مهندسی عمران شریف (زمستان ۱۴۰۱)
دوره‌ی ۲ - ۳۸، شماره‌ی ۴/۱، ص. ۱۳-۲۲، (پژوهشی)

Original Article

امکان‌سنجی بهبود ارزش پروژه‌های عمرانی بزرگ مقیاس با استفاده از تلفیق مهندسی ارزش و مدل پیش‌بینی استنتاج فازی

عباس تاج‌الدینی * **(استادیار)**
پرویز عالی‌پور (استادیار)
علی پایدار (استادیار)
سعید کاشیان (کارشناس‌ارشد)
گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج

با استفاده از مفاهیم مهندسی ارزش و بررسی مشکلات و موانع کاربرد روش ذکر شده در ساختار مجموعه‌های کارفرمایی، پیمانکاری و مشاوره‌یی، پژوهش حاضر سعی دارد معیارهای اصلی و میزان تأثیرشان در بهبود ارزش ابر پروژه‌ها را بسنجد. هدف اصلی، پیش‌بینی میزان تأثیر عامل‌های مرتبط با کیفیت، زمان و هزینه در ارزش ابرپروژه‌ها با استفاده از یک مدل استنتاج فازی ـ عصبی تطبیقی است. جهت ساخت مدل پیش‌بینی مذکور، اطلاعات لازم توسط یک پرسش‌نامه جمع‌آوری شده است، که روائی و پایایی آن نیز بررسی و تأیید شده است. بر اساس نظرات خبرگان موضوع و انجام مصاحبه، ارزیابی میزان تأثیر معیارهای اصلی مهندسی ارزش در کیفیت، زمان و هزینه‌ی یک ابرپروژه (مطالعه‌ی موردی: پروژه‌ی ایران‌مال) انجام شده و مدل مذکور توسعه یافته است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیشترین و کمترین میزان تأثیر در بین معیارهای انتخابی در مدیریت کارآمد ابرپروژه‌ها، هر دو مربوط به عامل زمان با معیارهای «برنامه‌ریزی صحیح» و «جلوگیری از تداخل مسئولیت‌ها» بوده است.

واژگان کلیدی: مهندسی ارزش، مدل پیش‌بینی، پروژه‌های ساختمانی بزرگ‌مقیاس، سیستم استنتاج فازی ـ عصبی تطبیقی.

a.tajaddini@kiau.ac.ir
aalipour@kiau.ac.ir
a.paydar@iaumalard.ac.ir
s.kashian@yahoo.com

۱. مقدمه

همه ساله، بخش عمده‌یی از درآمدهای کشورها، صرف سرمایه‌گذاری در پروژه‌های عمرانی می‌شود، که پروژه‌های بزرگ‌مقیاس در آن سهم به‌سزایی دارند. پروژه‌های بزرگ‌مقیاس به‌دلیل پیچیدگی طراحی، تعدد سازمان‌ها و افراد درگیر در پروژه و تنوع فعالیت‌ها عموماً در چارچوب هزینه و زمان تعیین شده‌ی اولیه قرار نمی‌گیرند. لذا به‌کارگیری مفهوم مهندسی ارزش جهت بهینه‌سازی هزینه‌ها و تخصیص صحیح منابع ضروری است. از سوی دیگر، تأخیر در پیشرفت فیزیکی پروژه، نه فقط موجب طولانی شدن زمان اجرا و صرف هزینه‌های قابل ملاحظه برای تکمیل آن‌ها می‌شود، بلکه نارضایتی‌های زیاد و مشکلات متعددی را نیز ایجاد خواهد کرد. دلایل و عوامل زیادی، از جمله: تفکر مبتنی بر عادت‌ها و سنت‌ها، محدودیت در زمان، ضعف در روابط انسانی و هماهنگی و فقدان یا کمبود منابع مالی هستند، که موجب تحمیل هزینه‌های اضافی بر پروژه‌ها در طی فرایند طراحی، ساخت و بهره‌برداری از پروژه می‌شوند، که در نهایت به کاهش ارزش پروژه منجر می‌شوند.

بررسی‌ها نشان می‌دهند درصد قابل ملاحظه‌یی از طرح‌های عمرانی درکشورهای در حال توسعه، مانند ایران، مشکلات اساسی در مرحله‌ی طراحی دارند. این امر موجب می‌شود بسیاری از طرح‌های عمرانی ناقص اجرا شوند و بسیاری دیگر نیز در مرحله‌ی بهره‌برداری مشکل داشته باشند. با در نظرگرفتن واقعیات ذکر شده، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی به لزوم اجرای مهندسی ارزش در بند «ج» ماده‌ی ۶۱ قانون برنامه‌ی سوم توسعه‌ی کشور توجه کرده است. همین‌طور ماده‌ی ۳۱ قانون برنامه‌ی چهارم توسعه‌ی کشور، دولت را مکلف کرده است که به‌منظور افزایش کارآمدی و اثربخشی طرح‌های سرمایه‌گذاری را با رویکرد نتیجه‌گرا، استقرار نظام مدیریت کیفیت و مهندسی ارزش در پروژه‌های تملک دارایی‌های سرمایه‌یی از سال اول برنامه‌ی چهارم توسعه فراهم کند. با توجه به اهمیت موضوع و لزوم بهره‌مندی از مفاهیم مهندسی ارزش در ابرپروژه‌های ساختمانی درکشور، پژوهش حاضر با تلفیق منطق فازی و مؤلفه‌های تأثیرگذار مهندسی ارزش، یک مدل پیش‌بینی ANFIS [۱] ارائه

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۱/۱۴، اصلاحیه ۱۴۰۱/۵/۳۱، پذیرش ۱۴۰۱/۶/۱۴.
DOI:10.24200/J30.2022.60060.3082

داده است، که برای سنجش میزان تأثیر معیارهای مهندسی ارزش در بهبود ارزش پروژه‌های عمرانی نوآورانه محسوب می‌شود.

۲. مرور ادبیات و پیشینه‌ی پژوهش

بر اساس آخرین ویرایش استاندارد PMBOK،[۲] پروژه[۳] عبارت از تلاشی موقتی است، که به‌منظور تولید محصول، خدمت، یا نتیجه‌یی منحصر به فرد انجام می‌گیرد. ماهیت موقتی یک پروژه، نشان‌دهنده‌ی وجود یک آغاز و یک پایان برای پروژه و یا هر مرحله از پروژه است. پروژه می‌تواند یک فرایند مجزا و یا بخشی از یک طرح یا فعالیت بزرگ‌تر باشد. بر اساس تعریف استاندارد ICB،[۴] پروژه یک عملکرد محدود شده توسط زمان و هزینه برای دستیابی به محدوده‌ی تعریف شده برای برآوردن موضوعات پروژه و بر اساس استانداردهای کیفیت و الزامات فنی است. قابل توجه است که همه‌ی استانداردهای مذکور، به موارد محدودیت زمان، هزینه (منابع مالی) و موقتی بودن درکنار تولید یک محصول مشخص و منحصر به فرد توجه کرده‌اند.[۱و۲]

مدیریت پروژه، عبارت از برنامه‌ریزی و هدایت پروژه در چهارچوب زمان، هزینه و کیفیت مشخص در جهت حصول نتایج مشخص آن است.[۳] به بیانی دیگر، مدیریت پروژه را می‌توان به‌کارگیری دانش، مهارت‌ها، ابزارها و روش‌های لازم در اداره‌ی جریان اجرای فعالیت‌ها، به‌منظور رفع نیازها و انتظارات متولیان از اجرای پروژه دانست. در نگاه اول، ممکن است ابزارها و روش‌های استفاده شده در مدیریت پروژه، به‌صورت اضافی، زمان‌بر و هزینه‌زا به‌نظر بیایند؛ اما باید توجه داشت که مدیریت پروژه تنها راهی است که می‌تواند انجام به موقع پروژه را مطمئن سازد.

زمان محدودیتی است که نه به‌عنوان هزینه و نه به‌عنوان منابع پروژه منظور می‌شود. بنابراین، مدیر پروژه نمی‌تواند تغییرات آن را کنترل کند. این خصوصیت زمان، آن را از سایر موارد و همچنین بخش‌های هزینه‌یی متمایز می‌سازد. باید متذکر شد که صرف هیچ تلاشی مهم‌تر از تلاش برای کاهش هزینه‌ها نیست.[۴] یکی از مؤلفه‌های مهم پروژه، کیفیت محصول نهائی است. مقدار زمانی که برای هر فعالیت تعیین می‌شود، ارتباط تنگاتنگی با کیفیت کلی پروژه دارد. بعضی از فعالیت‌ها برای این‌که به‌طور مناسبی اجرا شوند، به مقدار زمان مشخصی نیاز دارند؛ اما اختصاص زمان بیشتر، باعث ارتقاء کیفیت می‌شود. در پروژه‌های بزرگ‌مقیاس، کیفیت بالا عامل مهمی بر روی میزان زمان و هزینه‌ی پروژه است و برعکس. در مجموع و به‌طور خلاصه می‌توان همه‌ی محدودیت‌های اخیر را در زمان مشخص، کیفیت مشخص و بودجه‌ی مشخص خلاصه کرد.[۵]

