

به کارگیری مهندسی ارزش با رویکرد MADM فازی در بهبود عملکرد پروژه

اکبر عالم تبریز^۱، محمدرضا منیری^۲

چکیده: یکی از ابزارهای قدرتمندی که امروزه در راستای کاهش هزینه، زمان، افزایش کیفیت و در نتیجه بهبود عملکرد پروژه‌ها به خصوص پروژه‌های عمرانی به کار می‌رود، مهندسی ارزش است. برای مطالعه‌های مهندسی ارزش در پروژه‌های ساختمانی در بسیاری از موارد با قضاوت‌های زبانی و غیر دقیق سروکار داریم که می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با رویکرد منطق فازی، به جای روش‌های معمول استفاده کرد. در مقاله‌ی حاضر برنامه کار مهندسی ارزش با مدل‌های MADM فازی تلفیق شده است. در این تلفیق به منظور تعیین وزن معیارهای ارزیابی پیشنهادی حاصل از مرحله خلاقیت، از روش AHP فازی و به منظور تعیین اولویت گزینه‌ها از روش TOPSIS فازی استفاده شده است. روش فوق در طرح تأسیسات مکانیکی پروژه برج موج شهرک مسکونی صدف، یکی از پروژه‌های در دست احداث بخش تعاونی در کشور، به کار گرفته شده است. بر اساس برآورد تیم مهندسی ارزش، اجرای طرح پیشنهادی به جای طرح اولیه، کاهش ۲۱/۴۵ درصدی در هزینه پروژه و ۱۷/۶ درصدی در زمان پروژه را در پی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: ارزش، کارکرد، عملکرد پروژه، تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی، تأسیسات مکانیکی

۱. دانشیار دانشکده مدیریت دانشگاه شهید بهشتی، ایران

۲. کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه شهید بهشتی، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۸۹/۸/۲۰

نویسنده مسئول مقاله: محمدرضا منیری

Email: r_moniri@yahoo.com

مقدمه

در ادبیات مدیریت پروژه، هزینه، زمان و کیفیت شاخص‌های اصلی عملکرد پروژه‌ها محسوب می‌شوند [۱۱]. مهندسی ارزش، یکی از ابزارهایی است که امروزه در جهت بهبود عملکرد پروژه‌ها به خصوص پروژه‌های عمرانی مطرح است [۱۲]. مهندسی ارزش با ترجمان یک سیستم یا فرآیند به کارکردهای آن، توجه را از اجزاء آن به کارکردهای معطوف می‌دارد. دیدن سیستم/فرآیند از منظر کارکردهایش زمینه را برای بروز و ظهور خلاقیت فراهم می‌آورد. از این رو اساس متدولوژی مهندسی ارزش و آنچه آن را از سایر روش‌های بهبود متمایز می‌سازد، دیدگاه کارکردگرای آن است که در قالب تحلیل کارکرد مطرح می‌شود [۱۹].

از سوی دیگر، تصمیم‌گیری یکی از موضوع‌هایی است که در سال‌های اخیر از تئوری مجموعه‌های فازی به‌طور موفق استفاده کرده است. مدل‌های متعددی برای جنبه‌های مختلف مسایل تصمیم با داده‌های مبهم در سال‌های اخیر طراحی شده است. در واقع تئوری فازی چارچوبی جامع برای تشریح و پردازش اطلاعات نادقیق و مبهم در مسایل تصمیم‌گیری ارائه نموده است [۱۵]. در مطالعه‌های مهندسی ارزش پروژه‌های ساختمانی در بسیاری موارد از جمله طراحی معماری داخلی، طراحی مرحله نازک کاری، طراحی تأسیسات مکانیکی و برقی و... با قضاوت‌های زبانی و غیر دقیق سروکار داریم. از این رو می‌توان در مرحله وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی ایده‌ها و نیز در مرحله رتبه‌بندی ایده‌ها و طرح‌های پیشنهادی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه با رویکرد منطق فازی به جای روش‌های معمول در مهندسی ارزش استفاده کرد. به کارگیری منطق فازی موجب افزایش صحت و دقت قضاوت‌ها در فرآیند مهندسی ارزش می‌شود.

مرور ادبیات موضوع

مهندسی ارزش: یکی از ابزارهایی که امروزه به نحو مطلوبی در خدمت مدیران پروژه‌ها قرار دارد و تجربه نشان داده است که می‌تواند به وسیله‌ی تولید ایده‌های خلاقانه‌ی عملکرد و کارایی پروژه‌ها را افزایش دهد، مهندسی ارزش است. کاربرد مهندسی ارزش در دهه ۱۹۶۰ میلادی توسط ارتش آمریکا به حوزه‌ی مدیریت پروژه‌های عمرانی توسعه یافت و امروزه در پروژه‌های ساخت‌وساز در بسیاری از کشورها به‌طور وسیع به کار گرفته می‌شود.

به‌طور کلی نرخ بازگشت سرمایه در مهندسی ارزش، ده دلار به ازای یک دلار است [۲۰]. مطالعه‌ای که روی پانصد مورد گزارش مهندسی ارزش پروژه‌ها انجام شده، نشان داده میزان صرفه‌جویی بین پنج تا سی و پنج درصد هزینه‌های اولیه بوده و میزان قابل توجهی نیز، از هزینه‌های دوره عمر کاسته شده است [۲۱].

