رتبه بندی عملکردها در مهندسی ارزش فازی

رمضان نعمتی
دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع ، دانشگاه صنعتی اصفهان
arash58ie@in.iut.ac.ir
غلامعلی رئیسی
استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان
raissi@cc.iut.ac.ir

واژه های کلیدی: مهندسی ارزش، عدم اطمینان، تصمیم گیری گروهی فازی

چکیده

در مهندسی ارزش با محاسبه شاخص ارزش عملکردهای یک محصول و رتبه بندی عملکردها بر اساس شاخص ارزش، عملکردهای بحرانی شناسایی شده و سپس تصمیمات لازم در مورد افزایش ارزش عملکردهای دارای شاخص ارزش پایین اتخاذ می شود. شاخص ارزش عملکرد از نسبت بهای عملکرد به هزینه عملکرد به دست می آید. بهای و هزینه عملکردها معمولا به صورت مقادیر تخمینی بوده که در برآورد آنها از نظرات ذهنی اعضای گروه مهندسی ارزش استفاده می شود، در حالی که نظرات ذهنی همواره شامل عدم اطمینان می باشند. عدم اطمینان در بها و هزینه عملکردها موجب ایجاد عدم اطمینان در شاخص ارزش عملکردها و در نهایت در رتبه بندی ارزشی عملکردها می شود. در این مقاله با استفاده از تئوری مجموعه های فازی یک روش تصمیم گیری گروهی فازی برای مواجهه با عدم اطمینان موجود در مهندسی ارزش ارائه شده است که در آن، نظرات اعضای گروه در مورد درجه اهمیت عملکردها و بهای عملکردها به صورت متغیرهای زبانی و یا مجموعه های فازی می باشد. شاخص ارزش عملکردها به صورت اعداد فازی به دست آمده و با مقایسه آنها، عملکردها رتبه بندی می شوند.

1- مقدمه

هر محصولی دارای اجزایی است که هر یک برای هدف یا اهداف خاصی در نظر گرفته شده انـد. در مهندسـی ارزش[1] بـه ایـن اهـداف در اصطلاح عملکرد[2] گفته می شود. هدف از انجام مهندسی ارزش، دستیابی به عملکردها با کمترین هزینه ممکن است. کمترین هزینه مـورد نیاز جهت انجام شدن عملکرد را بهای عملکرد و میزان هزینه صرف شده جهت بوجود آمدن عملکرد در محصول را هزینه عملکـرد گوینـد که بخشی از هزینه کل صرف شده برای محصول می باشد. هزینه کل محصول مجموع هزینه هایی است که در رابطه بـا مـواد، طراحـی، فرایند، بالاسری و غیره برای محصول صرف شده است. نسبت بهای عملکرد به هزینه عملکرد را شـاخص ارزش عملکـرد[3] مـی نامنـد. در مهندسی ارزش با استفاده از یک تصمیم گیری گروهی؛ بهای عملکردها و هزینـه عملکردهـا بـرآورد شـده و بـا محاسـبه شـاخص ارزش، عملکردها رتبه بندی می شوند تا عملکردهایی که شاخص ارزش کوچکی دارند شناسایی شـده و در نهایـت تـصمیمات لازم جهـت انجـام اقدامات اصلاحی برای کاهش هزینه این عملکردها و در واقع افزایش شاخص ارزش آنها اتخاذ می شوند[1].