طبق نوشتار آتابای[۵] و همکارش (۲۰۱۳)،[۶] ارزش یک پروژه عبارت از نسبت کارکرد (یا همان عملکرد مطلوب) پروژه به هزینه‌ی انجام شده است. بنابراین، برای افزایش ارزش یک پروژه یا باید کیفیت عملکرد را بالا برد و یا باید کیفیت مطلوب مدنظر را با کمینه‌ی هزینه محقق کرد. تمرکز و هدف اصلی مهندسی ارزش، افزایش ارزش یک پروژه در مدت زمان پیش‌بینی شده است. مجموعه‌ی مفاهیم مهندسی ارزش،[۶] رویکردی سازمان یافته و خلاق است، که هدف آن تعیین دقیق و کارآمد هزینه‌های غیرضروری سازمان است. هزینه‌هایی که صرف آن‌ها هیچ‌یک از جنبه‌های کیفی، کاربردی، مشتری‌مداری و ظاهری را بهبود نمی‌بخشد. یکی از اهداف عمده‌ی مهندسی، ارزش حذف هزینه‌های غیرضروری است.[۷] مهندسی ارزش، روشی خلاقانه است که برای حل مسئله، کاهش هزینه و بهبود عملکرد، و کیفیت پروژه به‌کار می‌رود.[۷] بر اساس تعریف مؤسسه‌ی بین‌المللی مدیریت پروژه، مهندسی ارزش به‌عنوان یک ابزار قدرتمند حل مسئله به شمار می‌رود، که قادر است هزینه‌ها را در حالی که عملکرد و کیفیت بهبود می‌یابند، کاهش دهد.[۸] هدف عالیه‌ی مهندسی ارزش، برگشت بیشترین ارزش برای مقدار پول هزینه شده است. مهندسی ارزش برای حصول اطمینان از دسترسی به هدف مذکور، بر ارزش پروژه در کلیه‌ی مراحل آن، از جمله: طراحی، مشخصات فنی، ساخت، خرید، بسته‌بندی، حمل و نقل، فروش، خدمات و غیره دخالت و نظارت دارد. مهندسی ارزش عملکرد محصول، خدمات و یا سیستم را با این هدف که با صرف کمترین هزینه به بهترین وضع خود برسد، تحلیل می‌کند.[۹]

لازم به ذکر است که بیشتر مطالعات انجام شده در حوزه‌ی مهندسی ارزش،[۶و۱۰-۱۳] در پروژه‌های ساختمانی تأکید دارند که معیارهای اصلی، شامل: کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری، کاهش زمان اجرا، افزایش کیفیت ساخت با حفظ ایمنی، کارایی، عملکرد، قابلیت تعمیر و نگهداری، دوام و زیبایی پروژه است. با این حال، در برخی مطالعات،[۱۴] به عوامل دیگری، چون: رضایت ذی‌نفعان (شامل: کارفرما، مشاور، مجری، و یا کاربر) یا انتظارهای ایشان اشاره و البته تأکید شده است که عوامل اخیر، از جمله شاخص‌های ارزیابی عملکرد و موفقیت پروژه هستند، که به‌طور مجزا از بحث مهندسی ارزش، قابل مطالعه هستند. همچنین، باید اشاره شود که در حوزه‌ی مهندسی عمران، چهار حوزه‌ی مطالعاتی بسیار نزدیک به هم در یکی دو دهه‌ی اخیر مطرح و بررسی شده‌اند، که عبارت‌اند از: ۱. ارزیابی عملکرد و کنترل پروژه؛ ۲. ارزیابی پیشرفت و موفقیت پروژه؛ ۳. تحلیل ریسک، شکست و عدم قطعیت در پروژه؛ و نیز ۴. سنجش و ارتقاء ارزش پروژه. پژوهش حاضر فقط با نگاه سنجش ارزش ابرپروژه‌ها انجام شده و از بیان مفاهیمی چون زنجیره‌ی ارزش یا تولید ارزش، که عمدتاً به مباحث سنجش موفقیت پروژه مربوط می‌شوند، به‌دلیل پرهیز از پیچیدگی امر، جلوگیری به‌عمل آمده است. در مجموع، می‌توان حوزه‌های کاربردی مهندسی ارزش را به سه بخش: پروژه، محصول و فرایند تقسیم کرد، که در مسیر پژوهش حاضر به آن‌ها توجه شده است.

لازم به توضیح است که دامنه‌ی کاربرد مهندسی ارزش، معمولاً به واسطه‌ی ذهنیت کاربران محدود می‌شود. مهندسی ارزش در تمام مراحل یک پروژه، قابل اجراست؛ اما بیشترین سود حاصل از آن در مراحل ابتدایی پروژه ـ یعنی برنامه‌ریزی و طراحی ـ صورت می‌گیرد، که انعطاف‌پذیری بیشتر کارفرما و طراح، موجب اعمال تغییرات ساده‌تر و تأثیرکمتر در تغییر زمان‌بندی پروژه است و هزینه‌ی کمتری را نیز به پروژه تحمیل می‌کند.

روش‌های مهندسی ارزش را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: نگاه صفرم، نگاه اول و نگاه دوم مهندسی ارزش.[۱۵] نگاه صفرم مهندسی ارزش، در مرحله‌ی توسعه‌ی محصول استفاده می‌شوند، که هدف آن توسعه‌ی یک راه‌حل به‌عنوان عملکردی یکپارچه در مرحله‌ی طراحی محصول، به‌منظور بهبود عملکرد محصول است. نگاه اول، در انتهای مرحله‌ی توسعه‌ی محصول و در تمامی مراحل برنامه‌ریزی استفاده می‌شود، که هدف آن طراحی و توسعه‌ی محصولات جدید با ارزشی افزایش یافته، افزایش عملکرد برای مشتری و بدون افزایش هزینه‌هاست. نگاه دوم، در بخش آخر مرحله‌ی برنامه‌ریزی و بخش اول مرحله‌ی آماده‌سازی محصول رخ می‌دهد، که هدف آن خلق ارزش و عملکرد بهتر محصول‌های موجود است. برنامه‌ی کاری، یکی از روش‌های مهندسی ارزش است. روش مهندسی ارزش در کارگاه‌های مهندسی ارزش استفاده می‌شود و شامل ۵ گام است. در واقع، ۵ فاز مجزا در روش برنامه‌ی کاری مهندسی ارزش وجود دارد، که عبارت‌اند از: ۱. اطلاعات، ۲. حدس و گمان، ۳.

ارزیابی، ۴. توسعه و ۵. ارائه.[۱۶] در نظریه‌یی دیگر بر اساس نظر کافمن[۸] (۲۰۰۸)،[۱۷] مراحل اصلی مهندسی ارزش عبارت‌اند از: ۱. جمع‌آوری اطلاعات، ۲. یافتن ایده‌های خلاقانه، ۳. تجزیه و تحلیل راه‌حل‌های ارائه شده و انتخاب راه‌حل نهایی، ۴. آزمون راه‌حل نهایی؛ ۵. اجرا و ۶. بررسی نتایج و انجام اصلاحات لازم.

اگوستین و بودا[۹] (۲۰۱۶)،[۳] در پژوهش خود به بررسی همبستگی بین زمان و هزینه در تجزیه و تحلیل کمّی پروژه‌های ساختمانی با استفاده از منطق فازی پرداختند و دریافتند که پروژه‌های ساختمانی معمولاً با تأخیر و هزینه‌های مازاد مواجه هستند، که باعث کاهش سود شرکت می‌شود و می‌تواند منجر به ورشکستگی آن شود. بنابراین، رویکرد کارآمدتری مثل مهندسی ارزش باید استفاده شود که بتواند خطر حوادث مذکور، عدم اطمینان و محدودیت منابع در برنامه‌ریزی و نظارت بر پروژه‌های ساختمانی و نیز همبستگی بین پارامترهای زمان، هزینه و منابع محدود را لحاظ کند.

در یک پژوهش جامع، گاناراتنی[۱۰] و همکارانش (۲۰۲۰)،[۱۰] با ادغام مهندسی ارزش و مفهوم ساخت پایدار، به بررسی پیامدهای مثبت استفاده از مهندسی ارزش در صنعت ساختمان پرداختند و نشان دادند که مهم‌ترین نتایج اشاره شده در ادبیات موضوع عبارت‌اند از: بهینه‌سازی هزینه، افزایش بهره‌وری، صرفه‌جویی در زمان اجرا، بهبود عملکرد، افزایش ایمنی و حصول یک محیط سالم برای زندگی ساکنان است. گانامه و چادوری[۱۱] (۲۰۱۵)،[۱۸] مطالعه‌یی بر روی شناسایی ریسک، تحلیل کیفی و تحلیل کمّی پروژه‌ها انجام دادند، که اهداف اصلی آن عبارت بودند از: شناسایی عوامل اصلی ریسک‌آور، که در برنامه‌ی زمان‌بندی یک پروژه تأثیر می‌گذارد و تعیین احتمال اجرای کامل پروژه در زمان از پیش تعیین شده. یک فرم پرسش‌نامه در میان ۳۱ نفر صنعت کار با تجربه‌ی اجرایی متفاوت از ۱ سال تا ۱۷ سال توزیع و تحلیل کیفی با ماتریس تأثیر (PI) و تحلیل کمّی توسط روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو انجام شده است.

