مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۶)
دوره‌ی ۱-۳۳، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۵۵-۶۴

Original Article

ارائه‌ی یک مدل چندهدفه‌ی فازی برای انتخاب تأمین‌کننده به‌منظور کاهش اثرات گازهای حمل و نقل وسایط نقلیه

اکبر میرزایی (کارشناس ارشد)
ابوالفضل کاظمی * (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

mirzaei_akbar14@yahoo.com
abkaazemi@gmail.com

فرایند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری چندهدفه‌ی پیچیده است که از عوامل متعددی تأثیر می‌پذیرد. در این مقاله، مدلی چندهدفه برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی یک قلم کالا ارائه شده است که طی آن هزینه‌ی کل ــ شامل هزینه‌های عرضه‌کننده و هزینه‌های خریداران، و نیز آلاینده‌های محیط زیست که از حمل و نقل وسایط نقلیه نشأت می‌گیرد ــ به‌عنوان عاملی تأثیرگذار در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده به‌صورت کلی در نظر گرفته شده است. اهداف در نظر گرفته شده برای مدل پیشنهادی عبارت است از: کمینه‌کردن کل هزینه‌ی تأمین‌کنندگان (هزینه‌های کل سفارش‌دهی و کمبود)، کمینه‌کردن کالاهای بی‌کیفیت تأمین‌کنندگان، کمینه‌کردن زمان تحویل، و کمینه‌کردن میزان آلاینده‌های محیطی ناشی از وسایط نقلیه.

واژگان کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده، بهینه‌سازی چندهدفه، آلاینده‌های محیط زیست، حمل و نقل وسایط نقلیه، رویکرد فازی.

۱. مقدمه

مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره‌ی تأمین یک مسئله‌ی جدید نیست و ادبیات و تاریخچه‌یی غنی دارد. در این خصوص مطالعات زیادی صورت گرفته که حاصل آن معیارها و روش‌های ابداعی و تلفیقی بسیاری برای حل مسئله‌ی حائز اهمیت انتخاب تأمین‌کننده است.[۱]

انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیران سازمان‌هاست، چرا که تصمیمات نادرست نه فقط خریدار بلکه کل زنجیره‌ی تأمین را متأثر می‌سازد. بنابراین اهمیت دادن به این مسئله با استفاده از استراتژی‌های جدید یک زنجیره‌ی تأمین را دو چندان می‌کند چرا که این استراتژی‌های جدید برای ساخت یا خرید تأمین‌کنندگان نقش کلیدی را ایفا می‌کند که انتخاب تأمین‌کننده یکی از اجزای حیاتی این استراتژی‌هاست.[۲]

امروزه از منظر پایداری محیط زیست و سبزکردن زنجیره‌ی تأمین، موضوع انتخاب تأمین‌کننده یکی از موضوعات مهم است. از آنجا که وسایط نقلیه مانند خودروها، قطارها، کشتی‌ها و هواپیماها در آلودگی هوا نقش مهمی دارند، هدف این نوشتار ارائه‌ی مدلی برای بهبود و کاهش اثرات حمل و نقل وسایط نقلیه در یک محیط پرآشوب است.

۲. پیشینه‌ی تحقیق

محققین زیادی به مدل‌سازی و ارزیابی اجزای مختلف مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده پرداخته‌اند. در سال ۲۰۰۰ محققین برای اولین بار یک مدل چندهدفه را، در شرایطی که اهداف با هم در تعارض‌اند، برای تحلیل سیستماتیک مسئله‌ی تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان ارائه کردند و از سه تابع هدف کمینه‌کردن هزینه‌ی خرید، کمینه‌کردن تعداد اقلامی که دیر تحویل داده می‌شوند، و کمینه‌کردن اقلام مرجوعی استفاده کردند.[۳] در سال ۲۰۰۳ با استفاده از یک رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی عدد صحیح، تأمین‌کنندگان و مقادیر تخصیص سفارش به هریک از آن‌ها در حالت چند محصول و چند تأمین‌کننده انتخاب شد؛ در این راستا از اهداف کیفیت، تحویل و قیمت نیز استفاده شد.[۴] در سال ۲۰۰۴، از یک برنامه‌ریزی آرمانی برای حل مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده با اهداف چندگانه، و با این نگرش که برخی از معیارها فازی‌اند، استفاده شد.[۵] در سال ۲۰۰۶، یک مدل خطی چندهدفه‌ی فازی غیرمتقارن توسعه داده شد که با وزن‌های مختلف از معیارها در مسئله قادر بود تصمیم‌گیری کند و از برنامه‌ریزی آرمانی برای حل مدل استفاده شد.[۶]

در سال ۲۰۰۹، محققین یک مدل چندهدفه‌ی فازی وزن‌دار افزایشی و متد برنامه‌ریزی عدد صحیح برای مسائل انتخاب تأمین‌کننده تحت شکست قیمت

---

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۱/۳۱، اصلاحیه ۱۳۹۴/۷/۴، پذیرش ۱۳۹۴/۱۰/۶.

در زنجیره‌ی تأمین ارائه کردند.[۷] سپس در سال ۲۰۱۰، یک مدل چندهدفه‌ی فازی وزن‌دار ــ شامل سه هدف افزایش کیفیت و افزایش سطح خدمت‌رسانی ــ و نیز کاهش هزینه که فقط هزینه‌های سفارش‌دهی (بدون هزینه‌ی کمبود) را شامل می‌شد، ارائه کردند.[۸] در سال ۲۰۱۰ نیز یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی فازی وزن‌دار ــ شامل سه هدف هزینه (بدون هزینه‌ی کمبود)، کیفیت و تحویل به‌موقع ــ ارائه شد که در آن علاوه بر کل هزینه، هزینه‌ی کمبود نیز لحاظ شده است.[۹] در سال ۲۰۱۲ با استفاده از AHP فازی و برنامه‌ریزی چندهدفه‌ی فازی، مدلی برای کاهش کربن توسعه داده شد که در آن علاوه بر آلاینده‌های زیست‌محیطی، هزینه‌ی کمبود نیز لحاظ شده است.[۱۰] در سال ۲۰۱۲ نیز محققین با یک برنامه‌ریزی خطی جدید، به بهینه‌سازی زنجیره‌ی تأمین‌یک شرکت توزیع روغن‌های گیاهی پرداختند. آنها در این تحقیق تنها هزینه‌ی کمبود و حمل و نقل را در نظر گرفته بودند و در رابطه با آلاینده‌های محیطی، در تحقیق‌شان چیزی بیان نشد.[۱۱]

همچنین اگر به‌لحاظ زیست‌محیطی به این موضوع بنگریم، براساس داده‌های کمیسیون اروپا ۲۴٪ از کامیون‌های حمل کالا که در اروپا کار می‌کنند خالی‌اند و ترافیک شهری باعث انتشار ۴۰٪ از دی‌اکسید کربن بخش حمل و نقل است. طبق مطالعات هزینه‌ی حمل و نقل نزدیک ۱۱ تا ۳۰٪ از هزینه‌های کل محصولات را تشکیل می‌دهد که بهره‌برداری و به‌کارگیری روش‌های صحیح و مدرن در حمل و نقل موجب صرفه‌جویی به‌میزان ۵ تا ۲۰٪ در کل هزینه‌های تولید و خدمات می‌شود. بنابراین کاهش حمل و نقل شهری می‌تواند باعث افزایش منافع اقتصادی و حفظ محیط زیست شود .[۲]

در تمامی تحقیقات گذشته، فقط در راستای کاهش هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین و ارزیابی عملکرد آن پژوهش‌ها صورت گرفته است ولی درمورد کاهش اثرات مخرب زنجیره‌ی تأمین بر محیط زیست و همچنین هزینه‌ی کمبود در مدل چندهدفه فازی بحثی صورت نگرفته است. لذا در این مقاله، اثرات حمل و نقل وسایط نقلیه و پیامدهای آن بر عملیات و همچنین هزینه‌ی کمبود در یک مدل چندهدفه‌ی فازی مورد مطالعه قرار داده شده است.

۳. مدل پیشنهادی

هدف این مقاله ارائه‌ی یک مدل ریاضی چندهدفه فازی برای انتخاب تأمین‌کننده با یک قلم کالا و با در نظرگرفتن هزینه‌های سفارش‌دهی و کمبود و آلاینده‌ها که از طرف وسایط نقلیه است.

۱.۳. فرضیات

مفروضات مدل پیشنهادی ذکر شده عبارت است از: تنها یک نوع محصول از تأمین‌کنندگان خریداری می‌شود؛ در این مدل تخفیف وجود ندارد، کمبود مجاز است، زمان تحویل[۱] قطعی است، ظرفیت تولید محدود است، ظرفیت انبار محدود است، ظرفیت حمل و نقل وسایل نقلیه محدود است، بودجه‌ی در نظر گرفته شده فقط برای تأمین‌کننده است و دریافت به‌صورت تدریجی است.