در روشهای متداول برای برآورد هزینه عملکرد ها، ابتدا محصول به بخشهای تشکیل دهنـده آن تقـسیم شـده و عملکردهـای هـر یـک از بخش ها تعیین می شوند. در مورد بخشهایی که فقط یک عملکرد دارند، هزینه عملکرد برابر با هزینه بخش مربوطه بوده و در مورد بخش هایی که در آنها چند عملکرد وجود دارد افراد گروه با انجام مقایسات زوجی عملکردها یـک درجـه اهمیـت از نظـر میـزان هزینـه زا بـودن عملکردها به آنها تخصیص می دهند. در صورتی که یک عملکرد نسبت به دیگری کم اهمیت، نسبتا با اهمیـت و یـا بـا اهمیـت باشـد بـه ترتیب اعداد 1 ، 2 یا 3 به درجه اهمیت عملکرد مربوطه تخصیص می یابد.با مجموع درجه هـای اهمیـت هـر عملکـرد و تقـسیم آن بـر مجموع کل درجه های اهمیت عملکردهای موجود در بخش مربوطه، سهم هر یک ازعملکرد ها در هزینه بخش بـه دسـت آمـده و هزینـه عملکردها مشخص می شود. بنابراین در برآورد هزینه عملکردها از نظرات ذهنی افراد گروه مهندسی ارزش استفاده می شود که شامل عدم اطمینان می باشد. شایان ذکر است که هزینه کل مجموعه و هزینه هر یک از اجزاء نیز به طور دقیق قابل محاسبه نبوده و در آنها نیز عـدم اطمینان وجود دارد. برای برآورد بهای عملکردها معمولا از روش مقایسه با نمونه های خوب[4] استفاده می شود. به ایـن ترتیـب کـه هزینـه عملکردهای بهترین محصول رقیب به عنوان بهای عملکردهای محصول فعلی انتخاب می شوند. زیرا در واقع کمترین هزینه صـرف شـده دستیابی به عملکردهای مورد نظر می باشند که موفق به کسب رضایت مشتری نیز شـده انـد. همـانطور کـه بیـان شـد در بـرآورد هزینـه عملکردهای یک محصول عدم اطمینان وجود دارد. لذا در بهای عملکردهای محصول نیز که در واقع هزینه عملکردهای بهترین محـصول رقیب می باشد نیز عدم اطمینان وجود دارد. در مواردی که نمونه های خوب موجود نمی باشند و یا در دسترس نیستند؛ بهای عملکردهـا بـا تکیه بر نظرات شخصی افراد گروه مهندسی ارزش تخمین زده می شوند که شامل عـدم اطمینـان مـی باشـد. از آنجـا کـه شـاخص ارزش عملکرد از بهای عملکرد و هزینه عملکرد دارای عدم اطمینان بوجود مـی آیـد، در شـاخص ارزش عملکردهـا و در نتیجـه در رتبـه بنـدی عملکردها نیز عدم اطمینان وجود خواهد داشت. بدین ترتیب در آنالیز بها- هزینه-عملکرد که یکی از گامهای اساسی مهندسی ارزش مـی باشد، عدم اطمینان وجود دارد.

در 30 سال اخیر در حل مسائلی که پارامترها و کمیت های آن به صورت دقیق قابل بیان نیستند و در مقدار آنها عدم اطمینـان وجـود دارد ازتئوری مجموعه های فازی[5] به طور گسترده استفاده شده است.با تعریف پارامترها و کمیت های نا دقیق به صورت مجموعـه هـای فـازی سعی می شود عدم اطمینان موجود در مساله بر طرف شده و به نتایجی با اطمینان بیشتر دست یافت. ناگاساوا [2] با در نظر گـرفتن بهـای عملکرد ها و هزینه عملکردها به صورت اعداد فازی مثلثی، شاخص ارزش عملکردها را به صورت اعداد فازی مثلثـی بـه دسـت آورده و بـا مقایسه اعداد فازی مثلثی حاصل اقدام به رتبه بندی عملکردها نموده است. تاکنون روشی عملی برای به دست آوردن اعـداد فـازی مثلثـی بهای عملکرد ها، هزینه عملکردها و شاخص ارزش عملکردها ارائه نشده است. در این مقاله با ارائه یک روش تصمیم گیری گروهی فازی[6]

---

[1] **Value Engineering**
[2] **Function**
[3] **Function Value Index**
[4] **Benchmarking**
[5] **Fuzzy Sets Theory**
[6] **Fuzzy Group Decision Making**

؛ بهای عملکرد ها، هزینه عملکردها و شاخص ارزش عملکردها را به صورت اعداد فازی به دست آورده و با مقایسه شاخص ارزش فازی عملکردها، رتبه بندی عملکردها انجام می شود.

