

تدوین مدل تحلیل سلسله‌مراتبی جهت انتخاب روش مناسب اجرای پروژه‌ها

خانی بواتی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

مسعود مفید* (استاد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

مهندسی عمران شریف، (پاییز ۱۳۹۳)
دوره‌ی ۲-۳، شماره‌ی ۳، ص. ۱۱۷-۱۲۳، (یادداشت شریف)

ویژگی اصلی، که پروژه‌های عمرانی را از سایر پروژه‌ها جدا می‌کند، نیازهای مالی هنگفت، سطح علمی و تکنولوژیکی بالا، نیاز به دانش فنی گسترده، حجم کاری بالا و زمان‌بری آنهاست. لذا با توجه به این ویژگی‌ها، انتخاب روش مناسب اجرای پروژه‌ها بسیار حائز اهمیت است و اشتباه در این زمینه، هزینه‌ها و زیان‌های گاه غیرقابل جبرانی را به بار خواهد آورد. از این رو، اتخاذ سیاست مناسب در فرایند تصمیم‌گیری درخصوص روش اجرای پروژه حیاتی است و توسعه‌ی سیستم‌ها و ابزارهای پشتیبانی برای تصمیم‌گیری می‌تواند به مجریان کمک شایانی کند. در این نوشتار، که براساس یک پروژه تحقیقاتی دانشگاهی تهیه شده است، براساس شناسایی و مقایسه‌ی روش‌های مختلف اجرا، استفاده از نظرات خبرگان برای تعیین اهمیت عوامل مؤثر در فرایند تصمیم‌گیری و نهایتاً استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، مدلی برای تصمیم‌گیری در مورد روش بهینه‌ی اجرای پروژه‌ها ارائه شده است.

واژگان کلیدی: روش اجرای پروژه، طراحی - مناقصه - ساخت، مدیریت طرح، مدیریت ساخت ریسک‌پذیر، طرح و ساخت، کلید در دست، تحلیل سلسله‌مراتبی.

۱. مقدمه

به‌طورکلی روش‌های اجرای پروژه، چگونگی و نحوه‌ی انجام فرایند، نیل به اهداف پروژه را از طریق تبیین رویه‌ها و اقدامات، توالی وقایع، ارتباطات قراردادی و محدوده‌ی تعهدات و مسئولیت‌های عوامل اصلی در پروژه را مشخص می‌سازد. عموماً اصطلاحات مختلف دیگری از جمله: استراتژی قرارداد، مدیریت قرارداد و روش تدارک پروژه برای روش اجرای پروژه به کار می‌رود. صاحب‌نظران، متخصصان، و مجامع مختلف بین‌المللی دسته‌بندی‌های گوناگونی را در مورد روش‌های اجرای پروژه ارائه داده‌اند، که از آنها می‌توان به مطالعات گوردون (۱۹۹۴)^[۱]، دسته‌بندی کمیسیون مالی و سرمایه‌گذاری ایالت جورجیای آمریکا (۲۰۰۳)، انجمن مهندسان‌های عمران آمریکا (۲۰۰۵) و دیدگاه الهزومی (۲۰۰۵)^[۲] اشاره کرد. از مهم‌ترین عواملی که موجب تقسیم‌بندی روش‌های اجرا و همچنین زمینه‌ی پیدایش روش‌های نوین اجرا شده است، می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- مجزا یا ادغام کردن قراردادهای طراحی و ساخت،
- واگذاری مسئولیت براساس وحدت یا کثرت و میزان درگیری کارفرما،
- انتقال و تسهیم ریسک،
- حضور تیم مدیریتی جداگانه.

براساس تقسیم‌بندی‌های ارائه‌شده توسط متخصصان و فاکتورهای ارائه‌شده‌ی

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۱/۳/۳۱، اصلاحیه ۱۳۹۱/۱۰/۲۶، پذیرش ۱۳۹۱/۱۱/۱۸.

مذکور، می‌توان روش‌های اجرای پروژه را به این صورت طبقه‌بندی کرد: روش طراحی - مناقصه - ساخت، روش طراحی - ساخت، روش طراحی - ساخت، روش مدیریت طرح، روش مدیریت ساخت ریسک‌پذیر، روش کلید در دست.

همچنین در دو دهه‌ی اخیر، مدل‌های مختلف کمی و کیفی تصمیم‌گیری جهت انتخاب روش اجرای مناسب پروژه ارائه شده است. پری و گوردون مدل‌های کیفی حذفی را جهت انتخاب روش مناسب اجرای پروژه ارائه کرده‌اند، که با حذف روش‌های نامناسب برای اجرای پروژه‌ی موردنظر سیستم مناسب اجرا انتخاب می‌شود. ترنر مدل کیفی ماتریسی را ارائه داده است که با قراردادن ویژگی‌های روش‌های اجرا و شاخص‌های تصمیم‌گیری در یک ماتریس، به‌طور کیفی روش اجرای مناسب انتخاب می‌شود. AGC و جمعه‌زاده مدل کمی تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی SAW را برای انتخاب روش مناسب اجرای توسعه داده‌اند. مصطفوی و کارآموز (۲۰۰۸) مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی فازی را ارائه کرده‌اند. پژوهشگرانی نیز در سال ۲۰۰۷، مدل کمی SMART را ارائه کرده‌اند.^[۳]

۲. روش‌های اجرای پروژه

۲.۱. روش اجرای سه‌عاملی

در این روش، کارفرما با انعقاد قراردادهای جداگانه طراحی و اجرا را واگذار می‌کند.