تاکنون تعاریف بسیاری از سوی، سازمان‌ها و کشورهای مختلف برای مهندسی ارزش ارائه شده است. انجمن مهندسين ارزش آمریکا از عبارت «متدولوژی ارزش» و تعریف ذیل استفاده می‌کند: «فرآیندی نظام یافته است، که توسط یک تیم چند رشته‌ای و به‌منظور توسعه ارزش پروژه‌ها، محصولات، و یا خدمات از طریق تحلیل کارکردها، به کار گرفته می‌شود» [۱۶]. رویکردهای مترادف با مهندسی ارزش، تحت عنوان روش‌شناسی ارزش؛ برنامه‌ریزی ارزش؛ مدیریت ارزش و تحلیل ارزش مطرح شده است. در بسیاری از منابع، این مفاهیم به جای یکدیگر یا به‌طور دقیق مترادف با یکدیگر، به کار گرفته می‌شود [۱۴].

وظیفه‌ی اصلی مهندسی ارزش؛ تعادل بین هزینه، کارکرد و کیفیت است که از آن‌ها به‌عنوان مؤلفه‌های ارزش یاد می‌شود [۵]. شاخص ارزش برای اندازه‌گیری مطلوبیت مورد نظر مشتری، به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۴]:

$$\text{شاخص ارزش} = \frac{\text{بها}}{\text{هزینه}}$$

شاخص ارزش، بسته به مورد کاربرد می‌تواند به شکل‌های گوناگون تعریف شود. به‌طور کلی، می‌توان گفت که شاخص ارزش نسبتی بدون بعد است که صورت آن مشتمل بر تمام عناصر و پیامدهای مطلوب و مخرج آن مشتمل بر تمام عناصر و پیامدهای نامطلوب است [۱۹].

برنامه کار مهندسی ارزش، بنا به تعریفی که از سوی انجمن بین‌المللی مهندسی ارزش منتشر شده، «رویکردی سازمان یافته برای مطالعات ارزش» است [۱۶]. برنامه کار، قالب و چارچوبی برای تمام فعالیت‌هایی است که توسط تحلیل‌گر ارزش انجام می‌شود [۴][۱۶]. برنامه کارهای متعددی با توجه به کشور یا سازمان مجری برای مهندسی ارزش وجود دارد و ممکن است هر مجری، با توجه به ماهیت موضوع مورد مطالعه، تغییرهایی در آن ایجاد نماید [۴].

استاندارد انجمن بین‌المللی مهندسين ارزش آمریکا که یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین برنامه‌های کاری مهندسی ارزش است، در سه مرحله پیش مطالعه، مطالعه اصلی و فرا مطالعه تنظیم شده است [۱۶].

تا کنون روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی در مرحله ارزیابی پیشنهاد‌های حاصل از مهندسی ارزش به کار نرفته است. تلاش‌های معدودی در استفاده از نظریه فازی در سایر مراحل مهندسی ارزش انجام شده است. از جمله شینیا ناگاساوا در مقاله‌ای تحت عنوان «به‌کارگیری تئوری فازی در مهندسی ارزش» شاخص ارزش را به صورت یک عدد فازی مثلثی که حاصل تقسیم اعداد فازی مثلثی برای بها و هزینه باشد، تعریف کرده است.

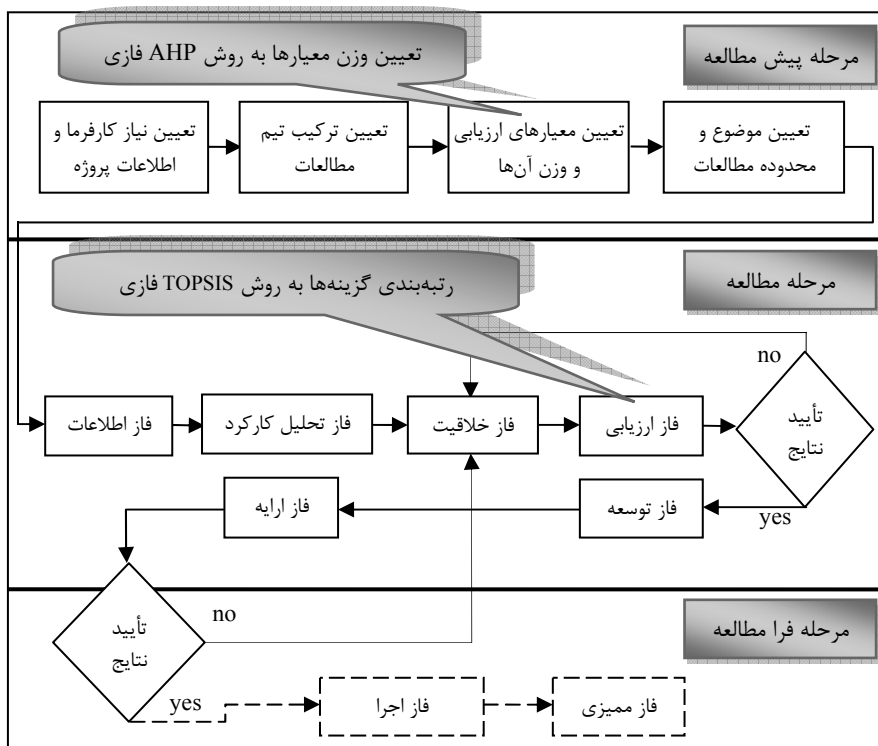
فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی: در سال ۱۹۸۳، دو پژوهشگر هلندی به نام‌های لارهورن و پدریک، روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) پیشنهاد کردند که براساس روش حداقل مجذورات لگاریتمی بنا شده است [۱]. روش دیگر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، روشی معروف به روش باکلی است که از مشکلات محاسباتی روش کمترین مجذورات به مقدار زیادی می‌کاهد. در این روش از اعداد فازی ذوزنقه‌ای استفاده و همچنین میانگین هندسی برای محاسبه اوزان به کار گرفته می‌شود [۲]. در سال ۱۹۹۶ روش دیگری به نام روش تحلیل توسعه‌ای یا (EA)، توسط یک پژوهشگر چینی به نام چانگ، ارائه شده است. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد فازی مثلثی هستند [۱۶][۸]. در مقاله‌ی حاضر از این روش استفاده شده است.