ونفا[۱۲] و همکارش (۲۰۱۴)،[۱۹] نیز در نوشتار خود به ارائه‌ی مدل موازنه‌ی مثلث طلایی مدیریت پروژه (یعنی: هزینه، کیفیت و زمان) در پروژه‌های ساختمانی با رویکرد تخصیص منابع پرداخته‌اند؛ که نکته‌ی حائز اهمیت در آن، ارائه‌ی تعریف مناسب‌تری از کیفیت در پروژه‌های ساختمانی بوده است. در واقع، عملیات اجرایی یک پروژه‌ی عمرانی از لحاظ اجرایی با توجه به هزینه، کیفیت و زمان فعالیت از ۴ منظر: ۱. مواد اولیه، ۲. تجهیزات، ۳. نیروی کار و ۴. مدیریت اجرا بررسی شده است.

باک و پوتز[۱۳] (۲۰۱۶)،[۲۰] در مطالعه‌ی خود یک روش جدید کنترل کیفیت را برای مهندسی ارزش ارائه کرده‌اند. راچوان[۱۴] و همکارانش (۲۰۱۶)،[۲۱] نیز در یک مطالعه‌ی موردی از برنامه‌های کاربردی مهندسی ارزش در یک پروژه‌ی مسکونی واقعی با مقیاس بزرگ، استفاده و روش‌ها و محاسباتی از مطالعات معیارهای مهندسی ارزش و پایداری آن‌ها ارائه کرده‌اند. صرفه‌جویی کلی برآورد شده‌ی پروژه، ناشی از مطالعه‌ی مهندسی ارزش در محدوده‌ی بین ۲۰ تا ۳۰ درصد از هزینه‌ی کل بوده و از این رو، کاهش قابل توجهی را در هزینه‌های کلی پروژه و همچنین صرفه‌جویی در مصرف انرژی که در حدود ۷٪ رسیده است، شاهد بوده‌اند. در پژوهش اخیر، همچنین نحوه‌ی اعمال مهندسی ارزش و پایداری پروژه و چگونگی تأثیر اقتصادی و زیست‌محیطی آن‌ها مطالعه شده است.

چان[۱۵] و همکاران (۲۰۱۵)،[۲۲] به بررسی عوامل هزینه‌آور مؤثر در پروژه‌های ساختمانی پرداختند. هدف از مطالعه‌ی ایشان، استخراج عوامل مؤثر در هزینه با ارائه‌ی یک مفهوم و روش جدید برای کمک به کنترل هزینه‌ها بوده است. در پژوهش اخیر، از روش دلفی اصلاح شده برای تثبیت نظرهای کارشناسان و شناسایی و رتبه‌بندی عوامل کلیدی، که در هزینه‌های پروژه تأثیر دارند، استفاده شده است. نتایج نشان داده است که ۱۶ عامل کلیدی، هزینه‌زا هستند. سپس محاسبه‌ی شاخص شدت به‌منظور تعیین عوامل کلیدی ذکر شده برای تأمین هزینه انجام شده است. مطالعه‌ی اخیر نشان داد که دامنه‌ی پروژه در قرارداد به وضوح تعریف شده و کنترل هزینه‌ها، عامل تعیین‌کننده برای افزایش هزینه بوده است.

بهنکه[۱۶] و همکارانش (۲۰۱۴)،[۲۳] در مطالعه‌ی خود یک مدل برای مهندسی ارزش یکپارچه ارائه کرده‌اند. مدل مذکور با در نظر گرفتن فرایندهای ساخت و همچنین شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین توسعه یافته و به آن دسته از عواملی که به‌عنوان محرک هزینه و ارزش در شرکت‌های تولیدی هستند، توجه شده است. الرابص و قندیل[۱۷] (۲۰۰۵)،[۲۴] در نوشتار خود به بررسی موازنه‌ی سه عامل: هزینه، زمان و کیفیت با رویکرد مهندسی ارزش در پروژه‌ی ساخت آزادراه پرداخته‌اند، که در آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک به حل مدل سه هدفه با رویکرد کاهش هزینه، زمان پروژه و افزایش کیفیت پرداخته شده است.

خالدیان (۲۰۲۱)،[۲۵] اشاره می‌کند که بسیاری از مطالعات به‌جای نگاه به ارزش پروژه‌ها به ارزیابی عملکرد و بررسی میزان موفقیت پروژه‌ها پرداخته‌اند. همچنین ایشان اشاره کرده است که اگرچه موارد متعددی بررسی و مطالعه شده است، ولی نشان داده شده است که موفقیت پروژه در گروی تحقق زمان، هزینه و کیفیت مطلوب است. خاموشی و گل‌افشانی (۲۰۱۴)،[۲۶] بیان کرده‌اند که تحلیل زمان و هزینه در تعیین شکست یا موفقیت پروژه، نقش اساسی دارند.

طی یک مطالعه‌ی مروری جامع، چن[۱۸] و همکارانش (۲۰۲۲)،[۲۷] نشان داده‌اند که به‌کارگیری مهندسی ارزش، روشی مؤثر در بهبود ارزش پروژه‌های ساختمانی دارد. به بیان ایشان، روش‌ها و ابزارهای متعددی برای سنجش و پیاده‌سازی مهندسی ارزش در صنعت ساختمان طی ۵۰ سال اخیر استفاده شده است، که البته روش فازی استنتاجی در میان آن‌ها نیست. در پژوهش اخیر همچنین بیان شده است که بررسی ارزش پروژه‌های بزرگ در کشورهای در حال توسعه (مانند ایران)، بسیار ضروری و مؤثر خواهد بود. در یک پژوهش دیگر، الحجازی[۱۹] (۲۰۲۰)،[۲۸] با مرور دقیق ادبیات موضوع نتیجه گرفته است که مطالعه‌ی مهندسی ارزش با نگاه به مؤلفه‌های هزینه، زمان و کیفیت در پروژه‌های بزرگ و مهم، بسیار اهمیت دارد. وی اشاره می‌کند که جای به‌کارگیری یک روش تصمیم‌گیری هوشمند، که بتواند به‌طور جامع معیارهای اصلی مهندسی ارزش را در بر بگیرد، در میان روش‌های تاکنون استفاده شده خالی است.

لذا پژوهش حاضر سعی دارد با بررسی جامع مؤلفه‌های مؤثر در بهبود ارزش ابرپروژه‌ها، میزان اهمیت آن‌ها را بسنجد. دلیل انتخاب ابرپروژه‌ها، بزرگی حجم و پیچیدگی اجرای آن‌هاست. طبق تعریف حاجی‌علیخانی و همکارانش (۲۰۱۷)،[۲۹] پروژه‌های بزرگ‌مقیاس پروژه‌هایی با هزینه‌ی بسیار بالا (بیش از ۱۰ میلیون دلار)، مدت ساخت طولانی (بیش از ۲ سال)، به‌کارگیری تعداد زیادی پرسنل اجرایی و تدارکاتی، اشتغال هم‌زمان تعداد زیادی از شرکت‌ها، ذی‌نفعان و پیمانکاران و اثرگذاری در زندگی هزاران نفر هستند، که موجب پیچیدگی و اهمیت آن‌ها می‌شود. درصد زیادی از ابرپروژه‌های ذکر شده با چالش‌های زیادی دست به گریبان هستند و بعضاً دچار شکست می‌شوند. لذا بررسی چگونگی افزایش ارزش آن‌ها، بسیار مورد نیاز است. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر سعی شده است تا معیارهای تحقیق جامع و متناسب با شاخص‌های پروژه‌های بزرگ‌مقیاس انتخاب شود. همچنین، همان‌گونه که پیشتر اشاره شد، استفاده از یک مدل پیش‌بینی استنتاجی فازی برای سنجش میزان تأثیر و اهمیت معیارهای پژوهش در بهبود ارزش پروژه به‌عنوان راهکاری نوین و کاربردی در نظر گرفته شده و کارایی آن مطالعه شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در مرحله‌ی اول، با بررسی جامع منابع اینترنتی و ادبیات نوشتاری موجود و نیز برگزاری جلسات متعدد طوفان فکری و اخذ نظرات خبرگان امر، تعداد ۵۱ مورد به‌عنوان معیارهای ارزش مرتبط با موضوع پژوهش شناسایی شدند. سپس، با تهیه‌ی یک پرسش‌نامه‌ی اولیه، معیارهای اخیر در بین برخی از متخصصان برگزیده‌ی حوزه‌ی ساخت، که آشنا به مبانی مهندسی ارزش بودند، به پرسش گذاشته شدند و پس از غربال‌گری اولیه، تعداد ۲۵ مورد از آن‌ها به‌عنوان معیارهای مؤثرتر تعیین شدند. به بیان بهتر، نتایج حاصل از نظرسنجی از خبرگان در مرحله‌ی اول با استفاده از روش شناخته شده‌ی تحلیل عاملی (PCA) [۲۰] آنالیز شده است. بر این اساس، معیارهای کم‌اهمیت حذف و در نهایت، تعداد ۲۵ معیار که بیشترین اهمیت را داشتند، تعیین شدند. با توجه به مطالب اشاره شده در بخش قبلی، نگاه غالب در پژوهش حاضر بر روی شاخص‌های ارزش در ابر پروژه‌ها بوده است. لذا برای تکمیل فاز اصلی پژوهش، جامعه‌ی خبرگان هدف در پژوهش حاضر باید از افراد شاغل در ابرپروژه‌ها انتخاب می‌شدند. از این رو، برای مطالعه‌ی موردی، پروژه‌ی «ایران‌مال» در شهر تهران به‌عنوان پروژه‌ی هدف انتخاب شد، زیرا در زمان انجام پژوهش، مناسب‌ترین گزینه از جهت مطابقت با معیارهای استاندارد تعریف شده در پژوهش حاضر بوده است. در واقع، پروژه‌ی ایران‌مال هم در دسترس بوده و هم جامعیت شرایط لازم برای بررسی و سنجش معیارهای پژوهش را داشته است. لذا، جامعه‌ی خبرگان هدف از بین کارشناسان پروژه‌ی حاضر، که اشراف کافی به مبانی مهندسی ارزش و آشنایی مناسب با مشکلات طرح و اجرای ابرپروژه‌ها را داشتند، انتخاب شدند. در ادامه، داده‌های به دست آمده از پرسش‌نامه‌های نهایی تحلیل و بررسی شده‌اند. سپس، الگویی جهت بهبود ارزش ابرپروژه‌های عمرانی بر اساس معیارهای برگرفته از مهندسی ارزش ارائه شده است. به این صورت که ابتدا داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شده و سپس با استفاده از روش ANFIS یک مدل تحلیلی توسعه یافته است، به طوری که از الگوریتم عصبی و منطق فازی به‌منظور طراحی نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده شده است. در یک مدل عصبی ـ فازی، خروجی مدل متناسب با داده‌های ورودی، درجه‌ی عضویت، قوانین و توابع درجه‌ی عضویت انتخاب می‌شود.[۳۰]

