

تاثیر انتخاب روش ساخت بر زمان و هزینه‌های پوشش بتنی شفت‌های زیر زمینی

حسین خسروپورا^۱

^۱ کارشناس ارشد مهندسی عمران- عضو تیم مدیریت پروژه و مدیر فنی پروژه سد گتوند علیا-گروه اجرایی سپاسد
hsn.khosropour@gmail.com

روش ساخت پروژه یکی از شاخص‌ترین عوامل تاثیر گذار بر حوزه‌های مدیریت زمان، هزینه، کیفیت، تدارکات، ریسک، ایمنی، محیط زیست و ادعا در یک پروژه می‌باشند لذا انتخاب روش ساخت مناسب می‌تواند دستیابی به اهداف پروژه را تضمین نماید. در این پژوهش روش اجرای پوشش بتنی گیت شفت‌های زیر زمینی سازه آبگیر نیروگاه سد گتوند علیا مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به تجربیات کسب شده در این پروژه عظیم روش بهینه اجرا در سازه‌های مشابه پیشنهاد شده است.

با توجه به استفاده همزمان از دو روش قالب‌های جهشی و قالب لغزان در اجرای پوشش بتنی گیت شفت‌های پیش ذکر شده، دو روش اجرای فوق از لحاظ سرعت، کیفیت، هزینه اجرا و نرخ پیشروی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نرخ پیشروی قالب‌های لغزان در این نوع شفت حدود ۳,۷ برابر قالب‌های جهشی می‌باشد در حالی که در شرایط یکسان هزینه‌های استفاده از قالب لغزان حدود ۱۱ درصد کمتر از قالب جهشی است. با توجه به تجارب کسب شده در این پروژه نمودار برای محاسبه هزینه اجرای هر متر مکعب بتن‌ریزی شفت در ارتفاع‌های متغیر رسم شد که بر اساس آن مشخص گردید در صورتی ارتفاع شفت بیش از ۲۰ متر باشد، استفاده از روش قالب لغزان در اجرای پوشش بتنی در هر صورت بهینه‌ترین روش می‌باشد. به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت در یک پروژه حوزه‌های مدیریت زمان، هزینه، کیفیت، تدارکات، ریسک، ایمنی، محیط زیست و ادعا در ارتباط مستقیم با روش و تکنولوژی اجرای آن می‌باشد و هرچه انتخاب روش و تکنولوژی اجرا با دقت بیشتری انجام پذیرد مدیریت حوزه‌های مختلف پروژه با سهولت بیشتری انجام خواهد پذیرفت.

واژه‌های کلیدی: روش ساخت بهینه، شفت، پوشش بتنی، قالب‌بندی، زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی،

مقدمه

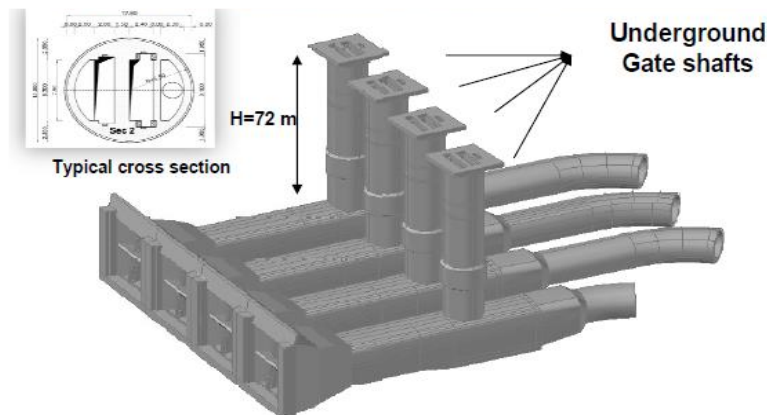
ثبت تجربیات کسب شده در یک پروژه و تحلیل و تبدیل آنها به یک ابزار کمکی جهت استفاده در پروژه‌های مشابه یکی از ساده و کم هزینه‌ترین روش‌هایی است که می‌تواند در انجام بهینه پروژه‌ها نقش بسزایی داشته باشد. از این رو نگارنده سعی بر این این نموده است با نگاهی تحلیلی به موضوع پژوهش، روش بهینه‌ای را جهت استفاده در پروژه‌های مشابه پیشنهاد نماید. لازم به ذکر است هدف اصلی نگارنده از این پژوهش ارائه یک روش تصمیم‌گیری برای دست‌اندرکاران و گروه مدیریت پروژه می‌باشد از این رو به مسائل و موارد اجرایی و تحلیل عملکردی نسبت به موارد فنی و تخصصی توجه بیشتری شده است.