2- تئوری مجموعه های فازی

تئوری مجموعه های فازی که برای نخستین بار توسط پرفسور لطفی زاده ارائه شده در حل مسائلی که نمی توان پارامترها و کمیت ها را به طور دقیق تعریف نمود، مورد استفاده قرار می گیرد. در مواردی که می توان چندین مقدار برای هر پارامتر در نظر گرفت به طوری که هر مقدار دارای یک میزا ن لیاقت برای آنکه پارامتر مقدار مربوطه را اخذ کند؛ می توان یک مجموعه زوج های مرتب تعریف کرد که عناصر اول زوج های مرتب بیانگر مقادیر ممکن برای کمیت مربوطه بوده و عناصر دوم زوج های مرتب نشانگر میزان لیاقت مقادیر مربوطه می باشند که اعددی بین صفر و یک هستند. به این نوع مجموعه ها ، مجموعه های فازی گویند.

تعریف1- فرض کنید X یک مجموعه مرجع دلخواه باشد.مجموعه $\tilde{A}$ که به صورت (1) تعریف می شود را یک مجموعه فازی می نامند.

(1)
$$\tilde{A} = \{(x, \mu(x)) / x \in X, \mu(x) \in [0,1]\}$$

μ را تابع عضویت[7] گویند که هر $x \in X$ را به یک مقدار در بازه [0,1] تصویر می کند. $\mu(x)$ را درجه عضویت[8] x در مجموعه $\tilde{A}$ نامند.بسته به اینکه X پیوسته یا گسسته باشد، $\tilde{A}$ نیز پیوسته یا گسسته خواهد بود.

تعریف 2- عدد فازی مثلثی[9] یک مجموعه فازی پیوسته است که تابع عضویت آن به صورت زیر می باشد؛

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ -((a_2 - x)/(a_2 - a_1)) + 1 & a_1 < x < a_2 \\ -((x - a_2)/(a_3 - a_2)) + 1 & a_2 < x < a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases}$$

اعدد فازی مثلثی به صورت سه تایی (a_3 و a_2 و a_1) نشان داده می شوند. هر عدد قطعی مانند m را نیز می توان به صورت عدد فازی مثلثی (m,m,m) نشان داد.

تعریف 3- برای دو عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$ که دارای مجموعه های مرجع مثبت یکسان هستند؛ چها رعمل اصلی جمع، تفریق، ضرب و تقسیم به ترتیب به صورت (2)، (3)، (4) و (5) می باشد.

(2)
$$\tilde{A} + \tilde{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$$

---

[7] **Membership Function**
[8] **Membership Grade**
[9] **Triangular Fuzzy Number**

$$\tilde{A} - \tilde{B} = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (3)$$

(4)

$$\tilde{A}.\tilde{B} = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3)$$

(5)

$$\tilde{A} / \tilde{B} = (a_1 / b_3, a_2 / b_2, a_3 / b_1)$$

برای آشنایی بیشتر با تئوری مجموعه های فازی می توان به [2,4] رجوع نمود.

