

هزینه‌های سیستم موجودی و حمل‌ونقل، است. از سایر ویژگی‌های برجسته مدل توجه به سطوح کیفی مختلف و نرخ خرابی مرتبط با آن و نیز فرض تغییر تأمین‌کننده به صورت جزئی است. در جدول ۳ برخی ویژگی‌های مطالعات اخیر برای مقایسه با پژوهش ارائه‌شده می‌آید.

چارچوب مدل پیشنهادی

روش تحقیق در این مطالعه به صورت کتابخانه‌ای و بررسی موضوعی است. این پژوهش توسعه مطالعه رزمی و رفیعی [۴۲] است. ساختار مدل پیشنهادی دو بخش دارد؛ شامل زیرمدل کیفی و زیرمدل کمی. زیرمدل کیفی به دنبال ارائه معیارهای مناسب جهت ارزیابی تأمین‌کنندگان و اولویت‌دهی به هر یک بر مبنای میزان مطابقت با معیارهاست. در حالی مدل کمی سفارش‌ها به تأمین‌کنندگان منتخب در مرحله کیفی تخصیص می‌یابد.

مطالعه پژوهش‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد، به‌رغم غنای بالای پیشینه موضوع، برخی شکاف‌های تحقیقاتی در این زمینه وجود دارد که دو نمونه بارز آن عبارت است از: ۱. عمده مطالعات صورت‌گرفته مدل‌های تصمیم‌گیری برای فاز نهایی انتخاب تأمین‌کننده را ارائه کرده‌اند. حال آنکه فاز اول و دوم نیز تأثیری مستقیم بر کیفیت فرایند انتخاب تأمین‌کنندگان دارند.

۲. مطابق آنچه در پژوهش وو و بارنز [۶] مطرح شده است، استفاده از رویکردهای کمی و کیفی تلفیقی برای حل مسئله حاضر ضروری به نظر می‌رسد؛ که در پیشینه موضوع کمتر به آن پرداخته شده است. پژوهش حاضر با توجه به این دو شکاف، با در نظر گرفتن فاز تعیین معیارها و پیش‌ارزیابی تأمین‌کنندگان، علاوه بر فاز انتخاب نهایی، رویکردی تلفیقی از مدل‌های کیفی و کمی ارائه می‌کند. از نوآوری‌های بارز مدل در نظر گرفتن هزینه تغییر تأمین‌کننده علاوه بر هزینه‌های معمول، شامل

جدول ۳. مقایسه مطالعات موجود و پژوهش فعلی

منبع	فاز مورد مطالعه	رویکرد کیفی	رویکرد کمی	هزینه حمل‌ونقل	هزینه تغییر تأمین‌کننده	تغییر تأمین‌کننده به شکل جزئی	توجه به سطوح کیفی مختلف
[۶]	تعیین معیارها	دمستر شافر	-	-	-	-	-
[۹]	پیش‌ارزیابی	تحلیل پوششی داده‌ها	-	-	-	-	-
[۱۰]	پیش‌ارزیابی	تحلیل پوششی داده‌ها	-	-	-	-	-
[۱۱]	پیش‌ارزیابی	تحلیل پوششی داده‌ها	-	-	-	-	-
[۱۴]	پیش‌ارزیابی	تحلیل خوشه‌بندی	-	-	-	-	-
[۲۰]	پیش‌ارزیابی	هوش مصنوعی	-	-	-	-	-
[۲۳]	انتخاب نهایی	وزن‌دهی خطی	-	-	-	-	-
[۲۷]	انتخاب نهایی	-	برنامه‌ریزی آرمانی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۲۸]	انتخاب نهایی	-	برنامه‌ریزی آرمانی	بلی	خیر	خیر	خیر
[۲۹]	انتخاب نهایی	-	برنامه‌ریزی آرمانی	خیر	خیر	خیر	خیر
[۳۰]	انتخاب نهایی	-	برنامه‌ریزی چندهدفه	خیر	خیر	خیر	خیر
[۳۱]	انتخاب نهایی	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	برنامه‌ریزی چندهدفه	بلی	خیر	خیر	خیر
[۳۲]	انتخاب نهایی	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	برنامه‌ریزی چندهدفه	خیر	خیر	خیر	خیر
[۳۳]	انتخاب نهایی	-	برنامه‌ریزی عدد صحیح	خیر	خیر	خیر	خیر
[۳۴]	انتخاب نهایی	-	برنامه‌ریزی عدد صحیح	خیر	خیر	خیر	خیر
[۳۵]	انتخاب نهایی	-	برنامه‌ریزی عدد صحیح	بلی	خیر	خیر	خیر
[۳۶]	انتخاب نهایی	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	-	-	خیر	-	-
[۳۷]	انتخاب نهایی	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی	-	-	خیر	-	-
[۳۸]	انتخاب نهایی	فرایند تحلیل شبکه‌ای	-	-	خیر	-	-
[۳۹]	انتخاب نهایی	فرایند تحلیل شبکه‌ای	-	-	خیر	-	-
[۴۰]	انتخاب نهایی	تاپسیس	-	-	خیر	-	-
[۴۱]	انتخاب نهایی	تاپسیس	-	-	خیر	-	-
[۴۲]	انتخاب نهایی	فرایند تحلیل شبکه‌ای	برنامه‌ریزی عدد صحیح	خیر	بلی	خیر	خیر
این پژوهش	هر سه فاز	تاپسیس	برنامه‌ریزی چندهدفه	بلی	بلی	بلی	بلی

زیرمدل کیفی

در این بخش معیارهای ارزیابی تأمین کنندگان تعیین و بر این اساس و با استفاده از فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره تأمین کنندگان اولویت‌بندی می‌شوند. بدین منظور ابتدا ده معیار مهم ارزیابی تأمین کنندگان، که در پیشینه موضوع

بیشتر به آن توجه شده، ارائه می‌شود. این معیارها در جدول ۴ می‌آیند. ستون منابع نشان‌دهنده مطالعاتی از جدول ۳ است که از معیارهای مطرح شده جهت استفاده از رویکردهای کیفی بهره‌جسته‌اند.

