چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۱ ـ بهار ۱۳۹۰
ص‌ص ۳۷-۱۷

ارائه مدل تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی فازی، تحلیل رابطه‌ای خاکستری و برنامه‌ریزی چند هدفه به منظور انتخاب شریک تجاری

علی محمدی*، مهناز حسین‌زاده، محمد باقرزاده آذر*****

چکیده

امروزه همگام با افزایش جمعیت، صنایع به سوی فن‌آوری‌هایی می‌روند که بتواند هم سرعت تولید را بیشتر نمایند و هم کیفیت محصولات را بالا ببرند. طراحی، تولید و مهندسی به کمک کامپیوتر، یکی از جدیدترین فن‌آوری‌هایی است که در عرصه وسیعی از صنایع و علوم کاربرد دارد، به گونه‌ای که امروزه شرکت‌ها در پی آنند که تا حد امکان، به نحوی مؤثر، از این فن‌آوری‌ها بهره‌گیری نمایند و بدین منظور، همواره در جستجوی بهترین شرکت‌های ارائه دهنده این قبیل خدمات برای تسهیل فرایندهای خود هستند. در این مقاله، نخست تلاش شده است تا دیدی کلی در رابطه با طراحی، تولید و مهندسی به کمک کامپیوتر ایجاد شود. سپس مدلی تلفیقی از سه تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، تحلیل رابطه‌ای خاکستری و برنامه‌ریزی چند هدفه ارائه شده است. در مطالعه‌ای موردی، این مدل به عنوان ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌گیری یک شرکت برای رده‌بندی و انتخاب چندین شرکت دارای عملکرد برتر در زمینه طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر، به عنوان شرکای تجاری، به کار گرفته شده است.

کلید واژه‌ها: طراحی، تولید و مهندسی به کمک کامپیوتر،تحلیل رابطه‌ای خاکستری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، برنامه‌ریزی چند هدفه صفر و یک.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۸/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۱۲/۲۵.

* دانشیار دانشکده مدیریت، دانشگاه شیراز (نویسنده مسئول).
E-mail: Amohamadi11@gmail.com
** دانشجوی دکتری مدیریت، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه تهران.
*** کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی.

مقدمه

با ظهور مفاهیم نوین در ابعاد گوناگون طراحی و تولید و محور قرار گرفتن انعطاف به جای بهره‌وری، ضرورت بهره‌گیری از امکاناتی که قادر به عرضهٔ توانایی بیشتر در حوزهٔ طراحی و تولید باشند، کاملاً مشهود گردیده است. این امکانات که امروزه با واژه‌هایی چون طراحی و تولید به کمک کامپیوتر نام‌گذاری شده‌اند، حدود ۳۵ سال قدمت دارند. امروزه به دلیل اتخاذ راهبرد مشتری‌گرایی توسط سازمان‌ها به منظور افزایش قدرت رقابت و حفظ بقاء، سیستم‌های تولید آنها بیشتر به سمت تولید سفارشی گرایش پیدا کرده است و کمتر از تولید انبوه حمایت می‌شود. از این‌رو، سازمان‌ها همواره به دنبال فن‌آوری‌هایی هستند که بتوانند تأثیر بیشتری بر بهینه نمودن عوامل کلیدی موفقیت، نظیر افزایش سرعت تولید، کاهش ضایعات تولید، افزایش قابلیت اطمینان در زمان تحویل، کاهش هزینه تولید و غیره داشته باشند [۹].

بر خلاف دوره‌های قبلی رشد و تکامل فن‌آوری که تمرکز طراحان و تولیدکنندگان بر تفکیک عملیات و بالا بردن صحت و دقت عملکردها بود، امروزه ضمن حفظ فاکتورهای کیفی گذشته، با تجمیع مراحل اجرائی به کمک حافظه‌های کامپیوتری، امکان ایجاد سرعت عمل بالاتر و تنوع فعالیت‌ها، چه در مراحل طراحی و چه در تولید قطعات، فراهم آمده است. با توجه به توان بالای پردازش اطلاعات توسط کامپیوترهای امروزی، علاوه بر بهبود بهره‌وری طراحی و بهتر شدن کیفیت آن، تدارک اسناد و مدارک لازم برای طی مراحل تولید، به‌ویژه ایجاد بانک اطلاعاتی برای دستیابی به تولید مطمئن‌تر و با خطای اجرایی محدود پدید آمده است.

فن‌آوری طراحی، ساخت و مهندسی به کمک کامپیوتر[1] عبارت است از به‌کارگیری کامپیوتر در طراحی، آنالیز مهندسی و ساخت قطعات و مجموعه‌های مهندسی [۳]. این فن‌آوری، روشی کارا، دقیق و منسجم برای تولید محصولات با کیفیت بالاست. سیستم‌های طراحی به کمک کامپیوتر و تولید به کمک کامپیوتر که ابتدا مستقل از یکدیگر بودند، امروزه به صورت سیستم‌های منسجم درآمده‌اند، به نحوی که می‌توانند کلیه مراحل طراحی و تولید یک محصول خاص را از ابتدا تا لحظه حمل آن زیر نظر داشته باشند. هدف کلی از استقرار این سیستم، افزایش چابکی و انعطاف‌پذیری سازمان‌های تولیدی است [۲۲].

1.CAD/CAM/CAE **(**Computer-aided design/ Computer-aided manufacturing/ Computer-aided engineering*)*

مسأله اصلی تحقیق

شرکت مژده وصل شیراز، یکی از گروه‌های صنعتی فعال در زمینه لوازم جانبی، قطعات و اتصالات خودرو در سطح کشور است. این شرکت در زمینه تولید قطعات پلیمری و پلاستیکی خودرو فعال است و محصولات خود را به سفارش شرکت‌های تأمین کننده در صنعت خودرو (ساپکو، ایران لوازم قطعه، مهرکام پارس، سازه گستر و مگاموتور) تولید می‌نماید.

محصولات و خدمات قابل ارائه از سوی این شرکت غالباً توسط شرکت‌های مادر طراحی – مهندسی و تأمین قطعات، متعلق به خودروسازان بزرگ کشور، خریداری می‌گردند. بدین ترتیب، این سازمان، عضوی از زنجیره تأمین آنها محسوب می‌شود. در برنامه‌ریزی راهبردی این شرکت، یکی از اهداف مهم آن به این صورت بیان شده است: به واسطه اتحادهای راهبردی که در سطح ملی و بین المللی با شرکت‌های تأمین‌کننده و همکاران خوشنام و معتبر ایجاد می‌نماییم، به متمایزسازی و ارتقاء نام و علامت تجاری خود می‌پردازیم" و برای اینکه چگونه کیفیت و فن‌آوری فعلی خود را به کیفیت و فن‌آوری مورد نظر تبدیل کند، یکی از اهداف مهم خود را توسعه فن‌آوری طراحی – مهندسی ساخت قطعات قرار داده است و این هدف را در قالب "راهبرد یکپارچگی رو به جلو (پایین) با شرکت‌های تأمین‌کننده مادر به منظور تعمیق و مستحکم نمودن روابط فی‌مابین و توسعه فن‌آوری طراحی – ساخت به کمک کامپیوتر" فرموله نموده است. به منظور اجرایی کردن این راهبرد، این شرکت در پی آن است که از میان شرکت‌های برتر قالب‌ساز و قطعه‌ساز کشور که از فن‌آوری طراحی و تولید به کمک کامپیوتر در طراحی و ساخت محصولات خود بهره می‌گیرند، تعدادی را به عنوان همکار تجاری بلند مدت انتخاب نماید و در نتیجه، تکنولوژی طراحی و تولید خود را بهبود بخشد و کیفیت و فناوری خود را به کیفیت و فناوری مورد نظر تبدیل کند.