طراح موظف است طراحی را برای مناقصه‌ی انتخاب پیمانکار به‌طور کامل انجام دهد و نقشه‌ها و مدارک اجرایی را تهیه کند و شروع اجرا مستلزم پایان کار طراحی است.^[۴] همچنین در این روش اجرا، نظارت بر اجرا به عهده‌ی طراح است، و مسئولیت ریسک هماهنگی بین طراحی، ساخت، و مدیریت بر عهده‌ی کارفرماست.

۲.۲. روش اجرای مدیریت طرح

در این نوع روش اجرا، کارفرما به‌طور جداگانه با مدیر طرح قرارداد مدیریت، با طراح قرارداد طراحی و با پیمانکار قرارداد ساخت می‌بندد. مدیر طرح در تصمیمات مالی، کنترل هزینه‌ها، واگذاری مناقصه‌ها، برنامه‌ی زمان‌بندی اجرا، تأیید و بازبینی طراحی به کارفرما کمک می‌کند. در پروژه‌های بزرگ و زیربنایی، که با پیچیدگی‌های فراوانی روبه‌رو هستند، مدیر طرح می‌تواند تأثیر فراوانی در زمان و هزینه‌ی پروژه داشته باشد.^[۱] مدیر طرح معمولاً ریسکی را در طی اجرای پروژه بر عهده نمی‌گیرد و نقش مشاور امور کارفرما را بر عهده می‌گیرد.

۳.۲. روش اجرای مدیریت ساخت ریسک‌پذیر

در این روش اجرا کارفرما با مدیر ساخت ریسک‌پذیر، قرارداد جداگانه می‌بندد. در این حالت مدیر ساخت عامل محوری در اجرای پروژه را عهده‌دار است. کارفرما به منظور رهایی از درگیری‌ها و ریسک‌های اجرای پروژه، فقط با پیمانکار مدیریت ساخت قرارداد می‌بندد و پیمانکاری مدیریت اجرای پروژه را به طراح و پیمانکاران جزء واگذار می‌کند و کلیه‌ی ریسک‌های مدیریت و اجرای پروژه به پیمانکار مدیریت ساخت واگذار می‌شود.^[۵] در این روش اجرا، امکان هم‌پوشانی طراحی و ساخت و اتمام سریع‌تر پروژه وجود دارد.

۴.۲. روش اجرای طرح و ساخت

در این روش اجرا، کارفرما از طریق یک قرارداد واحد، طراحی و ساخت پروژه را به پیمانکار طرح و ساخت واگذار می‌کند و پیمانکار مسئول طراحی و تدارکات و اجرای پروژه و ریسک‌های مربوط است. در این روش، ریسک کارفرما به شدت کاهش می‌یابد و فقط مربوط به دوره‌ی راه‌اندازی پروژه می‌شود.^[۶] در این حالت طراحی و اجرا به‌طور هم‌زمان به پیمانکار واگذار می‌شود و امکان هم‌پوشانی طراحی و ساخت وجود دارد.

۵.۲. روش اجرای کلید در دست

کارفرما در این روش اجرا، مسئولیت طراحی، تدارکات، اجرا و راه‌اندازی پروژه را به‌طور کامل به پیمانکار کلید در دست واگذار می‌کند؛ به طوری که بعد از تکمیل پروژه، کارفرما فقط با چرخاندن یک کلید می‌تواند بهره‌برداری از پروژه را آغاز کند. در این روش کارفرما فقط در فرایند مناقصه و نظارت عالی بر کار پیمانکار دخالت خواهد داشت. کلید در دست حد اعلا سپردن مسئولیت به پیمانکار را تداعی می‌کند.^[۷] ریسک کارفرما در این روش به مقدار کمیته‌ی ممکن می‌رسد و مسئولیت هر ریسکی در محدوده‌ی تعریف پروژه با پیمانکار کلید در دست است.

۳. مدل تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. این روش در دهه‌ی ۱۹۸۰ ابداع شد.^[۸] در این رویکرد تصمیم‌گیرنده کار خود

را با ایجاد درخت تصمیم آغاز می‌کند. درخت تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی، شاخص‌های مقایسه و گزینه‌های رقیب و هدف را نشان می‌دهد. سپس تصمیم‌گیرنده با مقایسات زوجی گزینه‌ها نسبت به هر شاخص و نیز مقایسات زوجی معیارها نسبت به هدف اصلی می‌تواند ارزش وزنی هر گزینه به هر شاخص و نیز ارزش وزنی هر شاخص نسبت به هدف اصلی را به دست آورد.

سپس با ضرب ارزش وزنی هر گزینه در معیارهای مربوط، ارزش کلی هر گزینه به دست می‌آید، و روش‌های اجرای مناسب، که همان گزینه‌ی با ارزش وزنی کلی بالاست، به دست می‌آید. از توانایی‌ها و قابلیت‌های این مدل تصمیم‌گیری می‌توان به محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری قضاوت‌ها، تحلیل حساسیت روی معیارها و گزینه‌ها و امکان قضاوت کیفی یا کمی اشاره کرد.

۴. متدولوژی

پژوهش‌های انجام‌شده در این نوشتار جهت رسیدن به روش مناسب اجرا به ۲ بخش قابل تقسیم است.