جدول ۴. معیارهای انتخاب تأمین کننده

شماره	معیار	منبع
۱	قیمت فروش	همه منابع
۲	موعد تحویل	همه منابع
۳	خدمات پس از فروش	[۶]، [۱۴]، [۳۶]، [۳۷]، [۴۰]، [۴۱]، [۴۲]
۴	موقعیت جغرافیایی	[۶]، [۱۰]، [۲۰]، [۳۱]، [۳۸]، [۳۹]، [۴۰]، [۴۲]
۵	تنوع محصول	[۶]، [۳۸]، [۴۰]، [۴۱]
۶	موقعیت مالی تأمین کننده	[۶]، [۱۱]، [۳۷]، [۳۸]، [۴۲]
۷	توانمندی کیفی تأمین کننده	همه منابع
۸	وضعیت تکنولوژیکی تأمین کننده	[۶]، [۹]، [۱۰]، [۳۱]، [۳۷]، [۳۸]، [۴۰]، [۴۱]، [۴۲]
۹	ظرفیت و تسهیلات تولیدی تأمین کننده	[۶]، [۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۴]، [۳۷]، [۳۸]، [۳۹]، [۴۲]
۱۰	سیستم اطلاعات تأمین کننده	[۴۲]، [۴۱]، [۳۷]

عمومیت بالاتری دارد و در رابطه ۲ نمایش داده می‌شود.

راه حل ایده آل مثبت V_j^+ =

[بردار بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس V]

راه حل ایده آل مثبت V_j^- =

[بردار بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس V]

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (2)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

۵. تعیین ضرایب نزدیکی (Cl^*) گزینه به راه حل ایده آل؛

$$Cl^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (3)$$

۶. رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر Cl^*

زیرمدل کمی

در این بخش مدل ریاضی مسئله انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش‌ها ارائه می‌شود. مدل طراحی شده غیر خطی و عدد صحیح آمیخته است که مبنای اولیه آن مدلی است که رزمی و رفیعی [۴۲] ارائه کردند. ابتدا مفروضات

پس از تعیین معیارهای ارزیابی، تأمین کنندگان با استفاده از روش تاپسیس ارزیابی می‌شوند. تکنیک تاپسیس از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ای است که می‌توان از آن برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین عوامل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده کرد. از مزیت‌های شاخص این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به کاررفته برای مقایسه می‌توانند واحدهای سنجش متفاوت و طبیعت مثبت و منفی داشته باشند. به عبارت دیگر، می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده کرد. فرایند تاپسیس شامل شش مرحله کلی به شرح زیر است:

۱. کمی و بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم (N) که بر اساس معیارها و گزینه‌های موجود تشکیل می‌شود و درایه‌های آن نشان‌دهنده اولویت‌های گزینه‌ها بر اساس معیارهای موجودند؛

۲. به دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون (V) با

ضرب ماتریس بی‌مقیاس شده N در مقیاس قطری وزن‌ها؛

۳. تعیین راه حل ایده آل منفی و مثبت که به صورت

رابطه ۱ تعریف می‌شوند؛

۴. به دست آوردن میزان فاصله از ایده آل‌های مثبت و

منفی، که برای این منظور می‌توان از فاصله اقلیدسی یا متعامد استفاده کرد. در این میان، فاصله اقلیدسی

مدل، سپس تعریف متغیرها و پارامترها، و در نهایت فرمول‌بندی مدل ارائه می‌شود.	Bd_t	بودجه خرید در دوره t
	FS_{ij}	امتیاز نهایی تأمین‌کننده j برای محصول i با استفاده از روش تاپسیس
	ε_k	اهمیت نسبی تابع هدف k
	d_j	مسافت بین تأمین‌کننده j و کارخانه
	g_{ij}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد از محصول i از تأمین‌کننده j
	DR_{ijrt}	نرخ خرابی محصول i با سطح کیفی r از تأمین‌کننده j
	Q_{ijrt}	میزان سفارش محصول i با سطح کیفی r از تأمین‌کننده j در دوره t
	I_{it}	سطح موجودی محصول i در دوره t
	Y_{ijt}	متغیر باینری نشان‌دهنده سفارش‌دهی به تأمین‌کننده j برای محصول i در دوره t
	S_{ijt}	متغیر باینری نشان‌دهنده عقد قرارداد با تأمین‌کننده j برای محصول i در دوره t
	T_{ijt}	متغیر باینری نشان‌دهنده پایان قرارداد با تأمین‌کننده j برای محصول i در دوره t
	mi_{ijrt}	میزان سوییچ در سفارش محصول i با سطح کیفی r به تأمین‌کننده
	mt_{ijrt}	میزان سوییچ در سفارش محصول i با سطح کیفی r از تأمین‌کننده j در دوره t
	$Z_{i,j,t-1,t}$	متغیر باینری جهت خطی‌سازی محدودیت‌های غیر خطی

