول	مجموع انحرافات از آرمانها (تابع هدف مدل آرمانی)			
۱۹۶۸۶	۳۳۹۱۱	-	۱۹۶۸۶	۳۳۹۱۱	۱	۱۹۶۸۶	۳۳۹۱۱	۱
۱۹۹۳۶	۳۳۱۸۵	-	۲۰۱۸۳	۳۵۴۳۷	۱	۲۰۱۶۰	۳۵۳۲۰	-/۹۰۶
۲۰۱۸۵	۳۵۴۴۱	-	۲۰۶۸۱	۳۷۹۵۲	۱	۲۰۵۹۱	۳۷۵۰۴	-/۸۲۲
۲۰۴۳۴	۳۶۶۹۹	-	۲۱۱۷۷	۴۰۴۶۶	۱	۲۰۹۸۶	۳۹۵۰۳	-/۷۴۴
۲۰۶۸۳	۳۷۹۵۶	-	۲۱۶۷۹	۴۲۹۸۲	۱	۲۱۳۴۹	۴۱۳۳۸	-/۶۷۳
۲۰۹۳۲	۳۹۲۱۴	-	۲۲۱۷۱	۴۵۵۰۱	۱	۲۱۶۸۴	۴۳۰۳۰	-/۶۰۸
۲۱۱۸۱	۴۰۴۷۰	-	۲۲۶۶۷	۴۸۰۲۳	۱	۲۱۹۹۴	۴۴۵۹۷	-/۵۴۷
۲۱۴۲۹	۴۱۷۲۸	-	۲۳۴۴۱	۵۰۶۴۳	۱	۲۲۲۸۰	۴۶۰۵۰	-/۴۹۱
۲۱۶۷۸	۴۲۹۸۴	-	۲۴۳۷۵	۵۳۳۱۵	۱	۲۲۵۴۷	۴۷۴۰۲	-/۴۳۸
۲۱۹۲۸	۴۴۲۴۵	-	۲۵۳۰۹	۵۵۹۹۰	۱	۲۲۸۰۹	۴۸۶۶۶	-/۳۸۹
۲۲۱۷۶	۴۵۵۰۵	-	۲۶۲۴۱	۵۸۷۰۹	۱	۲۳۱۷۷	۴۹۸۷۵	-/۳۴۲

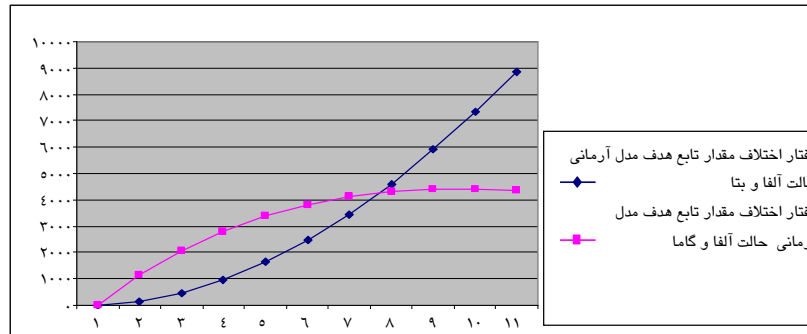
قابل توجه این‌که نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی در بدبینانه ترین حالت، یعنی حداکثر طول بازه نوسان حاصل شده است و با رویکردهای متعادل‌تر مانند شبیه‌سازی فازی می‌توان احتمال نقض‌های پایین‌تری را انتظار داشت.



نمودار ۱ نمایش رفتار مجموع انحرافات از آرمان‌ها (تابع هدف مدل آرمانی) در هر یک از حالت‌های حل آلفا، بتا، گاما و مقایسه آن‌ها



نمودار ۲ نمایش رفتار انحراف از آرمان اول در هر یک از حالت‌های حل آلفا، بتا، گاما و مقایسه آن‌ها

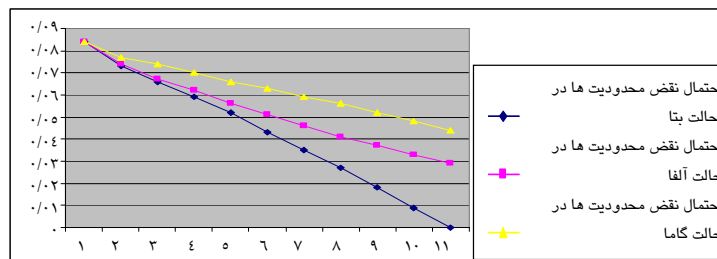


نمودار ۳ نمودار روند تفاوت مقادیر تابع هدف در حالت حل آلفا و در مقایسه با دو حالت دیگر

