

تأثیر مهندسی ارزش با روی داشت به اقتصاد مقاومتی در اجرای طرح سد خاکی ایوشان

مهدی کماسی

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی (ره)*

بهرنگ بیرانوند

دانش آموخته کارشناسی ارشد، آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی (ره)، behrang220@gmail.com

چکیده مهندسی ارزش، تلاشی سازمان یافته است که با هدف بررسی و تحلیل تمام فعالیت‌های یک طرح از زمان شکل‌گیری تفکر اولیه تا مرحله طراحی و اجرا و سپس راه‌اندازی و بهره‌برداری انجام می‌شود و به عنوان یکی از کارآمدترین و مهم‌ترین روش‌های اقتصادی در عرصه فعالیت‌های مهندسی، شناخته شده است. در این بین پروژه‌های سدسازی به دلایلی چون پیچیدگی‌های خاص طراحی و اجراء هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری، حجم بالای منابع مصرفی و اهمیت زمان و هزینه می‌تواند از پتانسیل بالایی برای به‌کارگیری مطالعات مهندسی ارزش برخوردار باشد. هدف از این مقاله پیاده‌سازی مهندسی ارزش در پروژه سد خاکی ایوشان با رویداشت به اقتصاد مقاومتی می‌باشد. مطالعات مهندسی ارزش سد خاکی ایوشان در حین ساخت و به منظور کاهش حجم بدنه سد، کاهش خاکریزی کوله چپ بدنه سد، بهینه‌سازی طرح سرریز، حذف جرثقیل اتاق شیرآلات، بهینه‌سازی و کاهش مسیر انتقال آب بند یکمدره، کاهش طول دستک‌های ورودی سرریز و بهینه‌سازی آرماتورگذاری سازه‌ها انجام گردید و در نهایت منجر به صرفه‌جویی مبلغ ۳۹ میلیارد ریالی و همچنین کاهش زمان اجرای پروژه گردید.

کلمات کلیدی مهندسی ارزش، هزینه، سد خاکی ایوشان، بند یکمدره.

رابطه بین هزینه، وظایف و تحلیل وظایف است. این مطالعه منجر به یافتن راه‌های متفاوت برای دستیابی به هزینه کمتر و ارائه خدمات بیشتر می‌شود. از بین روش‌های متفاوت، باید روشی که دارای کمترین هزینه است، انتخاب گردد (جیمز و همکاران، ۲۰۰۷). در ایران بحث مهندسی ارزش به تدریج از مفهوم صرفاً علمی خارج شده و جایگاه خود را در پروژه‌ها به دست آورده است. با توجه به اینکه تقریباً نیمی از بودجه کشور صرف پروژه‌های عمرانی می‌گردد با به‌کارگیری مهندسی ارزش می‌توان صرفه‌جویی و بهبود قابل توجهی در پروژه‌ها داشت، بنابراین انجام مطالعات مهندسی ارزش در تمامی طرح‌های عمرانی توسط دستگاه‌های اجرایی الزامی می‌باشد. در این بین پروژه‌های سدسازی به دلیل اهمیت استراتژیک و هزینه‌های بالای اجرای آنها، اکثراً جزء پروژه‌های ملی به حساب می‌آیند و به دلایلی چون پیچیدگی‌های خاص طراحی و اجراء حجم بالای سرمایه‌گذاری، حجم بالای منابع مصرفی و اهمیت زمان و هزینه می‌تواند از پتانسیل بالایی برای به‌کارگیری مطالعات مهندسی ارزش برخوردار باشد. طراحی سد و سازه‌های وابسته امری است تخصصی ولی با این حال اغلب اوقات در شرکت‌ها طراحی‌ها به

۱- مقدمه

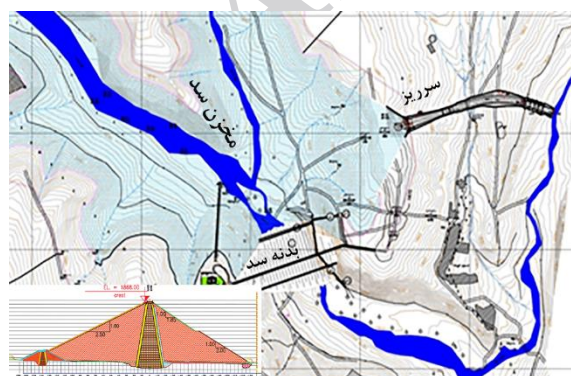
با توجه به خصوصیات پروژه‌های بزرگ نظیر پیچیدگی‌های اجرایی، هزینه، زمان، درگیر بودن دستگاه‌های اجرایی و ... ایده‌های جدید در جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی و کیفیت پروژه برای مدیران بسیار موثر و راهگشا می‌باشد. از طرفی افزایش هزینه‌های اجرایی با گذشت زمان و محدودیت‌های مالی باعث شده تا در دهه‌های اخیر، بهره‌برداری از طرح‌ها با تأخیر انجام شود. بازگشت سرمایه در این پروژه‌های بزرگ نیز به دلیل تأخیر ایجاد شده توجیه اقتصادی طرح را با مشکل جدی مواجه نموده است. مهندسی ارزش یک فن نظام یافته در رویکرد ارزشگرایی است و در چهارچوب مدیریت پروژه، ضمن اینکه به تمام اجزای طرح توجه می‌کند، هیچ بخشی از کار را قطعی و مسلم نمی‌داند. مهندسی ارزش می‌تواند موجب اصلاح و ارتقای کیفیت فرآیندهای تولید صنعتی و انجام طراحی‌های جدید در هر مرحله از یک پروژه اجرایی گردد. اساس مهندسی ارزش، یافتن

