فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۹۲، پاییز ۱۳۹۸، ۱۶۵-۱۴۱

مدل‌سازی اقتصادی انتخاب تامین‌کننده چندهدفه فازی پایدار

(مطالعه موردی در صنعت روغن موتور)

البرز حاجی خانی*

محمد خلیل‌زاده** سیدجعفرسجادی***

دریافت: ۹۷/۲/٤ پذیرش: ۹۷/۶/۵

انتخاب تامین‌کننده چندهدفه پایدار / فاکتورهای اقتصادی / اشتغال / اثرات زیست‌محیطی / روش محدودیت اپسیلون

چکیده

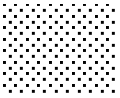
در مقاله پیش رو، یک مدل چندهدفه فازی و اقتصادی به منظور انتخاب تامین‌کننده پایدار و تخصیص سفارش در شرایط فازی و به صورت چند منبعی و دو محصولی در دوسطح زنجیره‌ی تامین، با ملاحظات قیمت‌گذاری ارائه گردیده است. برای ارزیابی تامین‌کنندگان معیارهای اقتصادی شامل هزینه‌ی خرید، حمل و نقل و سفارشات و فاصله و معیارهای اجتماعی و اشتغال نیروی انسانی و اثرات زیست‌محیطی در نظرگرفته شده و برای اینکه مقادیر مورد نظرپارامترها به واقعیت نزدیک باشند به صورت عدد فازی مثلثی تصادفی و غیرقطعی در نظر گرفته شده است. به منظور حل مدل پیشنهادی از روش دقیق محدودیت اپسیلون در یک مطالعه موردی در صنعت روغن موتور با استفاده از نرم‌افزار گمز انجام

*. گروه مهندسی صنایع ، علوم تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی ،تهران ، ایران

**. گروه مهندسی صنایع ، واحد علوم تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی ، تهران ، ایران

***. گروه مهندسی صنایع ، واحد علوم تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی ، تهران ، ایران

■ محمد خلیل‌زاده ، نویسنده مسئول.



گردیده ونتایج تامین‌کننده پایدار روغن موتور و گیربکس در سطح استان زنجان را مشخص می‌نماید.

طبقه‌بندی JEL: E24, Q56

مقدمه

با نگاهی عمیق به مبحث زنجیره‌تأمین و مدیریت عملیات درمی‌یابیم که به واسطه تاکید محض بر مسایل اقتصادی و عملیاتی، به جای در نظرگرفتن یک دیدگاه جامع و همه‌جانبه به موضوعات اجتماعی و محیطی که سازمان‌های امروزی با آن مواجه هستند، ایجاد گردیده‌اند درحالی‌که دیدگاه جدیدتری که در سال‌های اخیر بر این حوزه موثر بوده و حاصل ادغام موفق جنبه‌های اقتصادی، محیطی و اجتماعی بوده مفهوم مدیریت زنجیره‌تأمین سبز و پایدار است. برخی تحقیقات انجام شده درخصوص زنجیره‌تأمین سبز و پایدار کل موضوع مربوطه را در بر می‌گیرند[۱و۲] اما بعضی دیگر فقط به مباحث خاص، مانند اندازه‌گیری عملکرد[۳]، انتخاب تامین‌کننده، وتخصیص سفارش و یا مدل‌هایی که به تحلیل زنجیره‌تأمین سبز پرداخته‌اند[۴]. سبز بودن زنجیره‌تأمین به تلفیق جنبه‌های محیطی زنجیره‌تأمین می‌پردازد، درحالی که پایداری علاوه بر پوشش موارد زیست‌محیطی بر زوایای اجتماعی و اقتصادی این حوزه نیز تاکید دارد و علی رغم این که این مفاهیم بسیار نزدیک بوده و گاهی به جای یک دیگر به کار می‌روند اما زنجیره‌تأمین پایدار وسیع‌تر ودربرگیرنده مفهوم سبز بودن نیزهست. تنوع موضوعات و تحقیقات انجام گرفته دراین حوزه بسیاربالا است. در تحقیق حاضر، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه غیرخطی پایداربامتغیرهای فازی تصادفی ارائه شده است. انتخاب تامین‌کننده براساس فاصله‌ی مشتری و هزینه واشتغال عدالت‌محور و معیارهای زیست‌محیطی انجام شده و حل مدل با روش محدودیت اپسیلون برای مطالعه موردی انجام می‌شود.

۱. پیشینه تحقیق

ژو، چنگ و هوا[۵] به بهینه‌سازی زنجیره‌تأمین با رویکرد پایداری پرداختند. اپشتین و روی، اپشتین و وینستر و فیگه و دیگران از رویکرد کارت امتیازی متوازن با مقیاس‌های عملکرد

1. Seuring, (2008).
2. Srivastava, (2007).
3. Tachizawa, (2015).
4. Brandenburg, (2014).
5. Zhou, Cheng, (2000).

کلیدی زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را با هم به‌کار گرفتند، که مدیران را قادر می‌سازد فراتر از یک مقیاس عملکرد بنگرند. امین دوست ودیگران، یک مدل رتبه‌بندی مبتنی بر سیستم استنتاج فازی را به منظور انتخاب تأمین‌کنندهٔ پایدار به کارگرفتند. گویندان، خداوردی و جعفریانیک رویکرد چندمعیاره‌ی فازی را برای اندازه‌گیری پایداری عملکرد یک تامین‌کننده بر مبنای فاکتور سه‌گانهٔ پایداری ارائه کرده‌اند. ریفکه و تروچی مدل کارت امتیازی متوازن را برای ارزیابی عملکرد زنجیره‌تأمین و پایداری آن به کار گرفتند.در زمینهٔ شناسایی شاخص‌های پایداری و معرفی چارچوب‌ها و مدل‌های ارائه شده برای آن، یاکوولوا مجموعه‌ای از شاخص‌های پایداری تأثیرگذار بر زنجیره‌تأمین مواد غذایی راشناسایی کرد. توماس اسلون در مقالهٔ خود چارچوبی را ارائه داد که دارای همان سه بعداصلی زنجیره‌تأمین پایدار یعنی محیطی، اقتصادی و اجتماعی است که برای هر یک از این سه بعد زیرمعیارهایی را درنظر گرفتند. کافا، هانی و محامدی در پژوهشی مدلی سه‌بعدی را برای اندازه‌گیری عملکرد پایداری زنجیره‌تأمین سبز ارائه دادند و در مجموع دوازده شاخص کلی را شناسایی کردند و براساس این شاخص‌ها به مدل‌سازی عملکرد پایدار زنجیره‌تأمین سبزپرداختند. آزاپاجیج و پردان یک قالب جامع از شاخص‌ها ر ا برای شناسایی عملکرد پایداری در صنعت پیشنهاد دادند. آزاپاجیچ چارچوبی را برای شاخص‌های توسعهٔ پایدار به عنوان ابزاری برای ارزیابی و بهبود عملکرد صنعت معدن و مواد معدنی توسعه داد. هاچینز و ساترلند شاخص‌ها و چارچوب‌های پایداری اجتماعی و مسئولیت اجتماعی را برای ارزیابی پایداری اجتماعی زنجیره‌تأمین مرور کردند. الوگو و ونگ مجموعه‌ای از شاخص‌ها را برای ارزیابی عملکرد زنجیره‌تأمین سبز در صنعت اتومبیل پیشنهاد دادند. باتوجه دقیق به ادبیات تحقیق مشخص گردید که در صنعت پرمصرف روغن موتور و گیربکس با توجه به سهم اشتغال بالا و میزان زیاد آلایندگی آن در کشور ما تحقیقات زیادی انجام نشده و تحقیق حاضر به بررسی این موضوع از منظر پایداری پرداخته ومسئله‌ی انتخاب تامین‌کننده را که یک مسئله‌ی MCDM بوده با معیارهایی با اهمیت متفاوت برای انتخاب تامین‌کننده در نظر گرفته است. در این مقاله انتخاب تامین‌کننده پایدار را در SCM و در فضای فازی و با پوشش هر سه معیار ارائه می‌دهیم.چندهدفه بودن مدل پیشنهادی از نوآوری‌های تحقیق حاضر می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