روش TOPSIS فازی: روشی برای توسعه تاپسیس در حل مسایل تصمیم‌گیری در محیط فازی توسط چن ارائه شده است [۱۰]. در این روش ضرایب اهمیت معیارهای مختلف و رتبه‌بندی معیارهای کیفی به صورت متغیرهای کلامی لحاظ شده است. این متغیرهای کلامی به صورت اعداد فازی مثبت بیان می‌شوند. ضرایب اهمیت هر معیار را می‌توان به طور مستقیم یا غیرمستقیم با استفاده از مقایسات زوجی به دست آورد. در این شیوه پیشنهاد می‌شود؛ تصمیم‌گیرندگان از متغیرهای کلامی رتبه‌بندی گزینه‌ها در ارتباط با هر معیار، استفاده نمایند [۱۰][۱۳][۱۸]. در این روش، برای جلوگیری از محاسبات پیچیده فرمول‌های نرمالیز کردن ماتریس تصمیم‌گیری در روش تاپسیس کلاسیک، از یک مقیاس تبدیل خطی استفاده شده است تا مقیاس معیارهای مختلف را به یک مقیاس قابل مقایسه

تبدیل کند [۹][۱۷]. روش بی‌مقیاس کردن گفته شده، مقادیر اعداد فازی بی‌مقیاس شده را به‌طور مناسبی در فاصله [۰،۱] قرار می‌دهد. بنابراین می‌توان راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی را به‌صورت ذیل تشکیل داد [۹]:

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) \quad , \tilde{v}_j^+ = (1,1,1) \quad , j = 1,2,\dots, m$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad , \tilde{v}_j^- = (0,0,0) \quad , j = 1,2,\dots, m$$



نمودار ۱. فلوجارت مراحل مدل پیشنهادی

روش پژوهش

روش پژوهش حاضر از نوع توصیفی بوده و در میان انواع پژوهش‌های توصیفی از نوع مطالعه‌ی موردی محسوب می‌شود. این پژوهش، براساس مراحل برنامه‌کاری و مدل استاندارد انجمن بین‌المللی مهندسی ارزش آمریکا بنا شده است که از آن به‌عنوان «متدولوژی مهندسی ارزش» یاد شده است. با این تفاوت که در زیر مرحله تعیین وزن

معیارهای ارزیابی پیشنهادها و نیز در مرحله رتبه‌بندی پیشنهادها به ترتیب از روش‌های AHP فاز ۱ و TOPSIS فاز ۱ به جای روش‌های تصمیم‌گیری معمول در متدولوژی مهندسی ارزش نظیر SAW، Mini-Max و ... [۴][۶][۱۹] استفاده شده است (نمودار ۱). دلیل این امر ماهیت غیردقیق و فازی نظرات خبرگان در خصوص وزن معیارها و نیز اولویت گزینه‌ها در طراحی سیستم‌هایی از نوع سیستم‌های تأسیسات مکانیکی ساختمانی است. چه بسا این امر بتواند بر صحت و دقت قضاوت‌ها در فرآیند مهندسی ارزش در چنین پروژه‌هایی بیفزاید.

در نمودار (۱) فلوچارتی از مراحل انجام مطالعه‌ی مهندسی ارزش در پژوهش حاضر ترسیم شده است. گفتنی است که قلمرو مطالعه‌ی موردی پژوهش حاضر فازهای مرحله مطالعه تکمیلی یعنی فاز اجرا و فاز ممیزی که در شکل با خط چین نمایش داده شده‌اند را دربر نمی‌گیرد. دلیل این امر آن است که محدوده‌ی مطالعه‌ی حاضر، فاز طراحی پروژه برج موج است و اجرای پروژه هنوز آغاز نشده و نزدیک به ۱۸ ماه طول خواهد کشید.

مطالعه‌ی موردی

مراحل گفته شده، در طرح تأسیسات مکانیکی پروژه برج موج، یکی از ۲۹ برج مسکونی زیر مجموعه پروژه شهرک مسکونی صدف به کار گرفته شده است.

مرحله پیش مطالعه

در نخستین گام این مرحله، در جلسه‌ای با کارفرمای پروژه، خواسته‌های آنان بررسی شده است. در این جلسه کارفرما اظهار داشت که به دلیل افزایش زمان و هزینه پروژه شهرک صدف خواسته آنان این است که با به کارگیری مهندس ارزش هزینه و زمان اجرای پروژه با حفظ کیفیت، کاهش یابد. به عبارت دیگر کاهش هزینه و زمان با حفظ کیفیت در اولویت اول قرار داشته و ارتقاء کیفیت در صورت برآورده شدن خواسته اول، در اولویت بعدی است.

با بررسی منابع مربوط به طراحی تأسیسات مکانیکی ساختمان و مصاحبه با تعدادی از کارشناسان تأسیسات مکانیکی ساختمان و نیز با مشورت اعضای تیم مهندسی ارزش، موارد زیر به عنوان معیارهای ارزیابی پیشنهادها مربوط به طرح تأسیسات مکانیکی در نظر گرفته شده است.

(۱) **قابلیت اجرا:** یعنی پیشنهاد تا چه اندازه با توجه به طرح سازه و معماری و امکانات فنی و اجرایی موجود و در دسترس پروژه و نیز استانداردها و ملاحظات فنی (از جمله استانداردهای سازمان نظام مهندسی کشور) قابلیت اجرا دارد.

