تحقیقات بتن
سال چهاردهم، شمارهٔ اول
بهار ۱۴۰۰
ص ۱۴۷ – ۱۲۳
تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۴

یادداشت پژوهشی

ارزیابی کاربرد مهندسی ارزش در اجرای بدنه سد مخزنی بتنی کوثر گچساران

سید محمدحسین رجبی
کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
سیدفتح اله ساجدی *
دانشیار گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

چکیده

مهندسی ارزش نگرشی خلاق به‌منظور بهینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر، صرفه‌جویی در زمان، افزایش سود، بهبود کیفیت، و استفاده بهینه از منابع می‌باشد. این روش مدیریتی در ایران نیز دارای سوابق متعدد در پروژه‌ها است، و بسیاری از دستگاه‌های اجرایی کشور در پروژه‌ها آن استفاده می‌کنند. پیاده‌سازی روش مهندسی ارزش در سازه‌های هیدرولیکی، این امکان را می‌دهد تا با رفتار نظام‌مند در جهت ایجاد تعادل بین هزینه‌ها و کارکرد پروژه، با اتکاء به خلاقیت و کار گروهی، در راستای حذف هزینه‌های زائد، افزایش راندمان و بهره‌وری مناسب‌تر پروژه‌ها، گام‌های مؤثر برداشته شود. اجرای این روش، نتایج کاملا مطلوب و ملموسی را در دنیا و حتی در ایران به‌جا گذاشته که از آن می‌توان به سد تنظیمی مارون، کانال کنترل سیلاب رامشیر، تونل انحراف سد کوهرنگ، و موارد دیگر اشاره نمود. سدهای مخزنی پروژه‌های عظیم ملی و چندمنظوره‌ای هستند که ذخیرهٔ آب جهت مصارف شرب، کشاورزی، صنعت، تولید برق، مهار سیلاب‌ها، امور سیاحتی، فرهنگی و تفریحی از اهداف آنها است. عمده‌ترین معضلی که اغلب پروژه‌های بزرگ با آن مواجه هستند، عدم انجام مهندسی ارزش در آنها می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق اعمال مهندسی ارزش در اجرای بدنه سد مخزنی کوثر گچساران واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. در انجام این تحقیق از روش‌شناسی مهندسی ارزش به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. نتایج نشان داد که هزینه اجرای بدنه سد با کاربرد مهندسی ارزش، ٪۸/۴۷ معادل ۵/۸ میلیارد تومان کاهش یافت؛ از نظر زمان اجراء نیز حدود ٪۲۰/۲۵ کاهش ایجاد شد و ٪۹/۲۵ کیفیت اجراء نیز افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: **مهندسی ارزش، سد مخزنی بتنی کوثر گچساران، کاهش زمان، کاهش هزینه، افزایش کیفیت.**

* نویسنده مسئول: sajedi@iauahvaz.ac.ir

۱- مقدمه

مهندسی ارزش[1] نگرشی خلاق به منظور بهینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر، صرفه‌جویی در زمان، افزایش سود، بهبود کیفیت، افزایش سهم بازار، حل مشکلات و استفاده بهینه از منابع می‌باشد. این روش مدیریتی در ایران نیز دارای سوابق متعدد در پروژه‌ها است، به‌گونه‌ای که بسیاری از دستگاه‌های اجرایی کشور در پروژه‌های خود از مهندسی ارزش استفاده می‌کنند. مهندسی ارزش، مجموعه‌ای متشکل از چندین روش فنی است که با بازنگری و تحلیل اجزای کار، قادر خواهد بود، اجرای کامل طرح را با کمترین هزینه و زمان تحقق بخشد. هزینه طرح در این مقوله نه فقط هزینه‌های طراحی و اجرا بلکه هزینه‌های مالکیت شامل بهره برداری، تعمیر و نگهداری و هزینه‌های مصرف در سراسر دوره عمر مفید طرح را نیز شامل می شود. روش‌های مهندسی ارزش می‌تواند موجب اصلاح و ارتقای کیفیت فرایندهای تولید صنعتی و انجام طراحی های جدید در هر مرحله از یک پروژه اجرایی گردد. برخلاف آنچه که در صنایع تولیدی مرسوم است و می‌توان یک روش اصلاحی را همواره در مراحل بعدی تولید یک محصول خاص نیز اجراء کرد، در پروژه های ساختمانی که هر سازه دارای شرایط ویژه ای است، حدود کاربست یک روش اصلاحی مهندسی ارزش، محدود به همان پروژه است، گذشته از این، امکانات صرفه‌جویی در هزینه‌های یک پروژه اجرایی نیز در مراحل مختلف آن تفاوت‌های بسیار پیدا می‌کند. با آنکه روش مهندسی ارزش را می‌توان در تمام مراحل یک پروژه اجرایی به کار بست، بیش‌ترین مزایای آن زمانی حاصل می شود که در نخستین مراحل برنامه‌ریزی و طراحی به‌کار گرفته شود. نوآوری و جنبه‌های کاربردی مهندسی ارزش، این روش را از روش‌های سنتی و متعارف کاهش هزینه‌ها، متمایز می گرداند. روش‌های سنتی کاهش هزینه‌ها، عموما از تجربیات گذشته، نگرش‌ها و عاداتی که جنبه تکرار به خود گرفته است، تبعیت می‌کنند و اثری از خلاقیت در آنها دیده نمی‌شود، اما مهندسی ارزش، گردآوری اطلاعات، شناسایی عرصه‌های مشکل‌دار، پیشنهاد و تدوین روش‌ها و طرح-های ابتکاری، پرورش اندیشه‌های نو و تدقیق همه جانبه دیدگاه-هایی را که قرار است توصیه شوند، مطرح می‌سازد.

پیاده‌سازی روش مهندسی ارزش در سازه‌های هیدرولیکی، این امکان را می‌دهد تا با برخورد نظام‌مند در جهت ایجاد تعادل بین هزینه و کارکرد پروژه با اتکاء به خلاقیت و کار گروهی، در راستای حذف هزینه‌های زائد، افزایش راندمان و بهره‌وری مناسب-تر پروژه، گامی مؤثر برداشته شود. اجرای این روش، نتایج کاملا مطلوب و ملموسی را در دنیا و حتی در ایران به‌جا گذاشته است که از آن می‌توان به سد تنظیمی مارون، کانال کنترل سیلاب رامشیر، تونل انحراف سد کوهرنگ، تونل آبی دز به قمرود، سد و شبکه آبیاری سد شفا رود، حوضچه آرامش سد کرخه و ... اشاره نمود که باتوجه به اجرای قانون هدف‌مندسازی یارانه‌ها توسط دولت و واقعی‌تر شدن قیمت‌های انرژی در کشور ضرورت انجام مطالعات ارزش (مخصوصا در فاز طراحی پروژه) بیش از هر زمان احساس می‌گردد، به طوری که تجربه جهانی نشان می‌دهد که هر واحد هزینه برای مهندسی ارزش، ۲۰ تا ۴۰ واحد صرفه‌جویی در پی خواهد داشت [۱]. مدیریت ارزش را می‌توان به‌صورت تلاش گروهی نظام‌مند برای بهبود کیفیت و عملکرد محصولات، پروژه های مهندسی، سیستم ها، فرآیندها یا خدمات در پایین‌ترین و کاراترین حد ممکن در هزینه دوره عمر، تعریف کرد. قلب فرآیند مدیریت ارزش "تحلیل کارکرد" است. تحلیل کارکرد عاملی کلیدی در موفقیت یک مطالعه مهندسی ارزش می‌باشد. بنابراین زمان قابل ملاحظه‌ای از کارگاه مهندسی ارزش باید صرف تعریف، بحث، تحلیل و طوفان ذهنی کارکردها گردد [۲].

اساس فرایند مهندسی ارزش بر پنج سوال تعیین شده توسط لاورنس دی مایلز[2] بنیانگذار مهندسی ارزش استوار می‌باشد. این سوالات عبارتند از: آن چیست؟ چه کاری انجام می‌دهد؟ ارزش آن چقدر است؟ چه چیز دیگر این کار را انجام می‌دهد؟ و هزینه آن چقدر است؟ [۸-۵]. در این تحقیق سعی بر آن است تا کاربرد مهندسی ارزش در پروژه احداث بدنه سد مخزنی بتنی کوثر گچساران ارزیابی شود. به همین منظور جهت شناسایی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی مهندسی ارزش در پروژه مذکور در ابتدا عوامل را به‌طور کلی در سه گروه رفتاری، ساختاری و زمینه‌ای تقسیم‌بندی نموده و پس از انجام مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای به شرح دقیق و تفضیلی عوامل مؤثر اقدام شده است.

[1] Value Engineering

[2] Lawrence de Miles

۱-۱- مفهوم و چارچوب مهندسی ارزش

مهندسی ارزش یک راه تفکر سازمان‌یافته به منظور دست‌یابی به عملکرد مورد نیاز با کمترین هزینه و سازگار با ملاحظات اجرایی است که از طریق بیان عینی عملکردهای طرح‌های مختلف از قبیل پل‌سازی، روسازی، مسیربندی و به طور کلی هر آنچه که هزینه دربرداشته باشد، تحلیل و بازنگری آنها مسیر می‌شود.

این روش برای کنترل هزینه‌ها همراه با تضمین اطمینان‌پذیری، کیفیت و پایایی است. در این راستا از همه فن‌آوری‌های موجود و هم‌چنین از اصول علم اقتصاد و مدیریت بازرگانی بهره گرفته می‌شود. در انجام فعالیت‌های مهندسی ارزش باید ترجیحا از یک روش ساختارمند علمی استفاده شود تا هدفمندی طرح تضمین گردد [۱۱-۹]. مراحل اصلی برنامه عملیاتی مهندسی ارزش را می‌توان به صورت ارزیابی عملکرد، ارزیابی هزینه، ارزیابی ارزندگی و ارزیابی ارزش برشمرد[۱۲].

۱-۲- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

مطالعات ارزش یک روش سازمان یافته، برای جستجو و بررسی فرآیندها یا مجموعه‌های پیچیده می‌باشد و در یک روش قدم به قدم کارکردهای مورد نیاز و ابزاراهای دست‌یابی به آنها را تعیین می‌کند. از مطالعات ارزش می‌توان جهت ارزیابی اثربخش رویه‌ها، ساختارها، فرآیندها، سازمان‌ها و سایر سیستم‌های موجود استفاده نمود. هم‌چنین روش‌های ارزش می‌توانند به عنوان ابزار حل مساله برای موارد مختلف، مسائل، مشکلات، رویه‌ها یا به عنوان ابزاری برای توسعه راه‌حل‌ها در حالی که تنها عملکرد مطلوب و مورد علاقه معلوم باشد، مدنظر قرار گیرند. کارکردها بر حسب اثربخش و مفید بودن مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، تا بتوان کارکردهای موجود را حذف، اصلاح یا کاهش داد. این روش را می‌توان برای ارزیابی فرآیندهای موجود و نیز برای رسیدن به رویکردهای بهبود فرآیند مورد استفاده قرار داد. اما باید در نظر داشت که تصمیم گرفته شده در مراحل اولیه بسیار بحرانی و مهم است. گرفتن تصمیمات درست در مراحل اولیه، مقدار زیادی در زمان، تلاش و پول صرفه‌جویی خواهد کرد. به علاوه سطح پذیرش تصمیمات و تغییرات در مراحل اولیه بالاست و با پیشرفت در مراحل بالاتر کاهش می‌یابد. مهندسی سدسازی یک زمینه مطالعاتی بین رشته-های زمین‌شناسی و عمران (ژئوتکنیک) است که به مطالعه ساختار و جنس زمین در محل انجام پروژه‌های مهندسی از جمله ساخت سازه‌های عظیم (پل‌های با دهانه زیاد/ سازه‌های صنعتی/ نیروگاه‌ها/ سدهای مختلف/جاده‌ها/تونل‌های مختلف و سایر پروژه‌های عمرانی) می‌پردازد که این امر نیاز به آگاهی و درک کامل ساختارهای زمین‌شناسی از جنبه مهندسی موضوع می‌باشد، برای دست‌یابی به اهداف فوق از علم زمین‌شناسی/ مکانیک خاک/ هیدرولوژی/ مکانیک سنگ و ژئومکانیک و بهره‌گیری از آزمایش‌های ژئوتکنیک و ژئوفیزیک کار خود را انجام می‌دهد و نتایج کمی و کیفی و ارزیابی حاصل از این مطالعات برای استفاده به مهندسین ارائه می‌شوند.

