مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال سیزدهم، شماره اول (پیاپی ۴۸)، بهار ۹۵، ص ص ۱۴-۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان و تخصیص سفارش چندمحصولی با در نظرگرفتن ریسک با الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه (MOPSO) در شرایط فازی

علی ناظری[1]، مرتضی خاکزار بفروئی*[2]
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 زنجیره‌ی تامین، عملکرد تامین‌کنندگان 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 تامین‌کنندگان را انتخاب و مقدار بهینه‌ی سفارش را به آن‌ها تخصیص داد. با استفاده از روش AHP ارزیابی اولیه‌ی تامین‌کنندگان صورت گرفته است و مدل‌سازی 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 پارتوی به دست آمده توسط الگوریتم تاپسیس رتبه‌بندی و نهایتاً تحلیل حساسیت روی پارامترهای مدل انجام شده است.

کلمات کلیدی: ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان، تخصیص‌سفارش، برنامه‌ریزی چندهدفه، الگوریتم MOPSO.

۱ مقدمه
در محیط‌های رقابتی، انتخاب تامین‌کنندگان یکی از مسایل بسیار اساسی شرکت‌ها به شمار می‌رود. قیمت نهایی محصول عمدتاً متاثر از قیمت مواد خام است. از این رو انتخاب تامین‌کنندگان 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 قابل‌ملاحظه‌ای برخوردار است. به‌طور متوسط، یک شرکت تولیدی، ۶۰٪ حجم کل

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: khakzar@jdsharif.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

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 آنجاکه 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 آن ها 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، استراتژی های متفاوتی را پیشنهاد کرده‌اند [۱۰]. اختلال عرضه را عرضه ی 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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

ازکارافتادگی 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 درنظرگرفتن ریسک، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی (FMOLP) طراحی شده است. برای حل مدل، پس از دفازی کردن مساله با روش زیمرمن، از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات چندهدفه (MOPSO) استفاده می‌شود. دلیل استفاده ازMOPSO آن است که ثابت شده الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسایل بهینه‌سازی در مقایسه با روش‌های سنتی برتری بیش‌تری دارند [۱۳و۱۴].

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 تامین کننده) 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 بهینه 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.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

- فاکتورهای اقلام 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 کننده‌ی i-ام،

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

C_i = هزینه‌ی ریسک تامین کننده‌ی i-ام،

Y_i = متغیر نشانگر انتخاب تامین کننده‌ی i-ام،

CR = حداکثر هزینه‌ی ریسک

B = حداکثر بودجه‌ی خرید

M = عددی به اندازه‌ی کافی بزرگ

۲-۳ توابع هدف

هدف ۱: حداکثر کردن تخصیص سفارش به تامین کننده‌ی مناسب‌تر

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

هدف ۲: به حداقل رساندن هزینه‌ی خرید

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

هدف ۳: به حداقل رساندن درصد دفعات تاخیر

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

هدف ۴: به حداقل رساندن درصد اقلام معیوب

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

$$Min Z_۴ = \sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}\tilde{q}_{ij}x_{ij} \quad (۴)$$

هدف ۵: به حداقل رساندن ریسک از کارافتادگی

$$Min Z_۵ = \sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}\tilde{r}_{ij}x_{ij} \quad (۵)$$

۲-٤ محدودیت‌ها

$$\begin{cases} \sum_{j=۱}^{n} x_{ij} \le MY_i \quad \forall i \\ Y_i \le M\sum_{j=۱}^{n} x_{ij} \quad \forall i \end{cases} \quad (۶)$$

$$\sum_{i=۱}^{m} C_i Y_i \le CR$$

$$\sum_{i=۱}^{m}\sum_{i=۱}^{n} p_i x_{ij} \le B$$

$$\sum_{i=۱}^{m} x_{ij} = D_j \quad \forall j$$

$$\sum_{i=۱}^{m} q_{ij} x_{ij} \le Q_j D_j \quad \forall j$$

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

برای حل مساله‌ی انتخاب تامین کنندگان و تخصیص سفارش در این تحقیق، از روش‌های AHP و FMOLP استفاده می‌شود. در ابتدا از روش AHP برای محاسبه‌ی 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 بهینه‌ی سفارش را برای هر یک ازآن‌ها 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 مساله، 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.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