(۲) **قابلیت نگهداری و تعمیرات:** یعنی پیشنهاد تا چه اندازه فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در طول دوره بهره‌برداری پروژه را تسهیل می‌کند.

(۳) **قابلیت اطمینان:** یعنی پیشنهاد مورد نظر، تا چه اندازه موجب ایجاد قابلیت اطمینان در سیستم مطالعه شده و احتمال از کار افتادگی یا نقص در سیستم را کاهش و ایمنی سیستم را افزایش می‌دهد.

(۴) **طول عمر:** یعنی پیشنهاد مورد مطالعه تا چه اندازه طول عمر و دوام سیستم و اجزاء آن را افزایش خواهد داد.

به‌منظور تعیین وزن هر یک از چهار معیار تعیین شده در مرحله قبل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به روش تحلیل توسعه‌ای (EA) استفاده شده است. برای جمع‌آوری نظرات اعضای تیم در خصوص مقایسه زوجی معیارها، از تابع عضویت متغیرهای زبانی به شرح جدول (۱) استفاده شده است. در ادامه، میانگین هندسی اعداد فازی مثلثی مربوط به نظر هر یک از اعضا، به‌عنوان برآیند نظرهای اعضای تیم مهندسی ارزش، از طریق فرمول زیر محاسبه شده است [۲].

$$\bar{a}_{ij} = \left[\prod_{k=1}^N \tilde{a}_{ij}^{(K)} \right]^{\frac{1}{N}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

جدول ۱. تابع عضویت متغیرهای زبانی تعیین وزن معیارها

ارجحیت ستون به سطر			ارجحیت سطر به ستون			
عدد فازی معادل			عدد فازی معادل			
متغیر زبانی			متغیر زبانی			
۱	۱	۱	۱	۱	۱	اهمیت یکسان
۰/۳۷	۰/۵	۰/۷۵	۱/۳۳	۲	۲/۶۷	یکسان تا نسبتاً مهم‌تر
۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۴۳	۲/۳۳	۳	۳/۶۷	نسبتاً مهم‌تر
۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۳۰	۳/۳۳	۴	۴/۶۷	نسبتاً تا بسیار مهم‌تر
۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۳	۴/۳۳	۵	۵/۶۷	بسیار مهم‌تر

گفتنی است، از آنجا که برای نظر تمامی اعضای تیم وزن یکسانی در نظر گرفته شده است، فرمول میانگین هندسی به صورت گفته شده آمده است. در جدول (۲) ماتریس مقایسات زوجی AHP فازی، حاصل از میانگین هندسی نظرات اعضای تیم آمده است. در جدول گفته شده، درخصوص مقادیر پایین قطر اصلی، از معکوس مقادیر به دست آمده برای درایه‌های بالای قطر اصلی استفاده شده است.

جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی معیارها

معیار	C1	C2	C3	C4
C1	(1/1000, 1/1000, 1/1000)	(1/023, 1/201, 1/394)	(0/909, 1/201, 1/565)	(1/178, 1/442, 1/732)
C2	(0/717, 0/833, 0/977)	(1/1000, 1/1000, 1/1000)	(0/743, 0/953, 1/267)	(0/749, 0/933, 1/149)
C3	(0/639, 0/833, 1/1000)	(0/789, 1/049, 1/362)	(1/1000, 1/1000, 1/1000)	(1/073, 1/348, 1/642)
C4	(0/577, 0/693, 0/849)	(0/870, 1/072, 1/335)	(0/609, 0/742, 0/932)	(1/1000, 1/1000, 1/1000)

سپس با توجه به روش EA، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی بالا، ارزش S_K که خود یک عدد فازی مثلثی است، از طریق فرمول زیر محاسبه شده است.

$$S_K = \sum_{j=1}^n M_{kj} \times \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1}$$

که در آن K بیانگر شماره سطر و i و j به ترتیب نشان دهنده‌ی گزینه‌ها و شاخص‌ها است. مقادیر S_K به دست آمده در ادامه آمده است.

$$S1 = (0/213, 0/297, 0/410)$$

$$S2 = (0/166, 0/228, 0/317)$$

$$S3 = (0/181, 0/260, 0/368)$$

$$S4 = (0/158, 0/215, 0/297)$$

سپس درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_K به دست آمده، نسبت به مابقی آن‌ها محاسبه می‌شود. در ادامه مقادیر درجه بزرگی، $V(S_i \geq S_K)$ ، به دست آمده برای هر یک از S_K ها آمده است.

$$V(S1 \geq S2) = 1/00, V(S2 \geq S3) = 0/81, V(S2 \geq S1) = 0/60, V(S3 \geq S2) = 1/00$$

$$V(S1 \geq S3) = 1/00, V(S2 \geq S4) = 1/00, V(S3 \geq S1) = 0/80, V(S4 \geq S2) = 0/91$$

$$V(S1 \geq S4) = 1/00, V(S3 \geq S4) = 1/00, V(S4 \geq S1) = 0/50, V(S4 \geq S3) = 0/72$$

برای محاسبه وزن نسبی هر یک از شاخص‌ها در ماتریس مقایسات زوجی از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$W'(C_i) = \min[V(S_i \geq S_K)]^T ; K = 1, 2, 3, \dots, n; K \neq i$$

مقادیر به‌دست آمده برای W' به صورت زیر است:

$$W' = [1, 0/60, 0/80, 0/50, 2/91]^T$$

با به‌هم‌نگار کردن مقادیر بالا از طریق فرمول زیر، بردار وزن هر یک از معیارها به‌دست می‌آید.

