

ارائه یک سیستم تصمیم گیری چندمعیاره جهت انتخاب تامین کنندگان برای ایجاد محصول

حسام شیدپور^۱، محمود شهرخی^۲

^۱ گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کردستان

^۲ دکتری مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کردستان

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

محمود شهرخی

Shahrokhi292@yahoo.com

چکیده

در سال های اخیر، محیط بازار به علت انتظارات فزاینده مشتریان، دائما در حال تغییر است. آنها به دنبال محصولاتی با کیفیت بالاتر، عملکرد بهتر و قیمت و زمان تحویل کمتر هستند. برای پاسخ به این نیاز فزاینده، شرکت ها دائما به دنبال استراتژی ها و روش ها جدید برای ایجاد محصول جدید هستند. این مقاله، روشی برای تعیین مدل طراحی، فرآیند مونتاژ و انتخاب تامین کنندگان برای ایجاد محصول ارائه می دهد. در این روش، یک رویکرد ادغامی شامل مدل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه و روش TOPSIS بر مبنای پارامترهای کمی و کیفی مرتبط با طراحی، فرآیند و زنجیره تامین پیشنهاد می شود. همچنین پارامترهای کمی با برنامه ریزی ریاضی و پارامترهای کیفی با متغیرهای زبانی ارزیابی می شوند. این مدل قادر است بعضی از استراتژی های زنجیره تامین را در همان مراحل اولیه فرآیند ایجاد محصول لحاظ کند.

واژگان کلیدی: ایجاد محصول جدید، TOPSIS، برنامه ریزی خطی چندهدفه، زنجیره تامین.

مقدمه

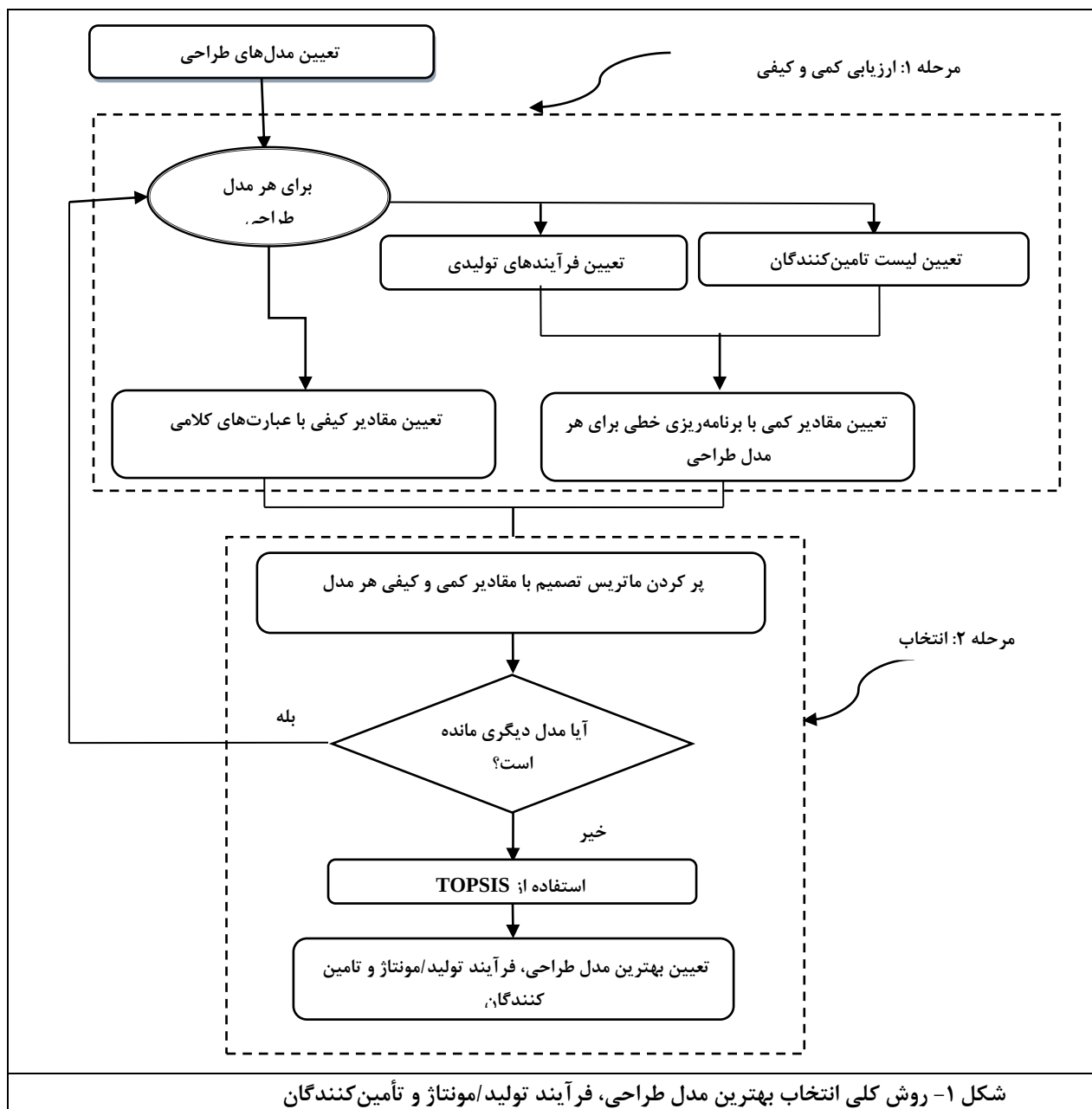
فشار فزاینده بازار موجب شده است که شرکت ها دائما به دنبال روش هایی برای بهبود عملکرد خود در زمینه هزینه، زمان، کیفیت و رضایت مشتری در فرآیند ایجاد محصول جدید باشند. در این مقاله، یک روش جدید برای به دست آوردن بهترین گزینه طراحی در فرآیند ایجاد محصول جدید و در محیط مهندسی همزمان پیشنهاد می شود. این روش با استفاده از یک سری تکنیک ها و مفاهیم همچون روش های تصمیم گیری و نظریه مجموعه های فازی، تلاش می کنند بسیاری از جنبه های ایجاد محصول از جمله طراحی فرآیند و زنجیره تامین را در همان مراحل اولیه طراحی محصول لحاظ کنند.