* (Corresponding author) komasi@abru.ac.ir

نوبنی در حفاری و اجرای دیوار آبنند بتن پلاستیکی، با توجه به نوع ساختگاه سد از لحاظ زمین‌شناسی و هم چنین امکانات موجود در کارگاه سد اجیلو پاشالو، استفاده نمودند. منیر عباسی و حسنی (۱۳۹۴) با ارزیابی معیارهای مختلف و با در نظر گرفتن مهندسی ارزش در اجرای طرح سد سیکان در نهایت انتخاب سد بتنی غلطکی با سرریز آزاد را به عنوان بهترین گزینه در نظر گرفتند. محمدی و همکاران (۱۳۹۴) با مطالعه روش‌های آبنندی پی سد خاکی گیلانغرب و انتخاب بهترین گزینه با بهره‌گیری از مهندسی ارزش به این نتیجه رسیدند که کاهش ضخامت پرده آبنند تا حد معینی ضمن اینکه تاثیری بر میزان نشت خروجی سد ندارد می‌تواند از هزینه‌ها صرفه‌جویی کند. همچنین سالاری و همکاران (۱۳۹۴) مطالعات مهندسی ارزش را برای انتخاب نوع سد گراتی بین دو گزینه سنگریزه‌ای و بتنی غلطکی تشریح کردند. نتایج آنها نشان داد که با توجه به اختلاف ناچیز هر دو گزینه در هزینه‌های اقتصادی جهت احداث سد، گزینه سد سنگریزه‌ای از نظر فنی و اجرایی نسبت به گزینه بتن غلطکی ارجحیت دارد. جهانشاهی و همکاران (۱۳۹۰)، دولابی و ملازاده (۱۳۹۶) در مطالعاتی جداگانه به بررسی و کاربرد مهندسی ارزش در پروژه‌های سدسازی پرداختند. در این پژوهش با بازنگری در طرح سد مخزنی ایوشان و تاسیسات وابسته در جهت کاهش هزینه‌ها و زمان، اقداماتی انجام گرفته است.

۲- مشخصات سد خاکی ایوشان

سد مخزنی ایوشان در فاصله ۱/۵ کیلومتری بالادست روستای ایوشان گلستان و حدود ۵۷ کیلومتری شهرستان خرم‌آباد در مختصات ۲۸° و ۴۹' و ۴۸° طول شرقی و ۳۱° و ۲۸' عرض شمالی، بر روی رودخانه هرود واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱. جانمایی سد و سرریز خاکی ایوشان

مشخصات بدنه سد ایوشان در قالب جدول ۱ نشان داده شده است.

استانداردهایی محلی تبدیل شده‌اند، زیرا شرکت‌ها سعی در استفاده از تجربه‌های خود در طرح‌های دیگر را در اولویت قرار می‌دهند. با توجه به برقراری این ماهیت در سراسر جهان و احتمال وجود گزینه‌های برتر و بهینه‌تر می‌توان با ارزیابی تخصصی از روش‌های مهندسی ارزش، هزینه‌های غیر ضروری را کاهش داد. تحلیل ارزش به صورت یک روش فنی ویژه، در سال‌های پس از جنگ جهانی دوم صورت گرفت. کار طراحی و تدوین این روش به دستور هنری ارلیچر معاون فنی بخش خریدهای شرکت جنرال الکتریک آغاز شد. به دستور او در داخل شرکت و به منظور ارتقای کارایی تولید از طریق تأمین مواد، مصالح و روش‌های جایگزین برای مواد و مصالح پرهزینه، کوشش همه جانبه‌ای به عمل آمد. در سال ۱۹۴۷ این وظیفه برعهده لاورنس مایلز، مهندس ارشد شرکت جنرال الکتریک نهاده شد. مایلز در مورد روش‌ها و فنون موجود به پژوهش پرداخت و از برخی روش‌های مرسوم به صورت تلفیقی با روش مرحله به مرحله خویش برای تحلیل ارزش بهره گرفت. مایلز که مبتکر و بنیان‌گذار مهندسی ارزش به‌شمار می‌رود، روش "تحلیل ارزش" را اجرا نمود که پس از آن به‌عنوان یک استاندارد در شرکت جنرال الکتریک پذیرفته شد و به تدریج شرکت‌های دیگر و برخی سازمان‌های دولتی نیز از این روش به‌عنوان ابزاری برای کاستن هزینه‌ها استفاده کردند و نتیجتاً روش و تکنیک مهندسی ارزش به وجود آمد. شن و لیو (۲۰۰۳)، در مطالعه‌ای با عنوان فاکتورهای بحرانی موفقیت‌آمیز در مدیریت ارزش در پروژه‌های ساخت و ساز به این نتیجه دست یافتند که مطالعات پروژه‌های ساخت و ساز اغلب با فشار کمبود زمان و منابع محدود روبرو هستند. بنابراین شناسایی عوامل کلیدی مؤثر در مدیریت ارزش این امکان را می‌سازد که با تخصیص زمان مناسب و منابع محدود به خروجی بهتر دست یافت. کاش قندی (۱۳۸۸) در پژوهشی به بررسی فرآیند مهندسی ارزش در سیستم تخلیه سیلاب سد شهریار شامل سرریزها و حوضچه استغراق که منجر به تغییرات عمده‌ای در طرح و کاهش قابل توجه هزینه‌ها گردید، پرداخت. نتایج مهندسی ارزش نشان داد که در فرآیند مهندسی ارزش سیستم تخلیه سیلاب، با کاهش سرعت جریان پرتابه سرریز دریچه‌دار می‌توان با کاهش اثرات تخریبی آن روی حوضچه از پوشش بتنی دیواره حوضچه استغراق صرفنظر کرد. در بررسی‌های آزمایشگاهی مجدد توسط پورمحمدانوریان و اسلامیان (۱۳۹۰)، در معادن سنگ سد گتوند علیا و با در نظر گرفتن مهندسی ارزش در جهت کاهش هزینه‌ها و کیفیت مصالح مشخص شد که می‌توان با اعمال تمهیداتی مبلغ ۲/۵ میلیارد تومان در اجرای پوشش محافظ بالادست (ریپ‌راپ) صرفه‌جویی داشت. در پژوهشی دیگر برنجیان و آزادی (۱۳۹۳) با بررسی دیوار آبنند سد اجیلو پاشالو واقع در استان اردبیل، از شیوه

