دانش مدیریت، سال ۲۱، شماره ۸۱، تابستان ۱۳۸۷، از صفحه ۱۱۱ تا ۱۲۶

اثرات متعارض شاخص‌های فنی محصول بر خواسته‌های مشتری (کاربرد MODM در QFD)

[۱] داوود کریمي دستجردي*، [۲] کیخسرو یاکیده

۱. استادیار گروه مدیریت صنعتي، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، ایران
۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتي، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸٦/۸/۳۰، تاریخ تصویب: ۱۳۸۷/۳/۲۴)

چکیده

QFD مکانیزمی است برای ترجمه صدای مشتری به ویژگی‌های محصول در مراحل مختلف طرح‌ریزی، مهندسی و ساخت محصول که به طور گسترده‌ای توسط شرکت‌های مدرن در سراسر جهان به‌کارگرفته شده است. به موازات اقبال به این تکنیک طیف گسترده‌ای از تلاش‌های آکادمیک معطوف به بهبود و تکمیل این تکنیک شده است. اکنون روش‌های سنتی تعیین اهمیت نسبی عوامل در **QFD** جای خود را به روش‌هایی با مبنای مستحکم ریاضی مثل **AHP** و **ANP** داده‌اند و تلاش‌های گسترده‌ای صرف ارایه روش‌های نظام‌مند برای تعیین مقادیر شاخص‌های فنی شده است. این مقاله، مدل جدیدی برای تعیین مقادیر شاخص‌های فنی بر مبنای بر نامه‌ریزی آرمانی ارائه می‌دهد که در آن اثرات متعارض شاخص‌های فنی بر خواسته‌های مشتری که پیشتر به آن توجه نشده، مورد ملاحظه قرار می‌گیرد.

واژه‌هاي كليدي: برنامه‌ریزي آرماني، بي مقياس‌سازي فازي

* نویسنده مسئول: Email: dkarimy@ut.ac.ir

۱. مقدمه

QFD روشي براي توسعه محصول زير چتر كنترل كيفيت جامع است[۱]. مفهوم اساسي اين روش ترجمه صداي مشتري به طرح محصول يا ويژگي‌هاي مهندسي و به همين ترتيب به ويژگي‌هاي قطعات، برنامه‌هاي فرآيند و الزامات توليد است [۱۲]. آكائو واضع اين روش، اصرار دارد كلمه function در اصطلاح QFD در زبان انگليسي بد تعبير شده است و اين كلمه در واقع به تحليل وظايف در فرآيند توسعه محصول بر مي‌گردد كه هدف آن بهبود كيفيت خود فرآيند است و مراد از آن كاركردهاي محصول نيست [۱]. با اين رويكرد QFD روشي ساختار يافته براي ترجمه نيازهاي مشتري به الزامات فني مناسب در هر مرحله از فرآيند طراحي و توسعه محصول است [۹] كه به شركت اجازه مي‌دهد تا براساس نيازهاي مشتري، منابع را تخصيص و مهارت‌ها و وظايف را هماهنگ كند[۷]. نوعاً سيستم QFD را مي‌توان با چهار مرحله به هم مرتبط نشان داد كه هر مرحله به وسيله يک ماتريس از چه‌ها و چگونه‌ها تشكيل مي‌شود [۳]. در نخستين مرحله از اين سيستم خواسته‌هاي مشتري به شاخص‌هاي فني تبديل مي‌شوند و سپس براي هر شاخص فني يک مقدار تعيين مي‌گردد.

۱. مرور ادبيات

كاربران سنتي QFD براي تعيين مقادير شاخص‌هاي فني بيشتر ذهني عمل مي‌كردند [۱۳] اما از سال ۱۹۹۷ به اين سو تعيين اين مقادير با رويكرد به كسب حداكثر رضايت مشتري از طريق روش‌هاي نظام‌مند مورد توجه جدي محققان قرار گرفته است. نخستين بار موسكويتز و همكارانش به منظور بهينه‌سازي طرح‌هاي محصولات از برنامه‌ريزي رياضي استفاده كردند [۱۱] پس از آن‌ها كيم و همكارانش يک مدل چند معياره ارائه نمودند [۱۰]. از مدل‌هاي قديمي‌تر هم‌چنين مي‌توان به مدل فانگ و همكارانش اشاره كرد كه به منظور تسهيل تصميمات بر روي مقادير شاخص‌هاي فني از مفاهيم فازي استفاده كردند [۴]. غالب اين مدل‌ها با رويكرد فني و بدون ملاحظه محدوديت بودجه فرموله شده بودند و در عمل به برنامه‌ريزي غير قابل اتكا در محيط QFD منجر مي‌شدند تا اين كه واسرمن با پيشنهاد يک مدل تصميم‌گيري خطي، محدوديت هزينه را در تعيين مقادير شاخص‌هاي فني مورد توجه قرار داد. تقريباً در همان زمان كه بود و فانگ مدل واسرمن را بهبود دادند [۲] [۱۳]. ژو با شكلي نسبتاً متفاوت، مدلي با كاربرد مشابه ارائه كرد [۱۷]. در ميان مدل‌هاي

