

عدم اطمینان در مهندسی ارزش

رمضان نعمتی

دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد

مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان

غلامعلی رئیسی

استادیار دانشکده مهندسی صنایع

دانشگاه صنعتی اصفهان

Arash58ie@in.iut.ac.ir

چکیده

در مهندسی ارزش با محاسبه‌ی شاخص ارزش عملکردهای یک محصول و رتبه‌بندی عملکردها بر اساس شاخص ارزش، عملکردهای بحرانی شناسایی شده و سپس تصمیمات لازم در مورد افزایش ارزش عملکردهای دارای شاخص ارزش پایین اتخاذ می‌شود. شاخص ارزش عملکرد از نسبت بهای عملکرد به هزینه‌ی عملکرد به دست می‌آید. بها و هزینه‌ی عملکردها معمولاً به صورت مقادیر تخمینی بوده که در برآورد آنها از نظرات ذهنی اعضای گروه مهندسی ارزش استفاده می‌شود، در حالی که نظرات ذهنی همواره شامل عدم اطمینان می‌باشند. عدم اطمینان در بها و هزینه‌ی عملکردها موجب ایجاد عدم اطمینان در شاخص ارزش عملکردها و در نهایت در رتبه‌بندی ارزشی عملکردها می‌شود. در این مقاله با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی یک روش تصمیم‌گیری گروهی فازی برای مواجهه با عدم اطمینان موجود در مهندسی ارزش ارائه شده است که در آن، نظرات اعضای گروه در مورد درجه‌ی اهمیت عملکردها و بهای عملکردها به صورت متغیرهای زبانی و یا مجموعه‌های فازی می‌باشد. شاخص ارزش عملکردها به صورت اعداد فازی بدست آمده و با مقایسه آنها، عملکردها رتبه‌بندی می‌شوند.

کلمات کلیدی: مهندسی ارزش - عدم اطمینان - تصمیم‌گیری گروهی فازی

۱- مقدمه

هر محصولی دارای اجزایی است که هر یک برای هدف یا اهداف خاصی در نظر گرفته شده‌اند. در مهندسی ارزش^۱ به این اهداف در اصطلاح عملکرد^۲ گفته می‌شود. هدف از انجام مهندسی ارزش، دستیابی به عملکردها با کمترین هزینه ممکن است. کمترین هزینه مورد نیاز جهت انجام شدن عملکرد را بهای عملکرد و میزان هزینه صرف شده جهت بوجود آمدن عملکرد در محصول را هزینه عملکرد گویند که بخشی از هزینه کل صرف شده برای محصول می‌باشد. هزینه کل محصول مجموع هزینه‌هایی است که در رابطه با مواد، طراحی، فرایند، بالاسری و غیره برای محصول صرف شده است. نسبت بهای عملکرد به هزینه عملکرد را شاخص ارزش عملکرد^۳ می‌نامند. در مهندسی ارزش با استفاده از یک تصمیم‌گیری گروهی؛ بهای عملکردها و هزینه عملکردها برآورد شده و با محاسبه شاخص ارزش، عملکردها رتبه‌بندی می‌شوند تا عملکردهایی که شاخص ارزش کوچکی دارند شناسایی شده و در نهایت تصمیمات لازم جهت انجام اقدامات اصلاحی برای کاهش هزینه این عملکردها و در واقع افزایش شاخص ارزش آنها اتخاذ می‌شوند[1].