۲.۳. نمادها و پارامترها

i: اندیس عرضه‌کننده‌ها $i = 1, 2, ..., n$؛

k: اندیس توابع هدف $k = 1, 2, ..., q$؛

t: اندیس برای محدودیت‌ها $t = 1, 2, ..., l$؛

Q: میزان تحویل در هر بار تحویل موفق محصول توسط تأمین‌کننده؛

D: میزان تقاضای هر دوره؛

P: مقدار تولید برای تأمین‌کننده، $P > D$؛

S_V: هزینه‌ی راه‌اندازی خط تولید در هر بار؛

S_b: هزینه‌ی هر بار سفارش برای مشتری؛

h_v: هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد محصول در هر دوره برای تأمین‌کننده؛

h_b: هزینه‌ی نگه‌داری هر واحد محصول در هر دوره برای خریدار؛

n: تعداد تحویل‌ها به‌ازای هر سفارش (تعداد بارگیری)؛

L: فاصله‌ی زمانی بین دو تحویل موفق؛

t_1: دوره زمانی تولید هر محصول در چرخه‌ی تولید آن؛

t_2: دوره زمانی که در آن تأمین‌کننده سفارش مشتری را از انبار تأمین می‌کند؛

T: چرخه‌ی زمانی $T = t_1 + t_2$؛

π: هزینه‌ی بی‌اعتباری به‌ازای هر واحد کمبود؛

F: هزینه‌ی حمل و نقل در هر بار تحویل کالا؛

C: هزینه‌ی هر واحد محصول برای تأمین‌کننده؛

V: هزینه‌ی ترمیم یا اصلاح هر محصول خراب؛

d: درصد محصولات خراب در هر بار تحویل سفارش $0 \leq d < 1$؛

f: کسری از میزان محصولات تحویل داده شده که مورد بازرسی قرار می‌گیرند $0 \leq f \leq 1$؛

C_i: هزینه‌ی بازرسی هر واحد محصول برای ارزیابی کیفیت محصول برای خریدار؛

C_r: هزینه‌ی برخورد با هر واحد خراب برای خریدار؛

LOC_i: حداکثر زمان تخصیص داده شده توسط تأمین‌کننده i برای تولید محصول در هر دوره؛

M_i: حجم اشغال شده‌ی یک واحد محصول توسط تأمین‌کننده i در هر دوره؛

CAP_i: حداکثر فضای موجود انبار تأمین‌کننده i در هر دوره؛

C_m: ظرفیت حمل وسایط نقلیه نوع m در هر دوره؛

U_i: حداکثر مقدار در دسترس توسط تأمین‌کننده i؛

$K(n, Q)$: هزینه‌ی کل یک‌پارچه در هر دوره/سال برای خریدار و عرضه‌کننده در هر دوره؛

q_{ai}: درصدی از کل اقلام برگشتی شرکت که مربوط به تأمین‌کننده‌ی i که قابل ترمیم و اصلاح است؛

q_{bi}: درصدی از کل اقلام برگشتی شرکت که مربوط به تأمین‌کننده‌ی i که قابل ترمیم و اصلاح نیست؛

H_i: اثر آلودگی وسایل هوایی بر محصول عرضه شده توسط تأمین‌کننده‌ی i؛

D_i: اثر آلودگی وسایل دریایی بر محصول عرضه شده توسط تأمین‌کننده‌ی i؛

R_i: اثر آلودگی وسایل ریلی بر محصول عرضه‌شده توسط تأمین‌کننده‌ی i؛

Z_i: اثر آلودگی وسایل زمینی بر محصول عرضه شده توسط تأمین‌کننده‌ی i؛

B_i: مقدار بودجه‌ی تخصیص داده شده برای تأمین‌کننده‌ی i در هر دوره؛

I_m: تعداد وسایط نقلیه‌ی نوع m در هر دوره؛

Z_1: حد بالای آلایندگی وسایل هوایی؛

Z_2: حد بالای آلایندگی وسایل دریایی؛

Z_3: حد بالای آلایندگی وسایل زمینی؛

Z_4: حد بالای آلایندگی وسایل ریلی.

۳.۳. متغیرهای تصمیم

X_i: مقدارتولید/سفارش تخصیص داده شده برای تأمین‌کننده‌ی i در هر دوره (طبق قرارداد)؛

G_i: مقدار محصول انبارشده در تأمین‌کننده‌ی i در هر دوره؛

Y_i: مقدار حمل کالا از تأمین‌کننده‌ی i در هر دوره.

۴.۳. توابع هدف و محدودیت‌ها

اهداف مدل پیشنهادی عبارت است از: کمینه‌کردن کل هزینه‌ی یک‌پارچه‌ی عرضه‌کنندگان، خریداران و هزینه‌ی کمبود (فروش از دست رفته)، کمینه‌کردن میزان کالاهای معیوب رد شده که قابل ترمیم و اصلاح است یا نیست (به عبارتی کمینه‌کردن کالاهای بی‌کیفیت تأمین‌کنندگان)، کمینه‌کردن میزان دریافت کالاهای با تأخیر (کاهش زمان تحویل)، و نیز کمینه‌کردن میزان آلاینده‌های محیطی ناشی از وسایط نقلیه (شامل هوایی، دریایی، زمینی و ریلی)، به‌طوری که ضمن درنظر گرفتن تمامی اهداف پیشنهادی، انتخابی صورت گیرد که هر چهار هدف به بهترین شکل ممکن ارضاء شوند. لذا هزینه‌ی کل یک‌پارچه شامل هزینه‌ی کل عرضه‌کننده (شامل هزینه‌ی نگه‌داری، هزینه‌ی حمل و نقل، هزینه‌ی راه‌اندازی و هزینه‌ی ترمیم و اصلاح کالاهای معیوب) و هزینه‌های کل خریدار (شامل هزینه‌ی سفارش‌دهی، هزینه‌ی نگه‌داری و هزینه‌ی بازرسی) است.

در مدل ریاضی ارائه شده در این مقاله، به دنبال تعیین استراتژی بهینه برای میزان سفارش و کمینه‌کردن هزینه برای تأمین‌کننده و خریدار هستیم. در سیستم مورد نظر، در بخش تأمین‌کننده، محصول بدون بازرسی تولید می‌شود، ولی خریدار بخشی از محصولات را با کسری از f بازرسی می‌کند. کالاهای معیوب و فاقد کیفیت به تأمین‌کننده عودت داده می‌شود. همچنین کالاهای معیوبی را که خریدار (خرده‌فروش) نتوانسته شناسایی کند و به مشتریان فروخته، خرده‌فروش باید هزینه‌ی ترمیم و اصلاح را بپردازد. در شکل ۱ سطوح موجودی را برای تأمین‌کننده و خریدار برای سیستم مورد نظر نشان می‌دهد.

همچنین می‌توان هزینه‌ی نگه‌داری تأمین‌کننده را به‌صورت رابطه‌ی ۱ نوشت:

$$\text{هزینه نگه‌داری} = \frac{[\text{بخش غیرهاشور - بخش هاشور}] \times c \times h_v}{nT}$$

$$\frac{\left\{\left|nQ(\frac{Q}{P}+(n-1)T-\frac{nQ(\frac{nQ}{P})}{2}\right|-T[Q+2Q+L+(n-1)Q]\right\}ch_v}{(nT)}$$