زیرمدل موجودی

از آنجا که مدل ارائه‌شده دربردارنده تعیین میزان سفارش‌دهی است، لازم است مدل موجودی در ساختار پیشنهادی مدنظر قرار گیرد. مدل موجودی ارائه‌شده شامل چهار هزینه است که عبارت‌اند از هزینه دوره‌ای حمل‌ونقل (PTC)، هزینه دوره‌ای سفارش‌دهی (POC)، هزینه دوره‌ای خرید (PPC)، و هزینه دوره‌ای نگهداری (PHC)؛ که به ترتیب در رابطه‌های ۴ تا ۱۰ می‌آید:

$$PTC = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^R d_j g_{ij} Q_{ijrt} \quad \forall t=1, \dots, T \quad (4)$$

$$POC = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A_{ij} Y_{ijt} \quad \forall t=1, \dots, T \quad (5)$$

۱. زنجیره تأمین چندمحصولی و دارای چند تأمین‌کننده است.
۲. ماهیت تقاضا قطعی است و کمبود مجاز نیست.
۳. امکان انتخاب بیش از یک تأمین‌کننده و با سطوح کیفی مختلف برای هر محصول وجود دارد.
۴. سفارش‌های محصول از تأمین‌کننده در آغاز دوره و به طور یکجا وارد سیستم می‌شود.
۵. بودجه سازمان در طول دوره برنامه‌ریزی مشخص و ثابت است.
۶. قیمت فروش هر محصول از سوی تأمین‌کننده برای هر سطح کیفی در طول افق برنامه‌ریزی ثابت است.
۷. عقد قرارداد در ابتدای دوره و اتمام آن در پایان دوره رخ می‌دهد و هزینه عقد و اتمام قرارداد فقط شامل تغییر تأمین‌کننده در حالت کامل است.
۸. تغییر تأمین‌کننده می‌تواند کامل یا جزئی باشد.

نمادگذاری

اندیس‌ها

t	اندیس دوره برنامه‌ریزی
i	اندیس محصولات (مواد خام)
j	اندیس تأمین‌کنندگان
r	اندیس سطح کیفی تأمین‌کنندگان
k	اندیس توابع هدف

پارامترها

A_{ij}	هزینه سفارش‌دهی محصول i از تأمین‌کننده j
IC_{ij}	هزینه عقد قرارداد با تأمین‌کننده j برای محصول i
TC_{ij}	هزینه اتمام قرارداد با تأمین‌کننده j برای محصول i
SC_{ij}	هزینه تغییر تأمین‌کننده برای هر واحد محصول i
C_{ijr}	هزینه خرید هر واحد محصول i از تأمین‌کننده j با سطح کیفی r
h_i	هزینه نگهداری هر واحد محصول i
U_{ijrt}	ظرفیت تأمین‌کننده j برای تأمین محصول i با سطح کیفی r در دوره t
D_{it}	تقاضا برای محصول i در دوره t

است و محدودیت‌های ۱۴ و ۱۵ متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کنند.

زیرمدل تغییر تأمین کننده

هر تأمین کننده سطوح کیفی موعدها تحویل و هزینه‌های مختلفی دارد و بدیهی است که ممکن است سیستم با شرایطی مواجه شود که به ناچار تأمین کننده یک محصول را تغییر دهد و در نتیجه با هزینه تغییر تأمین کننده مواجه شود. هزینه کل تغییر تأمین کننده به شرح زیر است:

$$TSC = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (IC_{ij} S_{ijt} + TC_{ij} T_{ijt}) + \sum_{r=1}^R (mi_{ijrt} + mt_{ijrt}) SC_{ij} \quad (16)$$

$$mi_{ijrt} = \begin{cases} Q_{ijrt} - Q_{ijr,t-1} & \text{if } Q_{ijrt} > Q_{ijr,t-1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n, \forall j=1, \dots, m, \forall r=1, \dots, R$$

$$mt_{ijrt} = \begin{cases} Q_{ijrt} - Q_{ijr,t+1} & \text{if } Q_{ijrt} > Q_{ijr,t+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n, \forall j=1, \dots, m, \forall r=1, \dots, R$$

$$S_{ijt}, T_{ijt} \text{ Binary} \quad (19)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n, \forall j=1, \dots, m$$

$$mi_{ijrt}, mt_{ijrt} \geq 0 \quad (20)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n, \forall j=1, \dots, m, \forall r=1, \dots, R$$

محدودیت‌های ۱۷ و ۱۸ نشان دهنده میزان سوییچ «از» و «به» هر تأمین کننده خاص است. محدودیت‌های ۱۹ و ۲۰ متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کنند.

زیرمدل کیفی

با در نظر گرفتن سطوح کیفی مختلف برای هر تأمین کننده نرخ خرابی مختلفی را می‌توان در نظر گرفت. بدیهی است این نرخ برای سیستم هزینه‌زاست. نرخ خرابی کل بر اساس رابطه ۲۱ محاسبه می‌شود:

$$TDR = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^R DR_{ijrt} (Q_{ijrt}) \quad (21)$$

زیرمدل امتیاز نهایی تأمین کنندگان

با توجه به اهمیت معیارهای کیفی در انتخاب تأمین کنندگان، زیرمدل امتیاز نهایی میزان امتیازهای حاصل از روش تاپسیس را برای هر تأمین کننده محاسبه می‌کند.

$$PPC = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^R C_{ijr} Q_{ijrt} \quad \forall t=1, \dots, T \quad (6)$$

$$PHC = \sum_{i=1}^n h_i (I_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R ((1 - DR_{ijrt}) * Q_{ijrt})) \quad \forall t=1, \dots, T \quad (7)$$