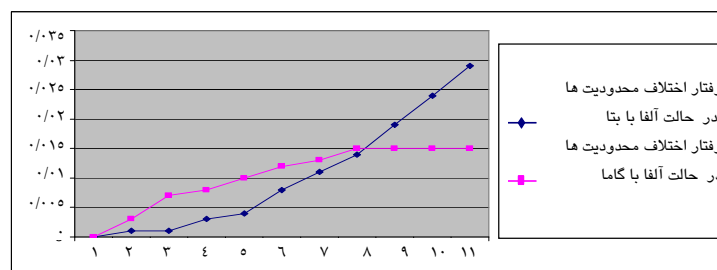
در جدول ۸ ستون‌های الف - د به ترتیب بیانگر درصد انحراف از آرمان‌های اول تا چهارم نسبت به مقدار هر آرمان است.

جدول ۸ مقادیر انحراف از هر آرمان نسبت به مقدار آرمان بر مبنای درصد در حالت کلی  $\lambda$

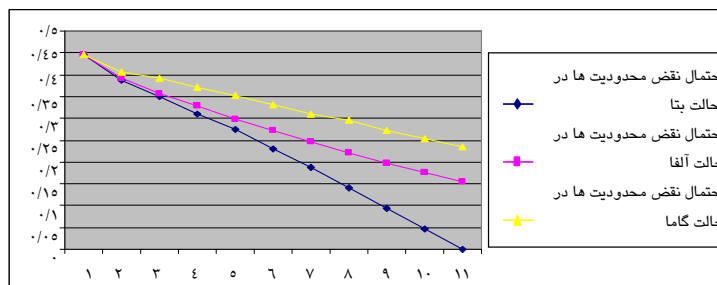
حالت	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	الف	ب	ج	د
۱	-	-	۷/۱۹۲	۲۲/۸۰۷	۸۲/۳۲۰	۲۷/۲۹۰
۲	۳۹	-/۱	۷/۳۶۶	۲۲/۸۶۰	۹۵/۰۴۰	۲۷/۳۹۲
۳	۷۸	-/۲	۷/۵۲۳	۲۲/۹۱۱	۱۰۶/۶۳۲	۲۷/۴۱۲
۴	۱۱۷	-/۳	۷/۶۶۷	۲۲/۹۶۰	۱۱۷/۲۴۰	۲۷/۴۲۶
۵	۱۵۶	-/۴	۷/۸۰۰	۲۳/۰۰۵	۱۲۶/۹۸۸	۲۷/۴۳۴
۶	۱۹۵	-/۵	۷/۹۲۲	۲۳/۰۴۷	۱۳۵/۹۷۱	۲۷/۴۴۰
۷	۲۳۴	-/۶	۸/۰۳۶	۲۳/۰۹۳	۱۴۴/۲۹۰	۲۷/۴۳۸
۸	۲۷۳	-/۷	۸/۱۴۰	۲۳/۱۳۸	۱۵۲/۰۰۹	۲۷/۴۲۸
۹	۳۱۲	-/۸	۸/۲۳۸	۲۳/۱۸۱	۱۵۹/۱۸۸	۲۷/۴۱۸
۱۰	۳۵۱	-/۹	۸/۳۳۳	۲۳/۲۱۸	۱۶۵/۸۸۳	۲۷/۴۰۴
۱۱	۳۸۷	۱۱	۸/۴۶۸	۲۳/۲۴۰	۱۷۲/۰۷۱	۲۷/۳۹۷



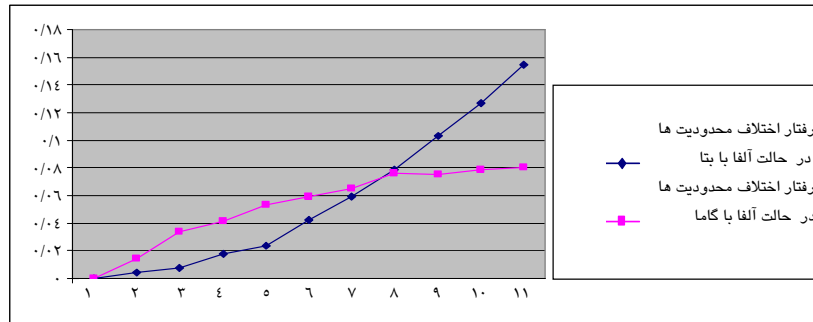
نمودار ۴ نمایش روند احتمال نقض محدودیت ها در حالت‌های مختلف و براساس شاخص ۱