در این مقاله، نخست فن‌آوری طراحی، تولید و مهندسی به کمک کامپیوتر معرفی می‌شود و سپس مبانی انجام پژوهش، تکنیک‌های "فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی"، "تحلیل رابطه‌ای خاکستری" و "برنامه‌ریزی چندهدفه" معرفی می‌گردند. در ادامه، برای انتخاب چندین شرکت برتر در زمینه به‌کارگیری این فن‌آوری، ابتدا با توجه به ادبیات موجود در این زمینه، چند شاخص شناسایی می‌شود و با استفاده از تکنیک‌های معرفی شده، مدل‌سازی و حل مدل انجام می‌پذیرد.

مبانی نظری تحقیق

طراحی و تولید به کمک کامپیوتر

ریشه‌های طراحی و تولید به کمک کامپیوتر امروزی به دوران آغاز تمدن، زمانی‌که مهندسان مصر، یونان و روم باستان از ارتباطات گرافیکی بهره می‌بردند، باز می‌گردد. امروزه بخش‌های مختلف جوامع از کامپیوتر بهره می‌گیرند [۸]. در نتیجه تحولات در علم کامپیوتر، طراحی و تولید به کمک کامپیوتر، به سرعت در صنایع مهندسی مقبولیت یافت. این فن‌آوری می‌تواند چنین تعریف شود: استفاده از کامپیوتر به منظور کمک به فرایند طراحی و تولید. می‌توان گفت طراحی و تولید به کمک کامپیوتر عبارت است از به‌کارگیری کامپیوتر برای تولید قطعات مهندسی که از دفتر نقشه‌کشی شروع می‌شود و به واحد تولید، به کارگاه ماشین‌های کنترل عددی کامپیوتری[1]، به واحد کنترل کیفیت، و نهایتاً به انبار قطعات ساخته شده ختم می‌گردد. فن‌آوری طراحی و تولید به کمک کامپیوتر، روشی مؤثر، صحیح و رضایت بخش برای طراحی و تولید محصولات با کیفیت عالی است [۲۰].

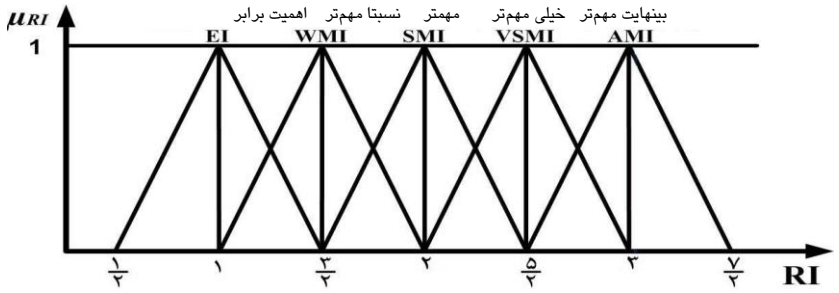
تولید به کمک کامپیوتر اساساً با ظهور کنترل عددی[2] آغاز شد و پیشرفت‌های اولیه آن عمدتاً در حوزه کنترل عددی متمرکز بوده است. تا قبل از دهه ۱۹۸۰، فرامین و دستورالعمل‌های کنترل عددی را انسان‌ها تولید و تصحیح می‌کردند. هم اکنون سیستم‌های تولید به کمک کامپیوتر می‌توانند برنامه‌های کنترل عددی را با صحت و دقت بالا تولید کنند و مسیر ابزار را برای مشخص شدن ترتیب مراحل ساخت سریعاً روی صفحه تصویر نشان دهند. برخی از این سیستم‌ها حتی قابلیت مدیریت کارخانه را نیز دارند و جریان کار و مواد را هدایت می‌کنند. هم اکنون طراحی و تولید به کمک کامپیوتر، به‌طور گسترده در مهندسی مکانیک و صنایع تولیدی کاربرد دارد، و به تدریج با ایجاد هوشمندی بیشتر توانمندی‌های بالاتری را برای این حوزه‌های کاری نوید می‌دهد [۴، ۱۶].

فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی[3]، یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است که توسط ساعتی[4] معرفی شده است. هنگامی که در تصمیم‌گیری، با چند گزینه و شاخص روبرو هستیم، این روش می‌تواند مفید باشد [۱۹]. گرچه افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای انجام مقایسات استفاده می‌نمایند، اما باید به این نکته توجه داشت که فرایند تحلیل سلسله مراتبی سنتی، امکان انعکاس کامل سبک تفکر انسانی را ندارد. به عبارت بهتر، استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد و بنابراین بهتر است با استفاده از مجموعه‌های فازی (به‌کارگیری اعداد فازی) به پیش‌بینی بلندمدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت [۱۰]. در ۱۹۸۳، دو محقق هلندی به نام‌های لارهورن و پدریک، روشی را

1. Computer Numerical Control (CNC)
2. Numerical Control (NC)
3. Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)
4. Saaty

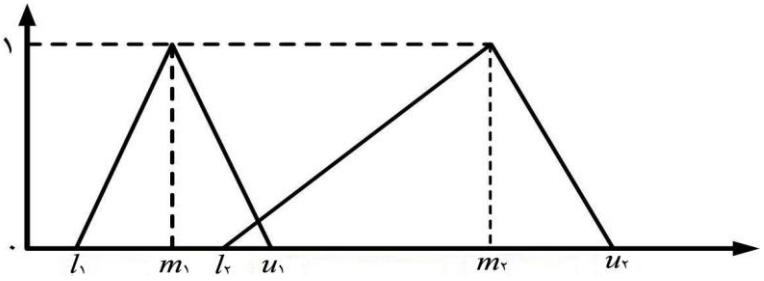
برای فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد نمودند که بر اساس روش حداقل مجذورات لگاریتمی بود. پیچیدگی مراحل این روش باعث شد این روش چندان مورد استفاده قرار نگیرد. در ۱۹۹۶، روش دیگری با عنوان "روش تحلیل توسعه‌ای" توسط چانگ ارائه شد [۲]. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. مقیاس‌های فازی مورد استفاده در روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در شکل (۱) نشان داده شده‌اند.



شکل ۱. مقیاس‌های زبانی برای بیان درجه اهمیت

مفاهیم و تعاریف فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، بر اساس روش تحلیل توسعه‌ای، به صورت زیر هستند:

دو عدد مثلثی $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ را که در شکل ۲ رسم شده‌اند، در نظر بگیرید.