در این مدل از بعضی روش های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) مثل تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، تکنیکی برای برترین پیشنهاد از راه حل مشابه راه حل ایده آل (TOPSIS)، برنامه ریزی خطی چندهدفه^۱ (MOLP) و مفاهیم مجموعه های فازی و عبارت های زبانی استفاده می شود.

۲- مدل پیشنهادی SDPS

در یک محیط مهندسی همزمان سه بعدی، معمولاً روند ایجاد محصول جدید این گونه است که در ابتدا، بخش طراحی چندین مدل طراحی از محصول را براساس تجزیه و تحلیل بازار پیشنهاد می دهد. با ایجاد یک محیط برای تسهیل تبادل اطلاعات بین بخش های مختلف شرکت، بخش طراحی از بخش های تولید و زنجیره تأمین می خواهد که روش های تولید و مونتاژ ممکن، لیست تأمین کنندگان قطعات برای هر طرح کاندید و اطلاعات مربوط به آنها را به واحد طراحی ارسال کنند. این واحد همچنین از مدیریت می خواهد استراتژی ها و اولویت های شرکت را در فرآیند ایجاد محصول مشخص کند. برای انتخاب بهترین مدل طراحی که همزمان اولویت های تولید و زنجیره تأمین را در نظر بگیرد فاکتورهای مهم و زیادی (کمی و کیفی) برای هر سه حوزه طراحی، تولید و زنجیره تأمین وجود دارد. بدین منظور، یک مدل تصمیم گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین ترکیب طراحی، فرآیند و زنجیره تأمین (اینجا بیشتر انتخاب تأمین کنندگان منظور است) با در نظر گرفتن فاکتورهای کمی و کیفی پیشنهاد می شود. به خاطر وجود اطلاعات ناکافی و غیر قطعی در مورد بعضی پارامترها در مراحل اولیه طراحی و همچنین وجود بعضی فاکتورهای کیفی که ماهیت غیرقطعی دارند مجموعه های فازی و عبارت های کلامی نیز در این مدل به کار می رود. این مدل شامل دو بخش اصلی است که نمایی گرافیکی از مراحل مدل پیشنهادی در شکل ۱ نمایش داده شده است.

¹ Multi Objective Mathematical Programming



در اولین بخش یا مرحله ارزیابی کمی و کیفی، پس از تعیین مدل های طراحی کاندید، فرآیندهای تولیدی مربوطه و تعیین تأمین کنندگان قطعات یا زیرمونتاژهای هر طراحی، بهترین آنها برای هر مدل طراحی به وسیله برنامه ریزی خطی چند هدفه به دست می آید. از آنجا که بسیاری از فاکتورهای کیفی را نمی توان به وسیله مدل های ریاضی تحلیل کرد؛ در ادامه این مرحله، تعدادی از فاکتورهای کیفی طراحی همچون ظاهر محصول، با عبارتهای کلامی مورد ارزیابی قرار می گیرند. این مرحله در واقع مقادیر فاکتورهای کمی و کیفی را حساب می کند. در بخش دو یا مرحله انتخاب، نتایج حاصل از مرحله قبل با استفاده از روش TOPSIS مورد ارزیابی قرار گرفته و بهترین گزینه طراحی برای ایجاد محصول جدید انتخاب می گردد.

۱-۲- مرحله اول: ارزیابی کمی و کیفی فاکتورها

این مدل شامل ارزیابی کمی و کیفی پارامترهای مرتبط با ایجاد محصول جدید است.

ارزیابی کمی

برای ارزیابی کمی فاکتورها، یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه برای انتخاب بهترین مدل طراحی ایجاد شده است. این مدل، دارای چهار هدف هزینه، رضایت مشتری، زمان ایجاد محصول و ریسک وابستگی است. برای این منظور مفروضات زیر در نظر گرفته شده اند:

- تقاضا ثابت و معلوم است.
 - از هر قطعه فقط یک عدد در محصول به کار می رود.
 - هزینه های خرید، مونتاژ یا ساخت قطعه، مشخص است.
 - درخت مونتاژ برای هر محصول و فرآیند پیشنهادی معلوم است.
 - زمان خرید، مونتاژ و ساخت قطعه معلوم است.
 - کیفیت متوسط (نرخ معیوب) هر قطعه خریداری شده یا ساخته شده معلوم است.
 - ظرفیت تأمین کنندگان معلوم و ثابت است.
 - عملیات مونتاژ محصول پس از تأمین همه ی قطعات از تأمین کنندگان آغاز می شود.
- در ادامه مدل ریاضی برنامه ریزی خطی چندهدفه (MOLP) توسعه داده شده برای ارزیابی کمی پارامترها توضیح داده می شود.

➤ اندیس ها	
شاخص فرآیندها:	$i = 1, 2, \dots, n$
شاخص قطعات اصلی یا زیرمونتاژها:	$j = 1, 2, \dots, m$
شاخص تأمین کنندگان:	$s = 0, 1, \dots, k$
شاخص کارکردها:	$f = 1, 2, \dots, k$
➤ پارامترهای مسئله	
D: تقاضای پیش بینی شده محصول	
cap_{js} : ظرفیت خرید یا ساخت قطعه j از تأمین کننده s	
p_{js} : هزینه خرید قطعه j از تأمین کننده s یا هزینه ساخت آن	
C_{jki} : هزینه مونتاژ قطعه j با قطعه k در فرآیند i	
T_{js}^1 : مدت زمان مورد نیاز جهت تأمین قطعه j از تأمین کننده s برحسب روز	
T_{jki}^2 : مدت زمان مورد نیاز برای مونتاژ قطعه j با قطعه k در فرآیند مونتاژ i بر حسب دقیقه	
T^3 : مدت زمان مورد نیاز برای طراحی محصول برحسب روز	
R_i : راندمان فرآیند i (نسبت زمان مفید فرآیند به کل زمان در دسترس)	
e_i : نرخ تولید محصول معیوب برای فرآیند مونتاژ i	
h_i : سرمایه گذاری ثابت مورد نیاز برای تجهیزات یا نیروی انسانی برای فرآیند i	
q_{js} : کیفیت قطعه j خریداری شده از تأمین کننده s	
a_{jki} : ترتیب مونتاژ قطعه j با قطعه k در فرآیند مونتاژ i	
O_s : هزینه سفارش دهی به تأمین کننده s	
W_{qj} : اهمیت قطعه j در کیفیت کل محصول	
W_f : اهمیت کارکرد f برای مشتریان	

