

کاربرد مهندسی ارزش در انتخاب نوع سازی آبی (نمونه موردی: سد ذخیره‌های گراتی اسفراین)

فروتضی سالاری - کارشناسی ارشد عمران - خاک و پی، مشهد، شرکت مهندسیین مشاور آب پوی
جعفر بلوری بزاز - دانشیار، مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی، گروه عمران
علی اختروپور - استادیار، مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی، گروه عمران

مقاله فوق در همایش «آب و سازه‌های آبی» از نخستین کنگره آبیاری و زهکشی ایران به تاریخ ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ در دانشگاه فردوسی مشهد ارائه گردیده است.

محمد جواد منعم

رئیس همایش آب و سازه‌های آبی

دانشگاه فردوسی مشهد

امین علیزاده

رئیس کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران



کاربرد مهندسی ارزش در انتخاب نوع سازه آبی (نمونه موردی: سد ذخیره‌ای گراتی اسفراین)

مرتضی سالاری، کارشناسی ارشد عمران - خاک و پی، مشهد، شرکت مهندسی مشاور آب پوی *
جعفر بلوری بزاز، دانشیار، مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی، گروه عمران
علی اخترپور، استادیار، مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی، گروه عمران
*تلفن نویسنده اصلی: ۰۹۱۵۰۳۰۰۵۲۷ پست الکترونیکی: m.salari04@gmail.com

چکیده

مدیریت پروژه مهندسی ارزش نگرشی خلاق به منظور بهینه سازی هزینه های چرخه عمر، صرفه جویی در زمان، افزایش سود، بهبود کیفیت، افزایش سهم بازار، حل مشکلات و استفاده بهینه از منابع می باشد. این روش مدیریتی در ایران نیز دارای سوابق متعدد در پروژه ها است، به گونه ای که بسیاری از دستگاههای اجرایی کشور در پروژه های خود از مهندسی ارزش می کنند. سد گراتی یک از پروژه های سد سازی کشور در استان خراسان شمالی می باشد. در این مقاله فرایند مطالعات مهندسی ارزش برای انتخاب نوع سد و جزئیات وابسته پروژه گراتی بین دو گزینه سد سنگریزه ای و بتن غلطکی تشریح شده است. این مطالعه نشان داد با وجود تفاوت ناچیز هزینه های اقتصادی دو گزینه، گزینه سد سنگریزه ای از نظر فنی و اجرایی نسبت به گزینه بتن غلطکی برتری منطقی دارد لذا با احداث گزینه سد سنگریزه ای اهداف پروژه به نحوه بهینه تری برآورده خواهد شد.

کلید واژه‌ها: مهندسی ارزش، سد سنگریزه ای، سد بتن غلطکی

۱- مقدمه

با توجه به خصوصیات پروژه‌های بزرگ نظیر پیچیدگی اجرایی، هزینه، زمان، درگیر بودن دستگاه‌های اجرائی و... ایده‌های جدید در جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی و کیفیت پروژه برای مدیران بسیار موثر و راهگشا است. بر اساس تعریف مؤسسه بین المللی مدیریت پروژه مهندسی ارزش نگرشی خلاق به منظور بهینه سازی هزینه های چرخه عمر، صرفه جویی در زمان، افزایش سود، بهبود کیفیت، افزایش سهم بازار، حل مشکلات و استفاده بهینه از منابع می باشد [۱]. بر اساس تعریف معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، مهندسی ارزش کاربرد سازمان یافته فنون شناخته شده‌ای است که برای بررسی عملکرد یک محصول و یا خدمت مورد استفاده قرار می گیرد و با استفاده از فکر خلاق به منظور تأمین کارکرد مورد نیاز برای تحقق اهداف طرح به طور مطمئن و با کمترین هزینه دوران عمر و با حفظ و یا ارتقای کیفیت و حفظ ایمنی و ویژگی‌های زیست محیطی می باشد [۲].

این روش مدیریتی در ایران نیز دارای سوابق متعدد در پروژه ها است، به گونه ای که بسیاری از دستگاه‌های اجرایی کشور در پروژه های خود از مهندسی ارزش استفاده کرده و حتی نظامنامه‌ها و دستورالعمل های بکارگیری مهندسی

ارزش را در حوزه تحت نظرشان به تمامی زیرمجموعه های خود ابلاغ کرده اند. مطالعات مهندسی ارزش طبق جدول ۱ شامل سه مرحله اصلی می باشد [۳]: مطالعات مقدماتی و گردآوری اطلاعات، مطالعات ارزش و مطالعات تکمیلی. تمامی این مراحل و گام ها به طور پی در پی انجام شوند. در حین پیشرفت مطالعات مهندسی ارزش، اطلاعات و داده های جدید می تواند سبب بازگشت به مراحل و گام های پیشتر گردد، اما هیچگاه مرحله یا گامی حذف نمی شود.

