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

مهدی کماسی

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

بهرنگ بیرانوند

دانش آموخته کارشناسی ارشد، آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آیت‌الله العظمی بروجردی(ره)، behrang۲۲۰@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 شده‌است. در این بین پروژه‌های سدسازی به دلایلی چون پیچیدگی‌های خاص طراحی و اجرا، 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 درحین ساخت و به منظورکاهش حجم بدنه سد، کاهش خاکریزی کوله چپ بدنه سد، بهینه‌سازی طرح سرریز، حذف جرثقیل اتاق شیرآلات، بهینه‌سازی و کاهش مسیر انتقال آب بند کیکمدره، 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 کیکمدره.

۱- مقدمه

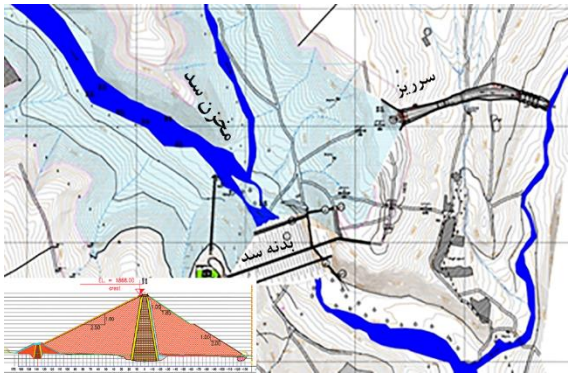
با توجه به خصوصیات پروژه‌های بزرگ نظیر پیچیدگی‌های اجرایی، هزینه، زمان، درگیر بودن دستگاه‌های اجرایی و ... ایده‌های جدید در جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی و کیفیت پروژه برای مدیران بسیار موثر و راهگشا می‌باشد. از طرفی افزایش هزینه‌های اجرایی با گذشت زمان و محدودیت‌های مالی باعث شده تا در دهه‌های اخیر، 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 رابطهٔ بین هزینه، وظایف و تحلیل وظایف است. این مطالعه منجر به یافتن راه‌های متفاوت برای دستیابی به هزینهٔ کمتر و ارائهٔ 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 به‌دست 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

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

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 به‌صورت 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 جنرال‌الکتریک 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 سال۱۹۴۷این وظیفه برعهده لاورنس مایلز، مهندس ارشد شرکت جنرال‌الکتریک نهاده شد. مایلز در مورد روش‌ها و فنون موجود به پژوهش پرداخت و از برخی روش‌های مرسوم به‌صورت 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 جنرال‌الکتریک 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)، درمطالعه‌ای 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 آببند سد اجیلو پاشالو واقع در استان اردبیل، از شیوه نوینی در حفاری و اجرای دیوار آببند 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 آببندی پی سد خاکی گیلانغرب و انتخاب بهترین گزینه با بهره‌گیری از مهندسی ارزش به این نتیجه رسیدند که کاهش ضخامت پرده آببند 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 سنگریزه ای 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″۲و ′۴۹و°۴۸طول شرقی‌و ″۳۱و ′۲۸و°۳۳عرض شمالی، بر روی رودخانه هرود واقع شده است(شکل۱).



شکل۱. جانمایی سد و سریز خاکی ایوشان

مشخصات بدنه سد ایوشان در قالب جدول۱ نشان داده شده است.

جدول۱. مشخصات بدنه سد ایوشان

نوع سد	خاکی- سنگریزه‌ای با هسته ناتراوا رسی
سطح حوزه آبریز محل سد	۱۲۰کیلومتر مربع
آورد متوسط سالیانه رودخانه در محل بند انحرافی	۳۹/۲۹ میلیون متر مکعب
آب انتقالی از مسیل کیکم‌در	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 به‌ترتیب	۱: ۲/۵ و ۱: ۲
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 آبگیری 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 نشاندن آن بر روی سنگ بستر خوب، مقاوم و غیرقابل نفوذ، شامل دو دهانه به طول هر کدام 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 مخزن۵۱/۷۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. بر اساس توصیه[۱]USBR دبی سیلابی۳۷۰ 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.