v_{fj} : اهمیت قطعه j در برآورده کردن کارکرد f
g : تعداد ساعت های کاری روزانه
M : یک عدد بزرگ
➤ متغیرهای تصمیم
X_{js}^1 : مقدار خرید قطعه j از تأمین کننده s
X_{js}^2 : اگر قطعه j از تأمین کننده s خریداری شود ۱، در غیر این صورت صفر
y_i : اگر فرآیند مونتاژ i انتخاب شود ۱، در غیر این صورت صفر
u_s : اگر تأمین کننده s انتخاب شود ۱، در غیر این صورت صفر

اهداف و محدودیت های مدل به شرح زیر هستند:

$$\min Z_1 = \sum_{j=1}^m \sum_{s=0}^k p_{js} X_{js}^1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{D}{1-e_i} \right) y_i \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_{jki} C_{jki} \quad (1)$$

$$+ \sum_{s=0}^k o_s u_s + \sum_{i=1}^n y_i h_i$$

$$\min Z_2 = \sum_{i=1}^n \frac{(1-e_i)y_i}{D} \sum_{j=1}^m \sum_{s=0}^K T_{js}^1 X_{js}^1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{R_i \times g \times 60} \right) y_i \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_{jki} T_{jki}^2 + T^3 \quad (2)$$

$$\max Z_3 = \sum_{i=1}^n y_i \sum_{f=1}^z W_f \sum_{j=1}^m v_{fj} \sum_{s=0}^k \frac{(1-e_i)(1-q_{js})X_{js}^1}{D} \quad (3)$$

$$\min Z_4 = \sum_{j=1}^m \sum_{s \neq 0} p_{js} X_{js}^1 \quad (4)$$

$$y_i \sum_{s=0}^k X_{js}^1 = \left(\frac{D}{1-e_i} \right) y_i \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$X_{js}^1 \leq cap_{js} \quad \forall j, s \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{js}^2 \leq 2 \quad \forall s \in \{1, \dots, k\} \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{js}^2 \leq M u_s \quad \forall s \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = 1 \quad (9)$$

$$X_{js}^1 \leq M X_{js}^2 \quad \forall j, s \quad (10)$$

$$X_{js}^1 \geq X_{js}^2 \quad \forall j, s \quad (11)$$

$$\begin{aligned} X_{js}^2, y_i, u_s &\in \{0,1\} \\ X_{js}^1 &\geq 0 \end{aligned} \quad \forall i, j, s \quad (12)$$

هدف ۱، مجموع هزینه ها شامل هزینه خرید قطعات، ساخت محصول، هزینه سفارش دهی و هزینه سرمایه گذاری جدید را حداقل می کند. عبارت $(1 - e_i)$ درصد ساخت کالای سالم در هر فرآیند و عبارت $(1 - e_i)$ مقدار کالای تولید شده را نشان می دهد. از آنجا که بین کم شدن زمان ایجاد محصول و زیاد شدن سهم بازار رابطه تنگاتنگی وجود دارد [۱]، در مدل پیشنهادی، هدف ۲ زمان صرف شده برای معرفی محصول جدید به بازار حداقل می کند که شامل زمان خرید قطعات یک محصول، زمان ساخت یک محصول و زمان تخمینی طراحی آن می شود. عبارت $(R_i \times g \times 60)$ ، زمان مفید روزانه برای ساخت محصول را نشان می دهد. هدف ۳، میزان رضایت مشتریان از عملکرد کارکردی هر واحد محصول را حداکثر می کند. این تابع فرض می کند که هر قطعه، یک اهمیت نسبی در عملکرد هر کارکرد دارد (v_{fj}) و رضایت مشتری از مجموع وزنی عملکرد کارکردها به دست می آید. عملکرد هر کارکرد هم به کیفیت قطعات خریداری شده بستگی دارد. اهمیت نسبی هر قطعه در هر کارکرد با استفاده از نظر کارشناسان خبره و طبق ماتریس قطعه-کارکرد تعیین می شود که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ماتریس قطعه-کارکرد						
قطعه کارکرد	۱	۲	...	j	...	N
۱	v_{11}	0	*	v_{1j}	*	v_{1n}
۲	0	v_{22}	*	v_{2j}	*	0
⋮	*	*	*	*	*	*
f	v_{f1}	v_{f2}	*	v_{fj}	*	0
⋮	*	*	*	*	*	*
m	v_{m1}	0	*	v_{mj}	*	v_{mn}

علامت * در جدول، عدم شرکت قطعه در کارکرد را نشان می دهد. در جدول ۱ برای هر کارکرد، شرط زیر برقرار است:

$$\sum_{j=1}^n v_{fj} = 1 \quad \forall f \quad (13)$$

هدف ۴، میزان خرید قطعات از تأمین کنندگان بیرونی را حداقل می کند $(s=0)$ برای قطعات ساخت شده در داخل شرکت. این تابع در واقع میزان کل ریسک وابستگی به تأمین کنندگان خارجی را نشان می دهد. روابط (۵) و (۶) محدودیت تقاضای محصول و محدودیت ظرفیت تأمین کنندگان برای هر قطعه را نشان می دهد. محدودیت (۷) نشان دهنده استراتژی شرکت در کاهش وابستگی به هر تأمین کننده است. این محدودیت می گوید که انواع قطعه ای که از یک تأمین کننده خریداری می شود نباید از یک حد مشخص (اینجا دو نوع قطعه) بیشتر باشد. محدودیت (۸) تأمین کنندگان قطعات را نشان می دهد. محدودیت (۹) می گوید که فقط یک فرآیند برای مونتاژ محصول انتخاب می شود. محدودیت های (۱۰) و (۱۱) نشان می دهد که اگر سفارش قطعه ای به یک تأمین کننده داده شود آنگاه آن تأمین کننده در مجموعه تأمین کنندگان انتخاب شده قرار می گیرد. محدودیت (۱۲) نیز متغیرهای صفر و یک و مثبت را نشان می دهد.