دراین بخش، مدل پیشنهادی به منظور انتخاب تامین‌کننده پایدار ارائه شده و شاخص‌ها و پارامترها و متغیرهای تصمیم معرفی می‌گردند.

۲-۱. شاخص‌ها وپارامترها

i شاخص مشتری (i = 1, 2, …, I)

j شاخص تامین‌کننده (j = 1, 2, …, J)

k شاخص محصولات (k = 1, 2, …, K)

t شاخص دوره‌ها (t = 1, 2, …, T)

P_{ijkt} قیمت یک واحد محصول k برای مشتری i در دوره t از تامین‌کننده j

D_{ikt} تقاضای مشتری i برای محصول k در دوره t

l_{ij} نرخ اشتغال تامین‌کنندهj برای مشتری i

r_{ij} نرخ آلایندگی تامین‌کننده j برای مشتری i

f_{jkt} هزینه ثابت سفارش به تامین‌کننده j در دوره tبرای محصول k

P_{ktjr} قیمت پیشنهادی هر واحد محصول k توسط تامین‌کننده j در دوره tدر سطح تخفیف r

C_{jkt} ظرفیت تامین‌کننده j در دوره t برای محصول k

n_{ikt} حداکثر تعداد تامین‌کننده‌ها برای مشتری i در دوره t برای محصول k

V_{ijk} هزینه حمل هر واحد محصول k از تامین‌کننده j به مشتری i در واحد فاصله

w_{ij} فاصله تامین‌کننده j از مشتری i

H_j حداقل سفارش به هرتامین‌کنندهj

O_{it} حداکثر سرمایه مشتری i در دوره t

۲-۲. متغیرهای تصمیم

X_{ijkt} تعداد محصول k خریداری شده توسط مشتری i از تامین‌کننده jدر دوره t.

y_{ijkt} یک اگر مشتری i محصولkرا در دوره t از تامین‌کننده jبخرد و در غیراین‌صورت صفر.

۲-۳. مدل ریاضی پیشنهادی

مدل ریاضی پیشنهادی برای انتخاب تامین‌کننده پایدار به‌صورت زیرتعریف می‌شود.

تابع هدف اول شامل هزینه خرید، حمل‌ونقل و هزینه ثابت سفارش است. تابع هدف دوم میزان آلایندگی را کاهش می‌دهد و از آنجائی که پارامتر r، قطعی نیست به‌صورت اعداد تصادفی فازی مثلثی در نظر گرفته می‌شود. تابع هدف سوم اشتغال را حداکثر می‌کند و پارامتر ضریب اشتغال نیز به‌صورت فازی است.

$$Min\ Z_1 = \sum_{i,j,k,t} W_{ijkt} V_{ijk} x_{ijkt} y_{ijkt} + \sum_{i,j,k,t} f_{jkt} y_{ijkt} + \sum_{i,j,k,t} P_{ijkt} x_{ijkt}$$

$$Min\ Z_2 = \sum_{i,j,k,t} r_{ijkt} y_{ijkt}$$

$$Max\ Z_3 = \sum_{i,j,k,t} l_{ijkt} y_{ijkt}$$

Subject to:

$$\sum_j x_{ijkt} \geq D_{ikt} \quad ; \forall i,k,t \qquad (۱)$$

$$\sum_i x_{ijkt} \leq c_{jkt} \quad ; \forall i,k,t \qquad (۲)$$

$$\mathrm{rr}_{jkt} x_{ijkt} \leq T_{ij} D_{ikt} \quad ; \forall i,j,k,t \qquad (۳)$$

$$1 \leq \sum_j y_{ijkt} \leq n_{ikt} \quad ; \forall i,k,t \qquad (۴)$$

$$l_{jkt} \mathrm{x}_{ijkt} \geq lij\ D_{ikt} \quad ; \forall i,j,k,t \qquad (۵)$$

$$\sum_{i,j,k,t} y_{ijkt} \left[P_{ijkt} + \left(W_{ij} V_{ijk} \right) + f_{jkt} \right] \leq O_{it} \quad ; \forall i,j,k,t \qquad (۶)$$