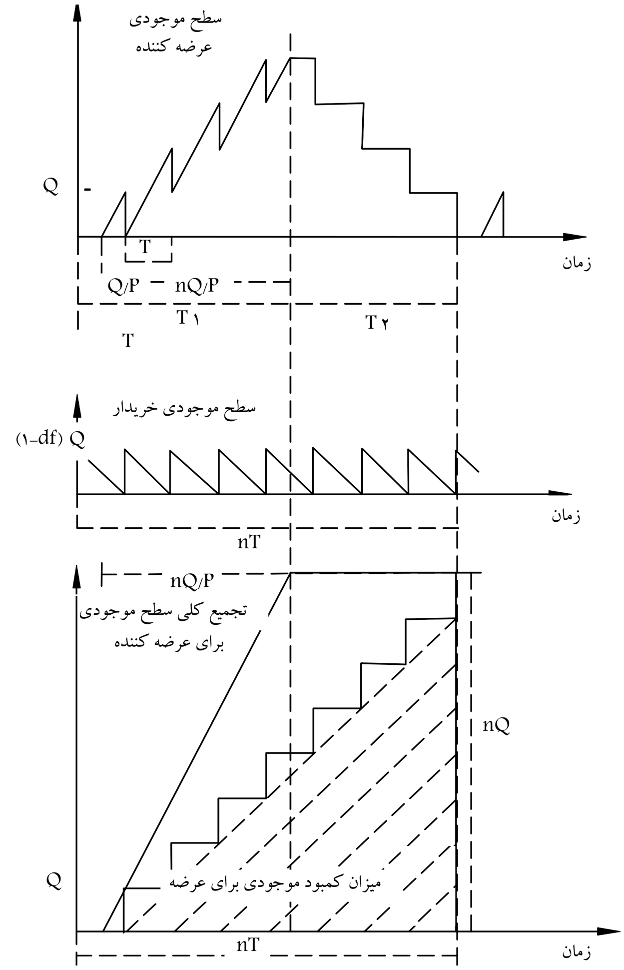
$$\frac{\left\{\left[nQ(\frac{Q}{P}+(n-1)\frac{(1-df)Q}{D})-\frac{n^2Q^2}{2P}\right]-\frac{(1-df)Q}{D}\frac{(n-1)nQ}{2}\right\}ch_v}{(n\frac{(1-df)Q}{D})}$$

$$=\left\{\frac{Q}{2}+\frac{(n-2)Q}{2}(1-\frac{D}{(1-df)P})\right\}ch_v \qquad (1)$$

پس از اضافه‌کردن هزینه‌ی حمل و نقل، هزینه‌ی راه‌اندازی و هزینه‌ی ترمیم و اصلاح محصولات معیوب، هزینه‌ی کل تأمین‌کننده به دست می‌آید:

$$TC_V(n,Q)=\frac{S_V D}{n(1-df)Q}+\frac{FD}{(1-df)Q}+\frac{vDdf}{(1-df)} + \left\{\frac{Q}{2}+\frac{(n-2)Q}{2}(1-\frac{D}{(1-df)p})\right\}ch_v \qquad (2)$$

همچنین هزینه‌ی کل برای خریدار شامل: هزینه‌ی سفارش، هزینه‌ی نگه‌داری و هزینه‌ی بازرسی است. وقتی Q مقدار از محصول به دست خریدار می‌رسد، خریدار



شکل ۱. سطح موجودی برای تأمین‌کننده و خریدار و رفتار سیستم در طول زمان.

باکسری از f محصولات را مورد بازرسی قرار می‌دهد و به میزان dfQ از محصولات معیوب و بی‌کیفیت به تأمین‌کننده عودت داده می‌شود و همچنین میزان $1-dfQ$ برای ارضای تقاضای مشتریان باقی می‌ماند. متوسط تحویل کالا نیز $(1-df)Q/D$ است. همچنین هزینه‌ی فروش برای خریدارکه هزینه‌ی اثربخش[۲] نیز نامیده می‌شود، $(c+fc_i)Q/[(1-df)Q]$ یا $(c+fc_i)/(1-df)$ است؛ بنابراین می‌توان میزان هزینه‌ی نگه‌داری برای خریدار را نیز مانند تأمین‌کننده در رابطه‌ی ۳ ارائه کرد:

$$HC_B(n,Q)=\left\{\frac{Q(1-df)}{2}\times\frac{c+fc_i}{1-df}\right\}h_B=\frac{Q(c+fc_i)h_B}{2} \qquad (3)$$

پس از اضافه‌کردن هزینه‌ی سفارش در هر دوره، $\frac{S_B D}{n(1-df)Q}$، هزینه‌ی بازرسی در هر دوره، $\frac{ci_i fQ}{(1-df)Q/D}$ یا $\frac{C_i fD}{(1-df)}$، و هزینه‌ی محصولات بی‌کیفیت و معیوب، $\frac{d(1-f)QC_r}{(1-df)Q/D}$، یا $\frac{d(1-f)DC_r}{(1-df)}$، هزینه‌ی کل خریدار ارائه شده است:

$$TC_B(n,Q)=\frac{S_B D}{n(1-df)Q}+\frac{D(fc_i+d(1-f)c_r)}{(1-df)} + \frac{Q(C+fc_i)}{2}h_b \qquad (4)$$

روابط ۳ و ۴ هزینه‌ی کل هر دوره خریدار و تأمین‌کننده (هزینه‌ی کل یک‌پارچه) را

بیان می‌دارد:

$$K(n,Q)=TC_V(n,Q)+TC_B(n,Q) \tag{5}$$

که در آن پس از ساده‌سازی، به رابطه‌ی ۶ دست می‌یابیم:

$$\begin{aligned}K(n,Q)=&\frac{(S_V+S_B)D}{n(1-df)Q}+\frac{FD}{(1-df)Q}\\&+\frac{D\left[vdf+fc_i+d(1-f)c_r\right]}{(1-df)Q}\\&+\left\{\frac{Q}{2}+\frac{(n-2)Q}{2}(1-\frac{D}{(1-df)p})\right\}ch_v\\&+\frac{Q(c+fc_r)}{2}h_B\end{aligned} \tag{6}$$

در صورتی که هزینه‌ی کمبود را نیز اضافه کنیم (شکل ۲)، مدل نهایی به‌صورت رابطه‌ی ۷ قابل ارائه خواهد بود.

$$\begin{aligned}K(n,Q)=&\frac{(S_V+S_B)D}{n(1-df)Q}+\frac{FD}{(1-df)Q}\\&+\frac{D\left[vdf+fc_i+d(1-f)c_r\right]}{(1-df)Q}\\&+\left\{\frac{Q}{2}+\frac{(n-2)Q}{2}(1-\frac{D}{(1-df)p})\right\}ch_v\\&+\frac{Q(c+fc_r)}{2}h_B+\frac{1}{2}\pi D(T-t_1)^2\end{aligned} \tag{7}$$

بنابراین، مدل کلی به‌صورت رابطه‌های ۸ تا ۲۳ ارائه می‌شود:

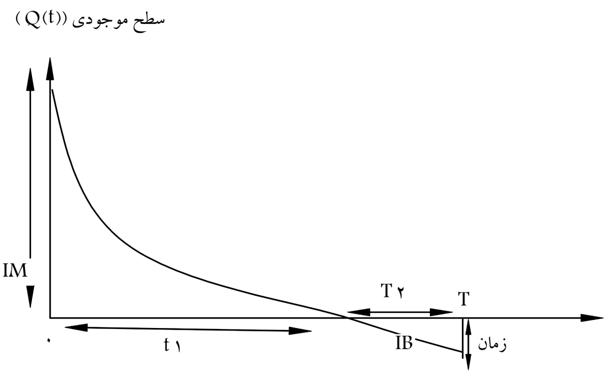
$$\min z1=\sum\nolimits_{1}^{n}\circ\left(\begin{array}{l}K(n,Q)=\frac{(S_v=S_B)D}{n(1-df)Q}+\frac{FD}{(1-df)Q}\\+\frac{D[vdf+fc_1+d(1-f)c_2]}{(1-df)}\\+\left\{\frac{Q}{2}+\frac{(n-2)Q}{2}\left(1-\frac{D}{(1-df)P}\right)\right\}ch_v\\+\frac{Q(c+fc_1)}{2}h_B+\frac{1}{2}\pi D(T-t_1)^2\end{array}\right)x_i \tag{8}$$

$$\text{Min } x2=\sum\nolimits_{i=0}^{n}q_{ia}X_i+\sum\nolimits_{i=0}^{n}q_{ib}X_i \tag{9}$$

$$\text{Min } z3=\sum\nolimits_{i=0}^{n}L_iX_i \tag{10}$$

$$\begin{aligned}\text{Min } z4=&\sum\nolimits_{i=0}^{n}H_iX_i+\sum\nolimits_{i=0}^{n}D_iX_i\\&+\sum\nolimits_{i=0}^{n}Z_iX_i\sum\nolimits_{i=0}^{n}R_iX_i\end{aligned} \tag{11}$$

S.t :



شکل ۲. سطح موجودی برای تأمین‌کننده با وجود کمبود.