۱۷/۵ متر با یک پایه میانی به عرض ۱/۵ متر می‌باشد. تراز تاج سرریز در رقوم ۱۸۶۴ متر از سطح دریا جانمایی شده است. در این تراز حجم مخزن ۵۱/۷۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. بر اساس توصیه^۱ USBR دبی سیلابی ۳۷۰ مترمکعب بر ثانیه با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله در نظر گرفته شده است. مشخصات سرریز سد ایوشان به شرح جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات سرریز سد ایوشان

نوع و موقعیت	سرریز آزاد در جناح چپ دریاچه
عرض کف کانال ورودی	۵۰ متر
بار آب طراحی	۲/۶۰ متر
طول سرریز	۳۶/۵ متر
عرض تندآب	به طور متغیر از ۳۶/۵ به ۲۰ متر
اوج سیلاب ورودی	۳۷۰ متر مکعب در ثانیه
اوج سیلاب خروجی	۱۷۵ متر مکعب در ثانیه

۲-۲- بند انحرافی کیکمدره

سیلاب طرح بند انحرافی کیکمدره بر اساس توصیه USBR و اهمیت بند، با دوره بازگشت ۱۰۰ سال و با دبی ۲۰ متر مکعب بر ثانیه انتخاب شده است. مشخصات بند انحرافی کیکمدره به شرح جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. مشخصات بند انحرافی کیکمدره

سیلاب طرح	سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله با دبی پیک ۲۰ مترمکعب بر ثانیه
سرریز	اوجی با شیب وجه بالادست ۱:۳
تراز تاج سرریز	۱۸۷۳/۷۵ متر از سطح دریا
تراز نرمال آب	۱۸۷۳/۷۵ متر از سطح دریا
تراز سیلابی	۱۸۷۴/۵ متر از سطح دریا برای دبی سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ ساله
تراز تاج دیوارهای بند انحرافی	۱۸۷۵ متر از سطح دریا
طول سرریز	۱۵ متر
حوضچه آرامش	تیپ یک USBR
طول حوضچه آرامش	۱۰ متر

جدول ۱. مشخصات بدنه سد ایوشان

نوع سد	خاکی- سنگریزه‌ای با هسته ناتراوا رسی
سطح حوزه آبریز محل سد	۱۲۰ کیلومتر مربع
آورد متوسط سالیانه رودخانه در محل بند انحرافی	۳۹/۲۹ میلیون متر مکعب
آب انتقالی از مسیل کیکمدره	۶ میلیون متر مکعب
رقوم کف رودخانه در عمیق‌ترین بخش	۱۸۰۴ متر ارتفاع از سطح دریا
رقوم تاج سد (بخش خاکی)	۱۸۶۸ متر ارتفاع از سطح دریا
حداکثر ارتفاع از کف رودخانه	۶۴ متر
طول تاج در رقوم ۱۸۶۸ متر	۶۴۰ متر
حداکثر ارتفاع دایک	۸ متر
شیب شیروانی بالادست و پائین‌دست به ترتیب	۱:۲ و ۱:۲/۵
رقوم نرمال بهره‌برداری از سد	۱۸۶۴ متر از سطح دریا
حداقل تراز بهره‌برداری از سد	۱۸۱۶ متر از سطح دریا
حجم مخزن در رقوم نرمال بهره‌برداری	۵۱/۷۵ میلیون مترمکعب
حجم مخزن در حداقل رقوم بهره‌برداری	۱/۵ میلیون مترمکعب
طول دریاچه	۳/۷ کیلومتر
سطح دریاچه	۲۳۰ هکتار
تراز آگیری سد	۱۸۱۶ متر از سطح دریا
حجم تنظیم	۳۵ میلیون مترمکعب

۲-سیستم تخلیه سیلاب

سیستم تخلیه سیلاب سد ایوشان شامل سرریز اصلی و بند انحرافی کیکمدره می‌باشد.