$$x_{ijkt} y_{ijkt} \geq H_j \quad ; \forall i,j,k,t \qquad (۷)$$

$$x_{ijkt} \leq \mathrm{M}.y_{ijkt} \quad ; \forall i,j,k,t \qquad (۸)$$

$$x_{ijkt} \geq 0 \quad ; \forall i,j,k,t \qquad (۹)$$

$$y_{ijkt} \in \{0,1\} \quad ; \forall i,j,k,t \qquad (۱۰$$

محدودیت (۱) این حقیقت را بیان می‌کند که میزان سفارش هر مشتری برای هر محصول در هر دوره به تأمین‌کنندگان باید بیشتر یا مساوی تقاضای مشتری برای محصول در دوره مطلوب باشد تا با هیچ کمبودی مواجه نشود. محدودیت (۲) بیان می‌دارد که میزان سفارش باید کمتر یا مساوی میزان ظرفیت تأمین‌کننده برای مشتری دلخواه باشد و میزان سفارش را بعد از انتخاب تأمین‌کننده تعریف می‌کند. محدودیت (۳) خاطرنشان می‌کند که میزان پذیرش آلایندگی برای هر محصول توسط هر مشتری در هر دوره از هر تأمین‌کننده باید با میزان تعریف‌شده تصمیم‌گیرندگان متناسب باشد. محدودیت (۴) توضیح می‌دهد که میزان به‌کارگیری تأمین‌کننده‌ها برای هر محصول در هر دوره توسط مشتری باید براساس میزان تعریف‌شده توسط مدیران باشد. علاوه بر این هر مشتری در هر دوره باید محصول را حداقل از یک تأمین‌کننده خریداری کند. محدودیت (۵) بیان می‌کند که میزان اشتغال برای هر محصول توسط هر مشتری در هر دوره برای هر تأمین‌کننده باید توسط تصمیم‌گیرندگان مشخص شود. محدودیت (۶) میزان بودجه هر مشتری در هر دوره است. محدودیت (۷) میزان سفارش هر مشتری را حداقل متناسب با میزان تعیین‌شده توسط تأمین‌کننده می‌نماید در غیر این صورت اگر میزان سفارش تأمین‌کننده پایین‌تر از میزان مجاز باشد، خرید از آن تأمین‌کننده صورت نمی‌گیرد. محدودیت‌های (۱۰-۸) دامنه متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

۳. حل مساله موردی و تحلیل

۳-۱. تولید اعداد فازی تصادفی:

در این تحقیق بعضی از پارامترها اعداد فازی مثلثی تصادفی در نظرگرفته شده‌اند که به کمک روش پیشنهادی جیمنز[1] مدل فازی مساله به مدل به قطعی تبدیل می‌شود. عدد فازی مثلثی به صورت زیردر نظر گرفته شده است.

$$\tilde{r} = (r^p, rm, r^0), \;\; r = \left(\frac{r^p + 4rm + r^o}{6}\right) \qquad (۱۲$$

$$\tilde{l} = (l^p, lm, l^0), \;\; l = \left(\frac{l^p + 4lm + l^o}{6}\right) \qquad (۱۳$$

1. Zadeh, (1978).

ومحدودیت‌های شماره(۴) و(۷) به‌صورت روابط (۱۴) و (۱۵) می‌آیند.

$$\sum_j x_{ijkt} \le \sum_j \left[\alpha \left(\frac{B^p + B_m}{2} \right) + (1-\alpha) \left(\frac{B_m + B^o}{2} \right) \right]_{ij} D_{ikt} \quad ; \forall i,k,t \qquad (۱۴$$

$$t_{jkt} x_{ijkt} \le T_{ij} \left[\alpha \left(\frac{B^p + B_m}{2} \right) + (1-\alpha) \left(\frac{B_m + B^o}{2} \right) \right]_{ij} D_{ikt} \quad ; \forall i,j,k,t \qquad (۱۵$$

منظور از α میزان برقراری محدودیت‌های فازی است که توسط تصمیم گیرنده انتخاب می‌شودومزیت این روش بهینه‌سازی این است که تصمیم گیرنده می‌تواند درجه شدنی بودن محدودیت‌ها را براساس نظر خودش تعیین نماید.

۳-۲. معرفی روش محدودیت اپسیلون

در سال‌های اخیر الگوریتم‌های مختلفی جهت بهینه‌سازی مسایل چندهدفه توسعه داده شده است. یک مسأله چندهدفه را می‌توان به‌صورت رابطه‌ی (۱۶) نشان داد.

$$Min\ F(X) = [f_1(x), f_2(x), ... f_n(x)] \qquad (۱۶$$
$$s.t.$$
$$g(x) \ge 0$$
$$h(x) = 0$$
$$x \in X$$

در رابطه‌ی (۱۵) $f_1(x), f_2(x), ... f_n(x)$ توابع هدف مسأله $(n \ge 1)$ و $g(x) \ge 0$ و $h(x) = 0$ قیود مسأله و بردار $[x_1, x_2, x_3, ... x_n]$ بردار جواب‌های مسأله می‌باشند. جواب‌های پارتو به مجموعه‌ای جواب‌ها گفته می‌شود که توسط جواب‌های دیگر مغلوب نشوند. همچنین جواب‌های حاصل در صورتی همدیگر را مغلوب می‌کنند که درروابط (۱۷) و (۱۸) صدق کنند.

$$f_i(y) \le f_i(z) \qquad \forall i \in \{1,2,3,...n\} \qquad (۱۷$$

$$f_i(y) < f_i(z) \qquad \exists i \in \{1,2,3,...n\} \qquad (۱۸$$

روش محدودیت اپسیلون یکی از رویکردهای دقیق شناخته شده و پرکاربرد جهت حل مسایل چندهدفه می‌باشد. براساس این روش در هر مرحله تمامی اهداف غیر از یک تابع هدف به قسمت محدودیت‌ها منتقل می‌شوند و برای هر یک از اهداف یک حداقل مقدار قابل قبول تحت عنوان ε تعیین می‌گردد، سپس به ازای مقادیر مختلف ε مدل ریاضی مسأله با تابع هدف اصلی مسأله و در نظر گرفتن قیود اصلی مسأله حل شده و مرزهای پارتو ایجاد می‌گردد. براب و همکاران[1]. در نهایت مدل عمومی روش محدودیت اپسیلون را می‌توان به‌صورت رابطه (۱۹) نمایش داد (جورج ماوروتاس)[2].

$$\underset{x\in X}{Max}\left(f_1(x)+\partial\left(\frac{s_2}{r_2}+\frac{s_2}{r_2}+\cdots+\frac{s_i}{r_i}+\cdots+\frac{s_n}{r_n}\right)\right) \qquad (۱۹)$$

$$s.t.$$
$$f_2(x)-s_2=\varepsilon_2$$
$$f_2(x)-s_3=\varepsilon_3$$
$$....$$
$$f_n(x)-s_n=\varepsilon_n$$
$$g(x)\geq 0$$
$$h(x)=0$$
$$x\in X, i\in[2,n], s_i\in R^+$$

در روابط مدل (۱۹) S_i متغیرهای مثبت اسلک محدودیت‌ها و ∂ یک عدد کوچک (معمولاً عددی بین ۰,۰۰۱ تا ۰,۰۰۰۰۰۱) می‌باشد. همچنین r_i از طریق رابطه (۲۰) زیر تعیین می‌شود.

$$r_i=PIS_{f_i}-FIS_{f_i} \qquad (۲۰$$

در رابطه‌ی (۲۰) PIS_{f_i} و FIS_{f_i} به ترتیب بزرگترین و کوچکترین مقدار به‌دست آمده برای تابع هدف f_i می‌باشد که از حل مستقل مدل به ازای توابع هدف مختلف به‌دست می‌آید. برای به‌دست آوردن مقادیر مختلف ε_i، بازه r_i به l_i قسمت مساوی

1. Bérubé et al.
2. G. Mavrotas

تقسیم می‌گردد. از این رو l_i+1 مقدار مختلف برای ε_i محاسبه می‌گردد. در نهایت برای محاسبه‌ی مقادیر مختلف ε_i می‌توان از رابطه (۲۱) استفاده نمود.

$$\varepsilon_i^t = NIS_{f_i} + \frac{r_i}{l_i} \times t \qquad (۲۱$$
$$t = 0,1,2,\cdots,l_i$$

بطور خلاصه روش محدودیت اپسیلون با فرض اینکه تابع هدف اصلی مسأله را f1(X) تعریف کرده باشیم داری گام‌های زیر است.