مهندسی ارزش این امکان را فراهم می‌کند که همزمان در جهت کاهش هزینه‌ها و ارتقای کیفیت گام برداشت. بر همین اساس اغلب مدیران و دست‌اندرکاران پروژه‌های صنعتی و عمرانی قوانین و مقرراتی مبنی بر ضرورت به‌کارگیری مهندسی ارزش در پروژه-ها وضع نموده‌اند [۱۴-۱۲]. در ایران نیز سازمان مدیریت و برنامه-ریزی کشور به‌کارگیری مهندسی ارزش را در اولین گام در بند ج ماده ۶۱ قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی مورد توجه قرار داده است. در این قانون آمده است که پروژه‌های عمرانی کشور باید با هدف ساده‌سازی و ارزان‌سازی با روش مهندسی ارزش مورد بازنگری قرار گیرند[۵-۴].

جدول ۱- کاربردهای مهندسی ارزش در جهان [۲۱]

ردیف	کاربرد (٪)	رشته
۱	۷۹/۹	برق و الکترونیک
۲	۹۱/۳	حمل و نقل (راهسازی و ترافیک)
۳	۹۰	تولید تجهیزات
۴	۸۴/۵	ماشین‌سازی و تولید خودرو
۵	۵۰	صنایع شیمیایی
۶	۳۹	صنایع ساختمانی
۷	۳۷/۵	صنایع غذایی

۲- معرفی مطالعه موردی تحقیق

نیازهای آبی رو به رشد مناطق محروم شهری و صنعتی و همچنین بخش کشاورزی، بنادر، جزایر و روستاهای تابعه واقع در مناطق جنوبی به خصوص در استان بوشهر ، باعث گردید که پتانسیل

موجود در منطقه به‌طور گسترده مورد ارزیابی قرار گیرد. به همین لحاظ اولین قرارداد مطالعاتی در زمینه طرح آبرسانی به بوشهر در اسفند ماه ۱۳۶۰ بین سازمان آب منطقه‌ای فارس و شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس به امضاء رسید. متعاقبا در آبان ماه ۱۳۶۵ مطالعات میاندوره‌ای به منظور ارائه مناسب‌ترین راه حل فنی-اقتصادی بر روی منابع آب رودخانه فهلیان، زهره و خیرآباد از نظر کمی و کیفی انجام پذیرفت. طبق بررسی‌های قبلی به ترتیب سدهای باتون (واقع بر رودخانه فهلیان)، بیدستان (واقع بر رودخانه زهره) و تنگ دوک (واقع بر رودخانه خیرآباد) و بالاخره سیستم انتقال آب محل‌های یاد شده به بوشهر و شهرها و روستاهای تابعه واقع در محدوده طرح پیشنهاد گردید و نهایتا از میان طرح-های یاد شده احداث سد بر روی رودخانه خیرآباد و انتقال آب این رودخانه به طرف جنوب تا نزدیکی بندر دیلم و سپس به طرف شرق تا برازجان و بوشهر به تصویب رسید.

الف: گزینه‌های مختلف احداث سد

سد کوثر با مشخصات جغرافیایی ۵۰-۲۲ تا ۵۱-۱۵ طول شرقی و ۳۰-۲۵ تا ۵۵-۳۰ عرض شمالی در جنوب ایران و مرز استان‌های خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر و فارس و در فاصله ۶۰ کیلومتری شمال غربی شهر گچساران و ۴۲ کیلومتری شهر بهبهان بر روی رودخانه خیرآباد در محل تنگ دوک احداث گردیده است. رودخانه خیرآباد با آب شیرین یکی از شاخه های اصلی رودخانه زهره بوده و از دو شاخه به نام‌های شاه‌بهرام و دهدشت تشکیل می‌گردد. شاخه شاه‌بهرام پس از عبور از آبادی نازمکان در مجاورت آبادی شامبراکان به شاخه دهدشت پیوسته و مشترکا رودخانه خیرآباد را به‌وجود می‌آورند. این دو شاخه از ارتفاعات داخلی استان کهگیلویه و بویراحمد (کوه‌های زاگرس) سرچشمه گرفته و ضمن عبور از آبادی خیرآباد در مجاورت زیدون به رودخانه زهره ملحق و نهایتا در حوالی هندیجان در استان خوزستان به خلیج‌فارس می‌ریزند. تنگ دوک در ناحیه چین‌خورده سلسله جبال زاگرس، در جنوب غربی ایران و در یال شمال شرقی طاقدیس دوک با روند شمال باختری جنوب خاوری قرار دارد که توسط رودخانه خیرآباد بریده شده است. دره محل سد متقارن بوده، شیب توپوگرافی دامنه تند و حدود ۸۰ درجه است. جنس سنگ جناحین محل سد از سنگ آهک و آهک مارنی می‌باشد.

ب: هیدرولوژی رودخانه و حوزه آبریز

حوزهٔ آبریز رودخانه خیرآباد جمعا به مساحت ۲۴۲۹ کیلومتر مربع می‌باشد. ارتفاع متوسط بارندگی ۶۳۸ میلی‌متر در سال و میزان تبخیر سالیانه از سطح آزاد آب ۲۳۴۶ میلی‌متر ارزیابی گردید. طول رودخانه نیز در حدود ۱۰۳ کیلومتر است. حجم رسوبات ورودی به مخزن سد ۱/۹۰ میلیون مترمکعب در سال برآورد شدند. متوسط دراز مدت جریان سالانه در محل سد ۲۱/۵۴ مترمکعب در ثانیه می‌باشد (۶۸۰ میلیون متر مکعب در سال). حداکثر سیلاب محتمل[1] ۱۴۰۰۰، پیک سیلاب با دوره برگشت ۱۰۰۰۰ سال ۹۴۰۰ ، پیک سیلاب با دوره برگشت ۱۰۰۰ سال ۵۸۰۰ ، پیک سیلاب با دوره برگشت ۱۰۰ سال ۳۲۹۰ ، پیک سیلاب با دوره برگشت ۵۰ سال ۲۶۷۰ و پیک سیلاب با دوره برگشت ۱۰ سال ۱۴۵۰ متر مکعب در ثانیه می‌باشند [۸-۴].

ج: مشخصات فنی سد و سازه‌های وابسته

جدول ۲- مشخصات بدنه سد

نوع سد	بتنی وزنی
ارتفاع سد از پی	۱۴۴ متر
طول تاج سد	۱۹۰ متر
عرض سد در پی	۶۲/۸ متر
عرض سد در تاج	۷ متر
حجم مخزن در تراز نرمال	۵۸۰ Mm^3

جدول ۳- مشخصات تونل انحراف

نوع	دایره ای
طول	۵۰۲ متر
قطر	۵/۵ متر
نوع فراز بند	سنگ ریزه ای با هسته رسی
رقوم تاج فرازبند	۵۱۵ متر
نوع نشیب بند	سنگریزه ای
رقوم تاج نشیب بند	۵۱۰ متر

[1] Maximum Possible Flood (MPF)

جدول ۴- مشخصات سرریزها

	نوع	سرریز تونلی
سرریز اصلی	تعداد سرریز	دو رشته تونل هر یک به قطر ۱۰ متر
	ظرفیت سرریز (سیلاب ده هزار ساله)	در حدود ۴۳۳۰ متر مکعب در ثانیه
	نوع و تعداد دریچه	۲ دریچه قطاعی به ابعاد ۱۲×۱۲ متر
	سازه پایاب سرریز	باکت جامی شکل با طول پرتاب ۹۰ متر
سرریز کمکی	نوع و تعداد سرریز	یک عدد شوت با سطح پله ای روی بدنه سد
	عرض سرریز	۶۰ متر شامل چهار دهانه ۱۵ متری (انتهای شوت ۲۵ متر)
	ظرفیت سرریز کمکی (سیلاب ده هزار ساله)	۱۱۹۰ متر مکعب در ثانیه
	سازه پایاب سرریز	باکت جامی شکل با عرض ۲۵ متر و طول پرتاب ۲۲ متر

جدول ۵- مشخصات تأسیسات تخلیه کننده و آبگیری تحتانی بدنه سد

تأسیسات تخلیه کننده تحتانی بدنه سد	
ابعاد مجرا (دریچه)	۲×۳ متر
حداکثر ظرفیت در تراز نرمال	۱۶۲ متر مکعب در ثانیه
تراز محور	۵۶۵ متر از سطح دریا

تأسیسات آبگیری در بدنه سد			
رقوم کف		۵۷۶ متر از سطح دریا	
حداکثر ظرفیت در تراز نرمال		۱۶ متر مکعب در ثانیه	
تراز آبگیری		۶۰۵، ۵۹۰، ۵۷۷ (سه تراز مختلف)	
تونل آب بر		دریاچه سد	
قطر حفاری	۸ متر	تراز نرمال سطح آب	۶۲۵ متر از سطح دریا
طول	۱۲۸۰ متر	حجم مخزن در تراز نرمال	۵۸۰ میلیون متر مکعب

جدول ۶- مشخصات پارامترهای اصلی دریاچه

مساحت دریاچه (km^2)		حجم (Mm^3)		تراز (m)				عمق (m)		طول در تراز نرمال (km)
تراز مرده آب	تراز معمولی آب	حجم مفید	حجم کل	سیلاب		حداقل تراز بهره‌برداری	نرمال	میانگین	حداکثر	
				P=0,1%	PMF					
۵/۴	۱۶/۲	۴۵۸/۷	۵۷۷/۵	۶۳۰/۱	۶۳۸/۹	۵۸۰	۶۲۵	۴۸	۱۲۳	۲۰

جدول ۷- مشخصات ابزار دقیق استفاده شده در بدنهٔ سد کوثر

نام ابزار	نوع ابزار	کارخانه سازنده	سال نصب	تعداد
پیزومتر الکتریکی	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	۸۲-۷۶	۱۰۲
درز سنج	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	۸۲-۷۶	۶۷
کشش سنج (اکستنسیومتر)	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	۸۲-۷۶	۴۴
پاندول معکوس	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	۸۷-۸۶	۴
پاندول مستقیم	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	۸۷-۸۶	۳
تنش‌سنج آرماتور	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	۸۲-۷۶	۲۶
تنش‌سنج بتن	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	۸۲-۷۶	۷۱
تله ترمومتر	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	۸۶-۷۶	۶۱
شتاب‌نگار	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	۸۵	۵
تراز آب‌سنج	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	-	۱
سرریز اندازه‌گیری دبی	-	SOIL INSTRUMENT	۸۵-۷۶	۱۱
دستگاه قرایت مرکزی	الکتریکی	SOIL INSTRUMENT	-	۱
جمع کل				۳۹۶