جدول ۱: شیوه نامه مهندسی ارزش [۳]

زیرمرحله	مراحل اصلی	
گردآوری و تعریف به نیازها و خواسته های کارفرما و بهره بردار	مطالعات مقدماتی و گردآوری اطلاعات	۱
تکمیل مجموعه داده ها		۲
تعیین معیارهای ارزیابی		۳
تعیین محدوده مطالعات		۴
تهیه مدل های مناسب		۵
مرحله تکمیل اطلاعات	مطالعات ارزش	۱
مرحله تحلیل کارکرد		۲
مرحله خلاقیت		۳
مرحله ارزیابی		۴
مرحله توسعه		۵
مرحله ارایه		۶
تکمیل تغییرات	مطالعات تکمیلی	۱
اجرای تغییرات		۲
ممیزی		۳

سد گراتی یک از پروژه های سد سازی کشور در استان خراسان شمالی می باشد. این سد بر روی رودخانه کال ولایت (گراتی) در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب شرق شهرستان اسفراین واقع شده است. هدف اصلی از احداث سد بهینه سازی رواناب رودخانه کال ولایت در راستای دستیابی به آب مطمئن کشاورزی در منطقه است [۴]. مطالعات مهندسی این طرح از سال ۱۳۸۵ آغاز شده است و اکنون مراحل نهایی خود را طی می کند. از آنجا که نتیجه مطالعات رقابت نزدیک دو گزینه سد سنگریزه ای با هسته رسی و گزینه سد بتن غلطکی را نشان داد قبل از فاز ساخت در جلسه کارگروهی که بین ارکان طرح برگزار شد تصمیمی مبتنی بر انجام مطالعات مهندسی ارزش در بین این دو گزینه مطرح شد. در این مقاله سعی شده است شرحی از مطالعات مهندسی ارزش انجام شده برای انتخاب گزینه منتخب سد گراتی آورده شود.

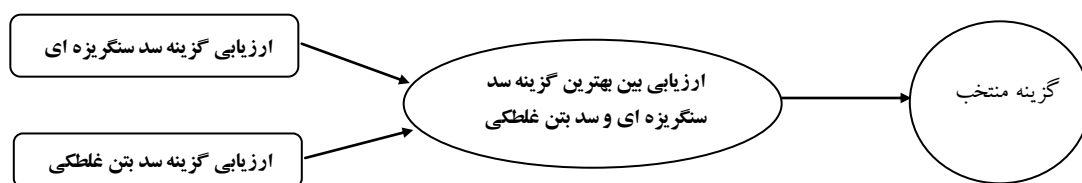
۲- شیوه نامه مهندسی ارزش طرح گراتی

شیوه مطالعات مهندسی ارزش سد گراتی مطابق جدول ۱ انجام شد که در ادامه شرح مراحل پرداخته خواهد شد.

۲-۱- مرحله مطالعات مقدماتی و گردآوری اطلاعات

فعالیت های این مرحله شامل پنج گام است. منابع اطلاعات اصلی در مطالعات مهندسی ارزش دو نوع هستند؛ منابع اولیه و منابع ثانویه. منابع اولیه نیز بر دو گونه اند: منابع انسانی و منابع مکتوب. منابع انسانی شامل مصرف کنندگان، طراح اصلی، گروه تخمین هزینه ها، سازندگان و مشاوران م باشند. منابع مکتوب شامل نقشه ها، مشخصات فنی پروژه، برنامه های زمان بندی پروژه و اسناد مربوط به مناقصه ها و مزایده هاست. منابع ثانویه شامل تامین کنندگان محصولات مشابه، متونی مانند معیارهای طراحی، نتایج آزمایشات، مجلات بازرگانی و آیین نامه ها می باشند. دو منبع مهم اطلاعات ثانویه عبارتند از: پروژه های مشابه و مشاهدات حاصل از بازدید ساختگاه توسط گروه مطالعات مهندسی (ارزش).

بر مبنای الگوی فوق در مرحله مقدماتی و گردآوری اطلاعات بعد از دریافت خواسته‌های کارفرما و بهره‌بردار و همچنین گردآوری منابع اولیه موردنیاز در ادامه منابع ثانویه موجود به دقت ارزیابی شد. برای قضاوت صحیح اطلاعاتی ارزشمند در خصوص نحوه ساخت، شیوه‌های طراحی و هزینه‌ها از سدهای بتن غلطکی و سنگریزه ای مهم کشور (سدهای بتن غلطکی: سد جگین در بندر جاسک، سد زیرکان در سیستان و بلوچستان و سد چشمه عاشق در شهرستان نی ریز استان فارس و.. سدهای سنگریزه ای: سد مسجد سلیمان، سد گتوند در خوزستان، سد تبارک آباد و سد بیدواز اسفراین در خراسان و...) جمع آوری شد. سپس گروه مطالعات مهندسی ارزش بازدیدی فنی از محل پروژه بعمل آورد. بعد از بازنگری اطلاعات موجود و جلسات کارشناسی متعدد، معیارهایی ۱- هزینه ساخت ۲- فنی- اجرایی ۳- سرعت اجرا برای ارزیابی مورد توافق قرار گرفت. در ادامه تصمیم گرفته شد که اولاً، هریک از گزینه‌های سد سنگریزه ای و سد بتن غلطکی در همه ابعاد شامل (بدنه و پی، سیستم انحراف، سریز و...) به صورت مجزا ارزیابی شود ثانیاً، گزینه منتخب سد سنگریزه ای و سد بتن غلطکی بر اساس معیارهای فوق با یکدیگر ارزیابی شوند. بر این اساس مدل مطالعاتی مشاهده شده در شکل ۱ مورد تایید گروه مطالعات مهندسی قرار گرفت.



