

## ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان و تخصیص سفارش چندمحصولی با در نظر گرفتن ریسک با الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه (MOPSO) در شرایط فازی

علی ناظری<sup>۱</sup>، مرتضی خاکزار بفوئی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری، پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران

۲- استادیار، پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۸ مرداد ۱۳۹۴

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴ دی

### چکیده

در مدیریت زنجیره‌ی تامین، عملکرد تامین کنندگان بر اساس معیارهای متعددی ارزیابی می‌شود. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه‌ی فازی ارایه شده است تا بتوان با در نظر گرفتن عوامل کمی، کیفی و ریسک بهترین تامین کنندگان را انتخاب و مقدار بهینه‌ی سفارش را به آن‌ها تخصیص داد. با استفاده از روش AHP ارزیابی اولیه‌ی تامین کنندگان صورت گرفته است و مدل سازی چندهدفه نیز با در نظر گرفتن برخی از فاکتورها به صورت فازی، انجام شده است. مدل طراحی شده با الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات چند هدفه حل شده است و مجموعه جواب‌های پارتویی به دست آمده توسط الگوریتم تاپسیس رتبه‌بندی و نهایتاً تحلیل حساسیت روی پارامترهای مدل انجام شده است.

**کلمات کلیدی:** ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان، تخصیص سفارش، برنامه‌ریزی چندهدفه، الگوریتم MOPSO

### ۱ مقدمه

در محیط‌های رقابتی، انتخاب تامین کنندگان یکی از مسایل بسیار اساسی شرکت‌ها به شمار می‌رود. قیمت نهایی محصول عمده‌ای متأثر از قیمت مواد خام است. از این رو انتخاب تامین کنندگان مناسب، هزینه‌های خرید را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد [۱]. در واقع مدیریت موفق زنجیره‌ی تامین نیازمند یک استراتژی تامین منبع موثر و کارآمد است تا عدم اطمینان را در عرضه و تقاضا تا حد امکان حذف نماید. تصمیمات منبع‌یابی بیشتر از همیشه حیاتی هستند؛ زیرا با افزایش هزینه‌های خرید در مقایسه با هزینه‌های کل، تابع خرید و تصمیمات خرید در هر شرکتی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. به‌طور متوسط، یک شرکت تولیدی، ۶۰٪ حجم کل

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: khakzar@jdsharif.ac.ir

معاملاتش را صرف خرید مواد، کالاها یا خدمات ارایه شده توسط تامین کنندگان خارجی می کند [۲]؛ لذا، اتخاذ استراتژی خرید مناسب، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر پایین آمدن هزینه‌ها و افزایش سود دارد.

از آنجاکه یک عرضه کننده‌ی کالا، بخشی از زنجیره‌ی تامین می باشد، اثری زیادی بر بهره‌وری و اثربخشی زنجیره‌ی عرضه خواهد داشت [۳]. استراتژی انتخاب و ارزیابی موثر تامین کنندگان، می تواند اثر مستقیمی بر عملکرد زنجیره‌ی تامین و در نتیجه سودآوری و بهره‌وری سازمانی داشته باشد. انتخاب تامین کنندگان یک مساله‌ی چند معیاره است که معیارهای کمی و کیفی را شامل می شود [۴].

به طور کلی انتخاب تامین کنندگان به دو صورت انجام می شود؛ در حالت اول که به "تک منبعه" شهرت دارد، یک تامین کننده به تنها ی قادر است تمامی نیازهای خریدار را تامین نماید و خریدار نیز در فرآیند تصمیم‌گیری خود، تنها باید به انتخاب بهترین تامین کننده پردازد. در حالت دوم که عمومیت بیشتری هم دارد و به حالت "چندمنبعه" معروف است، هیچ تامین کننده‌ای قادر به تامین تمامی سفارش‌های خریدار نیست و نیاز است تا در مورد انتخاب چندین تامین کننده تصمیم‌گیری شود. از این رو شرکت‌ها برای ایجاد یک جو رقابتی پایدار، باید هم بهترین تامین کنندگان را انتخاب نمایند و هم در مورد مقدار سفارشی که به هر تامین کننده تخصیص خواهد داد تصمیم‌گیری کنند [۵]. بر این اساس استفاده از تامین کنندگان متعدد به دلیل تنوعی که به کل سفارش‌های شرکت می بخشد، دریافت‌های به موقع و انعطاف در سفارش‌دهی را تضمین می نماید [۱].