در روشهای متداول برای برآورد هزینه عملکردها، ابتدا محصول به بخشهای تشکیل دهنده آن تقسیم شده و عملکردهای هر یک از بخش‌ها تعیین می‌شوند. در مورد بخشهایی که فقط یک عملکرد دارند، هزینه عملکرد برابر با هزینه بخش مربوطه بوده و در مورد بخش‌هایی که در آنها چند عملکرد وجود دارد افراد گروه با انجام مقایسات زوجی عملکردها یک درجه اهمیت از نظر میزان هزینه‌زا بودن عملکردها به آنها تخصیص می‌دهند. در صورتی که یک عملکرد نسبت به دیگری کم اهمیت، نسبتاً با اهمیت و یا با اهمیت باشد به ترتیب اعداد ۱، ۲ یا ۳ به درجه اهمیت عملکرد مربوطه تخصیص می‌یابد. با مجموع درجه‌های اهمیت هر عملکرد و تقسیم آن بر مجموع کل درجه‌های اهمیت عملکردهای موجود در بخش مربوطه، سهم هر یک از عملکردها در هزینه بخش به دست آمده و هزینه عملکردها مشخص می‌شود. بنابراین در برآورد هزینه عملکردها از نظرات ذهنی افراد گروه مهندسی ارزش استفاده می‌شود که شامل عدم اطمینان می‌باشد. شایان ذکر است که هزینه کل مجموعه و هزینه هر یک از اجزاء نیز به طور دقیق قابل محاسبه نبوده و در آنها نیز عدم اطمینان وجود دارد. برای برآورد بهای عملکردها معمولاً از روش مقایسه با نمونه‌های خوب^۴ استفاده می‌شود. به این ترتیب که هزینه عملکردهای بهترین محصول رقیب به عنوان بهای عملکردهای محصول فعلی انتخاب می‌شوند. زیرا در واقع کمترین هزینه صرف شده دستیابی به عملکردهای مورد نظر می‌باشند که موفق به کسب رضایت مشتری نیز شده‌اند. همانطور که بیان شد در برآورد هزینه عملکردهای یک محصول عدم اطمینان وجود دارد. لذا در بهای عملکردهای محصول نیز که در واقع هزینه عملکردهای بهترین محصول رقیب می‌باشد نیز عدم اطمینان وجود دارد. در مواردی که نمونه‌های خوب موجود نمی‌باشند و یا در دسترس نیستند؛ بهای عملکردها با تکیه بر نظرات شخصی افراد گروه مهندسی ارزش تخمین زده می‌شوند که شامل عدم اطمینان می‌باشد. از آنجا که شاخص ارزش عملکرد از بهای عملکرد و هزینه عملکرد دارای عدم اطمینان بوجود می‌آید، در شاخص ارزش عملکردها و در نتیجه در رتبه‌بندی عملکردها نیز عدم اطمینان وجود خواهد داشت. بدین ترتیب در آنالیز بها-هزینه-عملکرد که یکی از گامهای اساسی مهندسی ارزش می‌باشد، عدم اطمینان وجود دارد.

در ۳۰ سال اخیر در حل مسائلی که پارامترها و کمیت‌های آن به صورت دقیق قابل بیان نیستند و در مقدار آنها عدم اطمینان وجود دارد از تئوری مجموعه‌های فازی^۵ به طور گسترده استفاده شده است. با تعریف پارامترها و کمیت‌های نا دقیق به صورت مجموعه‌های فازی سعی می‌شود عدم اطمینان موجود در مساله بر طرف شده و به نتایجی با اطمینان بیشتر دست یافت. ناگاساوا [2] با در نظر گرفتن بهای عملکردها و هزینه عملکردها به صورت اعداد فازی مثلثی، شاخص ارزش عملکردها را به صورت اعداد فازی مثلثی به دست آورده و با مقایسه اعداد فازی مثلثی حاصل اقدام به رتبه‌بندی عملکردها نموده است. تاکنون روشی عملی برای به دست آوردن اعداد فازی مثلثی بهای عملکردها، هزینه عملکردها و شاخص ارزش عملکردها ارائه

¹ Value Engineering² Function³ Function Value Index⁴ Benchmarking⁵ Fuzzy Sets Theory

نشده است. در این مقاله با ارائه یک روش تصمیم‌گیری گروهی فازی^۶؛ بهای عملکردها، 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 می‌شود.

۲- 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 میزان 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 اعدادی بین صفر و یک هستند. به این نوع مجموعه ها، مجموعه های فازی گویند.

تعریف ۱- فرض کنید X یک مجموعه مرجع دلخواه باشد. مجموعه $\tilde{A}$ که به صورت (۱) تعریف می شود را یک مجموعه فازی می نامند.

(۱)

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

μ را تابع عضویت^۷ گویند که هر $x \in X$ را به یک مقدار در بازه $[0,1]$ تصویر می کند. $\mu(x)$ را درجه عضویت^۸ x در مجموعه $\tilde{A}$ نامند. بسته به اینکه X پیوسته یا گسسته باشد، $\tilde{A}$ نیز پیوسته یا گسسته خواهد بود. تعریف ۲- عدد فازی مثلثی^۹ یک مجموعه فازی پیوسته است که تابع عضویت آن به صورت زیر می باشد؛

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

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

تعریف ۳- 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؛ چهار عمل اصلی جمع، تفریق، ضرب و تقسیم به ترتیب به صورت (۲)، (۳)، (۴) و (۵) می باشد.