شکل ۱: مدل مطالعات مهندسی ارزش

۲-۲- مرحله مطالعات ارزش

کلیه زیر مراحل مرحله مطالعات ارزش (جدول ۱) ابتدا برای هریک از گزینه ها سد سنگریزه ای و بتن غلطکی بصورت مجزا و سپس در مقایسه دو گزینه منتخب انجام شده است.

الف) گزینه سد سنگریزه ای

بعد از تکمیل اطلاعات لازم در خصوص این گزینه، کارکرد هریک از اجزاء این سد شامل ۱- بدنه و پی، ۲- سیستم انحراف، ۳- سریز، ۴- سیم آبگیر و... تعیین و بر حسب فعل و اسم در جداولی مرتب گردید (مرحله تحلیل کارکرد). در مرحله خلاقیت گزینه یابی در خصوص هریک از این اجزا صورت گرفت و سپس در مرحله ارزیابی بر اساس معیارهای مورد توافق گزینه‌های مختلف هریک از اجزاء بررسی و گزینه منتخب انتخاب گردید. در نهایت گزینه منتخب سد سنگریزه ای با تمام اجزاء مشخص گردید. شرح این اقدامات برای هریک از اجزاء در ادامه آمده است.

الف-۱- بدنه: در بین انواع مختلف سدهای سنگریزه ای (با هسته رسی، با هسته آسفالتی، با رویه بتنی و...) با ارزیابی‌های اولیه براساس معیارهای فنی - اجرایی (کیفیت منابع قرضه در دسترس، تکنولوژی اجرا، شرایط زمین شناسی ساختگاه و...) ۲- اقتصادی (برآورد هزینه های ساخت) گزینه سد سنگریزه ای با هسته رسی در این منطقه گزینه برتر تشخیص داده شد سپس این گزینه با توجه به عوامل ۱- مایل یا قائم بودن هسته ۲- استفاده یا عدم استفاده از مصالح شن و ماسه در پوسته گزینه یابی شد و در نهایت گزینه سد سنگریزه ای با هسته رسی قائم در میان انواع سد های سنگریزه ای انتخاب گردید. مشخصات این گزینه در جدول ۲ آمده است. با جانمایی کردن بدنه در ساختگاه و تعیین احجام طبق فهرست بهای ۹۳، هزینه ساخت و اجرای بدنه سد برآورد گردید. این برآورد اقتصادی نشان داد که بدون در نظر گرفتن هزینه ساخت سیستم انحراف (شامل فراز بند، نشیب بند و مجرای انتقال) هزینه ساخت بدنه سد ۱۵۰۱۰۰ میلیون ریال می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات گزینه منتخب سد سنگریزه ای با هسته رسی قائم

مشخصه	توصیف
نوع سد	سنگریزه ای با هسته رسی
حداکثر ارتفاع از بستر رودخانه	۴۸ متر
حداکثر ارتفاع از پی	۵۰ متر
طول تاج	۲۸۶/۵
عرض تاج	۱۲ متر
عرض پی	۲۳۰/۸ متر
حجم خاکریزی*	۶۸۰۰۰۰ مترمکعب
حجم سنگبرداری*	۱۲۸۰۰۰ مترمکعب

* با احتساب خاکریزی و خاکبرداری فراز بند و نشیب بند ادغامی

الف - ۲- سیستم انحراف: بر اساس مصوبه مطالعات طرح، سیستم انحراف سد این گزینه بر اساس دبی ۵۰ ساله حوزه (۵۷۶ متر مکعب بر ثانیه) طراحی شد. سپس در فاز خلاقیت دو گزینه برای سیستم انحراف بعد از ارزیابی های اولیه مطرح شد: گزینه ۱: فرازبند سنگریزه ای با هسته رسی ادغامی، نشیب بند همگن درشت دانه ادغامی و تونل انحراف در جناح راست گزینه ۲: فرازبند سنگریزه ای با هسته رسی ادغامی، نشیب بند همگن درشت دانه ادغامی و گالری در جناح راست. این دو گزینه طراحی و بعد از برآورد احجام، متره گردید. جدول ۴ هزینه اجزاء هر دو گزینه را نشان می دهد. ارزیابی اقتصادی حکایت از افزایش هزینه ۲۳ درصدی گزینه ۱ نسبت به گزینه ۲ دارد.