۱.۴. پژوهش‌های میدانی

۱.۱.۴. انتخاب شاخص‌های مؤثر در انتخاب روش اجرای مناسب

برای شناسایی شاخص‌های مؤثر در انتخاب روش اجرای مناسب، تحقیقات نسبتاً جامعی مشتمل بر مطالعه‌ی متون علمی نگاشته‌شده در این زمینه،^[۹،۱۰] و نظرسنجی از مدیران پروژه‌ها و مهندسان مشاور پروژه‌های بزرگ صورت گرفته است. با توجه به اینکه انتخاب نهایی روش اجرا توسط مالک/کارفرمای پروژه صورت می‌گیرد، رویکرد این نوشتار در انتخاب شاخص‌ها دیدگاه کارفرمایی خواهد بود، که می‌توان به مواردی همچون: سرعت اجرا، کاهش هزینه و انعطاف‌پذیری در اعمال تغییرات و کیفیت اشاره کرد. در این نوشتار، همچنین نظرات خبرگان علمی دانشگاهی و کارفرمایان پروژه‌های بزرگ در قالب پرسش‌نامه‌های طراحی‌شده، جمع‌آوری و اعمال شد.

پس از انجام این تحقیقات، نهایتاً تعداد ۲۵ فاکتور، بعد از تلفیق و جمع‌بندی به‌عنوان عوامل مؤثر در انتخاب روش اجرای مناسب انتخاب شدند (جدول ۱).

۲.۱.۴. انتخاب جامعه‌ی آماری

جامعه‌ی آماری عبارت است از کلیه‌ی افرادی که دارای دست‌کم یک صفت مشترک باشند. در این پژوهش از کلیه‌ی دست‌اندرکاران پروژه‌های عمرانی اعم از کارفرمایان (۱۹٪)، مهندسان مشاور (۲۸٪) و پیمانکاران پروژه‌های عمرانی (۳۸٪) و همچنین شخصیت‌های دانشگاهی آشنا با موضوع پژوهش (۱۵٪) به‌عنوان جامعه‌ی آماری محسوب شده‌اند، که گستردگی در انتخاب جامعه‌ی آماری می‌تواند از تأثیر تفاوت دیدگاهی حرفه‌های مختلف در نتایج کلی به دست‌آمده جلوگیری کند. همچنین به منظور قابلیت استفاده‌ی نتایج پرسش‌نامه جهت انتخاب روش مناسب اجرا در تمامی پروژه‌های عمرانی، جامعه‌ی آماری از بین تمامی پروژه‌های عمرانی اعم از پتروشیمی (۴۰٪)، راه و ترابری (۱۷٪)، مسکن و شهرسازی (۱۰٪) و آب و فاضلاب (۱۴٪) انتخاب شده‌اند.

۳.۱.۴. نتایج پرسش‌نامه

جهت جمع‌آوری اطلاعات، تعداد ۹۵ پرسش‌نامه بین جامعه‌ی آماری مربوط توزیع شد، که ۶۱ پرسش‌نامه عودت داده شد و بعد از حذف موارد ناقص، ۵۲ پرسش‌نامه

جدول ۱. شاخص‌های مؤثر در انتخاب روش اجرای مناسب.

شاخص	توصیف
۱	اجرای پروژه با قیمت اولیه‌ی پیش‌بینی شده برای موفقیت پروژه، حیاتی است.
۲	کمیته‌ی هزینه‌های ممکنه برای موفقیت پروژه حیاتی است.
۳	تأخیر یا کمیته‌سازی نرخ مخارج
۴	کارفرما به تخمین هزینه‌ی اولیه و منطقی جهت برنامه‌ریزی‌های مالی و تجاری خود نیازمند است.
۵	کارفرما خواهان پذیرش کمیته‌ی ریسک مالی و اجرایی در اجرای پروژه است.
۶	کاهش ریسک و انتقال ریسک به پیمانکار
۷	تمام پروژه در زمان اولیه‌ی تعیین شده برای موفقیت پروژه ضروری است.
۸	کنترل افزایش زمان
۹	اطمینان از کوتاه‌ترین برنامه‌ی زمان‌بندی
۱۰	تمام هرچه سریع‌تر پروژه در موفقیت پروژه مؤثر است.
۱۱	عملکرد در تجهیز و تدارک زودهنگام
۱۲	تجهیز و تدارک زودهنگام تجهیزات و مصالح برای موفقیت پروژه حیاتی است.
۱۳	سهولت در اعمال تغییرات
۱۴	سطحی از تغییرات بیش از حد معمول در اجرای پروژه پیش‌بینی می‌شود.
۱۵	سرمایه‌گذاری بر سطح بالای تغییرات
۱۶	تغییرات مالی بیش از حد نرمال در طول اجرای پروژه پیش‌بینی می‌شود.
۱۷	محرمانه‌بودن جزئیات پروژه
۱۸	محرمانه‌ماندن جزئیات اجرای پروژه برای موفقیت پروژه و کارفرما حیاتی است.
۱۹	سرمایه‌گذاری بر شرایط آشنای پروژه
۲۰	شرایط محیطی اجرای پروژه آشناست و قبلاً پروژه‌ی مشابه اجرا شده است.
۲۱	بیشینه‌سازی نقش کنترلی کارفرما
۲۲	کارفرما خواهان سطح بالایی از کنترل در اجرای پروژه است.
۲۳	ارتقاء سطح کیفی اجرای پروژه
۲۴	اجرای پروژه با کیفیت بالا برای تیم کارفرما مهم است.
۲۵	رعایت مباحث HSE در اجرای پروژه
۲۶	رعایت ایمنی، بهداشت و مسائل زیست‌محیطی در اجرای پروژه مهم است.
۲۷	کمیته‌سازی درگیری کارفرما
۲۸	کمیته‌سازی بر پروژه با دامنه‌ی خوب تعریف شده
۲۹	کارایی در هماهنگی پیچیدگی‌ها و نوآوری‌های پروژه
۳۰	کارایی در هماهنگی پیچیدگی‌ها و نوآوری‌های پروژه

