

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

علی ناظری^۱، مرتضی خاکزار بفرونی^{۲*}

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: ۴ دی ۱۳۹۴

چکیده

در مدیریت زنجیره تامین، عملکرد تامین کنندگان بر اساس معیارهای متعددی ارزیابی می شود. در این مقاله، یک مدل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه فازی ارائه شده است تا بتوان با در نظر گرفتن عوامل کمی، کیفی و ریسک بهترین تامین کنندگان را انتخاب و مقدار بهینه سفارش را به آن ها تخصیص داد. با استفاده از روش AHP ارزیابی اولیه 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 بهینه سازی انبوه ذرات چند هدفه حل شده است و مجموعه جواب های پارتوی به دست آمده توسط الگوریتم تاپسیس رتبه بندی و نهایتاً تحلیل حساسیت روی پارامترهای مدل انجام شده است.

کلمات کلیدی: ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان، تخصیص سفارش، برنامه ریزی چندهدفه، الگوریتم MOPSO.

۱ مقدمه

در محیط های رقابتی، انتخاب تامین کنندگان یکی از مسایل بسیار اساسی شرکت ها به شمار می رود. قیمت نهایی محصول عمدتاً متأثر از قیمت مواد خام است. از این رو انتخاب تامین کنندگان مناسب، هزینه های خرید را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد [۱]. در واقع مدیریت موفق زنجیره تامین نیازمند یک استراتژی تامین منبع موثر و کارآمد است تا عدم اطمینان را در عرضه و تقاضا تا حد امکان حذف نماید. تصمیمات منبع یابی بیش تر از همیشه حیاتی هستند؛ زیرا با افزایش هزینه های خرید در مقایسه با هزینه های کل، تابع خرید و تصمیمات خرید در هر شرکتی از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار است. به طور متوسط، یک شرکت تولیدی، ۶۰٪ حجم کل

* عهده دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: khakzar@jdsharif.ac.ir

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

از آنجا که یک عرضه‌کننده‌ی کالا، بخشی از زنجیره‌ی تامین می‌باشد، اثری زیادی بر بهره‌وری و اثربخشی زنجیره‌ی عرضه خواهد داشت [۳]. استراتژی انتخاب و ارزیابی موثر تامین‌کنندگان، می‌تواند اثر مستقیمی بر عملکرد زنجیره‌ی تامین و در نتیجه سودآوری و بهره‌وری سازمانی داشته باشد. انتخاب تامین‌کنندگان یک مساله‌ی چند معیاره است که معیارهای کمی و کیفی را شامل می‌شود [۴].

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

اما مساله‌ی چند منبعه زمانی اهمیت بیش‌تری می‌یابد که احتمال دارد اختلالاتی در مسیر عرضه ایجاد گردد. اختلالاتی که ممکن است طبیعی باشند یا بشر عامل رخداد آن‌ها باشد. به‌طور کلی اختلالات عرضه ناشی از وقوع رویدادهای فاجعه‌آمیز و شناخته‌شده‌ای چون واقعه‌ی یازدهم سپتامبر، طوفان کاترینا در سال ۲۰۰۴ و سونامی هند در سال ۲۰۰۴ است. این رویدادها می‌توانند تاثیر جدی بر سودآوری عملکرد کل زنجیره‌ی تامین داشته باشند. تویوتا، 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 تعلیق درآورد. همین مساله سبب شد تا ۱۴۰ هزار اتومبیل از حجم تولید این شرکت کاهش یابد [۶].

بسیاری از محققان [۷-۹]، 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 به‌طور کامل غیرقابل دسترس می‌گردد. 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 عرضه‌کننده‌ی واحد است. در شرایط چند منبعی، مساله‌ی مهمی که هنگام بروز اختلال در روند عرضه در برابر خریدار پیش می‌آید، تخصیص بهینه‌ی سفارش میان مجموعه برگزیده‌ای از تامین‌کنندگان 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 تامین‌کنندگان، ریسک

از کارافتادگی کاهش و در مقابل هزینه‌های سفارش‌دهی افزایش می‌یابد و بالعکس. 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 در نظر گرفتن ریسک، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی (FMOLP) طراحی شده است. برای حل مدل، پس از دلفازی 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، تحویل، نگهداری و...) خریدار از پیش انتخاب شده‌است و هریک از آنها می‌توانند چند کالا را به‌طور همزمان تامین نمایند. همچنین فرض می‌شود ظرفیت هر تامین‌کننده محدود است و میزان سفارش‌های تخصیص‌یافته به هر تامین‌کننده باید مساوی یا کم‌تر از ظرفیت تامین‌کننده باشد. هدف این مقاله تعیین بهینه‌ی میزان سفارش‌هایی است که به هر تامین‌کننده تخصیص می‌یابد به‌طوری که ریسک تامین، درصد تاخیر در تحویل، درصد اقلام معیوب، هزینه‌های تامین حداقل گردد.