$$W_j = W'(C_i) / \sum_{j=1}^N W'(C_i) ; \forall j$$

در ادامه بردار وزن به‌دست آمده برای هر یک از معیارهای ارزیابی پیشنهادی آمده است:

$$W = [0/34, 0/21, 0/28, 0/17]^T$$

با توجه به نظرهای کارفرما و اطلاعات گردآوری شده از پروژه، موضوع مطالعه و محدوده انجام مطالعات مهندسی ارزش، تعیین می‌شود [۱۹]. در این مرحله، طرح تأسیسات مکانیکی پروژه برج موج، که پیش از این با توجه به نظر کارفرما به‌عنوان حوزه کلی مورد مطالعه انتخاب شده بود توسط اعضای تیم مطالعات، بررسی شده است. در این بررسی زیر سیستم‌های تأسیسات مکانیکی برج موج شناسایی شده که عبارت بودند از: (۱) سیستم گرمایش؛ (۲) سیستم آب‌رسانی؛ (۳) سیستم دفع فاضلاب؛ (۴) سیستم آتش‌نشانی؛ (۵) سیستم سرمایش؛ (۶) سیستم تخلیه هوا.

سپس هزینه برآوردی هریک از زیر سیستم‌ها براساس طرح اولیه موجود، استخراج شده است. همچنین، زمان مسیر بحرانی هریک از زیر سیستم‌های تأسیسات مکانیکی

پروژه، با توجه به برنامه زمان‌بندی پروژه برج موج در نرم‌افزار MSP استخراج شده است. با در نظر گرفتن اصل پارتو که بیان می‌دارد: ۸۰٪ منابع (در اینجا هزینه و زمان) صرف ۲۰٪ از موارد کاری می‌شود [۶]، زیر پروژه سیستم گرمایش به‌عنوان محدوده مطالعات، یعنی زیر سیستم مورد مطالعه، انتخاب شد.

مرحله مطالعه اصلی

الف) زیر مرحله اطلاعات

در نخستین گام از مرحله مطالعه‌ی اصلی، اطلاعات جمع‌آوری شده در مرحله پیش مطالعه توسط اعضای تیم مهندسی ارزش مرور شده و مواردی که اطلاعات ناقص بوده و نیاز به تکمیل داشت، با همکاری اعضای تیم تکمیل شده است. براساس طرح اولیه، سیستم گرمایش پروژه برج موج از نوع حرارت مرکزی با مبدل (مصرف کننده) رادیاتور بوده است. در بررسی طرح اولیه ۱۵ جزء برای طرح اولیه سیستم گرمایش شناسایی شد که فهرست آن‌ها در جدول (۳) آمده است. در ادامه هزینه و نیز زمان تهیه و اجرای هر یک از اجزا بر اساس برآوردهای موجود از طرح اولیه استخراج شده است.

ب) زیر مرحله تحلیل کارکرد

در این مرحله کاربرگ‌هایی به تعداد هر یک از اجزاء و تحت عنوان هر یک از آن‌ها در اختیار هر یک از اعضای تیم قرار گرفته و از آنان خواسته شد تا کارکردهای هر یک از اجزاء را در قالب «یک فعل معلوم» و «یک اسم قابل اندازه‌گیری» و در پاسخ به این سؤال که «آن جزء چه کاری انجام می‌دهد؟» مشخص نموده و در کاربرگ مربوطه ثبت نمایند. سپس نظرات جمع‌بندی و کارکردهای مشابه ترکیب شدند. در این مرحله در مجموع ۱۸ کارکرد برای سیستم گرمایش و اجزاء آن شناسایی شده است.

در ادامه، تحلیل هزینه‌ها براساس کارکردها، با استفاده از مدل ماتریسی هزینه-کارکرد، به‌منظور تعیین هزینه هر یک از کارکردها انجام شده است. در گام بعد، بها و شاخص ارزش هر یک از کارکردها تعیین شده است. به این منظور از روشی که در [۷] آمده، استفاده شده است. در این روش به‌منظور تعیین بها، از اعضای تیم خاسته می‌شود که عدد ۱۰۰ را مابین کارکردها، به نسبت اهمیت مورد نظرشان برای هر کارکرد، تقسیم نمایند. سپس، میانگین اعداد تخصیص یافته توسط هر یک از اعضا به هر یک از کارکردها

پ) زیر مرحله خلاقیت

در این مرحله برای پیشنهاد ایده‌هایی به منظور انجام بهتر هر یک از کارکردها، جلسه توفان فکری با حضور کلیه اعضای تیم مطالعات ارزش برگزار شده است. در این جلسه کارکردها به ترتیب اولویت حاصل از مرحله قبل (مرحله تحلیل کارکرد) مورد بررسی اعضا تیم قرار گرفتند. در این جلسه سعی شد تا قوانین جلسه توفان فکری گفته شده در [۴][۵] رعایت شود. در انتهای این مرحله تعدادی پیشنهاد برای هر کارکرد جمع آوری شده است.