جدول۲. 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 جدول۳ نشان داده شده است.

جدول۳. 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 ۳: ۱
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

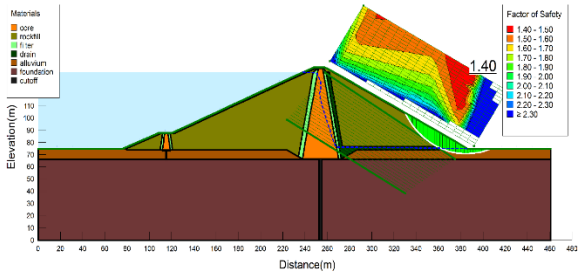
[۱]- United States Bureau of Reclamation(۱۹۶۵)

۳-فعالیت‌های مهندسی ارزش سد مخزنی ایوشان

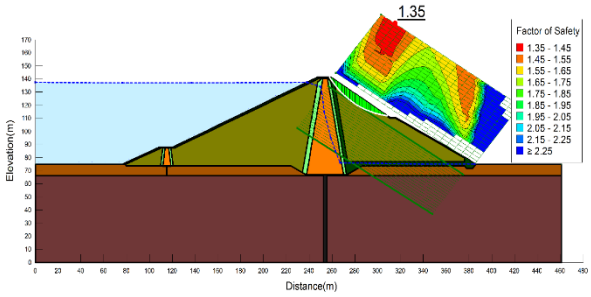
در این پژوهش با توجه به شروع عملیات اجرایی سد مخزنی ایوشان و در حین ساخت مولفه‌های بسیاری از طرح به جهت محدودیت‌های اقتصادی(عدم تخصیص اعتبار مناسب به پروژه‌ها به جهت شرایط تحریم کشور) و زمانی مورد بررسی قرار گرفت. مولفه‌هایی که قابلیت صرفه‌جویی اقتصادی را داشته و البته تاثیر منفی در کیفیت فنی پروژه نداشته 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 ۱به۲ (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 تراز۱۸۳۸ تا تاج سد (از۱:۲ 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 شکل۲ مقطع تیپ اولیه بدنه سد و در شکل۳ 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 طوریکه در کلیه حالات بارگذاری استاتیکی و شبه استاتیکی حداقل ضرایب اطمینان مورد نیاز تامین شده است (جدول۴). در نهایت با احداث یک برم به عرض ۴/۵ متر در تراز ۱۸۳۸ متر از سطح دریا در پائین دست بدنه و آنالیز و طراحی مجدد بدنه سد و بازنگری و بهینه نمودن ضرایب اطمینان، مقدار۲۰ هزار مترمکعب از حجم خاکریزی بدنه سد ایوشان کاهش یافت.



شکل۲. تحلیل پایداری مقطع اولیه سد در مرحله خاتمه سد



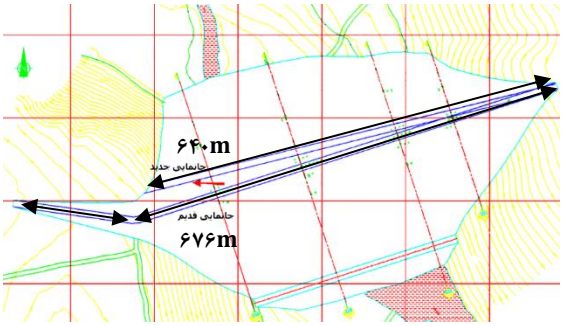
شکل۳. تحلیل پایداری مقطع اصلاحی(کاهش حجم بدنه) در مرحله خاتمه سد

جدول۴. مقایسه نتایج پایداری شیروانی سد ایوشان در محدوده مجاز

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

۳-۲-کاهش خاکریزی کوله چپ بدنه سد

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 کنگلومرائی 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 شکل۴ 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.