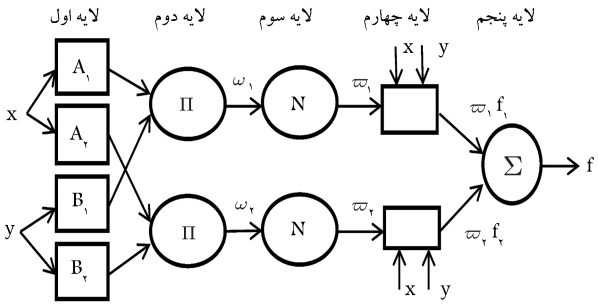
برای تعیین حجم مناسب نمونه‌ی آماری در پژوهش حاضر، پس از بررسی‌های جامع، تعداد ۵۵ نفر کارشناس خبره‌ی موضوع شناسایی شدند. با بهره‌گیری از روش نمونه‌گیری تصادفی و فرمول کوکران،[۲۱] طبق رابطه‌ی ۱، حجم لازم برای جامعه‌ی آماری تعیین شد، که برابر با ۴۸ نفر به دست آمد:

$$n = \frac{Nt^2pq}{Nd^2 + t^2pq} \qquad (۱)$$

که در آن، n حجم نمونه‌ی آماری، N جمعیت جامعه‌ی آماری و t^2 مقدار توزیع نرمال، q نسبت نبود صفت در جامعه‌ی آماری، p نسبت وجود صفت در جامعه‌ی آماری و d^2 سطح خطاست. در رابطه‌ی اخیر، جمعیت شناسایی‌شده ۵۵ نفر، مقدار سطح خطا برابر (۵٪ یعنی ۹۵٪ سطح اطمینان)، مقدار توزیع نرمال از جدول سطح زیر منحنی نرمال با ۹۵٪ اطمینان برابر با ۱/۹۶ و مقادیر p و q از آمار و اطلاعات گذشته با مقداری برابر با ۵٪ جایگزین شده‌اند. مجدداً یادآوری می‌شود که با توجه به حساسیت انتخاب صحیح خبرگان طرح و بر اساس شرایط موجود در زمان انجام پژوهش، پروژه‌ی ایران‌مال به‌عنوان تنها پروژه‌ی متناسب با هدف پژوهش، شناسایی و نسبت به انتخاب خبرگان هدف اقدام شد. به‌نظر می‌رسد که نتایج پژوهش حاضر، گرچه منحصر به پاسخ‌های خبرگان یک پروژه بوده‌است، اعتبار لازم و کافی بابت پاسخ‌گویی به سؤال‌های پژوهش حاضر را دارند؛ زیرا که پروژه‌های مشابه، ماهیت و خصوصیات مشابهی خواهند داشت و رفتار آن‌ها به‌طور مشابه قابل پیش‌بینی خواهد بود. این موضوع به دفعات در برخی ادبیات پژوهش،[۳۱و۳۲] به کار رفته و شرایط تعمیم‌پذیری آن تأیید شده است، که اعتبار مدل پیشنهادی حاضر را تأیید می‌کند.

بر اساس ادبیات موضوع رنگ‌آمیز[۲۲] (۲۰۰۸)،[۳۳] ابزار اندازه‌گیری پژوهش باید قادر باشد اطلاعات و داده‌های لازم جهت تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری‌های نهایی را در اختیار پژوهش‌گر بگذارد و بدین منظور باید پایایی و روایی لازم را داشته باشد. روایی پژوهش عبارت از توانایی ابزار استفاده شده در اندازه‌گیری صفتی است که آزمون برای اندازه‌گیری آن ساخته شده است. در مقابل، پایایی پژوهش عمدتاً به دقت، اعتمادپذیری و ثبات نتایج حاصل اشاره می‌کند. در پژوهش حاضر، اعتبار پرسش‌نامه یا روایی با استفاده از روش محتوایی بررسی شده است. روایی محتوایی به این مطلب اشاره می‌کند که پرسش‌های استفاده شده در یک آزمون تا چه حد معرف کل جامعه‌ی پرسش‌های ممکن است، که می‌توان از محتوای موضوع موردنظر تهیه کرد. این موضوع با استفاده از دو روش بررسی اعتبار سازه‌یی و اعتبار صوری و بر اساس اخذ نظر از متخصصان حوزه‌ی مرتبط تأیید شده است. نظر خبرگان در مورد ارتباط گویه‌ها با شاخص موردنظر و نحوه‌ی طرح گویه‌ها و انسجام درونی آن‌ها لحاظ شده است. همچنین از طریق به‌کارگیری روش آلفای کرونباخ،[۲۳] پایایی پرسش‌نامه نیز اندازه‌گیری شده است. میزان پایایی کل سؤال‌های پرسش‌نامه با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای ۲۵ سؤال طرح شده بررسی شده و مقدار آن برای کل سؤال‌ها برابر با عدد ۰/۷۱۸ بوده است، که نشان‌دهنده‌ی همسو بودن سؤال‌های پرسش‌نامه است.

بعد از اطمینان از روایی و پایایی، پرسش‌نامه‌ها در میان خبرگان موضوع توزیع شدند. پس از جمع‌آوری پاسخ‌ها، به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از دو روش تحلیل آماری توصیفی و استنباطی استفاده شد. برای گردآوری داده‌های مربوط به مبانی نظری و طراحی مدل اولیه‌ی پژوهش از منابع کتابخانه‌یی و اینترنتی، شامل: نوشتارهای علمی، پایان‌نامه‌ها بازدیدهای میدانی و مطالعات موردی استفاده شده است. همچنین به‌منظور ساخت مدل خبره‌ی فازی برای امکان‌سنجی بهبود ارزش پروژه‌ی عمرانی بزرگ‌مقیاس از روش ANFIS استفاده شده است. عوامل پژوهش به‌صورت کمّی و کیفی ارائه و سپس ضمن مصاحبه با افراد با تجربه در این زمینه، عوامل مؤثر شناسایی و بر اساس آن‌ها، یک پرسش‌نامه‌ی استاندارد تدوین شد. پرسش‌نامه‌ی مذکور طی چند مرحله انجام تحلیل عاملی اصلاح شد، که طی مراحل مذکور، سؤال‌های کم‌اهمیت از آن خارج و درنهایت عوامل و زیرعوامل اصلی دارای اهمیت زیاد شناسایی شدند. برای تفسیر سؤال‌ها و درجه‌ی اهمیت آن‌ها از طیف ۵ گزینه‌یی لیکرت[۲۴] استفاده شده است (جدول پیوست ۱). از پرسش‌شوندگان خواسته شد تا میزان تأثیرگذاری هر معیار را با انتخاب گزینه‌ی مناسب مشخص کنند. معیارهای پژوهش برگرفته از مفاهیم شناخته شده‌ی مهندس ارزش و موارد گزارش شده در مطالعات پیشین بودند، که به سه گروه اصلی: کیفیت، زمان و هزینه دسته‌بندی شدند. در واقع تلاش شد تا با مطالعه‌ی جامع ادبیات موضوع، که بسیاری از آن‌ها در بخش منابع معرفی شده‌اند، جامعیت و به روزبودن معیارهای انتخابی پژوهش متناسب با هدف پژوهش لحاظ شود. از این رو، تقریباً تمامی موارد مهم، از قبیل: کمبود اعتبار یا منابع مالی، ضعف در برنامه‌ریزی، عدم زمان‌بندی مناسب، ضعف تدارکاتی و ... در معیارهای انتخابی گنجانده شده‌اند. در نهایت، گروه «کیفیت» با ۸ معیار، گروه «زمان» با ۷ معیار و گروه «هزینه» با ۱۰ معیار تعیین و مجموعاً ۲۵ معیار اصلی در پژوهش حاضر بررسی شدند. جامعیت و پالایش متغیرهای بررسی شده در پژوهش حاضر از نقاط قوت آن است.