روش ساخت پروژه یکی از شاخص‌ترین عوامل تاثیر گذار بر حوزه‌های مدیریت زمان، هزینه، کیفیت، تدارکات، ریسک، ایمنی، محیط زیست و ادعا در یک پروژه می‌باشند لذا انتخاب روش ساخت مناسب می‌تواند دستیابی به اهداف پروژه را تضمین نماید. یکی از اصلی‌ترین مباحث مهندسی طرح می‌باشد که قبل از شروع عملیات اجرایی توسط پیمانکار تهیه می‌گردد. سازه‌های بتنی یکی از بخش‌های اصلی سد و نیروگاه‌های برق‌آبریزا تشکیل می‌دهند. با توجه به اینکه ساخت این نوع سازه‌ها یکی از گرانترین فعالیت‌ها محسوب می‌گردد لذا قبل از شروع اجرای این سازه‌ها لازم است که برنامه‌ریزی دقیق در خصوص نحوه اجرای آنها صورت پذیرد و سازمان و روش اجرای سازه به کامل‌ترین صورت ممکن تهیه گردد به گونه‌ای که واقع بینانه باشد و در آن ریسک‌های پیمانکار در سه حوزه‌های مختلف مدیریت پروژه به حداقل برسد.

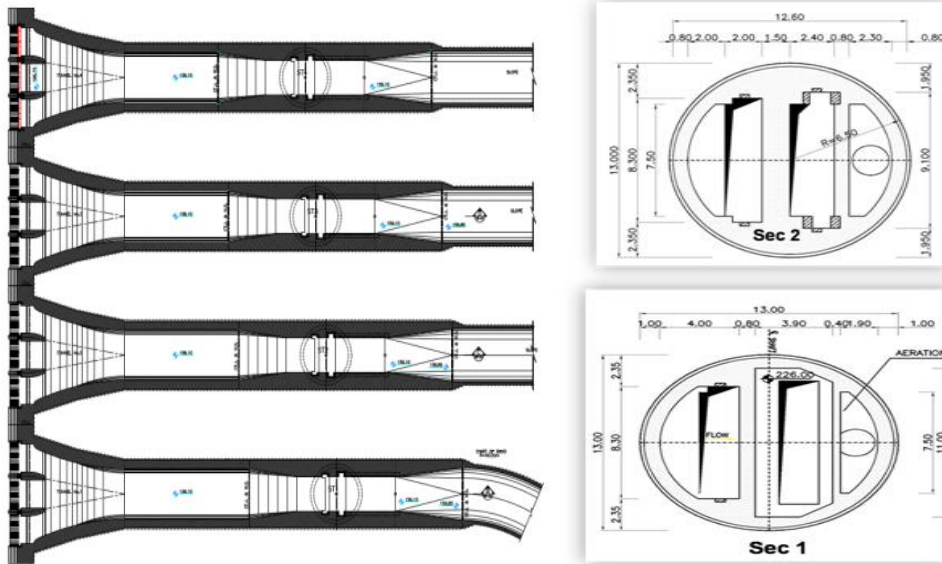
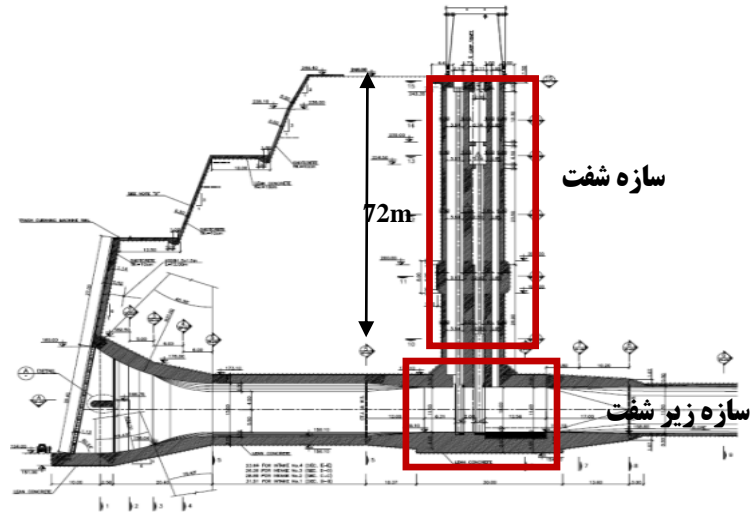
در این پژوهش روش اجرای پوشش بتنی گیت شفت‌های زیر زمینی سازه آبرگیر نیروگاه سد گتوند علیا که یکی از بزرگترین پروژه‌های زیربنایی (عمرانی) تاریخ ایران می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته است و با توجه به استفاده همزمان از دو روش اجرای متفاوت (قالب‌های جهشی و لغزان) در اجرای پوشش بتنی گیت شفت‌های سازه آبرگیر نیروگاه این سد، دو روش اجرای فوق از لحاظ سرعت، کیفیت، هزینه اجرا و نرخ پیشروی مورد مقایسه قرار گرفته اند و تاثیر هر یک از روش‌های اجرای فوق بر روند پروژه مشخص شده است و در نهایت با توجه به تجربیات کسب شده در این پروژه عظیم روش بهینه اجرا در سازه‌های مشابه پیشنهاد شده است.