$$\sum\nolimits_{i=0}^{n}X_i=D \tag{12}$$

$$X_i\leq U_i \tag{13}$$

$$t_1X_i\leq LOG_1 \tag{14}$$

$$G_iM_i\leq CAP_i \tag{15}$$

$$90\%\,X_i\leq G_i\leq X_i \tag{16}$$

$$Y_i\leq\sum C_mI_m \tag{17}$$

$$70\%\,X_i\leq Y_i\leq X_i \tag{18}$$

$$\sum\nolimits_{i=0}^{n}H_iX_i\leq z1 \tag{19}$$

$$\sum\nolimits_{i=0}^{n}D_iX_i\leq z2 \tag{20}$$

$$\sum\nolimits_{i=0}^{n}Z_iX_i\leq z3 \tag{21}$$

$$\sum\nolimits_{i=0}^{n}R_iX_i\leq z4 \tag{22}$$

$$S_iX_i\leq B_i \tag{23}$$

تابع هدف ۸ کل هزینه‌ی یک‌پارچه تأمین‌کنندگان را کاهش می‌دهد. تابع هدف ۹ میزان کالاهای معیوب رد شده را که قابل ترمیم و اصلاح باشد یا نباشد، کاهش می‌دهد و تابع هدف ۱۰ میزان دریافت کالاهای با تأخیر را کمینه می‌کند. در نهایت تابع ۱۱ میزان آلاینده‌های محیطی را که از وسایط نقلیه (شامل هوایی، دریایی، زمینی و ریلی) انتشار می‌یابد، کاهش می‌دهد. محدودیت ۱۲ بیان‌گر این است که مقدار سفارش باید برابر تقاضا باشد. محدودیت ۱۳ بیان می‌دارد که میزان سفارش باید برابر یا حداقل کم‌تر از میزان ظرفیت تأمین‌کننده باشد. محدودیت ۱۴ بیان‌گر محدودیت ظرفیت تولید، و محدودیت ۱۵ بیان‌گر محدودیت فضای انبار است. محدودیت ۱۶ بیان می‌دارد که برحسب مقدار کالای تولید/سفارش هر تأمین‌کننده و محدودیت فضای انبار، بیشترین مقدار کالا را در انبارها ذخیره کنیم. محدودیت ۱۷ بیان‌گر محدودیت حمل و نقل وسایط نقلیه است. محدودیت ۱۸ بیان می‌دارد که برحسب مقدار کالای تولید/سفارش هر تأمین‌کننده و محدودیت حمل و نقل، باید بیشترین مقدار کالا را با توجه به نوع وسیله‌ی حمل و نقل در دسترس هر تأمین‌کننده، همراه با ظرفیت حمل آن‌ها را حمل و نقل کنیم. محدودیت ۱۹ بیان‌گر محدودیت برای کاهش آلودگی‌های وسایل نقلیه هوایی بر محصولات است. محدودیت ۲۰ بیان‌گر محدودیت برای کاهش آلودگی‌های وسایل نقلیه دریایی بر محصولات است. محدودیت ۲۱ بیان‌گر محدودیت برای کاهش آلودگی‌های وسایل نقلیه‌ی زمینی بر محصولات است. محدودیت ۲۲ بیان‌گر محدودیت برای کاهش آلودگی‌های وسایل نقلیه‌ی ریلی بر محصولات است و در نهایت محدودیت ۲۳ بیان‌گر محدودیت بودجه هر بار سفارش برای تأمین‌کننده است.

۴. روش‌های حل پیشنهادی

در این بخش به‌منظور حل مدل‌های ارائه شده، از رویکردهای فازی Zimmermann و فازی جبرانی استفاده می‌شود.

۱.۴. رویکرد فازی Zimmermann

اولین روش مورد استفاده رویکرد فازی Zimmermann است که در آن مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی با اهداف فازی به‌صورت روابط ۲۴ تا ۲۷ ارائه شده است:[۷]

$$\tilde{Z}_k = \sum_{i=1}^{n} c_{ki} x_i \leq \ \approx \ Z_k^{\circ} = 1, 2, ..., q$$ (برای توابع از نوع منفی) (۲۴)

$$\tilde{Z}_k = \sum_{i=1}^{n} c_{ki} x_i \geq \ \approx \ Z_k^{\circ} = 1, 2 ..., q$$ (برای توابع از نوع مثبت) (۲۵)

S.t.

$$g_t(x) = \sum_{i=1}^{n} a_{ti} x_i \leq b_t \qquad t = 1, 2, ..., l \tag{۲۶}$$

$$x_i \geq 0 \qquad i = 1, 2, ..., n \tag{۲۷}$$

جایی که c_{ki}, a_{ti}, b_t مقادیر قطعی‌اند. در این مدل علامت $\sim$ محیط فازی را نشان می‌دهد. علامت $\sim\leq$ در محدودیت‌ها بیانگر فازی بودن $\leq$ است و نشان می‌دهد که کم‌تر یا مساوی مقدار بهینه برای توابع هدف از نوع منفی تا مقدار Z_k^- (بدترین جواب) هم برای تصمیم‌گیرنده قابل قبول است، اما با مطلوبیت کم‌تر. همچنین $\sim\geq$ بیانگر فازی بودن $\geq$ و نشان‌دهنده‌ی این است که برای اهداف از نوع مثبت نیز تا مقدار Z_k^+ (بدترین جواب) برای تصمیم‌گیرنده قابل قبول است اما هرچه از مقدار بهینه دورتر می‌شویم از مطلوبیت‌اش کاسته می‌شود و به صفر نزدیک‌تر می‌شود.

۱.۱.۴. تعیین تابع عضویت فازی

در سال ۱۹۸۷ Zimmermann بیان کرد که برای هر هدف Z_k موجود در مدل یک تابع عضویت خطی به‌طور جداگانه تعریف می‌شود و برای تعیین توابع عضویت فازی مراحل زیر باید طی شود:[۶]

گام ۱. برای حل مسئله‌ی چندهدفه، در هر مرحله یک هدف مد نظر قرار می‌گیرد و باقی اهداف نادیده گرفته می‌شوند. در نتیجه با یک مسئله‌ی تک‌هدفه روبرو می‌شویم و سپس بهترین مقدار ممکن برای هر هدف را به دست می‌آوریم (Z_k^- برای توابع هدف از نوع منفی و Z_k^+ برای توابع هدف از نوع مثبت به دست می‌آید).

گام ۲. گام ۱ را برای به دست آوردن بدترین مقدار ممکن از هر تابع هدف (Z_k^+ برای توابع هدف از نوع منفی و Z_k^- برای توابع هدف از نوع مثبت) تکرار می‌کنیم.

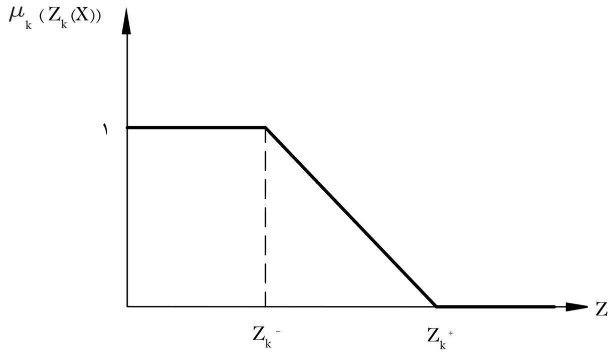
گام ۳. مقادیر قابل قبول بیش‌ترین و کم‌ترین برای هر تابع هدف را برای تخمین تابع عضویت هر هدف استفاده می‌کنیم.

تابع عضویت خطی برای اهداف از نوع منفی به‌صورت رابطه‌ی ۲۸ تعریف می‌شود.

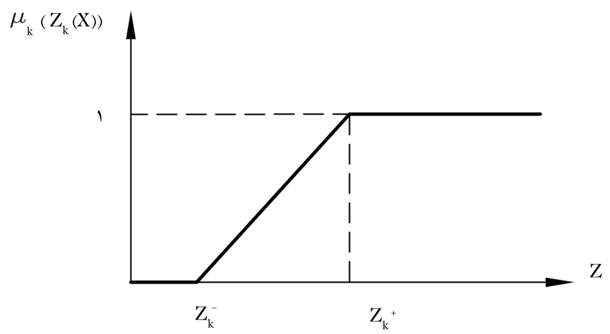
$$\mu_k(Z_k(x)) = \begin{cases} 1 & \text{for } Z_k(x) \leq Z_k^- \\ \frac{(Z_k^+ - Z_k(x))}{(Z_k^+ - Z_k^-)} & \text{for } Z_k^- < Z_k(x) < Z_k^+ \quad k = (1, 2, ..., q) \\ 0 & \text{for } Z_k(x) \geq Z_k^+ \end{cases} \tag{۲۸}$$

همچنین تابع عضویت خطی $\mu_k(Z_k(x))$ برای اهداف از نوع منفی در شکل ۳ نشان داده شده است.

در شکل ۳ تابع عضویت دارای مقدار بین صفر و ۱ است و در نقطه‌ی Z_k^- دارای مقدار تابع عضویت ۱ است و هر چه از این نقطه دورتر می‌شویم از مطلوبیت



شکل ۳. تابع عضویت خطی برای توابع هدف از نوع منفی.



شکل ۴. تابع عضویت خطی برای توابع هدف از نوع مثبت.