نمودار ۵ نمایش روند تفاوت احتمال نقض محدودیت‌ها در حالت‌های مختلف و براساس شاخص ۱



نمودار ۶ نمایش احتمال نقض محدودیت‌ها در حالت‌های مختلف و براساس شاخص ۲



نمودار ۷ نمایش روند تفاوت احتمال نقض محدودیت‌ها در حالت‌های مختلف و براساس شاخص ۱

جدول ۹ میزان ریسک (احتمال نقض محدودیت‌ها) را بر مبنای شاخص ۱ نشان می‌دهد. محدودیت آرمانی چهارم ۳۸۷ پارامتر نامطمئن دارد و دارای سطح حفاظت  $\Gamma_1$  می‌باشد. سایر محدودیت‌های دارای پارامترهای نوسان‌پذیر (نامطمئن)، ۳۸۷ محدودیت‌های ظرفیت می‌باشند که در خود پارامتر ظرفیت نوسان‌پذیر را دارند و دارای سطح حفاظت  $\Gamma_2$  می‌باشند.

جدول ۹ احتمال نقض محدودیت‌ها در حالت‌های مختلف و براساس شاخص ۱

حالت	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	حل آلفا			حل بتا			حل گاما		
			احتمال نقض محدودیت‌های ظرفیت	مجموع احتمال نقض	احتمال نقض محدودیت آرمانی چهارم	احتمال نقض محدودیت‌های ظرفیت	مجموع احتمال نقض	احتمال نقض محدودیت آرمانی چهارم	احتمال نقض محدودیت‌های ظرفیت	مجموع احتمال نقض	احتمال نقض محدودیت‌های ظرفیت
۱	۰	۰	-/۰.۸۲	-/۰.۸۲	-/۰.۸۲	-/۰.۸۲	-/۰.۸۲	-/۰.۸۲	-/۰.۸۲	-/۰.۸۲	-/۰.۸۲
۲	۰.۱	۳۹	-/۰.۷۴	-/۰.۷۴	-/۰.۷۴	-/۰.۷۳	-/۰.۷۳	-/۰.۷۳	-/۰.۷۳	-/۰.۷۳	-/۰.۷۳
۳	۰.۲	۷۸	-/۰.۶۷	-/۰.۶۷	-/۰.۶۷	-/۰.۶۶	-/۰.۶۶	-/۰.۶۶	-/۰.۶۶	-/۰.۶۶	-/۰.۶۶
۴	۰.۳	۱۱۷	-/۰.۶۲	-/۰.۶۲	-/۰.۶۲	-/۰.۵۹	-/۰.۵۹	-/۰.۵۹	-/۰.۵۹	-/۰.۵۹	-/۰.۵۹
۵	۰.۴	۱۵۶	-/۰.۵۶	-/۰.۵۶	-/۰.۵۶	-/۰.۵۲	-/۰.۵۲	-/۰.۵۲	-/۰.۵۲	-/۰.۵۲	-/۰.۵۲
۶	۰.۵	۱۹۵	-/۰.۵۱	-/۰.۵۱	-/۰.۵۱	-/۰.۴۳	-/۰.۴۳	-/۰.۴۳	-/۰.۴۳	-/۰.۴۳	-/۰.۴۳
۷	۰.۶	۲۳۴	-/۰.۴۶	-/۰.۴۶	-/۰.۴۶	-/۰.۳۵	-/۰.۳۵	-/۰.۳۵	-/۰.۳۵	-/۰.۳۵	-/۰.۳۵
۸	۰.۷	۲۷۳	-/۰.۴۱	-/۰.۴۱	-/۰.۴۱	-/۰.۲۷	-/۰.۲۷	-/۰.۲۷	-/۰.۲۷	-/۰.۲۷	-/۰.۲۷
۹	۰.۸	۳۱۲	-/۰.۳۷	-/۰.۳۷	-/۰.۳۷	-/۰.۱۸	-/۰.۱۸	-/۰.۱۸	-/۰.۱۸	-/۰.۱۸	-/۰.۱۸
۱۰	۰.۹	۳۵۱	-/۰.۳۳	-/۰.۳۳	-/۰.۳۳	-/۰.۰۹	-/۰.۰۹	-/۰.۰۹	-/۰.۰۹	-/۰.۰۹	-/۰.۰۹
۱۱	۱.۱	۳۸۷	-/۰.۲۹	-/۰.۲۹	-/۰.۲۹	-/۰.۰۰	-/۰.۰۰	-/۰.۰۰	-/۰.۰۰	-/۰.۰۰	-/۰.۰۰