۱- مشخصات گیت شفت‌های سازه آبرگیر نیروگاه سد گتوند [۱]

سد گتوند علیا بلندترین سد سنگریزه‌ای ایران به ارتفاع ۱۸۲ متر و بر روی رودخانه کارون در جنوب غربی ایران و در خوزستان ساخته شده است. مهمترین کاربرد این سد تولید انرژی برقایی با نیروگاهی به ظرفیت ۲۰۰۰ مگاوات است و به علاوه بر آن وظیفه تنظیم آب و آبیاری پایین دست و کنترل سیلاب‌های مخرب رودخانه کارون را به عهده دارد. سازه آبرگیر نیروگاه این سد دارای ۴ عدد گیت شفت می‌باشد بزرگترین سازه آبرگیر سدهای برقایی کشور می‌باشد. ارتفاع سازه گیت شفت از تراز سازه تکیه گاه ۷۳ متر (از تراز ۱۷۳ تا تراز ۲۴۶) می‌باشد و حجم بتن‌ریزی هر یک از آنها در حدود ۵۶۰۰ متر مکعب می‌باشد است. سطح مقطع هر یک از گیت شفت‌ها در ترازهای ۲۰۱ و ۲۲۴٫۵ تغییر می‌کند و سطح مقطع گیت شفت‌ها دارای سه باز شو می‌باشند. قطر حفاری سرچ شفت‌ها ۱۳ متر و قطر تمام شده پس از اجرای پوشش بتنی ۱۱ متر می‌باشد. نمای کلی سد و سازه گیت شفت در شکل‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است.



شکل (۱):نمایی از سازه آبرگیر نیروگاه سد گتوند علیا



شکل (۲): مقاطع افقی و عمودی سازه آبگیر سد گتوند علیا

۲- برنامه زمانبندی و محدودیت‌های زمانی اجرای پوشش بتنی گیت شفت‌ها [۲]