جدول ۴. سناریوهای حاصل از ترکیب پیشنهادها

سناریوها	شناسه	عنوان پیشنهاد
پیشنادهای زیر مجموعه سناریوی A1	D1	استفاده از عایق پلاستوفوم
	D3	استفاده از نبشی دوپل در تکیه‌گاه‌ها
	D4	استفاده از بست‌های پلاستیکی
	D6	به کارگیری لوله‌های پنج لایه داخل واحدها
	D8	استفاده از لوله دودکش آزیست سیمان
	D11	استفاده از سیستم پکیج یونیت
	D14	نصب شیر قطع و وصل برای هر واحد
	D23	استفاده از ترموستات دیواری
	D28	استفاده از شیرهای شناور تمام پلاستیک
پیشنادهای زیر مجموعه سناریوی A2	D1	استفاده از عایق پلاستوفوم
	D3	استفاده از نبشی دوپل در تکیه‌گاه‌ها
	D5	تجمع ریزرها
	D6	به کارگیری لوله‌های پنج لایه داخل واحدها
	D7	لوله کشی با سیستم مستقیم در زیر زمین‌ها
	D8	استفاده از لوله دودکش آزیست سیمان
	D12	استفاده از یک دیگ با ظرفیت بیشتر
	D13	انتقال شیرهای قطع و وصل ریزرها به دیوار
	D14	نصب شیر قطع و وصل برای هر واحد
	D16	تغییر چیدمان موتور خانه
	D21	استفاده از یک منبع انبساط
	D22	تغییر مکان منابع انبساط
	D24	به کارگیری صافی مشترک
	D25	استفاده از حلقه انبساط

عنوان پیشنهاد	شناسه	سناریوها
استفاده از عایق با پوشش متقال	D2	پیشنادهای زیر مجموعه سناریوی A3
استفاده از بست‌های پلاستیکی	D4	
تجمیع رایزرها	D5	
لوله کشی با سیستم مستقیم درزیر زمین‌ها	D7	
تجمیع دودکش‌ها	D9	
به کارگیری دودکش گالوانیزه	D10	
انتقال شیرهای قطع و وصل رایزرها به دیوار	D13	
نصب شیر قطع و وصل برای هر واحد	D14	
کاهش سایز شیرهای موتورخانه	D15	
تغییر چیدمان موتورخانه	D16	
جایگزینی رادیاتور فولادی	D17	
استفاده از یک مشعل دو گانه‌سوز	D20	
استفاده از حلقه انبساط	D25	
استفاده از عایق پلاستوفوم	D1	پیشنادهای زیر مجموعه سناریوی A4
استفاده از نبشی دوپل در تکیه‌گاه‌ها	D3	
به کارگیری لوله‌های پنج لایه داخل واحدها	D6	
لوله کشی با سیستم مستقیم درزیر زمین‌ها	D7	
استفاده از لوله دودکش آزیست سیمان	D8	
استفاده از یک دیگ با ظرفیت بیشتر	D12	
انتقال شیرهای قطع و وصل رایزرها به دیوار	D13	
جایگزینی فن کویل	D18	
استفاده از یک منبع انبساط	D21	
تغییر مکان منابع انبساط	D22	
استفاده از ترموستات دیواری	D23	
به کارگیری صافی مشترک	D24	
استفاده از حلقه انبساط	D25	
استفاده از الکتروموتورهای دور متغیر	D26	
استفاده از عایق پلاستوفوم	D1	پیشنادهای زیر مجموعه سناریوی A5
استفاده از نبشی دوپل در تکیه‌گاه‌ها	D3	
لوله کشی با سیستم مستقیم درزیر زمین‌ها	D7	
به کارگیری دودکش گالوانیزه	D10	
استفاده از یک دیگ با ظرفیت بیشتر	D12	
انتقال شیرهای قطع و وصل رایزرها به دیوار	D13	
تغییر چیدمان موتورخانه	D16	
استفاده از لوله کشی گرمایش از کف	D19	
استفاده از یک منبع انبساط	D21	
تغییر مکان منابع انبساط	D22	
استفاده از ترموستات دیواری	D23	

ت) زیرمرحله ارزیابی

در این مرحله ایده‌های خلق شده در مرحله خلاقیت که تعداد آن‌ها زیاد بود، به روشی نظام یافته کاهش یافته و مناسب‌ترین ایده‌ها جهت فاز توسعه انتخاب شده است. به این منظور ابتدا ایده‌هایی که با اجماع اعضای گروه بی‌معنا و نامناسب تشخیص داده شد، حذف شده است. در انتهای این مرحله ۲۸ پیشنهاد باقی ماند. هر یک از ۲۸ پیشنهاد باقی‌مانده در سازگاری با یک یا چند مورد از دیگر پیشنهادها بود. در این مرحله، با توجه به این امر، ۵ سناریو تحت شناسه A1 تا A5 از ترکیبات این راه‌حل‌ها شکل گرفت که در جدول (۴) آمده است. در واقع هر سناریو یک طرح پیشنهادی برای سیستم گرمایش پروژه برج موج است. گفتنی است؛ ترکیب راه‌حل‌های پیشنهادی برای تشکیل سناریوها، با توجه به ملاحظات فنی انجام شده است.

سپس، اولویت هر یک از سناریوهای پیشنهادی مرحله قبل به روش TOPSIS فازی، تعیین شده است. به منظور جمع‌آوری نظرات اعضای تیم مهندسی ارزش در خصوص اهمیت هر یک از گزینه‌ها (سناریوها) نزد هر یک از معیارها، از تابع عضویت متغیرهای زبانی به شرح جدول (۵) استفاده شده است.

جدول ۵. تابع عضویت متغیرهای زبانی رتبه‌بندی سناریوها

عدد فازی معادل	متغیر زبانی
(۰,۰,۱)	خیلی ضعیف (VP)
(۰,۱,۳)	ضعیف (P)
(۱,۳,۵)	نسبتاً ضعیف (MP)
(۳,۵,۷)	قابل قبول (F)
(۵,۷,۹)	نسبتاً خوب (MG)
(۷,۹,۱۰)	خوب (G)
(۹,۱۰,۱۰)	خیلی خوب (VG)

در ادامه، میانگین حسابی اعداد مثلثی فازی مربوط به اهمیت هر گزینه نزد هر معیار، از طریق فرمول زیر محاسبه شده است [۱۰][۱۸].