شکل ۲. اعداد مثلثی M_1 و M_2

عملگرهای ریاضی آن به صورت روابط (۱)، (۲) و (۳) تعریف می شوند:

$$M_1 + M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (۱)$$

$$M_1 * M_2 = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2) \quad (۲)$$

$$M_1^{-1}=\left(\frac{1}{u_1},\frac{1}{m_1},\frac{1}{l_1}\right), \qquad M_2^{-1}=\left(\frac{1}{u_2},\frac{1}{m_2},\frac{1}{l_2}\right) \tag{۳}$$

باید توجه داشت که حاصل ضرب دو عدد فازی مثلثی، یا معکوس یک عدد فازی مثلثی، دیگر یک عدد فازی مثلثی نیست. این روابط، فقط تقریبی از حاصل ضرب واقعی دو عدد فازی مثلثی و معکوس یک عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند. در روش تحلیل توسعه‌ای، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، مقدار S_k که خود یک عدد مثلثی است، از راه رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$S_k=\sum_{j=1}^{n}M_{kj}*\left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}M_{ij}\right]^{-1} \tag{۴}$$

که در آن k بیانگر شماره سطر و i و j ، به ترتیب، نشان‌دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها هستند.

در روش تحلیل توسعه‌ای، پس از محاسبه S_k ها، درجه بزرگی آن‌ها نسبت به هم را باید به دست آورد. به طور کلی، اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجه بزرگی M_1 بر M_2، که با $V(M_1 \geq M_2)$ نشان داده می‌شود، به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

$$\begin{cases} V(M_1 \geq M_2)=1 & if\ m_1 \geq m_2 \\ V(M_1 \geq M_2 = hgt(M_1 \cap M_2) & otherwise \end{cases} \tag{۵}$$

همچنین داریم:

$$hgt(M_1 \cap M_2)=\frac{u_1-l_2}{(u_1-l_2)+(m_2-m_1)}$$

میزان بزرگ‌تر بودن یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$V(M_1 \geq M_2,..., M_K)=V(M_1 \geq M_2),..., V(M_1 \geq M_K) \tag{۶}$$

برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی از رابطه (۷) استفاده می‌شود:

$$W'(x_i)=Min\{V(S_i \geq S_k)\}, \qquad ,k=1,2,..., n. \qquad k \neq i \tag{۷}$$

بنابراین، بردار وزن شاخص‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$W'(x_i)=[W'(c_1),W'(c_2),...,W'(c_n)]^T \tag{۸}$$

که همان بردار ضرایب نابهنجار فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی است.

به کمک رابطه (۹)، نتایج نابهنجار به دست آمده از رابطه (۸) بهنجار می‌شود. نتایج بهنجار شده حاصل از رابطه (۹) ، W نامیده می‌شود.

$$W_i = \frac{w_1'}{\sum w_i'} \qquad (۹)$$

تحلیل رابطه‌ای خاکستری

تحلیل رابطه‌ای خاکستری[1] را نخستین بار، دنگ[2] مطرح کرد. این تئوری برای حل مسائل مبهم و مسائلی که داده‌های گسسته و اطلاعات ناقص دارند به کار می‌رود. این تئوری با استفاده از اطلاعات نسبتاً کم و با تغییرپذیری بسیار در معیارها، خروجی‌های رضایت بخش و مطلوبی را ایجاد می‌کند. تئوری خاکستری، همچون تئوری فازی، یک مدل ریاضی اثربخش برای حل مسائل نامشخص و مبهم است [۵]. این تئوری در زمینه‌های بسیار، نظیر حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره، با نام تحلیل رابطه‌ای خاکستری به‌کار گرفته شده است. تحلیل رابطه‌ای خاکستری جزئی از تئوری خاکستری، است که برای حل مسائلی به‌کار می‌رود که از روابط پیچیده‌ای بین عوامل و متغیرهایشان برخوردارند [۱۷]. تئوری سیستم‌های خاکستری، الگوریتمی است که روابط غیرقطعی اعضای یک سیستم با یک عضو مرجع را تحلیل می‌کنند و قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره را داراست. جزئیات فرایند تحلیل رابطه‌ای خاکستری به این شرح است:

ایجاد رابطه خاکستری[3]: زمانی که واحدهای اندازه‌گیری عملکرد شاخص‌های مختلف متفاوتند، ممکن است تأثیر برخی از شاخص‌ها نادیده گرفته شود. همچنین زمانی که برخی شاخص‌های عملکرد از دامنه گسترده‌ای برخوردارند، ممکن است چنین اتفاقی روی دهد. همچنین اگر هدف یا جهت این شاخص‌ها تفاوت داشته باشند، نتایج نادرست در تحلیل‌ها به‌وجود می‌آید [۱۱]. بنابراین، تبدیل کلیه ارزش‌های عملکردی هر گزینه به یک سری مقایسه‌ای در فرایندی مشابه نرمالیزه کردن، ضروری به نظر می‌رسد. این پردازش، گام ایجاد روابط خاکستری در تئوری سیستم‌های خاکستری نامیده می‌شود.

در یک مسأله تصمیم‌گیری چند شاخصه که دارای m گزینه و n شاخص است، i امین گزینه را می‌توان به‌صورت $\mathrm{y_i} = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{in})$ بیان نمود، به طوری که y_{ij} عبارت است از ارزش عملکردی شاخص j برای گزینه i. عبارت Yi را می‌توان به کمک یکی از روابط (۱۰)، (۱۱) و یا (۱۲) به سری مقایسه‌ای $\mathrm{X_i} = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in})$ تبدیل نمود.

1. Grey Relational Analysis (GRA)
2. Deng
3. Grey Relational Generating

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - Min\{y_{ij}, i=1,2,...,m\}}{Max\{y_{ij}, i=1,2,...,m\} - Min\{y_{ij}, i=1,2,...,m\}} \qquad (۱۰)$$

$$i = 1,2,\dots,m \qquad j = 1,2,\dots,n$$

$$x_{ij} = \frac{Min\{y_{ij}, i=1,2,...,m\} - y_{ij}}{Max\{y_{ij}, i=1,2,...,m\} - Min\{y_{ij}, i=1,2,...,m\}} \qquad (۱۱)$$

$$i = 1,2,\dots,m \qquad j = 1,2,\dots,n$$

$$x_{ij} = \frac{|y_{ij} - y_j^*|}{Max\left\{Max\{y_{ij}, i=1,2,...,m\} - y_{ij}^*, y_{ij}^* - Min\{y_{ij}, i=1,2,...,m\}\right\}} \qquad (۱۲)$$

$$i = 1,2,\dots,m \qquad j = 1,2,\dots,n$$

رابطه (۱۰) برای شاخص "هرچه بزرگ‌تر، بهتر"، رابطه (۱۱) برای شاخص "هرچه کوچک‌تر، بهتر" و رابطه (۱۲) برای حالتی که هر چه به ارزش مطلوب y_j^* نزدیک‌تر باشد بهتر است، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تعریف سری‌های هدف مرجع[1]: پس از ایجاد روابط خاکستری با استفاده از معادلات (۱۰) ، (۱۱) و یا (۱۲)، تمامی ارزش‌های عملکردی در مقیاس [۰ و ۱] قرار می‌گیرند. اگر برای یک شاخص j در گزینه i ، ارزش x_{ij} که از فرایند ایجاد رابطه خاکستری ایجاد شده، برابر با ۱ بوده یا از ارزش مربوط به هر گزینه دیگری به ۱ نزدیکتر باشد، بدین معناست که عملکرد گزینه i در شاخص j از سایر گزینه‌ها بهتر است. بنابراین، اگر برای گزینه‌ای تمامی ارزش‌های عملکردی، یک باشد، این گزینه، بهترین انتخاب خواهد بود. این مقاله، سری مرجع هدف را به‌صورت $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0j}, \dots, x_{0n}) = (1,1,\dots 1,\dots,1)$ تعریف می‌کند و آنگاه به جستجوی گزینه‌ای می‌پردازد که سری های مقایسه‌ای‌اش، نزدیک‌تر به این سری هدف باشند.