مدل پیشنهادی بالا به خاطر وجود حاصل ضرب متغیرهای y_i و X_{js}^1 ، غیرخطی می باشد. برای خطی کردن و حل این مدل، رابطه $y_i \times X_{js}^1 = r_{ijs}^1$ تشکیل شده و روابط زیر به محدودیت های مسئله اضافه می گردد.

$$r_{ijs}^1 \leq My_i \quad \forall i, j, s \quad (14)$$

$$r_{ijs}^1 \geq M(y_i - 1) + X_{js}^1 \quad \forall i, j, s \quad (15)$$

$$X_{js}^1 \geq r_{ijs}^1 \quad \forall i, j, s \quad (16)$$

r_{ijs}^1 وقتی مقدار می گیرد که فرآیند i انتخاب شده و X_{js}^1 مقدار گرفته باشد.

این مدل ریاضی برای هر تعداد طرح کاندید حل می شود و بهترین جواب ها ثبت و به ماتریس تصمیم TOPSIS منتقل می شود.

ارزیابی کیفی

در دنیای واقعی، بیشتر اطلاعات مربوط به فرآیند ایجاد محصول، غیر قطعی یا مبهم است [۲] و بسیاری از اطلاعات، به صورت عبارت های غیر دقیق مثل "کم" یا "زیاد" بیان می شود. برای این منظور متخصصان از عبارت های زبانی برای بیان بعضی از فاکتورهای طراحی محصول که ماهیت کیفی دارند و نمی توان آنها را مدل کرد؛ استفاده می کنند. از معیارهای فاکتورهای انسانی، ایمنی، قابلیت تعمیر، زیبایی و آسانی استفاده، می توان به عنوان معیارهای کیفی طراحی نام برد. متغیرهای کلامی استفاده شده در مدل پیشنهادی، در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- عبارت های زبانی و اعداد فازی مربوطه	
عبارت زبانی	عدد فازی مثلثی
خیلی بد (خ ب)	(۰, ۰, ۱)
بد (ب)	(۳, ۱, ۰)
نه بد نه متوسط (ن ب م)	(۵, ۳, ۱)
متوسط (م)	(۷, ۵, ۳)
نه متوسط نه خوب (ن م خ)	(۹, ۷, ۵)
خوب (خ)	(۱۰, ۹, ۷)
خیلی خوب (خ خ)	(۱۱, ۱۰, ۹)

از آنجا که عبارت های کلامی با اعداد فازی نمایش داده می شوند برای استفاده از آنها در ماتریس تصمیم TOPSIS نیاز است که به اعداد قطعی تبدیل شوند. بدین منظور، این پژوهش از روش لیو و وانگ^۲ (۱۹۹۲) استفاده می کند [۳]. در این روش، مقدار قطعی اعداد فازی مثلثی (a,b,c) بر مبنای سطح اطمینان تصمیم گیرنده به دست می آید که در زیر شرح داده می شود. در ابتدا تابع عضویت عدد فازی مثلثی (a,b,c) به صورت رابطه (۱۷) تعریف می شود.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & x \geq c \end{cases} \quad (17)$$

سپس، با تعیین درجه اطمینان تصمیم گیرنده (α)، میزان درجه دستیابی به اهداف از رابطه ی (۱۸) به دست می آید:

$$\begin{aligned} I^\alpha &= \alpha \cdot I_R(\tilde{A}) + (1 - \alpha) \cdot I_L(\tilde{A}) \\ &= \alpha \int_0^1 f_A^R(y) dy + (1 - \alpha) \int_0^1 f_A^L(y) dy \\ &= \alpha \int_0^1 [c - (c - b)y] dy + (1 - \alpha) \int_0^1 [a + (b - a)y] dy \\ &= \frac{1}{2} [\alpha \cdot c + b + (1 - \alpha) \cdot a] \end{aligned} \quad (18)$$

که در آن f_A^L و f_A^R توابع معکوس برای تابع عضویت راست و چپ عدد فازی هستند.

وقتی $\alpha = 0$ باشد نشان دهنده بدبینی مطلق تصمیم گیرنده است و مقدار انتگرال کل (I^0) این گونه به دست می آید:

$$I^0 = \frac{1}{2} [a + b] \quad (19)$$

وقتی $\alpha = 0.5$ باشد نشان دهنده تصمیم گیرنده میانه رو است و مقدار انتگرال کل ($I^{0.5}$) این گونه به دست می آید:

$$I^{0.5} = \frac{1}{2} [0.5a + b + 0.5c] \quad (20)$$

وقتی $\alpha = 1$ باشد نشان دهنده خوش بینی مطلق تصمیم گیرنده است و مقدار انتگرال کل (I^1) این گونه به دست می آید:

$$I^1 = \frac{1}{2} [c + b] \quad (21)$$

با انجام این مرحله و تکمیل ماتریس تصمیم، مرحله دوم آماده اجرا می شود.

۲-۲- مرحله دوم: انتخاب بهترین ترکیب

با استفاده از مراحل شرح داده شده برای روش TOPSIS، بهترین ترکیب طراحی، فرآیند و تأمین کنندگان مشخص می شود در حالیکه اهمیت نسبی اهداف با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) به دست می آید. کارایی روش پیشنهادی با یک مثال عددی نشان داده می شود.