مجموع این چهار هزینه، در دوره‌های افق برنامه‌ریزی، هزینه کلی موجودی را مطابق رابطه ۸ تشکیل می‌دهد:

$$TIC = \sum_{t=1}^T PTC + POC + PPC + PHC \quad (8)$$

مدل موجودی مذکور با تعدادی محدودیت به شرح زیر خواهد بود:

$$I_{it} = I_{i,t-1} - D_{it} + \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^m (1 - DR_{ijrt}) Q_{ijrt} \quad (9)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n, \forall r=1, \dots, R$$

$$Q_{ijrt} \leq U_{ijrt} \quad (10)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n, \forall j=1, \dots, m, \forall r=1, \dots, R$$

$$I_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R Q_{ijrt} \geq D_{it} \quad (11)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n$$

$$Q_{ijrt} \leq D_{it} Y_{ijt} \quad (12)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n, \forall j=1, \dots, m, \forall r=1, \dots, R$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^R Q_{ijrt} C_{ijr} \leq Bd_t \quad \forall t=1, \dots, T \quad (13)$$

$$Y_{ijt} \text{ Binary} \quad (14)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n, \forall j=1, \dots, m$$

$$Q_{ijrt}, I_{it} \geq 0 \quad (15)$$

$$\forall t=1, \dots, T, \forall i=1, \dots, n, \forall j=1, \dots, m, \forall r=1, \dots, R$$

رابطه ۹ نشان می‌دهد سطح موجودی در هر دوره برابر مجموع سطح موجودی پایان دوره قبل و میزان سفارش در دوره با کسر میزان تقاضای آن دوره است. بر اساس محدودیت ۱۰ میزان سفارش دهی به هر تأمین کننده نمی‌تواند از ظرفیت تأمین کننده در هر دوره فراتر باشد. تقاضای هر دوره بر اساس میزان سفارش در دوره مورد نظر و موجودی باقی‌مانده از دوره پیشین ارضا خواهد شد که در محدودیت ۱۱ مدنظر قرار گرفته است. به علاوه، بر اساس محدودیت ۱۲ میزان سفارش از هر تأمین کننده نباید فراتر از حد بالایی نظیر مقدار کل تقاضا در دوره باشد و بدیهی است که سفارش دهی فقط در صورتی انجام می‌پذیرد که تأمین کننده مورد نظر در دوره مذکور جهت تأمین محصول انتخاب شود. رابطه ۱۳ نشان دهنده محدودیت بودجه

ممکن (NIS) برای هر یک از توابع هدف؛ برای تعیین بهترین جواب ممکن (PIS) هر یک از توابع هدف به طور جداگانه حل می‌شود و بدترین جواب ممکن به صورت ذیل به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} Z_h^{NIS} &= \text{Max} (Z_h(x_k^{PIS})) & h=1,2,3 \\ Z_h^{NIS} &= \text{Min} (Z_h(x_k^{PIS})) & h=4 \end{aligned} \quad (28)$$

۲. محاسبه تابع عضویت برای هر یک از محدودیت‌ها بر اساس رابطه‌های ۲۹ و ۳۰:

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_i \leq Z_i^{PIS} \\ \frac{Z_i^{NIS} - Z_i}{Z_i^{NIS} - Z_i^{PIS}} & \text{if } Z_i^{PIS} \leq Z_i \leq Z_i^{NIS} \\ 0 & \text{if } Z_i \geq Z_i^{NIS} \end{cases} \quad (29)$$

$i=1,2,3$

$$\mu_4(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_4 > Z_4^{PIS} \\ \frac{Z_4 - Z_4^{NIS}}{Z_4^{PIS} - Z_4^{NIS}} & \text{if } Z_4^{NIS} \leq Z_4 \leq Z_4^{PIS} \\ 0 & \text{if } Z_4 < Z_4^{NIS} \end{cases} \quad (30)$$

۳. تبدیل مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه به مدل ۳۱ با استفاده از تابع یکپارچه‌سازی TH [۴۲]:

$$\begin{aligned} \text{Max } \lambda(x) &= \gamma \lambda_0 + (1-\gamma) \sum_h \theta_h \mu_h(x) \\ \text{subject to:} & \end{aligned} \quad (31)$$

$$\lambda_0 \leq \mu_h(x) \quad h=1,2$$

$$x \in F(x), \lambda_0 \text{ and } \gamma \in [0,1]$$

$\mu_h(x)$ و $\lambda_0 = \min_h \{\mu_h(x)\}$ به ترتیب نشان‌دهنده درجه تأمین تابع هدف h و حداقل میزان تأمین توابع هدف است. θ_h اهمیت نسبی تابع هدف h را نشان می‌دهد و بر اساس ترجیحات تصمیم‌گیرنده به نحوی تعیین می‌شود که $\sum_h \theta_h = 1, \theta_h > 0$. اصطلاحاً ضریب جبران نامیده می‌شود که حداقل درجه تأمین توابع هدف را کنترل می‌کند. به‌علاوه $F(x)$ نمایانگر فضای موجه مدل چندهدفه ارائه‌شده است.

۴. حل مدل تک‌هدفه حاصل بر اساس مقادیر θ_h و γ .

نتایج عددی

جهت نمایش اعتبار مدل ارائه‌شده و روش حل به‌کاررفته،

$$TFS = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n FS_{ij} Y_{ijt} \quad (22)$$

محدودیت‌های وابستگی

محدودیت‌های ۲۳ و ۲۴ برای برقراری ارتباط میان متغیرهای به‌کاررفته در زیرمدل‌های معرفی‌شده به کار می‌روند:

$$\begin{aligned} T_{ijt} &= Y_{ijt} - Y_{ijt} \times Y_{ij,t+1} \\ \forall t &= 1, \dots, T, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} S_{ijt} &= Y_{ijt} - Y_{ij,t-1} \times Y_{ijt} \\ \forall t &= 1, \dots, T, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (24)$$

محدودیت‌های فوق غیر خطی هستند و موجب افزایش چشمگیر میزان پیچیدگی مدل خواهند شد. با تعریف متغیری جدید، به صورت $Z_{i,j,t-1,t} = Y_{ij,t-1} * Y_{ijt}$ می‌توان این محدودیت‌ها را خطی کرد [۴۱]:

$$\begin{aligned} Z_{i,j,t-1,t} - Y_{ij,t-1} - Y_{ijt} + 1.5 &\geq 0 \\ \forall t &= 1, \dots, T, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} 1.5Z_{i,j,t-1,t} - Y_{ij,t-1} - Y_{ijt} &\leq 0 \\ \forall t &= 1, \dots, T, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} Z_{i,j,t-1,t} &\text{ Binary} \\ \forall t &= 1, \dots, T, \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (27)$$

با یکپارچه‌سازی چهار زیرمدل ارائه‌شده و محدودیت‌های وابستگی مدل مسئله به دست می‌آید.