۲-۱- سرریز سد خاکی ایوشان

سرریز سد مخزنی ایوشان در ساحل چپ بر روی سنگ بستر با برداشت نسبتاً قابل توجه مصالح ریز دانه برای مصرف در بدنه سد، با بهره‌گیری از یک خط القعر و نشانیدن آن بر روی سنگ بستر خوب، مقاوم و غیرقابل نفوذ، شامل دو دهانه به طول هر کدام

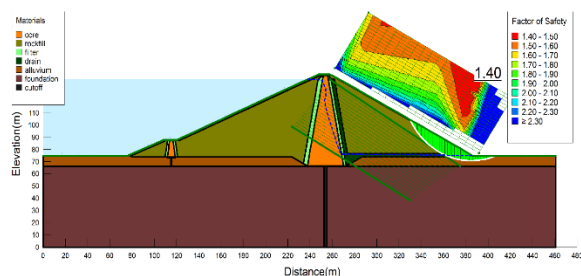
^۱- United States Bureau of Reclamation (۱۹۶۵)

۳-فعالیت‌های مهندسی ارزش سد مخزنی ایوشان

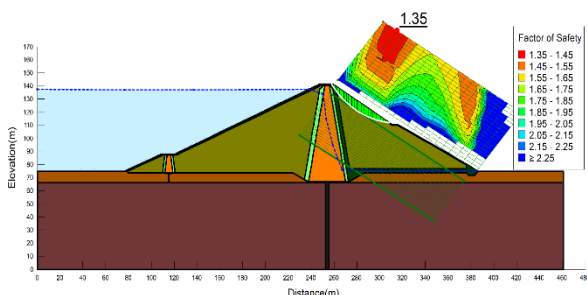
در این پژوهش با توجه به شروع عملیات اجرایی سد مخزنی ایوشان و در حین ساخت مولفه‌های بسیاری از طرح به جهت محدودیت‌های اقتصادی (عدم تخصیص اعتبار مناسب به پروژه‌ها به جهت شرایط تحریم کشور) و زمانی مورد بررسی قرار گرفت. مولفه‌هایی که قابلیت صرفه‌جویی اقتصادی را داشته و البته تاثیر منفی در کیفیت فنی پروژه نداشته باشد. بنابراین به جهت کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان و با توجه به در نظر گرفتن فاکتور ضریب اطمینان در بخش‌های مختلف پروژه بازنگری‌هایی انجام گرفت.

۳-۱- کاهش حجم بدنه سد

در مقطع تیپ بدنه سد مخزنی ایوشان، شیب پایین دست بدنه دارای شیب به ۲ (عمودی به افقی) می‌باشد. با توجه به آنالیز پایداری اولیه انجام شده بدنه دارای ضریب اطمینان نسبتاً بالایی می‌باشد و بنابراین بهینه‌سازی ابعاد بدنه سد با نرم‌افزار Geostudio انجام گردید. به جهت کاهش حجم بدنه و با در نظر گرفتن فاکتور ایمنی، تحلیل نرم‌افزاری بر روی بدنه سد ایوشان انجام شد. نتایج آنالیز نشان می‌دهد که با افزایش شیب از تراز ۱۸۳۸ تا تاج سد (از ۱:۲ به ۱:۱/۸۵) ضریب اطمینان در حالت انتهای ساخت سد از ۱/۴۰ به ۱/۳۵ با در نظر گرفتن شرایط زلزله بیشتر از مقدار استاندارد خواهد بود. در شکل ۲ مقطع تیپ اولیه بدنه سد و در شکل ۳ مقطع تیپ اصلاحی بدنه سد با احداث پله در پایین دست ارائه شده است. نتایج تحلیل‌های پایداری نشان دهنده ضرایب اطمینان قابل پذیرش برای شیب شیروانی‌های بالادست و پایین دست سد خاکی ایوشان می‌باشد به طوری که در کلیه حالات بارگذاری استاتیکی و شبه استاتیکی حداقل ضرایب اطمینان مورد نیاز تامین شده است (جدول ۴). در نهایت با احداث یک برم به عرض ۴/۵ متر در تراز ۱۸۳۸ متر از سطح دریا در پایین دست بدنه و آنالیز و طراحی مجدد بدنه سد و بازنگری و بهینه نمودن ضرایب اطمینان، مقدار ۲۰ هزار مترمکعب از حجم خاکریزی بدنه سد ایوشان کاهش یافت.



شکل ۲. تحلیل پایداری مقطع اولیه سد در مرحله خاتمه سد



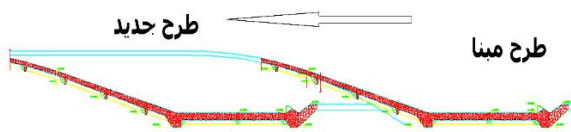
شکل ۳. تحلیل پایداری مقطع اصلاحی (کاهش حجم بدنه) در مرحله خاتمه سد

جدول ۴. مقایسه نتایج پایداری شیروانی سد ایوشان در محدوده مجاز

حالت بارگذاری	شیب مورد تحلیل	محدوده مجاز	نتایج تحلیل
خاتمه ساخت سد	بالادست	۱/۳	بدون زلزله ۱/۴۰ با زلزله ۲/۰۴
	پایین دست	۱/۳	بدون زلزله ۱/۳۵ با زلزله ۱/۹۲
مخزن	بالادست	۱/۳	بدون زلزله ۱/۱۷ با زلزله ۱/۴۳
	پایین دست	۱/۵	بدون زلزله ۱/۴۱ با زلزله ۲/۱۶
مخزن پر	بالا	۱/۵	بدون زلزله ۱/۴۵ با زلزله ۲/۴۴
	پایین دست	۱/۵	بدون زلزله ۱/۴۰ با زلزله ۱/۹۳
وقوع سیلاب حداکثر	بالا	۱/۵	بدون زلزله - با زلزله ۲/۴۹
	پایین دست	۱/۵	بدون زلزله - با زلزله ۱/۸۱