3- تصمیم گیری گروهی فازی

در تصمیم گیری گروهی از میانگین نظرات اعضای گروه استفاده می شود. در تصمیم گیری گروهی فازی؛ نظرات اعضای گروه به صورت متغیرهای زبانی یا اعداد فازی می باشند. تصمیم گیری گروهی فازی برای مهندسی ارزش به این صورت بیان می باشد که برای تعیین هزینه عملکرد ها ابتدا درجه اهمیت هر عملکرد در ایجاد هزینه کل تولید محصول به صورت متغیر های زبانی[10] از اعضای گروه مهندسی ارزش اخذ شده و با استفاده از یک مقیاس تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی مثلثی، درجه اهمیت هر عملکرد از نظر هر یک از افراد گروه به صورت یک عدد فازی مثلثی به دست می آید. میانگین درجه های اهمیت هر عملکرد به عنوان درجه اهمیت عملکرد مربوطه خواهد بود. بهای هر عملکرد نیز به صورت یک مجموعه فازی مثلثی توسط هر یک از اعضای گروه تعیین شده و میانگین این اعداد فازی مثلثی ارائه شده به عنوان بهای عملکرد خواهد بود. با تقسیم عدد فازی مثلثی بهای عملکرد بر عدد فازی مثلثی هزینه عملکرد؛ عدد فازی مثلثی شاخص ارزش عملکرد به دست می آید. با استفاده از روشهای مقایسه اعداد فازی مثلثی می توان عملکردها را بر اساس شاخص ارزش فازی آنها رتبه بندی کرد. فرض کنید گروه مهندسی ارزش شامل k نفر بوده، n عملکرد وجود دارد و هزینه تولید محصول به صورت عدد فازی مثلثی $\tilde{C}$ می باشد.

3-1- تعیین هزینه فازی عملکردها

اعضای گروه مهندسی ارزش نظرات خود در مورد درجه اهمیت هر یک از عملکردها را با متغیرهای زبانی؛ کم، متوسط، زیاد، و غیره بیان می کنند. یک مقیاس هفت سطحی متغیر زبانی برای بیان درجه اهمیت عملکردها و اعداد فازی مثلثی متناظر آنها در جدول 1 آمده است. تعداد سطوح متغیر زبانی با توجه به نوع مساله قابل افزایش یا کاهش است. با اخذ نظرات اعضای گروه در مورد درجه اهمیت عملکردها و تبدیل آنها به اعداد فازی مثلثی متناظر می توان درجه اهمیت فازی عملکردها را به صورت (6) محاسبه کرد.

$$i = 1,2,\ldots,n \quad (6)$$

$$\tilde{W}_i = (\sum_{j=1}^{k} \tilde{W}_{ij}) / k$$

که $\tilde{W}_i$ درجه اهمیت فازی عملکرد i – ام بوده و $\tilde{W}_{ij}$ عدد فازی مثلثی متناظر با نظر فرد j – ام گروه در مورد درجه اهمیت عملکرد i – ام می باشد.

با ضرب اعداد فازی مثلثی $\tilde{W}_i$ و $\tilde{C}$ می توان هزینه فازی هر عملکرد را به دست آورد(7).

$$\tilde{C}_i = \tilde{W}_i.\tilde{C} \qquad i = 1,2,\ldots,n \quad (7)$$

که $\tilde{C}_i$ هزینه فازی عملکرد i – ام و $\tilde{C}$ هزینه فازی تولید محصول می باشد.

3-2- تعیین بهای فازی عملکردها

---

[10] **Linguistic Variable**

ساده ترین و عملی ترین روش برای تعیین بهای فازی عملکردها آن است که هر یک از اعضای گروه مهندسی ارزش، نظر خود در مورد بهای هر عملکرد را به صورت یک عدد قطعی بیان کنند تا به عنوان عدد مرکزی عدد فازی مثلثی بهای عملکرد در نظر گرفته شود و برای به دست آوردن حدود بالا و پایین عدد فازی؛ یک درصد تغییرات بالایی و پایینی در اطراف عدد مرکزی در نظر گرفته شود. به عنوان مثال اگر ازنظر یکی از اعضای گروه ، عدد مرکزی برابر 50 تعیین شده باشد و 20 درصد تغییرات بالایی و 10 درصد تغییرات پایینی در نظر گرفته شود، می توان عدد فازی (60 و50 و45) را به عنوان بهای عملکرد مربوطه از نظر فرد مورد نظر ارائه کرد. بهای فازی عملکردها به صورت
(8) محاسبه می شوند.