محاسبه ضریب رابطه‌ای خاکستری[2]: ضریب رابطه‌ای خاکستری برای تعیین نزدیکی x_{ij} به x_{0j} مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچه ضریب رابطه‌ای خاکستری، بزرگ‌تر باشد x_{ij} به x_{0j} نزدیک‌تر است. ضریب رابطه‌ای خاکستری را با استفاده از رابطه (۱۳) می‌توان محاسبه نمود:

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta Min + \zeta \Delta Max}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta Max} \qquad i = 1,2,\dots m \;\; j = 1,2,\dots,n \qquad (۱۳)$$

1. Reference Sequence Definition
2. Grey Relational Coefficient Calculation

در رابطه (۱۳)، $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ ضریب رابطه‌ای خاکستری میان x_{ij} و x_{0j} را نشان می‌دهد که در آن:

$$\Delta_{ij} = x_{0j} - x_{ij}$$
$$\Delta Min = Min\{\Delta_{ij}, i = 1,2,\dots,m; j = 1,2,\dots,n\}$$
$$\Delta Max = Max\{\Delta_{ij}, i = 1,2,\dots,m; j = 1,2,\dots,n\}$$

$\zeta \epsilon [0,1]$ = ضریب تشخیص

هدف از به کارگیری ضریب تشخیص، گسترش یا محدود ساختن دامنه ضریب رابطه خاکستری است.

محاسبه رتبه رابطه‌ای خاکستری[1]: پس از محاسبه تمامی ضرائب رابطه‌ای خاکستری $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ ، رتبه رابطه‌ای خاکستری را با استفاده از رابطه (۱۴) می‌توان محاسبه نمود:

$$\Gamma(x_0, x_i) = \sum_{j=1}^{n} w_{j\gamma}\left(x_{0j}, x_{ij}\right) \qquad i = 1,2,\dots,m \qquad (۱۴)$$

رابطه (۱۴)، رتبه رابطه‌ای خاکستری را بین x_i و x_0 نشان می‌دهد. در واقع، این عبارت، میزان همبستگی سری مرجع هدف و سری مقایسه‌ای را نشان می‌دهد. w_j ، وزن شاخص j است که معمولاً به قضاوت تصمیم‌گیرنده یا به ساختار مساله پیشنهادی بستگی دارد. به علاوه، $\sum_{j=1}^{n} wj = 1$ [۷]. همان‌طور که پیشتر ذکر شد، بر روی هر شاخص، سری مرجع هدف، نشان‌دهنده بهترین عملکردی است که در میان سری‌های مقایسه‌ای قابل حصول است. بنابراین، اگر یک سری مقایسه‌ای برای یک گزینه، بالاترین رتبه رابطه‌ای خاکستری را با سری مرجع هدف داشته باشد، بدین معناست که این سری مقایسه‌ای، دارای بیشترین شباهت با سری مرجع هدف است و لذا این گزینه، بهترین انتخاب است.

تحلیل رابطه‌ای خاکستری، تا کنون، با موفقیت در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره به کارگرفته شده است، از جمله تصمیم‌گیری برای استخدام [۱۸]، بازرسی قطعات در صنعت نیمه هادی‌ها [۱۳]، تصمیم‌گیری چند شاخصه [۲۳]، بررسی خرابی‌های برش‌های تکه‌های نازک سیلیکون [۱۵]، ترکیب تحلیل رابطه‌ای خاکستری و تحلیل پوششی داده‌ها برای انتخاب بهترین ترکیب استقرار ماشین آلات [۱۴].

تصمیم‌گیری چند هدفه

در شرایط واقعی، وضعیت‌هایی رخ می‌دهد که یک مدل ریاضی که تنها یک هدف دارد، بیانگر واقعیت و خواسته‌های مورد نظر تصمیم گیرنده نبوده که این امر، کارایی و مطلوبیت نتایج را کاهش می‌دهد. در عالم واقع، مسائل بسیاری را می‌توان یافت که تحت تأثیر چند هدف قرار می‌گیرند و بعید

1. Grey Relational Grade Calculation

نیست که هدف هر قسمت با اهداف قسمت‌های دیگر، متفاوت و گاه متضاد باشد. شکل ریاضی مسائلی با اهداف چندگانه به صورت زیر است:

$$Max(Min)Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_p]$$
$$Z_1 = Z_1(x_j)$$
$$Z_2 = Z_2(x_j)$$
$$\vdots$$
$$Z_p = Z_{p1}(x_j)$$

St:

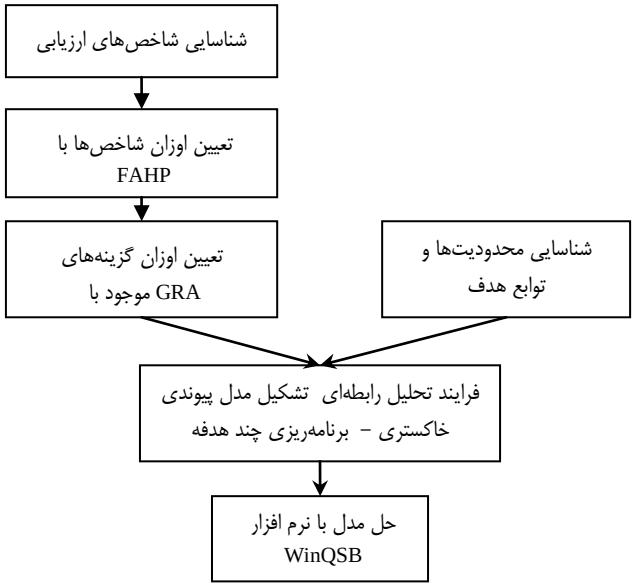
$$g_i(x_j) \le b_i \qquad i=1,2,\dots,m$$
$$x_j \ge 0 \qquad j = 1,2,\dots,n$$

جواب ایده‌آل برای این مدل، مجموعه مقادیر اختصاص یافته به متغیرهای تصمیم است که در تمامی محدودیت‌ها صدق کند و چند تابع هدف را همزمانی حداکثر (حداقل) کند. با این همه، جوابی موجه که بتواند یک هدف را بهینه کند، به علت وجود اهداف متضاد در مدل، ممکن است نتواند سایر اهداف را بهینه نماید. لذا در این گونه مسائل، بهینه شدن یک هدف، لزوماً به معنای بهینه شدن تمامی توابع هدف و مسأله نیست شیوه‌های متفاوتی برای حل این گونه مسائل پیشنهاد شده است که یکی از آنها برنامه‌ریزی آرمانی[1] است. همان‌طور که از نام این روش پیداست، در برنامه‌ریزی آرمانی، تصمیم‌گیرنده، یک آرمان را برای هر هدف تعیین می‌کند و میزان انحراف توابع هدف از آرمان را حداقل می‌کند [۱۲]. در این مقاله، با توجه به وجود اهداف چندگانه و احتمالاً متضاد، از این روش برنامه‌ریزی برای دستیابی به جواب بهینه، یعنی انتخاب شرکای شرکت در زمینه طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر استفاده شده است.