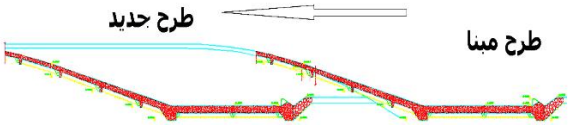


شکل۴. پلان خاکریزی بدنه در کوله چپ و زاویه بهینه شده خاکریزی

۳-۳-بهینه‌سازی طرح سرریز

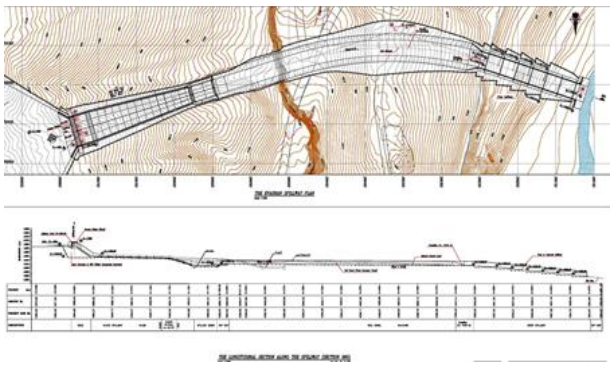
سرریز سد مخزنی ایوشان در جناح چپ بدنه و با فاصله مناسب از بدنه تعبیه شده است. سرریز سد مخزنی ایوشان در طرح مبنا به صورت یک سرریز ترکیبی طراحی شده است که در ابتدا یک سرریز اوجی به همراه شوت و حوضچه آرامش جانمایی می‌گردد و سپس جریان وارد یک کانال خاکی ذوزنقه‌ای به عرض کف ۲۰ متر و به طول ۲۵۵ متر می‌گردد 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 نقشه های ابلاغی است.

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 شکل۵ نحوه جابجایی حوضچه آرامش قبل و بعد از مهندسی ارزش نشان داده شده است.



شکل۵. مسیر جابجایی حوضچه آرامش قبل و بعد از مهندسی ارزش

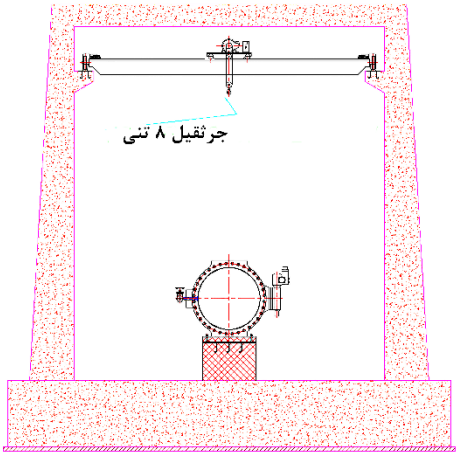
به دنبال این تغییرات تراز کف کانال خاکی نیز بالاتر آمد و احجام خاکبرداری کاهش یافت. همچنین شیب طولی کانال از ۰/۱درصد به ۰/۵۴ درصد افزایش یافت که باعث بهینه شدن احجام عملیات خاکی کانال انتقال گردید. در انتها نیز شیب شکن‌های بتنی به شیب شکن‌های خشکه چین تبدیل گردید. زیرا عملکرد سرریز به گونه‌ای است که 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 آبشستگی بستر از ریپ رپ استفاده گردید. با تغییرات انجام شده بخش زیادی از عملیات اجرایی سنگبرداری، خاکبرداری، بتن‌ریزی، قالب‌بندی و آرماتورگذاری در سرریز کاهش یافت. در شکل۶ پلان و پروفیل سرریز اصلاحی ارائه شده است.