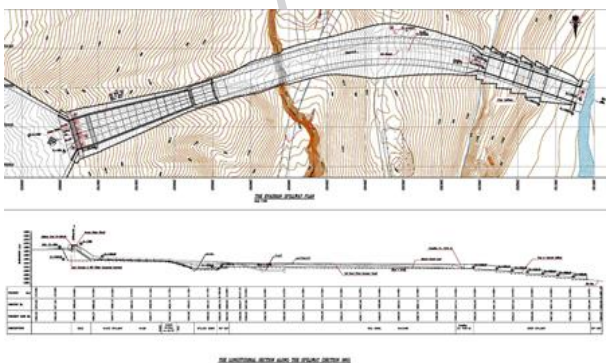
۳-۲- کاهش خاکریزی کوله چپ بدنه سد

بنابراین تغییراتی در خط پروژه طرح ایجاد گردید و در نهایت حوضچه آرامش سرریز ۲/۵۳ متر بالاتر از تراز قبل و از تراز ۱۵۳۶ به تراز ۵۳۸/۵۳ متر از سطح دریا جابجا گردید. همچنین موقعیت حوضچه حدود ۹۰ متر به سمت بدنه جابجا گردید. در این حالت حجم عمده ای از عملیات سنگبرداری و خاکبرداری و عملیات بتن‌ریزی حوضچه آرامش و شوت سرریز کاهش یافت. در شکل ۵ نحوه جابجایی حوضچه آرامش قبل و بعد از مهندسی ارزش نشان داده شده است.



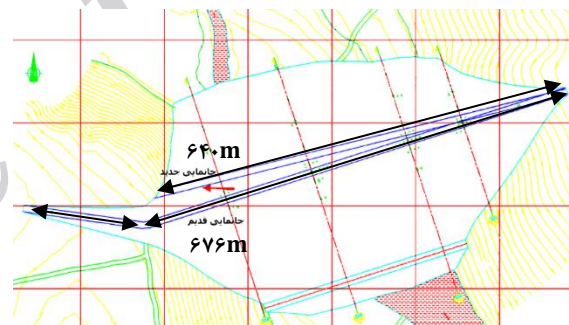
شکل ۵. مسیر جابجایی حوضچه آرامش قبل و بعد از مهندسی ارزش

به دنبال این تغییرات تراز کف کانال خاکی نیز بالاتر آمد و احجام خاکبرداری کاهش یافت. همچنین شیب طولی کانال از ۰/۱ درصد به ۰/۵۴ درصد افزایش یافت که باعث بهینه شدن احجام عملیات خاکی انتقال گردید. در انتها نیز شیب شکن‌های بتنی به شیب شکن‌های خشکه چین تبدیل گردید. زیرا عملکرد سرریز به گونه‌ای است که قطعاً هر سال سیلاب طراحی از روی سرریز عبور نخواهد کرد و بنابراین می‌توان کمی ریسک در پروژه اعمال نمود و همه اجزای طرح را برای سیلاب طراحی احداث نکرد. بنابراین بتن شیب شکن کامل حذف گردید و جهت جلوگیری از آبستگي بستر از ریپ‌رپ استفاده گردید. با تغییرات انجام شده بخش زیادی از عملیات اجرایی سنگبرداری، خاکبرداری، بتن‌ریزی، قالب‌بندی و آرماتورگذاری در سرریز کاهش یافت. در شکل ۶ پلان و پروفیل سرریز اصلاحی ارائه شده است.



شکل ۶. پلان و پروفیل سرریز اصلاحی

پلان خاکریزی بدنه سد مخزنی ایوشان در طراحی اولیه به نحوی است که بدنه می‌بایست با زاویه و طول ۶۷۵ متر به تکیه‌گاه چپ متصل گردد. بنابراین با در نظر گرفتن نتایج حاصل از آزمایش نفوذپذیری لوژن، ۸۶ درصد داده‌ها، دارای مقادیر کمتر از یک لوژن، ۱۰ درصد دارای مقادیر لوژن ۱ تا ۲ و ۴ درصد مقادیر بین ۲ تا ۳ و همچنین وجود کوله‌های کنگلومراتی توده‌های با ضریب استحکام برشی بالا و شیب‌های محور کاملاً پایدار و همچنین امکان لغزش پایین می‌توان با تغییر زاویه، طول تاج سد و حجم خاکریزی بدنه سد را کاهش داد. در نهایت پلان خاکریزی بدنه در جناح چپ مطابق با شکل ۴ اصلاح و اجرا گردید. در این حالت در حدود ۶۶۰۰ مترمکعب عملیات خاکریزی و ۴۵۰۰ مترمکعب عملیات خاکبرداری کاهش یافت. همچنین طول تاج در تراز پایانی به ۶۴۰ متر کاهش یافت.



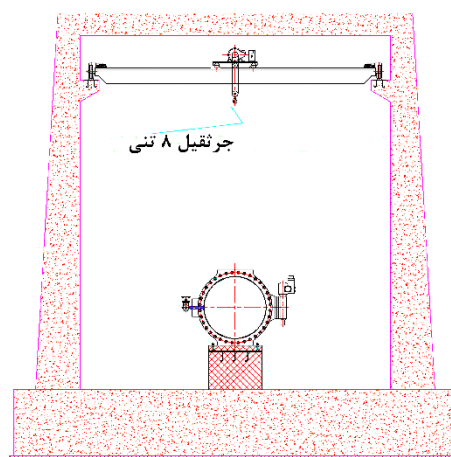
شکل ۴. پلان خاکریزی بدنه در کوله چپ و زاویه بهینه شده خاکریزی

۳-۳- بهینه‌سازی طرح سرریز

سرریز سد مخزنی ایوشان در جناح چپ بدنه و با فاصله مناسب از بدنه تعبیه شده است. سرریز سد مخزنی ایوشان در طرح مینا به صورت یک سرریز ترکیبی طراحی شده است که در ابتدا یک سرریز اوجی به همراه شوت و حوضچه آرامش جانمایی می‌گردد و سپس جریان وارد یک کانال خاکی ذوزنقه‌ای به عرض کف ۲۰ متر و به طول ۲۵۵ متر می‌گردد و در انتهای کانال، جریان به وسیله یک‌سری شیب‌شکن بتنی به رودخانه منتهی می‌گردد. در واقع جهت جلوگیری از فرسایش در پایین‌دست کانال لازم است از حوضچه آرامش جهت استهلاک انرژی استفاده شود. با بررسی کامل طرح و تعیین خط سنگ مسیر سرریز، مشخص گردید که خط سنگ واقعی بالاتر از خط سنگ روی نقشه‌های ابلاغی است.