قديمي كه محدوديت بودجه را لحاظ كردند مدل ژو و مدل بود و فانگ مبناي بسياري از مدل‌هاي متأخر قرار گرفت. فرم خاصي از مدل مطلوبيت به‌عنوان مبناي فرموله كردن تابع هدف، وجه مشترک عموم اين مدل‌ها ست. در اين مقاله ضمن تشريح مباني اين مدل‌ها، به نحوه بي‌مقياس‌سازي متغيرها و روش تعيين اوزان اهميت در آن‌ها توجه مي‌شود.

۲. مباني فرموله كردن تابع رضايت مشتري

مفهوم اساسي QFD در طرح‌ريزي محصول ترجمه نيازهاي مشتري به شاخص‌هاي فني مرتبط است. غالباً خواسته‌هاي مشتري با CR_i و شاخص‌هاي فني با TA_j نشان داده مي‌شود. با اين فرض اگر در مورد يک محصول خاص تعداد m خواسته مشتري و n شاخص فني شناخته شده باشد، $i = ۱, ۲, ..., m$ و $j = ۱, ۲, ..., n$ خواهد بود.

رضايت مشتري، مطلوبيتي است كه از تأمين مجموعه خواسته‌هايش حاصل مي‌شود. اين مطلوبيت تابعي از رضايت مشتري از ميزان تأمين هر يك از خواسته‌هايش مي‌باشد. بنابراين اگر ميزان رضايت كلي مشتري را با S و ميزان رضايت مشتري از هر خواسته را با s_i نمايش داده شود تابع رضايت مشتري به اين شكل خواهد بود: $S = f(s_1, s_2, ..s_m)$

ملاحظه مي‌شودكه رضايت كلي مشتري، يك تابع مطلوبيت چند شاخصه است كه بايد متناسب با ترجيحات مشتري تعريف شود. اما در صنعت معمول نيست مشتري به‌منظور محاسبه تابع مطلوبيت در معرض مصاحبه‌هاي طولاني به شكل روان‌سنجي قرار گيرد لذا عموم محققان در حوزه QFD فرم خاصي از تابع مطلوبيت را به‌كار گرفته‌اند يعني فرض كرده‌اند كه با تجميع رضايت‌هاي جزئي مي‌توان رضايت كلي مشتري را محاسبه كرد. اگر خواسته‌هاي مشتري از اهميت برابر برخوردار نباشند، تجميع رضايت‌هاي جزئي لزوماً از طريق يك جمع موزون حاصل مي‌شود. با اين منطق اگر d_i وزن هر يك از خواسته‌هاي مشتري تعريف شود تساوي زير حاصل خواهد شد[۱۴]:

$$S = \sum d_i \; s_i \quad i = ۱,۲,..m.$$

رضايت مشتري از تأمين هر خواسته در واقع مطلوبيتي است كه از تأمين آن خواسته فراهم مي‌شود اين مطلوبيت تابعي از مقادير شاخص‌هاي فني است. كيم و همكارانش اين موضوع را با اين عبارت نشان مي دهند [۱۰]:

$$y_i = f_i(X)$$

به مانند آن چه در مورد رضایت کلي گفته شد، معمول است که هر رضایت جزئي نیز جمع موزون شاخص‌هاي فني تعریف شود. اگر R_{ij} وزن شاخص فني j ام در ارتباط با خواسته i ام مشتري باشداین تساوي حاصل مي‌شود: $s_i = \sum_{j=1}^{n} R_{ij} x_j \quad , j = 1,2...n$

بنابراین رضایت کلي مشتري را نیز مي‌توان به صورت جمع موزون شاخص‌هاي فني تعریف کرد [۱۴]:

$$S = \sum_{i=1}^{m} d_i \sum_{j=1}^{n} R_{ij} x_j \Rightarrow S = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} d_i R_{ij} x_j$$

تابع هدف در غالب مدل‌ها از جمله در مدل بود و فانگ و هم‌چنین مدل ژو با همین منطق فرموله شده است. تابع هدف در مدل بود و فانگ عبارت بود از:[۲]:

$$Max\, S = \sum w_j x_j = \sum\sum w_j \gamma_{ik} r_k = \sum\sum w_j \gamma_{jk} r_k = \sum w_k^* r_k$$

مشروط بر آن که: $w_k^* = \sum w_j \gamma_{jk}$ و $w_j = \sum_{i=1} d_i R_{ij}$

در این مدل w_j وزن شاخص فني j ام، x_j درجه دستیابي به هدف در هر شاخص، γ_{jk} پارامتر منعکس‌کننده همبستگي دروني بین شاخص j ام و شاخص k ام و r_k مقدار تعهد شده شاخص k ام است.