جدول ۳- ارزیابی ریالی گزینه های مطرح شده در خصوص سیستم انحراف (میلیون ریال)

فراز بند و نشیب بند ادغامی	گالری انحراف	تونل انحراف	هزینه سیستم انحراف
۵۲۲۶۶	*	۶۶۷۶۵	۱۱۹۰۳۱
۵۲۲۶۶	۴۴۵۱۰	*	۹۶۷۷۶

ارزیابی فنی این دو گزینه نشان می دهد که: ۱- هر چند توده سنگی کنگلومرایی محاط کننده سد (RMR=۴۶) در گروه سنگ های متوسط تا ضعیف قرار می گیرد اما میزان نشست های ناهمگن در صورت احداث گالری بسیار ناچیز خواهد بود. ۲- احداث گالری در داخل بدنه سد نیاز به ملاحظات اجرایی خصوصا جهت ایجاد مرز مناسب آب بند بین جداره گالری و هسته سد دارد. ۳- احداث تونل با این قطر ۷/۹ متر در این توده سنگی متوسط تا ضعیف عدم قطعیت های قابل توجهی در خصوص سیستم های نگهداری و هزینه های بهره برداری خواهد داشت. با در نظر گرفتن این دو ارزیابی در نهایت در این مرحله تصمیم بر برتری گزینه ۲ گرفته شد. مشخصات فنی آن در جدول ۴ نشان داده شده است.

الف - ۳- سرریز: سرریز سد گرانی برای عبور سیلاب طرح با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله با دبی پیک ۱۱۳۳/۲۵۷ مترمکعب بر ثانیه طراحی شده و جهت عبور حداکثر سیل محتمل (PMF) با دبی پیک ۲۸۴۸/۴۰۰ مترمکعب بر ثانیه کنترل شده است. در فاز خلاقیت برای سرریز گزینه هایی مطرح شد: ۱- نیلوفری ۲- جانی ۳- تونلی ۴- اوجی. سپس در مرحله ارزیابی با توجه به ساختگاه سد و شرایط حاکم بر طراحی (معیار فنی - اجرایی) در نگاه اول ساخت سرریز نیلوفری یا سیفونی به دلیل پائین بودن ضریب تخلیه، صعوبت اجرا، هزینه بالا، نیاز به تأسیساتی همچون تونل در طول قابل توجه، تفاوت شرایط هیدرولیکی در سیلاب طراحی و سیلاب کنترل و ... متنفی گردید. سرریز جانی نیز به دلیل نیاز به ساختگاه مستحکم، ضرورت احداث کانال بسیار مقاوم و نظایر آن مردود گردید. همچنین با توجه به دبی بیشینه روندیابی شده سیلاب طراحی (۱۰۴۸/۴۰۵) مترمکعب بر ثانیه) بدیهی است که جهت عبور ماکزیمم دبی طراحی نیاز به احداث یک سرریز تونلی با قطر

جدول ۴- مشخصات فنی سیستم انحراف گزینه نهایی سد سنگریزه ای

جزء	مشخصه	مقدار
گالری انحراف (جناح راست)	رقوم دهانه ورودی	۱۲۰۴/۷ متر از سطح مبنا
	ظرفیت	۵۷۶ مترمکعب در ثانیه
	ابعاد دهانه ورودی	دایره ای به قطر ۷/۹ متر
	طول گالری	۲۲۰ متر
فراز بند (ادغامی)	نوع	سنگریزه ای با هسته رسی
	تراز تاج	۱۲۲۶ متر از سطح مبنا
	ارتفاع از سطح پی	۱۹/۵ متر
	حجم بدنه	۹۴۳۲۵۰ مترمکعب
نشیب بند (ادغامی)	نوع	خاکی همگن
	تراز تاج	۱۲۱۲ متر از سطح مبنا
	ارتفاع از سطح پی	۸ متر
	حجم بدنه	۱۰۰۰۰ مترمکعب

قابل ملاحظه است. از سوی دیگر با توجه به نوع سنگ متوسط یا ضعیف احداث سرریز تونلی در این منطقه مستلزم تمهیدات خاصی جهت حفظ پایداری تونل است و بنابراین گزینه احداث سرریز تونلی نیز مردود است. سرریزهای اوجی محدودیت ساخت نداشته و از ضریب تخلیه بالایی (به طور نسبی) برخوردارند. لذا با عنایت به شرایط توپوگرافی و مورفولوژی منطقه سرریز سد گراتی از نظر فنی از نوع اوجی بتنی آزاد (آزاد در مقابل دریچه دار) در نظر گرفته شده است.

در ادامه برای شناسایی مناسب ترین محل برای جانمایی سرریز، یک گزینه در جناح راست و یک گزینه در جناح چپ بررسی گردید. طراحی اولیه سرریز در هر دو گزینه انجام پذیرفت و پس از متره و برآورد احجام عملیات احداث در دو گزینه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حکایت از ۴۰ درصد افزایش هزینه در صورت اجرا سرریز در جناح راست دارد عامل اصلی این اختلاف هزینه حجم ۳ برابری سنگبرداری در جناح راست نسبت به جناح چپ می باشد.

برای شناسایی عرض بهینه سرریز، سرریزهایی با عرض های مختلف ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ متر با رقوم نرمال ثابت ۱۲۴۷ متر از سطح مبنا طراحی و برآورد گردیده است. با توجه به این مسئله که با زیاد شدن عرض سرریز ارتفاع سد کاهش یافته و هزینه احداث آن کمتر می شود، هزینه احداث سد نیز در هر گزینه محاسبه و مقایسه شده است. در نهایت با نگاه فنی و اقتصادی عرض بهینه سرریز از لحاظ اقتصادی ۷۰ متر انتخاب می گردد که متناسب با تراز تاج سد ۱۲۵۳ متر از سطح مبنا است.