۱-یکی از توابع هدف مسأله را به عنوان تابع هدف اصلی مسأله انتخاب کنید.

۲-هر بار مسأله را با در نظر گرفتن فقط یکی از توابع هدف فرعی حل کنید، و مقدار بهینه هر تابع هدف را به‌دست آورید.

کمترین و بیشترین مقدار هر تابع هدف فرعی را که در حل مسأله به ازای توابع هدف مختلف ایجاد شده را تعیین کنید.

بازه بین مقدار کمترین و بیشترین مقدار تعیین شده برای هر یک از اهداف فرعی مسأله را به تعدادی فاصله‌ی یکسان از قبل مشخص تقسیم نمایید و هر یک از این مقادیر را به ترتیب برای توابع هدف فرعی مسأله $\varepsilon_2,\varepsilon_3,...\varepsilon_n$ بنامید.

۳-هر بار مسأله را با تابع هدف اصلی در شرایطی که توابع هدف فرعی در محدودیت‌ها به مقادیر $\varepsilon_1,\varepsilon_2,...\varepsilon_n$ محدود شده‌اند حل کنید.

(طبیعتاً اگر بازه بین بهترین و بدترین مقدار توابع فرعی مثلا به n فاصله مساوی تقسیم بندی شود برای هر یک از اپسیلون‌ها n+۱ مقدار مختلف وجود خواهد داشت که در مراحل مختلف حل به ازای ترکیبات مختلف اپسیلون‌های تعیین شده یعنی حل می‌گردد)

۴-جواب‌های پارتویی یافت شده را گزارش کنید.

در این بخش مسأله معرفی شده (کاربرد موردی) در قالب مدل ریاضی ارائه شده با استفاده از روش محدودیت اپسیلون توسط نرم‌افزار GAMS حل و نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۳-۳. مطالعه موردی درصنعت روغن موتور

در حال حاضر روغن‌های موتور خودروها به سه نوع کلی تقسیم می‌شوند: الف : مینرال

(ارگانیک) ب : سنتتیک ج : نیمه سنتتیک. الف – مینرال : روغنی است که بر پایه نفت خام ساخته می‌شود و همان روغنی است که سالها است در خودروها به‌کار برده می‌شود و همه ما با آن آشنایی داریم. ب – سنتتیک : روغنی است که از ترکیبات شیمیایی یا پولیمراسیون هیدروکربن‌ها تولید می‌شود و نه با تصفیه نفت خام، این نوع روغن، اولین بار برای موتورهای جت به‌کار گرفته شد که به‌دلیل مزایایی که این نوع روغن نسبت به نوع مینرال داراست در سالیان اخیر مصرف آن در خودروها نیز فزونی یافته است. روغن‌های سنتتیک انواع مختلف با مواد تشکیل دهنده متفاوتی دارند که این امر آنها را از لحاظ کیفیت و نوع مصرف نیز با یکدیگر متمایز می‌سازد، از بین صدها نوع روغن سنتتیک با فرمولاسیون‌های مختلف که هر یک محاسن و معایبی را نیز دارا هستند، نوعی که بر پایه Polyalphaolefins یا به اختصار PAO ساخته می‌شود و مقادیر کمی هم Ester در خود دارد، دارای کارآیی و مقبولیت بیشتری است.گریس ماده‌ای است ژلاتینی به‌صورت جامد و یا نیمه جامد که از یک ماده روان‌ساز روغن‌های معدنی یا سنتتیک و یک پرکننده معدنی یا آلی، تشکیل یافته است. این ماده در جایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که دارای بیشترین درجه حرارتی است که گریس می‌تواند به‌طور مداوم به کار برده شود. گریس می‌بایست با توجه به نوع کاربرد و متناسب با دمای محیط عملیات انتخاب شود. با توجه به آمار وزارت صنایع بر طبق میزان اتومبیل‌های موجود در کشور سالیانه ۴۲ لیتر روغن موتور ۱۲ کیلو گرم گریس و به همین مقدار واسکازین جهت مصرف عمومی در نظر گرفته شده است. نقطه اطمینان برای انجام این طرح مصرف‌کننده‌های دیگر این محصول می‌باشد که عبارتند از موتورهای سواری , انواع موتورهای آب، موتورهای مورد استفاده در صنعت وغیره.براساس نوع مواد مصرفی و تولیدی و همچنین مرحله فرآیندها، نوع و میزان آلایندگی‌های صنایع متفاوت است. بدین معنی که فرایندهای مختلف، امکان آلودگی در سه مرحله به جمع آوری مواد اولیه، تولید و تبدیل مواد واسطه و جمع آوری و انبار مواد تولید شده، محتمل می‌باشد ازجمله فعالیت‌های زیست‌محیطی توصیه به اخذ گواهینامه‌هایی نظیر ISO ۱۴۰۰۰ از موسسات معتبر که مورد تائید سازمان محیط‌زیست و موسسه استاندارد باشند.تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و بهداشتی شناسایی دقیق فاضلاب‌ها و اندازه‌گیری کمّی و کیفی آلاینده‌ها در کلیه واحدها و تعبیه سیستم‌های تصفیه فاضلاب، تلاش برای جلوگیری از آلودگی در زمینه رفع آلودگی هوای حاصل از فعالیت‌های صنایع، مطالعات ارزیابی کمّی و کیفی آلاینده‌ها صورت گرفته و اقدامات لازم جهت کنترل آنها انجام خواهد گرفت، از