تابع هدف در مدل ژو عبارت بود از [۱۷]: $Max \sum a_i d_i x_i$

ژو در این مدل، a_i را ضریب مطلوبیت هر شاخص فني تعریف کرده بود که با استفاده از مفاهیم فازي محاسبه مي گردید و d_i عکس فاصله تغییرات شاخص فني i ام بود که عملاً شاخص‌هاي فني را بي مقیاس مي‌کرد. قهر مان و همکارانش در سال ۲۰۰۴ از این مدل همراه با روش ANP فازي و ANP استفاده کردند و جاي ضریب مطلوبیت a_i مقدار w_i^{ANP} را قرار دادند [۷].

$$S = \sum_{i=1}^{n} w_i^{ANP} d_i x_i$$

۳-۱. بي‌مقیاس سازي

وقتي جمع موزون متغیرها به‌عنوان تابع هدف، براي محاسبه مطلوبیت به‌کار مي‌رود، فرض بر آن است که اوزان متغیرها را به مطلوبیت تبدیل مي‌کنند. به بیان دیگر فرض

مي‌شود $w_j\ x_j$ مي‌تواند ميزان مطلوبيت حاصل از مقدار x_j را نشان دهد. واضح است كه چنين مطلوبيتي علاوه بر وابستگي به ضريب w_j وابسته به سطح متغير x_j مي‌باشد و سطوح متفاوت متغير x_j عملاً مي‌تواند نقش اوزان در تابع هدف را محو كند. بنابراين $\sum w_j x_j$ تنها در شرايطي مي‌تواند بيانگر مطلوبيت باشد كه متغيرهاي x_j حدود تغييرات برابر داشته باشند. بود و فانگ اين مشكل را، با تعريف متغيير x_j به‌عنوان درجه دستيابي به هدف بر طرف كردند و محاسبات لازم براي تبديل درجه دستيابي به مقدار شاخص را به عهده كاربران گذاشتند. در مدل‌هاي مبتني بر مدل بود و فانگ از جمله در مدل جالب جيافيو تنگ و همكارانش [۱۳]، محققين مشكل را به همين طريق حل كردند. ژو متغيرهاي تابع هدف را در d_i ضرب كرده و d_i را معكوس فاصله تغييرات هر متغير تعريف مي‌كرد [۷].اما اين تدبير هر چند متغيرهاي تصميم را بي‌مقياس مي‌كند اما مشكل وابستگي به متغير، كه در حدود تغييرات متفاوت به شكل بي‌اثر شدن اوزان نمود پيدا مي‌كند را حل نمي‌كند. اين تدبير در شرايطي درست عمل مي‌كند كه $d_i x_i$ توليد حدود برابر كند اما در مسائل QFD حدود تغييرات شاخص‌هاي فني و به تبع آن مقدار d_i، از الزامات فني و رقابتي ناشي مي‌شود و تعيين آن در اختيار مدل‌ساز نيست. در مدل‌هاي مبتني بر مدل ژو از جمله در مدل قهرمان و همكارانش تلاشي براي اصلاح اين مشكل نشده است. يك راه حل اصولي براي بي مقياس‌كردن شاخص‌هاي فني در مسائل QFD كه حدود تغييرات آن‌ها در اختيار مدل‌ساز نيست، استفاده از بي‌مقياس كردن فازي است. اين روش را فانگ و همكارانش قبلاً به‌كار گرفته‌اند[۵]. با استفاده از اين نوع بي‌مقياس‌سازي حدود تغييرات همه متغيرها به فاصله $[۰,۱]$ انتقال مي يابد و از اثر ناخواسته محو شدن ا وزان اهميت جلوگيري مي‌شود.

شاخص‌هاي فني را مي‌توان به دو دسته منفي اثر و مثبت اثر تقسيم‌بندي كرد. شاخص‌هاي مثبت اثر شاخص‌هايي هستند كه افزايش آن‌ها موجب افزايش سطح رضايت مشتري مي‌شود و شاخص‌هاي منفي‌اثر شاخص‌هايي هستند كه افزايش آن‌ها موجب كاهش سطح رضايت مشتري مي‌شود. بي‌مقياس‌سازي فازي،علاوه بر انتقال حدود تغييرات متغيرها به فاصله $[۰,۱]$، امكان هم جهت كردن اين دو دسته از شاخص‌ها را نيز فراهم مي‌كند. به اين ترتيب كه مي‌توان براي شاخص‌هاي مثبت اثر از تغيير متغير $\frac{x_j^{\max} - x_j}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$ و براي

شاخص‌هاي منفي‌اثر از تغيير متغير $\frac{x_j - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$ استفاده كرد.