تابع عضویت آن هدف به‌طور خطی کاسته شده و در نهایت در نقطه‌ی Z_k^+ به مقدار صفر می‌رسد. تابع عضویت خطی برای اهداف از نوع مثبت به‌صورت رابطه‌ی ۲۹ تعریف شده است.

$$\mu_k(Z_k(x)) = \begin{cases} 1 & \text{for } Z_k(x) \leq Z_k^- \\ \frac{(Z_k(x) - Z_k^-)}{(Z_k^+ - Z_k^-)} & \text{for } Z_k^- < Z_k(x) < Z_k^+ \quad k = (1, 2, ..., q) \\ 0 & \text{for } Z_k(x) \geq Z_k^- \end{cases} \tag{۲۹}$$

همچنین تابع عضویت خطی $\mu_k(Z_k(x))$ برای اهداف از نوع مثبت در شکل ۴ نشان داده شده است.

از شکل ۴ می‌توان چنین استنباط کرد که مقدار تابع عضویت بین صفر و ۱ است و در نقطه‌ی Z_k^- دارای مقدار صفر است و به‌صورت خطی هرچه از این نقطه دورتر می‌شویم مقدار مطلوبیت تابع عضویت افزایش یافته تا نهایتاً در نقطه Z_k^+ به مقدار ۱ می‌رسد.

۲.۱.۴. مدل برنامه‌ریزی فازی

Zimmermann با استفاده از توابع عضویت خطی یک رویکرد فازی (مدل عملگر Min-Max) را برای مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی برای روابط ۲۸ و ۲۹ به‌صورت رابطه‌ی ۳۰ ارائه کرده است.

$$\max_x \min_k \mu_k(Z_k(x))$$
$$\text{S.t} \qquad x \in x_d \tag{۳۰}$$

معادله‌ی ۳۰ با استفاده از تعریف یک متغیر کمکی λ به رابطه‌ی ۳۱ تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned}
&\lambda \max \\
&\text{S.t.} \\
&\mu_k(Z_k(x)) \geq \lambda\ ,\ \ k=(۱,۲,...,q) \\
&x \in x_d \qquad ۰ \leq \lambda \leq ۱
\end{aligned} \tag{۳۱}$$

۵. رویکرد فازی جبرانی

دومین روش مورد استفاده برای حل چندهدفه‌ی ذکر شده در این مقاله، استفاده از رویکرد فازی جبرانی است. هدف از این بخش توضیح درمورد رویکرد فازی جبرانی است. ابتدا با عملگر یک‌پارچه‌ی فازی جبرانی آشنا می‌شویم و در بخش بعد یک رویکرد فازی جبرانی برای حل مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده چندهدفه با یک آیتم ارائه شده است.

عملگرهای یک‌پارچه‌ی فازی زیادی وجود دارد که به جزئیات آن‌ها در طی این نوشتار اشاره شده است.[۱۲] مهم‌ترین وجه در رویکرد فازی ماهیت جبرانی یا غیرجبرانی عملگر آن است. روش عملگر «min» چندین ویژگی خوب را فراهم می‌کند، اما راه‌حل تولید شده به وسیله‌ی این عملگر متضمن جبرانی بودن و بهینگی پارتو نیست.[۱۳-۱۵] ولی از این رویکرد معمولاً به‌دلیل سادگی در محاسبات استفاده می‌شود.

در این مقاله، از عملگر «fuzzy and» جبرانی Werner استفاده می‌شود، چراکه راه حل تولیدشده به‌وسیله‌ی این عملگر بهینگی پارتو را برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی چندهدفه‌ی خطی فراهم می‌کند.[۱۶] برمبنای عملگر λ، در سال ۱۹۸۸، Werners عملگر «fuzzy and» جبرانی را که ترکیب محدب از min و متوسط حسابی است، به‌صورت رابطه‌ی ۳۲ معرفی کرد:[۱۷]

$$\mu_{and} = \gamma \min_k(\mu_k)\frac{(۱-\gamma)}{m}(\sum \mu_k) \tag{۳۲}$$

که $۰ \leq \mu_k \leq ۱$,$k=۱,۲,...,q$ است و مقدار $\gamma \in [۰,۱]$ تا حدی جبران می‌کند. با قرار دادن $\gamma = ۱$ معادله‌ی ۳۲ به غیرجبرانی $\mu_{and} = \min$ کاهش می‌یابد.

۱.۵. یک رویکرد فازی جبرانی برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده

همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، راه‌حل تولیدشده به‌وسیله‌ی عملگر μ_{and} werners' جبرانی بودن و بهینگی پارتو را تضمین می‌کند. بنابراین با استفاده از عملگر μ_{and} werners' رابطه‌ی ۳۲ به رابطه‌ی ۳۳ تبدیل می‌شود.[۱۶]

$$\begin{aligned}
&\text{Max } \mu_{and} = \lambda + \frac{(۱-\gamma)}{k}\sum_{k=۱}^{q}\lambda_k \\
&\text{s.t :} \\
&x \in X_k \\
&\mu_k(Z_k(x)) \geq \lambda + \lambda_k \\
&\lambda + \lambda_k \leq ۱ \\
&\lambda, \psi\lambda_k \in [۰,۱]\,, \qquad k=۱,۲,...,q \\
&\gamma \in [۰,۱]
\end{aligned} \tag{۳۳}$$

بنابراین، مدل جبرانی ذکر شده در بالا راه حل‌های به شدت کارای جبرانی را برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی چندهدفه‌ی خطی فراهم می‌کند.

۶. حل مثال عددی با رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی و فازی

در این مثال خریدار نیاز به خرید یک قلم کالا از بهترین تأمین‌کنندگان و تخصیص مقدار بهینه به هرکدام از آن تأمین‌کنندگان را دارد. فرض می‌شود سه تأمین‌کننده برای محصول مورد نظر وجود دارد که ابتدا کل هزینه‌ی یک‌پارچه‌ی هرکدام از تأمین‌کنندگان با توجه به داده‌های موجود به دست می‌آید، سپس این هزینه‌های یک‌پارچه‌ی به دست آمده هریک از تأمین‌کنندگان در مدل جاگذاری می‌شود و براساس داده‌های موجود، مدل کلی حل می‌شود. تعداد دوره برای هر تأمین‌کننده $n=۳$ در نظرگرفته شده و بودجه‌ی در نظرگرفته شده برای هر تأمین‌کننده به‌ترتیب ۸۰۰۰۰، ۷۰۰۰۰ و ۶۰۰۰۰ است. زمان تحویل را نیزکه به‌صورت قطعی در نظرگرفتیم به ترتیب برابر ۲۰، ۱۸ و ۲۰ است و تقاضا هم ۲۰۰۰۰ در نظرگرفته شده که سطوح مقادیر ارائه شده‌ی هریک از تأمین‌کنندگان برای به دست آوردن هزینه‌های یک‌پارچه $K(n,Q)$ در جدول ۱ ارائه شده است.

حال کل هزینه‌ی یک‌پارچه ($K(n,Q)$) هر تأمین‌کننده به‌صورت زیر است:

$$\begin{aligned}
K_{۱}(N=۳,Q) &= \frac{(۲۵+۳)\times ۲۰۰۰۰}{۳(۱-۰/۰۲\times ۰/۹۵)\times ۵۵۰۰} \\
&+ \frac{(۴\times ۲۰۰۰۰)}{(۱-۰/۰۲\times ۰/۹۵)\times ۵۵۰۰} \\
&+ \frac{۲۰۰۰۰[۹\times ۰/۰۲\times ۰/۹۵\times ۴+۰/۰۲(۱-۰/۹۵)\times ۷]}{(۱-۰/۰۲\times ۰/۹۵)} \\
&+ \left\{\frac{۵۵۰۰}{۲} + \frac{(۳-۲)\times ۵۵۰۰}{۲}\right.
\end{aligned}$$

جدول ۱. سطوح مقادیر هریک از تأمین‌کنندگان برای به دست آوردن هزینه‌های یک‌پارچه.