عوامل درگیر در اجرای پروژه بسیار خوب عمل می‌کنند، ولی در عوض در شاخص نقش کنترلی کارفرما نسبتاً ضعیف عمل می‌کنند.

همچنین در روش‌های طرح و ساخت و کلید در دست به علت اینکه تمام عوامل درگیر در ساخت زیر نظر مدیریت واحد هستند، در شاخص‌هایی همچون: بهبود تجهیز و تدارک زودهنگام و کارایی در هماهنگی پیچیدگی‌ها و نوآوری‌های پروژه بسیار خوب عمل می‌کنند.

روش‌های سه‌عاملی و مدیریت طرح به علت دخالت مستقیم کارفرما در اجرای پروژه در شاخص سهولت در اعمال تغییرات و سرمایه‌گذاری در سطح بالای تغییرات خوب عمل می‌کنند.

روش‌های کلید در دست و طرح و ساخت و همچنین مدیریت ساخت ریسک‌پذیر به علت واگذاری کل پروژه به شرکت واحد و هماهنگی‌های بهتر بین عوامل دخیل در اجرا در شاخص‌های مربوط به زمان خوب عمل می‌کنند، که در این حالت دوباره‌کاری‌ها به میزان کمیته می‌رسد و زمان و هزینه‌ی پروژه کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند؛ ولی در روش‌های سه‌عاملی به دلیل جدایی تیم طراحی و ساخت و عدم هماهنگی و دانش لازم بین این دو تیم، نسبتاً ضعیف عمل می‌کنند.

می‌توان گفت روش‌های دو‌عاملی به علت نظم بیشتر در تیم و همچنین هماهنگی بیشتر بین عوامل درگیر در اجرا نسبتاً سطح ارتقاء کیفی اجرای پروژه و مباحث ایمنی و بهداشتی بهتر رعایت می‌شود.

۵.۱.۴. کنترل کیفی داده‌های آماری

برای افزایش روایی و پایایی داده‌ها در نتایج پرسش‌نامه‌ها، این موارد اعمال شد:

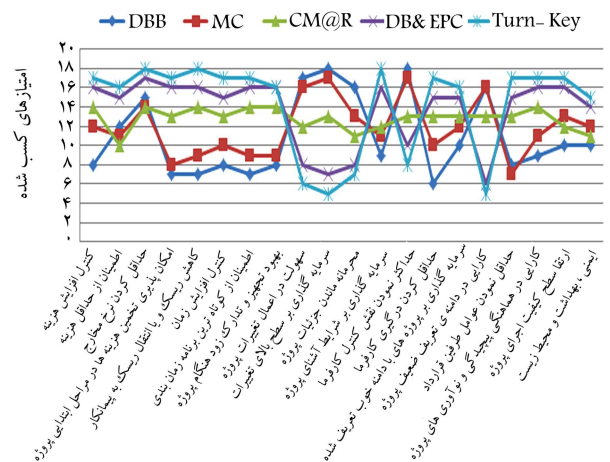
- بررسی و ویرایش سؤالات پرسش‌نامه توسط خبرگان دانشگاهی و مدیران پروژه‌های زیربنایی؛

برای تجزیه و تحلیل مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل پرسش‌نامه‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

۴.۱.۴. تفسیر نتایج پرسش‌نامه

در پی آنالیز نتایج پرسش‌نامه‌های توزیع‌شده و مقایسه‌ی ۵ روش اجرای سه‌عاملی، مدیریت طرح، مدیریت ساخت ریسک‌پذیر، طرح و ساخت و کلید در دست در ۲۰ شاخص ذکرشده، نتایجی به دست آمد که در ادامه مختصراً توضیح داده شده است (شکل ۱).

روش‌های اجرای طرح و ساخت به علت واگذاری اجرای کل پروژه به شرکت واحد طرح و ساخت، در شاخص‌هایی همچون کمیته‌سازی درگیری کارفرما و کمیته‌سازی



شکل ۱. نمودار مقایسه‌ی روش‌های مختلف اجرا براساس شاخص‌های تعریف شده.

جدول ۲. نتایج پرسش‌نامه.