۳-۲. روش تعيين اوزان

اوزان در مدل بود و فانگ، منعكس‌كننده همبستگي دروني شاخص‌هاي فني نيز هستند، از اين جهت اين مدل بر مدل ژو كه فاقد چنين ملاحظه‌اي است برتري دارد. اما در ميان مدل‌هاي مبتني بر مدل بود و فانگ تلاشي براي بهبود روش‌هاي تعيين اوزان به چشم نمي‌خورد. در حالي‌كه قهرمان و همكارانش با كار برد ANP تلاش قابل ستايشي براي بهبود روش تعيين اوزان در مدل ژو كرده‌اند. مزيت روش ANP اين است كه به لحاظ رياضي مي‌توان استدلال كرد اوزان حاصل از مقايسات زوجي منعكس‌كننده شدت ترجيحا ت تصميم‌گيرنده است و صرفاً شاخص‌ها را رتبه‌بندي نمي‌كند[۱۵].

كاربرد AHP و پس از آنANP به‌عنوان روش تعيين اوزان در محيط QFD پس از آن مورد اقبال قرار گرفت كه وانگ و همكارانش پيشنهاد كردند خانه كيفيت به‌عنوان يك سيستم سلسله مراتبي در نظر گرفته شود و AHP به همراه QFD مورد استفاده قرار گيرد [۶]. پس از آن تمايل كاربران به ملاحظه همبستگي دروني شاخص‌هاي فني كه به‌طور سنتي مورد توجه بود موجب اقبال گسترده به ANP شد.

۳. اثرات متعارض شاخص‌هاي فني بر خواسته‌هاي مشتري

اگر شاخص j ام از مجموعه شاخص‌هاي فني هم برخواسته‌ي i ام مشتري مؤثر باشد و هم برخواسته $i+n$ ام مشتري، محتمل است كه افزايش مقدار شاخص j ام همزمان كه موجب ارتقاء سطح رضايت مشتري از تأمين خواسته i ام مي‌شود، منجر به كاهش سطح رضايت مشتري از خواسته $i+n$ ام گردد. در چنين شرايطي فرموله كردن تابع رضايت كلي مشتري به صورت جمع موزون رضايت‌هاي جزئي توجيه‌پذير نيست و ناگزير رضايت‌هاي جزئي بايد به صورت اهداف چندگانه در مدل فرموله شوند. اين مسئله پيشتر مورد توجه محققين قرار نگرفته است.به همين دليل در هيچ يك از مدل‌هاي مرور شده حتي در مدل تنگ و پائولي [۱۴] كه مدلي چند هدفه و آرماني است رضايت‌هاي جزئي به‌عنوان آرمان‌هاي مستقل تعريف نشده‌اند. به بيان ديگر اثرات متعارض شاخص‌هاي فني بر روي خواسته‌هاي مشتري همواره قابل اغماض فرض شده‌اند. اين اثرات متعارض قابل انكار

نيستند هر چند گاهي اوقات قابل اغماض هستند. به‌عنوان مثال در طراحي يک پنجره ساده، وقتي تصميم گرفته مي‌شود سطح شيشه‌خور پنجره به‌عنوان يک شاخص فني افزايش يابد، در حالي‌که ميزان تامين خواسته مشتري مبني بر نورگير بودن پنجره، افزايش مي‌يابد ميزان استحکام شيشه پنجره در مقابل زلزله خود به خود کاهش مي‌يابد. مي‌توان از اثر سطح شيشه‌خور بر استحکام شيشه در مقابل اثر سطح شيشه‌خور بر نورگير بودن پنجره چشم‌پوشي کرد، اما اين مقاله چنين چيزي را توصيه نمي‌کند.

به همين دليل در اين مقاله هر يک از رضايت‌هاي جزئي مشتري به‌طور مستقل فرموله‌مي شوند:

$$s_i = \sum_{j=1}^{n} T_{ij} \frac{d_j}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$$

که در آن T_{ij} وزن شاخص فني j ام با توجه به خواسته i ام مشتري است که با استفاده از منطق ANP محاسبه مي‌شود. با تعريف $d_j = x_j^{\max} - x_j$ براي شاخص‌هاي مثبت اثر و تعريف $d_j = x_j - x_j^{\min}$ براي شاخص‌هاي منفي اثر، در حالت تطبيق کامل همه شاخص‌ها با مقدار ايده‌آل s_i برابر صفر خواهد بود. بنابراين با قرار دادن صفر به جاي مقدار آرمان تابع هدف تأمين رضايت جزئي به يک محدوديت آرماني تبديل مي‌شود:

$$s_i = \sum_{j=1}^{n} T_{ij} \frac{d_j}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} - D_i^+ + D_i^- = 0$$