۳-۴- حذف جرثقیل اتاق شیرآلات

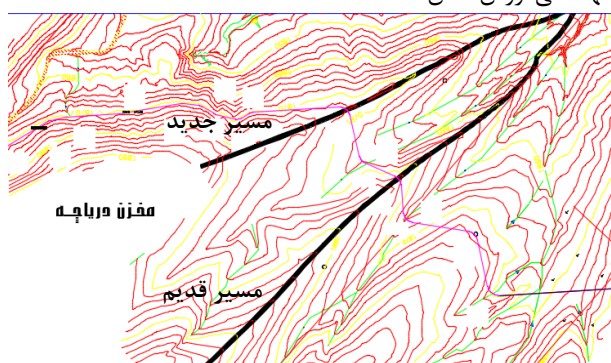
در اتاق شیرآلات پایاب سد مخزنی ایوشان جهت مانور تجهیزات داخل اتاق از جرثقیل سقفی با تمام تجهیزات لحاظ شده بود. این درحالیست که مانور تجهیزات فقط در شرایط خاص و به ندرت انجام می‌گیرد و تمامی شیرآلات در حالت معمول ثابت می‌باشند. بنابراین از نصب یک جرثقیل دائم در اتاق خودداری کرده و جهت مانور تجهیزات از ماشین جرثقیل استفاده شود. بدین صورت که با تعبیه بازشو در داخل سقف و پوشش موقت بر روی آن، تجهیزات با استفاده از جرثقیل از بیرون جابجا گردند. این موضوع باعث صرفه جویی کل قیمت جرثقیل گردید (شکل ۷).



شکل ۷. جرثقیل اتاق شیرآلات سد ایوشان

۳-۶- کاهش طول دستکهای ورودی سرریز

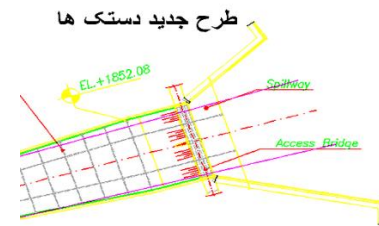
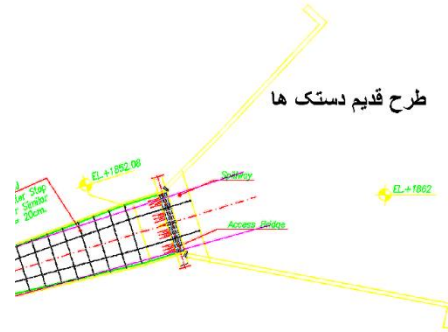
سرریز سد مخزنی ایوشان در جناح چپ سد و در خارج از بدنه سد جانمایی شده است. کانال تقرب سرریز در طرح مبنا به طول ۱۹۰ متر و عرض متغیر ۲۵۰ به ۶۰ متر جانمایی و طراحی شده است. در طرح اولیه ورودی سرریز و در طرفین کانال تقرب، دستک‌ها به صورت دیوار حائل بتن مسلح به ارتفاع ۴ متر در نظر گرفته شده است. طول دستک در جناح چپ کانال تقرب ۲۱۰ متر و در جناح راست کانال تقرب ۲۳۰ متر پیش‌بینی شده است. با بررسی انجام شده و بر اساس عملکرد هیدرولیکی جریان در کانال تقرب و همچنین زمین‌شناسی موقعیت و جنس سنگ تکیه‌گاه‌ها، مشخص شد که می‌توان طول دیوارهای دستک ورودی به سرریز را در هر دو طرف کاهش داد. بنابراین طول دیوار دستک سمت چپ ۵۰ متر و طول دستک سمت راست ۶۰ متر طراحی گردید. به منظور کنترل جریان و جلوگیری از نفوذ آب به پشت دستک‌ها، در انتهای دیوار دستک‌ها با احداث دیواری عمود بر جریان، دستک‌ها به تکیه‌گاه دوخته می‌شود. بر اساس تغییرات انجام شده در حدود ۱۵۰۰ متر مکعب بتن مسلح به همراه آرماتور و قالب‌بندی کاهش یافت. در شکل ۹ طرح اولیه جانمایی دیوارهای دستک ورودی به سرریز و طرح بهینه سازی شده نشان داده شده است.