جدول 1- متغیرهای زبانی و اعداد فازی متناظر

متغیر های زبانی	اعداد فازی متناظر
Very Low (VL)	(0 , 0 , 0.1)
Low (L)	(0 , 0.1, 0.3)
Medium Low (ML)	(0.1 , 0.3 , 0.5)
Medium (M)	(0.5 , 0.5 , 0.7)
Medium High (MH)	(0.5 , 0.7 , 0.9)
High (H)	(0.7 , 0.9 , 1)
Very High (VH)	(0.9 , 1 , 1)

$$i = 1,2,...,n \qquad (8)$$

$$\widetilde{F}_i = (\sum_{j=1}^{k} \widetilde{F}_{ij}) / k$$

که $\widetilde{F}_i$ بهای فازی عملکرد i – ام بوده و $\widetilde{F}_{ij}$ نظر فرد j – ام گروه در مورد بهای فازی عملکرد i – ام می باشد.

3-3- محاسبه شاخص ارزش فازی عملکردها

پس از تعیین بهای فازی عملکردها و هزینه فازی عملکردها ، می توان شاخص ارزش فازی عملکردها را به صورت (9) محاسبه کرد.

$$i = 1,2,...,n \qquad (9)$$

$$\widetilde{V}_i = \widetilde{F}_i / \widetilde{C}_i$$

که $\widetilde{V}_i$ شاخص ارزش فازی عملکرد i – ام می باشد.

3-4- رتبه بندی عملکردها

با مقایسه شاخص ارزش فازی عملکردها می توان عملکردها را رتبه بندی کرد. هر چه شاخص ارزش فازی عملکردها یک عدد فازی بزرگتری باشد، رضایت از عملکرد بیشتر می باشد. بنابراین باید اعداد فازی $\widetilde{V}_i$ با هم مقایسه شوند. برای مقایسه اعداد فازی مثلثی روش های مختلفی وجود دارد که یکی از آنها استفاده از ضریب مینکوسکی[11] می باشد که برای عدد فازی مثلثی (a,b,c) به صورت (10) محاسبه می شود.

(10)

$$MC = (a + 4b + c) / 6$$

هر چه عدد قطعی MC بزرگتر باشد ، عدد فازی مثلثی مربوطه بزرگتر خواهد بود.

4- مثال محاسباتی

[11] **Minkovski Coefficient**

فرض کنید در یک محصول سه عملکرد A_1، A_2 و A_3 مشخص شده اند و گروه مهندسی ارزش نیز شامل سه تصمیم گیرنده D_1، D_2 و D_3 می باشد. همچنین فرض کنید نظرات اعضای گروه در مورد درجه اهمیت عملکردها و بهای عملکردها به ترتیب به صورت جداول 2 و3 بوده و هزینه کل تولید محصول برابر 1200 واحد پولی باشد.

جدول 2- درجه اهمیت عملکردها به صورت متغیرهای زبانی

درجه اهمیت عملکردها	D_1	D_2	D_3
$\tilde{W}_1$	ML	M	M
$\tilde{W}_2$	L	M	ML
$\tilde{W}_3$	H	VH	MH

جدول 3- بهای عملکردها

بهای عملکردها	D_1	D_2	D_3
$\tilde{F}_1$	(35,40,45)	(30,35,40)	(30,40,45)
$\tilde{F}_2$	(25,30,40)	(25,35,45)	(20,35,40)
$\tilde{F}_3$	(50,65,70)	(50,60,75)	(55,65,75)

با رجوع به جدول 1 می توان اعداد فازی متناظر با متغیرهای زبانی درجه اهمیت عملکردها در جدول 2 را به صورت جدول 4 نشان داد.