سازه گیت شفت یکی از مهمترین بخش‌های سازه آبگیر و سیستم آبرسان نیروگاه در سدها می‌باشد که در اجرای آن بخش‌های سازه و تجهیزات دخیل می‌باشند. و از طرفی برای شروع آگیری سد، عملیات اجرایی سازه آبگیر تا گیت شفت‌های باید به اتمام برسد. از این رو با توجه به برنامه زمانبندی طرح و پس از اتمام حفاری‌های گیت شفت، عملیات اجرای سازه آن باید در یک بازه زمانی ۸ ماه به اتمام می‌رسید تا این بخش جهت نصب تجهیزات هیدرومکانیکال به بخش تجهیزات تحویل می‌گردد. لذا جهت تحقق برنامه زمانبندی و اتمام اجرای پوشش بتنی گیت شفت‌ها در این بازه محدود، لازم بود که برنامه‌ریزی دقیق و پیش-بینی‌های لازم صورت پذیرد. با توجه اهمیت بسیار محدودیت زمانی کارفرما، طبق توافق صورت گرفته مقرر شد که در صورتی که پیمانکار در انجام اجرای پوشش بتنی گیت شفت‌ها تاخیر داشته باشد به ازای هر روز تاخیر ۳۰ میلیون تومان جریمه و در صورت تسریع پیمانکار در تحویل گیت شفت‌ها ۳۰ میلیون تومان پاداش به ازای هر روز در نظر گرفته شود.

۳- چالش‌های اجرایی

پس از انجام بررسی‌های اولیه مهمترین مشکلات اجرایی به شرح ذیل مشخص گردید:

- مطابق شکل ۳ هر گیت شفت از دو سازه شفت و زیر شفت تشکیل شده است و در تدوین روش اجرا و برنامه

- زمانبندی باید تقدم و تاخر اجرای هر یک نسبت به یکدیگر مشخص می‌گردد.
- با توجه به وجود سیستم‌های متنوع قالب‌بندی در اجرای پوشش بتنی شفت‌ها، انتخاب روش بهینه قالب‌بندی بسیار اهمیت داشت زیرا قالب‌بندی یکی از گرانترین و پرهزینه‌ترین بخش‌های عملیات اجرایی می‌باشد، به گونه‌ای که بین ۳۵ تا ۶۰ درصد هزینه‌های اجرای سازه مربوط به این بخش می‌باشد [3] و اساس انتخاب روش اجرای سازه مطابق با سیستم قالب‌بندی انتخاب می‌گردد علاوه بر آن در عملیات اجرایی، سیستم قالب‌بندی به گونه‌ای باید انتخاب گردد که سه عامل مهم کیفیت، ایمنی و اقتصاد اجرا از لحاظ زمان و هزینه، لحاظ گردد.
 - زیر زمینی بودن شفت، محدودیت دسترسی به سازه، تغییر مقطع سازه شفت در ترازهای مختلف، وجود سه باز شو در سطح مقطع شفت و تامین ایمنی پرسنل از دیگر مواردی بود که باید در نظر گرفته می‌شد.
 - با توجه به اینکه در سازه آبگیر ۴ عدد گیت شفت و سازه زیر گیت شفت (در مجموع ۸ جبهه کاری) وجود داشت برنامه‌ریزی در خصوص اولویت اجرا و تقدم و تاخر هر یک این بخش‌ها و اختصاص منابع به آنها به گونه‌ای حداکثر استفاده از امکانات موجود صورت پذیرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بود.

۴- روش‌های اجرای پوشش بتنی شفت‌ها [۴]

برای اجرای شفت استفاده از ۴ روش زیر میسر بود:

۴-۱- قالب بالا رونده

در این روش با تمهیدات خاصی نظیر کار گذاشتن انکر بلت در بتن و اجرای هر مرحله از دیوار، برکت بر روی آن نصب می‌شود. به این ترتیب سکوی کار مهیا شده و قالب بر روی آن بسته شده و این عملیات مرحله به مرحله تا انتهای سازه ادامه می‌یابد. قالب‌های مورد استفاده در این روش ممکن است بصورت مدولار (قطعات کوچک و سبک) یا قالب پانلی (در ابعاد بزرگ) باشد.