شاخص‌ها	سه عاملی متعارف	مدیریت طرح	مدیریت ساخت با پذیرش ریسک	دو عاملی	کلید دردست
۱	۸	۱۲	۱۴	۱۶	۱۷
۲	۱۲	۱۱	۱۰	۱۵	۱۶
۳	۱۵	۱۴	۱۴	۱۷	۱۸
۴	۷	۸	۱۳	۱۶	۱۷
۵	۷	۹	۱۴	۱۶	۱۸
۶	۸	۱۰	۱۳	۱۵	۱۷
۷	۷	۹	۱۴	۱۶	۱۷
۸	۸	۹	۱۴	۱۶	۱۶
۹	۱۷	۱۶	۱۲	۸	۶
۱۰	۱۸	۱۷	۱۳	۷	۵
۱۱	۱۶	۱۳	۱۱	۸	۷
۱۲	۹	۱۱	۱۲	۱۶	۱۸
۱۳	۱۸	۱۷	۱۳	۱۰	۸
۱۴	۶	۱۰	۱۳	۱۵	۱۷
۱۵	۱۰	۱۲	۱۳	۱۵	۱۶
۱۶	۱۶	۱۶	۱۳	۶	۵
۱۷	۸	۷	۱۳	۱۵	۱۷
۱۸	۹	۱۱	۱۴	۱۶	۱۷
۱۹	۱۰	۱۳	۱۲	۱۶	۱۷
۲۰	۱۰	۱۲	۱۱	۱۴	۱۵

• تعریف دقیق اصطلاحات موجود در پرسش‌نامه،

• توجیه پاسخگویان،

• تجانس و همگونی پاسخگویان،

• پرکردن پرسش‌نامه‌ها به صورت حضوری.

همچنین به منظور محاسبه‌ی پایایی داده‌های پرسش‌نامه‌ها، نتایج پرسش‌نامه در مقیاس لیکرت در نرم‌افزار آماری SPSS وارد شد، که با محاسبه‌ی ضریب آلفای کرونباخ توسط نرم‌افزار، پایایی داده‌ها در حد عالی به دست آمد.

۲.۴. اعمال روش تصمیم‌گیری AHP

اعمال روش تصمیم‌گیری AHP جهت انتخاب روش مناسب اجرا و استفاده از نرم‌افزار EC جهت انتخاب گزینه‌ی بهینه و تحلیل حساسیت بر روی داده‌ها.

۱.۲.۴. انتخاب روش اجرای مناسب با استفاده از مدل AHP

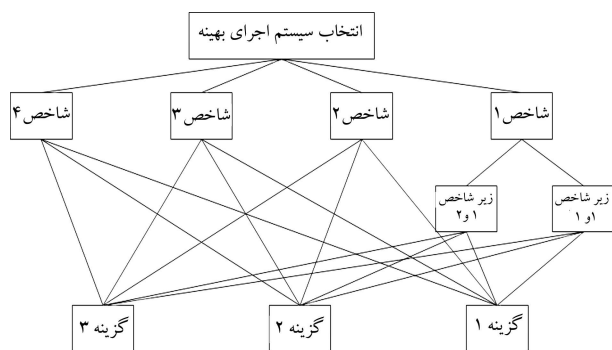
اساس کار فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی را مقایسات زوجی تشکیل می‌دهد. [۸] به این ترتیب که ابتدا با مقایسه‌ی زوجی گزینه‌ها نسبت به هر معیار، ارزش وزنی هر گزینه نسبت به هر معیار به دست می‌آید. سپس با ضرب کردن ارزش وزنی هر گزینه، ارزش وزنی هر معیار و جمع کل این اعداد، امتیاز هر گزینه به دست می‌آید. به طور کلی در تصمیم‌گیری به کمک AHP این مراحل را باید طی کرد:

الف) مشخص کردن اجزای فرایند تصمیم‌گیری: برای هر تصمیم‌گیری سه جزء کلیدی لازم است که عبارت‌اند از: هدف، شاخص‌ها، و گزینه‌ها. این اصل در تصمیم‌گیری AHP نیز صادق است. بر این اساس هدف عبارت است از: انتخاب روش اجرای

مناسب، شاخص‌ها همان عوامل تأثیرگذار در انتخاب روش‌های اجرا هستند و نهایتاً گزینه‌ها نیز همان روش‌های اجرا هستند.

ب) تعیین ارتباط بین اجزا و تشکیل ساختار سلسله‌مراتب: گام بعدی در تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین ارتباط بین گزینه‌ها و شاخص‌ها و هدف است که در نهایت درخت سلسله‌مراتبی ساخته می‌شود. درخت سلسله‌مراتبی باعث می‌شود که سطوح یک تصمیم‌گیری پیچیده به طور منطقی و منظم به هم ارتباط پیدا کنند و تجزیه و تحلیل به سادگی قابل درک باشد. در رأس درخت سلسله‌مراتب هدف، سپس معیارها، و در نهایت گزینه‌ها قرار می‌گیرند (شکل ۲).

ج) مقایسات زوجی گزینه‌ها: در این مرحله مقایسه‌ی زوجی گزینه‌ها نسبت به هر معیار به صورت جدولی انجام می‌شود (جدول ۳)، و ارزش وزنی معیارها نسبت



شکل ۲. درخت سلسله‌مراتبی ایجادشده در مدل AHP.

۲.۲.۴. استفاده از نرم افزار EXPERT CHOICE ۱۱

نرم افزارهای متعددی برای مدل تصمیم گیری AHP توسعه داده شده اند، که می توان مطرح ترین آنها به نام نرم افزار Expect Choice را نام برد. این نرم افزار دارای توانمندی های زیادی در زمینه ی تحلیل داده ها و تصمیم گیری است که می توان به این موارد اشاره کرد: [۲]

- نمایش نمودار سلسله مراتبی،
- محاسبه ی نرخ ناسازگاری قضاوت ها،
- امکان وارد کردن قضاوت و مقایسه به روش های مختلف کمی و کیفی،
- ارائه ی تحلیل حساسیت روی داده ها.