جدول ۸- مشخصات گالری‌های تزریق و زهکش

ابعاد	۳/۷×۳/۸۵ متر
طول	۳۰۰۰ متر
پرده آب بند	۶۸۰۰۰ متر
تزریقات تحکیمی	۶۲۰۰۰ متر
گمانه های زهکش	۱۸۰۰۰ متر

جدول ۹- حجم بتن‌ریزی و حفاری سد کوثر (مترمکعب)

گالری‌های تزریق و زهکش	
بتن ریزی بدنه سد	۳۳۳۰۰۰
بتن ریزی سرریزها	۱۰۷۰۰۰
بتن ریزی سایر سازه ها	۸۵۰۰۰
جمع کل بتن ریزی	۵۲۵۰۰۰
حفاری زیرزمینی	۳۰۷۰۰۰
حفاری روباز	۶۲۶۰۰۰

د: ویژگی‌های طراحی و اجرای سد مخزنی کوثر

محل سد در تنگه بسیار باریکی است. عرض تنگه در کف در تراز ۵۰۰ حدود ۱۰ متر و تکیه‌گاه‌های سد تا تراز ۵۷۵ متر دارای شیب بسیار تند ۸۰ درجه است که هر گونه عملیات اجرایی را در قسمت زیرین تکیه‌گاه بسیار مشکل و پرهزینه می‌ساخت. برای احداث سد در تراز ۵۲۷ و ۵۲۹ با استفاده از ۶۲ عدد خرپای فلزی به عرض ۲۰ متر یک پل فلزی احداث شده و بتن‌ریزی سد بر روی این پل انجام گرفت.مقطع زیر پل فلزی قادر به عبور سیلاب‌های زمستانه تا ظرفیت ۲۷۰۰ مترمکعب در ثانیه بوده است. برای عملیات اجرایی در زیر پل فلزی یک تونل انحراف به قطر ۵/ ۵ متر و به طول ۵۰۰ متر احداث و آب از طریق یک فرازبند و نشیب‌بند خاکی ساده به‌داخل این تونل انحراف داده شده و عملیات اجرایی زیر پل در سه فصل کم آب (تابستان) انجام گردید که نوع عملیات فوق در صنعت سدسازی کم نظیر و تجربه‌ای جدید به‌شمار می‌رود. بتن-ریزی بدنه سد در سطح زیاد و در لایه‌های ۰/۵ تا ۰/۷۵ متری انجام شد که به روش عملیات اجرایی بتن‌ریزی بسیار ساده و هزینه‌های قالب‌بندی کاهش یافت. حرارت لایه‌های بتن در تماس با هوا مستهلک شده و نیازی به احداث تاسیسات پر هزینه سرمازا برای کاهش حرارت توده بتن بدنه سد نبوده است.

جدول ۱۰- مراحل ساخت سد کوثر و هزینه‌های اجرایی

قرار داد طراحی و اجراء	مبلغ قرارداد: ۱۲۹،۲۳۸،۵۸۹،۰۸۲ مدت قرار داد: ۴۰ ماه شاخص مبنای پیمان: سه ماهۀ سوم سال ۱۳۷۳ تاریخ شروع پیمان: آذرماه ۱۳۷۳
قرار داد خرید، حمل و نصب تجهیزات هیدرومکانیکال و ابزار دقیق	مبلغ اولیه قرار داد: ۴۷،۳۳۶،۰۰۰،۰۰۰ مدت قرار داد: ۲۴ ماه شاخص مبنای پیمان: سه ماهۀ چهارم سال ۱۳۷۶ تاریخ شروع پیمان: ۱۳۷۶/۱۱/۲۰
متمم قرارداد طراحی واجرای سد کوثر	مبلغ اولیه متمم قرارداد: ۹۰،۹۷۳،۹۵۰،۶۶۰ مدت قرار داد: ۱۸ ماه شاخص مبنای پیمان: سه ماهۀ سوم سال ۱۳۷۳ تاریخ شروع پیمان: بهمن ماه ۱۳۸۰
جمع هزینه‌های انجام شده با اعمال ضرائب مربوطه (بدون صورت وضعیت قطعی)	۶۱۹/۳۹۵ میلیون ریال

قرار داد طرح و اجرای سد کوثر در آذر ماه ۱۳۷۳ با شرکت سابیر و مشاور همکار شرکت $IIGH$ روسیه (موسسۀ بین‌المللی سنگ و سازه) منعقد گردید. کارفرمای طرح سازمان آب منطقه‌ای فارس، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد و نمایندۀ فنی کارفرما شرکت مهندسی مشاور پاراب فارس و نظارت کیفی با پیمانکار (شرکت سابیر) بوده است و در اسفند ۱۳۷۳ زمین مورد نیاز برای تجهیز کارگاه در اختیار پیمانکار قرار گرفت و عملیات اجرایی پروژه آغاز گردید.کارهای باقیمانده و تکمیل طراحی و اجرای سد بتنی کوثر و تأسیسات وابسته با در نظر گرفتن مقادیر کارهای جدید و به‌منظور افزایش ۸ متر ارتفاع سد که در سال ۱۳۷۵ به پیمانکار ابلاغ شده است، در تیرماه ۱۳۸۰ به امضاء رسید. شروع آبگیری از آذرماه سال ۱۳۸۱ انجام و افتتاح سد در اسفند سال ۱۳۸۲ انجام گردید (قرارداد متمم) [۲].

و: اهداف طراحی و اجرای سد مخزنی کوثر

سد کوثر یک سد مخزنی چندمنظوره است که برای تأمین اهداف زیر ساخته شده است [۷-۵]:

۱- تأمین آب شرب و صنعتی شهرها و بنادر حاشیه خلیج فارس.
۲- تأمین آب کشاورزی دشت لیشتر در شهرستان گچساران در سطح ۵۷۰۰ هکتار.
۳- تأمین آب کشاورزی بنه‌باشت در سطح ۴۵۰۰ هکتار.
۴- تأمین آب کشاورزی اراضی جدید در دشت زیدون شهرستان سردشت در سطح ۵۰۰۰ هکتار
۵- تأمین حقابه‌های پائین‌دست حاشیۀ رودخانه در سطح ۲۰۰۰ هکتار
۶- تأمین آب مورد نیاز صنعت نفت و گاز در شهرستان گچساران
۷- تأمین آب برای بهبود کنترل کیفیت آب رودخانه زهره به‌میزان ۶۹ Mm^3 در سال.
آب کل این نیازها در حدود ۵۵۴ Mm^3 در سال است که توسط سد کوثر و حوزه میانی رودخانه خیرآباد تأمین می‌گردد.
۸- کنترل سیلاب‌های مخرب رودخانۀ خیرآباد.

شکل ۱- الف: موقعیت قرارگیری سد کوثر (راست) ب: موقعیت سرریز سد کوثر (چپ)

شکل ۲- الف: سازه بتنی بدنه اصلی سد کوثر (راست) ب: نمایی از رودخانه خیرآباد از سرشاخه‌های مهم سد کوثر (چپ)

۳- روش انجام تحقیق

این تحقیق با مطالعات موردی و میدانی انجام شد. مطالعه موردی با هدف بررسی مهندسی ارزش در پروژه سد کوثر انجام گردید. تحلیل داده‌های تحقیق با روش فرایند سلسله‌مراتبی صورت گرفته است.

۳-۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است، روش تحلیل سلسله مراتبی[1] بیش از سایر روش‌های تصمیم‌گیری در علم مدیریت استفاده دارد. AHP یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم-گیری چند منظوره است که اولین بار توماس ال ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابداعکرد. AHP منعکس کنندهٔ رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این روش تحلیل، مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آنها مورد بررسی قرار می‌دهد و آنها را به شکلی ساده تبدیل کرده و حل می‌کند. AHP در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبه‌رو است، می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسه‌های زوجی نهفته است. تصمیم‌گیر با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم آغاز می‌کند؛ این درخت، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد، سپس یک سری مقایسه‌های زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسه‌ها وزن هر یک از عوامل را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. در نهایت AHP به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسه‌های زوجی

[1] Analytical Herarchi Process (AHP)

را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید. در این تحقیق از مهندسی ارزش با کمک AHP که با گام‌های زیر استفاده گردید [۲۵-۲۱]:

۱: گردآوری اطلاعات لازم، تعیین هدف و تعریف دقیق مسأله، تعیین معیارهای ارزیابی، و ارائه گزینه‌های مختلف برای تحقق خواسته‌ها؛

۲: تشکیل ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی برای معیارها،

۳: تشکیل ماتریس مقایسه‌ای گزینه‌ها بر مبنای هر معیار؛

۴: تعیین اوزان در AHP. اوزان به نسبی و نهایی تقسیم می‌شوند. اوزان نسبی، از ماتریس مقایسه‌های زوجی محاسبه می شوند، در حالی که اوزان نهایی برای هر گروه از فعالیت‌ها به صورت تلفیق گزینه‌ها تعیین می گردند.

۵: تصمیم‌گیری گروهی در AHP.

یکی از خواص مهم AHP که کاربرد فراوان در مهندسی ارزش دارد، امکان استفاده در تصمیم‌گیری در یک گروه است. استفاده گروهی و یا تک نفره از AHP، مستلزم اجرای گام‌های مذکور است. هنگامی که از فرایند در قالب یک گروه تصمیم‌گیر استفاده می‌شود، برای تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی دو روش شامل "قضاوت به اتفاق آراء" و "قضاوت شخصی" وجود دارد. در روش اول لازم است گروه در مورد مقدار هر معیار به اجماع برسد. در غیر این‌صورت روش دوم استفاده می‌شود (روش استفاده شده در این تحقیق). در روش گروهی هر یک از اعضای گروه تصمیم، مقدار موردنظر خود را برای هر معیار و گزینه انتخاب می‌کنند، سپس قضاوت‌های فردی با استفاده از میانگین هندسی یا حسابی به قضاوت گروه تبدیل می‌شود. کاربرد روش AHP مستلزم اعمال گام‌های مدل‌سازی، مقایسه‌های زوجی، محاسبه اوزان نسبی و سازگاری در قضاوت‌ها می‌باشد. نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم برای انجام مقایسه‌های زوجی در جدول ۱۱ داده شده است.

مراحل زیر برای محاسبه نرخ ناسازگاری انجام می‌شود [۲۵-۲۴]:

۱- محاسبه بردار مجموع وزنی: ماتریس مقایسه‌های زوجی را در بردار ستونی "وزن نسبی" ضرب کنید، بردار جدیدی که به این طریق به دست می‌آید، بردار مجموع وزنی[1] نامیده می‌شود.

جدول ۱۱- ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم برای انجام مقایسه‌های زوجی در فرآیند سلسله‌مراتبی

ارزش ترجیحی	مقایسه i نسبت به j	توضیح
۱	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص i نسبت به j اهمیت برابر دارند و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	نسبتاً مهم‌تر	گزینه یا شاخص i نسبت به j کمی مهم‌تر است.
۵	مهم‌تر	گزینه یا شاخص i نسبت به j مهم‌تر است.
۷	خیلی مهم‌تر	گزینه یا شاخص i دارای ارجحیت خیلی بیش‌تری از j است.
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص مطلقاً i از j مهم‌تر و قابل مقایسه با j نیست.
۲ و ۴ و ۶ و ۸		ارزش‌های میانی بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهد مثلا ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای I است.