با توجه به وجود آبراهه مناسب از نظر توپوگرافی، مورفولوژی و زمین شناسی، بهترین شیوه استهلاک پرتاب جت جریان با بکت پرتابی به نقطه ای از آبراهه که به مقدار کافی با سازه پرتاب کننده فاصله داشته باشد است. البته به دلیل قرار گرفتن سرریز در تراز پایین تر از زمین طبیعی، نیاز به سنگبرداری در این ناحیه برای هدایت جریان به سمت آبراهه می باشد. بنابراین گزینه منتخب سیستم تخلیه سیلاب و مستهلک کننده انرژی بکت پرتابی و سنگبرداری اضافی انتخاب شد. مشخصات فنی این سرریز و سیستم استهلاک در جدول ۵ آمده است. هزینه کل تمام شده این جزء سد به میزان ۴۵۶۴۰ میلیون ریال برآورد گردید.

الف-۴- سایر اجزاء: در ادامه برای سایر اجزاء سد شامل ۱- تخلیه کننده تحتانی و حوضچه آبگیر ۲- سیستم آبگیر ۳- شیرخانه انتهایی ۴- تاسیسات برقی ۵- تجهیزات ابزار دقیق ۶- سیستم بهسازی پی، فاز خلاقیت انجام گردید در نهایت در فاز ارزیابی بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده در مرحله مطالعات و گردآوری اطلاعات (۱- فنی اجرایی ۲- اقتصادی ۳- سرعت اجرا) گزینه منتخب و بهینه انتخاب شد. هزینه این ۶ جزء ۷۱۳۳۷ میلیون ریال برآورد گردید.

جدول ۵- مشخصات فنی سیستم تخلیه و استهلاک سیلاب گزینه نهایی سد سنگریزه ای

مشخصه	توصیف
نوع	اوجی بتنی آزاد با باکت پرتابی
ظرفیت تخلیه	۱۰۴۸/۴۰۵ متر مکعب بر ثانیه
طول موثر سرریز	۷۰ متر
تراز اوجی سرریز	۱۲۴۷ متر از سطح مبنا
تراز کف باکت پرتابی	۱۲۳۶ متر از سطح مبنا
شعاع باکت پرتابی	۵/۵ متر
حجم بتن ریزی	۶۷۴۵ متر مکعب
حجم سنگبرداری	۵۲۰۰۰ متر مکعب

(ب) گزینه بتن غلطکی

در این بخش نیز بعد از تکمیل اطلاعات لازم، کارکرد هریک از اجزاء سد بتن غلطکی شامل ۱- بدنه و پی، ۲- سیستم انحراف، ۳- سرریز، ۴- سیستم آبگیر و... تعیین و بر حسب فعل و اسم در جداولی مرتب گردید (مرحله تحلیل کارکرد). در مرحله خلاقیت گزینه یابی در خصوص هریک از این اجزا صورت گرفت و سپس در مرحله ارزیابی بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده گزینه های مختلف هریک از اجزاء بررسی و گزینه منتخب انتخاب گردید. در نهایت گزینه منتخب سد بتن غلطکی با تمام اجزاء مشخص گردید در ادامه شرح این اقدامات برای هریک از اجزاء آمده است.

ب-۱- بدنه: با توجه به اطلاعات موجود بر مبنای معیارهای فنی - اجرایی (آب بندی بدنه، زمین شناسی، ژئوتکنیکی، منابع قرضه، تجارب اجرایی کشور و...) تصمیم گرفته شد از بین گزینه های متفاوت سدهای بتن غلطکی، سد گراتی از نوع سد آر سی دی ژاپنی [۵]. مشخصات فنی آن در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶- مشخصات بدنه سد بتن غلطکی گراتی

نوع سد	وزنی بتنی غلطکی
ارتفاع از کف	۴۸ متر
ارتفاع از پی	۵۰ متر
طول تاج	۲۸۶/۵ متر
عرض تاج	۱۲ متر
عرض پی	۴۷ متر
حجم بتن ریزی	۱۴۸۸۰۵ متر مکعب (CVC /۳۰ و RCC /۷۰)
حجم حفاری	۶۰۰۰ متر مکعب

سیمان مصرفی برای مخلوط بتن غلطکی سیمان ویژه ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۳۰ درصد پوزولان طبیعی (تهیه شده از کارخانه سیمان بجنورد) می باشد. مصالح سنگدانه از منبع قرضه سنگ به فاصله ۶ کیلومتری از محل سد تهیه شده است. سیمان مصرفی برای بتن درجا دارای عیار ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و از تیب ۲ خواهد بود. درزه های انقباضی اجرایی سد به فاصله ۱۵ متری در طول اجرا شده است. این درزه ها توسط صفحات فولادی گالوانیزه ه توسط درزه برهای ارتعاشی در بتن غلطکی کوبیده نشده جایگذاری شده اند شکل می گیرند. قبل از ریختن لیفت بعدی، سطوح هر لیفت ابتدا