در نتایج شبیه‌سازی مشخص شد که تنها تعدادی از محدودیت‌های ظرفیت (حداکثر ۷۳ تا) امکان نقض‌پذیری دارند. دلیل آن این است که برخی از ظرفیت‌ها به میزان بیش‌تر از نیاز وجود دارند یا مدل تخصیصی کم‌تر از ظرفیت را برای آن‌ها لحاظ کرده و لذا نوسان در بازه لحاظ شده بر آن‌ها اثری ندارد. با توجه به این توضیحات در مجموع دو شاخص برای محاسبه سطوح ریسک در نظر گرفته شد:

شاخص ۱: تقسیم تعداد کل حالت‌های نقض شده بر تعداد کل حالت‌های ممکن  
 شاخص ۲: تقسیم تعداد کل حالت‌های نقض شده بر تعداد کل حالت‌های وابسته به محدودیت‌هایی که امکان نقض شدن دارند. شاخص ۲ نسبت به شاخص ۱ شاخص سختگیرانه‌تری است و در حالت کلی شاخص اول، منطقی‌تر است. در جدول فوق حالت‌های ۱ و ۱۱ به ترتیب خوشبینانه و بدبینانه‌ترین حالت‌ها هستند.

## ۱۲- نتیجه‌گیری

با توجه به حل مدل، شبیه‌سازی و نمودارها نتایجی به شرح ذیل قابل استنباط است:

- از جدول ۷ و قیاس نمودارهای ۱ با ۴ و ۶ قابل استنباط است که با افزایش سطوح حفاظت، تابع هدف بدتر شده و وضعیت احتمال نقض یا ریسک بهتر شده است. در واقع هرچه سطح حفاظت افزایش یافته، مدل مقادیر متغیرها را به نحو سختگیرانه‌تری در بازه مجاز انتخاب کرده، به نحوی که احتمال نقض محدودیت‌ها کم‌تر شده و در نهایت جواب تابع هدف بدتر می‌شود. این خود می‌تواند دلیلی بر صحت مدلسازی استوار و صحت عملکرد مدل باشد.
- از جدول ۷ قابل استنباط است که با افزایش سطوح حفاظت، سطح اقتناع محدودیت‌ها کاهش پیدا کرده است. این مطلب منطقی بوده و نشان از آن است که افزایش سطح حفاظت، یافتن منطقه موجه را سخت‌تر می‌کند.
- از نمودار ۱ قابل استنباط است که مقادیر تابع هدف استوار-فازی (حل آلفا) نسبت دو حالت دیگر در تعادل قرار دارد (اگر چه که هر سه از نقطه‌ای شروع می‌شوند). از طرفی ملاحظه می‌شود که هر چه سطح حفاظت بیش‌تر می‌شود، نمودارها از یکدیگر فاصله بیش‌تری می‌گیرند؛ به عبارتی فازی بودن طول بازه‌ها در این نقاط بیش‌تر نمایان می‌شود.
- از جدول ۷ و نمودار ۱ قابل استنباط است که تغییر سطح ریسک یا سطح محافظه‌کاری

به شکل قابل ملاحظه‌ای برافزایش شیب خط مقادیر تابع هدف مؤثر بوده و استوارسازی مدل در راستای کاهش خطرپذیری ضروری و اثرگذار است.

۵. نمودار ۲ نشان می‌دهد که انحراف از آرمان‌ها نیز رفتاری شبیه به مقادیر تابع هدف در نمودار ۱ دارند.

۶. مطابق با جدول ۸، انحراف از آرمان شکایات خط تولید ناشی از قطعات تأمین‌کنندگان (با بالاترین ضریب اهمیت) توانسته به میزان بسیار زیادی به صفر نزدیک شود. از طرفی این آرمان در قیاس با سایر آرمان‌ها، دارای کم‌ترین میزان انحراف است. این نشان از صحت عملکرد مدل در شرایط وجود آرمان‌های متعدد و متناقض است، به نحوی که اولویت اول به آرمان دارای بالاترین ضریب اهمیت داده شده است.