اما مساله‌ی چند منبعه زمانی اهمیت بیشتری می یابد که احتمال دارد اختلالاتی در مسیر عرضه ایجاد گردد. اختلالاتی که ممکن است طبیعی باشند یا بشر عامل رخداد آن ها باشد. به طور کلی اختلالات عرضه ناشی از وقوع رویدادهای فاجعه‌آمیز و شناخته شده‌ای چون واقعه‌ی یازدهم سپتامبر، طوفان کاترینا در سال ۲۰۰۴ و سونامی هند در سال ۲۰۰۴ است. این رویدادها می توانند تأثیر جدی بر سودآوری عملکرد کل زنجیره‌ی تامین داشته باشند. توپوتا، بزرگ‌ترین شرکت اتومبیل‌سازی در جهان، مجبور شد در مارس ۲۰۱۲ به علت وقوع زلزله و سونامی ویران‌گر ژاپن، کار تولید ۱۲ کارخانه‌ی مونتاژ خود را به حالت تعليق درآورد. همین مساله سبب شد تا ۱۴۰ هزار اتومبیل از حجم تولید این شرکت کاهش یابد [۶].

بسیاری از محققان [۹-۷]، در مطالعات و تحقیقات خود برای کاهش تاثیر اختلال در روند عرضه، استراتژی‌های متفاوتی را پیشنهاد کرده‌اند [۱۰]. اختلال عرضه را عرضه‌ی نامناسب بر اثر وقوع یک رخداد غیرمنتظره تعریف کرده‌اند که در نتیجه‌ی آن یک یا چند منبع عرضه به طور کامل غیرقابل دسترس می گردد. به باور تالوری [۱۱] تنوع عرضه یک استراتژی کارآمد برای کنار آمدن با ریسک بروز اختلال در روند عرضه و جلوگیری از اتکا به یک عرضه کننده‌ی واحد است. در شرایط چند منبعی، مساله‌ی مهمی که هنگام بروز اختلال در روند عرضه در برابر خریدار پیش می آید، تخصیص بهینه‌ی سفارش میان مجموعه برگزیده‌ای از تامین کنندگان است. طی مطالعاتی که صورت گرفته، فاکتورهای ریسک از کارافتادگی و هزینه سفارش‌دهی با وجود اهمیت بالا، کمتر به عنوان معیار اصلی تعیین میزان بهینه‌ی سفارش در نظر گرفته شده‌است. رابطه‌ای که میان فاکتورهای ذکر شده وجود دارد به این صورت است که با افزایش تعداد تامین کنندگان، ریسک

از کارافتادگی کاهش و در مقابل هزینه‌های سفارش‌دهی افزایش می‌یابد و بلعکس. بنابراین طراحی و ساخت مدلی که بتواند بین فاکتورهای ریسک و هزینه تعادل ایجاد کند ضروری است.

با توجه به عوامل مختلف تاثیرگذار بر مساله‌ی انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آن‌ها، مقالات موجود در ادبیات، مانند مقاله‌ی میرفخرالدینی و همکاران [۱۲] این مساله را در قالب یک مساله بهینه‌سازی چندهدفه مدل‌سازی نموده‌اند. در مقاله‌ی حاضر نیز برای تعیین میزان بهینه‌ی سفارش در شرایط چندمحصولی با درنظر گرفتن ریسک، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی (FMOLP) طراحی شده است. برای حل مدل، پس از دفعای کردن مساله با روش زیمرمن، از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه (MOPSO) استفاده می‌شود. دلیل استفاده از MOPSO آن است که ثابت شده الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسایل بهینه‌سازی در مقایسه با روش‌های سنتی برتری بیشتری دارند [۱۳ و ۱۴].

## ۲ شرح مساله و مدل پیشنهادی

فرض می‌شود خریداری بتواند در یک دوره از  $n$  تامین‌کننده  $m$  کالا را خریداری کند و مقدار تقاضای خریدار نیز برای هر کالا ثابت است. مجموعه‌ای از عرضه‌کنندگان ( $n$  تامین‌کننده) بر پایه‌ی برخی معیارهای معین (مثل کیفیت، خدمات، تحويل، نگهداری و...) خریدار از پیش انتخاب شده است و هریک از آنها می‌توانند چند کالا را به طور همزمان تامین نمایند. همچنین فرض می‌شود ظرفیت هر تامین‌کننده محدود است و میزان سفارش‌های تخصیص یافته به هر تامین‌کننده باید مساوی یا کم‌تر از ظرفیت تامین‌کننده باشد. هدف این مقاله تعیین بهینه میزان سفارش‌هایی است که به هر تامین‌کننده تخصیص می‌یابد به‌طوری که ریسک تامین، درصد تاخیر در تحويل، درصد اقلام معیوب، هزینه‌های تامین حداقل گردد.

برای مدل‌سازی مساله، از یک مدل FMOLP برای تخصیص سفارش‌ها استفاده می‌شود. تابع هدف شامل مجموعه‌ای از اهدافی است که با یکدیگر در تنافض هستند و باید به طور همزمان محقق شوند. ارایه‌ی یک جواب بهینه برای FMOLP کاری دشوار است و هدف روش‌های FMOLP یافتن جواب ارجح در بین کارآترین جواب‌ها می‌باشد [۸].