رویکرد حل

روش‌های متنوعی در پیشینه موضوع برای حل مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه ارائه شده است که از آن‌ها می‌توان به روش اپسیلون محدودیت، max-min، ورنر تصحیح‌شده (MW)، و TH اشاره کرد. امروزه، به روش‌های برنامه‌ریزی فازی به طور گسترده توجه می‌شود که از ویژگی‌های مهم آن‌ها می‌توان به امکان محاسبه درجه ارضای هر یک از توابع هدف و انعطاف‌پذیری بالا اشاره کرد. برای حل مدل چندهدفه ارائه‌شده در این پژوهش، رویکرد فازی TH [۴۴] استفاده شد. این رویکرد تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد با انتخاب راه‌حل مناسب بر اساس درجه ارضا و اولویت هر تابع هدف تصمیم نهایی را اتخاذ کند. گام‌های این رویکرد به شرح زیر است:

۱. تعیین بهترین جواب ممکن (PIS) و بدترین جواب

جدول ۷. متغیرهای سفارش‌دهی، عقد، و اتمام قرارداد در مسئله نمونه ۱

NIS		St		Y		i,j
t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	
1	0	0	1	1	1	1.1
1	0	0	1	1	1	1.2
1	0	0	1	1	1	2.1
1	0	0	1	1	1	2.2

جدول ۸. مقادیر سفارش‌دهی و تغییر تأمین‌کننده در مسئله نمونه ۱

mt		mi		Q		i,j,r
t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	
50	0	0	50	50	50	1.1.1
50	0	0	50	50	50	1.1.2
148	0	0	148	148	148	1.1.3
313	0	0	313	313	313	1.2.1
350	0	0	350	350	350	1.2.2
200	0	0	200	200	200	1.2.3
50	0	0	50	50	50	2.1.1
62	0	0	62	62	62	2.1.2
200	0	0	200	200	200	2.1.3
350	0	0	350	350	350	2.2.1
350	0	0	350	350	350	2.2.2
200	0	0	200	200	200	2.2.3

جدول ۹. مقادیر موجودی در مسئله نمونه ۱

In		i
t=2	t=1	
0	100	1
0	0	2

جدول ۱۰. امتیاز نهایی تأمین‌کنندگان در مسئله نمونه ۱

FS		I
j=2	j=1	
0.49	0.51	1
0.48	0.52	2

جدول ۱۱. توابع هدف و ارزش توابع عضویت در مسئله نمونه ۱

$\mu(z)$	Z	تابع هدف
0.97	15683600	1
0.901	610410	2
0.66	46.621	3
1	4.2	4

جدول ۱۲. بهترین و بدترین جواب ممکن برای توابع هدف در

مسئله نمونه ۲

NIS	PIS	تابع هدف
7640200	2387900	1
2002000	890890	2
263.250	80.556	3
4.61	9	4

در این بخش تعدادی مسئله نمونه حل می‌شود. ابعاد مسائل نمونه استفاده شده در جدول ۵ می‌آید. پارامترهای استفاده شده در مسائل نمونه با استفاده از توزیع یکنواخت و به طور تصادفی تولید شده و به منظور افزایش اعتبار نتایج عددی حاصل مقادیر حدی آن‌ها مطابق بازه مقادیر استفاده شده در پژوهش رزمی و رفیعی [۴۲] است. مدل‌های ریاضی ارائه شده در نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS کدنویسی شده است. نتایج حل مسائل نمونه با در نظر داشتن $\gamma = 0.5$ و $\theta = (0.35, 0.25, 0.15, 0.25)$ در جدول‌های ۶ تا ۲۵ می‌آید.

در جدول‌های ۶، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴ بهترین و بدترین مقادیر توابع هدف در مسائل نمونه ۱ تا ۸ می‌آید. جدول ۷ متغیرهای سفارش‌دهی و تغییر تأمین‌کننده و جدول ۸ میزان سفارش‌دهی از هر محصول را با سطح کیفی معین از هر تأمین‌کننده در مسئله نمونه ۱ نشان می‌دهد. به همین ترتیب جدول ۹ نمایانگر سطح موجودی و جدول ۱۰ نشان‌دهنده امتیاز تأمین‌کننده است که با روش تاپسیس به دست آمده است. جدول‌های ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۵ مقدار ارزش تابع هدف و سطوح تأمین آن را برای چهار تابع هدف به طور مجزا و به ترتیب در مسائل نمونه ۱ تا ۸ نمایش می‌دهند. به دلیل بالای ابعاد مسئله در مسائل نمونه ۲ تا ۸ از گزارش مقادیر متغیرهای تصمیم حاصل صرف نظر شد.