تأمین‌کنندگان	۱	۲	۳
C	۷۸	۷۰	۷۲
S_V	۲۵	۲۰	۲۲
S_b	۳	۴	۴
h_v	۵	۴	۵
h_b	۳	۲	۲
f	۴	۴	۳
V	۹	۷	۶
C_i	۴	۴	۳
C_r	۷	۸	۷
π	۳۵	۳۸	۴۵
$t_۱$	۱۰ min	۸ min	۸ min
T	۲۰ min	۱۸ min	۲۰ min
d	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳
f	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹
Q	۵۵۰۰	۶۰۰۰	۵۰۰۰
P	۷۱۵۰	۷۵۰۰	۷۷۰۰

$$
\begin{aligned}
&(۱\frac{۲۰۰۰۰}{(۱-۰/۰۲\times ۰/۹۵)\times ۷۱۵۰})\Big\}\times ۷۸\times ۵\\
&+\frac{۵۵۰۰(۷۸+۰/۹۵\times ۳)}{۲}\times ۳+\frac{۱}{۲}\times ۳۵\\
&\times ۲۰۰۰۰(۰/۰۲۲۵)^{۲}=۳۴/۶+۱۴/۶+۲۳۸۲۴۶/۷\\
&-۹۱۳۱۰۷+۶۶۷۰۱۲/۵+۷۸۷=۷۵/۷
\end{aligned}
$$

$$K_{۲}(N=۳,Q)=۹۲/۲$$

$$K_{۳}(N=۳,Q)=۷۰/۵$$

بعد از این که هزینه‌ی یک‌پارچه‌ی هریک از تأمین‌کنندگان به دست آمد، با توجه به مقادیر پارامترهای ارائه شده در جدول ۲، در مدل جاگذاری می‌شود.
بنابراین با جاگذاری مثال عددی در مدل برنامه‌ریزی چندهدفه خواهیم داشت:

Objective function :

$$\text{Min } z۱=۷۵/۷\times X_{۱}+۹۲/۲\times X_{۲}+۷۰/۵\times X_{۳};$$

$$
\begin{aligned}
\text{Min } z۲=&(۰۰/۹\times X_{۱}+۰/۸۵\times X_{۲}+۰/۹۵\times X_{۳})\\
&+(۰/۰۱\times X_{۱}+۰/۱\times X_{۲}+۰/۰۸\times X_{۳});
\end{aligned}
$$

$$\text{Min } z۳=۲۰\times x_{۱}+۱۸\times x_{۲}+۲۰x_{۳};$$

$$
\begin{aligned}
\text{Min } z۴=&(۰/۸\times x_{۱}+۰/۵\times x_{۲}+۰/۶\times x_{۳})\\
&+(۰/۲\times x_{۱}+۰/۳\times x_{۲}+۰/۶\times x_{۳})\\
&+(۰/۹\times x_{۱}+۱\times x_{۲}+۰/۸\times x_{۳})\\
&+(۰/۴\times x_{۱}+۰/۶\times x_{۲}+۰/۷\times x_{۳})
\end{aligned}
$$

S.t :

$$
\begin{aligned}
&X_{۱}+X_{۲}+X_{۳}=۲۰۰۰۰;\\
&X_{۱}<=۸۷۰۰;\\
&X_{۲}<=۶۵۰۰;\\
&X_{۳}<=۹۰۰۰;\\
&۰/۱۵\times X_{۱}<=۸۰۰۰;\\
&۰/۱۳۳\times X_{۲}<=۷۴۰۰,\\
&۰/۱۵\times X_{۳}<=۷۷۰۰\\
&۰/۵\times G_{۱}<=۷۵۰۰۰,\\
&۰/۹۷\times X_{۱}<=G_{۱},\\
&G_{۱}<=X_{۱},\\
&۰/۴\times G_{۱}<=۳۲۰۰۰,\\
&۰/۹۷\times X_{۲}<=G_{۲},\\
&G_{۲}<=X_{۲},\\
&۰/۶\times G_{۱}<=۵۰۰۰۰,\\
&۰/۹۷\times X_{۳}<=G_{۳};\\
&G_{۳}<=X_{۳};\\
&Y_{۱}<=۱۰۰۰۰;\\
&۰/۸\times x_{۱}<=y_{۱};\\
&y_{۱}<=x_{۱};\\
&Y_{۲}<=۱۱۰۰۰;\\
&۰/۸\times x_{۲}<=y_{۲};\\
&y_{۲}<=x_{۲};\\
&Y_{۳}<=۹۰۰۰;\\
&۰/۸\times x_{۳}<=y_{۳};\\
&y_{۳}<=x_{۳};\\
&۰/۸\times x_{۱}+۰/۳\times x_{۲}+۰/۶\times x_{۳}<=۲۰۰۰۰;\\
&۰/۲\times x_{۱}+۰/۳\times x_{۲}+۰/۶\times x_{۳}<=۱۵۰۰۰;\\
&۰/۹\times x_{۱}+۱\times x_{۲}+۰/۸\times x_{۳}<=۳۰۰۰۰;\\
&۰/۴\times x_{۱}+۰/۶\times x_{۲}+۰/۷\times x_{۳}<=۲۵۰۰۰;\\
&X_{۱}<=۸۰۰۰۰;\\
&X_{۲}<=۷۰۰۰۰;\\
&X_{۳}<=۶۰۰۰۰;\\
&X_i\geq ۰,\ \ G_i\geq ۰\ \ ,\ Y_i\geq ۰\\
&i=۱,۲,۳,\qquad m=۱,۲,۳,۴
\end{aligned}
$$

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مدل.

تأمین‌کنندگان	۱	۲	۳
$(n,q)k$	۷۵/۷	۹۲/۲	۷۰/۵
Qia	۰/۹	۰/۸۵	۰/۹۵
Qib	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۸
H_i	۱/۳	۱/۷	۱/۵
Di	۰/۸	۰/۵	۰/۲
Z_i	۲/۵	۲/۸	۲/۲
R_i	۱/۲	۱/۱	۱/۳
B_i	۲۴۰۰۰	۷۰۰۰۰	۴۵۰۰۰
U_i	۶۰۰۰	۱۴۵۰۰	۷۰۰۰
LOG_i	۴ min	۵ min	۳ min
CAP_i	۶۰۰۰	۹۰۰۰	۹۰۰۰
C_m	۱۰۰	۱۵۰	۱۰۰
I_m	۷	۵	۶

از حل تک تک اهداف و با کلیه‌ی محدودیت‌های مدل با استفاده از نرم‌افزار GAMS مقادیر حد بالا و پایین برای هر هدف به دست آورده شده، که نتیجه‌ی آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. مقادیر حد بالا و پایین برای هر هدف.

	$Z_{۱}$	$Z_{۲}$	$Z_{۳}$	$Z_{۴}$
Z_k^+	۱۵۹۶۲۹۰	۱۹۵۴۰	۳۹۵۴۰۰	۵۰۲۵۰
Z_k^-	۱۵۰۵۱۵۰	۱۹۰۳۶	۳۸۷۰۰۰	۴۸۵۷۰

۱.۶. حل مدل ارائه شده با استفاده از رویکرد فازی Zimmermann

مقادیر تابع عضویت برای هریک از اهداف که در جدول ۳ به دست آمده، در مدل فازی Zimmermann به‌صورت روابط۳۴ تا ۳۹ توسعه داده شده است:

$$\text{Max } \lambda \tag{۳۴}$$

$$\text{S.t.} \tag{۳۵}$$

$$\lambda_۱ \leq \left(\frac{۱۵۹۶۲۹۰ - Z_۱}{۹۱۱۴۰}\right) \tag{۳۶}$$

$$\lambda_۲ \leq \left(\frac{۱۹۵۴۰ - Z_۲}{۵۰۴}\right) \tag{۳۷}$$

$$\lambda_۳ \leq \left(\frac{۳۹۵۴۰۰ - Z_۳}{۸۴۰۰}\right) \tag{۳۸}$$

$$\lambda_۴ \leq \left(\frac{۵۰۲۵۰ - Z_۴}{۱۶۸۰}\right)$$

$$x \in X_d, \quad X_d = \{x/g(x) \leq b_r, r = ۱, ۲, ..., m\} \tag{۳۹}$$

که نتیجه‌ی حل مدل فازی Zimmermann در جدول ۴ ارائه شده است.

چنان که در جدول ۴ شاهد هستیم، کم‌ترین تقاضا از محصول برای تأمین‌کننده‌ی اول ۸۷۰۰ واحد تخصیص یافته است. همچنین تأمین‌کننده‌ی اول حداکثر می‌تواند ۸۴۳۹ واحد در انبار نگه‌داری کند. همچنین مقدار حمل کالا از تأمین‌کننده‌ی اول که از طریق چهار نوع وسیله‌ی نقلیه (جاده‌یی، ریلی، هوایی و دریایی) انجام می‌پذیرد، در هر دوره حداکثر برابر با ۶۹۶۰ واحد است. مقادیر تأمین‌کننده‌ی دوم و سوم نیز به‌همین ترتیب در جدول ۴ ارائه شده است.

۲.۶. حل مدل ارائه شده با استفاده از رویکرد فازی جبرانی

در روش فازی جبرانی نیز تابع عضویت برای هر هدف که در بخش روش Zimmermann به دست آورده شد، با استفاده از رویکرد فازی جبرانی در روابط ۴۰ تا ۵۰ نوشته شده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از حل مدل با استفاده از رویکرد فازی Zimmermann.