شکل ۱. نمای کلی ساختار یک مدل استنتاج فازی.[۳۴]

۱.۳. سیستم استنتاج فازی تطبیقی

روش ANFIS، نوعی شبکه‌ی عصبی مصنوعی است، که براساس منطق سیستم فازی تاکاگی[۲۵] ـ سوگنو[۲۶] است. این شیوه در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ ایجاد شده است. از آن‌جایی که سیستم ANFIS، شبکه‌های عصبی و مفاهیم منطق فازی را یکپارچه می‌سازد، می‌تواند از امکانات هر دوی آن‌ها در یک قالب بهره برد. سیستم استنتاجی آن مطابق با مجموعه‌ی قوانین فازی «اگر ـ آنگاه» است، که قابلیت یادگیری برای تقریب زدن توابع غیرخطی را دارد. ساختار یک مدل استنتاجی از ۵ لایه تشکیل شده است (شکل ۱). لایه‌ی اول، گروه داده‌های ورودی هستند، که درجه‌ی عضویت آن‌ها با استفاده از تابع عضویت‌شان توسط کاربر مشخص می‌شود. عملیات مدل‌سازی در لایه‌های دوم الی چهارم انجام شده است. با ضرب مقادیر ورودی هرگره در یکدیگر، وزن آن در لایه‌ی دوم به دست می‌آید. در لایه‌ی سوم، وزن نسبی محاسبه می‌شود. در لایه‌ی چهارم، هرگره دارای تابع می‌شود و به تمام ورودی‌ها در لایه‌ی سوم متصل می‌شود و در لایه‌ی آخر خروجی شبکه به‌دست می‌آید.[۳۳]

در پژوهش حاضر، تعیین مدل ANFIS با توجه به بهترین شرایط برازشی بر اساس تعیین مقادیر ضرایب تبیین مدل‌ها و جذر میانگین مربعات خطای آن‌ها به‌دست آمده است.

۴. نتایج و بحث

پرسش‌نامه‌ی پژوهش، در دو قسمت الف (تعیین اطلاعات جمعیت‌شناختی) و ب (تعیین میزان تأثیر معیارهای پژوهش در بهبود ارزش پروژه‌ی عمرانی بزرگ مقیاس)، برای محاسبه‌ی میزان تأثیر هر یک از معیارها طراحی شده است. بر همین اساس، یافته‌ها به دو بخش توصیفی و نتایج مدل ANFIS تقسیم‌بندی شده‌اند، که در ادامه مشاهده می‌شود. زمینه‌ی فعالیت پاسخ‌دهندگان به سه بخش، با عناوین: پیمانکاران، کارفرمایان و مشاوران دسته‌بندی شده‌اند. فراوانی جمعیت‌شناختی پژوهش حاضر، در جدول ۱ ارائه شده است.

از نرم‌افزار متلب[۲۷] برای پیاده‌سازی مدل استنتاج فازی تطبیقی استفاده شده است؛ که در آن، ۴۸ داده‌ی ورودی به‌عنوان متغیرهای وابسته و مستقل به‌کار رفته‌اند. داده‌ی ورودی همان میزان تأثیر مؤلفه‌های مهندسی ارزش درافزایش ارزش ابرپروژه با اعمال ضرایب مرتبط است؛که به‌صورت فازی برای مدل ANFIS به شکل گزینه‌های خیلی کم (۰/۱)، کم (۰/۳)، متوسط (۰/۵)، زیاد (۰/۷)، و خیلی زیاد (۰/۹) تعریف شده است. همچنین داده‌ی خروجی، مجموع میزان تأثیر معیارها در بهبود ارزش پروژه به ازاء هر معیار است، که وارد مدل سیستم استنتاج فازی تطبیقی شده است.

برای شروع مدل‌سازی، توابع به کار رفته در مدل استنتاجی فازی تطبیقی بررسی شده‌اند؛ که از مشهورترین آن‌ها می‌توان از توابع مثلثی،[۲۸] ذوزنقه‌یی[۲۹] و زنگوله‌یی[۳۰] نام برد. لازم به ذکر است که تعداد لایه‌های ورودی نیز می‌تواند متغیر باشد. خاطرنشان می‌شود که با زیاد شدن تعداد لایه‌های ورودی، به‌وضوح تعیین وزن آن‌ها با مشکل روبرو می‌شود. روند تعیین وزن‌های بهینه و تنظیم مقادیر آن‌ها، عمدتاً به‌صورت بازگشتی انجام می‌شود. بدین منظور، شبکه‌ی مدل‌سازی با استفاده از بخشی از داده‌های ورودی آموزش داده شد و قواعد لازم با استفاده از قابلیت یادگیری شبکه بر اساس الگوریتم‌های متنوع پیشنهاد شد، که همگی قصدشان نزدیک کردن خروجی تولید شده توسط شبکه به خروجی ایده‌آل و مورد انتظار هدف پژوهش بوده است.

در ادامه، به‌صورت خودکار، مدل سیستم استنتاج فازی تطبیقی داده‌ها، نرمالایز و به تولید نرون‌ها[۳۱] پرداخته شده است. برای هر فاز عملیاتی، فرایند آموزش و آزمون داده‌های ورودی در شبکه به ترتیب با نسبت ۸۰٪ به ۲۰٪ داده‌ها صورت پذیرفته است، که البته انتخاب‌شان تصادفی بوده است. در پژوهش حاضر، با توجه به این‌که از ۴۸ داده‌ی ورودی (که برابر با تعداد خبرگان پرسش‌شونده است) استفاده شده است، که ۳۸ داده، به‌عنوان داده‌های آموزش و ۱۰ داده نیز به‌عنوان داده‌های آزمون در مدل سیستم استنتاج فازی تطبیقی وارد شده‌اند. البته این تذکر لازم است که جهت تعیین بهترین مدل برازش از بین مدل‌های مطرح شده، مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) در هر یک از مدل‌ها محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

گام اول تحلیل، شامل بررسی و مقایسه‌ی ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا در هر یک از مدل‌های آزمون شبکه بوده است، چرا که اگر ضرایب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا در آزمون شبکه‌ی مدل‌سازی، مقادیر مناسب‌تری باشند، آموزش شبکه نیز به نحو مناسب‌تری انجام می‌گیرد. شایان ذکر است که مناسب‌ترین پاسخ در یک مدل استنتاج فازی، همانی است که کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا و بیشترین مقدار ضریب تبیین در مدل‌سازی را دارد، تا بهترین مدل برازش انتخاب شود.

در گام بعدی، مدل‌های ساخته شده در سیستم استنتاج فازی تطبیقی، حذف و غربال شده‌اند و در مجموع ۲۵ مدل در سیستم استنتاج فازی تطبیقی بررسی شده‌اند، که دارای مناسب‌ترین مقادیر جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین آزمون شبکه بوده‌اند. نتایج به دست آمده از مدل استنتاج فازی برای محاسبه‌ی پیش بینی میزان تأثیر معیارها در افزایش ارزش ابرپروژه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که در مدل‌های ایجاد شده در سیستم استنتاج فازی برای توابع gbellmf و trimf، trapmf با لایه‌های پنهانی و توابع عضویت مختلف، تفاوت معناداری وجود داشته است.

نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می‌دهد که مدل استنتاج فازی برای معیار ۱۱ با عنوان «برنامه‌ریزی صحیح برای تقدم و تأخر فازهای مختلف اجرائی» با تابع trimf، با ۳ لایه‌ی پنهان، بهترین جواب را به لحاظ ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به دست داده است، به طوری که ضریب تبیین مدل آزمون و مدل آموزش بیشترین مقدار و مجموع مربعات خطاها نیز کمترین مقدار را داشته است. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین برای معیار ۱۱ در حالت آزمون برابر با ۲/۲۹۴ و ۰/۸۰۱ و برای حالت آموزش ۲/۵۹۱ و ۰/۵۴۰ بوده است. از این رو، معیار ۱۱ در بین معیارهای پرسش‌نامه، عملکرد و تأثیر بالاتری در بهبود ارزش پروژه‌ی عمرانی بزرگ مقیاس داشته است.

جدول ۱. فراوانی جمعیت‌شناختی پرسش‌شوندگان پژوهش حاضر.