۲- محاسبه بردار سازگاری: عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار اولویت نسبی تقسیم کنید. بردار حاصل بردار سازگاری[2] نامیده می‌شود.

۳- به دست آوردن λ_{max}، میانگین عناصر بردار سازگاری λ_{max} را به دست می‌دهد.

محاسبه شاخص سازگاری: شاخص سازگاری به‌صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (۱)$$

n عبارت است از تعداد گزینه‌های موجود در مسأله.

۵- محاسبه نسبت سازگاری: نسبت سازگاری از تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص تصادفی[3] به دست می‌آید.

[1] Weighted Sum Vector (WSV)
[2] Consistency Index (CI)
[3] Random Index (RI)

$$CR = \frac{CI}{CR} \quad (۲)$$

نسبت سازگاری ۰/۱ یا کمتر وجود سازگاری در مقایسه‌های زوجی را بیان می‌کند [۲۶].
شاخص تصادفی از جدول ۱۲ استخراج می‌شود.

جدول ۱۲- شاخص تصادفی [۲۶]

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

٤- تحلیل نتایج طبق فرایند مهندسی ارزش

فرآیند مهندسی ارزش دارای ۶ فاز شامل اطلاعات، تحلیل کارکرد، خلاقیت، ارزیابی، توسعه و فاز ارائه است. در فاز اطلاعات پس از مشخص شدن صورت مسأله و سازمان‌دهی گروه ارزش، نوبت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز است. این اطلاعات در مشخص‌تر شدن صورت مسأله و آگاهی نسبت به ابعاد مختلف آن کمک کرده و زمینه را برای ارائه راه‌حل‌های مناسب فراهم می‌کند. در فاز تحلیل کارکرد تجزیه و تحلیل کارکرد- هزینه، مهم‌ترین قدم را تشکیل می‌دهد. پس از تکمیل فاز اطلاعات، وظیفه بعدی تحلیل کارکرد، تعیین هزینه‌های آن و ارزش مربوطه است. یکی از روش‌های تحلیل کارکرد با دیدی سیستمی، استفاده از "نمودار تحلیل کارکرد سیستمی" [1] می‌باشد. در فاز خلاقیت پس از تشخیص کارکردهای اصلی و فرعی و رسم نمودار FAST کارکردهای بحرانی تعیین می‌گردند. سپس در جلسه طوفان فکری، ایده‌های خلاق در جهت بهبود این کارکردها مطرح می‌شوند. در فاز ارزیابی، گزینه‌های پیشنهادی در فاز قبل مورد بررسی و در نهایت گزینه مناسب‌تر انتخاب می‌شود. در فاز توسعه ، میزان بهبود گزینه انتخاب شده نسبت به طرح اولیه محاسبه می‌شود، و در فاز ارائه، یک طرح منسجم با استفاده از راه حل انتخابی، شکل گرفته و به صورت مکتوب یا شفاهی ارائه می‌گردد [۲۷-۲۶].

٤-۱- روند اعمال مهندسی ارزش در سد کوثر

به منظور بررسی بخش‌های مختلف پروژه سد کوثر، باید پروژه را به زیرمجموعه‌هایی که قابل بررسی و تحلیل باشند، تجربه نمود. عملیات احداث سد کوثر به شش بخش کلان شامل تجهیز کارگاه، عملیات انحراف رودخانه، اجرای بدنه سد، احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب، احداث تونل‌های انحرافی و نیز تأسیسات تخلیه کننده تحتانی بدنه سد تجزیه شده است. هر یک از این بخش‌ها، خود به زیربخش‌هایی تجزیه شده تا بتوان مطالعات مهندسی ارزش را با سهولت و دقت بیش‌تری به کار گرفت. در ساختار تجزیه کار ارائه شده، سعی گردیده ضمن حفظ یکپارچگی پروژه، تنها بخش‌های عمده آن آورده شوند و سایر فعالیت‌های پروژه در داخل ساختار گنجانده شوند. برای تعیین اوزان اجزای پروژه از روش‌های توزیع زمان و توزیع هزینه استفاده گردید. هر روش در ادامه تشریح شده است:

الف: روش توزیع زمان

این روش بر اساس زمان انجام هر فعالیت صورت می‌گیرد، به این صورت که وزن هر یک از فعالیت‌ها برابر است با درصد زمان آن فعالیت نسبت به زمان کل اجرای پروژه. در روش توزیع زمان وزن هر یک از فعالیت‌ها بر اساس مدت زمان منطقی اجرای آن فعالیت تعیین می شود. اما از آنجا که زمان واقعی اجرای هر یک از فعالیت‌ها متأثر از عوامل مختلف از جمله چگونگی تخصیص بودجه می‌باشد، بنابراین روش توزیع زمان به تنهایی روش مناسبی جهت تعیین وزن فعالیت‌ها در مطالعه مهندسی ارزش نیست. جدول ۱۳ وزن هر یک از فعالیت‌های پروژه سد کوثر را بر اساس روش توزیع زمان ارائه می‌نماید.

ب: روش توزیع هزینه

در این روش هزینه هر یک از فعالیت‌ها محاسبه گردیده و نسبت کل هزینه‌های پروژه وزن‌دهی می‌شوند. بدیهی است که هر یک از فعالیت‌ها که از هزینه اجرایی بیش‌تری برخوردار باشد، در این

[1] Function Analysis System Technique (FAST)

روش وزن‌دهی، وزن و اهمیت بیش‌تری خواهد داشت. اما در برخی فعالیت‌ها هزینه‌های خرید مصالح و تجهیزات از اهمیت قابل توجهی برخوردارند. لذا وزن آن فعالیت‌ها علی‌رغم کوچکی هزینه‌های اجراء و یا نصب، بسیار بالا خواهد بود که این عامل باعث وزن‌دهی غیرواقعی فعالیت‌ها خواهد شد. بنابراین روش توزیع هزینه نیز همانند روش توزیع زمانی به تنهایی جهت‌وزن دهی فعالیت‌ها مناسب نخواهد بود. جدول ۱۴ وزن هر یک از فعالیت-های پروژه سد کوثر را بر اساس توزیع هزینه ارائه می‌نماید.

جدول ۱۳- محاسبه درصد وزنی زمانی هر یک از فعالیت‌های پروژه سد کوثر

ردیف	فعالیت	برآورد زمان (روز)	درصد وزنی زمانی	رتبه
۱	تجهیز کارگاه	۱۴۸۷	۹/۱۲	۷
۲	عملیات انحراف	۱۹۱۵	۱۱/۷۵	۶
۳	اجرای بدنه سد	۲۴۶۸	۱۵/۱۴	۴
۴	احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب	۲۳۷۶	۱۴/۵۷	۵
۵	احداث حوضچه	۲۴۹۵	۱۵/۳۰	۳
۶	احداث تونل‌ها	۲۸۶۴	۱۷/۵۷	۱
۷	نصب ابزار دقیق	۲۷۰۰	۱۶/۵۶	۲
	جمع کل	۱۶۳۰۶	۱۰۰/۰۰	

جدول ۱۴- محاسبه درصد وزنی هزینه‌ای هر یک از فعالیت‌های پروژه سد کوثر

ردیف	فعالیت	برآورد هزینه (میلیون ریال)	درصد وزنی هزینه‌ای	رتبه
۱	تجهیز کارگاه	۳۷۱۶۳/۷	۶	۷
۲	عملیات انحراف	۸۰۵۲۱/۳۵	۱۳	۳
۳	اجرای بدنه سد	۲۰۷۷۴۵/۰۸۳	۳۳/۵۴	۱
۴	احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب	۱۲۶۴۱۸/۵۱۹۵	۲۰/۴۱	۲
۵	احداث حوضچه	۷۳۹۵۵/۷۶۳	۱۱/۹۴	۴
۶	احداث تونل ها	۴۶۷۶۴/۳۲۲۵	۷/۵۵	۶
۷	نصب ابزار دقیق	۴۷۳۶۶	۷/۵۶	۵
	جمع کل	۶۱۹۹۳۴/۷۳۸	۱۰۰	-

ج- روش زمانی- هزینه‌ای / روش تلفیقی

در روش تلفیقی، درصد وزنی هر یک از فعالیت‌ها بر اساس درصد وزنی هر یک از روش‌های توزیع زمانی و هزینه‌ای محاسبه می-گردند و در نهایت با توجه به نظرات کارشناسان و دست‌اندرکاران پروژه به محاسبه درصد وزنی واقعی هر یک از فعالیت‌ها پرداخته خواهد شد. جدول ۱۵ وزن هر یک از فعالیت‌های پروژه سد کوثر را بر اساس روش تلفیقی ارائه نموده است.

پس از تهیه جدول تلفیقی توزیع زمانی- هزینه‌ای لازم است وزن هر یک از فعالیت‌های اشاره شده در قالب نظرسنجی از کارشناسان پروژه نیز تعیین گردد. وزن‌دهی از طریق نظرسنجی از کارشناسان

باعث می‌گردد تا وزن هر یک از فعالیت‌ها به واقعیت‌های اجرایی نزدیک‌تر گردد و همچنین فعالیت‌هایی که دارای بیش‌ترین پتانسیل صرفه‌جویی می‌باشند با توجه به نظر کارشناسان متخصص طرح، مشخص می‌شوند. در این نظرسنجی از نظرات سه تن از کارشناسان مجرب آشنا به امور اجرایی پروژه استفاده شده است. جدول ۱۶ نتایج حاصل از نظرسنجی کارشناسان پروژه را ارائه نموده است.

جدول ۱۵- محاسبه درصد وزنی تلفیقی (روش زمانی- هزینه‌ای) هر یک از فعالیت‌های پروژه سد کوثر

ردیف	فعالیت	برآورد هزینه‌ای (میلیون ریال)	برآورد زمانی (روز)	درصد وزنی هزینه‌ای	درصد وزنی زمانی	میانگین (٪)	رتبه
۱	تجهیز کارگاه	۳۷۱۶۳/۷	۱۴۸۷	۶	۹/۱۲	۷/۵۶	۷
۲	عملیات انحراف	۸۰۵۲۱/۳۵	۱۹۱۵	۱۳	۱۱/۷۵	۱۲/۳۷۵	۵
۳	اجرای بدنه سد	۲۰۷۷۴۵/۰۸۳	۲۴۶۸	۳۳/۵۴	۱۵/۱۴	۲۴/۳۴	۱
۴	احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب	۱۲۶۴۱۸/۵۱۹۵	۲۳۷۶	۲۰/۴۱	۱۴/۵۷	۱۷/۴۹	۲
۵	احداث حوضچه	۷۳۹۵۵/۷۶۳	۲۴۹۵	۱۱/۹۴	۱۵/۳۰	۱۳/۶۲	۳
۶	احداث تونل ها	۴۶۷۶۴/۳۲۲۵	۲۸۶۴	۷/۵۵	۱۷/۵۷	۱۲/۵۶	۴
۷	نصب ابزار دقیق	۴۷۳۶۶	۲۷۰۰	۷/۵۶	۱۶/۵۶	۱۲/۰۶	۶
	جمع کل	۶۱۹۹۳۴/۷۳۸	۶۱۹۹۳۴/۷۳۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	--

جدول ۱۶- محاسبه درصد وزنی بر اساس نظرات کارشناسان پروژه

ردیف	فعالیت	نظر کارشناس اول (٪)	نظر کارشناس دوم (٪)	نظر کارشناس سوم (٪)	میانگین نظرات کارشناسان (٪)	رتبه
۱	تجهیز کارگاه	۴	۴	۶	۴/۶۷	۷
۲	عملیات انحراف	۱۱	۱۲	۱۲	۱۱/۶۷	۵
۳	اجرای بدنه سد	۲۵	۲۸	۳۰	۲۷/۶۷	۱
۴	احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب	۱۵	۱۹	۱۸	۱۷/۳۳	۲
۵	احداث حوضچه	۱۸	۱۵	۱۲	۱۵/۰۰	۳
۶	احداث تونل ها	۱۵	۱۲	۱۰	۱۲/۳۳	۴
۷	نصب ابزار دقیق	۱۲	۱۰	۱۲	۱۱/۳۳	۶
	جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	--

براساس جداول ۱۳ تا ۱۶ فعالیت‌های مربوط به اجرای بدنه سد از نظر کارشناسان پروژه بیش‌ترین وزن را دارد و لذا دارای حداکثر میانگین نظرات کارشناسی می‌باشد. در جدول ۱۷ محاسبه درصد وزنی واقعی/ نهایی پروژه بر اساس میانگین درصد وزنی هزینه‌ای- زمانی و نظرات کارشناسان پروژه ارائه شده است.