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 (+) \tilde{x}_{ij}^2 (+) \dots \tilde{x}_{ij}^K]$$

جدول ۶. ماتریس تصمیم فازی

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	(۵/۰۰۰, ۶/۸۳۳, ۸/۳۳۳)	(۷/۰۰۰, ۸/۶۶۷, ۹/۶۶۷)	(۳/۸۳۳, ۵/۶۶۷, ۷/۵۰۰)	(۱/۳۳۳, ۲/۸۳۳, ۴/۶۶۷)
A ₂	(۶/۳۳۳, ۸/۳۳۳, ۹/۳۳۳)	(۵/۳۳۳, ۷/۱۶۷, ۸/۶۶۷)	(۳/۱۶۷, ۵/۰۰۰, ۶/۸۳۳)	(۳/۶۶۷, ۶/۰۰۰, ۷/۵۰۰)
A ₃	(۳/۳۳۳, ۵/۳۳۳, ۷/۱۶۷)	(۲/۸۳۳, ۴/۶۶۷, ۶/۶۶۷)	(۱/۳۳۳, ۲/۸۳۳, ۴/۶۶۷)	(۰/۳۳۳, ۱/۳۳۳, ۲/۳۳۳)
A ₄	(۱/۳۳۳, ۲/۸۳۳, ۴/۳۳۳)	(۲/۱۶۷, ۴/۰۰۰, ۶/۰۰۰)	(۲/۸۳۳, ۴/۶۶۷, ۶/۱۶۷)	(۱/۱۶۷, ۲/۶۶۷, ۴/۰۰۰)
A ₅	(۲/۵۰۰, ۴/۳۳۳, ۶/۰۰۰)	(۱/۸۳۳, ۳/۶۶۷, ۵/۳۳۳)	(۲/۰۰۰, ۳/۶۶۷, ۵/۳۳۳)	(۳/۱۶۷, ۵/۰۰۰, ۶/۵۰۰)

جدول ۷. ماتریس تصمیم وزین به هنجار فازی

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	(۰/۱۷۹, ۰/۲۴۵, ۰/۲۹۸)	(۰/۱۴۹, ۰/۱۸۵, ۰/۲۰۶)	(۰/۱۴۱, ۰/۲۰۹, ۰/۲۷۶)	(۰/۰۳۱, ۰/۰۶۶, ۰/۱۰۸)
A ₂	(۰/۲۲۷, ۰/۲۹۸, ۰/۳۳۴)	(۰/۱۱۴, ۰/۱۵۳, ۰/۱۸۵)	(۰/۱۱۷, ۰/۱۸۴, ۰/۲۵۱)	(۰/۰۸۵, ۰/۱۳۹, ۰/۱۷۴)
A ₃	(۰/۱۱۹, ۰/۱۹۱, ۰/۲۵۶)	(۰/۰۶۰, ۰/۰۹۹, ۰/۱۴۲)	(۰/۰۴۹, ۰/۱۰۴, ۰/۱۷۲)	(۰/۰۰۸, ۰/۰۳۱, ۰/۰۵۴)
A ₄	(۰/۰۴۸, ۰/۱۰۱, ۰/۱۵۵)	(۰/۰۴۶, ۰/۰۸۵, ۰/۱۲۸)	(۰/۱۰۴, ۰/۱۷۲, ۰/۲۲۷)	(۰/۰۲۷, ۰/۰۶۲, ۰/۰۹۳)
A ₅	(۰/۰۸۹, ۰/۱۵۵, ۰/۲۱۵)	(۰/۰۳۹, ۰/۰۷۸, ۰/۱۱۴)	(۰/۰۷۴, ۰/۱۳۵, ۰/۱۹۶)	(۰/۰۷۳, ۰/۱۱۶, ۰/۱۵۱)

حاصل میانگین گیری نظرات، ماتریس تصمیم فازی (\tilde{D}) است که در جدول (۶) آمده است. در ادامه، ماتریس تصمیم به هنجار شده فازی (\tilde{R}) محاسبه شده و با ضرب آن در بردار اوزان شاخص های به دست آمده از روش AHP فازی، ماتریس تصمیم وزین به هنجار فازی (\tilde{V})، محاسبه شده که در جدول (۷) آمده است.

درایه های ماتریس وزین به هنجار فازی، اعداد فازی مثلثی مثبت در بازه [۰، ۱] هستند. از این رو، همان گونه قبلاً گفته شده است، می توان راه حل ایده آل مثبت و منفی را به صورت زیر تشکیل داد:

$$A^+ = (V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+); \quad \tilde{V}_j^+ = (1, 1, 1), j = 1, 2, \dots, n$$

$$A^- = (\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^-); \quad \tilde{V}_j^- = (0, 0, 0), j = 1, 2, \dots, n$$

به عبارت دیگر تمامی راه حل های ایده آل مثبت عدد فازی مثلثی (۱، ۱، ۱) و همهی راه حل های ایده آل منفی (۰، ۰، ۰) در نظر گرفته شده است. سپس مجموع فواصل هر گزینه

از راه حل ایده آل مثبت و راه حل ایده آل منفی (d_1^- ، d_1^+)، محاسبه شده است. در ادامه، شاخص نزدیکی نسبی (CC_i) هر گزینه محاسبه شده است. اولویت گزینه‌ها، براساس ترتیب نزولی شاخص نزدیکی نسبی تعیین می‌شود. در جدول (۸) مقادیر شاخص نزدیکی نسبی و اولویت هر یک از گزینه‌ها (سناریوها) براساس این شاخص، آمده است.