در تحقیق حاضر، برای حل مساله‌ی انتخاب تامین‌کنندگان، یک مدل FMOLP ارایه شده است که هدف اصلی آن تخصیص سفارش با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی نظیر برآورده کردن تقاضا، رعایت ظرفیت‌های تامین‌کنندگان، رعایت سقف درصد اقلام معیوب، رعایت سقف درصد دفعات تاخیر و رعایت سقف ریسک از کارافتادن و همچنین ریسک تامین می‌باشد. در فرمول‌بندی مدل مفروضات زیر لحاظ شده است.

## ۱-۲ مفروضات

- از هر تامین‌کننده چند کالا می‌تواند خریداری شود.
- کمبود کالا برای تامین‌کنندگان مجاز نیست.
- تقاضا قطعی است.

- فاکتورهای اقلام معیوب، درصد دفعات تاخیر و ریسک از کار افتادگی، فازی هستند.

## ۲-۲ پارامترها

$m$  = تعداد تامین کنندگان،

$n$  = تعداد کالاهای،

$D_j$  = میزان تقاضای کالای  $j$ -ام،

$X_{ij}$  = اندازه سفارش تخصیص یافته به  $i$ -امین تامین کننده برای تامین  $j$ -امین کالا،

$C_{ij}$  = ظرفیت  $i$ -امین تامین کننده برای تامین  $j$ -امین کالا،

$W_{ij}$  = وزن (درجهی اولویت)  $i$ -امین تامین کننده برای تامین  $j$ -امین کالا،

$P_{ij}$  = قیمت خرید یک واحد از کالای  $j$ -ام از  $i$ -امین تامین کننده،

$Q_j$  = بالاترین نسبت (درصد) خرابی قابل قبول کالای  $j$ -ام،

$q_{ij}$  = درصد خرابی کالای  $j$ -ام از  $i$ -امین تامین کننده،

$t_{ij}$  = درصد دفعات تاخیر تامین کالای  $j$ -ام از سوی تامین کننده  $i$ -ام،

$r_{ij}$  = درصد ریسک تامین کالای  $j$ -ام از سوی تامین کننده  $i$ -ام،

$C_i$  = هزینه‌ی ریسک تامین کننده  $i$ -ام،

$Y_i$  = متغیر نشانگر انتخاب تامین کننده  $i$ -ام،

$CR$  = حداکثر هزینه‌ی ریسک

$B$  = حداکثر بودجه‌ی خرید

$M$  = عددی به اندازه‌ی کافی بزرگ

## ۳-۲ توابع هدف

هدف ۱: حداکثر کردن تخصیص سفارش به تامین کننده‌ی مناسب تر

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

هدف ۲: به حداقل رساندن هزینه‌ی خرید

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

هدف ۳: به حداقل رساندن درصد دفعات تاخیر

$$\text{Min } Z_3 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{t}_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

هدف ۴: به حداقل رساندن درصد اقلام معیوب

$$\text{Min } Z_{\varphi} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{q}_{ij} x_{ij} \quad (4)$$

هدف ۵: به حداقل رساندن ریسک از کارافتادگی

$$\text{Min } Z_{\delta} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{r}_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

#### ۴-۲ محدودیت‌ها

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq M Y_i & \forall i \\ Y_i \leq M \sum_{j=1}^n x_{ij} & \forall i \\ \sum_{i=1}^m C_i Y_i \leq CR \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_i x_{ij} \leq B \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j & \forall j \\ \sum_{i=1}^m q_{ij} x_{ij} \leq Q_j D_j & \forall j \\ x_{ij} \leq c_{ij} & \forall i, j \end{cases} \quad (6)$$

برای حل مساله انتخاب تامین کنندگان و تخصیص سفارش در این تحقیق، از روش‌های AHP و FMOLP استفاده می‌شود. در ابتدا از روش AHP برای محاسبه وزن نسبی معیارهای انتخاب تامین کنندگان استفاده می‌شود. سپس وزن تامین کنندگان به مدل FMOLP داده می‌شود تا مدل با در نظر گرفتن محدودیت‌ها، ضمن تعیین تعداد بهینه تامین کنندگان، مقدار بهینه سفارش را برای هر یک از آن‌ها تعیین نماید. در بخش بعد با توجه به فازی بودن برخی از پارامترها و استفاده از روش زیمرمن برای دفعاتی کردن آنها، مدل دفعاتی شده ارایه می‌شود.