جمله نصب دستگاه‌های پیشرفته اندازه‌گیری آلاینده‌های اتمسفری و دوربین‌های مدار بسته که به صورت روزانه مبادرت به اندازه‌گیری آلاینده‌ها می‌کنند. رفع مواد زاید جامد انجام پژوهش‌های زیست‌محیطی این فعالیت‌ها بر محور اصلاح فرآیند و دوریزها، تصفیه آب و فاضلاب، کنترل آلودگی هوا و بازیافت ضایعات استوار می‌باشد. توسعه فضای سبز و تلفیق صنعت با فضای سبز یکی از اهداف اصلی صنایع بالا دستی و پائین دستی می‌باشد. طبق استانداردهای زیست‌محیطی باید ده درصد از فضای صنعتی به فضای سبز اختصاص داده شود و مقداربیشتری از این مقدار به فضای سبز اختصاص داده شود. آبیاری این فضای سبز با استفاده از پساب‌های صنعتی تصفیه شده صورت می‌پذیرد که تا حدزیادی از مصرف آب کاسته می‌شود. زمانی که یک استاندارد جدید محیط‌زیست وضع می‌شود، به دلیل فشارهای زیست‌محیطی، برای از بین بردن آلودگی‌های موجود، هزینه و نیروی انسانی زیادی را متوجه خود می‌سازد تا درصدی از آلودگی‌ها را کاهش دهد. محاسبات مشخص ساخته که اگر تکنولوژی جدیدی که در صنعت مورد نظر به کار گرفته می‌شود با استانداردهای مورد نظر مطابقت داشته باشد، علاوه بر کاهش آلودگی، با راندمان بالای خود موجب افزایش تولید نیز می‌شود.

در استان زنجان سه کارخانه تولیدکننده روغن موتور و گیریکس و هشت شهرستان وجوددارد. برای حل مدل ریاضی پیشنهادی با روش محدودیت اپسیلون یک مطالعه موردی در صنعت روغن موتور و گیریکس از بهترین تامین‌کنندگان و تخصیص مقدار بهینه به هر کدام از آن تامین‌کنندگان را درنظرمیگیریم. فرض می‌کنیم سه تامین‌کننده برای دو محصول وهشت مشتری در دو دوره وجود داشته باشد. مقادیر در نظر گرفته شده برای پارامترها در جداول۴- ۱تا۴- ۱۱آمده است.

۴-۳. جدول پارامترها

$$i = \{i_a, i_b, i_c, i_d, i_e, i_g, i_h, i_m\}$$

$$j = \{j_a, j_b, j_c\}$$

تعریف پارامترها

حداقل تعدا د سفارش به هر تامین‌کننده : $h(j_a) = h(j_a) = h(j_c) = 1$

Ta= 0 /15: حداکثر نرخ آلایندگی مورد پذیرش

La=.6 : حداقل نرخ اشتغال هر تامین‌کننده

جدول ۱- نرخ آلایندگی محصول kاز تامین‌کننده j

	۱	۲
ja.ka	۰/۱۲	۰/۱۲
ja.kb	۰/۱۶	۰/۱۶
jb.ka	۰/۱۴	۰/۱۴
jb.kb	۰/۱۱	۰/۱۱
jc.ka	۰/۱۳	۰/۱۳
jc.kb	۰/۱۹	۰/۱۹

جدول ۲- تقاضای مشتری i ازمحصولk در دورهt

	۱	۲
ia.ka	۱۶۰	۱۷۰
ia.kb	۱۳۰	۱۸۰
ib.ka	۱۶۵	۱۶۰
ib.kb	۱۷۵	۱۸۰
ic.ka	۱۵۵	۱۵۰
ic.kb	۱۳۰	۱۳۰
id.ka	۱۱۰	۱۱۰
id.kb	۱۸۰	۱۹۰
ie.ka	۱۱۰	۱۲۰
ie.kb	۱۷۰	۱۸۰
ig.ka	۱۶۰	۱۷۰
ig.kb	۱۳۰	۱۸۰
ih.ka	۱۶۵	۱۶۰
ih.kb	۱۷۵	۱۸۰
im.ka	۱۷۰	۱۸۰
im.kb	۸۵۰	۸۶۰

جدول ۳ – هزینه ثابت سفارش محصول k در دوره t به تامین‌کننده j

	۱	۲
ja.ka	۷۰۰۰	۷۵۰۰
ja.kb	۶۰۰۰	۵۰۰۰
jb.ka	۶۰۰۰	۷۰۰۰
jb.kb	۶۳۰۰	۷۰۰۰
jc.ka	۹۰۰۰	۸۵۰۰
jc.kb	۸۰۰۰	۷۷۰۰

جدول ٤– حداکثر ظرفیت تامین‌کننده j از محصول k در دوره t

	۱	۲
ja.ka	۱۸۰۰	۱۷۰۰
ja.kb	۱۷۵۰	۱۸۰۰
jb.ka	۱۶۶۵	۱۷۵۰
jb.kb	۱۹۰۰	۱۹۰۰
jc.ka	۱۸۰۰	۱۸۲۵
jc.kb	۱۸۸۰	۱۷۰۰

جدول ۵– هزینه حمل هر واحد کالای k ازتامین‌کننده jبرای مشتری i

	ka	kb
ia.ja	۱۰	۱۰
ia.jb	۱۲	۱۲
ia.jc	۱۲	۱۴
ib.ja	۸	۶
ib.jb	۹	۵
ib.jc	۱۲	۱۴
ic.ja	۱۴	۱۰
ic.jb	۱۵	۱۳

	ka	kb
ic.jc	۱۲	۱۴
id.ja	۵	۷
id.jb	۶	۶
id.jc	۱۲	۱۴
ie.ja	۱۰	۱۲
ie.jb	۱۲	۱۰
ie.jc	۱۲	۱۴
ig.ja	۱۲	۱۰
ig.jb	۸	۹
ig.jc	۱۲	۱۴
ih.ja	۸	۹
ih.jb	۹	۹
ih.jc	۱۲	۱۴
im.ja	۷	۹
im.jb	۷	۹
im.jc	۱۲	۱۴

جدول ۶- هزینه خرید هر واحد کالای k ازتامین‌کننده jبرای مشتری i در دوره t

	ka.1	ka.2	kb.1	kb.2
ia.ja	۴۴	۴۶	۴۵	۵۰
ia.jb	۴۵	۴۶	۴۵	۵۰
ia.jc	۴۲	۴۶	۴۸	۵۰
ib.jb	۴۳	۴۴	۴۵	۵۰
ib.jc	۴۵	۴۶	۴۵	۵۰
ic.ja	۴۵	۴۷	۳۵	۴۲
ic.jb	۴۷	۴۰	۵۰	۵۵
ic.jc	۴۵	۴۶	۴۵	۵۰

	ka.1	ka.2	kb.1	kb.2
id.ja	۴۴	۴۶	۴۰	۴۵
id.jb	۴۰	۴۵	۴۰	۴۲
id.jb	۴۵	۴۶	۴۵	۵۰
ie.ja	۴۰	۴۲	۴۵	۴۰
ie.jb	۴۵	۴۵	۴۵	۴۰
ie.jc	۴۵	۴۶	۴۵	۵۰
ig.ja	۴۰	۴۰	۴۰	۴۵
ig.jb	۴۸	۴۸	۴۰	۴۵
ig.jc	۴۵	۴۶	۴۵	۵۰
ih.ja	۴۸	۴۸	۴۰	۴۵
ih.jb	۴۵	۴۸	۴۰	۴۵
ih.jc	۴۸	۴۶	۴۵	۵۰
im.ja	۴۸	۴۸	۴۰	۴۵
im.jb	۴۸	۴۸	۴۰	۴۵
im.jc	۴۵	۴۶	۴۵	۵۰