زمینه‌ی فعالیت پرسش‌شوندگان	فراوانی	درصد نسبی	فراوانی تجمعی نسبی
کارفرما	۱۹	۳۹٫۵۸	۳۹٫۵۸
پیمانکار	۱۱	۲۲٫۹۲	۶۲٫۵۰
مشاوران	۱۸	۳۷٫۵۰	۱۰۰٫۰۰
کل	۴۸	۱۰۰٫۰۰	
جنسیت پرسش‌شوندگان	**فراوانی**	**درصد نسبی**	**فراوانی تجمعی نسبی**
مرد	۳۷	۷۷٫۰۸	۷۷٫۰۸
زن	۱۱	۲۲٫۹۲	۱۰۰٫۰۰
کل	۴۸	۱۰۰٫۰۰	
سن پرسش‌شوندگان	**فراوانی**	**درصد نسبی**	**فراوانی تجمعی نسبی**
۲۰ تا ۳۰ سال	۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
۳۰ تا ۴۰ سال	۱۵	۳۱٫۲۵	۳۱٫۲۵
۴۰ تا ۵۰ سال	۲۵	۵۲٫۰۸	۸۳٫۳۳
بیش از ۵۰ سال	۸	۱۶٫۶۷	۱۰۰٫۰۰
کل	۴۸	۱۰۰٫۰۰	
میزان سابقه‌ی کار در رابطه با مهندسی ارزش	**فراوانی**	**درصد نسبی**	**فراوانی تجمعی نسبی**
کمتر از ۵ سال	۲۲	۴۵٫۸۳	۴۵٫۸۳
۵ تا ۱۵ سال	۲۲	۴۵٫۸۳	۹۱٫۶۷
۱۵ تا ۲۵ سال	۴	۸٫۳۳	۱۰۰٫۰۰
بیش از ۲۵ سال	۰	۰٫۰۰	۱۰۰٫۰۰
کل	۴۸٫۰۰	۱۰۰٫۰۰	
میزان تحصیلات	**فراوانی**	**درصد نسبی**	**فراوانی تجمعی نسبی**
کاردانی	۵	۱۰٫۴۲	۱۰٫۴۲
کارشناسی	۱۲	۲۵٫۰۰	۳۵٫۴۲
کارشناسی ارشد	۱۹	۳۹٫۵۸	۷۵٫۰۰
دکتری و بالاتر	۱۲	۲۵٫۰۰	۱۰۰٫۰۰
کل	۴۸	۱۰۰٫۰۰	

همچنین، در مقابل برای معیار ۱۲ با عنوان «جلوگیری از تداخل مسئولیت‌ها و وظایف افراد» با تابع gbellmf، با لایه‌ی پنهان ۱۱، نامناسب‌ترین پاسخ‌ها برای محاسبه‌ی میزان تأثیر مهندسی ارزش به دست آمده است؛ به‌طوری که مقادیر جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین برای حالت آزمون برابر با ۵٫۱۰۲ و ۰٫۰۱۸ و برای حالت آموزش برابر با ۲٫۸۱۰ و ۰٫۴۵۹ بوده است. مطابق جدول ۳ ملاحظه می‌شود که مدل استنتاج فازی تطبیقی در پژوهش حاضر به‌خوبی قادر به محاسبه‌ی میزان تأثیر مؤلفه‌های مهندسی ارزش در بهبود ارزش پروژه بوده است. در جدول ۳، بهترین گزینه‌های مدل‌سازی شده برای محاسبه‌ی میزان تأثیر معیارها برای درک بهتر مطلب ارائه شده است.

نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهد که مدل سیستم استنتاج فازی تطبیقی به ترتیب برای معیارهای ۱۱، ۱، ۲۲ و ۱۸، به ترتیب رتبه‌های اول تا چهارم را به لحاظ مقادیر ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا به دست داده است. جهت درک بهتر موضوع، نمودارهای مربوط به حالت‌های آموزش و آزمون معیار ۱۱، که بهترین گزینه‌ی مدل‌سازی شده است، در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شوند. در شکل‌های مذکور خط راهنما با شیب ۴۵ درجه نیز رسم شده است، تا مقایسه‌ی پراکندگی نقاط شبیه‌سازی شده‌ی عددی با مدل استنتاج فازی تطبیقی را بهتر نمایش دهد.

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳، مشاهده می‌شود که پراکندگی نقاط شبیه‌سازی شده‌ی عددی مدل ANFIS برای محاسبه‌ی میزان تأثیر معیارهای مهندسی ارزش در اطراف خط با شیب ۴۵ درجه بیشتر است؛ که نشان می‌دهد مدل استنتاج فازی، میزان تأثیر معیارها را با دقت مناسبی تخمین زده است. در ادامه، نمودارهای مربوط به حالت‌های آموزش و آزمون معیار ۱۲، که بدترین پاسخ مدل را داشته است، در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شوند. در شکل‌های مذکور نیز خط راهنما با شیب ۴۵ درجه رسم شده است، تا مقایسه‌ی پراکندگی

جدول ۲. نتایج حاصل از مدل‌های سیستم استنتاج فازی تطبیقی.

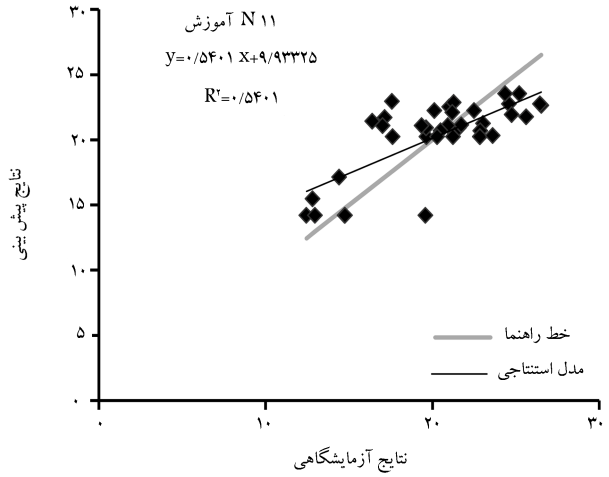
شماره‌ی سؤال	MF type	Number of MF	آزمون		آموزش	
			RMSE	R^2	RMSE	R^2
۱	trapmf	۳	۲/۷۷۷	۰/۷۰۳	۳/۰۶۷	۰/۳۵۹
۲	gbllmf	۷	۵/۲۹۷	۰/۶۲۶	۲/۶۰۹	۰/۵۳۸
۳	gbllmf	۷	۴/۷۸۱	۰/۶۲۶	۲/۷۲۰	۰/۴۹۳
۴	gbllmf	۱۱	۴/۱۲۸	۰/۱۸۸	۲/۵۵۷	۰/۵۵۱
۵	gbllmf	۱۱	۴/۵۸۶	۰/۱۰۱	۲/۶۶۷	۰/۵۱۷
۶	gbllmf	۱۱	۵/۴۳۰	۰/۵۴۸	۳/۰۱۷	۰/۳۷۶
۷	gbllmf	۱۱	۳/۶۵۵	۰/۳۲۸	۲/۳۶۰	۰/۶۱۵
۸	trimf	۳	۳/۳۵۰	۰/۴۹۱	۳/۳۱۰	۰/۲۴۷
۹	trimf	۳	۴/۰۵۸۱	۰/۲۵۲	۳/۱۷۵	۰/۳۱۷
۱۰	gbllmf	۱۱	۵/۵۲۹	۰/۰۴۶	۲/۷۷۳	۰/۴۷۳
۱۱	trimf	۳	۲/۲۹۴	۰/۸۰۱	۲/۵۹۱	۰/۵۴۱
۱۲	gbllmf	۱۱	۵/۱۰۲	۰/۰۱۸	۲/۸۱۰	۰/۴۹۰
۱۳	trapmf	۴	۳/۵۱۸	۰/۴۱۳	۳/۳۶۵	۰/۲۲۵
۱۴	trimf	۸	۵/۳۵۰	۰/۱۰۴	۳/۴۹۴	۰/۱۶۷
۱۵	trimf	۵	۵/۴۴۸	۰/۴۵۶	۳/۱۶۶	۰/۳۱۶
۱۶	gbllmf	۱۱	۳/۷۸۲	۰/۳۰۱	۲/۹۵۸	۰/۴۰۷
۱۷	gbllmf	۱۱	۶/۱۶۴	۰/۲۶۸	۲/۹۵۴	۰/۴۰۱
۱۸	trimf	۱۱	۲/۷۹۰	۰/۶۳۷	۲/۸۶۵	۰/۴۳۶
۱۹	gbllmf	۳	۳/۶۷۴	۰/۴۳۹	۳/۴۲۸	۰/۱۹۳
۲۰	gbllmf	۳	۴/۱۴۲	۰/۴۱۴	۳/۵۰۵	۰/۱۵۵
۲۱	gbllmf	۵	۳/۰۴۷	۰/۵۵۳	۲/۶۴۸	۰/۵۱۹۸
۲۲	gbllmf	۵	۳/۲۴۰	۰/۶۴۷	۳/۴۴۰	۰/۱۹۰۰
۲۳	gbllmf	۱۱	۳/۶۵۶	۰/۵۳۵	۳/۲۵۸	۰/۲۷۲۹
۲۴	gbllmf	۹	۴/۴۷۳	۰/۲۶۶	۳/۱۹۸	۰/۲۹۹۵
۲۵	trapmf	۹	۳/۹۸۴	۰/۱۸۴	۲/۶۴۲	۰/۵۲۷

جدول ۳. نتایج بهترین مدل‌های حاصل از سیستم استنتاج فازی.

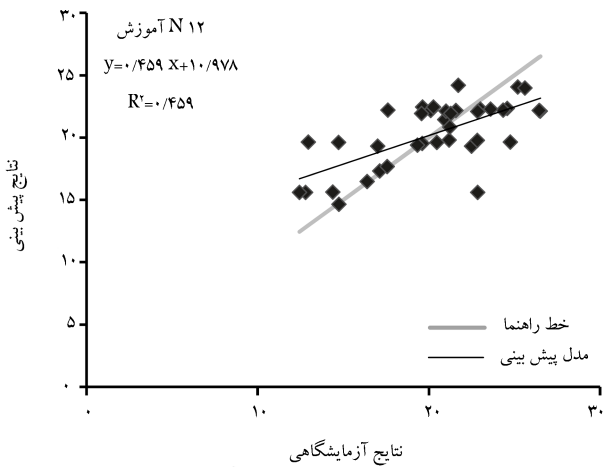
معیار	MF type	Number of MF	آزمون		آموزش	
			RMSE	R^2	RMSE	R^2
۱۱	trimf	۳	۲٫۲۹۹	۰٫۸۰۱۵	۲٫۵۹۱	۰٫۵۴۰۱
۱	trapmf	۳	۲٫۷۷۴	۰٫۷۰۲۳	۳٫۰۶۷	۰٫۳۵۵۹
۲۲	gbllmf	۵	۳٫۲۴۰	۰٫۶۴۹۷	۳٫۴۴۰	۰٫۱۹۰۰
۱۸	trimf	۱۱	۲٫۷۹۲	۰٫۶۳۷۷	۲٫۸۶۵	۰٫۴۳۷۶

نقاط شبیه‌سازی شده‌ی عددی با مدل استنتاج فازی تطبیقی را بهتر نمایش دهند.