#### ۵-۲ توابع هدف فازی

در روش زیمرمن هر تابع هدف فازی به سه تابع هدف غیر فازی تبدیل می‌شود و سپس با تعیین حد پایین و حد بالای هر تابع در مساله، با استفاده از یک ترکیب خطی از این حدود، تابع عضویت برای هر یک از مقادیر هر تابع هدف تعیین می‌شود. در این تحقیق، پارامترهای فازی به صورت  $(\theta^p, \theta^m, \theta^o) = \tilde{\theta}$  و حدود بالا و پایین تابع هدف به ترتیب با  $Z^{PIS}$  و  $Z^{NIS}$  تعریف شده است.

$$Min z_{\text{r1}} = z_{\text{r}}^m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n q_{ij}^m x_{ij} \quad (\text{v})$$

$$Max z_{\text{rr}} = (z_{\text{r}}^m - z_{\text{r}}^p) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (q_{ij}^m - q_{ij}^p) x_{ij}$$

$$Min z_{\text{rr}} = (z_{\text{r}}^o - z_{\text{r}}^m) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (q_{ij}^o - q_{ij}^m) x_{ij}$$

$$Min z_{\text{r1}} = z_{\text{r}}^m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij}^m x_{ij}$$

$$Max z_{\text{rr}} = (z_{\text{r}}^m - z_{\text{r}}^p) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (t_{ij}^m - t_{ij}^p) x_{ij}$$

$$Min z_{\text{rr}} = (z_{\text{r}}^o - z_{\text{r}}^m) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (t_{ij}^o - t_{ij}^m) x_{ij}$$

$$Min z_{\text{d1}} = z_{\text{d}}^m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij}^m x_{ij}$$

$$Max z_{\text{dr}} = (z_{\text{d}}^m - z_{\text{d}}^p) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (r_{ij}^m - r_{ij}^p) x_{ij}$$

$$Min z_{\text{dr}} = (z_{\text{d}}^o - z_{\text{d}}^m) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (r_{ij}^o - r_{ij}^m) x_{ij}$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$Z_{\text{r1}}^{PIS} = \min Z_{\text{r}}^m, \quad Z_{\text{r1}}^{NIS} = \max Z_{\text{r}}^m \quad (\text{A})$$

$$Z_{\text{rr}}^{PIS} = \max(Z_{\text{r}}^m - Z_{\text{r}}^p), \quad Z_{\text{rr}}^{NIS} = \min(Z_{\text{r}}^m - Z_{\text{r}}^p)$$

$$Z_{\text{rr}}^{PIS} = \min(Z_{\text{r}}^o - Z_{\text{r}}^m), \quad Z_{\text{rr}}^{NIS} = \max(Z_{\text{r}}^o - Z_{\text{r}}^m)$$

$$Z_{\text{r1}}^{PIS} = \min Z_{\text{r}}^m, \quad Z_{\text{r1}}^{NIS} = \max Z_{\text{r}}^m$$

$$Z_{\text{rr}}^{PIS} = \max(Z_{\text{r}}^m - Z_{\text{r}}^p), \quad Z_{\text{rr}}^{NIS} = \min(Z_{\text{r}}^m - Z_{\text{r}}^p)$$

$$Z_{\text{rr}}^{PIS} = \min(Z_{\text{r}}^o - Z_{\text{r}}^m), \quad Z_{\text{rr}}^{NIS} = \max(Z_{\text{r}}^o - Z_{\text{r}}^m)$$

$$Z_{\text{d1}}^{PIS} = \min Z_{\text{d}}^m, \quad Z_{\text{d1}}^{NIS} = \max Z_{\text{d}}^m$$

$$Z_{\text{dr}}^{PIS} = \max(Z_{\text{d}}^m - Z_{\text{d}}^p), \quad Z_{\text{dr}}^{NIS} = \min(Z_{\text{d}}^m - Z_{\text{d}}^p)$$

$$Z_{\text{dr}}^{PIS} = \min(Z_{\text{d}}^o - Z_{\text{d}}^m), \quad Z_{\text{dr}}^{NIS} = \max(Z_{\text{d}}^o - Z_{\text{d}}^m)$$

مدل دفازی شده به صورت زیر می‌باشد:

$$Max Z_{\text{1}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ij} \quad (\text{B})$$