با جت آب یا برسهای جمع نمودن ملات تمیز می شود و بعد از برداشت آب اضافی، لایه ای به ضخامت ۱۵ میلی متر از ملات با اسلامپ بالا بر روی سطح تمیز پخش شده تا لیت بعدی بتن بچسبد (بستر سازی). سطوح بالادست و پایین دست سد با بتن درجا ویر شده که در قالب هایی ریخته شده، شکل می گیرد. در همین مرحله آب بندها و زهکش ها در درزه های انقباضی عرضی در سطح بتن نصب می شود. گالری های دسترسی در بدنه سد شامل یک گالری افقی در تراز ۱۲۰۳ و گالری تزریق که شامل شفت های افقی و قائم در جناحین شیدار به جهت سهولت اجرا و گالری افقی موازی محور سد در تراز ۱۲۴۳ می باشد. با در نظر گرفتن هزینه هریک از اقدامات اجرایی فوق کلیه موارد فوق در قالب آیت های موجود هزینه ساخت بدنه سد بتن غلطکی گراتی با در نظر گرفتن گالری های بازرسی و تزریق ۱۹۲۱۸۵ میلیون ریال است.

ب-۲) سیستم انحراف: بر اساس محاسبات هیدرولیکی سیستم انحراف سد بتن غلطکی باید دارای ظرفیت تخلیه ۵۷۶ مترمکعب بر ثانیه داشته باشد که متناظر با دبی سیلاب ۵۰ ساله است (مصوبه مطالعات) محدوده کارگاه با توجه عرض پی سد بتن غلطکی (۴۷ متر) و فضای مورد نیاز برای احداث سیستم استهلاک کننده حدود ۱۲۰ متر خواهد بود. بر طبق گزینه - یابی انجام شده در سد سنگریزه ای برای مجرای انتقال گزینه گالری از گزینه تونل انحراف به دلایل فنی و اقتصادی ارجح تر است. اما از آنجا که عرض بدنه سد سنگریزه ای در کف بیش از ۵ برابر عرض پی سد بتن غلطکی است طول گالری سد بتن غلطکی کمتر است هر چند نیاز به مجرای نظیر کانال روباز یا دیواره انحراف برای انتقال در حد واسط فراز بند و نشیب بند و ورودی و خروجی گالری داخل بدنه در گزینه بتن غلطکی است. از سوی دیگر از نظر جنس مصالح سه گزینه برای فراز بند و نشیب بند مطرح است: ۱- با استفاده از مصالح خاکی سنگی ۲- با استفاده از بتن غلطکی ۳- با استفاده بتن درجا. در نهایت با توجه به توضیحات سه گزینه برای سیم انحراف سد بتن غلطکی است که عبارتند از: گزینه ۱: فراز بند و نشیب بند همانند گزینه سد سنگریزه ای و مجرای انتقال (گالری انحراف) گزینه ۲: فراز بند و نشیب بند بتن غلطکی و مجرای انتقال (گالری انحراف + کانال انتقال) گزینه ۳: فراز بند و نشیب بند بتن درجا و مجرای انتقال (گالری انحراف + کانال انتقال). در مرحله ارزیابی سه گزینه فوق طراحی و متره برآورد اقتصادی شدند (جدول ۷). گزینه ۲ از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است. مشخصات فنی گزینه ۲ در جدول ۸ آمده است.

جدول ۷ - برآورد هزینه سه گزینه سیستم انحراف (میلیون ریال)

گزینه	فراز بند و نشیب بند	مجرای انتقال	کل سیستم
۱	۵۲۲۶۷	۴۴۵۱۰	۹۶۷۷۷
۲	۴۲۸۰۰	۱۷۸۰۴	۶۰۶۰۴
۳	۵۶۹۲۴	۱۷۸۰۴	۷۵۶۲۸

جدول ۸ - مشخصات فنی گزینه منتخب سیستم انحراف در سد بتن غلطکی

جزء	مشخصه	مقدار
گالری انحراف (جناح راست)	رقوم دهانه ورودی	۱۲۰۴/۷ متر از سطح مبنا
	ظرفیت	۵۷۶ مترمکعب در ثانیه
	ابعاد دهانه ورودی	دایره ای به قطر ۷/۹ متر
فراز بند (ادغامی)	طول گالری	۴۷ متر
	نوع	بتن غلطکی
	تراز تاج	۱۲۲۶ متر از سطح مبنا
	ارتفاع از سطح پی	۱۹/۵ متر
نشیب بند (ادغامی)	حجم بدنه	۱۸۴۰۰۰ مترمکعب
	نوع	بتن غلطکی
	تراز تاج	۱۲۱۲ متر از سطح مبنا
	ارتفاع از سطح پی	۸ متر
	حجم بدنه	۳۰۰۰ مترمکعب