بعد از جمع آوری پرسش نامه ها و بررسی روایی و پایایی داده ها، نتایج حاصله جمع بندی و در نرم افزار وارد شد. نرم افزار مقایسات زوجی گزینه ها را در مورد هر شاخص انجام می دهد و وزن نسبی گزینه ها را در هر شاخص به دست می آورد که در زیر به طور نمونه وزن نسبی گزینه ها برای شاخص اول نشان داده شده است.

۳.۲.۴. تحلیل حساسیت بر روی نتایج

همان طور که اشاره شد، نرم افزار EC قابلیت انجام تحلیل حساسیت بر روی شاخص ها و رتبه بندی گزینه ها را دارد. تحلیل حساسیت بر روی معیارها نشان می دهد که تا چه اندازه تغییر در ارزش وزنی معیارها و نظرات تصمیم گیرندگان بر رتبه بندی به دست آمده با روش AHP اثر می گذارد. اختلاف اندک بین دو گزینه، نمایانگر حساس بودن آن دو گزینه است.

۵. مطالعه ی موردی

به منظور ارزیابی عملکرد و کاربرد مدل پیشنهادی در پروژه های عمرانی، یک پروژه ی پتروشیمی که در اجرای آن توجه خاصی به انتخاب روش مناسب اجرا شده است، انتخاب شد. هزینه ی تخمینی اجرای پروژه در حدود ۵۰ میلیون دلار و پرداخت به صورت قیمت مقطوع تعیین شده است. روش اجرای انتخاب شده EPCC بوده است، که شامل: طراحی اولیه و تفصیلی، تأمین و تدارک تجهیزات و مصالح، اجرای پروژه، نصب و راه اندازی تجهیزات، آزمایش عملکرد و آموزش پرسنل کارفرماست. به منظور انتخاب روش مناسب اجرا برای پروژه ی مورد نظر از مدیر اجرایی پروژه خواسته شد تا اولویت های پروژه و کارفرما را در ارتباط با شاخص های انتخاب روش

جدول ۶. مقایسات زوجی گزینه ها نسبت به شاخص اول.

سه	مدیریت عاملی	مدیریت طرح	مدیریت ساخت	طرح و کلید
۱	۰/۶۶۶	۰/۵۷	۰/۵	سه عاملی
۱/۵	۱	۰/۸۵	۰/۷۵	مدیریت طرح
۱/۷۵	۱/۱۷	۱	۰/۸۳	مدیریت ساخت ریسک پذیر
۲	۱/۳۳	۱/۱۴	۱	طرح و ساخت
۲/۱۲	۱/۴۲	۱/۲۱	۱/۰۶	کلید گردان



شکل ۳. نمودار ارزش وزنی گزینه ها نسبت به شاخص اول.

جدول ۳. مقایسات زوجی گزینه ها نسبت به شاخص ها.

شاخص iام	گزینه اول	گزینه دوم	...	گزینه mام
گزینه ی اول	۱	ai۱۲	...	ai۱m
گزینه ی دوم	ai۲۱	۱	...	ai۲m
...
گزینه ی mام	aim۱	aim۲	...	۱

جدول ۴. تعیین ارزش وزنی گزینه ها نسبت به شاخص ها.

شاخص iام	گزینه اول	...	گزینه mام	اولویت
گزینه اول	ri۱۱	...	ri۱m	Ai۱=ri۱۱+...+ri۱m/m
گزینه دوم	ri۲۱	...	ri۲m	...
...
گزینه mام	rim۱	...	rimm	Aim=rim۱+...+rimm/m

جدول ۵. مقایسات زوجی شاخص ها نسبت به هدف اصلی.

هدف	شاخص اول	...	شاخص mام	اولویت
شاخص اول	R۱۱	...	R۱n	C۱=R۱۱+...+R۱n/n
شاخص دوم	R۲۱	...	R۲n	...
...
شاخص mام	Rm۱	...	Rmn	Cm=Rm۱+...+Rmn/n

به هدف اصلی به دست می آید (جدول ۴).

$$r_{ij} = \frac{\bar{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^m \bar{a}_{ij}}$$

د) مقایسات زوجی شاخص ها: مشابه مرحله ی قبل، در این مرحله مقایسات زوجی شاخص ها نسبت به هدف اصلی انجام می شود و ارزش وزنی شاخص ها نسبت به هدف به دست می آید (جدول ۵).