$$Max Z_{\text{r}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij}$$

$$Max Z_{\text{r}} = \lambda_{\text{r}}$$

$$Max Z_{\text{r}} = \lambda_{\text{r}}$$

$$Max Z_{\text{d}} = \lambda_{\text{d}}$$

$$\begin{aligned}\lambda_r(Z_{r1}^{NIS} - Z_{r1}^{PIS}) &\leq Z_{r1}^{NIS} - Z_r^m \\ \lambda_r(Z_{rr}^{PIS} - Z_{rr}^{NIS}) &\leq (z_r^m - z_r^p) - Z_{rr}^{NIS} \\ \lambda_r(Z_{rr}^{NIS} - Z_{rr}^{PIS}) &\leq Z_{rr}^{NIS} - (z_r^o - z_r^m) \\ \lambda_r(Z_{r1}^{NIS} - Z_{r1}^{PIS}) &\leq Z_{r1}^{NIS} - Z_r^m \\ \lambda_r(Z_{rr}^{PIS} - Z_{rr}^{NIS}) &\leq (z_r^m - z_r^p) - Z_{rr}^{NIS} \\ \lambda_r(Z_{rr}^{NIS} - Z_{rr}^{PIS}) &\leq Z_{rr}^{NIS} - (z_r^o - z_r^m) \\ \lambda_d(Z_{d1}^{NIS} - Z_{d1}^{PIS}) &\leq Z_{d1}^{NIS} - Z_d^m \\ \lambda_d(Z_{dr}^{PIS} - Z_{dr}^{NIS}) &\leq (z_d^m - z_d^p) - Z_{dr}^{NIS} \\ \lambda_d(Z_{dr}^{NIS} - Z_{dr}^{PIS}) &\leq Z_{dr}^{NIS} - (z_d^o - z_d^m)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}z_{r1} = z_r^m &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n q_{ij}^m x_{ij} \\ z_{rr} = (z_r^m - z_r^p) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (q_{ij}^m - q_{ij}^p) x_{ij} \\ z_{rr} = (z_r^o - z_r^m) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (q_{ij}^o - q_{ij}^m) x_{ij} \\ z_{r1} = z_r^m &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij}^m x_{ij} \\ z_{rr} = (z_r^m - z_r^p) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (t_{ij}^m - t_{ij}^p) x_{ij} \\ z_{rr} = (z_r^o - z_r^m) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (t_{ij}^o - t_{ij}^m) x_{ij} \\ z_{d1} = z_d^m &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij}^m x_{ij} \\ z_{dr} = (z_d^m - z_d^p) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (r_{ij}^m - r_{ij}^p) x_{ij} \\ z_{dr} = (z_d^o - z_d^m) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (r_{ij}^o - r_{ij}^m) x_{ij}\end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq M Y_i \quad \forall i \\ Y_i \leq M \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \forall i \end{array} \right.$$

$$\sum_{i=1}^m C_i Y_i \leq CR$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_i x_{ij} \leq B$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} &= D_j \quad \forall j \\ \sum_{i=1}^m q_{ij} x_{ij} &\leq Q_j D_j \quad \forall j \\ x_{ij} &\leq c_{ij} \quad \forall i, j \end{aligned}$$

### ۳ حل مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم MOPSO و تحلیل نتایج

پس از بررسی و شرح مدل ریاضی، در این بخش به روش حل مدل و تجزیه و تحلیل نتایج محاسباتی پرداخته می‌شود. هر جواب برای مساله به صورت یک ماتریس  $m \times n$  در  $n$  نمایش داده می‌شود و هریک از عناصر ماتریس مشخص کننده مقدار سفارش تخصیص داده شده کالای زیبه تامین کننده  $i$  می‌باشد. نحوه تولید مثال‌های عددی و تنظیم پارامتر در ادامه آمده است. در مرحله‌ی بعد به تحلیل نتایج پرداخته شده و نهایتاً جواب پارتو مناسب انتخاب شده است. در انتهای تحلیل حساسیت انجام و رفتارهای توابع هدف مورد بررسی واقع شده است. مدل با استفاده از نرم‌افزار متلب کدنویسی و حل شده است.

#### ۳-۱ تنظیم پارامتر و مشخصات مسائل نمونه

در این تحقیق از هشت مساله مطابق جدول ۱ برای تولید جواب‌ها استفاده شده است. مقادیر پارامترهای مساله براساس تابع توزیع احتمال یکنواخت تولید شده‌اند که بازه‌های این تابع توزیع در جدول ۲ آورده شده است. پارامترهای به کار رفته در الگوریتم ازدحام پرندگان پیشنهادی که شامل جمعیت اولیه، نرخ جهش، نرخ ترکیب، تعداد تکرارها در هر یک از دفعات اجرای مدل، ضریب‌های سرعت در الگوریتم ازدحام پرندگان در هر یک از اندازه‌های مساله می‌باشد، با استفاده از طراحی آزمایش‌ها و به روش تاگوچی تنظیم شده است. نتایج نهایی تنظیم پارامترها در مسائل دارای اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ به شرح جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات مسائل حل شده

مساله	مراکز تامین	تعداد محصولات
۱	۵	۳
۲	۱۰	۳
۳	۷	۴
۴	۱۰	۵
۵	۱۵	۵
۶	۲۰	۶
۷	۳۰	۷
۸	۴۰	۸
۹	۵۰	۸

جدول ۲. توابع توزیع احتمال برای تولید پارامترها

متغیر	$U(a,b)$
$w_{ij}$	$U(3,10)$
$q_{ij}$	$U(0.02,0.07)$
$p_{ij}$	$U(150,350)$
$t_{ij}$	$U(0.1,0.15)$
$r_{ij}$	$U(0.1,0.6)$
$D_j$	$U(50000,70000)$
$c_i$	$U(1500,3500)$
$Q_j$	$U(0.07,0.09)$
$C_{ij}$	$U(40000,50000)$
$T_j$	$U(0.13,0.17)$

جدول ۳. نتایج تنظیم پارامترها الگوریتم ازدحام پرندگان

اندازه مساله	تعداد تکرار الگوریتم	جمعیت اولیه	نرخ ترکیب	نرخ جهش	
سایز کوچک (نمونه ۱، ۲ و ۳)	۵۰۰	۳۰	۰/۶	۰/۴	
سایز متوسط (نمونه ۴، ۵ و ۶)	۷۵۰	۴۰	۰/۷	۰/۳	
سایز بزرگ (نمونه ۷، ۸ و ۹)	۷۵۰	۴۰	۰/۶	۰/۴	