۳- مثال عددی

یک شرکت فرضی تولیدکننده گوشی های تلفن همراه، برای حفظ برتری خود در بازارهای جهانی، نیازمند ارائه محصولات جدید به صورت منظم است. برای ایجاد یک محصول جدید در این دوره، تیم طراحی سه گزینه (۳ مدل) را پیشنهاد می دهد که به ترتیب M_1 ، M_2 و M_3 خوانده می شوند. بخش بازاریابی، با بررسی نظرات مشتریان، چهار ویژگی کارکردی با درجات اهمیت ۰/۴، ۰/۲۵، ۰/۲ و ۰/۱۵ به بخش تولید معرفی کرده است که باید در محصول مورد نظر لحاظ شود. بخش تولید، با بررسی سه مدل پیشنهادی، اهمیت نسبی هر قطعه در عملکرد هر کارکرد (v_{ij}) را با استفاده از ماتریس قطعه-کارکرد برای همه مدل ها مشخص کرده است که به ترتیب برای مدل های M_1 ، M_2 و M_3 در جدول های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳- اهمیت نسبی هر قطعه در عملکرد هر کارکرد در مدل M_1

قطعه \ کارکرد	۱	۲	۳	۵	۷	۸	۹
۱	۰/۴	۰/۲	*	۰/۱۵	*	۰/۱۵	۰/۱
۲	*	۰/۲	۰/۳	*	۰/۱	۰/۴	*
۳	*	۰/۴۵	*	۰/۱۵	۰/۲۵	*	۰/۱۵
۴	۰/۲	*	۰/۳	۰/۱۵	۰/۱	۰/۲۵	*

جدول ۴- اهمیت نسبی هر قطعه در عملکرد هر کارکرد در مدل M_2

قطعه \ کارکرد	۱	۳	۴	۵	۶	۷	۹	۱۱
۱	۰/۱۵	۰/۲	*	۰/۲	*	۰/۲۵	۰/۲	*
۲	*	۰/۲۵	۰/۵	*	۰/۱	۰/۰۵	*	۰/۱
۳	۰/۱	*	۰/۲	۰/۳	*	۰/۲	۰/۰۵	۰/۱۵
۴	*	۰/۵۵	*	۰/۳	*	۰/۳	*	۰/۰۵

جدول ۵- اهمیت نسبی هر قطعه در عملکرد هر کارکرد در مدل M_2

قطعه کارکرد	۱	۳	۵	۷	۸	۱۰	۱۱	۱۲
۱	۰/۱۵	۰/۳۵	۰/۲	*	۰/۲	*	۰/۱	*
۲	۰/۳	*	۰/۲	۰/۳	*	۰/۰۵	۰/۱۵	*
۳	*	۰/۲۵	*	*	۰/۲	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۱۷
۴	۰/۳۵	*	۰/۰۵	۰/۱۵		۰/۲۵	*	۰/۲

در این جداول، علامت * نماد عدم شرکت قطعه در کارکرد است.

همچنین، این بخش، فرآیندهای مونتاژی متناسب با طرح های کاندید را به همراه اطلاعات مربوطه همچون درخت مونتاژ، هزینه و زمان های عملیات هر فرآیند مونتاژ برآورد می کند. اطلاعات مربوط به فرآیندهای مونتاژ در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۶- اطلاعات فرآیندی هر مدل طراحی

فرآیندهای پیشنهادی	درخت مونتاژ	هزینه مونتاژ	زمان مونتاژ (دقیقه)
۱		$U[30, 50]$	$U[1, 5]$
۲		$U[36, 60]$	$U[1, 5]$
۳		$U[27, 45]$	$U[1, 5]$

ادامه جدول ۶

U[۱,۵]	U[۲۴,۴۰]		۱	۲
U[۱,۵]	U[۳۳,۵۵]		۲	
U[۱,۵]	U[۳۶,۶۰]		۳	
U[۱,۵]	U[۳۰,۵۰]		۴	
U[۱,۵]	U[۲۰,۴۰]		۱	۳
U[۱,۵]	U[۳۰,۵۰]		۲	
U[۱,۵]	U[۳۴,۵۷]		۳	

برای این مثال، همچنان که در ستون های سوم و چهارم این جدول آمده است، زمان و هزینه مونتاژ برای هر فرآیند و هر درخت مونتاژ، به صورت متغیرهای تصادفی با استفاده از توزیع یکنواخت تعیین شده اند.

بخش زنجیره تأمین (واحدهای تدارکات و خرید) نیز، لیست تأمین کنندگان قطعات و اطلاعات مربوط به آنها را در اختیار تیم طراح قرار می دهد که اطلاعات مربوطه در جدول ۷ آمده است. در این جدول، زمان خرید (فاصله زمانی سفارش تا دریافت) قطعات و هزینه خرید آنها از هر تأمین کننده به صورت تصادفی و با استفاده از تابع توزیع یکنواخت به دست آمده است. همچنین در این مثال مقدار تقاضا پیش بینی شده برای محصول جدید، ۱۰۰۰ واحد فرض شده است.

گام های زیر برای انتخاب بهترین ترکیب طراحی، فرآیند تولید/مونتاژ و تأمین کنندگان مناسب پیشنهاد می شود:

گام ۱- ارزیابی کمی پارامترها: مسئله برنامه ریزی خطی چند هدفه برای تک تک مدل های طراحی کاندید طبق مراحل زیر حل شده و بهترین جواب های آنها، در ماتریس تصمیم TOPSIS ثبت می شود.

- انتخاب اولین هدف و حل آن. با حداکثر کردن تابع، مقدار حد بالا و با حداقل کردن تابع،

جدول ۷- اطلاعات زنجیره تأمین			
قطعه	تأمین کنندگان	هزینه خرید	مدت زمان خرید قطعه (روز)
۱	۱،۲،۵،۷	$U[۲۰،۴۰]$	$U[۱۵،۳۰]$
۲	۱،۴،۶	$U[۱۰،۲۵]$	$U[۲۰،۳۰]$
۳	۰،۲،۳،۸	$U[۲۵،۴۰]$	$U[۱۴،۳۰]$
۴	۳،۴،۷	$U[۳۰،۵۰]$	$U[۱۷،۳۰]$
۵	۵،۶،۷	$U[۲۰،۳۰]$	$U[۱۰،۲۰]$
۶	۰،۱،۸،۹	$U[۳۰،۴۵]$	$U[۵،۱۵]$
۷	۴،۸،۹	$U[۳۰،۵۰]$	$U[۱۵،۳۰]$
۸	۳،۵،۹	$U[۱۵،۳۰]$	$U[۲۲،۳۲]$
۹	۰،۲،۴،۶	$U[۱۵،۳۰]$	$U[۳۰،۵۰]$
۱۰	۰،۱،۲	$U[۲۰،۴۰]$	$U[۲۵،۴۰]$
۱۱	۲،۵،۷،۹	$U[۳۵،۵۰]$	$U[۲۰،۳۵]$
۱۲	۰،۶،۷،۸	$U[۱۵،۲۵]$	$U[۱۵،۲۵]$
تأمین کننده :: ساخت در داخل شرکت			