۴-۲- قالب بالا رونده جهشی

روش کار با این قالب کاملاً مشابه قالب بالا رونده حالت قبل است با این اختلاف که امکان عقب کشیدن قالب روی سکوی کار (بطور افقی) جهت تمیز کاری سطح آن و آرماتور بندی میسر است. به علاوه پس از اجرای هر مرحله، این امکان وجود دارد که بدون جدا کردن قالب و برکت کل مجموعه بصورت یکپارچه توسط جرثقیل بالا کشیده شود و بر روی اتصال مرحله بالاتر بنشینند.

۴-۳- قالب خود بالا رونده

قالب خود بالا رونده (Automatic Climbing /Self Climbing) علاوه بر داشتن ویژگیهای قالب جهشی این امکان را مهیا می‌کند که بدون نیاز به جرثقیل و با کمک ریل متصل به مقطع بتنی، توسط جک هیدرولیکی سیستم قالب بندی به همراه سکوی کار به مرحله بالاتر انتقال یابد.

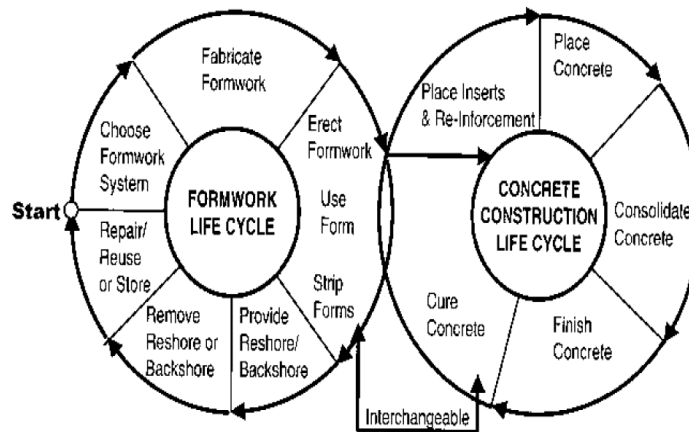
۴-۴- قالب لغزان

در روش قالب لغزان (لغزنده) ارتفاع سیستم قالب بندی حدود ۱/۲ متر خواهد بود. قالبها توسط یک قطعه U شکل معکوس به نام یوک نگهداشته و سکوی کار و پاگرد بتن ریزی نیز به یوک متصل می‌شوند. یوک توسط جک هیدرولیکی که در راس آن نصب می‌شود از میل جک موجود در مقطع دیوارهای بتنی به تدریج همراه با بتن ریزی بالا کشیده می‌شود. یوک همراه با خود قالب، سکوی کار، پاگردها و نفرات را بالا می‌کشد.

۵- روش اجرا و برنامه زمانبندی پیشنهادی پیمانکار تخصصی:

پیمانکار تخصصی پس از انجام بررسی جهت اجرای این پروژه استفاده از سیستم قالب‌های بالا رونده معمولی را برگزید، و

مبنای کار خود را بر این اساس قرارداد که در شروع پروژه به طور همزمان از دو دست قالب بالارونده معمولی استفاده می‌شود به این ترتیب که چون شفت شماره ۱ و ۲ جهت شروع عملیات اجرایی زودتر آماده می‌شوند، ابتدا با استفاده از این قالب‌ها، پوشش بتنی شفت‌های شماره ۱ و ۲ انجام می‌شود و پس از آن، قالب‌های مورد استفاده به شفت‌های ۳ و ۴ منتقل شده و پوشش بتنی این شفت‌ها نیز اجرا می‌گردد. ارتفاع هر لیفت با توجه به قالب مورد استفاده ۳ متر می‌باشد و مدت زمان اجرای هر لیفت نیز با توجه به چرخه حیات سازه که مطابق شکل ۳ می‌باشد محاسبه گردید.