$$Min z_{31} = z_3^m = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} q^m{}_{ij} x_{ij} \quad (7)$$

$$Max\ z_{32} = (z_3^m - z_3^p) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} (q^m{}_{ij} - q_{ij}{}^p) x_{ij}$$

$$Min z_{33} = (z_3^o - z_3^m) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} (q^o{}_{ij} - q_{ij}{}^m) x_{ij}$$

$$Min z_{41} = z_4^m = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} t^m{}_{ij} x_{ij}$$

$$Max\ z_{42} = (z_4^m - z_4^p) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} (t^m{}_{ij} - t_{ij}{}^p) x_{ij}$$

$$Min z_{43} = (z_4^o - z_4^m) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} (t^o{}_{ij} - t_{ij}{}^m) x_{ij}$$

$$Min z_{51} = z_5^m = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} r^m{}_{ij} x_{ij}$$

$$Max\ z_{52} = (z_5^m - z_5^p) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} (r^m{}_{ij} - r_{ij}{}^p) x_{ij}$$

$$Min z_{53} = (z_5^o - z_5^m) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} (r^o{}_{ij} - r_{ij}{}^m) x_{ij}$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$Z_{31}^{PIS} = \min Z_3^m, \quad Z_{31}^{NIS} = \max Z_3^m \quad (8)$$

$$Z_{32}^{PIS} = \max(Z_3^m - Z_3^p), \quad Z_{32}^{NIS} = \min(Z_3^m - Z_3^p)$$

$$Z_{33}^{PIS} = \min(Z_3^o - Z_3^m), \quad Z_{33}^{NIS} = \max(Z_3^o - Z_3^m)$$

$$Z_{41}^{PIS} = \min Z_4^m, \quad Z_{41}^{NIS} = \max Z_4^m$$

$$Z_{42}^{PIS} = \max(Z_2^m - Z_2^p), \quad Z_{42}^{NIS} = \min(Z_4^m - Z_4^p)$$

$$Z_{43}^{PIS} = \min(Z_4^o - Z_4^m), \quad Z_{43}^{NIS} = \max(Z_4^o - Z_4^m)$$

$$Z_{51}^{PIS} = \min Z_5^m, \quad Z_{51}^{NIS} = \max Z_5^m$$

$$Z_{52}^{PIS} = \max(Z_2^m - Z_2^p), \quad Z_{52}^{NIS} = \min(Z_5^m - Z_5^p)$$

$$Z_{53}^{PIS} = \min(Z_4^o - Z_4^m), \quad Z_{53}^{NIS} = \max(Z_4^o - Z_4^m)$$

مدل دفازی شده به‌صورت زیر می‌باشد:

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

$$Max\ Z_2 = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_{ij} x_{ij}$$

$$Max\ Z_3 = \lambda_3$$

$$Max\ Z_4 = \lambda_4$$

$$Max\ Z_5 = \lambda_5$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

$$\lambda_{۳}\left(Z_{۳۱}^{NIS}-Z_{۳۱}^{PIS}\right)\le Z_{۳۱}^{NIS}-Z_{۳}^{m}$$
$$\lambda_{۳}\left(Z_{۳۳}^{PIS}-Z_{۳۳}^{NIS}\right)\le\left(z_{۳}^{m}-z_{۳}^{p}\right)-Z_{۳۳}^{NIS}$$
$$\lambda_{۳}\left(Z_{۳۳}^{NIS}-Z_{۳۳}^{PIS}\right)\le Z_{۳۳}^{NIS}-\left(z_{۳}^{o}-z_{۳}^{m}\right)$$
$$\lambda_{۴}\left(Z_{۴۱}^{NIS}-Z_{۴۱}^{PIS}\right)\le Z_{۴۱}^{NIS}-Z_{۴}^{m}$$
$$\lambda_{۴}\left(Z_{۴۲}^{PIS}-Z_{۴۲}^{NIS}\right)\le\left(z_{۴}^{m}-z_{۴}^{p}\right)-Z_{۴۲}^{NIS}$$
$$\lambda_{۴}\left(Z_{۴۳}^{NIS}-Z_{۴۳}^{PIS}\right)\le Z_{۴۳}^{NIS}-\left(z_{۴}^{o}-z_{۴}^{m}\right)$$
$$\lambda_{۵}\left(Z_{۵۱}^{NIS}-Z_{۵۱}^{PIS}\right)\le Z_{۵۱}^{NIS}-Z_{۵}^{m}$$
$$\lambda_{۵}\left(Z_{۵۲}^{PIS}-Z_{۵۲}^{NIS}\right)\le\left(z_{۵}^{m}-z_{۵}^{p}\right)-Z_{۵۲}^{NIS}$$
$$\lambda_{۵}\left(Z_{۵۳}^{NIS}-Z_{۵۳}^{PIS}\right)\le Z_{۵۳}^{NIS}-\left(z_{۵}^{o}-z_{۵}^{m}\right)$$

$$z_{۳۱}=z_{۳}^{m}=\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}{q^{m}}_{ij}x_{ij}$$

$$z_{۳۲}=(z_{۳}^{m}-z_{۳}^{p})=\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}({q^{m}}_{ij}-{q_{ij}}^{p})x_{ij}$$

$$z_{۳۳}=(z_{۳}^{o}-z_{۳}^{m})=\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}({q^{o}}_{ij}-{q_{ij}}^{m})x_{ij}$$

$$z_{۴۱}=z_{۴}^{m}=\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}{t^{m}}_{ij}x_{ij}$$

$$z_{۴۲}=(z_{۴}^{m}-z_{۴}^{p})=\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}({t^{m}}_{ij}-{t_{ij}}^{p})x_{ij}$$

$$z_{۴۳}=(z_{۴}^{o}-z_{۴}^{m})=\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}({t^{o}}_{ij}-{t_{ij}}^{m})x_{ij}$$

$$z_{۵۱}=z_{۵}^{m}=\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}{r^{m}}_{ij}x_{ij}$$

$$z_{۵۲}=(z_{۵}^{m}-z_{۵}^{p})=\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}({r^{m}}_{ij}-{r_{ij}}^{p})x_{ij}$$

$$z_{۵۳}=(z_{۵}^{o}-z_{۵}^{m})=\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n}({r^{o}}_{ij}-{r_{ij}}^{m})x_{ij}$$

$$\begin{cases}\sum_{j=۱}^{n}x_{ij}\le MY_{i} & \forall i\\ Y_{i}\le M\sum_{j=۱}^{n}x_{ij} & \forall i\end{cases}$$

$$\sum_{i=۱}^{m}C_{i}Y_{i}\le CR$$

$$\sum_{i=۱}^{m}\sum_{i=۱}^{n}p_{i}x_{ij}\le B$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

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

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 مشخص‌کننده مقدار سفارش تخصیص داده شده کالای j به 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 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 تاگوچی 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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

جدول۲. 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}	$U(۰/۱,۰/۱۵)$
r_{ij}	$U(۰/۱,۰/۶)$
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

۳-۲ انتخاب بهترین جواب پارتو

الگوریتم حل برای یک مثال عددی با ۱۰ تامین‌کننده 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 تامین‌کنندگان 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 معیار ها 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 ٤. 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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

در حالت بی‌وزن بودن معیارها، جواب پارتو 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. جزییات جواب پارتوی ۸۴ در جدول ۵ آمده است.