جدول 4- درجه اهمیت عملکردها به صورت اعداد فازی مثلثی

درجه اهمیت عملکردها	D_1	D_2	D_3
$\tilde{W}_1$	(0.1 , 0.3 , 0.5)	(0.5 , 0.5 , 0.7)	(0.5 , 0.5 , 0.7)
$\tilde{W}_2$	(0 , 0.1 , 0.3)	(0.5 , 0.5 , 0.7)	(0.1 , 0.3 , 0.5)
$\tilde{W}_3$	(0.7 , 0.9 , 1)	(0.9 , 1 , 1)	(0.5 , 0.7 , 0.9)

با استفاده از (6) درجه اهمیت فازی عملکردها به صورت زیر محاسبه می شود؛

$$\tilde{W}_1 = (0.37, 0.43, 0.63)$$
$$\tilde{W}_2 = (0.2, 0.3, 0.5)$$
$$\tilde{W}_3 = (0.7, 0.87, 0.97)$$

هزینه فازی عملکردها با استفاده از (7) به صورت زیر به دست می آیند؛

$$\tilde{C}_1 = (444, 559, 882)$$
$$\tilde{C}_2 = (240, 390, 700)$$
$$\tilde{C}_3 = (840, 1131, 1358)$$

بهای فازی عملکردها نیز با استفاده از (8) به صورت زیر محاسبه می شوند؛

$$\tilde{F}_1 = (31.7, 38.3, 43.3)$$

$\tilde{F}_2 = (23.3,33.3,41.7)$
$\tilde{F}_3 = (51.7,63.3,73.3)$

برای شاخص ارزش فازی عملکردها از (9) داریم؛

$\tilde{V}_1 = (0.036,0.069,0.098)$
$\tilde{V}_2 = (0.033,0.085,0.17)$
$\tilde{V}_3 = (0.038,0.056,0.087)$

ضریب مینکوسکی برای سه شاخص ارزش فازی A_1، A_2 و A_3 به ترتیب برابر با 0.068، 0.091 و 0.058 می باشد. با مقایسه ضرایب مینکوسکی مشخص می شود که $\tilde{V}_3$ کوچکترین شاخص ارزش بوده و لذا عملکرد A_3 برای افزایش ارزش و در واقع کاهش هزینه باید در اولویت قرار گیرد.

5- نتیجه گیری و پیشنهادات

برای رفع عدم اطمینان در مهندسی ارزش از تئوری مجموعه های فازی استفاده شد و با ارائه یک روش تصمیم گیری گروهی فازی؛ بهای عملکردها، هزینه عملکردها و شاخص ارزش عملکردها به صورت اعداد فازی به دست آمدند و بدین ترتیب عدم اطمینان در رتبه بندی عملکردها و تصمیمات و اقدامات لازم از بین رفت. می توان برای هر یک از اعضای گروه مهندسی ارزش با توجه به معیارهایی چون تخصص و تجربه یک وزن فازی در نظر گرفت. درجه اهمیت عملکردها در کل محصول در نظر گرفته شده است که می توان ابتدا هزینه فازی هر یک از بخش های محصول را برآورد نمود و سپس درجه اهمیت عملکردهای هر بخش را جداگانه تعیین کرد. استفاده از قوانین IF-THEN فازی و ایجاد سیستمهای منطق فازی [12] برای مهندسی ارزش نیز یک زمینه بسیار خوب برای ادامه تحقیقات در این ارتباط می باشد.

منابع

[1] SS.Tyer؛ روش به کارگیری مهندسی ارزش؛ جبل عاملی، محمد سعید؛ میر محمد صادقی، سید علیرضا؛ چاپ اول؛ تهران؛ انتشارات فرات؛ 1381 .
[2] طاهری؛ سید محمود؛ آشنایی با نظریه مجموعه های فازی؛ چاپ دوم؛ مشهد؛ انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد؛ 1378 .
[3] Nagasava S., Application of fuzzy theory to value engineering, Computers and Industrial Engineering,VOL.33, NO.3-4, 1997, 565-568.
[4] Zimmermann H.S., Fuzzy set theory and its applications , 2end, Boston, Kluwer Academic Publicatioer, 1991.

[12] **Fuzzy Logic Systems**