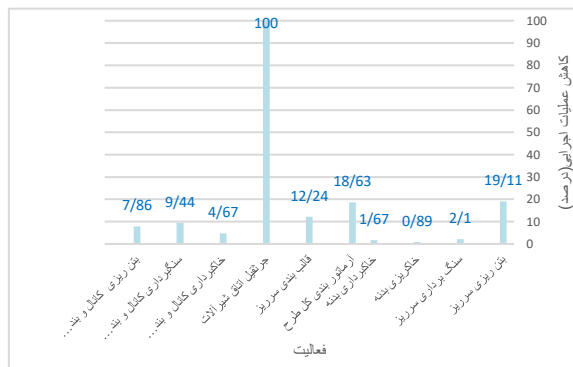
شکل ۸. پلان مسیر کانال انتقال آب از بند کیکمدره به دریاچه سد مخزنی ایوشان

جدول ۵. تاثیر مهندسی ارزش بر عملیات اجرایی سد ایوشان

درصد کاهش	حجم کاهش یافته	حجم اولیه	واحد	فعالیت
۱۹/۱۱	۱۰۲۵۰	۵۳۶۴۲	m ^۳	بتن ریزی سرریز
۲/۱	۳۱۵۰	۱۵۰۰۰۰	m ^۳	سنگ برداری سرریز
۰/۸۹	۲۶۶۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	m ^۳	خاکریزی بدنه
۱/۶۷	۴۵۰۰	۲۷۰۰۰۰	m ^۳	خاکبرداری بدنه
۱۸/۶۳	۶۲۴	۳۳۵۰	تن	آرماتور بندی کل طرح
۱۲/۲۴	۵۱۴۰	۴۲۰۰۰	m ^۲	قالب بندی سرریز
۱۰۰	۱	۱	set	جرتقیل اتاق شیرآلات
۴/۶۷	۳۵۰۰	۷۵۰۰	m ^۲	خاکبرداری کانال و بند انحرافی کیکمدره
۹/۴۴	۸۵۰۰	۹۰۰۰۰	m ^۲	سنگبرداری کانال و بند انحرافی کیکمدره
۷/۸۶	۱۱۰۰	۱۴۰۰۰	m ^۲	بتن ریزی کانال و بند انحرافی کیکمدره



شکل ۹. طرح اولیه و بازبینی شده دیواره‌های دستک ورودی به سرریز



شکل ۱۰. درصد کاهش یافته فعالیت‌های مختلف در اثر مهندسی ارزش

بر اساس مهندسی ارزش اعمال شده در فعالیت‌های مختلف پروژه سد خاکی ایوشان و با توجه به مقادیر کاسته شده از عملیات اجرایی جبهه کارهای مختلف، در نهایت مبلغ ۳۸۹۵۹۴۸۸۹۹۶ میلیون ریال صرفه جویی اقتصادی انجام شد. (جدول ۶). همچنین مدت زمان عملیات اجرایی پروژه نیز کاهش یافت.

۳-۷- بهینه سازی آرماتور گذاری سازه‌ها

هزینه آرماتور و فولاد در پروژه های عمرانی بسیار قابل توجه می‌باشد و بار مالی زیادی را در بر می‌گیرد. بنابراین همیشه سعی بر این بوده است که از اجرای سازه‌های با ضریب اطمینان خیلی بالا در آرماتور گذاری جلوگیری گردد. در طرح سد مخزنی ایوشان نیز سازه‌های متعددی به صورت بتن مسلح اجرا شده است که در تمامی سازه‌ها مطالعه بهینه کردن میزان آرماتورها انجام گردید. به عنوان مثال در تعیین آرماتور گذاری اتاق کنترل از راس از آرماتور حداکثر در طراحی استفاده شده بود که با تعدیل آن حدود ۶ تن میزان آرماتور کاهش یافت. همچنین در خصوص اتاق شیرآلات و بخش‌های متعدد سرریز و ... نیز همین روال انجام گرفت. در نهایت با بازنگری انجام شده میزان قابل توجهی آرماتور کاهش یافت.

۴- تاثیر مهندسی ارزش بر پروژه سد مخزنی ایوشان

درصد فیزیکی کاهش یافته پس از اجرای مهندسی ارزش در سد مخزنی ایوشان در جدول ۵ و شکل ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۶. هزینه‌های کاهش یافته مولفه‌های مطالعات مهندس

ارزش سد مخزنی ایوشان

فعالیت کلی	فعالیت جزئی	واحد	حجم کاهش یافته	کاهش هزینه (ریال)
بتن ریزی سرریز	بتن پرکننده اوجی سرریز به عیار ۲۰۰	مترمکعب	۳۱۵۰	۳.۲۷۵.۵۲۷.۴۵۲
	بتن ریزی سرریز پلکانی	مترمکعب	۴۰۰۰	
	بتن ریزی حوضچه آرامش	مترمکعب	۱۶۰۰	۲.۵۲۴.۹۲۵.۳۰۰
سنگ برداری سرریز	بتن ریزی دستک های ورودی سرریز	مترمکعب	۱۵۰۰	
	سنگ برداری اوجی سرریز	مترمکعب	۳۱۵۰	۵۸۷.۵۹۸.۱۴۳
خاکریزی بدنه	خاکریزی بدنه	مترمکعب	۲۰۰۰۰	۱.۳۰۰.۲۵۲.۰۸۰
	خاکریزی کوله چپ بدنه	مترمکعب	۶۶۰۰	۴۵۵.۰۸۸.۲۲۸
خاکبرداری بدنه	خاکبرداری کوله چپ بدنه	مترمکعب	۴۵۰۰	۱۶۱.۳۸۹.۱۱۶
	آرماتوربندی حوضچه آرامش سرریز	تن	۸۰	
آرماتور بندی کل طرح	آرماتور بندی سرریز پلکانی	تن	۴۰۰	
	کاهش آرماتوربندی سایر بخش های سرریز	تن	۵۰	۷.۸۴۰.۳۰۲.۸۹۹
	کاهش آرماتوربندی ساختمان بهره برداری	تن	۵	
	کاهش آرماتوربندی اتاق شیرالات	تن	۳	
آرماتور بندی قالب بندی سرریز	کاهش آرماتور اتاق کنترل از راس	تن	۶	۱.۲۵۲.۲۸۲.۶۱۹
	آرماتوربندی دستک های ورودی سرریز	تن	۸۰	
	قالب بندی حوضچه آرامش	مترمربع	۷۰۰	
قالب بندی سرریز	قالب بندی سرریز پلکانی	مترمربع	۳۸۰۰	۷۵۴.۹۶۳.۲۰۰
	قالب بندی دستک های ورودی سرریز	مترمربع	۶۴۰	
جرقه اتانق شیرالات	جرقه اتانق شیرالات	دستگاه	۱	۱.۵۱۰.۰۰۰.۰۰۰
	بند انحرافی و کانال انتقال کیکمدر	مترمکعب	۳۵۰۰	۱۲۵.۵۲۴.۸۶۸
	سنگ برداری	مترمکعب	۸۵۰۰	۱.۵۷۷.۷۷۰.۰۰۰
	بتن ریزی	مترمکعب	۱۱۰۰	۸۹۵.۹۴۱.۲۳۵
	جمع (فهرست بهای سد سازی سال ۸۸)			۲۲.۲۶۲.۵۶۵.۱۴۰
	ضریب تعدیل (۰/۷۵)			۱۶.۶۶۶.۹۲۳.۸۵۵
	جمع کل مبالغ			۳۸.۹۵۹.۴۸۸.۹۹۵