جدول ۸. شاخص نزدیکی نسبی و رتبه گزینه‌ها

رتبه	شاخص نزدیکی نسبی (CC_i)	گزینه
۲	۰/۱۸	A1
۱	۰/۲۰	A2
۴	۰/۱۱	A3
۵	۰/۱۱	A4
۳	۰/۱۲	A5

بنابراین، براساس جدول بالا، سناریو A_2 ، به عنوان سناریو (طرح) پیشنهادی تیم مهندسی ارزش برای سیستم گرمایش پروژه برج موج برگزیده شد.

ث) زیر مرحله توسعه و ارایه

در این زیر مرحله هزینه‌ها و زمان‌های اجزاء طرح پیشنهادی (سناریوی A2) برآورد شده و با هزینه‌ها و زمان‌های مربوط به طرح پیشنهادی مقایسه شده است. در انتها طرح پیشنهادی به کارفرمای پروژه ارایه شد.

نتیجه‌گیری

هزینه، زمان و کیفیت شاخص‌های اصلی عملکرد پروژه‌ها محسوب می‌شوند [۱۱] [۹]. در مطالعه‌ی حاضر بر اساس برآورد تیم مهندسی ارزش، در صورت به کارگیری سناریو (طرح) پیشنهادی، هزینه‌های اجرای زیر پروژه مورد مطالعه؛ یعنی سیستم گرمایش معادل با ۲۱/۴۵٪ هزینه طرح اولیه کاهش خواهد یافت. زمان مسیر بحرانی اجرای زیر پروژه مورد مطالعه یعنی سیستم گرمایش نیز معادل با ۱۷/۶۵٪ کاهش خواهد داشت. بر این اساس، هزینه‌ی کل پروژه به میزان ۲/۷۲٪ و زمان مسیر بحرانی کل پروژه به میزان ۱۵/۴۶٪ کاهش خواهد یافت. بنابراین می‌توان گفت، به کارگیری مهندسی ارزش با رویکرد

پیشنهادی پژوهش، می‌تواند موجب بهبود عملکرد زیر پروژه مورد مطالعه و در صورت انتخاب درست موضوع و محدوده‌ی مطالعه، موجب بهبود عملکرد کل پروژه شود.

منابع

۱. آذر عادل، فرجی حجت (۱۳۸۶). علم مدیریت فازی (چاپ دوم)، موسسه انتشارات مهربان نشر، تهران.
۲. اصغریور محمد جواد (۱۳۸۳). تصمیم‌گیری‌های چند معیاره (چاپ سوم)، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
۳. تیری مایکل (۱۳۸۳). مدیریت ارزش، تهران، شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس.
۴. جیل عاملی محمد سعید، قوامی فر کامران، عبایی مزدک (۱۳۸۳). جایگاه مهندسی ارزش در مدیریت پروژه، تهران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.
۵. ربانی مسعود، رضایی کامران، شکاری امیر، حاجی علی اکبر مهدیه (۱۳۸۵). مدیریت / مهندسی ارزش مبتنی بر استانداردهای SAVE و EN12973:2000 (چاپ دوم). تهران، شرکت مشارکتی ار- و- توف با همکاری نشر آتنا.
۶. قلی‌پور یعقوب، بیرقی حمید (۱۳۸۳). مبانی مهندسی ارزش، تهران، انتشارات ترمه.
۷. کریمی محمود (۱۳۸۷). بهبود بی‌تردید: آموزش کاربردی مهندسی ارزش (چاپ دوم)، تهران، مؤسسه خدمات فرهنگی رسا.
۸. مؤمنی، منصور (۱۳۸۵). مباحث نوین تحقیق در عملیات، تهران، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
۹. منزوی طاهره، زارعی بهروز (۱۳۸۹). ارایه مدلی برای تبیین عوامل مؤثر بر فرآیند انطباق کاربران با سیستم‌های اطلاعاتی: پژوهشی پیرامون شرکت مهندسی و ساخت تأسیسات دریایی ایران؛ ۲(۵).

10. Chen C.T (2000). Extension of the TOPSIS for Group Decision-Making under Fuzzy Environment”, Fuzzy Sets and Systems 114: 1-9.

11. Deweiri F.T, Kablan M.M (2006). Using Fuzzy Decision Making for the Evaluation of the Project Management Internal Efficiency, Decision Support Systems, 42: 714-726.
12. Hamilton A (2006). Managing for Value: Achieving High Quality at Low Cost, Oak Tree Press, Ireland.
13. Jahanshahloo G.R, Hosseinzadeh F, Izadikhah M. (2006). Extension of TOPSIS Method for Decision-Making Problems with Fuzzy Data, Applied Mathematics and Computation, 98: 32-46.
14. Male S, Kelly J, Grongvist M, Graham D (2007). Managing Value as a Management Style for Projects”, International Journal of Project Management, 27: 107-114.
15. Riberio R.A (1996). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: A Review and New Preference Elicitation Techniques, Fuzzy Sets and Systems, 78: 155-181.
16. SAVE International (2007). Value Standard and Body of Knowledge, [Online] Available From <URL: <http://www.save.org> >.
17. Wang Y.M, Luo Y, Hua Z (2008). On the Extent Analysis Method for Fuzzy AHP and Its Application, European Journal of Operational Research, 186: 735-747.
18. Yang T., Hung C.C (2007). Multiple-Attribute Decision Making Methods for Plant Layout Design Problem, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 23: 126-137
19. Younker D (2003). Value Engineering: Analysis and Methodology, Winter Springs, Florida, U.S.A.
20. Hammersly H (2002). Value Management In Construction, Hammersly Value Management Limited, UK.
21. Jumas D.Y, Peli M.,Putra W, Arnaldi S (2002).Value Engineering & Cost Saving Issues on USA Department of Transportation(DOTS), [Online] Available From <URL: <http://www.fhwa.dot.gov>>.