جدول ۷- نرخ اشتغال مشتری i برای تامین‌کننده j

	۱	۲
ja.ka	۰/۹۰	۰/۹
ja.kb	۰/۸۵	۰/۸۵
jb.ka	۰/۵۵	۰/۵۵
jb.kb	۰/۶۵	۰/۶۵
jc.ka	۰/۹	۰/۸
jc.kb	۰/۷۵	۰/۷۵

جدول ۸- ماکزیموم بودجه مشتری i در دوره t

	۱	۲
ia	۱۵۰۰۰۰	۱۶۰۰۰۰
ib	۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰
ic	۱۱۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
id	۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰
ie	۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰
ig	۹۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
ih	۸۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰
im	۸۰۰۰۰۰	۸۶۰۰۰۰

جدول ۹-فاصله مشتری i از تامین‌کننده j

	ja	jb	jc
ia	۱۰	۲۰	۹۰
ib	۹۰	۵۰	۲۰
ic	۲۰	۸۰	۳۰
id	۷۵	۵	۱۵۰
ie	۴۵	۱۰	۵
ig	۵	۱۰۰	۱۳۰
ih	۵۰	۱۰	۲۰
im	۵۰	۲۰	۱۰

به این منظور مطابق الگوریتم حل روش محدودیت اپسیلون ابتدا مسأله را به‌طور جداگانه با توابع فرعی مسأله حل و در نهایت کمترین و بیشترین مقدار هر یک از توابع هدف در جدول (۱۰) گزارش شده است. همانگونه که مقادیر توابع هدف نشان می‌دهد بین توابع هدف تعارض وجود دارد.

جدول ۱۰- نتایج حل جداگانه مدل با توابع هدف مختلف

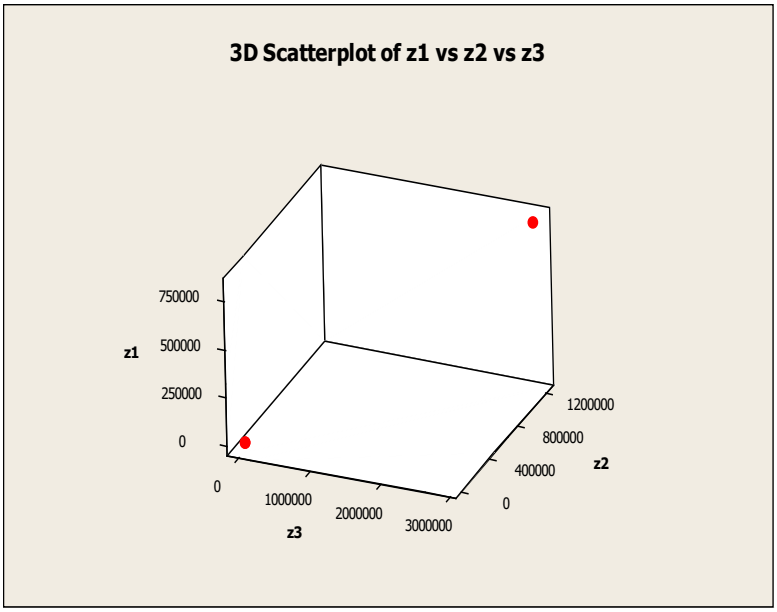
	نتایج حل مدل با توابع هدف مختلف			کمترین مقدار تابع هدف	بیشترین مقدار تابع هدف
	حل با **Z1**	حل با **Z2**	حل با **Z3**		
Z1	۸۲۰۵۹۹,۲۴	۱۲۳۷۶۲۰	۲۸۸۷۸۹۰	۸۲۰۵۹۹,۲۴۱	۱۱۷۶۰۰۱,۳
Z2	۴,۴۴	۳,۶۸	۹,۶	۳,۶۸	۹,۶
Z3	۲۷,۱۷	۲۷,۲۸	۵۸,۹۶	۲۷,۱۷	۵۸,۹۶

با فرض اینکه تابع هدف $f_1(x)$ تابع هدف اصلی مساله باشد. با استفاده از مدل و همچنین مقادیر مختلف اپسیلون (با تقسیم بندی فاصله بین کوچکترین و بزرگترین مقدار توابع هدف فرعی به سه قسمت مساوی) حل شده و نهایتاً جواب‌های پارتو در جدول (۱۱) گزارش شده است.

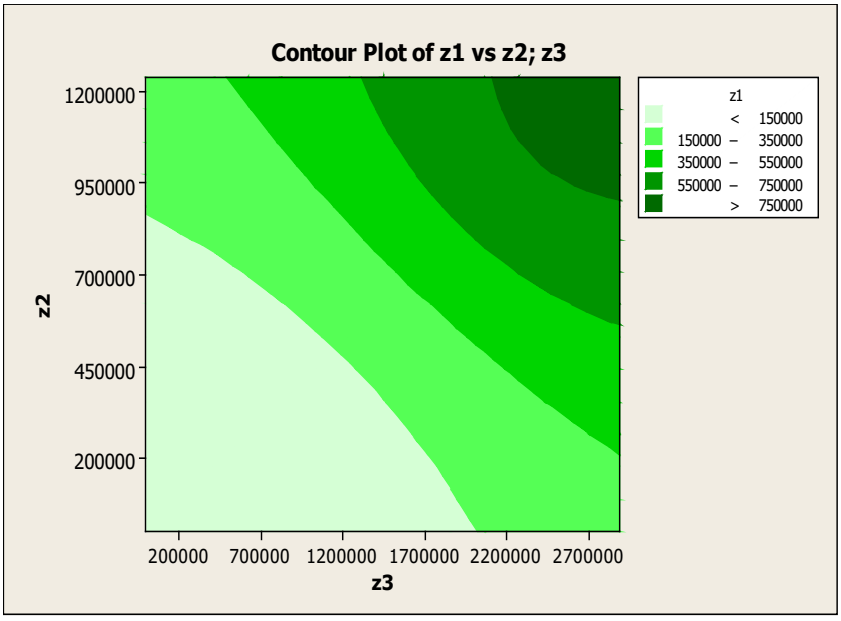
۳-۵- نتایج حل با استفاده از روش محدودیت اپسیلون