ه) محاسبه ی امتیاز گزینه ها: در این حالت با ضرب کردن ارزش وزنی هر گزینه در ارزش وزنی هر شاخص مربوط و جمع اعداد مربوط، امتیاز کلی هر گزینه نسبت به هدف اصلی به دست می آید (جدول ۶) و (شکل ۳):

$$\begin{pmatrix} (A_{11} * C_1) + \dots + (A_{i1} * C_i) + \dots + (A_{n1} * C_n) \\ \dots \\ (A_{1j} * C_1) + \dots + (A_{ij} * C_i) + \dots + (A_{nj} * C_n) \\ \dots \\ (A_{1m} * C_1) + \dots + (A_{im} * C_i) + \dots + (A_{nm} * C_n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1^* \\ \dots \\ c_j^* \\ \dots \\ c_m^* \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} (A_{11} * C_1) + \dots + (A_{i1} * C_i) + \dots + (A_{n1} * C_n) \\ \dots \\ (A_{1j} * C_1) + \dots + (A_{ij} * C_i) + \dots + (A_{nj} * C_n) \\ \dots \\ (A_{1m} * C_1) + \dots + (A_{im} * C_i) + \dots + (A_{nm} * C_n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1^* \\ \dots \\ c_j^* \\ \dots \\ c_m^* \end{pmatrix}$$

اجرای مناسب تعیین کند، که نتایج حاصله به صورت کمی در بازه ی [۰ و ۲۰] در جدول ۷ ملاحظه می شود. برای یافتن روش اجرای مناسب برای پروژه ی مورد نظر از نرم افزار (۱۱) EC استفاده و این مراحل برای رسیدن به جواب طی شده است:

جدول ۷. خواسته ها و اولویت های کارفرما در مطالعه ی موردی.

شماره	فاکتور انتخاب	اهمیت فاکتور انتخاب به صورت کمی
۱	کنترل افزایش هزینه	۱۶
۲	اطمینان از کمینه ی هزینه	۱۴
۳	کمینه سازی نرخ مخارج	۱۶
۴	امکان پذیر ساختن تخمین هزینه ها در مراحل ابتدایی	۱۲
۵	کاهش ریسک یا انتقال ریسک به کارفرما	۱۸
۶	کنترل افزایش زمانی	۱۶
۷	اطمینان از کوتاه ترین برنامه ی زمان بندی	۱۴
۸	بهبود تجهیز و تدارک زود هنگام	۱۸
۹	سهولت در اعمال تغییرات	۱۴
۱۰	سرمایه گذاری در سطح بالای تغییرات	۶
۱۱	محرومانه ماندن	۸
۱۲	سرمایه گذاری بر شرایط آشنای پروژه	۱۴
۱۳	بیشینه سازی نقش کنترلی کارفرما	۱۲
۱۴	ارتقاء سطح کیفی اجرای پروژه	۱۴
۱۵	ارتقاء سطح ایمنی، بهداشت و محیط زیست	۱۲
۱۶	کمینه سازی درگیری کارفرما	۱۰
۱۷	سرمایه گذاری در پروژه با دامنه ی تعریف خوب	۱۶
۱۸	کارایی در دامنه ی تعریف ضعیف پروژه	۱۰
۱۹	کمینه سازی عوامل طرف قرارداد	۱۶
۲۰	کارایی در هماهنگی پیچیدگی های پروژه ها و نوآوری	۱۰

۱. ایجاد درخت سلسله مراتبی

در این مرحله، گزینه ها و معیارها و هدف و ارتباط بین آنها در نرم افزار وارد می شود (شکل ۴).

۲. مقایسات زوجی

پس از ایجاد درخت سلسله مراتبی در نرم افزار، قدم بعدی مقایسات زوجی گزینه ها نسبت به هر شاخص و نیز مقایسات زوجی معیارها نسبت به هدف اصلی است. مقایسات زوجی گزینه ها نسبت به هر شاخص با استفاده از نتایج پرسش نامه ها در نرم افزار وارد و ذخیره شده است، و فقط باید با استفاده از اطلاعات پروژه و خواسته های کارفرما، مقایسه های زوجی گزینه ها را نسبت به هدف در برنامه وارد کرد؛ و ارزش وزنی هر یک از معیارها به دست آورد.

۳. مشاهده ی نتایج

بدین منظور از منوی Synthesis، گزینه ی With respect to goal را انتخاب می کنیم که در این پنجره وزن نهایی هر یک از گزینه ها نسبت به هدف قابل مشاهده است (شکل ۵).

مطابق شکل ۵، روش اجرای کلید با همان EPCC با امتیاز ۲۲۶/۰ رتبه ی اول را کسب کرده و به ترتیب روش های اجرای CMR، MC و DBB در رده های بعدی قرار گرفته اند. همچنین ناسازگاری کل برابر صفر است، که نشان دهنده ی دقت اطلاعات وارده در نرم افزار است.

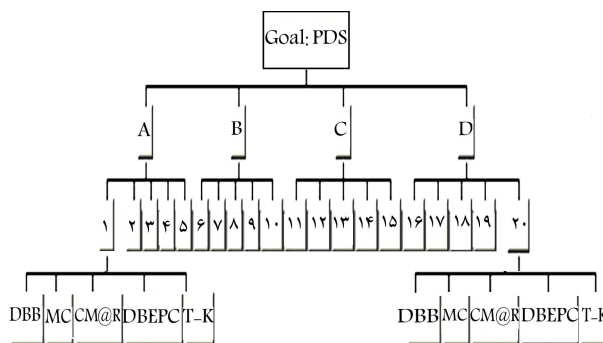
۴. تحلیل حساسیت

همان طور که ذکر شد، نرم افزار مذکور قابلیت ارائه ی تحلیل حساسیت گزینه ها نسبت به تغییرات ارزش وزنی معیارها را دارد، که به روش های مختلف می توان تحلیل حساسیت را انجام داد.