طبق جدول ۱۷ فعالیت اجرای بدنه سد دارای بیش‌ترین درصد وزنی بوده و از نظر دارا بودن پتانسیل مطالعه مهندسی ارزش رتبه اول را دارد. بنابراین فعالیت اجرای بدنه سد با درصد وزنی نهایی ٪۲۶/۰۱ به‌عنوان فعالیت اصلی جهت بررسی مهندسی ارزش در پروژه سد انتخاب می‌گردد.

جدول ۱۷- درصد وزنی نهایی بر اساس میانگین درصد وزنی تلفیقی و نظرات کارشناسان

ردیف	فعالیت	میانگین تلفیقی (٪)	میانگین نظرات کارشناسان (٪)	درصد وزنی نهایی (٪)	رتبه
۱	تجهیز کارگاه	۷/۵۶	۴/۶۷	۶/۱۲	۷
۲	عملیات انحراف	۱۲/۳۷۵	۱۱/۶۷	۱۲/۰۳	۵
۳	اجرای بدنه سد	۲۴/۳۴	۲۷/۶۷	۲۶/۰۱	۱
۴	احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب	۱۷/۴۹	۱۷/۳۳	۱۷/۴۱	۲
۵	احداث حوضچه	۱۳/۶۲	۱۵/۰۰	۱۴/۳۰	۳
۶	احداث تونل ها	۱۲/۵۶	۱۲/۳۳	۱۲/۴۴	۴
۷	نصب ابزار دقیق	۱۲/۰۶	۱۱/۳۳	۱۱/۶۹	۶
	جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	--

٤-۲- اعمال مهندسی ارزش در اجرای بدنه سد کوثر

گرچه همه فعالیت‌های سد، دارای پتانسیل مطالعه مهندسی ارزش می‌باشند، اما با توجه به وزن‌دهی ارائه شده، در این مرحله از عملیات تنها فعالیت اجرای بدنه سد در دستور کار بررسی مهندسی ارزش خواهد گرفت.

فاز اول: مرحله جمع‌آوری اطلاعات کیفی ارزش (تحلیل کارکرد)

برای ساخت بدنه، مراحل حفاری، خاکبرداری، بتن‌ریزی و نصب ابزار دقیق منظور شدند. جدول ۱۸ برآوردها در بخش‌های مختلف اجرای بدنه سد را نشان می‌دهد.

جدول ۱۸- برآوردهای بخش‌های مختلف اجرای بدنه سد کوثر

ردیف	گروه	فعالیت	هزینه (میلیون ریال)	درصد هزینه‌ها	درصد گروه به کل (٪)	کد فعالیت
۱	حفاری و خاکبرداری	چالزنی و انفجار (حفاری)	۲۷۶	۰/۲۰	۰/۵۴	۱,۱.A
۲		خاکبرداری	۴۸۰	۰/۳۴		۱,۲.A
۳	نصب سیستم تحکیم سنگ	حفاری چال	۱۰۲۰	۰/۷۳	۴۰/۶۹	۱,۱.B
۴		ایجاد پد بتنی	۱۸۰	۰/۱۳		۱,۲.B
۵		جاگذاری انکر و تزریق دوغاب	۸۸۳۲۰	۳۹/۶۸		۱,۳.B
۶		پیش‌تنیدن انکر	۳۰۰	۰/۱۵		۱,۴.B
۷	عملیات بتن‌ریزی	آماده‌سازی	۹۲۲/۸	۰/۴۸	۵۷/۷۸	۱,۱.C
۸		آرماتوربندی	۲۵۲۰۰	۱۰/۰۱		۱,۲.C
۹		قالب‌بندی	۱۲۰۲۶/۴	۶/۲۱		۱,۳.C
۱۰		بتن‌ریزی	۷۹۲۰۰	۴۰/۹۰		۱,۴.C
۱۱		ترمیم بتن	۳۰۰	۰/۱۹		۱,۵.C
۱۲	نصب ابزار دقیق	نصب ابزار بر روی انکر	۶۰۰	۰/۳۸	۰/۹۹	۱,۱.D
۱۳		آزمایش در محل	۶۰۰	۰/۳۸		۱,۲.D
۱۴		مدفون نمودن ابزار و هدایت کابل	۳۶۰	۰/۲۳		۱,۳.D

فاز دوم: مرحله خلاقیت

از دیگر مراحل مهم کارگاه مهندسی ارزش که می‌تواند نقش اساسی در ارائه پیشنهادهای مختلف و ایجاد گزینه‌های مؤثر ایفاء کند، مرحله خلاقیت است. در این مرحله باید گروه مهندسی ارزش را به ارائه پیشنهادهای مختلف و کم ارزش (از نگاه اول) تشویق کرد. لذا لازم است اعضای گروه از نظرات هم با ارائه پیشنهادها اطلاع یابند. افراد گروه باید در ارائه پیشنهادهای خود به صورت فعال عمل نموده و در صورت لزوم، با توجه به اطلاعات رد و بدل شده نظرات خود را اصلاح و یا تکمیل کنند. در این مرحله، همه نظرات افراد گروه گردآوری و جمع‌بندی می‌گردند. تمام پیشنهادهای اعضاء، بدون توجه به عملی بودن یا نبودن و نیز ارزش داشتن یا نداشتن ارائه می‌شوند.

فاز سوم: مرحله تحلیل و ارزیابی گزینه‌ها

در مرحلهٔ خلاقیت حجم زیادی از پیشنهادها و نظرات اعضای گروه کاری مهندسی ارزش جمع‌آوری گردید. تجزیه و تحلیل آنها با توجه به حجم بالای اطلاعات کاری بسیار وقت‌گیر بوده و نیازمند صرف انرژی و زمان زیادی است. می‌توان با یک بررسی اولیه بخش عمده‌ای از گزینه‌های با ارزش کمتر را حذف نمود. لذا در این مرحله به گزینش نظرات فاز قبل پرداخته می‌شود. در مرحله تحلیل و ارزیابی گزینه‌ها که با حضور اعضای گروه مهندسی ارزش انجام شده، اعضای گروه به‌طور آزادانه به هر یک از نظرات ارائه شده امتیاز دادند (جدول ۱۹). ارزش مبنا برای هر یک از فعالیت‌ها ۱۰ منظور شد. برای محاسبه متوسط ارزش به ترتیب ضریب ۳ به مدیر پروژه و کارشناس ارشد پروژه، ضریب ۲ به کارشناسان مدعو مشاور و ضریب یک به تحلیلگر ارزش داده شدند.

این امتیازدهی در مهندسی ارزش بر اساس معیارهای تعیین شده است که بر پایه استانداردهای طراحی و تجربیات استوار است. ضرایب ارائه شده بر اساس شناخت تخصصی هر یک از اعضای گروه مهندسی ارزش می‌باشد. برحسب تشخیص اعضای گروه ارزش، ارزش‌ها بر حسب نوع پروژه و شرایط آن قابل تغییرند.

جدول ۱۹- پیش‌گزینش نظرات ارائه شده گروه مهندسی ارزش پروژه در مرحله خلاقیت

کد نظرات ارائه شده	ارزیابی اعضای گروه مهندسی ارزش										میانگین نظر در پی اعمال ضرایب	رتبه	ملاحظات
	بدون اعمال ضرایب					با اعمال ضرایب							
	مدیر پروژه سد	کارشناس ارشد پروژه	کارشناس عالی امور آب (۱)	کارشناس مقیم در سد (۲)	تحلیل گزارش	مدیر پروژه سد	کارشناس ارشد پروژه	کارشناس عالی امور آب (۱)	کارشناس مقیم در سد (۲)	تحلیل گزارش			
A_1	۱۰	۱۰	۲۰	۳۰	۱۰	۳۰	۳۰	۶۰	۶۰	۱۰	۳۴	۵	R
A_2	۱۰	۲۰	۲۰	۱۰	۱۰	۳۰	۶۰	۴۰	۲۰	۱۰	۳۲	۶	R
A_3	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۶۰	۶۰	۲۰	۴	۲۰	۴۰	۳	A
B_1	۱۰	۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۳۰	۶۰	۲۰	۴۰	۲۰	۳۴	۵	R
B_2	۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۱۰	۶۰	۳۰	۴۰	۴۰	۱۰	۳۶	۴	A
B_3	۳۰	۲۰	۴۰	۳۰	۲۰	۹۰	۶۰	۸۰	۶۰	۲۰	۶۲	۱	A
B_4	۳۰	۳۰	۲۰	۲۰	۱۰	۹۰	۹۰	۴۰	۴۰	۱۰	۵۴	۲	A
C_1	۲۰	۱۰	۲۰	۳۰	۱۰	۶۰	۳۰	۴۰	۶۰	۱۰	۴۰	۳	A
C_2	۱۰	۱۰	۱۰	۲۰	۱۰	۳۰	۳۰	۲۰	۴۰	۱۰	۲۶	۸	R
C_3	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶۰	۳۰	۲۰	۲۰	۱۰	۲۸	۷	R
C_4	۲۰	۲۰	۱۰	۱۰	۲۰	۶۰	۶۰	۲۰	۲۰	۲۰	۳۶	۴	A
D_1	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰	۶۰	۳۰	۴۰	۴۰	۱۰	۳۶	۴	A
D_2	۱۰	۱۰	۱۰	۲۰	۱۰	۳۰	۳۰	۲۰	۴۰	۱۰	۲۶	۸	R

پس از تهیه جدول ۱۹ طبق نظر اعضای گروه، نظراتی که دارای امتیاز کمتر از ۳۵ بودند، حذف (R) و نظراتی که دارای امتیاز بیش‌تر از ۳۵ بودند، موافقت (A) شدند. پس از پیش‌گزینش اولیه نظرات، ضروری است تحلیل کمی ارزش برای گزینه‌های مورد قبول واقع شده، انجام شود. به این منظور ابتدا معیارهایی که باید مورد ارزیابی قرار گیرند، وزن هر یک از آنها تعیین می‌گردد. جهت تعیین وزن هر یک از معیارها جلسه‌ای با حضور اعضای گروه تشکیل شد و نسبت به تعیین وزن آنها طبق نظر اعضاء اقدام گردید.