### ۲-۳ انتخاب بهترین جواب پارتو

الگوریتم حل برای یک مثال عددی با ۱۰ تامین کننده و یک محصول اجرا شده و ۱۵۰ جواب پارتو یافت شده است. معیارهای در نظر گرفته شده برای ارزیابی جواب‌های پارتو عبارتند از: تابع هدف اول یعنی حداکثر کردن تخصیص سفارش به تامین کننده‌اند دارای اولویت، تابع هدف دوم یعنی حداقل کردن هزینه خرید، تابع هدف سوم یعنی حداقل کردن دفعات تاخیر، تابع هدف چهارم یعنی حداقل کردن درصد اقلام معیوب و تابع هدف پنجم یعنی حداقل کردن ریسک از کارآفتادگی در نظر گرفته شده است. نتایج وقتی تمام معیارها بدون وزن بوده و هنگامی که دارای وزن می‌باشند، ارایه شده‌اند. وزن معیارها پس از نظرسنجی با خبرگان به صورتی که در جدول ۴ آمده، در نظر گرفته شده است.

جدول ۴. وزن توابع هدف

معیار	هدف ۱	هدف ۲	هدف ۳	هدف ۴	هدف ۵	وزن
وزن	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۲۰	

در حالت بی‌وزن بودن معیارها، جواب پارتوا ۸۴ به عنوان بهترین جواب با ضریب مطلوبیت ۰/۶۰۳ و بعد از آن جواب‌های ۹۸ و ۱۶ با ضریب مطلوبیت ۰/۶۰۲ و ۰/۵۸۳ انتخاب شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار ضریب مطلوبیت دو جواب ۸۴ و ۹۸ بسیار نزدیک به هم می‌باشد. جزیيات جواب پارتوا ۸۴ در جدول ۵ آمده است.

هم‌چنین مقادیر توابع هدف این جواب به صورت زیر می‌باشد:

تابع هدف اول: ۱۶۷۰۸۳۶

تابع هدف دوم: ۰/۶۳

تابع هدف سوم: ۰/۶۱

تابع هدف چهارم: ۴۸۶۵۵۸۵۰

تابع هدف پنجم: ۰/۲۱

جدول ۵. جواب پارتوا ۸۴

تامین‌کننده سوم	محصول دوم	محصول اول	تامین‌کننده
۴۹۱۰۰	-	-	تامین‌کننده ۱
-	۳۱۶۲۹	-	تامین‌کننده ۲
-	۴۴۰۷	-	تامین‌کننده ۳
۱۲۲۲۵	-	۶۷۸۲	تامین‌کننده ۴
۸۰۰۴	۳۱۶۵۰	۲۶۸۹۰	تامین‌کننده ۵
-	۴۱۷	-	تامین‌کننده ۶
۱۶۷۱	-	-	تامین‌کننده ۷
-	۱۲۶۱	-	تامین‌کننده ۸
-	-	۲۳۱۲	تامین‌کننده ۹
-	۶۳۶	۳۱۰۱۶	تامین‌کننده ۱۰

در حالت وزن‌دار بودن معیارها جواب پارتوا ۴ به عنوان بهترین جواب با ضریب مطلوبیت ۰/۶۴۷ و بعد از آن جواب‌های ۹۸ و ۶۶ با ضریب مطلوبیت ۰/۶۳۷ و ۰/۶۳۵ می‌باشد. جزیيات جواب پارتوا ۴ نیز در جدول ۶ آمده است. هم‌چنین مقادیر توابع هدف این جواب به صورت زیر می‌باشد.

تابع هدف اول: ۱۶۸۳۰۶۰

تابع هدف دوم: ۰/۴۳

تابع هدف سوم: ۰/۹۲

تابع هدف چهارم: ۴۹۶۲۳۱۴۰

تابع هدف پنجم: ۰/۲۰

## جدول ۶. جواب پارتوی ۴

تامین کننده	محصول سوم	محصول دوم	محصول اول
تامین کننده ۱	-	-	-
تامین کننده ۲	-	-	-
تامین کننده ۳	-	-	-
تامین کننده ۴	۳۶۷۱۰	-	-
تامین کننده ۵	۳۴۲۹۰	۴۶۴۴۰	۳۸۱۶۵
تامین کننده ۶	-	-	۲۸۸۳۵
تامین کننده ۷	-	-	-
تامین کننده ۸	-	۲۳۵۶۰	-
تامین کننده ۹	-	-	-
تامین کننده ۱۰	-	-	-

جواب شماره ۹۸ در هر دو حالت جزو بهترین جواب‌ها بوده و از پایداری مناسبی برخوردار می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هر دو جواب به یکدیگر بسیار نزدیک بوده و تعداد تامین کنندگان هر محصول و تامین کننده‌های انتخابی در هر دو جواب دارای اشتراک می‌باشند. هم‌چنین تغییر اوزان توابع هدف جواب انتخابی را تغییر می‌دهد؛ اما این تغییر بسیار محسوس نمی‌باشد و بهترین جواب در هر دو حالت جزو سه جواب برتر مساله می‌باشد و این امر حکایت از پایداری جواب‌های انتخابی دارد؛ زیرا در هر دو حالت بی‌وزن و وزن‌دار این دو جواب جزو بهترین جواب‌ها معرفی شده‌است.