برای مدل‌سازی مساله، از یک مدل FMOLP برای تخصیص سفارش‌ها استفاده می‌شود. تابع هدف FMOLP شامل مجموعه‌ای از اهدافی است که با یکدیگر در تناقض هستند و باید به‌طور 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 کار افتادن و همچنین ریسک تامین می‌باشد. در فرمول‌بندی مدل مفروضات زیر لحاظ شده است.

۲-۱ مفروضات

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

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

۲-۲ پارامترها

m = تعداد تامین کنندگان،

n = تعداد کالاها،

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 = هزینه ریسک تامین کننده i -ام،

Y_i = متغیر نشانگر انتخاب تامین کننده i -ام،

CR = حداکثر هزینه ریسک

B = حداکثر بودجهی خرید

M = عددی به اندازهی کافی بزرگ

۳-۲ توابع هدف

هدف ۱: حداکثر کردن تخصیص سفارش به تامین کنندهی مناسب‌تر

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

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 ارقام 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

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

۲-۴ محدودیت‌ها

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq MY_i & \forall i \\ Y_i \leq M \sum_{j=1}^n x_{ij} & \forall i \end{cases} \quad (6)$$

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

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

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^m q_{ij} x_{ij} \leq Q_j D_j \quad \forall j$$

$$x_{ij} \leq c_{ij} \quad \forall i, j$$

برای حل مسأله‌ی انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص سفارش در این تحقیق، از روش‌های AHP و FMOLP استفاده می‌شود. در ابتدا از روش AHP برای محاسبه‌ی وزن نسبی معیارهای انتخاب تامین‌کنندگان استفاده می‌شود. سپس وزن تامین‌کنندگان به مدل FMOLP داده می‌شود تا مدل با در نظر گرفتن محدودیت‌ها، ضمن تعیین تعداد بهینه تامین‌کنندگان، مقدار بهینه‌ی 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 دفازی کردن آنها، مدل دفازی شده ارایه می‌شود.

۲-۵ توابع هدف فازی

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

$$\text{Min } z_{\pi_1} = z_{\pi}^m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n q_{ij}^m x_{ij} \quad (7)$$

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

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

$$\text{Min } z_{\pi_1} = z_{\pi}^m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij}^m x_{ij}$$

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

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

$$\text{Min } z_{\delta_1} = z_{\delta}^m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij}^m x_{ij}$$

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

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

در نتیجه خواهیم داشت:

$$Z_{\pi_1}^{PIS} = \min Z_{\pi}^m, \quad Z_{\pi_1}^{NIS} = \max Z_{\pi}^m \quad (8)$$

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

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

$$Z_{\pi_1}^{PIS} = \min Z_{\pi}^m, \quad Z_{\pi_1}^{NIS} = \max Z_{\pi}^m$$

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

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

$$Z_{\delta_1}^{PIS} = \min Z_{\delta}^m, \quad Z_{\delta_1}^{NIS} = \max Z_{\delta}^m$$

$$Z_{\delta\pi}^{PIS} = \max(Z_{\delta}^m - Z_{\delta}^p), \quad Z_{\delta\pi}^{NIS} = \min(Z_{\delta}^m - Z_{\delta}^p)$$

$$Z_{\delta\pi}^{PIS} = \min(Z_{\delta}^o - Z_{\delta}^m), \quad Z_{\delta\pi}^{NIS} = \max(Z_{\delta}^o - Z_{\delta}^m)$$

مدل دفازی شده به صورت زیر می باشد:

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ij} \quad (9)$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned}\lambda_r(Z_{r1}^{NIS} - Z_{r1}^{PIS}) &\leq Z_{r1}^{NIS} - Z_r^m \\ \lambda_r(Z_{rr}^{PIS} - Z_{rr}^{NIS}) &\leq (Z_r^m - Z_r^p) - Z_{rr}^{NIS} \\ \lambda_r(Z_{rr}^{NIS} - Z_{rr}^{PIS}) &\leq Z_{rr}^{NIS} - (Z_r^o - Z_r^m) \\ \lambda_r(Z_{r1}^{NIS} - Z_{r1}^{PIS}) &\leq Z_{r1}^{NIS} - Z_r^m \\ \lambda_r(Z_{rr}^{PIS} - Z_{rr}^{NIS}) &\leq (Z_r^m - Z_r^p) - Z_{rr}^{NIS} \\ \lambda_r(Z_{rr}^{NIS} - Z_{rr}^{PIS}) &\leq Z_{rr}^{NIS} - (Z_r^o - Z_r^m) \\ \lambda_\delta(Z_{\delta1}^{NIS} - Z_{\delta1}^{PIS}) &\leq Z_{\delta1}^{NIS} - Z_\delta^m \\ \lambda_\delta(Z_{\delta r}^{PIS} - Z_{\delta r}^{NIS}) &\leq (Z_\delta^m - Z_\delta^p) - Z_{\delta r}^{NIS} \\ \lambda_\delta(Z_{\delta r}^{NIS} - Z_{\delta r}^{PIS}) &\leq Z_{\delta r}^{NIS} - (Z_\delta^o - Z_\delta^m)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_{r1} &= Z_r^m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n q_{ij}^m x_{ij} \\ Z_{rr} &= (Z_r^m - Z_r^p) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (q_{ij}^m - q_{ij}^p) x_{ij} \\ Z_{rr} &= (Z_r^o - Z_r^m) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (q_{ij}^o - q_{ij}^m) x_{ij} \\ Z_{r1} &= Z_r^m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij}^m x_{ij} \\ Z_{rr} &= (Z_r^m - Z_r^p) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (t_{ij}^m - t_{ij}^p) x_{ij} \\ Z_{rr} &= (Z_r^o - Z_r^m) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (t_{ij}^o - t_{ij}^m) x_{ij} \\ Z_{\delta1} &= Z_\delta^m = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij}^m x_{ij} \\ Z_{\delta r} &= (Z_\delta^m - Z_\delta^p) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (r_{ij}^m - r_{ij}^p) x_{ij} \\ Z_{\delta r} &= (Z_\delta^o - Z_\delta^m) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (r_{ij}^o - r_{ij}^m) x_{ij}\end{aligned}$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq MY_i & \forall i \\ Y_i \leq M \sum_{j=1}^n x_{ij} & \forall i \end{cases}$$

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

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

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j \quad \forall j$$

$$\sum_{i=1}^m q_{ij} x_{ij} \leq Q_j D_j \quad \forall j$$

$$x_{ij} \leq c_{ij} \quad \forall i, j$$

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 در n نمایش داده می‌شود و هریک از عناصر ماتریس مشخص کننده مقدار سفارش تخصیص داده شده کالای j به تامین کننده i می‌باشد. نحوه تولید مثال‌های عددی و تنظیم پارامتر در ادامه آمده است. در مرحله بعد به تحلیل نتایج پرداخته شده و نهایتاً جواب پارتو مناسب انتخاب شده است. در انتها 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 مسایل 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 توابع 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 تاکوچی تنظیم شده است. نتایج نهایی تنظیم پارامترها در مسایل دارای اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ به شرح جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات مسایل 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	۶
۸	۴۰	۷
۹	۵۰	۸

جدول ۲. توابع توزیع احتمال برای تولید پارامترها

متغیر	$U(a,b)$
w_{ij}	$U(۳,۱۰)$
q_{ij}	$U(۰/۰۲,۰/۰۷)$
p_{ij}	$U(۱۵۰,۳۵۰)$
t_{ij}	$U(۰/۸,۰/۱۵)$
r_{ij}	$U(۰/۸,۰/۶)$
D_j	$U(۵۰۰۰۰,۷۰۰۰۰)$
c_i	$U(۱۵۰۰,۳۵۰۰)$
Q_j	$U(۰/۰۷,۰/۰۹)$
C_{ij}	$U(۴۰۰۰۰,۵۰۰۰۰)$
T_j	$U(۰/۱۳,۰/۱۷)$

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 جواب های پارتو عبارتند از: تابع هدف اول یعنی حداکثر کردن تخصیص سفارش به تامین کنندگان 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 کارافتادگی در نظر گرفته شده است. نتایج وقتی تمام معیارها بدون وزن بوده و هنگامی که دارای وزن می باشند، ارائه شده اند. وزن معیارها پس از نظر سنجی 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	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۲۰

در حالت بی وزن بودن معیارها، جواب پارتو ۸۴ به عنوان بهترین جواب با ضریب مطلوبیت ۰/۶۰۳ و بعد از آن جواب های ۹۸ و ۱۶ با ضریب مطلوبیت ۰/۶۰۲ و ۰/۵۸۳ انتخاب شده اند. همان طور که مشاهده می شود مقدار ضریب مطلوبیت دو جواب ۸۴ و ۹۸ بسیار نزدیک به هم می باشد. جزییات جواب پارتوی ۸۴ در جدول ۵ آمده است.

هم چنین مقادیر توابع هدف این جواب به صورت زیر می باشد:

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 پارتوی ۸۴

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

در حالت وزن دار بودن معیارها جواب پارتو ۴ به عنوان بهترین جواب با ضریب مطلوبیت ۰/۶۴۷ و بعد از آن جواب های ۹۸ و ۶ با ضریب مطلوبیت ۰/۶۳۷ و ۰/۶۳۵ می باشد. جزییات جواب پارتوی ۴ نیز در جدول ۶ آمده است. هم چنین مقادیر توابع هدف این جواب به صورت زیر می باشد.