هدف اصلي کاهش متغيرهاي انحراف نامطلوب از آرمان يا D_i^+ است. با تخصيص اوزان هر هدف جزئي به متغيرهاي انحراف نامطلوب از آرمان، تابع هدف مدل حاصل مي‌شود:

$$Min \quad Z = \sum_{i=1}^{n} V_i D_i^+$$

با اضافه کردن حدود تغييرات مجاز براي هر متغير که مي‌تواند ناشي از الزامات فني يا رقابتي باشد و هم‌چنين محدويت بودجه مدل تکميل مي‌شود:

$$Min\,Z = \sum_{i=1}^{m} V_i\, D_i^+$$

$$\sum_{j=1}^{n} T_{ij}\, \frac{d_j}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} - D_i^+ + D_i^- = 0$$

$$x_j^{\min} \le x_j \le x_j^{\max}$$

$$\sum_{j=1}^{n} C_j\, X_j \;\le\; B$$

۴. مطالعه موردي

فيلتر گاز خشک يکي از اجزاء مهم سيستم انتقال گاز کشور است که به‌خصوص در ايستگاه‌هاي تقليل فشار گاز به‌کار گرفته مي‌شود. يك تعريف صريح از وظيفه اين نوع فيلتر جداسازي ذرات جامد موجود در جريان گازي با عبور از يك بستر متخلخل است. در اين تحقيق يک نوع از اين محصول با کمک مدل QFD مورد بررسي قرار گرفته است.

در اين تحقيق، پس از تحليل کليد واژه‌هاي حاصل از مصاحبه، خواسته‌هاي مشتري به شکل زير مشخص شدند:

۱. ارتقاء کيفيت خروجي (OQ)
۲.کاهش افت فشار(PL)
۳. افزايش عمر کارتريج (KL)
۴. افزايش دوره تخليه(IO)
۵. بهبود ابعاد ظاهري(ER).

اجراي مدل QFD بر روي اين محصول به شناسایی شاخص‌هاي فني زير منجر شد:

۱. ارتفاع کارتريج (HK)
۲. قطر بدنه (DB)
۳. قطر کارتريج (DK)
۴. قطر داخلي(DO)
۵. ضخامت کارتريج (TH)
۶. چگالي فيلتري (DEN)

۷. فاصله تا سطح ورودي (DIS)
۸. ارتفاع لجنگير (HC)
۹. ارتفاع بدنه(HB).

نگاره (۱) اثرات شاخص‌هاي فني بر خواسته‌هاي مشتري را منعكس مي‌كند. در اين نگاره علامت • به معني بي‌تأثير بودن، علامت ↗ به معني مثبت اثر بودن و علامت ↘ به معني منفي اثر بودن شاخص است.

نگاره (۱): اثرات شاخص‌هاي فني بر خواسته‌هاي مشتري

	HB	HC	DIS	DEN	TH	DO	DK	DB	HK
OQ	↗	●	↗	●	↗	↗	↗	●	●
PL	↗	↘	↘	↘	↘	↘	●	●	●
KL	↗	↗	↗	↗	↘	↘	↗	↗	●
IO	●	↗	●	●	●	●	●	↗	●
ER	●	↗	●	●	●	●	↗	↗	↘

نگاره (۲) حد بالا ، حد پائين و حدود تغييرات شاخص‌هاي فني را نشان مي‌دهد. اين حدود براساس ملاحظات فني و رقابتي تعيين شده‌اند. از اين اطلاعات براي بي‌مقياس‌سازي شاخص‌هاي فني به روش فازي استفاده مي‌شود.

نگاره (۲): حدود تغييرات شاخص‌هاي فني

HB	HC	DIS	DEN	TH	DO	DK	DB	HK	
۳۰۰۰	۴۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۷۰	۲۲۰	۳۷۰	۲۰۰۰	حد بالا
۹۰۰	۱۰۰	۲۰	۱۰۰	۲۳	۱۴۵	۱۹۰	۲۷۰	۲۰۰	حد پايين
۲۱۰۰	۳۰۰	۸۰	۱۰۰	۷۸	۲۵	۳۰	۱۰۰	۱۸۰۰	فاصله

اوزان خواسته‌هاي مشتري از طريق مقايسات زوجي تنها خريدار محصول به‌عنوان تك محصول سفارشي تعيين شده و بردار اولويت حاصل يا V_{CR} در نگاره (۳) ارائه شده است. نگاره (۴) ماتريس روابط شاخص‌هاي فني با خواسته‌هاي مشتري است.