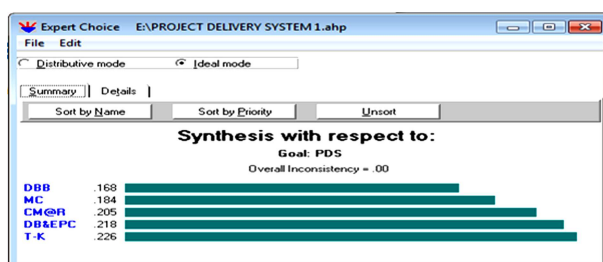
۶. نتیجه گیری

از آنجا که هیچ روش اجرای پروژه یی را نمی توان به عنوان بهترین روش اجرا به صورت مطلق معرفی و پیشنهاد کرد و هر یک از روش های مختلف اجرای پروژه دارای مزایا و معایب مختص به خود هستند، باید بهترین روش برای اجرای هر پروژه، بر اساس شرایط همان پروژه تعیین شود. به عبارتی کارفرما باید با استخراج نیازمندی های و شرایط خاص پروژه، اقدام به انتخاب روشی کند که بهترین خروجی نهایی را عاید وی سازد. تحقق این امر مستلزم این است که کارفرما ابتدا شیوه های مختلف اجرای پروژه ها و مشخصات هر یک از آنها را به دقت شناسایی و سپس شرایط خاص پروژه و توانمندی های موجود را تعیین کند.

بر این اساس در این نوشتار با بررسی همه جانبه ی پروژه های مختلف زیربنایی، ۲۰ شاخص مؤثر در تصمیم گیری و انتخاب روش اجرای مناسب پروژه ها شناسایی شد و اهمیت نسبی هر یک از آنها با پرسش نامه های توزیع شده بین کارفرمایان، مدیران پروژه ها، مهندسان مشاور و خیرگان علمی متخصص در این زمینه به دست آمد. در ادامه، رویکردی تحلیلی براساس مَدولوژی AHP برای انتخاب روش اجرای مناسب پروژه ها مورد استفاده قرار گرفت. سپس نتایج پرسش نامه در نرم افزار ۱۱ Expert Choice وارد و ذخیره شد و ارزش وزنی گزینه ها نسبت به شاخص ها به دست آمده است. این نرم افزار برای انتخاب روش اجرای مناسب چندین پروژه ی زیربنایی مورد استفاده قرار گرفته است، که جواب های به دست آمده از نرم افزار همان هایی بودند که مدیران پروژه با چندین سال کار موفق در پروژه های بزرگ پیشنهاد می کردند که یک نمونه از این پروژه ها در مطالعه ی موردی آورده شده است. همچنین



شکل ۴. درخت سلسله مراتبی ایجاد شده در نرم افزار EC.



شکل ۵. نتایج نهایی به دست آمده توسط نرم افزار EC.

اضافه کرد و یا اصلاحاتی در داده‌های پرسش‌نامه‌ی ورودی به نرم‌افزار انجام داد. این نرم‌افزار می‌تواند در تحقیقات آتی کامل‌تر و جامع‌تر شود و به‌عنوان نرم‌افزار مدیریت قراردادی جهت انتخاب روش اجرای مناسب مورد استفاده‌ی گسترده‌ی کارفرمایان پروژه‌های بزرگ و زیربنایی قرار گیرد.

به کمک تحلیل حساسیت، اهمیت هر یک از عوامل در فرایند تصمیم‌گیری و تغییر در روش‌های انتخاب‌شده براساس تغییر در اهمیت هر یک از عوامل تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار گرفت. از قابلیت‌های این نرم‌افزار می‌توان به تغییرات بسیار ساده در داده‌ها اشاره کرد، به طوری که می‌توان به راحتی گزینه یا شاخصی را حذف یا

منابع (References)

- Gordon, C.M. "Choosing appropriate construction contracting method", *Journal of Construction Engineering*, **120**(1), pp. 196-210 (1994).
- Alhazmi, T. and McCaffer, R. "Project procurement system selection model", *J. Constr. Eng. Manage.*, **126**(3), pp. 176-184 (2000).
- Oyetunji, A.A. and Anderson, S.D. "Project delivery and contract strategy selection", *Research Rep., Construction Industry Institute, The Univ. of Texas at Austin, Austin, Tex.*, **165**(12), pp.187-195 (2001).
- Mostafavi, A. and Karamouz, M. "Selecting appropriate project delivery system: Fuzzy approach with risk analysis", *Journal of Construction Engineering and Management*, **136**(8), pp.923-930 (2010).
- Construction Industry Institute, *Project Delivery and Contract Strategy Selection: A Tool for Owners, Implementation resource*, **165**(2), 2nd Ed., The University of Texas at Austin Press, Austin, Tex. (2003).
- Perry, J.G. "The development of contract strategies for construction projects", PHD Thesis, University of Manchester (1985).
- Spink, C.M. "Choosing the right delivery system", *In Proceedings of the ASCE Construction Conference*, pp. 663-671 (1997).
- Saaty, T. *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*, USA, RWS Publications, Pittsburgh, PA (1990).
- Skitmore, R.M. and Marsden, D.E. "Which procurement system? towards a universal procurement selection technique", *Construction Management and Economics*, **6**(1), pp. 71-89 (1988).
- Mafakheri, F., Dai, L., Slezak, D. and Nasiri, F. "Project delivery system selection under uncertainty: Multicriteria multilevel decision aid model", *J. Manage. Eng.*, **23**(4), pp. 200-206 (2007).