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 اول	محصول دوم	محصول سوم
تامین کننده ۱	-	-	-
تامین کننده ۲	-	-	-
تامین کننده ۳	-	-	-
تامین کننده ۴	-	-	۳۶۷۱۰
تامین کننده ۵	۳۸۱۶۵	۴۶۴۴۰	۳۴۲۹۰
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. همان طور 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. هم چنین 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

همان طور 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 $0/6$ قرار داده و وزن سایر توابع هدف را برابر $0/1$ قرار داده می‌شود و در نهایت (حالت ۶) وزن تمامی توابع هدف برابر $0/2$ 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

معیار	تامین کننده	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳
حالت ۱	تعداد انتخابی	۲	۳	۲
	شماره	۸ و ۵	۸ و ۷ و ۱	۵ و ۱
حالت ۲	تعداد انتخابی	۴	۵	۶
	شماره	۱۰ و ۷ و ۳ و ۲	۱۰ و ۷ و ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۸ و ۹	۸ و ۶ و ۵ و ۳ و ۲ و ۱ و ۴ و ۷
حالت ۳	تعداد انتخابی	۲	۲	۲
	شماره	۹ و ۵	۸ و ۳	۹ و ۱
حالت ۴	تعداد انتخابی	۴	۵	۶
	شماره	۱۰ و ۷ و ۳ و ۲	۱۰ و ۷ و ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۸ و ۹	۸ و ۶ و ۵ و ۳ و ۲ و ۱ و ۴ و ۷
حالت ۵	تعداد انتخابی	۴	۳	۳
	شماره	۸ و ۷ و ۴ و ۲	۱۰ و ۴ و ۲	۷ و ۶ و ۴
حالت ۶	تعداد انتخابی	۵	۶	۷
	شماره	۹ و ۷ و ۶ و ۵ و ۳	۸ و ۷ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲	۸ و ۷ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱

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 همه ی 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. هم چنین وزن معیارها بدین صورت می‌باشد که وزن تابع هدف ریسک (قابلیت اطمینان) برابر ۰/۶ و مابقی برابر ۰/۱ تعریف می‌شود. همان طور 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 بیش تری تامین کننده انتخاب می شوند. با افزایش تعداد تامین کنندگان با ریسک کم تر و قابلیت اطمینان بیش تر، مساله به دنبال انتخاب آن ها بوده به همین دلیل تعداد تامین کنندگان انتخابی نیز در وضعیت سوم افزایش می یابد.

جدول ۹. تعداد تامین کنندگان انتخابی برای بررسی معیار ریسک

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

۵ نتایج و پژوهش آتی

در این مقاله یک مدل انتخاب تامین کننده و تخصیص سفارش فازی چند هدفه (FMOLP) برای مدیریت ریسک برون سپاری زنجیره تامین ارائه شده است. تمامی عوامل کمی، کیفی و ریسک انتخاب تامین کننده در نظر گرفته شده تا یک مدل یکپارچه نزدیک به مدل های واقعی طراحی و تحلیل شود. فاکتورهای درصد اقلام معیوب، درصد دفعات تاخیر و ریسک نیز با توجه به ماهیت شان به صورت فازی در نظر گرفته شده اند. مدل ارائه شده با الگوریتم MOPSO و توسط نرم افزار متلب کد نویسی و حل شده است. تحلیل حساسیت روی وزن توابع هدف و همچنین فاکتور ریسک صورت گرفت و نتایج آن نشان می دهد که در شرایطی که تامین کنندگان دارای ریسک زیاد هستند، مدل تعداد بیش تری تامین کننده برای هر محصول را پیشنهاد می دهد. اضافه کردن توابع هدف دیگر، منطبق با شرایط سازمان ها و همچنین تغییر محدودیت ها و حل مدل با دیگر الگوریتم های فراابتکاری جهت پژوهش های آتی پیشنهاد می گردد.

منابع

[۱۲] میرفخرالدینی، س.، نوربخش، الف.، ربیعی، الف.، بردبار، م.، (۱۳۹۴). ارزیابی و اولویت بندی تامین کنندگان با استفاده از روش تاپسیس فازی و برنامه ریزی آرمانی با انتخاب چندگانه (مطالعه موردی: شرکت نفت). مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۴۸ (۴)، ۶۱-۸۱

- [1] 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
- [2] Aissaoui, N., Haouari, M., Hassini, E., (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: a review. Computers and Operations Research, 34, 3516-3540
- [3] Chen, Y. J., (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. Information Sciences, 181 (9-1), 1651-1670.
- [4] 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.
- [5] Alyanak, G., Armaneri, O., (2009). An integrated supplier selection and order allocation approach in a battery company. Makine Mühendisleri Odasi, 19 (4), 2-19.
- [6] 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.