جدول ۱۱- جواب‌های پارتوی مسأله

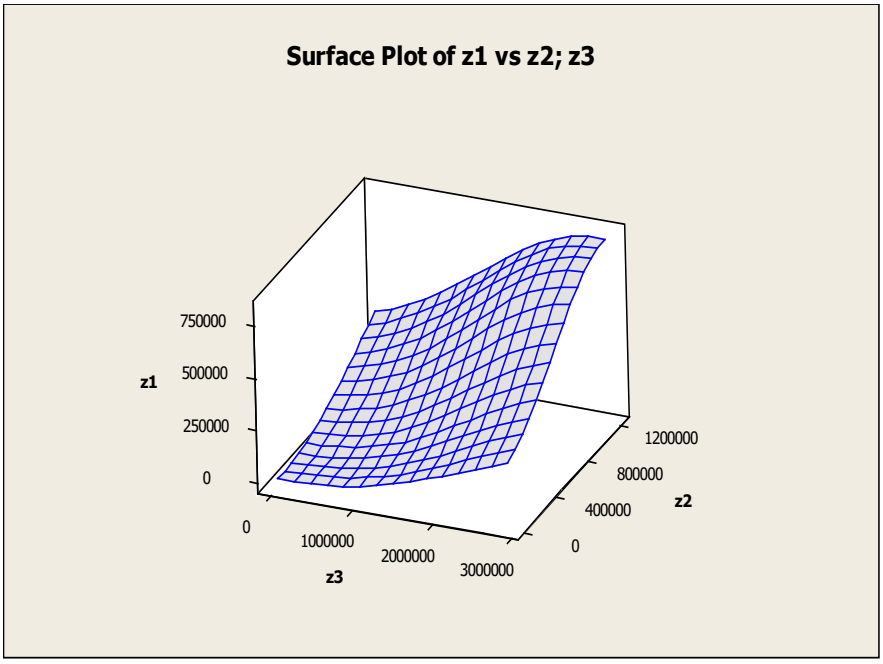
	Z1	Z2	Z3
۱	۸۲۰۵۹۹/۲۴	۴/۴۴	۲۷/۱۷
۲	۱۲۳۷۶۲۰	۳/۶۸	۲۷/۲۸
۳	۲۸۸۷۸۹۰	۹/۶	۵۸/۹۶
۴	۹۹۰۰۰۰/۰	۵۱/۸	۲۷۶۰/۹
۵	۱۰۷۰۰۰۰	۵۳	۲۷۶۰/۹
۶	۹۰۱۸۶۴/۵	۴۷/۴	۲۷۶۰/۹
۷	۱۱۲۰۰۰۰	۴۸/۳	۲۷۶۰/۹



شکل ۱-نمودار فضای جواب‌های پارتو



شکل ۲- نمودار کانتور فضای پارتو به ازای تابع هدف اول



شکل۳- نمودار صفحه پارتو

اشکال (۱) تا (۳) تعارضبین اهداف مدل را نمایش داده و مطابق جدول (۱۱) جواب پارتوی سوم از نظر تصمیم‌گیرندگان به‌عنوان بهترین جواب مساله موردی درنظرگرفته شده است. جدول (۱۲) تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۲- تحلیل حساسیت مسأله

ردیف	ظرفیت	تقاضا	نرخ آلایندگی	درصد تغییرهدف اول	درصد تغییرهدف دوم	درصد تغییرهدف سوم
۱	ثابت	ثابت	ثابت	۰	۰	۰
۲	افزایش	افزایش	ثابت	۰/۲	۰/۲	۰/۱۵
۳	ثابت	ثابت	افزایش	-۰/۶۲	۰/۲	۰
۴	افزایش	افزایش	افزایش	-۰/۵۶	۰/۲	۰
۵	ثابت	ثابت	کاهش	-۰/۵۶	-۰/۲	۰

ردیف	ظرفیت	تقاضا	نرخ آلایندگی	درصد تغییرهدف اول	درصد تغییرهدف دوم	درصد تغییرهدف سوم
۶	کاهش	کاهش	ثابت	-۰/۶۵	-۶۰/۲	-۰/۳
۷	ثابت	کاهش	کاهش	-۰/۸۸	-۰/۳۶	-۰/۰۷
۸	ثابت	کاهش	افزایش	-۰/۶۴	-۰/۴	-۰/۰۳
۹	افزایش	افزایش	کاهش	-۰/۴۸	-۰/۴۸	۰/۱۵
۱۰	ثابت	ثابت	کاهش	-۰/۵۶	-۰/۲	۰
۱۱	کاهش	افزایش	ثابت	-۰/۹۲	۰/۲	۰/۰۳
۱۲	کاهش	کاهش	کاهش	-۰/۶۵	-۰/۹۳	-۰/۰۳
۱۳	کاهش	افزایش	کاهش	-۰/۵۶	-۰/۲	۰
۱۴	کاهش	افزایش	ثابت	-۰/۵۶	-۰/۲	۰
۱۵	کاهش	ثابت	کاهش	-۰/۵۶	۰	۰
۱۶	افزایش	ثابت	ثابت	-۰/۵۶	۰	۰
۱۷	ثابت	ثابت	افزایش	-۰/۵۶	۰/۲	۰
۱۸	ثابت	افزایش	افزایش	-۰/۵۶	۰/۲	۰
۱۹	کاهش	کاهش	کاهش	-۰/۶۴	-۰/۲	-۰/۰۳
۲۰	ثابت	کاهش	ثابت	-۰/۶۵	-۰/۲	-۰/۰۳
۲۱	ثابت	افزایش	کاهش	-۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۱۵
۲۲	افزایش	ثابت	افزایش	-۰/۵۶	۰/۲	۰
۲۳	کاهش	کاهش	افزایش	-۰/۴۷	-۰/۰۴	۰/۰۷
۲۴	کاهش	افزایش	افزایش	-۰/۰۳	۰/۲	۰/۱۵
۲۵	ثابت	کاهش	ثابت	-۰/۸۸	-۰/۲	۰/۰۷
۲۶	افزایش	کاهش	افزایش	-۰/۶۵	-۰/۶۵	-۰/۰۳
۲۷	ثابت	افزایش	ثابت	-۰/۴۷	۰/۲	۰/۱۵

به منظور تحلیل حساسیت نسبت به سه پارامترمهم ظرفیت تامین‌کنندگان، تقاضا ونرخ آلایندگی، به روش طراحی آزمایش‌ها ۲۷ مساله در سه ترکیب وزنی مختلف با افزایش و

کاهش بیست درصدی تقاضا و تاخیر طراحی و نتایج در جدول (۱۲)آمده است

همان گونه که در جدول مشاهده می‌کنیم درصد تغییرات در توابع هدف متناسب با تغییرات پارامترهای ورودی مساله است.به‌عنوان مثال در ردیف پنج جدول با کاهش ۲۰درصدی نرخ آلایندگی، مقدار توابع اول و دوم ۵۶ درصدو دو درصدکاهش یافته است.