جدول ۵. ابعاد مسائل نمونه

مسئله نمونه	محصول i	تأمین‌کننده j	سطح کیفی r	دوره t
1	2	2	3	2
2	3	3	3	3
3	4	4	4	4
4	5	5	4	5
5	6	6	6	6
6	10	10	6	10
7	20	20	8	20
8	30	30	10	30

جدول ۶. بهترین و بدترین جواب ممکن برای توابع هدف در مسئله نمونه ۱

تابع هدف	PIS	NIS
1	1555800	1869900
2	597460	728630
3	40.512	58.5
4	4.2	3.17

جدول ۱۳. توابع هدف و ارزش توابع عضویت در مسئله نمونه ۲

تابع هدف	Z	$\mu(Z)$
1	2437700	0.97
2	921432	0.84
3	96.74	0.64
4	8.4	0.96

جدول ۱۹. توابع هدف و ارزش توابع عضویت در مسئله نمونه ۵

تابع هدف	Z	$\mu(Z)$
1	7673200	0.932
2	4232100	0.565
3	220.02	0.711
4	32.66	0.921

جدول ۱۴. بهترین و بدترین جواب ممکن برای توابع هدف در مسئله نمونه ۳

تابع هدف	PIS	NIS
1	3893800	6337000
2	1151600	3395000
3	103.500	160
4	16	4.29

جدول ۲۰. بهترین و بدترین جواب ممکن برای توابع هدف در مسئله نمونه ۶

تابع هدف	PIS	NIS
1	12447500	21854044
2	7515700	13657000
3	354.179	535.33
4	52.19	19.12

جدول ۱۵. توابع هدف و ارزش توابع عضویت در مسئله نمونه ۳

تابع هدف	Z	$\mu(Z)$
1	4113000	0.91
2	1559800	0.818
3	120.133	0.706
4	15.56	0.98

جدول ۲۱. توابع هدف و ارزش توابع عضویت در مسئله نمونه ۶

تابع هدف	Z	$\mu(Z)$
1	13237650	0.916
2	9161568	0.732
3	389.8657	0.803
4	48.85	0.899

جدول ۱۶. بهترین و بدترین جواب ممکن برای توابع هدف در مسئله نمونه ۴

تابع هدف	PIS	NIS
1	6158000	10296000
2	2254000	5042310
3	167.299	284.528
4	25.1	5.95

جدول ۲۲. بهترین و بدترین جواب ممکن برای توابع هدف در مسئله نمونه ۷

تابع هدف	PIS	NIS
1	21966300	38565960
2	13263000	24100680
3	625.023	944.703
4	111.42	38.12

جدول ۱۷. توابع هدف و ارزش توابع عضویت در مسئله نمونه ۴

تابع هدف	Z	$\mu(Z)$
1	6553300	0.904
2	3690000	0.485
3	186.065	0.840
4	23.050	0.892

جدول ۲۳. توابع هدف و ارزش توابع عضویت در مسئله نمونه ۷

تابع هدف	Z	$\mu(Z)$
1	23128276	0.93
2	16947811	0.66
3	724.1238	0.69
4	104.24	0.902

جدول ۱۸. بهترین و بدترین جواب ممکن برای توابع هدف در مسئله نمونه ۵

تابع هدف	PIS	NIS
1	7322100	12855320
2	4421000	8033560
3	208.341	314.901
4	35.16	7.42

جدول ۲۴. بهترین و بدترین جواب ممکن برای توابع هدف در مسئله نمونه ۸

تابع هدف	PIS	NIS
1	45397020	79702984
2	27410200	49808070
3	1291.714	1952.386
4	179.11	130.42

سفارش‌دهی مطلوبیت بالاتری دارد. نتایج ارزش توابع هدف و توابع عضویت مربوطه نیز بیانگر اهمیت نسبی تابع هدف ۱ و ۴ نسبت به سایر توابع هدف است؛ به این معنا که زیرمدل هزینه‌های موجودی و امتیاز تأمین‌کنندگان اهمیت بالاتری دارد.

اعتبارسنجی این پژوهش دربرگیرنده نمایش اعتبار مدل پیشنهادی و روش حل استفاده‌شده است. اعتبار روش حل استفاده‌شده از رویکرد دقیق آن نشئت می‌گیرد؛ به همین سبب برای نمایش اعتبار آن به مقایسه با رویکرد حل دیگر نیاز نیست. از سوی دیگر نتایج عددی مسائل نمونه نشان می‌دهد که مدل توسعه‌یافته دارای فضای جواب است که به نوعی اعتبار آن را نشان می‌دهد. به‌علاوه، نتایج تحلیل مسائل نمونه با پژوهش رزمی و رفیعی [۴۲] مطابقت دارد و اعتبار مدل ارائه‌شده را، که بر مبنای این پژوهش توسعه یافته است، نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

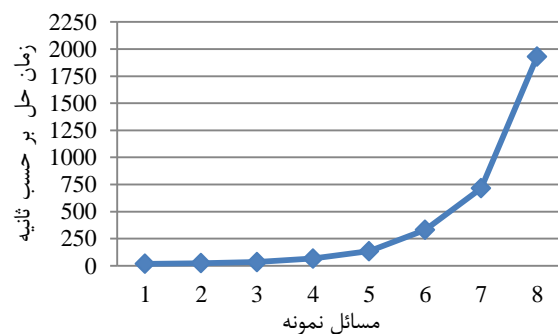
در این پژوهش، مدلی تلفیقی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش در زنجیره تأمین ارائه شد. ساختار ارائه‌شده از دو زیرمدل کیفی و کمی تشکیل شد و زیرمدل کیفی با بهره‌گیری از روش تاپسیس به ارزیابی کیفی تأمین‌کنندگان و اولویت‌دهی به آن‌ها پرداخت. در زیرمدل کمی، حجم سفارش‌دهی به تأمین‌کنندگان بر اساس اولویت معین‌شده در مرحله کیفی مشخص شد. این زیرمدل شامل چهار تابع هدف جهت کمینه‌سازی هزینه‌های موجودی و تغییر تأمین‌کننده و نرخ خرابی و بیشینه‌سازی امتیازات ارائه‌شده از روش تاپسیس برای تأمین‌کنندگان بود. روش حل استفاده‌شده در این پژوهش رویکرد فازی چندهدفه TH [۴۴] بود که به دلیل توانمندی محاسبه درجه تأمین توابع هدف مختلف موجود در مدل در حل مسائل چندهدفه به آن بسیار توجه می‌شود. گفتنی است رویکردهای آتی برای بهبود ساختار ارائه‌شده استفاده از سایر مدل‌های موجودی دربردارنده کمبود، تلفیق مفاهیم تخفیف، و تغییر تأمین‌کننده و نیز بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسائل با ابعاد بزرگ است.