روش تحقیق

همان‌طور که پیشتر ذکر شد، برای انتخاب چندین شرکت برتر در زمینه به‌کارگیری فن‌آوری طراحی، ساخت و مهندسی به کمک کامپیوتر، ابتدا با توجه به ادبیات موجود در این زمینه [۱، ۶، ۲۱] چند شاخص شناسایی شدند. سپس با استفاده از تکنیک "فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی"، اوزان این شاخص‌ها تعیین خواهد شد و مدل "تحلیل رابطه‌ای خاکستری" وارد خواهند شد. در مرحله بعد، خروجی این مرحله به عنوان ضرائب تابع هدف در مدل برنامه‌ریزی چند هدفه صفر و یک لحاظ خواهد شد؛ با در نظر گرفتن محدودیت‌ها، مدل نهایی حل خواهد شد؛ و بهترین شرکت‌های به‌کارگیرنده فن‌آوری طراحی، ساخت و مهندسی به کمک کامپیوتر به عنوان همکاران شرکت انتخاب خواهند گردید. پس از ارزیابی اولیه، ده شرکت دارای فن‌آوری طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر، به عنوان گزینه‌های همکاری، انتخاب خواهند شد. در شکل ۳، فرایند تدوین و حل مدل نشان داده شده است.

1.Goal Programming



شکل ۳. فرایند تدوین و حل مدل

شناسایی شاخص‌ها

برای سنجش وضعیت فعال در زمینه طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر، چهار شاخص ـ زمان تولید، هزینه متغیر تولید، ضایعات، و قابلیت اطمینان در زمان تحویل در نظر گرفته شده است که در ادامه به تعاریف عملیاتی شاخص‌ها اشاره می‌شود. جدول یک، داده‌های مربوط به هر شاخص در هر شرکت را نشان می‌دهد.

زمان تولید: برای زمان سنجی تولید محصول در چنین شرایطی می‌بایست محصولات تولید شده را در پایگاه‌های اطلاعاتی جستجو کرد و قطعاتی را انتخاب نمود که دارای همسانی در موارد زیر باشد: الف) مشابه بودن حجم براده برداری، ب) مشابه بودن تعداد ابزارهای استفاده شده برای براده برداری و مشابه بودن هندسه آنها، ج) مشابه بودن جنس قطعه، د) مشابه بودن پرداخت سطوح.

هزینه متغیر تولید: برای بررسی ارتباط هزینه متغیر تولید با میزان به‌کارگیری فن‌آوری طراحی و تولید به کمک کامپیوتر می‌بایست هزینه تولید قطعات در شرکت‌های مختلف ـ که دارای سطوح مختلف به‌کارگیری فن‌آوری طراحی و تولید به کمک کامپیوتر هستند را جمع آوری و تجزیه و تحلیل کرد. برای محاسبه هزینه متغیر پروژه‌ها (قطعات) از اطلاعات مربوط به قیمت تمام شده آنها استفاده می‌شود. محاسبه قیمت تمام شده در طرح‌های عمرانی، بر اساس تعرفه‌ای به‌نام فهرست بهاء صورت می پذیرد. لازم به توضیح است که اساس محاسبه قیمت تمام شده در بیشتر قالب‌سازی‌ها و آنهایی که قطعات و مجموعه‌های صنعتی را بر حسب سفارش مشتری تولید می‌نمایند، ارتباط شدیدی با مدت زمان تولید محصول دارد.

ضایعات: در ادبیات مدیریت تولید نوین، به هر گونه فعالیتی که ارزش افزوده ایجاد نکند، ضایعات گفته می‌شود. برای بررسی ضایعات در شرکت‌های مختلف، از مفهوم ضایعات، نوع دورریز آن مورد نظر می‌باشد و اقدام به جمع آوری آمارهای مربوط گردیده است. دورریز عبارت است از مواد در جریان ساخت (یا محصولی) که با الزامات تعریف شده تطابق ندارد و قابلیت اصلاح نیز ندارد. با توجه به بررسی اسناد و مدارک موجود در شرکت‌ها، میانگین ضایعات موجود در شرکت‌ها جمع‌آوری شده است.

قابلیت اطمینان در زمان تحویل: تأخیر در زمان تحویل سفارش موجب افزایش هزینه و ناخشنودی مشتریان می‌شود. برای بررسی این متغیر، تعدادی سفارش از هر شرکت بررسی شده است. واحد اندازه‌گیری در این بررسی، "روز" است. جدول یک، اطلاعات شرکت‌ها در باره هر یک از شاخص‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول ۱. داده‌های هر شاخص در هر شرکت

شرکت	زمان تولید	هزینه متغیر	ضایعات	قابلیت اطمینان در زمان تحویل
۱	۲۲۹/۱۶	۶/۰۰۹	۰/۳۳۳	۰/۰۹
۲	۲۸۲/۱۴	۵/۵۷	۰/۱۶۶	۰/۶
۳	۲۲۴	۵/۸۵۳	۰/۱۶۶	۰/۵
۴	۲۲۱/۲۵	۵/۱۵۲	۰/۴۱۶	۰/۹
۵	۲۳۱/۲۵	۵/۹۸۵	۰/۵	۱/۳
۶	۳۳۹/۸	۶/۴۴۴	۰/۷۵	۱/۱
۷	۲۱۷/۵	۵/۰۵	۰/۸۳	۰/۴
۸	۲۱۱/۶۶	۴/۸۹۸	۰/۲۵	۰/۶
۹	۳۳۶/۲۵	۷/۲۸	۰/۵	۰/۹
۱۰	۳۴۸	۷/۳۷	۰/۳۳۳	۰/۶

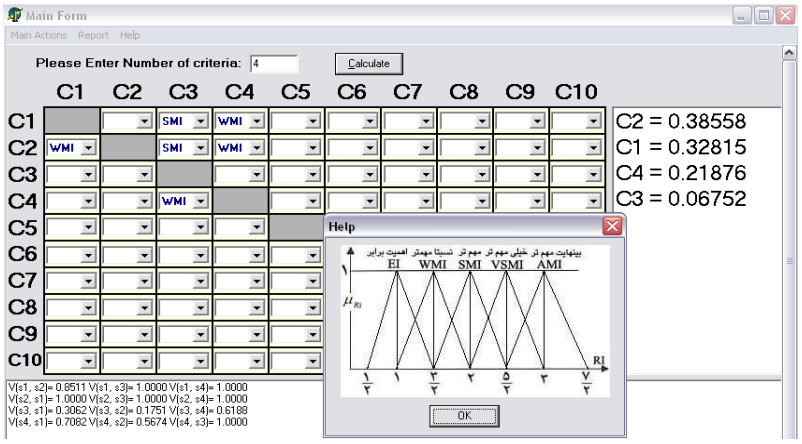
تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای محاسبه اوزان شاخص‌ها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، کارگروهی تخصصی مرکب از مدیر عامل و مدیران بخش‌های مختلف شرکت شکل گرفت. در جدول ۲، مقایسات زوجی اعضای کارگروه تخصصی آمده است. در جدول ۲، C_1، زمان تولید؛ C_2، هزینه متغیر؛ C_3، ضایعات؛ و C_4، قابلیت اطمینان در زمان تحویل می‌باشد.

جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از اعداد فازی مثلثی

	c_1	c_2	c_3	c_4
c_1	$(1\ 1\ 1)$	$\left(\frac{1}{2}\ \frac{2}{3}\ 1\right)$	$\left(\frac{3}{2}\ 2\ \frac{5}{2}\right)$	$\left(1\ \frac{3}{2}\ 2\right)$
c_2	$\left(1\ \frac{3}{2}\ 2\right)$	$(1\ 1\ 1)$	$\left(\frac{3}{2}\ 2\ \frac{5}{2}\right)$	$\left(1\ \frac{3}{2}\ 2\right)$
c_3	$\left(\frac{2}{5}\ \frac{1}{2}\ \frac{2}{3}\right)$	$\left(\frac{2}{5}\ \frac{1}{2}\ \frac{2}{3}\right)$	$(1\ 1\ 1)$	$\left(\frac{1}{2}\ \frac{2}{3}\ 1\right)$
c_4	$\left(\frac{1}{2}\ \frac{2}{3}\ 1\right)$	$\left(\frac{1}{2}\ \frac{2}{3}\ 1\right)$	$\left(1\ \frac{3}{2}\ 2\right)$	$(1\ 1\ 1)$

با توجه به حجم زیاد محاسبات و لزوم دقیق بودن آن برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، نرم‌افزاری فازی طراحی شد که با دریافت اطلاعات حاصل از مقایسات زوجی، کلیه محاسبات فازی را انجام می‌دهد و رتبه بندی نهایی را ارائه می‌نماید[1]. داده‌های جدول ۲ در نرم افزار فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی وارد شدند و اوزان زیر برای شاخص‌ها به دست آمد. در شکل ۴، صفحه نمایش نرم افزار فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و اوزان به‌دست آمده از نرم افزار ارائه شده است. خروجی نرم افزار به این صورت است: هزینه متغیر = ۰/۳۸۵۵۸، زمان تولید = ۰/۳۲۸۱۵، قابلیت اطمینان = ۰/۲۱۸۷۶ و ضایعات = ۰/۰۶۷۵۲.



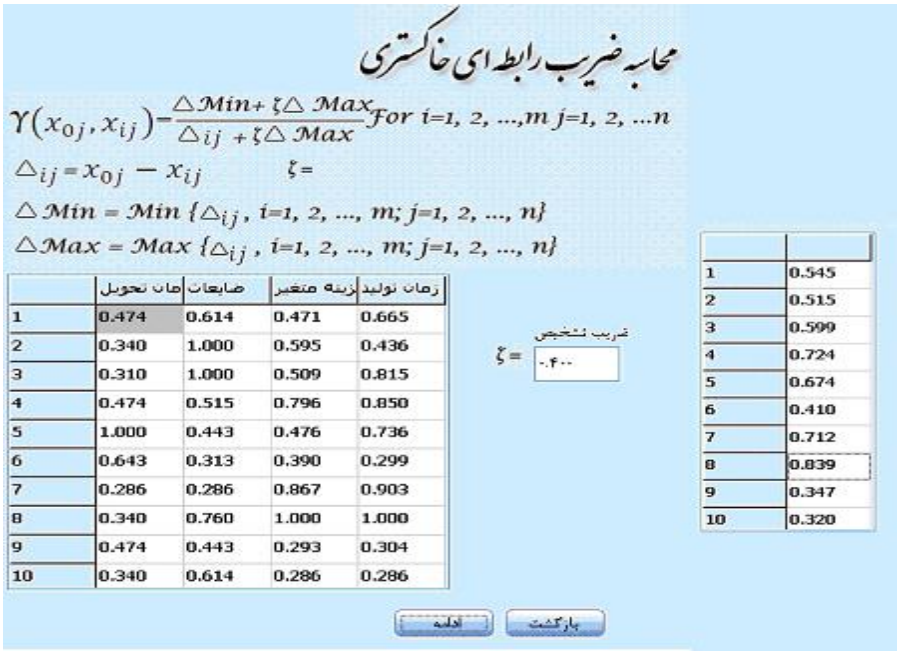
شکل ۴. خروجی حاصل از نرم افزار فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

1. http://www.pom.ir/?p=854

تحلیل رابطه‌ای خاکستری

در این مرحله، برای دقت و سهولت در محاسبات نرم‌افزار، تحلیل رابطه‌ای خاکستری طراحی شده است[1] که داده‌های ورودی این نرم‌افزار، مندرجات جدول ۱ و اوزان به‌دست آمده از نرم‌افزار فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی هستند. نحوه معرفی شاخص‌ها و گزینه‌ها و محاسبه ضریب خاکستری به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود.

شکل ۵. معرفی شاخص‌ها و گزینه‌ها در نرم افزار تحلیل رابطه‌ای خاکستری



	زمان تولید	هزینه متغیر	ضایعات	مان تحویل
1	0.665	0.471	0.614	0.474
2	0.436	0.595	1.000	0.340
3	0.815	0.509	1.000	0.310
4	0.850	0.796	0.515	0.474
5	0.736	0.476	0.443	1.000
6	0.299	0.390	0.313	0.643
7	0.903	0.867	0.286	0.286
8	1.000	1.000	0.760	0.340
9	0.304	0.293	0.443	0.474
10	0.286	0.286	0.614	0.340

1	0.545
2	0.515
3	0.599
4	0.724
5	0.674
6	0.410
7	0.712
8	0.839
9	0.347
10	0.320

شکل ۶. محاسبات مربوط به ضریب رابطه‌ای خاکستری

1. http://www.pom.ir/?p=936

برنامه‌ریزی چند هدفه

از آنجا که هدف شرکت، امضای قرارداد همکاری با بیش از یک شرکت است، نتایج تحلیل رابطه‌ای خاکستری که در مرحله قبل به‌دست آمده است، به تنهایی برای انتخاب شرکت‌ها کافی نیست. با به‌کارگیری روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی می‌توان شرکت‌های برتر را انتخاب نمود. در این مرحله می‌توان خروجی نرم‌افزار تحلیل رابطه‌ای خاکستری را به عنوان داده‌های مدل برنامه‌ریزی چند هدفه صفر و یک در قالب ضرائب تابع هدف حداکثرسازی مطلوبیت حاصل از قراردادها وارد نمود. جدول ۳، دربردارنده تعاریف عملیاتی پارامترهاست:

جدول ۳. تعاریف عملیاتی پارامترها

پارامتر	تعریف عملیاتی	پارامتر	تعریف عملیاتی
n	تعداد شرکت‌های مورد بررسی	TL_i	زمان مورد نیاز برای مذاکره
W_i	امتیاز نهایی شرکت i ام	TL	حداکثر زمان در دسترس شرکت
T_i	زمان تولید شرکت i ام	b_i	بودجه مورد نیاز برای مذاکره
V_i	هزینه متغیر تولید شرکت i ام	B	حداکثر بودجه در دسترس شرکت
S_i	ضایعات شرکت i ام	L	حداقل تعداد شرکت مورد نظر
A_i	ضریب قابلیت اطمینان شرکت i ام	U	حداکثر تعداد شرکت مورد نظر

همچنین در این مدل برای به حداقل رساندن زمان تولید، هزینه متغیر تولید، و ضایعات و به حداکثر رساندن قابلیت اطمینان در زمان تحویل می‌توان چند تابع هدف را تعریف نمود. از آنجا که هدف نهایی در مدل پیشنهادی، انتخاب چند شرکت برتر است، متغیر تصمیم x_i (شرکت) در نظر گرفته می‌شود. ماهیت متغیر x_i، از نوع صفر و یک (انتخاب یا عدم انتخاب شرکت i ام برای امضای قرارداد همکاری) است. جدول ۴، دربردارنده تعاریف توابع هدف و محدودیت‌هاست.