مقدار حد پایین هر تابع به دست می آید. این کار برای بقیه اهداف هم انجام می شود. حداقل و حداکثر هر هدف در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸- حداقل و حداکثر مقادیر به دست آمده برای اهداف از حل مدل						
هدف	حداقل هدف برای مدل طراحی			حداکثر هدف برای مدل طراحی		
	M_1	M_2	M_3	M_1	M_2	M_3
هزینه	۶۲۹۵۷۸	۷۰۹۱۹۰	۷۲۸۹۵۸	۷۴۲۱۳۷	۸۶۱۲۷۰	۸۱۴۴۴۲
زمان معرفی محصول	۲۵۲/۸۷۲	۲۹۰/۴۴۲	۲۷۸/۱۲۳	۲۸۷/۷۴۱	۳۳۲/۵۶۸	۳۱۴/۴۷۳
رضایت مشتری	۰/۸۹۶۵	۰/۸۷۵۶	۰/۸۴۶۱	۰/۹۳۴۹	۰/۹۱۳۸	۰/۹۴۱۲
ریسک وابستگی	۳۰۲۷۴۶	۳۱۸۱۱۶	۳۲۸۱۵۱	۴۳۴۱۵۸	۴۷۷۵۳۷	۴۸۷۳۸۸

- تعیین تابع عضویت هر هدف.

- فرمول بندی و حل مسئله قطعی به عنوان معادل فازی مسئله بهینه سازی و حداکثر کردن سطح رضایت کل، برای هر مدل طراحی به صورت جداگانه.

با حل این مسائل، برای هر مدل طراحی، مقدار توابع هدف، مقدار قطعه سفارش داده شده به هر تأمین کننده و مناسب ترین فرآیند به دست می آید. با انجام این مرحله، گام ۱ پایان می یابد. فرمول بندی مسئله بهینه سازی فازی برای مدل طراحی M_2 در زیر می آید.

$$\begin{aligned}
 & \max \lambda \\
 & \lambda \times 152080 \leq 861270 - z_1 \\
 & \lambda \times 42.1264 \leq 332.5682 - z_2 \\
 & \lambda \times 0.0382 \leq z_3 - 0.8756 \\
 & \lambda \times 159421 \leq 477537 - z_4 \\
 & y_i \sum_{s=0}^k X_{js}^1 = \left(\frac{D}{1 - e_i} \right) y_i \quad \forall i, j \\
 & X_{js}^1 \leq cap_{js} \quad \forall j, s \\
 & \sum_{j=1}^m X_{js}^2 \leq 2 \quad \forall s \in \{1, \dots, k\} \\
 & \sum_{j=1}^m X_{js}^2 \leq Mu_s \quad \forall s \\
 & \sum_{i=1}^n y_i = 1 \\
 & X_{js}^1 \leq M X_{js}^2 \quad \forall j, s \\
 & X_{js}^1 \geq X_{js}^2 \quad \forall j, s \\
 & X_{js}^2, y_i, u_s \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, s \\
 & X_{js}^1 \geq 0
 \end{aligned} \tag{22}$$

لازم به یادآوری است که برای حل این مدل باید آن را خطی کرد که این کار با افزودن محدودیت های (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) انجام می گیرد.

گام ۲- ارزیابی کیفی پارامترها: در این گام، ابتدا، اهداف کیفی مسئله تعیین شده و بعد با استفاده از عبارات های زبانی مورد ارزیابی قرار می گیرد. اهداف کیفی تعیین شده برای این مثال و ارزیابی آنها با عبارات های کلامی در جدول ۹ نشان داده شده است. از آنجا که عبارت های زبانی به صورت اعداد فازی مثلثی بیان می شوند برای استفاده از آنها در ارزیابی نهایی توسط TOPSIS، باید به اعداد قطعی تبدیل شوند که این کار با استفاده از فرمول (۱۸) انجام می شود.

جدول ۹- ارزیابی اهداف کیفی				
هدف کیفی				
مدل طراحی	فاکتور انسانی	قابلیت تعمیر	زیبایی	تسهیلات اینترنتی
۱	خ خ	ب	م	ن ب م
۲	ن م خ	خ	م	خ خ
۳	م	خ خ	ن ب م	خ

گام ۳- ارزیابی نهایی با استفاده از روش TOPSIS: با استفاده از نتایج دو گام قبلی، ماتریس تصمیم ساخته می شود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- ماتریس تصمیم								
پارامترهای ارزیابی								
مدل طراحی	هزینه	زمان	رضایت مشتری	ریسک وابستگی	فاکتور انسانی	قابلیت تعمیر	زیبایی	تسهیلات اینترنتی
M_1	۶۵۲۴۸۷	۲۵۹/۹۶۹	۰/۹۲۷	۳۲۹۴۹۲/۳	۱۰	۱/۲۵	۵	۳
M_2	۷۳۱۱۷۶/۲	۲۹۹/۸۱۲	۰/۹۰۵	۳۴۴۳۰۸/۲	۷	۸,۷۵	۵	۱۰
M_3	۷۶۰۲۲۰	۲۹۰/۱۷۶	۰/۹۱۳	۳۵۳۰۰۰	۵	۱۰	۳	۸/۷۵

بقیه مراحل ارزیابی روش TOPSIS در زیر شرح داده می شود.

- نرمالایز کردن ماتریس تصمیم با استفاده از فرمول (۲۳) بدست می آید که با عبارت ۲۴ نشان داده شده است.

$$\vec{W} = \lambda_{\max} \vec{W} \quad (\vec{F} - \lambda_{\max} I) \vec{W} = 0 \quad \text{or} \quad \vec{F} \quad (23)$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.526 & 0.529 & 0.585 & 0.556 & 0.758 & 0.094 & 0.651 & 0.220 \\ 0.590 & 0.610 & 0.571 & 0.581 & 0.531 & 0.656 & 0.651 & 0.734 \\ 0.613 & 0.590 & 0.576 & 0.595 & 0.379 & 0.749 & 0.391 & 0.642 \end{bmatrix} \quad (24)$$

- وزن دهی به ماتریس تصمیم نرمالایز شده.