## ۴ تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

همان‌طور که در بخش قبل ملاحظه شد با تغییر وزن توابع هدف، جواب پارتو انتخابی تغییر می‌یابد. از این رو برای تحلیل حساسیت، ابتدا در هر حالت، وزن هر یک از توابع هدف را برابر  $6/0$  قرار داده و وزن سایر توابع هدف را برابر  $1/0$  قرار داده می‌شود و در نهایت (حالت ۶) وزن تمامی توابع هدف برابر  $2/0$  تعریف می‌شود. سپس تعداد تامین کنندگان انتخابی در جواب پارتو انتخابی بررسی می‌شود. اوزان توابع هدف، در شش حالت در جدول ۷ آمده است.

مساله برای ۱۰ تامین کننده و ۳ محصول حل شده و تعداد تامین کنندگان انتخابی و شماره‌ی آن‌ها در جدول ۸ ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش وزن تابع هدف حداکثرسازی اولویت (وزن) انتخاب تامین کننده و یا تابع هدف حداقل کردن درصد زمان تاخیر، با توجه به ساختار مساله، تعداد کمتری تامین کننده برای هر سه محصول توسط مدل پیشنهاد می‌شود.

جدول ۷. اوزان در شش حالت

حالت	هدف ۱	هدف ۲	هدف ۳	هدف ۴	هدف ۵
حالت ۱	۰/۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
حالت ۲	۰/۱	۰/۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱
حالت ۳	۰/۱	۰/۱	۰/۶	۰/۱	۰/۱
حالت ۴	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۶	۰/۱
حالت ۵	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۶
حالت ۶	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲

#### جدول ۸. تعداد تامین کننده انتخابی

معiar	تامين كننده	محصول ١	محصول ٢	محصول ٣	محصول ٤
حالات ١	تعداد انتخابي	٢	٣	٢	٢
شماره	٥ او ٦	٨ و ٥	٨ و ٧ او ٩	٦ او ٩	٥ او ٦
حالات ٢	تعداد انتخابي	٤	٥	٥	٦
شماره	٦ او ٩ او ٢ و ٣ او ٥ و ٦ او ٨	١٠ و ٣ او ٧ و ٦ او ١٠	١٠ و ٢ او ٧ و ٦ او ١٠	٦ او ٩ او ٣ او ٦ او ٩	٦ او ٩ او ٣ او ٦ او ٩
حالات ٣	تعداد انتخابي	٢	٢	٢	٢
شماره	٩ او ٦	٥ او ٣	٥ او ٣	٦ او ٣	٩ او ٦
حالات ٤	تعداد انتخابي	٤	٥	٥	٦
شماره	٦ او ٩ او ٢ و ٣ او ٥ و ٦ او ٨	١٠ و ٦ او ٧ و ١٠	١٠ و ٢ او ٧ و ٦ او ١٠	٦ او ٩ او ٣ او ٦ او ٩	٦ او ٩ او ٣ او ٦ او ٩
حالات ٥	تعداد انتخابي	٤	٣	٣	٣
شماره	٧ او ٤	١٠ او ٤	١٠ او ٤	٦ او ٤	٧ او ٤
حالات ٦	تعداد انتخابي	٥	٦	٦	٧
شماره	٩ او ٥ او ٣ او ٤ او ٦ او ٧ او ٨	٨ او ٦ او ٥ او ٣ او ٤ او ٦	٨ او ٦ او ٥ او ٣ او ٤ او ٦	٦ او ٣ او ٤ او ٦ او ٩	٩ او ٦ او ٥ او ٣ او ٤ او ٦

برای بررسی تاثیر فاکتور ریسک (قابلیت اطمینان) بر انتخاب تامین کنندگان و میزان تخصیص سفارش به آن‌ها، در سه حالت، جواب انتخابی بررسی می‌شود. در وضعیت اول همه‌ی تامین کنندگان با فاکتور ریسک (قابلیت اطمینان) یکسان در نظر گرفته می‌شوند. در وضعیت دوم ۲ تامین کننده با قابلیت اطمینان بالا و مابقی با قابلیت اطمینان پایین و در وضعیت سوم، ۶ تامین کننده دارای قابلیت اطمینان بالا و مابقی با قابلیت اطمینان پایین در نظر گرفته می‌شوند. هم‌چنین وزن معیار‌ها بدین صورت می‌باشد که وزن تابع هدف ریسک (قابلیت اطمینان) برابر ۰/۶ و مابقی برابر ۰/۱ تعریف می‌شود. همان‌طور که از جدول ۹ مشخص می‌باشد در وضعیت ۱ به دلیل اینکه معیار قابلیت اطمینان برای تمام تامین کنندگان یکسان می‌باشد و خرید محصولات از تامین کنندگان مختلف تاثیری بر قابلیت اطمینان ندارد، پس مدل به دنبال بهینه کردن سایر توابع هدف است و با توجه به این توابع هدف مساله، به دنبال کاهش تعداد تامین کنندگان می‌باشد. اما با تغییر قابلیت اطمینان تامین کنندگان مختلف، در وضعیت دوم،