ب-۳) سوز: هر نوع سوز به هر شکل که برای سد بتنی وزنی مرسوم یا سد خاکی عملکرد موزونی داشته باشد برای سد بتنی غلطکی نیز قابل استفاده است. هرچند از نظر اقتصادی و روش ساخت غلطکی، سوز با طول تاج زیاد رو بدنه مناسب است. تاج سوز طوری طراحی خواهد شد که تخلیه مناسبی از جریات را بدون ایجاد فشارهای منفی زیاد مهیا کند این تاج می تواند در رویه سراب سد یا عرض تاج باریک یا پایین دست تاج سدهای با عرض تاج بیشتر باشد. تاج اوجی می تواند با بتن معمولی ساخته شود. سه طرح اصلی برای سطح پایاب سوز در سدهای بتن غلطکی بکار می رود که عبارتند از [۶]: ۱- سوز پلکانی از بتن معمولی: ۲- رویه بتن غلطکی روباز بدون قالب بندی: ۳- رویه ای از بتن معمولی هموار و سستی. برای قضاوت در خصوص نوع سوز ابتدا دبی روندیابی شده برای سیلاب با دوره بازگشت هزارساله برای عرض های مختلف سوز محاسبه شد و با در نظر گرفتن ارتفاع موج و بالاروندگی و نیز یک متر ارتفاع آزاد، ارتفاع نهایی سد برای عرض های مختلف محاسبه گردید. با افزایش عرض سوز ارتفاع سد و به پیرو آن هزینه های ساخت آن کاهش می یابد. با توجه به اینکه دره سد گراتی در ترازهای پایین دارای شیب دیواره ای قائم بوده و عرض دره در کف بستر در حدود ۲۰ متر است بنابراین ساخت تاسیسات آرامش برای هر گونه سوز نیازمند هزینه زیادی برای سنگبرداری خواهد بود. از سوی استفاده از عرض های بیش تر از ۷۰ متر و استفاده از سوز پلکانی می تواند راهگشا باشد زیرا با توجه به استهلاک انرژی در روی پلکان ها نیاز به تاسیسات آرامش با حجم کم هست.

در این مرحله از مطالعه با پذیرش وجود رقابت فنی و اقتصادی بین گزینه سوز با رویه صاف بتن معمولی و سوز با رویه پلکانی، همچنین در نظر گرفتن این نکته که قضاوت در بین این دو نیازمند مطالعات دقیقتری نظیر ساخت مدل هیدرولیکی است. در جلسه کارشناسی گروه مهندسی ارزش تصمیم بر این شد که در این مرحله بصورت محافظه کارانه سوز از نوع رویه صاف بتن معمولی به عرض ۷۵ متر در نظر گرفته شود و برآورد هزینه ساخت آن صورت گیرد. مشخصات فنی سوز و حوضچه آرامش در جدول ۹ آمده است. هزینه ریالی اجرای سوز سد بتن غلطکی (برای ساخت اجزا اوجی، دیواره های هادی، حوضچه آرامش، پل سوز ..) ۱۵۲۶۰ میلیون ریال برآورد شد.

جدول ۹- مشخصات فنی سوز و سیستم استهلاک گزینه بتن غلطکی

مقدار	مشخصه	اجزاء
آزاد	نوع سوز	سوز
۵ دهانه ۱۵ متری	تعداد دهانه	
۱۰۴۸ مترمکعب بر ثانیه	ظرفیت تخلیه	
۷۵ متر	طول موثر	
۱۲۴۷	تراز اوجی	
USBR 2	نوع	حوضچه آرامش
۲۴۰۰۰ متر مکعب	حجم سنگبرداری	
۱۱۹۴/۶ متر	رقوم کف	
۳۴۰۰۰ متر مکعب	حجم بتن ریزی	
۵۸ متر	طول حوضچه	
۳/۷ متر	ارتفاع دیواره	

ب-۴) سایر اجزاء (بتن غلطکی): در ادامه برای سایر اجزاء سد شامل ۱- تخلیه کننده تحتانی و حوضچه آبگیر ۲- سیستم آبگیر ۳- شیرخانه انتهایی ۴- تاسیسات برقی ۵- تجهیزات ابزار دقیق ۶- سیستم بهسازی پی، فاز خلاقیت انجام گردید در نهایت در فاز ارزیابی بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده در مرحله مطالعات و گردآوری اطلاعات (۱- فنی اجرایی ۲- اقتصادی ۳- سرعت اجرا) گزینه منتخب و بهینه انتخاب شد. هزینه کل سایر اجزاء ۵۹۹۲۴ میلیون ریال برآورد گردید.

ج- دو گزینه منتخب بتن غلطکی و سنگریزه ای

با توجه به شکل ۱ بعد از انجام مطالعات ارزش روی هریک از دو گزینه سد بصورت مجزا و در ادامه مطالعات مهندسی ارزش به جهت شناسایی گزینه منتخب نهایی پیش خواهد رفت. از آنجا که اطلاعات تقریباً کامل است (تکمیل اطلاعات) و دو گزینه منتخب و اجزاء آنها مشخص شده است (خلاقیت) دو گزینه نهایی را بر اساس معیارهای مود توافق در ادامه ارزیابی شده است.

جدول ۱۰ هزینه های دو گزینه را جهت مقایسه در اجزاء مختلف به همراه مجموع هزینه های منظور شده برای هر گزینه نشان می دهد. هرچند هزینه سیستم انحراف سد سنگریزه ای نسبت به سد بتن غلطکی بالاتر است اما به علت اینکه فراز بند و نشیب بند سد سنگریزه ای ادغام و جزئی از بدنه است این کاهش حجم نه تنها برای سد بتن غلطکی مزیت نشده است بلکه سبب شده است هزینه اضافی ناشی از سریز در سد سنگریزه ای در مقایسه با سد بتن غلطکی نیز جبران شود. اما در مجموع اختلاف هزینه ۲-۳ درصدی بین دو گزینه وجود دارد که با توجه به عدم قطعیت های اجرایی قابل اغماض است لذا معیار اقتصادی نمی تواند گزینه ای را بر دیگری ارجحیت دهد.