- تعریف و تعیین وزن معیارها

طی برگزاری جلسات مهندسی ارزش، چهار معیار اصلی شامل کیفیت، سرعت، سهولت و ایمنی به عنوان معیارهای مبنا تعیین گردیدند. از عللی که هزینه در این چهار معیار گنجانده نشده می‌توان گفت که هزینه‌های اقتصادی معیاری وابسته‌اند، لذا نیازمند وجود معیارهای مستقل نظیر ریسک، زمان، سهولت، ایمنی و کیفیت هستند. ریسک غیرنظام‌مند (ریسک‌های ناشی از عملیات اجرایی) قابلیت حذف شدن و میل به صفر را دارند، زیرا ریسک‌هایی که بر هزینه‌های اقتصادی مؤثرند، از فرایندهای داخلی، روابط سازمانی و نهایتا عوامل مهندسی ارزش در فرایندهای داخلی سازمان‌ها نشأت می‌گیرند. پس از تعیین هر یک از معیارهای چهارگانه با حضور اعضای گروه مهندسی ارزش به معیارهای مذکور اوزان متناسب داده شد. برای محاسبه میانگین نظرات به ترتیب ضریب ۳، ۲ و ۱ به مدیر پروژه و کارشناس ارشد پروژه، به کارشناس مدعو و به تحلیلگر ارزش اختصاص یافتند. وزن‌دهی نهایی به چهار معیار در جدول ۲۰ تحت عنوان "ماتریس تحلیل معیارها" ارائه شده‌اند.

جدول ۲۰- ماتریس تحلیل معیارها

معیار	بدون اعمال ضرایب					با اعمال ضرایب					متوسط وزنی	درصد وزنی
	مدیر پروژه سد	کارشناس ارشد پروژه	کارشناس عالی امور آب (۱)	کارشناس مقیم در سد (۲)	تحلیل گزارش	مدیر پروژه سد	کارشناس ارشد پروژه	کارشناس عالی امور آب (۱)	کارشناس مقیم در سد (۲)	تحلیل گزارش		
کیفیت	۴۰	۳۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۲۰	۹۰	۸۰	۶۰	۲۰	۷۴	۳۴
سرعت	۳۰	۲۰	۱۰	۳۰	۳۰	۹۰	۶۰	۲۰	۶۰	۳۰	۵۲	۲۴
سهولت	۲۰	۳۰	۳۰	۲۰	۲۰	۶۰	۹۰	۶۰	۴۰	۲۰	۵۴	۲۴
ایمنی	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰	۳۰	۳۰	۶۰	۴۰	۴۰	۳۰	۴۰	۱۸
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۲۰	۱۰۰

- محاسبه وزن هر یک از نظرات ارائه شده

پس از تعریف هر یک از معیارهای چهارگانه و تعیین وزن هر یک از آنها، اکنون باید به ارزیابی کمی هر یک از نظرات ارائه شده در مرحله پیش‌گزینش پرداخت تا بتوان گزینه نهایی را انتخاب و به مرحله بعد ارائه داد. جدول ۲۱ نتایج حاصل از این ارزیابی را ارائه می‌نماید.

فاز چهارم: توسعه

در فاز قبل با توجه به روش‌های ارائه شده از میان گزینه‌های مختلف، گزینه‌های با درصد اهمیت بالا انتخاب گردیدند. در این فاز به گسترش نظرات تولیدشده اقدام می‌شود. هر یک از جداول تکمیل شده در فازهای خلاقیت و ارزیابی، دارای ایده‌ها و راه-حل‌هایی است که یک یا چند مورد از هر کدام در سازگاری با یک یا چند مورد از دیگر کارکردها است. در فاز توسعه به مقایسه ایده‌های تولید شده در فاز ارزیابی پرداخته می‌شود که برای مقایسه از دو روش ارزیابی عددی با مقایسه زوجی و ماتریس تصمیم-گیری وزنی رتبه‌ای استفاده شد که در ادامه نتایج آن ارائه گردیده است. با توجه به نتایج به دست آمده از جداول ۲۲ و ۲۳ مشاهده می‌شود که ایده‌های گزینش شده مربوط به هر گروه از فعالیت‌ها

چه مقدار هزینه در بردارند و هم‌چنین این گزینه‌ها نسبت به سایر گزینه‌های گروه مربوطه از شاخص ارزش بالاتری برخوردار هستند. (**راهنمایی مقایسه وزنی معیارها**: هم رتبه: ۱؛ کمی مهم‌تر: ۳؛ مهم‌تر: ۵؛ بسیار مهم‌تر: ۷).

جدول ۲۱- محاسبه ضریب اهمیت هر یک از نظرات ارائه شده

گزینه‌ها	بدون اعمال ضرایب				با اعمال ضرایب				وزن هر گزینه	درصد اهمیت
	کیفیت	سرعت	سهولت	ایمنی	کیفیت	سرعت	سهولت	ایمنی		
A_3	۷۰	۶۰	۷۰	۵۰	۲۳۸۰	۱۴۴۰	۱۶۸۰	۹۰۰	۶۴	۱۳
B_2	۵۰	۶۰	۴۰	۶۰	۱۷۰۰	۱۴۴۰	۹۶۰	۱۰۸۰	۵۲	۱۰
B_3	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۱۰۰	۳۴۰۰	۲۴۰۰	۲۱۶۰	۱۸۰۰	۹۸	۱۹
B_4	۹۰	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۶۰	۱۹۲۰	۲۴۰۰	۱۸۰۰	۹۲	۱۸
C_1	۵۰	۵۰	۶۰	۷۰	۱۷۰۰	۱۲۰۰	۱۴۴۰	۱۲۶۰	۵۶	۱۱
C_4	۱۰۰	۸۰	۸۰	۷۰	۳۴۰۰	۱۹۳۰	۱۹۲۰	۱۲۶۰	۸۵	۱۷
D_1	۸۰	۶۰	۵۰	۷۰	۲۷۲۰	۱۴۴۰	۱۲۰۰	۱۲۶۰	۶۶	۱۲
	جمع کل:								۵۱۳	۱۰۰

جدول ۲۲- ارزیابی عددی به روش ماتریس تصمیم‌گیری وزنی رتبه‌ای

معیارها	وزن معیار از ۱ تا ۱۰	A_3		B_2		B_3		B_4		C_1		C_4		D_1	
		نمره معیار از ۱ تا ۱۰	وزن معیار	نمره معیار از ۱ تا ۱۰	وزن معیار	نمره معیار از ۱ تا ۱۰	وزن معیار	نمره معیار از ۱ تا ۱۰	وزن معیار	نمره معیار از ۱ تا ۱۰	وزن معیار	نمره معیار از ۱ تا ۱۰	وزن معیار	نمره معیار از ۱ تا ۱۰	وزن معیار
کیفیت	۹	۷	۶۳	۵	۴۵	۱۰	۹۰	۹	۸۱	۵	۴۵	۱۰	۹۰	۸	۷۲
سرعت	۷	۶	۴۲	۶	۴۲	۱۰	۷۰	۸	۵۶	۵	۳۵	۸	۵۶	۶	۴۲
سهولت	۶	۷	۴۲	۴	۲۴	۹	۵۴	۱۰	۶۰	۶	۲۶	۸	۴۸	۵	۳۰
ایمنی	۸	۵	۴۰	۶	۴۸	۱۰	۸۰	۱۰	۸۰	۷	۵۶	۷	۵۶	۷	۵۶
جمع کل وزن		۱۸۷		۱۵۹		۲۹۴		۲۷۷		۱۷۲		۲۵۰		۲۰۰	
هزینه کل هرگزینه (میلیون ریال)		۶۸۵		۸۵۰۹۰		۷۶۴۲		۷۷۴۴		۱۱۱۵۰		۱۰۴۷۸۰		۱۴۵۵	
شاخص ارزش		۲/۹۶		۰/۰۲۳		۰/۰۵		۰/۰۴۳		۰/۰۲		۰/۰۳		۱/۷۲	
اولویت با توجه به گروه		۱		۳		۱		۲		۲		۱		۱	

جدول ۲۳- ارزیابی عددی به روش مقایسه‌های زوجی

معیارها								
A	سرعت	A						
B	ایمنی	B_5	B					
C	کیفیت	C_5	B_3					
D	سهولت	AD	B_5	C_5				
گزینه‌ها	جمع نمره معیار	۱	۱۳	۱۰	۱	مجموع وزن معیاری	هزینه کل پیش‌بینی شده (میلیون ریال)	شاخص ارزش
	درصد معیار	۴	۵۲	۴۰	۴۰			
A_1	نمره از معیار	۳	۴	۴	۲	۳۸۸	۱۰۱/۴	۵/۹۶
	وزن معیاری	۱۲	۲۰۸	۱۶۰	۸			
A_2	نمره از معیار	۴	۵	۴	۲	۴۴۴	۱۰۹/۲	۶/۳۴
	وزن معیاری	۱۶	۲۶۰	۱۶۰	۸			
A_3	نمره از معیار	۳	۴	۵	۵	۴۴۰	۹۸/۲۸	۶/۹۸
	وزن معیاری	۱۲	۲۰۸	۲۰۰	۲۰			
B_1	نمره از معیار	۳	۳	۲	۳	۲۶۰	۱۰۸۱۰/۸	۰/۰۳
	وزن معیاری	۱۲	۱۵۶	۸۰	۱۲			
B_2	نمره از معیار	۷	۲	۲	۶	۲۳۶	۹۲۸۶/۲	۰/۰۳۵
	وزن معیاری	۲۸	۱۰۴	۸۰	۲۴			
B_3	نمره از معیار	۴	۵	۵	۳	۴۸۸	۸۶۴۵/۸۶۸	۰/۰۷۸
	وزن معیاری	۱۶	۲۶۰	۲۰۰	۱۲			
B_4	نمره از معیار	۴	۵	۴	۲	۴۴۴	۸۸۷۰/۴	۰/۰۶۹
	وزن معیاری	۱۶	۲۶۰	۱۶۰	۸			
C_1	نمره از معیار	۵	۷	۴	۱	۵۴۸	۱۲۴۷۴	۰/۰۶
	وزن معیاری	۲۰	۳۶۴	۱۶۰	۴			
C_2	نمره از معیار	۶	۳	۱	۶	۴۷۲	۱۳۸۶۰	۰/۰۴۲
	وزن معیاری	۲۴	۱۵۶	۴۰	۲۴			
C_3	نمره از معیار	۴	۲	۱	۵	۱۸۰	۱۳۱۶۷	۰/۰۱۸
	وزن معیاری	۱۶	۱۰۴	۴۰	۲۰			
C_4	نمره از معیار	۷	۵	۴	۶	۴۷۲۰	۱۱۶۹/۶	۰/۰۵۴
	وزن معیاری	۲۸	۲۶۰	۱۶۰	۲۴			
D_1	نمره از معیار	۴	۶	۷	۵	۵۲۴	۲۵۲/۹۶	۴/۵۱
	وزن معیاری	۱۶	۲۸۰	۲۸۰	۲۰			
D_2	نمره از معیار	۶	۳	۳	۵	۳۲۰	۱۶۳/۲	۲/۶۶
	وزن معیاری	۲۴	۱۵۶	۱۲۰	۲۰			

فاز پنجم: گزارش و ارائه نتایج

این مرحله فاز آخر برنامه کار مهندسی ارزش بوده که در حقیقت حاصل کار تحلیل ارزش است. در این مرحله محقق گزینه‌های نهایی را با ارزش حاصله در اختیار کارفرما قرار داده و کارفرما با توجه به نیازها و سیاست‌های خود گزینه لازم را انتخاب می‌کند. در جدول ۲۴ خلاصه محاسبات ریالی با توجه به انتخاب گزینه نهایی داده شده است.