جدول ۲۵. توابع هدف و ارزش توابع عضویت در مسئله نمونه ۸

تابع هدف	Z	$\mu(Z)$
1	48415945	0.912
2	35921391	0.62
3	1496.522	0.69
4	173.61	0.887

جدول ۲۶. زمان حل مسائل نمونه

مسئله نمونه	زمان حل
1	0:0:18
2	0:0:24
3	0:0:34
4	0:1:07
5	0:2:15
6	0:5:31
7	0:11:56
8	0:32:11



شکل ۱. زمان حل مسائل نمونه

جدول ۲۶ و شکل ۱ زمان حل هر یک از مسائل نمونه را نمایش می‌دهند. از آنجا که روش حل به‌کاررفته رویکردی دقیق دارد، با افزایش ابعاد مسئله دقت جواب حاصل تغییری نمی‌کند. اما، همان‌گونه که در جدول ۲۶ و نمودار ۱ مشاهده می‌شود، زمان حل مسئله به‌شدت به ابعاد مسئله وابسته است و با رشد آن افزایش می‌یابد. با توجه به جدول‌های مسائل نمونه ۱ و ۲، نتایج عددی نشان می‌دهد مدل حاصل به دنبال بالانس حجم سفارش‌دهی است؛ به نحوی که با کاهش تغییرات حجم سفارش طی دوره‌های مختلف هزینه‌های مرتبط با تغییر تأمین‌کننده کاهش یابد. از سوی دیگر ایجاد این توازن با تلاش برای کاهش سطح موجودی و کاهش هزینه نگهداری همراه است؛ که به نظر می‌رسد نسبت به کاهش هزینه

REFERENCES

1. Bruno, G., Esposito, E., Genovese, A., and Passaro, R. (2012). "AHP-based approaches for supplier evaluation: Problems and perspectives." *J. Purchas. Supply Manag.*, Vol. 18, No. 3, 159-172.
2. De Boer, L., Labro, E., and Morlacchi, P. (2001). "A review of methods supporting supplier selection." *Eur. J. Purchas. Supply Manag.*, Vol. 7, No. 2, 75-89.
3. Dickson, G. W. (1966). "An analysis of vendor selection systems and decisions." *J. Purchas.*, Vol. 2, No. 1, 5-17.
4. Vokurka, R. J., Choobineh, J., and Vadi, L. (1996). "A prototype expert system for the evaluation and selection of potential suppliers." *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, Vol. 16, No. 12, 106-127.
5. Lin, C. W. R., and Chen, H. Y. S. (2004). "A fuzzy strategic alliance selection framework for supply chain partnering under limited evaluation resources." *Comput. Indust.*, Vol. 55, No. 2, 159-179.
6. Wu, C. and Barnes, D. (2010). "Formulating partner selection criteria for agile supply chains: A Dempster-Shafer belief acceptability optimisation approach." *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 125, No. 2, 284-293.
7. Weber, C. A., Current, J. R., and Benton, W. C. (1991). "Vendor selection criteria and methods." *Eur. J. Operat. Res.*, Vol. 50, No. 1, 2-18.
8. Weber, C. A. and Ellram, L. M. (1993). "Supplier selection using multi-objective programming: a decision support system approach." *Int. J. Physic. Distrib. Log. Manag.*, Vol. 23, No. 2, 3-14.
9. Wu, T. and Blackhurst, J. (2009). "Supplier evaluation and selection: an augmented DEA approach." *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 47, No. 16, 4593-4608.
10. Saen, R. F. (2010). "Developing a new data envelopment analysis methodology for supplier selection in the presence of both undesirable outputs and imprecise data." *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, Vol. 51, No. 9, 1243-1250.
11. Zeydan, M., Çolpan, C., and Çobanoğlu, C. (2011). "A combined methodology for supplier selection and performance evaluation." *Expert Syst. Appl.*, Vol. 38, No. 3, 2741-2751.
12. Hinkle, C. L., Robinson, P. J., and Green, P. E. (1969). "Vendor evaluation using cluster analysis." *J. Purchas.*, 5(3), 49-58. Vol. 5, No. 3, 49-58.
13. Holt, G. D. (1998). "Which contractor selection methodology?" *Int. J. Project Manag.*, Vol. 16, No. 3, 153-164.
14. Che, Z. H. (2010). "A two-phase hybrid approach to supplier selection through cluster analysis with multiple dimensions." *Int. J. Innov. Comput. Inf. Cont.*, Vol. 6, No. 9, 4093-4111.
15. Zenz, G. J. and Thompson, G. H. (1994). "Purchasing and the Management of Materials." Wiley.
16. Timmerman, E. (1987). "An approach to vendor performance evaluation." *Eng. Manag. Rev., IEEE*, Vol. 15, No. 3, 14-20.
17. Humphreys, P. K., Wong, Y. K., and Chan, F. T. S. (2003). "Integrating environmental criteria into the supplier selection process." *J. of Mater. Proc. Tech.*, Vol. 138, No. 1, 349-356.
18. Choy, K. L., Lee, W. B., and Lo, V. (2002). "An intelligent supplier management tool for benchmarking suppliers in outsource manufacturing." *Expert Syst. Appl.*, Vol. 22, No. 3, 213-224.
19. Choy, K. L., Lee, W. B., Lau, H., Lu, D., and Lo, V. (2004). "Design of an intelligent supplier relationship management system for new product development." *Int. J. Comput. Integ. Manuf.*, Vol. 17, No. 8, 692-715.
20. Montazer, G. A., Saremi, H. Q., and Ramezani, M. (2009). "Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection." *Expert Syst. Appl.*, Vol. 36, No. 8, 10837-10847.
21. Ko, C. S., Kim, T., and Hwang, H. (2001). "External partner selection using tabu search heuristics in distributed manufacturing." *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 39, No. 17, 3959-3974.
22. Amid, A., Ghodsypour, S. H., and O'Brien, C. (2006). "Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain." *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 104, No. 2, 394-407.
23. Jarimo, T. and Salo, A. (2009). "Multi criteria partner selection in virtual organizations with transportation costs and other network interdependencies." *Syst., Man, Cyber., Part C: Appl. Rev., IEEE Trans.*, Vol. 39, No. 1, 124-129.
24. Geoffrion, A. M. and Graves, G. W. (1974). "Multi commodity distribution system design by Benders decomposition." *Manag. Sci.*, Vol. 20, No. 5, 822-844.
25. Tam, M. C. and Tummala, V. M. (2001). "An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system." *Omega*, Vol. 29, No. 2, 171-182.
26. Sarkis, J., Talluri, S., and Gunasekaran, A. (2007). "A strategic model for agile virtual enterprise partner selection." *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, Vol. 27, No. 11, 1213-1234.
27. Ravindran, A. R., Ufuk Bilsel, R., Wadhwa, V., and Yang, T. (2010). "Risk adjusted multicriteria supplier selection models with applications." *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 48, No. 2, 405-424.
28. Choudhary, D. and Shankar, R. (2014). "A goal programming model for joint decision making of inventory lot-size, supplier selection and carrier selection." *Comput. & Indust. Eng.*, Vol. 71, 1-9.
29. Vanteddu, G., Chinnam, R. B., and Gushikin, O. (2011). "Supply chain focus dependent supplier selection