نگاره (۳): بردار اولویت خواسته‌هاي مشتري

خواسته‌ها	OQ	PL	KL	IO	ER
بردار الویت	۰/۳۵۰۹	۰/۲۰۰۴	۰/۱۶۴۶	۰/۱۸۰۱	۰/۱۰۴۰

نگاره (۴): ماتریس روابط شاخص‌هاي فني با خواسته‌هاي مشتري

	OQ	PL	KL	IO	ER
HK	۰/۳۶۰۰	۰/۲۶۵۱	۰/۱۸۷۹	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
DB	۰/۰۰۰۰	۰/۰۶۱۰	۰/۰۵۱۹	۰/۵۰۰۰	۰/۳۷۴۷
DK	۰/۳۶۷۷	۰/۰۵۷۹	۰/۱۹۴۸	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
DO	۰/۰۰۰۰	۰/۰۵۷۹	۰/۰۲۷۸	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
TH	۰/۱۲۰۸	۰/۲۶۵۱	۰/۲۲۰۷	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
DEN	۰/۱۰۴۸	۰/۲۶۳۱	۰/۲۰۱۹	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
DIS	۰/۰۴۶۷	۰/۰۰۰۰	۰/۰۶۴۳	۰/۰۰۰۰	۰/۱۳۵۵
HC	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۴۷۱	۰/۵۰۰۰	۰/۱۸۳۹
HB	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۳۰۵۹

همبستگي دروني شاخص‌ها شامل اثر DIS و HC بر روي HB است. نگاره (۵) ماتریس همبستگي دروني شاخص‌هاي فني را نمایش مي‌دهد.

نگاره (۵): ماتریس همبستگي دروني شاخص‌هاي فني

	HB	HC	DIS	DEN	TH	DO	DK	DB	HK
HK	۱/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۰	۰/۰۰
DB	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۰	۰/۰۰
DK	۰/۰	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۰
DO	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۰
TH	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۰
DEN	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۰
DIS	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۰	۰/۰	۰/۱۵۴۹
HC	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۰	۰/۰۶۸۵
HB	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۷۷۶۶

براساس روش ساعتي و تاکیزاوا ماتریس روابط تعدیل شده با همبستگي دروني شاخص‌هاي فني یا w_{TAs} از حاصل ضرب ماتریس همبستگي در نگاره (۴) به‌دست مي‌آید. نتیجه این محاسبات در نگاره (۶) ارائه شده است.

نگاره (۶): ماتريس روابط تعديل شده

	OQ	PL	KL	IO	ER
HK	۰/۳۶۰۰	۰/۲۶۵۱	۰/۱۸۷۹	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
DB	۰/۰۰۰۰	۰/۰۶۱۰	۰/۰۵۱۹	۰/۵۰۰۰	۰/۳۷۴۷
DK	۰/۳۶۷۷	۰/۰۵۷۹	۰/۱۹۸۴	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
DO	۰/۰۰۰۰	۰/۰۵۷۹	۰/۰۲۷۸	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
TH	۰/۱۲۰۸	۰/۲۶۵۱	۰/۲۲۰۷	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
DEN	۰/۱۰۴۸	۰/۲۹۳۱	۰/۲۰۱۹	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
DIS	۰/۰۴۶۷	۰/۰۰۰۰	۰/۰۶۴۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۷۴۵
HC	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۴۷۱	۰/۵۰۰۰	۰/۱۵۶۹
HB	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۳۹۳۹

در ايـن روش، اوزان ANP بـراي شـاخص‌هـاي فنـي، مطـابق آن چـه در AHP عمـل مي‌شود از حاصل‌ضرب ماتريس w_{TAs} در بردار V_{CRs} بدست مي‌آيد[16]:

$$w_{TAs}^{ANP} = w_{TAs} * V_{CR}$$

اما نيازي به محاسبه اين اوزان نيست. در مدل برنامه‌ريزي آرماني، اوزان از ماتريس روابط تعديل شده اخذ مي‌گردد چرا كه هر محدوديت آرماني بيانگر يكي از خواسته‌هاي مشتري است و اوزان شاخص‌هاي فني در ارتباط با همان خواسته مورد نياز است.

$$MinZ = 0/3509 \times d_1^+ + 0/2004 \times d_2^+ + 0/1646 \times d_3^+ + 0/1801 \times d_4^+ + 0/104 \times d_5^+$$
$$-0/0002 \times HK - 0/0123 \times DK - 0/0016 \times TH - 0/001 \times DEN - 0/0006 \times DIS$$
$$- d_1^+ + d_1^- = -0/4239$$
$$0/0006 \times DB + 0/0023 \times DO + 0/0034 \times TH + 0/0029 \times DEN - 0/0001 \times HK$$
$$-0/0019 \times DK - d_2^+ + d_2^- = 0/1513$$
$$0/0028 \times TH + 0.002 \times DEN - 0/0001 \times HK - 0/0005 \times DB - 0/0066 \times DK$$
$$-0/0011 \times DO - 0/0008 \times DIS - 0/0002 \times HC - d_3^+ + d_3^- = -1/9218$$
$$-0/005 \times DB - 0/0017 \times HC - d_4^+ + d_4^- = -2/5167$$
$$0/0001 \times HB - 0/0006 \times HC - 0/0017 \times DIS - 0/0037 \times DB - d_5^+ + d_5^- = -1/6698$$

لازم است محدوديت‌هاي فني به مدل اضافه شوند:

$$200 \le HK \le 2000$$
$$270 \le DB \le 370$$
$$190 \le DK \le 220$$
$$120 \le DO \le 170$$
$$22/5 \le TH \le 100$$