مراجع

[۱] James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos, (۲۰۰۷), Harper perennial Library, *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*.
 [۲] Shen, Q. and Liu, G. (۲۰۰۳), *Critical Success Factors for Value Management Studies in Construction*. J. Constr. Eng. Manage., Vol ۱۲۹(۵), PP: ۴۸۵-۴۹۱

[۳] کاش قندی، ع.ا. (۱۳۸۸). مهندسی ارزش در سازه های

هیدرولیکی سد شهریار، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران،

تهران

[۴] پورمحمد انوریان، ح.، اسلامیان، ف. (۱۳۹۰). مهندسی ارزش

برای تعیین نوع ریپ راپ سد گتوند علیا، شرکت مهندسی

مشاور مهتاب قدس، تهران، ایران.

[۵] برنجیان، ج.، آزادی، پ. (۱۳۹۳). مهندسی ارزش در آب بندی

پی سدهای خاکی کوچک و مطالعه موردی آب بندی پی سد

خاکی حاجیلو پاشالو، اولین کنگره ملی ساخت و ارزیابی پروژه

های عمرانی، گرگان.

[۶] منیرعباسی، آ.، حسینی، ع. (۱۳۹۴). پیاده سازی مهندسی ارزش

در اجرای بدنه سدهای خاکی مطالعه موردی سد سیکان دره

شهر ایلام، نشریه مهندسی سازه و ساخت، ۳(۲): ۴۸-۵۶.

[۷] محمدی، م.، محمدی، م. (۱۳۹۴). روش های آبنندی پی

سدهای خاکی و انتخاب بهترین گزینه با بهره گیری از تکنیک

مهندسی ارزش (مطالعه موردی: سد خاکی گیلانغرب، کنگره بین

المللی عمران، معماری و توسعه شهری، ارومیه، ایران.

[۸] سالاری، م.، بلوری بزاز، ج.، اخترپور، ع. (۱۳۹۴). کاربرد

مهندسی ارزش در انتخاب نوع سازه آبی (نمونه موردی): سد

ذخیره ای گراتی اسفراین، کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران.

[۹] جهانشاهی، ن.، شعبانی، ص.، مسدانی، م. (۱۳۹۰). پنجمین

کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک

کشور، تهران.

[۱۰] دولابی، ف.، ملازاده، م. (۱۳۹۶). مهندسی ارزش و کارآمدی

آن در پروژه های آبی، دومین کنفرانس مهندسی عمران، معماری

و مدیریت بحران، تهران.

۵- نتیجه گیری

امکانات بالقوه کاربرد تحلیل ارزش در اجرای سازه‌ها و خصوصاً سدسازی فراوان است و بی شک با توجه به مزایای استفاده از مهندسی ارزش در اجرای پروژه‌ها و توانایی بالقوه آن در کاهش هزینه‌ها و با توجه به محدودیت منابع مالی (عدم تخصیص اعتبار کافی به پروژه‌ها در شرایط تحریم کشور) برای اجرای پروژه‌ها، این فن آوری و زمینه‌های اجرای آن باید در مصدر وظایف مسئولین امر قرار گیرد. نتایج به کارگیری مهندسی ارزش در مولفه‌های مختلف سد ایوشان ضمن کاهش بار مالی از لحاظ صرفه جویی در زمان نیز مثبت بوده و تغییر یا حذف هر کدام از مولفه‌ها پس از بهره برداری از سد نیز هیچگونه خلی به وجود نمی‌آورد. در مدل سازی انجام گرفته با نرم افزار Geostudio ضمن کاهش حجم بدنه (حجم خاکریزی) تأثیری در نتایج به دست آمده بر پایداری سد مشاهده نگردید. نتایج به دست آمده از مهندسی ارزش انجام شده در سد مخزنی ایوشان کاهش درصد فیزیکی چشم گیری از پروژه را نشان می‌دهد. با مطالعات ارزش انجام گرفته و اتمام ساخت سد در مجموع مبلغ ۳۸۹۵۹۴۸۸۹۹۵ ریال صرفه جویی مالی انجام گردید.