جدول ۴. تعریف توابع هدف و محدودیت‌ها

تعاریف عملیاتی توابع هدف و محدودیت‌ها	توابع هدف و محدودیت‌ها
حداکثر کردن امتیازات نهایی در تحلیل رابطه‌ای خاکستری شرکت‌ها	تابع هدف Z_1
حداقل کردن زمان تولید	تابع هدف Z_2
حداقل کردن هزینه متغیر تولید	تابع هدف Z_3
حداقل کردن ضایعات	تابع هدف Z_4
حداکثر کردن ضرائب قابلیت اطمینان در زمان تحویل برای شرکت مربوطه	تابع هدف Z_5
محدودیت در سیاست شرکت برای انتخاب حداقل ۳ و حداکثر ۴ شرکت	محدودیت ۱
محدودیت در زمان در دسترس شرکت برای امضای قراردادهای همکاری	محدودیت ۲
محدودیت در حداکثر بودجه در دسترس شرکت برای امضای قراردادهای همکاری	محدودیت ۳

$MaxZ_1 = \sum_{i=1}^{n} W_i X_i$	تابع هدف ۱	Subject to:	
$MinZ_2 = \sum_{i=1}^{n} T_i X_i$	تابع هدف ۲	$L \le \sum_{i=1}^{n} X_i \le U$	محدودیت ۱
$MinZ_3 = \sum_{i=1}^{n} V_i X_i$	تابع هدف ۳	$\sum_{i=1}^{n} TL_i X_i \le TL$	محدودیت ۲
$MinZ_4 = \sum_{i=1}^{n} S_i X_i$	تابع هدف ۴	$\sum_{i=1}^{n} b_i X_i \le B$	محدودیت ۳
$MaxZ_5 = \sum_{i=1}^{n} A_i X_i$	تابع هدف (۵)	$X_i = 0 \ \ or \ \ 1$	

در این مسأله، نخست هر یک از توابع هدف را مستقل از سایر توابع در نظر گرفتیم و با توجه به محدودیت‌های کارکردی، مسأله برنامه‌ریزی خطی تک هدفه را حل کردیم و مقدار بهینه حاصل را به عنوان آرمان آن تابع هدف به شمار آوردیم. ضرائب متغیرها در تابع هدف اول، بر اساس نتایج مدل تحلیل رابطه‌ای خاکستری به دست آمده است و در سایر توابع هدف از جدول (۱) استخراج گردیده است. ضرائب متغیرها در محدودیت دوم (تعداد روزهای مورد نیاز برای مذاکره و امضای قرارداد همکاری با شرکت i ام) را شرکت مربوطه برآورد کرده است. ضرائب متغیرها در محدودیت سوم ـ که بر حسب میلیون ریال برآورده شده است. بی‌مقیاس و نسبی تعیین شده است. فرض بر این است که شرکت مایل است نیمی از کل بودجه در دسترس را بدین منظور استفاده نماید. با جایگذاری مقادیر پارامترها در مدل خواهیم داشت:

(۱)

$$MaxZ_1 = 0.545x_1 + 0515x_2 + 0.599x_3 + 0.724x_4 + 0.674x_5 + 0.410x_6 + 0.712x_7 \\ 0.839x_8 + 0.347x_9 + 0.320x_{10}$$

(۲)

$$MinZ_2 = 239.16x_1 + 282.14x_2 + 224x_3 + 221.25x_4 + 232.25x_5 + 339.8x_6 + 217.5x_7 \\ 211.66x_8 + 336.25x_9 + 348x_{10}$$

(۳)

$$MinZ_3 = 6.0009x_1 + 5.57x_2 + 5.853x_3 + 5.152x_4 + 5.985x_5 + 6.444x_6 + 5.05x_7 \\ 4.898x_8 + 7.28x_9 + 7.37x_{10}$$

(۴)

$$MinZ_4 = 0.333x_1 + 0.166x_2 + 0.166x_3 + 0.416x_4 + 0.5x_5 + 0.75x_6 + 0.83x_7 \\ 0.25x_8 + 0.5x_9 + 0.333x_{10}$$

(۵)

$$MaxZ_5 = 0.9x_1 + 0.6x_2 + 0.5x_3 + 0.9x_4 + 1.3x_5 + 1.1x_6 + 0.4x_7 \\ 0.6x_8 + 0.9x_9 + 0.6x_{10}$$

ST:

$$3 \le x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} \le 4$$

$$15x_1 + 21x_2 + 30x_3 + 14x_4 + 30x_5 + 21x_6 + 21x_7 + 30x_8 + 7x_9 + 14x_{10} \le 80$$

$$0.07x_1 + 0.05x_2 + 0.008x_3 + 0.015x_4 + 0.01x_5 + 0.04x_6 + 0.012x_7 + 0.02x_8 \\ + 0.002x_9 + 0.001x_{10} \le 0.5$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10} = 0 \quad or \quad 1$$

با به‌کارگیری نرم‌افزار WINQSB[1] [۲۴] این مدل حل می‌شود و بر اساس خروجی‌های نرم‌افزار، متغیرها (x_1, x_4, x_7, x_8) انتخاب می‌شوند. این چهار متغیر، به ترتیب، نماینده شرکت‌های شماره ۴،۱، ۷ و ۸ هستند که به عنوان همکار تجاری بلندمدت انتخاب می‌شوند. نتایج حل مدل در جدول ۵ خلاصه گردیده است.

1. Quantitative System for Business

جدول ۵. نتایج حل مساله برنامه‌ریزی چند هدفه صفر و یک

مقدار بهینه توابع هدف	مقادیر آرمانها	مقدار متغیرهای انحراف از آزمان منفی	مقدار متغیرهای انحراف از آرمان مثبت
$Z_1 = 2.82$	$G_1 = 2.82$	$d_1^- = 0$	$d_1^+ = 0$
$Z_2 = 889.57$	$G_2 = 650.41$	$d_2^- = 0$	$d_2^+ = 239.16$
$Z_3 = 21.11$	$G_3 = 15.10$	$d_3^- = 0$	$d_3^+ = 6.01$
$Z_4 = 1.83$	$G_4 = 0.67$	$d_4^- = 0$	$d_4^+ = 1.16$
$Z_5 = 2.80$	$G_5 = 4.2$	$d_5^- = 1.4$	$d_5^+ = 0$
مقدار بهینه متغیرهای تصمیم			
$x_1 = 1$	$x_2 = 0$	$x_3 = 0$	$x_4 = 1$
$x_5 = 0$	$x_6 = 0$	$x_7 = 1$	$x_8 = 1$
	$x_9 = 0$	$x_{10} = 0$	

نتیجه‌گیری

امروزه صنایع به سوی فن‌آوری‌هایی پیش می‌روند که بتوانند هم سرعت تولید و هم کیفیت محصولات را افزایش دهند. لذا لزوم بهره‌گیری از کامپیوتر و توانمندی‌های آن در محاسبات پیچیده و ذخیره اطلاعات و تلرانس‌ها به اثبات رسیده است طراحی، تولید و مهندسی به کمک کامپیوتر، یکی از نوین‌ترین فن‌آوری‌هایی است که در عرصه وسیعی از صنایع و علوم کاربرد دارد. بسیاری از سازمان‌های تولیدی و خدماتی برای تولید کالا و یا عرضه خدمات و به عبارت کلی، برای عرضه محصول خود، وابسته به یکدیگر هستند و اگر باور داشته باشیم که استمرار موفقیت هر سازمان در گرو مرغوبیت و کیفیت برتر نسبت به رقابت، به خوبی در می‌یابیم که چنین مزیتی به دست نمی‌آید یا استمرار نمی‌یابد مگر آنکه شرکای شرکت‌ها نیز دارای سطح مرغوبیت و کیفیت برتر باشند.