- problem." *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 129, No. 1, 204-216.
30. Nazari-Shirkouhi, S., Shakouri, H., Javadi, B., and Keramati, A. (2013). "Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming." *Appl. Math. Model.*, Vol. 37, No. 22, 9308-9323.
 31. Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., and 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." *J. of Clean. Prod.*, Vol. 47, 355-367.
 32. Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S. S., and Thakur, L. S. (2012). "Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain." *Exp. Syst. Appl.*, Vol. 39, No. 9, 8182-8192.
 33. Guo, C. and Li, X. (2014). "A multi-echelon inventory system with supplier selection and order allocation under stochastic demand." *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 151, 37-47.
 34. Mendoza, A. and Ventura, J. A. (2012). "Analytical models for supplier selection and order quantity allocation." *Appl. Math. Model.*, Vol. 36, No. 8, 3826-3835.
 35. Lee, A. H., Kang, H. Y., Lai, C. M., and Hong, W. Y. (2013). "An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts." *Appl. Math. Model.*, Vol. 37, No. 7, 4733-4746.
 36. Zhang, J. L. and Zhang, M. Y. (2011). "Supplier selection and purchase problem with fixed cost and constrained order quantities under stochastic demand." *Int. J. Prod. Econ.*, Vol. 129, No. 1, 1-7.
 37. Deng, X., Hu, Y., Deng, Y., and Mahadevan, S. (2014). "Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers." *Exp. Syst. Appl.*, Vol. 41, No. 1, 156-167.
 38. Theißen, S. and Spinler, S. (2014). "Strategic analysis of manufacturer-supplier partnerships: An ANP model for collaborative CO₂ reduction management." *Eur. J. Oper. Res.*, Vol. 233, No. 2, 383-397.
 39. Dargi, A., Anjomshoae, A., Galankashi, M. R., Memari, A., and Tap, M. B. M. (2014). "Supplier Selection: A Fuzzy-ANP Approach." *Procedia Comput. Sci.*, Vol. 31, 691-700.
 40. Zouggari, A. and Benyoucef, L. (2012). "Simulation based fuzzy TOPSIS approach for group multi-criteria supplier selection problem." *Eng. Appl. Artif. Intel.*, Vol. 25, No. 3, 507-519.
 41. Roshandel, J., Miri-Nargesi, S. S., and Hatami-Shirkouhi, L. (2013). "Evaluating and selecting the supplier in detergent production industry using hierarchical fuzzy TOPSIS." *Appl. Math. Model.*, Vol. 37, No. 24, 10170-10181.
 42. Razmi, J. and Rafiei, H. (2010). "An integrated analytic network process with mixed-integer non-linear programming to supplier selection and order allocation." *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, Vol. 49, No. 9, 1195-1208.
 43. Tavakkoli-Moghaddam, R., Javadian, N., Javadi, B., and Safaei, N. (2007). "Design of a facility layout problem in cellular manufacturing systems with stochastic demands." *Appl. Math. Comput.*, Vol. 184, No. 2, 721-728.
 44. Torabi S. A. and Hassini E. (2008). "An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning." *Fuzzy Set. Syst.*, Vol. 159, No. 2, 193-214.