شکل (۳): چرخه اجرای سازه‌های بتنی [5]

$$t_{\text{reinforcements}}=2 \text{ days}, t_{\text{formwork}}=2 \text{ days}, t_{\text{placeconcrte}}=0.3 \text{ day} N = \frac{72}{3} = 24 \text{ lift}, T = 24 \times (2 + 2 + .3) \cong 103 \text{ days}$$

بر اساس روش اجرای پیمانکار، در آبیگرهای شماره ۱ و ۲ اجرای سازه شفت نسبت به سازه زیر شفت در اولویت قرار گرفت و اجرای سازه زیر شفت با تاخیر ۶۰ روزه نسبت به سازه شفت آغاز می‌گردید. در آبیگرهای شماره ۳ و ۴، اجرای سازه زیر شفت نسبت به سازه شفت در اولویت قرار گرفت و سازه شفت پس از اتمام سازه زیر شفت انجام می‌پذیرفت. کلیات برنامه زمانبندی پروژه در شکل ۴ می‌توان نمایش داد.

ماه	فروردین ۸۸	اردیبهشت ۸۸	خرداد ۸۸	تیر ۸۸	مرداد ۸۸	شهریور ۸۸	مهر ۸۸	آبان ۸۸
روز	30	60	90	120	150	180	210	240
سازه زیر شفت 1	[Bar from Day 30 to 120]							
سازه شفت 1	[Bar from Day 30 to 150]							
سازه زیر شفت 2	[Bar from Day 60 to 180]							
سازه شفت 2	[Bar from Day 60 to 150]							
سازه زیر شفت 3	[Bar from Day 90 to 210]							
سازه شفت 3	[Bar from Day 90 to 240]							
سازه زیر شفت 4	[Bar from Day 120 to 210]							
سازه شفت 4	[Bar from Day 120 to 240]							

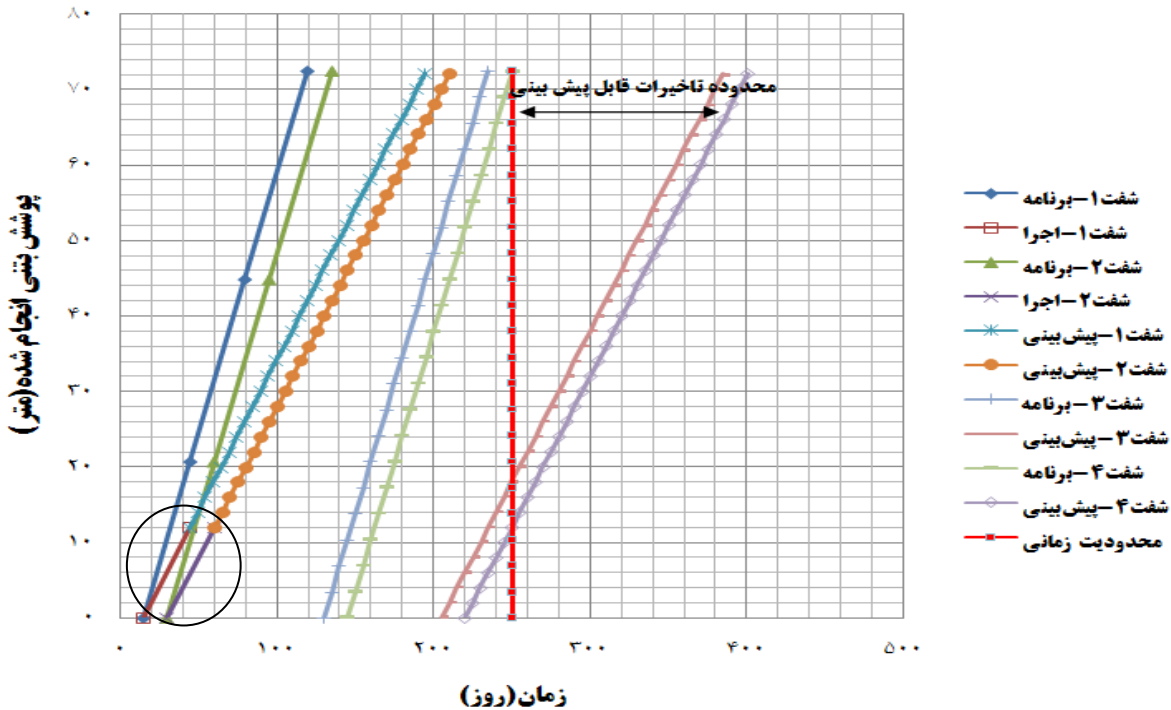
شکل (۴): برنامه زمانبندی اجرای ۴ شفت و سازه‌های زیر شفت