با توجه به رویکرد حاکم در جهان در زمینه همکاری و استفاده از ظرفیت‌ها و توانایی‌های یکدیگر، شرکت مژده وصل شیراز، یکی از اهداف مهم خود را توسعه فن‌آوری طراحی - مهندسی ساخت قطعات قرار داده است که این هدف را در قالب "راهبرد یکپارچگی رو به جلو (پایین) با شرکت‌های تأمین‌کننده مادر به منظور تعمیق و مستحکم نمودن روابط فی‌مابین و توسعه فن‌آوری طراحی ـ ساخت به کمک کامپیوتر "فرموله نموده است. برای اجرایی کردن این راهبرد، در این مقاله تلاش شد از بین ۱۰ شرکت قالب‌ساز و قطعه‌ساز کشور که از فن‌آوری طراحی و تولید به کمک کامپیوتر در طراحی و ساخت محصولات خود بهره می‌گیرند، ۳ یا ۴ شرکت به عنوان همکار تجاری شرکت یاد شده انتخاب شوند. برای کاهش ریسک انتخاب، شناسایی، انتخاب و ارزیابی این شرکای تجاری بر اساس یک فرایند نظام‌مند و علمی پایه‌ریزی و اجرا گردید؛ به این صورت که

مدلی کارا بر اساس ترکیب تحلیل سلسله مراتبی فازی، تحلیل رابطه‌ای خاکستری و برنامه‌ریزی چند هدفه عدد صحیح ارائه گردید. نهایتاً نتایج زیر به دست آمد:

- استفاده از مدل‌های ترکیبی گاه موجب پوشاندن شدن نقایص یک روش توسط روش‌های دیگر می‌شود. لذا استفاده از مدل‌های ترکیبی برای افزایش اعتبار نتایج تحلیل‌های کمی و کیفی پیشنهاد می‌گردد.
- با توجه به نقش حساس و تعیین‌کننده انتخاب همکاران تجاری در زنجیرهٔ تأمین برای کسب مزایای رقابتی، تلاش برای بهبود مدل‌های تصمیم‌گیری در این زمینه، از اهمیت فراوانی برخورار است. استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به علت استفاده از معیارهای کمی و کیفی و گاه متناقض در آنها و همچنین استفاده از نظر خبرگان، نیازمند یک سیستم پشتیبانی از تصمیم است. با توجه به نتایج این پژوهش و پژوهش‌های دیگر، به نظر می رسد روش‌های بهینه‌سازی ریاضی، این نیاز را به خوبی برطرف می‌سازند.

منابع

1. Abduel Nasr, E.S, Kamrani, A.K, (2006) "A new methodology for extracting manufacturing features from CAD system" *Computers & Industrial Engineering*, 51, 389–415.
2. Bimal Nepal, Om P. Yadav, Alper Murat (2010) "A fuzzy-AHP approach to prioritization of CS attributes in target planning for automotive product development" *Expert Systems with Applications*, 37(10), 6775-6786.
3. Boothroyd, G. Dewhurst, P. (1983) "Design for assembly: A designer's Handbook" *Amgerst, MA: University of Massachusetts.*
4. Culler, D.E, Burd, W, (2007) "A framework for extending computer aided process planning to include business activities and computer aided design and manufacturing (CAD/CAM) data retrieval" *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, (23), 339–350.
5. Deng, J. L., (1982) "Control problems of grey system" *Systems and Control letters*, 1, 288-294.
6. Ding, L, Matthews, J, (2009) "A contemporary study into the application of neural network techniques employed to automate CAD/CAM integration for die manufacture" *Computers & Industrial Engineering*, 57 ,1457–1471
7. Fung, C. P. (2003) "Manufacturing process optimization for wear property of fiber-reinforced polybutylene terephthalate composites with grey relational analysis" *Wear*, 254, 298–306.
8. Groover, M. (1980) "Automation, Production Systems, and Computer Aided Manufacturing" Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Lnc.
9. Harhen, J. and Brown, J. (1984) "Production activity control: a key node in CIM" Strategies for Design and Economic Analysis of Computer Supported Production Management Systems, Edite by H. Hubner. Amsterdam: North Holland.
10. Hong-Xing Li (1995) "Fuzzy Sets and Fuzzy Decision-making" Publisher: CRC- Press; 1st edition.
11. Huang, J. T., & Liao, Y. S. (2003) "Optimization of machining parameters of Wire-EDM bases on grey relation and statistical analysis" *International Journal of Production Research*, 41, 1707–1720.
12. Hwang, Ching-Lai & Masud, Abu syed Md. (1978) "Multi Objective Decision Making Methods and Applications" Springer – Verlog.
13. Jiang, B. C., Tasi, S. L., & Wang, C. C. (2002) "Machine vision-based grey relational theory applied to IC marking inspection" *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 15, 531–539.
14. Kuo, Yiyo. Yang, Taho and Huang, Guan-Wei. (2008) "the use of grey relational analysis in solving multiple attributes decision-making problems" *Computers & Industrial Engineering*, 55, 80–93.
15. Lin, C. T., Chang, C. W., & Chen, C. B. (2006) "The worst ill-conditioned silicon wafer machine detected by using grey relational analysis" *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31, 388–395.
16. MacMahon, C. and Brown, J. (1993) "CADCAM: From Principle to Practice" Wokingham: Adisson-Wesley Publishing Co.
17. Mora´n, J., Granada, E., Mı´guez, J. L., & Porteiro, J. (2006) "Use of grey relational analysis to assess and optimize small biomass boilers" *Fuel*

Processing Technology, 87, 123–127.
18. Olson, D. L., & Wu, D. (2006) "Simulations of fuzzy multi attribute models for grey relationships" *European Journal of Operational Research*, 175, 111–120.
19. Saaty T.L., Vergas L.G. (2006) "Decision Making with The analytic Network Process Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks" Springer Publications.
20. Soliman, F. and Clegg, S. (2001) "Critical Success Factors for Integration of CAD/CAM Systems with ERP Systems" *Journal of Operation &Production Management*, 609-629.
21. Theodoroua, P., Floroub, G. (2008) "Manufacturing strategies and financial performance - the effect of advanced information technology: CAD/CAM systems" *Omega*, 36, 107–121.
22. Wang, H.F. Zhang, Y.L. (2002) "CAD/CAM Integrated System in Collaborative Development Environment" *Robotic and Computer Integrated Manufacturing*, 18,135-147.
23. Wu, H. H. (2002) "A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems" *Quality Engineering*, 15, 209–217.
24. Yih-Long Chang, Kiran Desai (2003) "WinQSB (Quantitative System for Business is an interactive decision support system)" Publisher: Wiley.