جدول ۱۰- مقایسه اقتصادی دو گزینه بتن غلطکی و سنگریزه ای طرح گراتی (میلیون ریال)

نام سازه	سد سنگریزه ای	سد بتن غلطکی
بدنه سد (بدون فراز بند و نشیب بند)	۱۵۰۱۰۰	۱۹۲۱۸۵
سرریز اصلی و سیستم استهلاک کننده *	۴۵۶۴۰	۱۵۲۶۰
فرازبند و نشیب بند	۵۲۲۶۷	۵۷۵۰۴
مجرای انتقال سیستم انحراف	۴۴۵۱۰	۱۷۸۰۴
سیستم آبگیر	۱۰۰۰۰	۵۰۰۰
شیرخانه انتهایی	۱۸۲۵۰	۱۸۲۵۰
حوضچه پایانی آبگیر و تخلیه کننده تحتانی	۷۶۳۳	۵۶۵۲
تأسیسات برقی	۴۲۳۰	۶۳۷۰
هزینه بهسازی پی	۱۱۲۵۱	۱۴۶۵۲
ابزار دقیق	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
مجموع	۳۵۳۸۸۱	۳۳۸۱۷۷

از نظر فنی و اجرایی با توجه به وجود ناپیوستگی هایی (درزه، گسل ها و...) که ممکن است متاثر از آّبگیری دچار جابه جایی های ناپیوسته ای شوند، وجود تجربه و تخصص بیشتر و در نتیجه عدم قطعیت کمتر [۷] از نظر فنی و هم از نظر اجرایی گزینه سنگریزه ای رقابت بین دو گزینه را به سمت گزینه سنگریزه ای سوق می دهد. در نهایت با وجود نوین بودن تکنولوژی ساخت سدهای بتن غلطکی در ایران و لزوم علم اندوزی و تجربه اندوزی بیشتر در این حوزه های نوین، ارزیابی نهایی گروه مطالعات مهندسی برتری گزینه سنگریزه ای نسبت به گزینه بتن غلطکی در این ساختگاه است.

۳- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه مهندسی ارزش به عنوان ابزاری قدرتمند در جهت بهینه سازی و افزایش راندمان پروژه ها برای انتخاب نوع سازه آبی در پروژه سد گراتی استفاده شد. در این مطالعه بر طبق شیوه نامه مهندسی ارزش، گزینه های مختلف سد سنگریزه ای و بتن غلطکی با تمام اجزاء به دقت بطور مجزا مطالعه گردیدند و بعد از انتخاب گزینه نهایی از هر نوع، ارزیابی ارزش بین دو گزینه منتخب سد سنگریزه ای و بتن غلطکی انجام پذیرفت. نتیجه مطالعه نشان داد که علاوه بر اختلاف ناچیز دو گزینه در ارزیابی اقتصادی، از نظر فنی و اجرایی به علل ۱- وجود ناپیوستگی هایی (درزه، گسل ها و...) در محل ساختگاه که ممکن است متاثر از آّبگیری دچار جابه جایی های ناپیوسته ای شوند، ۲- وجود تجربه و تخصص

بیشتر، اجرای گزینه سد سنگریزه ای با عدم قطعیت کاری مواجه خواهد بود. لذا در نهایت گزینه سد سنگریزه ای با هسته رسی بعنوان گزینه منتخب در پروژه سد گرانی توسط تیم مطالعات مهندسی ارزش انتخاب شد.

۴- مراجع

- [۱] ریچارد پارک، مترجمین: سید مرتضی کشفیان ریحانی، مهوش گلشن، صدیقه امینایی (۱۳۸۷)، مهندسی ارزش: طرح و برنامه ریزی برای ابداع، انتشارات جهاد دانشگاهی ۳۹۲ ص.
- [۲] محمد پور رضا، محمد های ذوالنورین، سید عرفان عطری (۱۳۹۲)، آشنایی با مهندسی ارزش، مرجع دانش مهندسی ارزش ایران، ۴۰ ص.
- [۳] بی نام (۱۳۸۴)، مجموعه دستورالعمل های مطالعات مهندسی ارزش در دوره پیش از عملیات اجرا و ساخت، معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۶۲ ص.
- [۴] شرکت مهندسین مشاور آبیوی (۱۳۸۹)، گزارش سیمای طرح گرانی، ۳۸۵ ص.
- [۵] کمیته ملی سدهای بزرگ ایران (۱۳۷۶)، سدهای بتن غلطکی، نشریه شماره ۱۴، ۲۸۳ ص.
- [۶] شکرچی زاده محمد، قاسمی هومن (۱۳۸۱)، بتن غلطکی در سدسازی، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۶۳ ص.
- [۷] میرزائی، محمد و حیدری، زمان (۱۳۹۳)، بررسی روش های اجرا و مقایسه هزینه های سدهای بتن غلطکی و سدهای خاکی، اولین کنگره مهندسی ساخت و ارزیابی پروژه های عمرانی.