۷. با توجه به جدول ۸ و ضرایب اهمیت آرمان‌ها، اگر چه آرمان‌های ۱ (شکایات خط تولید ناشی از قطعات تأمین‌کنندگان) و ۲ (قطعات معیوب تأمین‌کنندگان) و ۳ (تحویل به موقع) و ۴ (هزینه کل تأمین قطعات) به ترتیب دارای بالاترین ضریب اهمیت هستند، اما مدل توانسته است که به ترتیب انحراف از آرمان‌های ۱ و ۲ و ۴ و ۳ را کاهش دهد. از طرفی درصد کاهش انحراف از آرمان‌های ۱ و ۲ و ۴ نسبت به مقدار هر آرمان قابل توجه است.

۸. اعداد جدول ۹ و نمودارهای ۴ و ۶ حاصل عمل شبیه‌سازی بوده و نشان می‌دهد که با افزایش سطح حفاظت، احتمال نقض محدودیت‌ها کاهش پیدا می‌کند. این روند نشان از صحت عملکرد مدل استوار و شبیه‌سازی صورت گرفته دارد.

۹. شبیه‌سازی انجام شده برای سه حالت آلفا، بتا و گاما حل سخت‌ترین حالت شبیه‌سازی بوده، یعنی برای طول بازه‌ها بالاترین عدد ممکن لحاظ شده و با این اوصاف نتایج خوبی حاصل شده است. انتظار می‌رود در صورت شبیه‌سازی در حالت‌های متعادل‌تر (شبیه‌سازی فازی) به جواب‌هایی خواهیم رسید که کارایی مدل را بیش‌تر نمایان می‌سازد.

۱۰. مدل استوار-فازی نسبت به حالت‌های  $\lambda = 0$  و  $\lambda = 1$  به لحاظ ریسک و هزینه متعادل‌تر بوده و می‌تواند رضایت تصمیم‌گیرنده را نسبت به دو حالت دیگر که بدبینانه و خوشبینانه‌تر عمل می‌کنند، در بر داشته باشد؛ به عبارتی این مدل نسبت به مدل در دو حالت دیگر انعطاف‌پذیرتر بوده و گزینه‌های انتخابی بیش‌تری را برای تصمیم‌گیرنده فراهم می‌کند.

۱۱. نمودار شکل‌های ۱، ۴ و ۷ نشان می‌دهند که نمودارهای مربوط به حالت آلفا در



فاصله‌ای تقریباً متعادل از دو حالت دیگر قرار دارد.

۱۲. از جمله ویژگی‌های رویکرد ابداعی مبتنی بر روش برنر نسبت به روش‌های دیفازی کردن مثل برش  $\alpha$  آن است که اول نیازی نیست که به طور حتمی تصمیم‌گیرنده سطح برش را تعیین کند. دوم در صورتی که مدل باید با سطح برش‌های مختلفی حل شود، آنگاه این عمل در فضای بهینه‌سازی استوار با سطوح حفاظت مختلف سبب می‌شود که تعداد بسیار زیادی مدل حل شود و به این شکل کارایی مدل از بین خواهد رفت. بنابراین این از ویژگی‌های روش ابداعی است که مدل در هر سطح حفاظت، سطح برش مناسب را تشخیص خواهد داد. برای نمونه اگر مدل قرار بود که به روش‌های معمول برش  $\alpha$  حل شود و ۱۰ سطح برش برای هر سطح حفاظت مد نظر می‌بود، ۳۳۰ مدل باید حل می‌شد.

۱۳. در قیاس نمودار شکل‌های ۳ و ۵ و ۷ مشخص است که رفتارهای سه نمودار بسیار به همدیگر نزدیک بوده و تقریباً در این سه نمودار (شکل‌های ۳ و ۵ و ۷) در سطح حفاظت ۸ اختلاف حل آلفا با دو حالت دیگر حل یکسان است.

۱۴. از جمله قابلیت‌های مدل پیشنهادی نسبت به مدل برتسیمس و سیم آن است که:

- قادر به پاسخ‌گویی به ابهامات ذهنی تصمیم‌گیرنده بوده و به‌طور کلی انعطاف‌پذیرتر است.
- تنها یک متغیر ( $\lambda$ ) و یک محدودیت به مدل اضافه می‌کند.