شکل۶. پلان و پروفیل سرریز اصلاحی

۳-۴-حذف جرثقیل اتاق شیرآلات

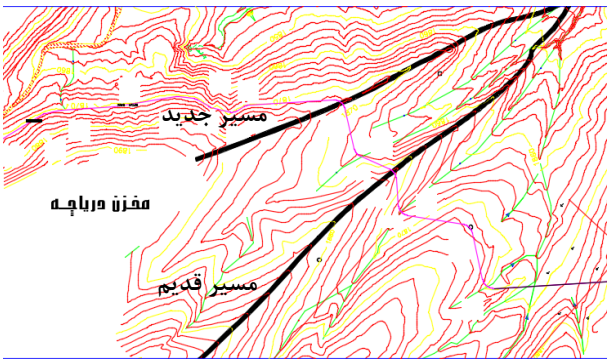
در اتاق شیرآلات پایاب سد مخزنی ایوشان جهت مانور تجهیزات داخل اتاق از جرثقیل سقفی با تمام تجهیزات لحاظ شده بود. این درحالیست که مانور تجهیزات فقط در شرایط خاص و به ندرت انجام می‌گیرد و تمامی شیرآلات در حالت معمول ثابت می‌باشند. بنابراین از نصب یک جرثقیل دائم در اتاق خودداری کرده و جهت مانور تجهیزات از 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 (شکل۷).



شکل۷. جرثقیل اتاق شیرآلات سد ایوشان

۳-۵- بهینه سازی مسیر انتقال کیکمدره

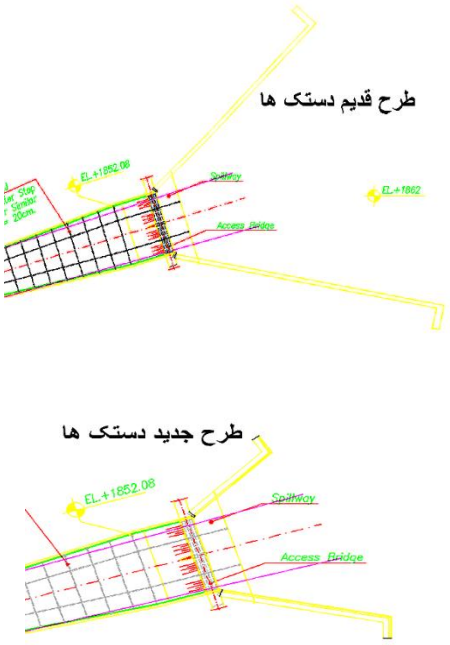
بند انحرافی کیکمدره جریان رودخانه کیکمدره در مجاورت سد را از طریق مسیر انتقال با دبی ۵۰۰ لیتر بر ثانیه به داخل مخزن منتقل می‌کند. در طرح مبنا، کل مسیر انتقال به صورت کانال بتنی مستطیلی روباز به ابعاد یک در یک متر و در مسیر بسیار صعب العبور طراحی شده است به گونه‌ای که احجام عملیات خاکبرداری و خاکریزی بسیار زیاد می‌باشد. بنابراین بهینه سازی طرح در دستور کار قرار گرفت. ابتدا از کل منطقه بازدید و تمامی گزینه‌های قابل بررسی مشخص گردید و در نهایت مسیر خط انتقال با در نظر گرفتن کاهش طول مسیر انتقال به عنوان گزینه اصلی، تغییر داده شد. همچنین به جهت بار مالی زیاد تملیک اراضی از جاده موجود مالرو در منطقه به منظور عبور خط انتقال استفاده گردید که باعث کاهش احجام عملیات اجرایی(عدم نیاز به تسطیح و رگلاژ) نیز گردید. به نحوی که طول مسیر انتقال از ۳۰۰۰ متر به ۲۲۰۰ متر کاهش یافت. در مطالعات ارزش انجام شده طول مسیر شبکه انتقال از بند کیکمدره تا جاده مالرو ۱۱۶۰ متر به صورت کانال بتنی به ابعاد ۱×۱ متر در نظر گرفته شده است. همچنین کل مسیر جاده مالرو به صورت لوله فولادی به طول ۱۰۴۰ متر و قطر ۸۰۰ میلیمتر لحاظ گردید. در نهایت مسیر لوله پس از عبور از روی کانال پایاب سرریز و در مجاورت جاده‌های موجود به مخزن سد متصل می‌گردد. در شکل۸ پلان نهایی مسیر انتقال از بند انحرافی کیکمدره به مخزن سد ایوشان بعد از مهندسی ارزش نشان داده شده است.