و

$$100 \le DEN \le 200$$
$$20 \le DIS \le 100$$
$$900 \le HB \le 3000$$
$$100 \le HC \le 400$$

و

$$HB - 2 \times DB \ge 0$$
$$DB - 1.2 \times DK \ge 0$$
$$DK - DO - TH = 0$$
$$HB - DIS - HC - HK \ge 200$$
$$2 \times DK - DB \ge 0$$

ساخت برخي قطعات تنها در ابعاد مشخّصي براي تأمين‌كنندگان مقرون به صرفه است. اين نوع محدوديت‌ها نيز وارد مدل شده است: (X_i, Y_i, Z_i از نوع متغيرهاي صفر و يک هستند.)

$$DB - 254 \times Y_1 - 304/8 \times Y_2 - 355/6 \times Y_3 = 0 \qquad Y_1 + Y_2 + Y_3 = 1$$
$$DO - 127 \times X_1 - 152/4 \times X_2 = 0 \qquad X_1 + X_2 = 1$$
$$DEN - 100 \times Z_1 - 125 \times Z_2 - 150 \times Z_3 - 175 \times Z_4 = 0 \qquad Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 = 1$$

با اضافه شدن محدوديت بودجه، مدل كامل مي‌شود:

$$720 \times Y_1 \times HB + 900 \times Y_2 \times HB + 1100 \times Y_3 \times HB + 240 \times X_1 \times DIS + 270 \times X_2 \times DIS$$
$$+ 1/57 \times Z_1 \times TH \times DK \times HK + 1/57 \times Z_1 \times TH \times DO \times HK + 1/96 \times Z_2 \times TH \times DK$$
$$\times HK + 1/96 \times Z_2 \times TH \times DO \times HK + 1/81 \times Z_3 \times TH \times DK \times HK + 1/81 \times Z_3 \times TH$$
$$\times DO \times HK + 1/73 \times Z_4 \times TH \times DK \times HK + 1/73 \times Z_4 \times TH \times DO \times HK + 2362/2$$
$$\times DB + 2362/2 \times DO + 200 \times HC + 1600000 \times Y_1 + 1800000 \times Y_2 + 2200000 \times Y_3 \le 1000000$$
$$X_i = 0 \vee 1, Y_i = 0 \vee 1, Z_i = 0 \vee 1$$

در محدوديت بودجه به تشخيص افراد ذي‌صلاح، مبلغ ده ميليون تومان منظور شده است پاسخ مدل در نگاره (۷) ارائه شده است.

نگاره (۷): مقادير شاخص‌هاي فني

شاخص	HK	DB	DK	DO	TH	DEN	DIS	HC	HB
مقدار	۲۰۰	۳۰۴/۸	۱۹۰	۱۲۷	٦۳	۱۰۰	۷۹/۶۱	۴۰۰/۰	۹۰۰

توضيحات: لوله‌هاي صنعتي مورد استفاده در صنعت گاز در قطرهاي معيني ساخته مي‌شوند. به‌عنوان مثال در مورد قطر بدنه (DB) در حدود متغير تصميم، تنها مقادير "۱۰ و "۱۲ و "۱۴ توليد مي‌شوند. اين مقادير در مقياس ميلي‌متر به ترتيب معادل ۲۵۴ و ۳۰۴/۸ و ۳۵۵/۶ مي‌باشند. دو محدوديت زيرمدل را ناگزير مي‌كنند تا يكي از مقادير فوق را به قطر بدنه تخصيص دهد.

$$DB = 254\ y_1 + 304/8\ y_2 + 355/6\ y_3$$

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = 1 \quad \text{و} \quad Y_i = 0 \vee 1$$

با توجه به اين كه متغيرهاي Y_i در مدل، از نوع متغيرهاي صفر و يك هستند، مدل به نحوي طراحي شده كه با انتخاب هر قطر، قيمت لوله با همان قطر، در محدوديت بودجه محاسبه مي‌شود:

$$720 \times Y_1 \times HB + 900 \times Y_2 \times HB + 1100 \times Y_3 \times HB$$

در بقيه موارد نيز با همين منطق عمل شده است.