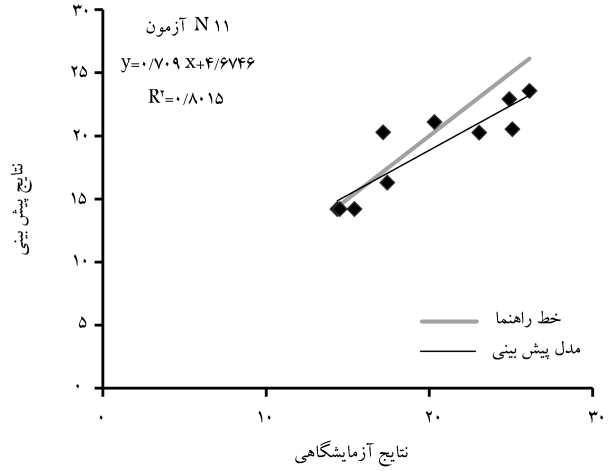
نتایج حاصل از مدل فازی نشان می‌دهد که بیشترین تعداد عامل‌های تأثیرگذار مربوط به گروه هزینه هستند. این موضوع در تطابق با پژوهش‌های چن و همکاران (۲۰۲۲)،[۲۷] و الحجازی (۲۰۲۰)،[۲۸] و در تأیید تعریف اصلی مهندسی ارزش است، که رسیدن به کیفیت مورد نظر با صرف کمترین هزینه را اولویت هر پروژه بر می‌شمارد. البته باید توجه شود در پژوهش حاضر به‌طور خاص نشان داده شده است که بحث اجتناب از تأخیر زمانی در اجرا و کنترل دقیق پروژه، بالاترین وزن را از گروه زمان به خود اختصاص داده است؛ که بیانگر میزان وقوع بالای مشکل اخیر در صنعت ساختمان در ایران است و اهتمام ویژه در جهت رفع آن را می‌طلبد. همچنین، در پژوهش حاضر، مواردی از گروه کیفیت و هزینه، که با نگاه ویژه به ارزش ابر پروژه‌ها و مشکلات‌شان انجام شده است، نیز برجسته شده است.



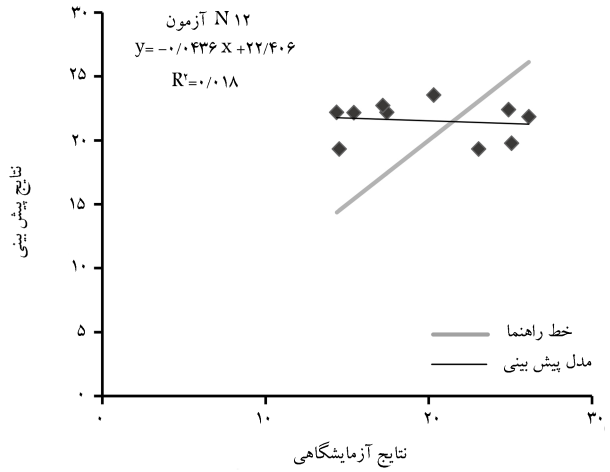
شکل ۲. نتایج حالت آموزش مدل ANFIS برای عامل ۱۱ با تابع trimf و ۳ لایه‌ی پنهان.



شکل ۴. نتایج حالت آموزش مدل ANFIS برای عامل ۱۲ با تابع gbellmf و ۱۱ لایه‌ی پنهان.



شکل ۳. نتایج حالت آزمون مدل ANFIS برای عامل ۱۱ با تابع trimf و ۳ لایه‌ی پنهان.



شکل ۵. نتایج حالت آزمون مدل ANFIS برای عامل ۱۲ با تابع gbellmf و ۱۱ لایه‌ی پنهان.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مهندسی ارزش، روشی هدفمند و کارآمد است، که به دنبال ارتقاء کارکردهای یک محصول، خدمت، یا سیستم با صرف کمترین منابع و هزینه در طول عمر آن است و با استفاده از ایده‌های خلاقانه‌ی یک تیم متخصص و مجرب حاصل می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، بررسی و ساخت یک مدل خبره‌ی استنتاج فازی برای امکان‌سنجی بهبود ارزش پروژه‌ی عمرانی بزرگ‌مقیاس است. یک پرسش‌نامه‌ی استاندارد طراحی شد، که در آن میزان تأثیر معیارهای مهندسی ارزش از تعدادی از خبرگان نظرسنجی شده است. پس از یک مرحله‌ی غربال‌گری معیارهای شناسایی شده با استفاده از روش تحلیل عاملی، ۲۵ زیرمعیار مهم‌تر در ۳ گروه: کیفیت، هزینه و زمان دسته‌بندی شدند. نتایج مدل فازی استنتاجی نشان داد که به ترتیب برای معیارهای ۱۱، ۱، ۲۲ و ۱۸، بهترین پاسخ‌ها به لحاظ مقادیر ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌دست آمده و بدترین پاسخ ها مربوط به معیار ۱۲ پژوهش بوده است. در واقع، برای معیار ۱۱، با عنوان «برنامه‌ریزی صحیح برای تقدم و تأخر فازهای مختلف اجرائی و ثبات در برنامه‌ریزی در طول پروژه و رعایت برنامه‌ی زمان‌بندی (کنترل پروژه)» با تابع trimf، با ۳ لایه‌ی پنهان، بهترین جواب حاصل شده است. پس از آن، معیار ۱ با عنوان «دسترسی کامل به تمامی اطلاعات پروژه و همکاری و هماهنگی سازمان‌های ذی‌ربط با عوامل پروژه» با تابع trapmf، با ۳ لایه‌ی پنهان، بهترین پاسخ و بیشترین تأثیر را در بهبود ارزش پروژه داشته است. همچنین، برای معیار ۱۲ با عنوان «جلوگیری از تداخل مسئولیت‌ها و وظایف افراد در بخش‌های مختلف اجرائی و تغییر وظایف نیروها در جهت کاهش تداخلات کاری» با تابع gbellmf، با ۱۱ لایه‌ی پنهان، نامناسب‌ترین مقدار برازش به دست آمده است. نتایج حاصل، کارآمدی مدل فازی پیشنهادی را برجسته می‌سازد. برای توسعه‌ی آتی پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود روش‌های دیگر محاسبات نرم، از قبیل: رگرسیون میانگین متحرک، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان و یا ترکیبی از روش‌های مذکور استفاده شود تا امکان مقایسه‌ی بهتر نتایج را فراهم سازد. بررسی شاخص‌های ارزش پروژه در ساختمان‌های هوشمند و سبز با استفاده از چنین مدل استنتاجی فازی نیز مفید است. پیشنهاد دیگر، به‌کارگیری مفاهیم جدید ساخت و ساز ناب و نیز ساخت و ساز پایدار در سنجش مجدد معیارهای تأثیرگذار مهندسی ارزش در احداث بهینه‌ی ابر پروژه‌هاست.

پانوشت‌ها

1. adaptive neuro-fuzzy inference system
2. project management body of knowledge, 7^{th} edition (2021).
3. a temporary endeavor undertaken to create a unique product, service, or result. the temporary nature of projects indicates a beginning and an end to the project work or a phase of the project work. projects can stand alone or be part of a program or portfolio.
4. IPMA individual competence baseline (It is an international standard of project management skills, i.e. of project manager and project team).
5. Atabay
6. value engineering
7. مرجع دانش مهندسی ارزش ایران
8. Kaufman
9. Augustin & Bodeab
10. Gunarathne
11. Ganame & Chaudhari
12. Wenfa
13. Bock & Pütz
14. Rachwan
15. Chan
16. Behncke
17. El-Rayes & Kandil
18. Chen
19. Elhegazy
20. principal component analysis
21. cochran formula
22. Rangamiz
23. chronbach's alpha coefficient
24. Likert
25. Takagi
26. Sugeno
27. Matlab
28. trimf
29. trapmf
30. gbellmf
31. nerons

منابع (References)