براساس تحلیل حساسیت صورت گرفته، مدل نسبت به تغییرات در ضرایب و مقادیر پارامتر از حساسیت لازم برخوردار برخوردار بوده و همانطور که از اشکال (۱) تا (۳) نمودارهای فضای جواب پارتو و نمودارهای کانتور و صفحه پارتو که خروجی مقادیرتوابع هدف را در نرم‌افزار مینی تب نمایش می‌دهد تعارض بین اهداف کاملا مشخص بوده و این امر حاکی از اعتبار مدل پیشنهادی به منظورتعمیم درمسایل و دنیای واقعی می‌باشد

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

روند انجام پژوهش و نتایج به‌دست آمده از آن، کاربردی بودن مدل در راستای اهداف از جمله چگونگی تعیین عوامل رقابت پذیری و وزن واهمیت هر یک از این عوامل، تاثیر فاکتورهای رقابتی بر میزان تقاضا و سود و در نهایت تعیین برد انتظاری شرکت در استفاده از مدل، نشان داده می‌شود. همچنین پیشنهاداتی نیز جهت تحقیقات آتی ارائه می‌گردد

همان گونه که در جدول (۱۲) مربوط به تحلیل حساسیت مدل مشاهده می‌کنیم درصد تغییرات در توابع هدف متناسب با تغییرات پارامترهای ورودی مساله است.به‌عنوان مثال در ردیف پنج جدول با کاهش ۲۰ درصدی نرخ آلایندگی، مقدار توابع اول و دوم۵۶ درصدو۲درصدکاهش یافته است.

در این تحقیق یک مدل ریاضی چند محصولی، دو سطحی و چندهدفه مبتنی بر پوشش جهت طراحی انتخاب تامین‌کننده مورد توجه قرار گرفت. از مهمترین ویژگیهای مدل ارائه شده می‌توان به در نظر گرفته شدن محدودیت ظرفیت تسهیلات، و تمرکز بر وزن فازی تامین‌کنندگان اشاره کرد. برای حل مدل از روش محدودیت اپسیلون استفاده شد و انالیزحساسیت نیزصورت گرفت تا روابط بین پارامترها و اهداف مدل مشخص شود. نتایج حل نشان می‌دهد مدل ریاضی ارائه شده و همچنین روش حل پیشنهاد شده کارایی و اعتبار لازم را دارد. در نهایت پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی مدل ارائه شده با در نظرگرفتن

ارزش زمانی پول و فاکتور ریسک و قابلیت اطمینان و در حالت چند دوره‌ای توسعه داده شود. همچنین باتوجه به اینکه مدل مربوطه یک مدل غیرخطی می‌باشد برای حل مدل در ابعاد بزرگ الگوریتم‌های فراابتکاری به‌کاربرده شوند.

توسعه مدل ریاضی ارائه شده با در نظر گرفتن تورم و ارزش زمانی پول وبااستفاده از رویکرد خوشه‌بندی فازی منطقه استقرار و بادر نظر گرفتن پارامترهای ریسک و قابلیت اطمینان و رقابت بین تولیدکننده‌ها درصنایع مختلف ازجمله پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی هستند.

منابع

Amindoust, A., Ahmed, S., Saghafinia, A & Bahreininejad, A. (2012).Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. Applied Soft Computing, 12(6), 1668–1677. doi:10.1016.

Azapagic, A. (2004). Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. Journal of Cleaner Production, 12(6): 639-662.

Azapagic, A. & Perdan, S. (2000). Indicators of sustainable development for industry: a general framework. Process Safety and Environmental Protection, 78(4): 243-261.

Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J., & Seuring, S. (2014). Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. European Journal of Operational Research, 233 (2), 299-312.

Epstein, M. J., & Roy, M. J. (2001). Sustainability in action: Identifying and measuring the key performance drivers. Long Range Planning, 34(5): 585-604.

Epstein, M. J., and Wisner, P. S. (2003). Using a balanced scorecard to implement sustainability. Environmental Quality Management, 11(2): 1–10.

Figge, F., Hahn, T., Schaltegger, S., and Wagner, M. (2002). The sustainability balanced scorecard linking sustainability management to business strategy. Business Strategy and the Environment, 11(5): 269–284.

Govindan, K., Khodaverdi, R., & Jafarian, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. Journal of Cleaner Production, 47, 345-354.

Hutchins, M. J., & Sutherland, J. W. (2008). An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions.Journal of Cleaner Production, 16(15), 1688-1698.

Igarashi, M., de Boer, L., & Fet, A. M. (2013). What is required for greener supplier selection? A literature review and conceptual model development. Journal of Purchasing and Supply Management, 19 (4), 247-263.

Kafa, N., Hani, Y., & El Mhamedi, A. (2013, September). Sustainability performance measurement for green supply chain management. In Management and Control of Production and Logistics, 6(1): 71-78.

Olugu, E. U., Wong, K. Y., & Shaharoun, A. M. (2011). Development of key performance measures for the automobile green supply chain. Resources,Conservation and Recycling, 55(6): 567-579.

Reefke, H., & Trocchi, M. (2013). Balanced scorecard for sustainable supply chains: design and development guidelines. International Journal of Productivity and Performance Management, 62(8), 805–826.doi:10.1108/IJPPM-02-2013-0029.

Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. Journal of Cleaner Production, 16 (15), 1699-1710.

Sloan, T. W. (2010). Measuring the sustainability of global supply chains:Current practices and future directions. Journal of Global Business Management, 6(1), 1-16.

Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. International Journal of Management Reviews, 9 (1), 53-80.

Tachizawa, E. M., & Wong, C. Y. (2015). The Performance of Green Supply Chain Management Governance Mechanisms: A Supply Network and Complexity Perspective. Journal of Supply Chain Management.

Tsai, W., & Wang, C. (2010). Decision making of sourcing and order allocation with price discounts. Journal of Manufacturing Systems, 29, 47-54.

Yakovleva, N. (2007). Measuring the Sustainability of the Food Supply Chain:A Case Study of the UK. Journal of Environmental Policy & Planning,9(1), 75–100. doi:10.1080/15239080701255005.

Zadeh, L. (1978). Fuzzy set as a basis for a theory of possibility. Fuzzy Sets and Systems, 1,. 3-28.

Zhou, Z., Cheng, S., & Hua, B. (2000). Computers & Chemical Engineering

Supply Chain Optimization of Continuous Process Industries with Sustainability Considerations Warehotls i W3house, 24, 1151-1158.