۵. نتيجه‌گيري و پيشنهادات

از ميان مدل‌هاي قديمي كه به‌منظور تعيين مقدار براي شاخص‌هاي فني به‌كار مي‌رفتند، مدل‌هاي بود و همكارش و مدل ژو مبناي بسياري از مدل‌هاي جديد قرار گرفتند. نقطه قوت اغلب مدل‌هاي مبتني بر مدل بود و فانگ،از جمله مدل جيافيو تنگ و همكارانش، تعريف صحيح متغير و تحديد حدود تغييرات آن در فاصله [۰,۱] است كه مشكل بي‌اثر شدن اوزان اهميت را حل مي‌كند. در مقابل، نقطه قوت مدل ژو و ويرايش‌هاي جديد آن، از جمله مدل قهرمان و همكارانش استفاده از روش‌هاي قابل دفاع براي تعيين اوزان اهميت است. مدل ارائه شده در اين مقاله ضمن تجميع نقاط قوت مدل‌هاي متقدم، از اثرات متعارض شاخص‌هاي فني بر خواسته‌هاي مشتري چشم‌پوشي نمي‌كند و به همين دليل از هر

دو دسته از مدل‌هاي فوق متمايز مي‌گردد. مسئله اثرات متعارض شاخص‌هاي فني بر خواسته‌هاي مشتري، اگر چه در برخي شرايط ممكن است قابل اغماض تلقي شود، به‌طور كلي مسئله مهمي است كه در هر دو نوع مدل‌هاي فوق ملاحظه نشده است.با توجه به اين مسئله، تعيين مقدار براي شاخص‌هاي فني اصولاً يک برنامه‌ريزي چند هدفه است.در اين مقاله برنامه‌ريزي آرماني به‌عنوان يک روش تصميم‌گيري چند هدفه به همراه ملاحظات لازم از جمله بي‌مقياس‌سازي فازي متغيرها، به‌عنوان مبناي مناسب مدل‌سازي در محيط QFD ارائه شده است. بررسي كارائي روش‌هاي مختلف برنامه‌ريزي چند هدفه به‌عنوان تحقيقات آتي پيشنهاد مي‌شود.

منابع

1. Akao, Y. M. G. H. (2003). "The leading edge in QFD: past, present and future", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 35 Issuel. 1, pp: 20-35.

2. Bode, J. and Fung. R. Y. K. (1998). "Cost Engineering with Quality Function Deployment", Computers and industrial engineering, Vol. 35, Issuel. 3 -4, pp: 587-590.

3. Chan, L. K. and Wu, M.-L. (2005). "A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example", Omega Vol. 33, Issue. 2, pp: 119- 139.

4. Fung R. K.; Popplewel, K. and Xie, J. (1998). "An intelligent hybrid system for customer requirements analysis and product attribute targets determination", International journal of product research, Vol. 36. Issuel. 2, pp: 13- 34.

5. Fung, R. Y. K.; Chen, Y. and Tang, J. (2006). "Estimating the functional relationships for quality function deployment under uncertainties, Fuzzy Sets and Systems, Vol. Issuel. 1, 157, pp: 98- 120.

6. Ho, W. (2007). "Integrated analytic hierarchy process and its application", European Journal of Operational Research, Vol. 186, Issuel. 1, pp: 211- 228.

7. Kahraman, C.; Ertay, T.; Büyüközkan, G. (2006). "A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach", European Journal of Operational Research, Vol. 171, Issuel. 2, pp: 390-411.

8. Karask, E. E.; Sozer, S. and Alptekin, E. (2002). "Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach", Computers and industrial engineering. Vol. 44, Issuel. 1, pp: 171- 190.

9. Kengpol, A. (2004). "Quality function deployment (QFD) in Small to Medium- Sized Enterprises: A study of obstacles in implementing QFD in Thailand", International journal of management, Vol. 21, Issuel. 3 pp: 393- 403.

10. Kim, K. J.; Moskowitz, H.; Dhingra, A. and Evans, G. (2000). "Fuzzy multicriteria models for quality function deployment", European Journal of operational research, Vol. 121, Issuel. 3, pp: 504- 518.

11. Park, T. and Kim, K. J. (1998). “Determination of an optimal set design requirements using house of quality”, Journal of Operation Management, Vol. 16, Issuel. 5, pp: 569- 581.

12. Moskowitz, H. and Kim, K. J. (1997). “QFD optimizer: a novice friendly quality function deployment decision support system for optimizing product designs”, Computers and industrial engineering; Vol. 32, Issuel. 3, pp: 641- 655.

13. Tang, J.; Fung, R. Y. K. and Xu, B. and Wang, D. (2002). “A new approach to quality function deployment planning with financial consideration”, computers & operation research, Vol. 29, Issuel. 11, pp: 1447- 1463.

14. Tang, L. C. and Paoli, P. (2004). “A spreadsheet- based multiple criteria optimization framework for quality function deployment"”, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 21, Issuel. 2, pp: 329- 347.

15. Saaty, T. L. (2003). “Decision- making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary”, European Journal of operational Research, Vol. 145, Issuel. 1, pp: 85- 91.

16. Saaty, T. L. and Takizawa, M. (1986). “Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks”, European journal of Operations Research, Vol. 26, Issuel. 2, pp: 229- 237.

17. Zhou, M. (1998). “Fuzzy Logic and Optimization Models for Implementing QFD”, Computers and industrial Engineering, Vol. 35, Issuel. 1-2, pp: 237-240.