تعداد بیشتری تامین کننده انتخاب می‌شوند. با افزایش تعداد تامین کننده‌گان با ریسک کم‌تر و قابلیت اطمینان بیشتر، مساله به دنبال انتخاب آن‌ها بوده به همین دلیل تعداد تامین کننده‌گان انتخابی نیز در وضعیت سوم افزایش می‌یابد.

جدول ۹. تعداد تامین کننده‌گان انتخابی برای بررسی معیار ریسک

وضعیت ۱	محصول ۲	محصول ۱	شماره جواب
۲	۳	۲	
۳	۳	۴	وضعیت ۲
۶	۵	۵	وضعیت ۳

## ۵ نتایج و پژوهش آتی

در این مقاله یک مدل انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش فازی چند هدفه (FMOLP) برای مدیریت ریسک برونشپاری زنجیره‌ی تامین ارایه شده است. تمامی عوامل کمی، کیفی و ریسک انتخاب تامین کننده در نظر گرفته شده تا یک مدل یکپارچه نزدیک به مدل‌های واقعی طراحی و تحلیل شود. فاکتورهای درصد اقلام معیوب، درصد دفعات تاخیر و ریسک نیز با توجه به ماهیت‌شان به صورت فازی در نظر گرفته شد‌اند. مدل ارایه شده با الگوریتم MOPSO و توسط نرم‌افزار متلب کد نویسی و حل شده است. تحلیل حساسیت روی وزن توابع هدف و هم‌چنین فاکتور ریسک صورت گرفت و نتایج آن نشان می‌دهد که تامین کننده‌گان دارای ریسک زیاد هستند، مدل تعداد بیشتری تامین کننده برای هر محصول را پیشنهاد می‌دهد. اضافه کردن توابع هدف دیگر، منطبق با شرایط سازمان‌ها و هم‌چنین تغییر محدودیت‌ها و حل مدل با دیگر الگوریتم‌های فرآبتكاری جهت پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد.

## منابع

- [۱] میرفخرالدینی، س.، نوربخش، الف.، ریبعی، الف.، بربار، م.، (۱۳۹۴). ارزیابی و اولویت‌بندی تامین کننده‌گان با استفاده از روش تاپسیس فازی و برنامه‌ریزی آرمانی با انتخاب چند‌گانه (مطالعه موردی: شرکت نفت). مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۲(۴)، ۶۱-۸۱.
- [۱] Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., Diabat, A., (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. Journal of Cleaner Production, 47, 355-367
- [۲] Aissaoui, N., Haouari, M., Hassini, E., (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: a review. Computers and Operations Research, 34, 3516-3540
- [۳] Chen, Y. J., (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. Information Sciences, 181 (9-1), 1651-1670.
- [۴] Amin, S. H., Razmi, J., Zhang, G., (2011). Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. Expert Systems with Applications, 38, 334-342.
- [۵] Alyanak, G., Armaneri, O., (2009). An integrated supplier selection and order allocation approach in a battery company. Makine Mühendisleri Odası, 19 (4), 2-19.
- [۶] Hong, G. H., Park, S. C., Jang, D.S., Rho, H.M., (2012). An effective supplier selection method for constructing a competitive supply relationship. Expert Systems with Applications, 28 (4), 629-639.

- [7] Wu, D., Olson, D. L., (2008). Supply chain risk, simulation, and vendor selection. International Journal of Production Economics, 114, 646-655.
- [8] Wang, T. Y., Yang, Y. H., (2009). A fuzzy model for supplier selection in quantity discount environments. Expert Systems with Applications, 36, 12179-12187.
- [9] Liao, C. N., Kao, H. P., (2011). An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. Expert Systems with Applications, 38, 10803-10811.
- [10] Ho, W., Xu, X., Dey, P. K., (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: a literature review. European Journal of Operational Research, 202, 16-24.
- [11] Talluri, S., Vickery, S. K., Narayanan, S., (2008). Optimization models for buyer supplier negotiations. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 38 (7), 551-561.
- [13] Wadhwa, V., Ravindran, A. R., (2007). Vendor selection in outsourcing. Computers and Operations Research, 34 (12), 3725-3737.
- [14] Seuring, S., Muller, M., (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. Journal of Cleaner Production, 16 (15), 1699-1710.