شکل۸. پلان مسیر کانال انتقال آب از بند کیکمدره به دریاچه سد مخزنی ایوشان

۳-۶-کاهش طول دستکهای ورودی سرریز

سرریز سد مخزنی ایوشان در جناح چپ سد ودر 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 شکل۹ طرح اولیه جانمایی دیوارهای دستک ورودی به سرریز و طرح بهینه سازی شده نشان داده شده است.



شکل۹. طرح اولیه و بازبینی شده دیواره‌های دستک ورودی به سرریز

۳-۷- بهینه سازی آرماتورگذاری سازه‌ها

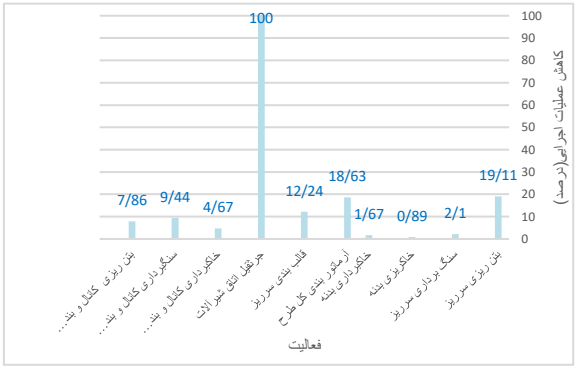
هزینه آرماتور و فولاد در پروژه های عمرانی بسیار قابل توجه می‌باشد و بار مالی زیادی را در بر می‌گیرد. بنابراین همیشه سعی بر این بوده است که از اجرای سازه‌های با ضریب اطمینان خیلی بالا در آرماتورگذاری جلوگیری گردد. در طرح سد مخزنی ایوشان نیز سازه‌های متعددی به صورت بتن مسلح اجرا شده است که در تمامی سازه‌ها مطالعه بهینه کردن میزان آرماتورها انجام گردید. به عنوان مثال در تعیین آرماتورگذاری 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 جدول۵ و شکل ۱۰ نشان داده شده است.

جدول۵. تاثیر مهندسی ارزش بر عملیات اجرایی سد ایوشان

فعالیت	واحد	احجام اولیه	احجام کاهش یافته	درصد کاهش
بتن ریزی سرریز	m^3	۵۳۶۴۲	۱۰۲۵۰	۱۹/۱۱
سنگ برداری سرریز	m^3	۱۵۰۰۰۰	۳۱۵۰	۲/۱
خاکریزی بدنه	m^3	۳۰۰۰۰۰۰	۲۶۶۰۰	۰/۸۹
خاکبرداری بدنه	m^3	۲۷۰۰۰۰	۴۵۰۰	۱/۶۷
آرماتور بندی کل طرح	تن	۳۳۵۰	۶۲۴	۱۸/۶۳
قالب بندی سرریز	m^3	۴۲۰۰۰	۵۱۴۰	۱۲/۲۴
جرثقیل اتاق شیرآلات	set	۱	۱	۱۰۰
خاکبرداری کانال و بند انحرافی کیکمدره	m^3	۷۵۰۰	۳۵۰۰	۴/۶۷
سنگبرداری کانال و بند انحرافی کیکمدره	m^3	۹۰۰۰۰	۸۵۰۰	۹/۴۴
بتن ریزی کانال و بند انحرافی کیکمدره	m^3	۱۴۰۰۰	۱۱۰۰	۷/۸۶



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

براساس 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.(جدول۶). همچنین مدت زمان عملیات اجرایی پروژه نیز کاهش یافت.