جدول ۲۴- خلاصه محاسبات ریالی و زمانی بر اساس گزینه نهایی

فعالیت	هزینه (میلیون ریال)	هزینه پایه (میلیون ریال)	میزان صرفه‌جویی	درصد کاهش	شاخص ارزش	درصد صرفه-جویی زمان	درصد افزایش کیفیت
حفاری و خاکبرداری	۶۸۵	۷۵۶	۷۱	۹/۳۹	۱/۱۱	۲۶	۹
عملیات بتن‌ریزی	۱۰۴۷۸۰	۱۱۷۶۴۹	۱۲۸۶۹	۱۰/۹۴	۱/۱۳	۱۸	۱۴
نصب سیستم	۸۵۰۹۰	۸۹۸۲۰	۴۷۳۰	۵/۲۷	۱/۰۶	۲۴	۸
نصب ابزار دقیق	۱۴۵۵	۱۵۶۰	۱۰۵	۶/۷۳	۱/۰۹	۱۳	۶
جمع (میلیون ریال)	۱۹۲۰۱۰	۲۰۹۷۸۵	۱۷۷۷۵	۸,۴۷	۱/۰۹۸	۲۰/۲۵	۹/۲۵

٤-۳- ساختن سلسله مراتب در تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند شناسایی عناصر و ارتباط بین آنها که منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود، ساختن سلسله مراتب نامیده می‌شود. سلسله مراتبی بودن ساختار به این دلیل است که عناصر تصمیم-گیری (اهداف، معیارها و گزینه‌ها) را می‌توان در سطوح مختلف خلاصه کرد [۲۹-۲۸].اولین قدم در تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع بوده که در آن اهداف، معیارها، زیرمعیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آنها نشان داده شود.

- تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها

برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، روش‌های مختلفی وجود دارد که معمول‌ترین آنها، مقایسهٔ دو دویی است. در این روش معیارها، دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و درجهٔ اهمیت هر یک از آنها نسبت به دیگری مشخص می‌شود [۳]. در این پژوهش از روش استاندارد ارائه شده توسط ال ساعتی استفاده گردید، به این صورت که برای هر مقایسهٔ دو دویی، مقدار ۱ تا ۹ داده می‌شود. ارزش-گذاری پارامتری ال ساعتی در جدول ۲۵ ارائه شده است.

جدول ۲۵- جدول تناسب ال ساعتی برای مقایسه دو دویی[۳-۲]

تناسب پارامترها	ارزش
پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت یکسانی دارد.	۱
پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت متوسطی دارد.	۳
پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت زیادی دارد.	۵
پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت نسبتاً زیادی دارد.	۷
پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت خیلی زیادی دارد.	۹
ارزش‌های مابین	۲،۴،۶،۸

جدول ۲۶- کدبندی معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی شاخص‌های مهندسی ارزش در خصوص پارامتر کیفیت در اجرای سد کوثر

احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب (D)		اجرای بدنه سد (C)		عملیات انحراف (B)		تجهیز کارگاه (A)	
کد	زیر معیار	کد	زیر معیار	کد	زیر معیار	کد	زیر معیار
D1	احداث حوضچه	C1	احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب	B1	اجرای بدنه سد	A1	عملیات انحراف
D2	احداث فضاهای زیرزمینی	C2	احداث حوضچه استغراق	B2	احداث سرریزها و سیستم تخلیه	A2	اجرای بدنه سد
D3	نصب واحدهای نیروگاه	C3	احداث فضاهای زیرزمینی	B3	احداث حوضچه استغراق	A3	احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب
D4	کاهش زمان	C4	نصب واحدهای نیروگاه	B4	احداث فضاهای زیرزمینی	A4	احداث حوضچه استغراق
E5	کاهش هزینه	C5	کاهش زمان	B5	نصب واحدهای نیروگاه	A5	احداث فضاهای زیرزمینی
		C6	کاهش هزینه	B6	کاهش زمان	A6	نصب واحدهای نیروگاه
				B7	کاهش هزینه	A7	کاهش زمان
						A8	کاهش هزینه

کاهش زمان (H)		نصب واحدهای نیروگاه (G)		احداث فضاهای زیرزمینی (F)		احداث حوضچه (E)	
کد	زیر معیار	کد	زیر معیار	کد	زیر معیار	کد	زیر معیار
D1	کاهش هزینه	G1	کاهش زمان	F1	نصب واحدهای نیروگاه	E 1	احداث فضاهای زیرزمینی
			کاهش هزینه	F2	کاهش زمان	E 2	نصب واحدهای نیروگاه
				F3	کاهش هزینه	E 3	کاهش زمان
						E 4	کاهش هزینه

- کیفیت تجهیز کارگاه

برای سنجش معیار کیفیت تجهیز کارگاه از هفت شاخص مختلف استفاده شد که بر اساس دید پاسخگویان عملیات انحراف (کد A1) با وزن ۰/۲۷۹ و اجرای بدنه سد (کدA2) با ضریب اهمیت ۰/۲۰۳ در رتبهٔ‌های اول و دوم و معیارهای احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب (۳)، احداث فضاهای زیرزمینی (۵)، احداث حوضچه (۴)، کاهش زمان (۷)، نصب واحدهای تاسیساتی (۶)، در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در جدول ۲۷ کیفیت تجهیز کارگاه پروژه با اوزان معلوم و رتبه‌های مشخص داده شده است.

جدول ۲۷- کیفیت تجهیز کارگاه

A	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	وزن	رتبه
A1		۵	۲	۶	۳	۷	۴	۲,۵	۰,۲۶۷	۱
A2			۱	۵	۴	۶	۵	۳	۰,۲۰۳	۲
A3				۳	۵	۸	۹	۴	۰,۱۷۰	۳
A4					۱	۳	۱	۱	۰,۰۵۵	۵
A5						۶	۵	۳	۰,۰۹۷	۴
A6							۱	۲	۰,۰۳۹	۸
A7								۱	۰,۰۴۲	۷
A8	Incon:0.09								۰,۰۴۷	۶

- عملیات انحراف

برای سنجش معیار عملیات انحراف از هفت شاخص استفاده شد که به ترتیب امتیاز معیارهای شامل اجرای بدنه سد، احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب، احداث حوضچه استغراق، احداث فضاهای زیرزمینی، نصب واحدهای نیروگاه، کاهش زمان و کاهش هزینه می‌باشند. نتایج ارزیابی معیار عملیات انحراف در جدول ۲۸ داده شده است.

- کیفیت اجرای بدنه سد

به‌منظور سنجش اولویت در اهمیت شاخص‌های اجرای سد کوثر، از شش گویهٔ احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب، احداث حوضچه، احداث فضاهای زیرزمینی، و نصب واحدهای نیروگاه استفاده گردید. بر اساس نظر پاسخگویان احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب (کدC1) با ضریب ۰/۳۴۸ بیش‌ترین میزان اهمیت را به خود اختصاص داده است. در جدول ۲۹ اجرای بدنه سد با اوزان معلوم و رتبه‌های مشخص داده شده است.

جدول ۲۸- ماتریس ارزیابی معیار «عملیات انحراف»

B	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	وزن	رتبه
B1		۲	۳	۴	۴,۵	۵	۶	۰,۲۶۶	۱
B2			۲,۸	۳,۵	۴	۴,۵	۵	۰,۲۱۶	۲
B3				۳	۳,۵	۴	۴,۵	۰,۱۵۶	۳
B4					۳	۳,۴	۳,۸	۰,۱۱۱	۴
B5						۳	۳,۴	۰,۰۸۱	۵
B6							۳,۲	۰,۰۶۰	۶
B7	Incon:0.09							۰,۰۳۱	۷

جدول ۲۹- اجرای بدنه سد بر اساس اوزان و رتبه‌های مشخص

C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	وزن	رتبه
C1		۲	۵	۲,۲	۶	۷	۰,۳۴۸	۱
C2			۲	۱	۱,۲	۳	۰,۱۶۴	۳
C3				۱,۳	۱	۱,۲	۰,۰۹۴	۴
C4					۴	۳,۵	۰,۱۷۷	۲
C5						۱	۰,۰۸۱	۵
C6	Incon:0.07						۰,۰۶۸	۶

- کیفیت احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب

برای سنجش معیار "کیفیت احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب" از پنج شاخص مختلف استفاده شد که طبق نظر پاسخگویان "احداث فضاهای زیرزمینی" (کد D2) با وزن ۰/۳۰۶ و "نصب واحدهای نیروگاه" (کدD3) با ضریب اهمیت ۰/۲۳۵ در رتبۀهای اول و دوم و معیارهای "کاهش هزینه"، "کاهش زمان" و "احداث حوضچه"، در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نتایج این ارزیابی در جدول ۳۰ ارائه گردید.

جدول ۳۰- ماتریس ارزیابی احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب

D	D2	D3	D5	D1	D4	وزن	رتبه
D2		۳	۴	۶	۷	۰,۳۰۶	۱
D3			۳,۷	۵,۸	۶,۶	۰,۲۳۵	۲
D5				۵,۵	۶	۰,۱۶۸	۳
D1					۴	۰,۰۷۰	۴
D4	Incon:0.02					۰,۰۴۳	۵

- کیفیت احداث حوضچه استغراق

برای سنجش معیار "احداث حوضچه پایین‌دست" از چهار شاخص مختلف استفاده شد که بر اساس دید پاسخگویان "نصب واحدهای نیروگاه" (کد E2) با وزن ۰/۲۸۶ و "کاهش زمان" (کدE3) با ضریب اهمیت ۰/۲۴۳ در رتبۀهای اول و دوم و معیارهای "کاهش هزینه" و "احداث فضاهای زیرزمینی" در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نتایج ماتریس ارزیابی احداث حوضچه در جدول ۳۱ ارائه گردیده است.

جدول ۳۱: ماتریس ارزیابی احداث حوضچه

E	E2	E3	E4	E1	وزن	رتبه
E2		۳	۴	۶	۰,۲۸۶	۱
E3			۳,۷	۵,۸	۰,۲۴۳	۲
E4				۵,۵	۰,۱۷۵	۳
E1	Incon:0.02				۰,۰۸۰	۴

- کیفیت احداث فضاهای زیرزمینی

برای سنجش معیار "احداث فضاهای زیرزمینی دستگاه‌ها " از سه شاخص مختلف استفاده شد که طبق نظر پاسخگویان "کاهش هزینه"(کد F3) با وزن ۰/۳۷۱ و "نصب واحدهای نیروگاه" (کد F1) با ضریب اهمیت ۰/۲۵۵ در رتبه‌های اول و دوم و معیار "کاهش زمان" در رتبه بعدی قرار دارد. نتایج این ارزیابی در جدول ۳۲ داده شده است.

جدول ۳۲- ماتریس ارزیابی احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب/ احداث فضاهای زیرزمینی

F	F3	F1	F2	وزن	رتبه
F3		۴	۵	۰,۳۷۱	۱
F1			۴/۵	۰,۲۵۵	۲
F2	Incon:0.02			۰۱۱۲	۳

- نصب تأسیسات

برای سنجش معیار نصب تأسیسات خودپرداز از دو شاخص استفاده شد که بر اساس نظر پاسخگویان "کاهش هزینه" (G2) با

وزن ۰/۳۰۶ و "کاهش زمان" (G1) با ضریب اهمیت ۰/۲۳۵ در رتبه های اول و دوم قرار گرفتند. نتایج ماتریس ارزیابی نصب تأسیسات در جدول ۳۳ ارائه گردیده است.