هم‌چنین مقادیر توابع هدف این جواب به‌صورت 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 پارتوی ۸۴

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

در حالت وزن‌دار بودن معیارها جواب پارتو ۴ به عنوان بهترین جواب با ضریب مطلوبیت ۰/۶۴۷ و بعد از آن جواب‌های ۹۸ و۶ با ضریب مطلوبیت ۰/۶۳۷ و ۰/۶۳۵ می‌باشد. جزییات جواب پارتوی 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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

جدول ٦. 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 تامین‌کنندگان هر محصول و تامین‌کننده‌های 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 دوحالت بی‌وزن و وزن‌دار این دو جواب جزو بهترین جواب‌ها معرفی شده‌است.

٤ 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 ۰/۶ قرار داده و وزن سایر توابع هدف را برابر ۰/۱ قرار داده می‌شود و در نهایت (حالت ۶) وزن تمامی توابع هدف برابر ۰/۲ تعریف می‌شود. سپس تعداد تامین‌کنندگان انتخابی در جواب پارتو انتخابی بررسی می‌شود. اوزان توابع هدف، در شش حالت در جدول ۷ آمده است.

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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

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 تامین‌کننده انتخابی

معیار	تامین‌کننده	محصول ۱	محصول ۲	محصول ۳
حالت ۱	تعداد انتخابی	۲	۳	۲
	شماره	۵ و۸	۱و۷و۸	۱و۵
حالت ۲	تعداد انتخابی	۴	۵	۶
	شماره	۲و۳و۷و۱۰	۱و۲و۷و۸و۱۰	۱و۲و۳و۵و۶و۸
حالت ۳	تعداد انتخابی	۲	۲	۲
	شماره	۵و۹	۳و۸	۱و۹
حالت ۴	تعداد انتخابی	۴	۵	۶
	شماره	۲و۳و۷و۱۰	۱و۲و۷و۸و۱۰	۱و۲و۳و۵و۶و۸
حالت ۵	تعداد انتخابی	۴	۳	۳
	شماره	۲و۴و۷و۸	۲و۴و۱۰	۴و۶و۷
حالت ۶	تعداد انتخابی	۵	۶	۷
	شماره	۳و۵و۶و۷و۹	۲و۳و۴و۵و۷و۸	۱و۳و۴و۵و۶و۷و۸

برای بررسی تاثیر فاکتور ریسک (قابلیت اطمینان) بر انتخاب تامین‌کنندگان و میزان تخصیص سفارش به آن‌ها، در سه حالت، جواب انتخابی بررسی می‌شود. در وضعیت اول همه ی تامین‌کنندگان با فاکتور ریسک (قابلیت اطمینان) یکسان در نظر گرفته می‌شوند. در وضعیت دوم ۲ تامین‌کننده با قابلیت اطمینان بالا و مابقی با قابلیت اطمینان پایین و در وضعیت سوم، ۶ تامین‌کننده 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 تامین‌کنندگان یکسان می‌باشد و خرید محصولات از تامین‌کنندگان مختلف تاثیری بر قابلیت اطمینان ندارد، پس مدل به‌دنبال بهینه کردن سایر توابع هدف است و با توجه به این توابع هدف مساله، به دنبال کاهش تعداد تامین‌کنندگان می‌باشد. اما با تغییر قابلیت اطمینان تامین‌کنندگان مختلف، در وضعیت دوم،

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

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

جدول ۹. تعداد تامین‌کنندگان 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 تامین‌کننده و تخصیص سفارش فازی چند هدفه (FMOLP) برای مدیریت ریسک برون‌سپاری زنجیره‌ی تامین ارایه شده است. تمامی عوامل کمی، کیفی و ریسک انتخاب تامین‌کننده 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 شد ه‌اند. 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 در شرایطی که تامین‌کنندگان دارای ریسک زیاد هستند، مدل تعداد بیش‌تری تامین‌کننده 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 فراابتکاری جهت پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

[۱۲] میرفخرالدینی، س.، نوربخش، الف.، ربیعی، الف.، بردبار، م.، (۱۳۹۴). ارزیابی و اولویت‌بندی تامین‌کنندگان 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

[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.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]

[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.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.1.1.9]