جدول۶. 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
	بتن ریزی دستک های ورودی سرریز	مترمکعب	۱۵۰۰	
سنگ برداری سرریز	سنگ برداری اوجی سرریز	مترمکعب	۳۱۵۰	۵۸۷.۵۹۸.۱۴۳
خاکریزی بدنه	خاکریز 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
آرماتور بندی کل طرح	آرماتوربندی حوضچه آرامش سرریز	تن	۸۰	۷.۸۴۰.۳۰۲.۸۹۹
	آرماتور بندی سرریز پلکانی	تن	۴۰۰	
	کاهش آرماتوربندی سایر بخش های سرریز	تن	۵۰	
	کاهش آرماتوربندی ساختمان بهره برداری	تن	۵	
	کاهش آرماتوربندی اتاق شیرآلات	تن	۳	
	کاهش آرماتور اتاق کنترل از راس	تن	۶	۱.۲۵۳.۲۸۲.۶۱۹
	آرماتوربندی دستک های ورودی سرریز	تن	۸۰	
قالب بندی سرریز	قالب بندی حوضچه آرامش	مترمربع	۷۰۰	۷۵۴.۹۶۳.۲۰۰
	قالبندی سرریز پلکانی	مترمربع	۳۸۰۰	
	قالب بندی دستک های ورودی سرریز	مترمربع	۶۴۰	
جرثقیل اتاق شیرآلات	جرثقیل اتاق شیرآلات	دستگاه	۱	۱.۵۱۰.۰۰۰.۰۰۰
بند انحرافی و کانال انتقال کیکمدر	خاکبرداری	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 سال۸۸)				۲۲.۲۶۲.۵۶۵.۱۴۰
ضریب تعدیل(۰/۷۵)				۱۶.۶۹۶.۹۲۳.۸۵۵
جمع کل مبالغ				**۳۸.۹۵۹.۴۸۸.۹۹۵**

۵-نتیجه گیری

امکانات بالقوه کاربرد تحلیل ارزش دراجـــــرای سازه‌ها و خصوصاً سدسازی فراوان است و بی‌شک بـا توجه به مزایای استفـــاده از مهندسی ارزش در اجرای پروژه‌ها و توانایی بالقوهٔ آن درکاهش هزینه‌ها و با توجه به محدودیت منابع مالی(عدم تخصیص اعتبار کافی به پروژه‌ها در شرایط تحریم کشور) بـــرای اجرای پروژه‌ها، این فن‌آوری و زمینه‌های اجرای آن باید در مصدر وظایف مسئولین امـــر قرار گیرد. نتایج به‌کارگیری مهندسی ارزش در مولفه‌های مختلف سد ایوشان ضمن کاهش بار مالی از لحاظ صرفه‌جویی در زمان نیز مثبت بوده و تغییر یا حذف هر کدام از مولفه‌ها پس از بهره‌برداری از سد نیز هیچگونه خللی به وجود نمی‌آورد. در مدل‌سازی انجام گرفته با نرم‌افزارGeostudio ضمن کاهش حجم بدنه(حجم خاکریزی) تاثیری در نتایج به دست آمده بر پایداری سد مشاهده نگردید. نتایج به‌دست آمده از مهندسی ارزش انجام شده در سد مخزنی ایوشان کاهش درصد فیزیکی چشم‌گیری از پروژه را نشان می‌دهد. با مطالعات ارزش انجام گرفته و اتمام ساخت سد در مجموع مبلغ ۳۸۹۵۹۴۸۸۹۹۵ ریال صرفه جویی مالی انجام گردید.

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:٤٨٥_٤٩١

[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 مهاب 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.،حسنی،ع.(۱۳۹۴). پیاده‌سازی 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). روش‌های آببندی پی سدهای خاکی و انتخاب بهترین گزینه با بهره‌گیری 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 ذخیره‌ای گراتی اسفراین، کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران.

[۹]جهانشاهی، ن.، شعبانی،ص.، مسندانی،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 پروژه‌های آبی، دومین کنفرانس مهندسی عمران، معماری و مدیریت بحران، تهران.