1. Emamjomezade, M. "Comparison of some projects constructed with various construction systems", *First Conference on Project Management*, Ariana Group, Tehran (2004).
2. Hajiheidari, N. and Rahmati, F. "Risk analysis for it projects using system dynamics", *Journal of Production and Operations Management*, **9**(1), pp. 119-137 (2018).
3. Purnusa, A. and Bodeab, C.-N. "Correlation between time and cost in a quantitative risk analysis of construction projects", Procedia Engineering (2016).
4. Zayed, T., Amer, M. and Pan, J. "Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP", *Int. J..Proj. Manag*, **26**(4), pp. 408-419 (2017).
5. Lyons, T. and Skitmore, M. "Project risk management in the queensland engineering construction industry: a survey", *Internashnal Journal of Project* , **22**(1), pp. 51-60 (2003).
6. Atabay, S. and Galipogullari, N. "Application of value engineering in construction projects", 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, Turkiye (17-19 Oct, 2012).
7. Miles, L.D., *Techniques of Value Analysis and Engineering*, (**4**), New York, McGraw-Hill (1972).
8. Garomsa, T., Agon, E.D.C. and Assefa, S. "Concept of value engineering and current project management practice in ethiopian building construction projects", *American Journal of Civil Engineering*, **7**(1), pp. 1-8 (2019).
9. Miraj, P., Dofir, A., Andreas, A. and et al. "Systematic review of value engineering research studies in indonesia", *CSID Journal of Infrastructure Development*, **2**(2), pp. 192-197 (2019).
10. Gunarathne, A.S., Zainudeen, N., Perera, C.S.R. and et al. "A framework of an integrated sustainability and value engineering concepts for construction projects", *International Journal of Construction Management*, pp. 1-13 (2020).
11. Rane, N.L. and Attarde, P.M. "Application of value engineering in construction projects", *Int. J. Eng. Manag. Res*, **6**(2), pp. 671-674 (2016).
12. Tom, N. and Gowrisankar, V. "Value engineering in residential house construction", *International Journal of Civil Engineering*, **6**(6), pp. 46-52 (2015).
13. Bhokare, S.A., Chavhan, B.R., Kolhe, S.G. and et al. "Value engineering in construction", *Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol*, **4**(3), pp. 54-59 (2017).
14. Hamadan, R.S., Hassan, A.Y., Mohammed, S.M. and et al. "The key performance indicator for five construction projects in khartoum state: case study", *Journal of Engineering and Computer Sciences (ECS)*, **21**(2), pp.56-63 (2020).
15. Cooper, R. "When Lean Enterprises Collide", Boston, Harvard Business School Press (1995).
16. Abdel-Raheem, M., Burbach, V., Abdelhameed, A. and et al. "Value engineering and its applications in civil engineering", In Construction Research Congress, New Orleans, Louisiana, USA, pp. 263-272 (2018).
17. Kaufman, J.J. "Value management", Etobicoke Ontario, Sakura House Publications (2008).
18. Ganame1, P. and Chaudhari, P. "Contruction building schedule risk analysis using Monte-Carlo simulattion", *IRJET*, **02**(04), pp. 1402-1406 (July 2015).
19. Hu, W. and He, X. "An innovative time-cost-quality tradeoff modeling of building construction project based on resource allocation", *The Scientific World Journal*, (2014). DOI: 10.1155/2014/673248.
20. Bock, S. and Pütz, M. "Implementing value engineering based on a multidimensional quality-oriented control calculus within a target costing and target pricing approach", *International Journal of Production Economics*, In Press, Accepted Manuscript (2016).
21. Rachwan, R., Abotaleb, I. and Elgazouli, M. "The Influence of value engineering and sustainability considerations on the project value", *Procedia Environmental Sciences*, **34**, pp. 431-438 (2016).
22. Chan, F.T.S. and Kumar, N. "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach", *Omega*, **35**(4), pp. 417-431 (2015).

23. Behncke, F.G.H., Maisenbacher, S. and Maurer, M. "Extended model for integrated value engineering", *Procedia Computer Science*, **28**, pp. 781-788 (2014).

24. El-Rayes, K. and Kandil, A. "Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, **131**(4), pp. 477-486 (2005).

25. Khaledian, F. and Momeni, M. "Measuring the performance of time and quality of project execution under uncertainty", *Journal of Production and Operations Management*, **12**(2), pp. 71-91 (2021).

26. Khamooshi, H. and Golafshani, H. "EDM: earned duration management, a new approach to schedule performance management and measurement", *International Journal of Project Management*, **32**(6), pp. 1019-1041 (2014).

27. Chen, W.T., Merrett, H.C., Liu, S.S. and et al. "A decade of value engineering in construction projects", Advances in Civil Engineering, pp. 1-13 (2022).

28. Elhegazy, H. "State-of-the-art review on benefits of applying value engineering for multi-story buildings", Intelligent Buildings International, pp. 1-20 (2020).

29. Hajialikhani, M., Azizi, M. and Sobhieh, M. "A review on the challenges of megaprojects and their inducing factors", *13th Conference on Project Management*, Tehran (2017).

30. Kargar, Sh.H. "Vulnerability study of mehr housing projects from contract-making point of view", Master Thesis, Yazd Islamic Azad University (2014).

31. Tsang, E.W. "Generalizing from research findings: the merits of case studies", *International Journal of Management Reviews*, **16**(4), pp. 369-383 (2014).

32. Wikfeldt, E. "Generalising from case studies", Halmstad University (2016).

33. Rangamiz, M. "Risk management in water and sewage projects using Monte Carlo simulation method", MSc Thesis, Khavaran Higher Edu institute, Mashhad (2008).

34. Nabizade, M., Mosaedi, A., Hesam, M. and et al. "Forcasting of River flow using ANFIS", *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, **5**(17), pp. 7 -14 (2011).

پیوست

پیوست ۱. جدول پرسش‌نامه‌ی پژوهش، حاوی معیارهای انتخاب شده.

گروه	ردیف	معیار	تأثیر معیارهای عملکرد مهندسی ارزش در ارتقاء ارزش پروژه‌ی عمرانی بزرگ‌مقیاس					ضریب تأثیر معیارها
			خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	
کیفیت	۱	دسترسی کامل به تمامی اطلاعات پروژه و همکاری و هماهنگی سازمان‌های ذیربط با عوامل پروژه						
	۲	مدیریت مناسب و تعدد ریزپروژه‌ها در اجرای کل پروژه و ایجاد هماهنگی‌ها و استفاده از پیمانکاران جزء به‌جای اجرای یکپارچه						
	۳	تجهیز کامل و مناسب کارگاه در کلیه‌ی مراحل						
	۴	آموزش مستمر و مناسب کارکنان و نیروی انسانی متخصص						
	۵	تناسب مؤلفه‌های پروژه با فضای اقتصادی و اجتماعی منطقه‌ی احداث						
	۶	دسترسی به اطلاعات لازم جهت مشاوره و طراحی						
	۷	اجرای مطلوب سازه‌یی و معماری پروژه و به‌کارگیری دانش مدیریت پروژه، نرم‌افزارهای تخصصی کنترل و برنامه‌ریزی پروژه						
	۸	تهیه‌ی بانک اطلاعاتی جامع در پروژه از صفر تا صد و به‌روزرسانی گزارش‌های فنی روزانه						
زمان	۹	انجام مطالعات پایه‌یی، امکان‌سنجی و ضرورت اجرای پروژه و ثبات در نقشه‌ها و جزئیات و عدم تغییرات زیاد در کار						
	۱۰	بررسی دقیق معارضان طرح و عدم تأخیر در تحویل زمین به پیمانکار						
	۱۱	برنامه‌ریزی صحیح برای تقدم و تأخر فازهای مختلف اجرائی و ثبات در برنامه‌ریزی در طول پروژه و رعایت برنامه‌ی زمان‌بندی (برنامه‌ریزی و کنترل پروژه)						
	۱۲	جلوگیری از تداخل مسئولیت‌ها و وظایف افراد در بخش‌های مختلف اجرائی و تغییر وظایف نیروها در جهت کاهش تداخلات کاری						
	۱۳	نظارت مستمر در تمام طول انجام پروژه و حذف تأخیرهای اجرائی						
	۱۴	عدم تأخیر در تأمین و تهیه‌ی نقشه‌ها و جزئیات طرح						
	۱۵	برگزاری جلسات منظم تخصصی بین ارکان مختلف پروژه و به‌کارگیری مشاورین خُبره و کارشناس در طول پروژه						
هزینه	۱۶	تخصیص صحیح بودجه در بخش‌های مختلف پروژه و تأمین و تدارک تعداد نیروی انسانی مناسب با حجم پروژه						
	۱۷	وجود دستورالعمل‌ها و بخش‌نامه‌های فنی لازم و یا نقص در آئین‌نامه‌های اجرائی						
	۱۸	انتخاب مشاور، ناظر و پیمانکار مناسب برای پروژه و تعیین حیطه‌ی کامل مسئولیت مشاور، ناظر و پیمانکار						
	۱۹	تأمین شرایط مناسب و الزامی اجرائی (بهداشتی، درمانی، زیست‌محیطی و ...) و تأمین منابع مالی لازم تا پایان پروژه						
	۲۰	جانمایی مناسب بر اساس نوع پروژه و موقعیت جغرافیائی						
	۲۱	توجه و ملاحظه‌ی تورم اقتصادی در بودجه‌بندی و برآورد پروژه و برآورد دقیق هزینه‌ها و محاسبه‌ی ریزاقلام کار در ابتدا						
	۲۲	انعقاد قرارداد صحیح و کارآمد حقوقی با مشاور، ناظر و پیمانکار (تدوین نظام مناسب مناقصه)						
	۲۳	به‌کارگیری تکنولوژی نوین در ساخت و برنامه‌ریزی مناسب تأمین و تدارک مصالح و ابزار لازم در هر مرحله از پروژه						
	۲۴	ثبات مدیریتی کلان و جزء در پروژه و توجه به زمان‌بندی به موقع پرداخت‌ها در کارگاه						
	۲۵	ارتقاء وضع رفاهی نیروی انسانی و ارتقاء انگیزه و فرهنگ کار گروهی و بهره بردن از خرد جمعی						