⁶ Fuzzy Group Decision Making

⁷ Membership Function

⁸ Membership Grade

⁹ Triangular Fuzzy Number



(۲)

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

(۳)

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

(۴)

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

(۵)

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

برای آشنایی بیشتر با تئوری مجموعه‌های فازی می‌توان به [2,4] رجوع نمود.

۳- تصمیم‌گیری گروهی فازی

در تصمیم‌گیری گروهی از میانگین نظرات اعضای گروه استفاده می‌شود. در تصمیم‌گیری گروهی فازی؛ نظرات اعضای گروه به صورت متغیرهای زبانی یا اعداد فازی می‌باشند. تصمیم‌گیری گروهی فازی برای مهندسی ارزش به این صورت بیان می‌باشد که برای تعیین هزینه عملکردها ابتدا درجه اهمیت هر عملکرد در ایجاد هزینه کل تولید محصول به صورت متغیرهای زبانی^{۱۰} 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 می‌آید. میانگین درجه‌های 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 می‌آید. با استفاده از روشهای مقایسه اعداد فازی مثلثی می‌توان عملکردها را بر اساس شاخص ارزش فازی آنها رتبه‌بندی کرد. فرض کنید گروه مهندسی ارزش شامل k نفر بوده، n عملکرد وجود دارد و هزینه تولید محصول به صورت عدد فازی مثلثی $\tilde{C}$ می‌باشد.

۳-۱- 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 می‌کنند. یک مقیاس هفت سطحی متغیر زبانی برای بیان درجه اهمیت عملکردها و اعداد فازی مثلثی متناظر آنها در جدول ۱ 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 می‌توان درجه اهمیت فازی عملکردها را به صورت (۶) محاسبه کرد.

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (۶)$$

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

$\tilde{W}_i$ 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 می‌باشد. با ضرب اعداد فازی مثلثی $\tilde{W}_i$ و $\tilde{C}$ می‌توان هزینه فازی هر عملکرد را به دست آورد (۷).

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (۷)$$

$$\tilde{C}_i = \tilde{W}_i \cdot \tilde{C}$$

¹⁰ Linguistic Variable



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

۳-۲- تعیین بهای فازی عملکردها

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 درصدتغییرات بالایی و پایینی در اطراف عدد مرکزی در نظر گرفته شود. به عنوان مثال اگر از نظر یکی از اعضای گروه، عدد مرکزی برابر ۵۰ تعیین شده باشد و ۲۰ درصد تغییرات بالایی و ۱۰ درصد تغییرات پایینی در نظر گرفته شود، می توان عدد فازی (۴۵ و ۵۰ و ۶۰) را به عنوان بهای عملکرد مربوطه از نظر فرد مورد نظر ارائه کرد. بهای فازی عملکردها به صورت (۸) محاسبه می شوند.

جدول ۱- متغیرهای زبانی و اعداد فازی متناظر

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

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

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

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

۳-۳- محاسبه شاخص ارزش فازی عملکردها

پس از تعیین بهای فازی عملکردها و هزینه فازی عملکردها ، می توان شاخص ارزش فازی عملکردها را به صورت (۹) محاسبه کرد.

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

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

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

۳-۴- 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 $\tilde{V}_i$ با هم مقایسه شوند. برای مقایسه اعداد فازی مثلثی روش های مختلفی وجود دارد که یکی از آنها استفاده از ضریب مینکوسکی^{۱۱} می باشد که برای عدد فازی مثلثی (a,b,c) به صورت (۱۰) محاسبه می شود.

$$(10)$$

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

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

¹¹ Minkovski Coefficient



۴- مثال محاسباتی

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 ۲ و ۳ بوده و هزینه کل تولید محصول برابر ۱۲۰۰ واحد پولی باشد.

جدول ۲- 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 ۳- 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 ۱ می توان اعداد فازی متناظر با متغیرهای زبانی درجه اهمیت عملکردها در جدول ۲ را به صورت جدول ۴ نشان داد.

جدول ۴- 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 (۶) 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 (۷) 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 (۸) 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 (۹) 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.

۵- 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^{۱۲} 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؛ ۱۳۸۱.
- [2] طاهری؛ سید محمود؛ آشنایی با نظریه مجموعه های فازی؛ چاپ دوم؛ مشهد؛ انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد؛ ۱۳۷۸.
- [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 Publication, 1991.

¹² Fuzzy Logic Systems