ماتریس تصمیم وزن دار از حاصل ضرب وزن اهداف (که به وسیله FAHP به دست می آید) در ماتریس نرمالایز شده به دست می آید. وزن اهداف با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، به دست می آید که با عبارت (۲۵) نشان داده شده است.

$$W = [w_1, \dots, w_8] = [0.22, 0.2, 0.18, 0.16, 0.09, 0.08, 0.044, 0.026] \quad (25)$$

ماتریس تصمیم نرمالایز شده وزن دار هم از طریق فرمول (۲۶) به دست می آید که با عبارت (۲۷) نمایش داده شده است.

$$f_{ij} \times f_{jk} = f_{ik} \quad (26)$$

$$K = \begin{bmatrix} 0.116 & 0.106 & 0.105 & 0.089 & 0.068 & 0.0075 & 0.029 & 0.0057 \\ 0.130 & 0.122 & 0.103 & 0.093 & 0.048 & 0.0520 & 0.029 & 0.0190 \\ 0.135 & 0.118 & 0.104 & 0.095 & 0.034 & 0.0600 & 0.0170 & 0.0167 \end{bmatrix} \quad (27)$$

- تعیین جواب های ایده آل مثبت و ایده آل منفی.

در این مسئله، اهداف هزینه، زمان معرفی محصول و ریسک وابستگی، معیارهای هزینه و بقیه اهداف، معیارهای سود هستند.

$$A^+ = \{0.116, 0.106, 0.105, 0.089, 0.068, 0.06, 0.029, 0.019\}$$

$$A^- = \{0.135, 0.122, 0.103, 0.095, 0.034, 0.0075, 0.017, 0.0057\}$$

- محاسبه اندازه فاصله بین هر راه حل موجود و راه حل های ایده آل مثبت و ایده آل منفی.

- نتایج محاسبات در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۱- نزدیکی نسبی مدل های طراحی			
مدل طراحی	d_i^*	d_i^-	S_i^*
۱	۰/۰۵۱	۰/۰۴۴	۰/۴۵
۲	۰/۰۳۱	۰/۰۵۰	۰/۶۲
۳	۰/۰۴۳	۰/۰۵۴	۰/۵۵

هر چقدر فاصله گزینه کاندید از راه حل ایده آل منفی بیشتر باشد S_i^* به واحد نزدیکتر خواهد بود. بنابراین، گزینه ها براساس ترتیب نزولی S_i^* ها مرتب خواهد شد که در زیر نشان داده شده است.

$$S_2 > S_3 > S_1$$

در نتیجه، مدل طراحی ۲ و فرآیند ۲، مطلوب ترین گزینه است. مقدار سفارش هر قطعه به تأمین کنندگان نیز در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۱۲- نتایج نهایی		
قطعه	تأمین کنندگان	مقدار سفارش
۱	۱،۲،۵،۷	۰، ۴۷۶، ۰، ۶۰۰
۲	۱،۴،۶	*
۳	۰،۲،۳،۸	۴۷۶، ۰، ۶۰۰
۴	۳،۴،۷	۴۷۶، ۰، ۶۰۰
۵	۵،۶،۷	۷۰۰، ۰، ۳۷۶
۶	۰،۱،۸،۹	۶۰۰، ۰، ۴۷۶
۷	۴،۸،۹	۴۱۲، ۰، ۶۶۴
۸	۳،۵،۹	*
۹	۰،۲،۴،۶	۶۰۰، ۴۷۶، ۰، ۶۰۰
۱۰	۰،۱،۲	*
۱۱	۲،۵،۷،۹	۰، ۴۲۶، ۰، ۶۵۰
۱۲	۰،۶،۷،۸	*

علامت *: عدم وجود قطعه در مدل طراحی

برای بررسی اثر ارزیابی های مختلف کیفی و کمی بر روی انتخاب بهترین مدل طراحی در مدل پیشنهادی (مدل SDPS)، یک برنامه کامپیوتری با استفاده از ویژوال بیسیک دات نت ۲۰۰۸، ایجاد شده است (شکل ۲). در این برنامه، کاربر قادر است مقادیر کمی را از کاربر یا بانک اطلاعاتی دریافت کرده، پارامترهای کیفی را با عبارت های زبانی ارزیابی کند و با سطوح اطمینان مختلف برای تصمیم گیرندگان، نتایج را نشان دهد. این برنامه بهترین مدل طراحی (که با رنگ صورتی نمایش داده می شود)، بهترین فرآیند تولید مربوطه و قطعات تشکیل دهنده محصول را نشان می دهد.

The screenshot shows the 'Selection of Design Model, Process and Supplier (SDPS)' software interface. It features a 'Decision Matrix' table with columns for Design Model, Cost, Time to market, Satisfaction, Dependency risk, Ergonomic, Serviceability, Aesthetic, and Internet facilities. Below the matrix are sections for 'Determine qualitative and quantitative objectives', 'Confidence Level of Decision Maker', and 'Results'. The 'Results' section includes 'Best design' and 'Best process' tables. A progress bar at the bottom indicates the steps: Step 1 (Determine Objectives), Step 2 (Enter Quantitative Data), Step 3 (Evaluate Qualitative objectives with Linguistic Terms), Step 4 (Enter Confidence Level of Decision Maker), and Step 5 (Run).