جدول ۳۳- ماتریس ارزیابی نصب تأسیسات

رتبه	وزن	G1	G2	G
۱	۰,۳۰۱	۳		G2
۲	۰,۲۷۸	Incon:0.02		G1

- کاهش زمان: برای سنجش معیار "احداث حوضچه" از یک شاخص استفاده شد که طبق نظر پاسخگویان "کاهش هزینه" (کد H1) با وزن ۰/۳۵۸ در رتبهٔ اول قرار گرفت. نتایج ارزیابی این معیار در جدول ۳۴ داده شده است.

جدول۳۴- ماتریس ارزیابی احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب/ حوضچه

رتبه	وزن	D1	D
۱	۰,۳۵۸	۶	D1

- تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها

بعد از تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها تعیین می‌شود. در این مرحله ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارها و اگر معیاری زیرمعیار نداشته باشد، مستقیما با خود آن معیار مورد داوری و قضاوت قرار می‌گیرد. در این پژوهش ضریب اهمیت گزینه‌ها نسبت به معیارها و زیرمعیارها سنجیده شده‌اند. فرآیند به تعیین ضریب اهمیت هر یک از گزینه‌ها نسبت به معیارها، مانند تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. با این حال باید به تفاوتی عمده در این مقایسه‌ها اشاره کرد. مقایسهٔ گزینه‌های مختلف نسبت به زیرمعیارها و معیارها (اگر معیاری زیر معیار نداشته باشد) صورت می‌پذیرد، در صورتی که مقایسهٔ معیارها با یکدیگر نسبت به هدف مطالعه انجام می‌شود. بنابراین به جای اینکه سئوال شود معیار i، در دست‌یابی به هدف چقدر از معیار j، مهم‌تر است؟ در مقایسهٔ گزینه‌ها، سؤال به این ترتیب مطرح می‌شود که گزینهٔ i، در ارتباط با معیار x، چقدر بر گزینهٔ j، ارجحیت دارد[۳۱-۳۰].

تا این مرحله از پژوهش ضرایب اهمیت هر یک از معیارها و زیرمعیارها نسبت به هدف مطالعه و هم‌چنین ضرایب اهمیت گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها و زیرمعیارها تعیین شده است. حال باید از تلفیق ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها نسبت به هدف و ضرایب اهمیت گزینه‌ها نسبت به هر یک از زیرمعیارها و معیارها، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها را مشخص نمود. در این تحقیق برای تعیین امتیاز نهایی از "اصل ترکیب سلسله‌مراتبی ال ساعتی" که منجر به یک بردار اولویت با در نظر گرفتن همهٔ قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله‌مراتبی می‌شود، استفاده شده است. بر این اساس امتیاز نهایی نسبت به هدف با استفاده از رابطهٔ ۳ محاسبه گردید.

$$\text{امتیازنهایی (اولویت) گزینهٔ } j = \sum_{k=1}^{n} w_\tau(g_{\tau j}) \qquad (۳)$$

در رابطه ۳، ω_τ ضریب اهمیت معیار i و $g_{\tau j}$ امتیاز گزینهٔ j در ارتباط با i است. بررسی مؤلفه‌های مورد نظر نشان داد که "عملیات انحراف" بیش‌ترین امتیاز یعنی ۰,۴۶۰ را به خود اختصاص داده است. سایر گزینه‌ها به ترتیب اهمیت عبارتند از: اجرای بدنه سد، احداث سرریزها و سیستم تخلیه سیلاب، احداث حوضچه استغراق، احداث فضاهای زیرزمینی، نصب واحدهای نیروگاه، کاهش زمان و کاهش هزینه.

۵- نتایج

نتایج کلیدی حاصل از انجام این تحقیق در چارچوب اعمال مهندسی ارزش در بدنه سد مخزنی بتنی کوثر با کاربرد روش تحلیل سلسله‌مراتبی به شرح زیر می‌باشند:

- با اعمال مهندسی ارزش در اجرای بدنه سد کوثر ٪۸/۴۷ در هزینه‌های اجرایی فعالیت‌ها کاهش حاصل گردید؛ این نتیجه در حالی است که در انتخاب گزینه‌های نهایی عامل کیفیت در کنار کاهش هزینه نیز مدنظر قرار گرفته است.
- تحلیل درست کارکردها می‌تواند علاوه بر افزایش ارزش گزینه‌ها منجر به کاهش هزینه‌ها نیز گردد. در بررسی مجدد اجرای بدنه سد کوثر طی مطالعات مهندسی ارزش، صرفه‌جویی ۵۸۰۰ میلیون تومان معادل حدود ۷ میلیون دلار صرفه‌جویی شده است.
- از نظر زمان اجرای بدنه سد طبق برنامه‌های زمان‌بندی اولیه پیمانکار و بعد از اجرای مهندسی ارزش، حدود ٪۲۰/۲۵ کاهش

در اجرای این فعالیت به دست آمد و ٪۹/۲۵ نیز افزایش کیفیت حاصل شد.

- با توجه به این‌که در طرح سد کوثر آمار و داده‌های استفاده شده در مرحله ۸۰-۷۰ درصدی پیشرفت اجرایی پروژه در بحث مهندسی ارزش دخالت داده شدند، لذا میزان کاهش هزینه‌های اقتصادی تابعی از معیارهای چهارگانه تعیین شده شامل کیفیت، سهولت، ایمنی و سرعت می‌باشند.

٦- منابع

[1] Thierry M. Value Management (2004), Translated by Mahab Ghods Consulting Engineering Company; Mahab Ghods Publishing, Tehran.
[2] Jebel Agali, M. Ghavami Far, K. Abaei. M. (2004), Value Engineering in Project Management; Publications of Management and Planning Organization of Iran, Tehran.
[3] Jabal Ameli, M. Mir Sadeghi, A. (2003), Using Value Engineering in Power Plant Projects (Beyond the Cost Saving Model); Proceedings of the National Conference on Water Power Plants (Tehran), pp. 673 -668.
[4] Jalalzadeh, A. (2004), The Role of Value Engineering in Civil, Industrial and Service Plans; Report from the Iranian Value Engineering Association, Tehran, Iran Value Engineering Association Office.
[5] Khoshareesh, 1; (2003), Successful Experiences of Applying Value Engineering in the Kosar Dam and Power Plant Design; Proceedings of the National Conference on Water Power Plants (Tehran), pp. 704-715.
[6] Khoshareesh, A (2003), Kowsar Dam and Power Plant Drilling and Injection, Kowsar Dam and Power Plant Development Company, Tehran, Jom Andishe Publications.
[7] Watticke, D. (2002), Successful Implementation of Value Engineering in the Karoon Dam Submerged Storage System 3; Project Implementation and Management Methods in Stone Engineering, Research and Analytical Report.
[8] Rabbani, M., Rezaei, K., Haji Aliakbar, M., (2004), Value Management / Engineering: Based on EN 12973: 2000 and SAVE Standards, Publishers: Athena, Arotov Iranian Partnership.
[9] Rahmanian, D (2005), Successful Value Engineering Experiences in the Water Industry of Iran; Special Journal of Iranian Value Engineering Association.
[10] Mahab Ghods Consulting Engineering Company (2001), Proposed Change in Value Engineering Method in Development Plans; Tehran: Mahab Ghods Publishing.
[11] Mahab Ghods Consulting Engineering Company (1999), Value Engineering in Design, Implementation and Operation; Tehran: Mahab Ghods Publishing.
[12] Arab, D., Emami, K., Mahmoudi Moghaddam, M., (2004), Boroujerdi, M. Reconciling the Objectives and Criteria of Development Projects by Value Engineering; Tehran: Publication by Crate Kara Consulting Engineers.
[13] Alizadeh, R., Paknejadi, A., (2017), Value Engineering in Roller-concrete Dams and Chamshir Power Plant, M.Sc. Civil Engineering, Islamic Azad University, Yasouj Branch.
[14] Karimi, M., (2005), Undoubted Improvement; Expressive Cultural Services.
[15] Motahhari, S., (2002), Investigation of Value Engineering Application in Goldagh Dam Construction Phase; M.Sc., Tarbiat Modarres University.
[16] Architectural and Urban Consulting Engineers, (2005), Water and Energy Civilization; Principles, Basics and Processes of Value Engineering.
[17] Momenzadeh, M., Ojaghi, B., (2002), what can the Iranian Mines Development and Renovation Organization do? Ornab Exploration Consulting Engineers Company.
[18] Cheah, C.Y.J., Appraisal of value engineering in construction in Southeast Asia; international journal of project management Vol. 23, pp.151-158, 2005.
[19] Barlow, C.M., what is value engineering? The co-creativity institute, 1999.
[20] Connaaghton, J., Green, S., Value management in construction: A client guide, Ciria, London, 1996.
[21] James, J., Obrien, P.E., Value Analysis in design and construction; McGraw- Hill Book Company, pp.304- 325, 1998.
[22] Male, S., Kelly, J., Fernie, S., Gronquist, M., Bowels, G., The value managent Benchmark: a good practice pramework for clients and pratitioners, 1998.
[23] National Audit office; Construction of the Southampton Oceanography Center, 1998.
[24] Norton, B.R., Me Elligott, W.C.; Value management in construction a practical guide, Macmillan, Basingstoke, 1995.
[25] Fong, S.W., Value engineering in Hong Kong polytechnic anivercity; hung hom, Kowloon, Hong Kong, 1998.

[26] Samy, E., Elias, G., Value engineering, a powerful productivity tool, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, USA, 1998.
[27] Thiry, M., Value management practiee project; management institute, Sylva, NC, 1997.
[28] Varald W., the governance of cost in tunnel design and construction, general manager of D2 consult Linz Austria, 1999.
[29] Amara, V., Target costing for product re-designing, Blacksburg, Virginia, 1998.
[30] Woodhead, R.M., Value management: improving capabilities, 2009.
[31] Zimmerman, Larry W., Hart, Glen D., Value engineering a practical approach for owners, designers and contractors, 1999.

Evaluation of value engineering application in implementation of Kowsar Gachsaran concrete reservoir dam

Seyed Mohammad Hossein Rajabi
M.Sc. of Hydraulic structures, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, , Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
Seyed Fathollah Sajedi *
Associate professor, Department of Civil Engineerin`g, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Abstract

Value engineering is a creative approach to optimizing life cycle costs, saving time, increasing profits, improving quality, and optimizing the use of resources. This management approach in Iran also has numerous project backgrounds, and many of the country's executive agencies use it in projects. Implementing a value engineering approach in hydraulic structures enables systematic behavior to balance project costs and performance, relying on teamwork and creativity to eliminate unnecessary costs and increase efficiency. And take more effective steps to make projects more efficient. Implementation of this method has yielded tangible results worldwide and even in Iran, from which the Maroun Regulatory Dam, the Ramshir Dam Control Channel, the Kuhrang Dam diversion tunnel, and more can be mentioned. Reservoir dams are major national and multipurpose projects that aim to conserve water for drinking, agriculture, industry, power generation, flood control, tourism, cultural and recreational activities. The major problem most large projects face is the lack of value engineering. The purpose of this research is to apply value engineering in the implementation of Kowsar Gachsaran reservoir dam located in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad province. In this research, value engineering methodology was used by "Analytical Hierarchy Process" method. The results showed that the cost of implementation of dam body with value engineering application decreased by 8.47%, equivalent to 5.8 billion Tomans; about 20.25% decrease in execution time and 9.25% increase in performance quality.

Keywords: Value engineering, Kowsar Gachsaran concrete dam, Time reduction, Cost reduction, Quality improvement.

* Corresponding Author: sajedi@iauahvaz.ac.ir