پارامترها	مقادیر پارامترها	پارامترها	مقادیر پارامترها
λ	۰٫۵۷۱۴۳	$G_۲$	۳۹۷۷
$Z_۱^*$	۱۵۴۴۲۱۰	$G_۳$	۶۹۸۴
$Z_۲^*$	۱۹۲۲۸	$Y_۱$	۶۹۶۰
$Z_۳^*$	۳۹۱۸۰۰	$Y_۲$	۳۲۸۰
$Z_۴^*$	۴۹۲۹۰	$Y_۳$	۵۷۶۰
$X_۱$	۸۷۰۰	$\mu_۱ Z_۱(x)$	۰٫۵۹۰۶
$X_۲$	۴۱۰۰	$\mu_۲ Z_۲(x)$	۰٫۶۱۹۱
$X_۳$	۷۲۰۰	$\mu_۳ Z_۳(x)$	۰٫۴۲۸۶
$G_۱$	۸۴۳۹	$\mu_۴ Z_۴(x)$	۰٫۵۷۱۴

$$\text{Max } \mu_{and} = \lambda + \frac{(۱ - \gamma)}{۴}(\lambda_۱ + \lambda_۲ + \lambda_۳ + \lambda_۴) \tag{۴۰}$$

$$\text{s.t :}$$

$$\mu_۱(Z_۱(x)) = \left(\frac{۱۵۹۶۲۹۰ - Z_۱}{۹۱۱۴۰}\right) \geq \lambda + \lambda_۱ \tag{۴۱}$$

$$\mu_۲(Z_۲(x)) = \left(\frac{۱۹۵۴۰ - Z_۲}{۵۰۴}\right) \geq \lambda + \lambda_۲ \tag{۴۲}$$

$$\mu_۳(Z_۳(x)) = \left(\frac{۳۹۵۴۰۰ - Z_۳}{۸۴۰۰}\right) \geq \lambda + \lambda_۳ \tag{۴۳}$$

$$\mu_۴(Z_۴(x)) = \left(\frac{۵۰۲۵۰ - Z_۴}{۱۶۸۰}\right) \geq \lambda + \lambda_۴ \tag{۴۴}$$

$$\lambda + \lambda_۱ \leq ۱ \tag{۴۵}$$

$$\lambda + \lambda_۲ \leq ۱ \tag{۴۶}$$

$$\lambda + \lambda_۳ \leq ۱ \tag{۴۷}$$

$$\lambda + \lambda_۴ \leq ۱ \tag{۴۸}$$

$$\lambda, \lambda_۱, \lambda_۲, \lambda_۳, \lambda_۴ \geq ۰ \quad k = ۱, ۲, ..., q$$

$$where \ \gamma \in [۰, ۱] \tag{۴۹}$$

$$x \in X_d, X_d = \{x/g(x) \leq b_r, r = ۱, ۲, ..., m\} \tag{۵۰}$$

در جدول ۵ مقادیر حاصل از حل رابطه با قرار دادن γ بین $[۰, ۱]$ و با شروع از نقطه‌ی صفر و با فواصل ۰٫۱ تا رسیدن به نقطه ۱ نشان داده شده است.

بنابراین، چنان که در جدول ۵ شاهدیم، مدل جبرانی ذکر شده در بالا دو راه‌حل به‌شدت کارای جبرانی (راه حل ۱ و ۲) برای مسئله ارائه می‌دهد.

راه حل ۱. برای $\gamma = ۱$، عملگر μ_{and} که دارای مقدار ۰٫۵۷۱ است راه حل ۱ را تولید می‌کند. این راه حل از $\gamma = ۱$ تا $\gamma = ۰٫۱$ همواره ادامه می‌یابد. در این راه‌حل تولیدی دیده شده است که سطح ارضاء تابع هدف اول (کمینه‌کردن کل هزینه‌های یک‌پارچه) برابر با ۰٫۵۷۱ است و سطح ارضاء برای تابع هدف دوم (کمینه‌کردن درصدی از کل اقلام برگشتی شرکت مربوط به تأمین‌کننده که قابل ترمیم و اصلاح است یا نیست)، برابر ۰٫۶۱۹، برای تابع هدف سوم (کمینه‌کردن زمان تحویل) برابر ۰٫۴۲۹۶ و برای تابع هدف چهارم (کمینه‌کردن میزان آلاینده‌های وسایط نقلیه) برابر ۰٫۵۷۱ است.

راه‌حل ۲. دومین راه‌حل تولید شده مربوط به $\gamma = ۰$ است که مدل جبرانی در این حالت جبرانی کامل است. که μ_{and} برابر با ۰٫۷۵ است که سطح ارضاء تابع هدف اول (کمینه‌کردن کل هزینه‌های یک‌پارچه) برابر با صفر است و سطح ارضاء برای بقیه‌ی توابع (تابع هدف دوم، کمینه‌کردن درصدی از کل اقلام برگشتی شرکت مربوط به تأمین‌کننده، که قابل ترمیم و اصلاح است یا نیست.) و سطح ارضاء برای تابع هدف سوم (کمینه‌کردن زمان تحویل) و سطح ارضاء برای تابع هدف چهارم (کمینه کردن میزان آلاینده‌های وسایط نقلیه) برابر ۱ است.

۳.۶. مقایسه‌ی رویکرد فازی Zimmermann و رویکرد فازی جبرانی werner

در این قسمت، مدل پیشنهادی را که با دو روش رویکرد فازی Zimmermann و رویکرد فازی جبرانی werner حل می‌شود. مقادیر به دست آمده از مثال عددی مدل پیشنهادی با دو روش ذکر شده مقایسه شده که نتایج حاصله در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۵. نتایج حاصل از حل مدل با استفاده از رویکرد فازی جبرانی.

	$\gamma =$ ۱	$\gamma =$ ۰٫۹	$\gamma =$ ۰٫۸	$\gamma =$ ۰٫۷	$\gamma =$ ۰٫۶	$\gamma =$ ۰٫۵	$\gamma =$ ۰٫۴	$\gamma =$ ۰٫۳	$\gamma =$ ۰٫۲	$\gamma =$ ۰٫۱
X_1	۸۷۰۰	۸۷۰۰	۸۷۰۰	۸۷۰۰	۸۷۰۰	۸۷۰۰	۸۷۰۰	۸۷۰۰	۸۷۰۰	۸۷۰۰
X_2	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۶۵۰۰	۶۵۰۰
X_3	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۴۸۰۰	۴۸۰۰
G_1	۸۴۳۹	۸۴۳۹	۸۴۳۹	۸۴۳۹	۸۴۳۹	۸۴۳۹	۸۴۳۹	۸۴۳۹	۸۴۳۹	۸۴۳۹
G_2	۳۹۷۷	۳۹۷۷	۳۹۷۷	۳۹۷۷	۳۹۷۷	۳۹۷۷	۳۹۷۷	۳۹۷۷	۶۳۰۵	۶۳۰۵
G_3	۶۹۸۴	۶۹۸۴	۶۹۸۴	۶۹۸۴	۶۹۸۴	۶۹۸۴	۶۹۸۴	۶۹۸۴	۴۶۵۶	۴۶۵۶
Y_1	۶۹۶۰	۶۹۶۰	۶۹۶۰	۶۹۶۰	۶۹۶۰	۶۹۶۰	۶۹۶۰	۶۹۶۰	۶۹۶۰	۶۹۶۰
Y_2	۳۲۸۰	۳۲۸۰	۳۲۸۰	۳۲۸۰	۳۲۸۰	۳۲۸۰	۳۲۸۰	۳۲۸۰	۵۲۰۰	۵۲۰۰
Y_3	۵۷۶۰	۵۷۶۰	۵۷۶۰	۵۷۶۰	۵۷۶۰	۵۷۶۰	۵۷۶۰	۵۷۶۰	۳۸۴۰	۳۸۴۰
μ_{and}	۰٫۵۷۱	۰٫۵۸۳	۰٫۶۰۷	۰٫۶۱۹	۰٫۶۳۱	۰٫۶۴۳	۰٫۶۶۵	۰٫۶۶۶	۰٫۶۷۹	۰٫۷۵
γ	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰
μ_1	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰
μ_2	۰٫۶۱۹	۰٫۶۱۹	۰٫۶۱۹	۰٫۶۱۹	۰٫۶۱۹	۰٫۶۱۹	۰٫۶۱۹	۰٫۶۱۹	۰٫۶۱۹	۱
μ_3	۰٫۴۲۹	۰٫۴۲۹	۰٫۴۲۹	۰٫۴۲۹	۰٫۴۲۹	۰٫۴۲۹	۰٫۴۲۹	۰٫۴۲۹	۰٫۴۲۹	۱
μ_4	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۰٫۵۷۱	۱

جدول ۶. مقایسه‌ی نتایج حاصل از حل مدل با استفاده از رویکرد فازی Zimmermann و رویکرد فازی جبرانی wrener.