شکل ۲- نمایی از برنامه کامپیوتری ایجاد شده برای مدل SDPS

همچنین با فشردن نشانگر^۴ بر روی شماره قطعات انتخابی، شماره تامین کنندگان و مقدار سفارش تخصیصی به هر یک از آنان نمایش داده می شود. نمایی از صفحه رابط کاربر این برنامه کامپیوتری در شکل (۲) نشان داده شده است. با این برنامه کامپیوتری می توان میزان حساسیت مدل را نسبت به تغییر پارامترهای مختلف ارزیابی نمود. برای این مثال، حساسیت مدل برای این موارد انجام شد:

- تغییر ارزیابی های تصمیم گیرنده برای اهداف کیفی، که به صورت متغیرهای کلامی بیان می شوند، منجر به تغییر تصمیم در مدل محصول انتخابی گردید.
- حساسیت مدل برای سطوح مختلف اطمینان تصمیم گیرنده، برای این مثال، ارزیابی شد که تاثیری در انتخاب مدل محصول نداشت. این عدم حساسیت می تواند ناشی از وزن کم پارامترهای کیفی در مدل باشد.
- حساسیت مدل به وزن اهداف، با کاهش وزن اهداف کمی و افزایش وزن اهداف کیفی، در دو حالت بررسی شد. حالت اول به این گونه است که اهداف کمی به اندازه ۰/۰۲۵ کاهش می یابند و با هر بار اجرای مدل، فقط یک هدف کیفی به اندازه ۰/۱ افزایش می یابد. این حالت برای هر چهار هدف کیفی بررسی شد که نتایج آن در جدول ۱۳ آمده است.

جدول ۱۳- حساسیت مدل به وزن اهداف (حالت ۱)	
مدل طراحی انتخابی	وزن های مختلف اهداف
M_7	۰/۲۲، ۰/۲، ۰/۱۸، ۰/۱۶، ۰/۰۹، ۰/۰۸، ۰/۰۴۴، ۰/۰۲۶
M_1	۰/۱۹۵، ۰/۱۷۵، ۰/۱۵۵، ۰/۱۳۵، ۰/۱۹، ۰/۰۸، ۰/۰۴۴، ۰/۰۲۶
M_7	۰/۱۹۵، ۰/۱۷۵، ۰/۱۵۵، ۰/۱۳۵، ۰/۰۹، ۰/۰۸، ۰/۰۴۴، ۰/۰۲۶
M_7	۰/۱۹۵، ۰/۱۷۵، ۰/۱۵۵، ۰/۱۳۵، ۰/۰۹، ۰/۰۸، ۰/۰۴۴، ۰/۰۲۶
M_7	۰/۱۹۵، ۰/۱۷۵، ۰/۱۵۵، ۰/۱۳۵، ۰/۰۹، ۰/۰۸، ۰/۰۴۴، ۰/۰۲۶

حالت دوم بررسی حساسیت مدل به وزن اهداف به این صورت است که این بار اهداف کمی به اندازه ۰/۰۵ کاهش می یابند و با هر بار اجرای مدل، فقط یک هدف کیفی به اندازه ۰/۲ افزایش می یابد. نتایج این حالت نیز در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۴- حساسیت به وزن اهداف (حالت ۲)	
وزن های مختلف اهداف	مدل طراحی انتخابی
۰/۲۶، ۰/۰۴۴، ۰/۰۸، ۰/۰۹، ۰/۱۶، ۰/۱۸، ۰/۲، ۰/۲۲	M_7
۰/۲۶، ۰/۰۴۴، ۰/۰۸، ۰/۰۲۹، ۰/۱۱، ۰/۱۳، ۰/۱۵، ۰/۱۷	M_1
۰/۲۶، ۰/۰۴۴، ۰/۰۲۸، ۰/۰۹، ۰/۱۳۵، ۰/۱۵۵، ۰/۱۷۵، ۰/۱۹۵	M_3
۰/۲۶، ۰/۰۴۴، ۰/۰۸، ۰/۰۹، ۰/۱۳۵، ۰/۱۵۵، ۰/۱۷۵، ۰/۱۹۵	M_7
۰/۲۶، ۰/۰۴۴، ۰/۰۸، ۰/۰۹، ۰/۱۳۵، ۰/۱۵۵، ۰/۱۷۵، ۰/۱۹۵	M_7

۴- جمع بندی

در این مقاله به ارائه یک مدل پیشنهادی مبتنی بر برنامه ریزی چند هدفه و روش TOPSIS پرداختیم. این مدل سعی می کند بهترین مدل طراحی محصول را با در نظر گرفتن پارامترهای کمی و کیفی مربوط به فرآیند ایجاد محصول جدید از جمله زنجیره تامین در مراحل اولیه طراحی محصول، انتخاب کند. این مدل با رویکرد مبتکرانه، پارامترهای کمی و کیفی ایجاد محصول را به طور همزمان در نظر می گیرد.

گزینه های ممکن به صورت مجموعه ای از گزینه ها شامل ترکیبات ممکن از طراحی ها برای کالای مورد نظر، فرآیندهای ساخت و منابع تأمین قطعات می باشند و روش ارائه شده این گزینه ها را با در نظر گرفتن معیارهای چندگانه اولویت بندی می کند. در کنار هدف اصلی، اهداف دیگری همچون کاهش در زمان تصمیم گیری، استفاده حداکثر از اطلاعات تقریبی و همچنین کاهش زمان معرفی محصول جدید به بازار نیز نهفته است.

مزایای دیگری نیز می توان برای این مدل بر شمرد از جمله:

- تصمیم گیری در مورد خرید یا ساخت قطعات.
- لحاظ کردن بعضی استراتژی های شرکت در فرآیند ایجاد محصول جدید مثل کاهش وابستگی به تامین کنندگان خارجی.
- لحاظ کردن بعضی از هزینه های چرخه عمر محصول مثل قابلیت تعمیر محصول.
- در نظر گرفتن همزمان چند هدف (که کمتر در کارهای گذشته انجام شده است) از جمله هزینه ایجاد محصول، زمان معرفی محصول به بازار و کیفیت محصول.

منابع و مراجع

- [1] Carter, D. & Baker, B., "*Concurrent Engineering*". Addison-Wesley, Reading, MA, 1992.
- [2] Buyukozkan, G. & Feyzioglu, O., "*A fuzzy-logic-based decision-making approach for new product development*". International Journal of Production Economics, 90, pp. 27-45, 2004.
- [3] Liou, T. S. & Wang, M.T., "*Ranking fuzzy numbers with integral value*". Fuzzy Sets and Systems, 50, pp. 247-255, 1992.