۱۵. به‌طور کلی با لحاظ بحث استواری جواب‌ها، لحاظ ابهام موجود، مدلسازی مصاحبه محور و لحاظ شاخص‌های مختلف و مهم مطابق با نظر تصمیم‌گیرنده می‌توان ادعا کرد مدل از قابلیت اتکای بالایی برخوردار است.

#### ۱-۱۲- پیشنهاد

۱. توسعه مدل استوار- فازی در خصوص طول بازه‌هایی که به شکل ضرایب فنی و تابع هدف ظاهر می‌شوند.

۲. توسعه تئوریک و عملی تعیین شکل تابع عضویت برای طول بازه‌های فازی

۳. امکان‌سنجی توسعه مدل استوار - فازی برای مدل‌های دیگر استوارسازی غیر از

برتسیمس و سیم

۴. در بخش حل مدل بیان شد که در مدل ۳۸۷ محدودیت حاوی پارامتر نامطمئن وجود



دارد و حداکثر ۷۳ محدودیتی که امکان نقض‌پذیری داشته‌اند از نوع محدودیت‌های فعال می‌باشند. ارائه الگوریتمی در راستای کاهش این محدودیت‌ها قبل از حل در راستای کاهش محاسبات می‌تواند به عنوان موضوع تحقیقات آتی مطرح باشد.

### ۱۳- منابع

- [1] Ghodsypour S. H. , O'Brien C. ; A decision support system for supplier selection using integrated analytic hierarchy process and linear programming. *I.J. of Production Economics*, Vol. 56-57, 1998.
- [2] Ghodsypour , S. H. , O'Brien C. ; The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint ; *International Journal of Production Economics* , Vol. 73, 2001.
- [3] Zhang Z. , Lei J., Cao N., To K. , Ng. K. ; "Evolution of supplier selection criteria and methods"; ([www.google.com](http://www.google.com)), 2004.
- [4] Lee E.K., Ha S. , Kim S. K. ; Supplier selection and management system considering relationships in supply chain management, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 48, 2001.
- [5] Li L. , Zabinsky Z.B.; Incorporating uncertainty in to a supplier selection problem, *I. J. of Production Economics* Article in Press, 2010.
- [6] Dickson G. W.; An analysis of vendor selection systems and management ; *Journal of Purchasing*, Vol. 21, 1966.
- [7] Weber C. A., Current J. R., Benton W. E.; Vendor selection criteria and methods ; *E. J. of Operation Research* , Vol. 50, 1991.
- [8] Benton W.C. ; Quantity discount decision under conditions of multiple items, multiple suppliers and resource limitation ; *I. J of Production Economics*, Vol. 27, 1991.
- [9] Hong J.D , Haya Jc ; Just- in time purchasing single or multiple sourcing? ; *I. J of Production Economics*, Vol. 27, 1992.

- [10] Dahel N. E.; Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments ; *Supply Chain Management: An International Journal*, 8, 2003.
- [11] HangHong G., Chanpark S., Sikjang D., MinRho H. ; An effective supplier selection method For constructing a competitive supply-relationship ; *Expert System With Applications*, 2005.
- [12] Basnet Ch. , leang J. M.Y.; Inventory lot- sizing with supplier selection ; *Computers & Operations Research*, 32, 2005.
- [13] Velarde J. L. G. , Laguna M. ; A benders-based heuristic for the robust capacitated international sourcing problem ; *IIE Transactions*, Vol. 36, 2004.
- [14] Berger P.D., Zeng A.Z. ; Single versus multiple sourcing in the presence of risk ; *J of Operational Research Society* ,Vol. 57, 2006.
- [15] Van Landeghem. H., Vanmaele H. ; Robust planning:a new paradigm for demand chain planning ; *J of Operations Management*, Vol. 20, 2002.
- [16] Li Y.J. ,Hwang C-L.Fuzzy ; *Mathematical programming: Methods and applications* ; Springer-Verlag, 1992.
- [17] Zimmermann H. J. ; *Fuzzy set theory and its applications* ; Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [18] Bertsimas D., Sim M. ; The price of robustness ; *Operations Research* ,Vol. 52, No.1, 2004.
- [19] Bertsimas D., Thiele A. ; A robust optimization approach to inventory theory; *Operations Research* ,Vol. 54, No.1, 2006.