مقادیر پارامترها	روش Zimmermann	روش فاز جبرانی Warner راه حل اول	راه حل دوم
X_1	۸۷۰۰	۸۷۰۰	۸۷۰۰
X_2	۴۱۰۰	۴۱۰۰	۴۱۰۰
X_3	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۴۸۰۰
G_1	۸۴۳۹	۸۴۳۹	۸۴۳۹
G_2	۳۹۷۷	۳۹۷۷	۶۳۰۵
G_3	۶۹۸۴	۶۹۸۴	۴۶۵۶
Y_1	۶۹۶۰	۶۹۶۰	۶۹۶۰
Y_2	۳۲۸۰	۳۲۸۰	۵۲۰۰
Y_3	۵۷۶۰	۵۴۶۰	۳۸۴۰

لازم به توضیح است که روش فازی جبرانی که قبلاً حل شده دارای دو راه حل بود که در جدول ۶ هم ارائه شده است. بنابراین، حل مدل پیشنهادی با استفاده از دو روش ذکر شده در بعضی از پارامترها یکسان است و در بعضی دیگر تفاوت زیادی ندارد. برای مثال، حداقل تقاضای محصول برای تأمین‌کننده‌ی اول در هر دو روش ۸۷۰۰ واحد تخصیص داده شده است و همچنین تأمین‌کننده‌ی اول حداکثر می‌تواند ۸۴۳۹ واحد کالا در انبارش ذخیره‌سازی کند و حداکثر ۶۹۶۰ واحد کالا را نیز حمل و نقل کند. ولی در تأمین‌کننده‌ی دوم حداقل تقاضای محصول برای تأمین‌کننده اول در روش Zimmermann و در راه حل اول فازی جبرانی مقدار یکسان ۴۱۰۰ واحد کالاست، ولی در راه حل دوم روش فازی جبرانی که کاملاً جبرانی بود ۶۵۰۰ واحد تخصیص داده شده است.

۷. نتیجه‌گیری

در این نوشتار یک مدل چندهدفه‌ی فازی برای مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده ارائه شده است. در مسئله‌ی مورد نظر تصمیمات برای یک قلم کالا یا محصول در نظر گرفته شده است. همچنین هزینه‌ی کل یک‌پارچه برای تأمین‌کننده و خریدار (خرده‌فروش)، شامل هزینه‌ی کل عرضه‌کننده و هزینه‌ی کل خریدار است؛ هزینه‌های کل تأمین‌کننده شامل هزینه‌ی نگه‌داری، هزینه‌ی حمل و نقل، هزینه‌ی راه‌اندازی و هزینه‌ی ترمیم و اصلاح کالاهای معیوب است و هزینه‌های کل خریدار شامل هزینه‌ی سفارش‌دهی، هزینه‌ی نگه‌داری و هزینه‌ی بازرسی است. علاوه بر هزینه‌ی کل یک‌پارچه، هزینه‌ی کمبود نیز در نظر گرفته شده است و میزان آلاینده‌ی‌محیطی که از وسایط نقلیه (شامل هوایی، دریایی، زمینی و ریلی) است نیز در مدل پیشنهادی لحاظ شده است. اهداف در نظر گرفته شده شامل کمینه‌کردن هزینه‌ی کل یک‌پارچه، کمینه کردن درصدی از کل اقلام برگشتی (از طرف خریدار به شرکت) مربوط به تأمین‌کننده که قابل ترمیم و اصلاح شدن یا نشدن است، کمینه کردن زمان تحویل و کمینه کردن میزان آلاینده‌ی محیطی که ناشی از وسایط نقلیه (شامل

هوایی، دریایی، زمینی و ریلی) هستند. برای حل مدل پیشنهادی از رویکردهای فازی استفاده شده است. بدین منظور، از رویکرد فازی Zimermann و رویکرد فازی جبرانی Werner استفاده شده است و در انتها این دو روش با هم مقایسه شده‌اند.

۸. پیشنهادها برای تحقیقات آتی

پیشنهادها برای تحقیقاتی که در ادامه‌ی این مقاله انجام خواهد شد عبارت است از:

- در نظر گرفتن چندین محصول برای مسئله، با در نظرگرفتن تخفیفات قیمتی برای مسئله؛
- در نظر گرفتن پارامترهایی همچون سطح خدمت‌رسانی، نرخ قابلیت اطمینان به‌صورت فازی و حل آن با روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی؛
- در نظر گرفتن مسیرهای حمل و نقل وسایط نقلیه (زمینی، ریلی، هوایی و دریایی) و مکان‌یابی براساس این مسیرها برای کاهش هزینه‌های حمل و نقل؛
- طرح‌ریزی کارخانه‌ها برای تسهیل و کاهش هزینه‌ها و کاهش آلاینده‌هایی که از حمل و نقل ایجاد می‌شود؛
- استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مدل‌های چندهدفه و مقایسه با الگوریتم‌های معروف.

پانوشت‌ها

1. lead time
2. effective cost

منابع (References)

1. Aissaoui, N., Haouari, M. and Hassini, E. "Supplier selection and order lot sizing modeling: Areview", *Computers & Operations Research*, **34**, pp. 3516-3540 (2007).
2. Ghodsypour, S.H. and O'Brien, C. "A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming", *International Journal of Production Economics*, **56-57**(1-3), pp. 199-212 (1998).
3. Weber, C.A., Current, J.R. and Benton, W.C. "Vendor selection criteria and methods", *EuropeanJournal of Operational Research,* **50**(1), pp. 2-18 (2000).
4. Dahel, N.E. "Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments", *Supply Chain Management: An International Journal,* **8**(4), pp. 335-342 (2003).
5. Kumar, M., Vart, P. and Shankar, R. "A fuzzy goal programming approach for supplier selectionproblem in a supply chain", *Computer and Industrial Engineering*, **46**, pp. 69-85 (2004).
6. Amid, A., Ghodsypour, S.H. and O'Brien, Ch. "Fuzzy multi-objective linear model for supplierselection in a supply chain", *International Journal of Production Economics*, **104**, pp. 394-407 (2006).
7. Amid, A., Ghodsypour, S.H. and O'Brien, Ch. "A weighted additive fuzzy multi-objective model forthe supplier selection problem under price breaks in a supply chain", *International Journal of Production Economics*, **121**, pp. 323-332 (2009).
8. Ghodsypour, S.H. and O'Brien, Ch. "A weighted max-min model for fuzzy-objective supplier selection in a supply chain", *International Journal of Production Economics*, **131**(2011), pp. 139-145 (2010).
9. Yücel, A. and Güneri, A.F. "A weighted addittive programming approach for multi-criteria supplier selection", *Expert Systems with Applications*, **38**(2011), pp. 6281-6286 (2010).
10. Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S.S., and Thakur, S.L. "Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzymulti-objective linear programming for developing low carbon supply chain", *Expert Systems with Applications*, **39**(9), pp. 8182-8192 (2012).
11. Paksoy, T., Pehlivan, Y.N. and Özceylan, E. "Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: A case study of an edible vegetable oils manufacturer", *Applied Mathematical Modelling*, **36**(6), pp. 2762-2776 (2012).
12. Zimmermann, H.J., *Fuzzy Set Theory and its Applications*, (2nd Revised ed.), Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers (6th printing) (1993).
13. Lee, E.S. and Li, R.J. "Fuzzy multiple objective programming and compromise programming withPareto optimum", *Fuzzy Sets and Systems*, **53**, pp. 275-288 (1993).
14. Guu, S.M. and Wu, Y.K. "Weighted coefficients in two-phase approach for solving the multipleobjective programming problems", *Fuzzy Sets and Systems*, **85**, pp. 45-48 (1997).
15. Lee, E-K., Ha, S. and Kim, S.-K. "Supplier selection and management system considerin relationships in supply chain management", *IEEE Transactions on Engineering Management,* **48**(3), pp. 307-318 (2001).
16. Ozkok, B.A. and Tiryaki, F. "A compensatory fuzzy approach to multi-objective linear supplierselection problem with multiple-item", *Expert Systems with Applications*, **38**, pp. 11363-11368 (2011).
17. Werners, B.M. "Aggregation models in mathematical programming", In G. Mitra (Ed.), Mathematical Models for Decision Support, Berlin, Springer, pp. 295-305 (1988).