همانگونه که در برنامه زمانبندی و روش اجرای پیشنهادی پیمانکار مشاهده می‌شود، مهمترین نکته این برنامه، وابستگی اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۳ و ۴ به اتمام پوشش بتنی شفت‌های ۱ و ۲ می‌باشد. لذا تحقق برنامه زمانبندی پروژه مطابق محدودیت‌های زمانی کارفرما، عملیات اجرایی شفت‌های ۱ و ۲ باید محقق می‌شدند.

۶- بررسی عملکرد پیمانکار در اجرای پوشش بتنی شفت‌ها:

پیمانکار پروژه با توجه به برنامه زمانبندی و روش اجرای پیشنهادی در بخش ۶ نسبت به تامین دو دست قالب بالارونده برای اجرای پوشش بتنی گیت شفت‌ها اقدام و عملیات اجرایی را مطابق برنامه زمانبندی آغاز کرد، اما پس یک ماه از شروع اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۱ و ۲، پیمانکار دارای عقب ماندگی زیادی از برنامه زمان بندی بود. عملکرد پیمانکار و برنامه زمانی پیش-بینی شده در شکل ۶ نمایش داده شده است. همانگونه که در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌گردد در شفت‌های ۱ و ۲ نرخ پیشرفت قالب در ارتفاع حدود ۴۰ درصد از میزان پیش‌بینی شده در یک ماه اول در روش اجرا کمتر بوده است و اگر پیمانکار با همین

روند به ساخت شفت ادامه می‌داد، با توجه به وابستگی اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۳ و ۴ به قالب‌های شفت‌های ۱ و ۲ با توجه به شکل ۵ بدیهی بود که شروع اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۳ و ۴ با تاخیر حداقل ۷۵ روزه روبه‌رو می‌شد و زمان اتمام پروژه حداقل ۹۰ روز از خط قرمز کارفرما می‌گذشت. این تاخیر به منزله حداقل جریمه ۹۰۰ میلیون تومانی برای پیمانکار می‌بود، لذا جهت جلوگیری از جریمه و تحقق برنامه زمانبندی باید تمهیداتی در نظر گرفته می‌شد.

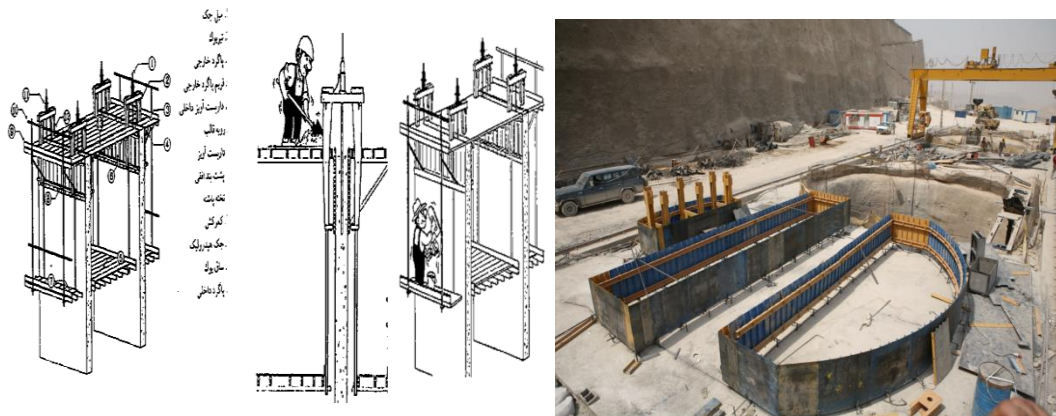


شکل (۵): نمودار خطی برنامه زمانبندی اجرای ۴ شفت و عملکرد پیمانکار

۷- راهکارهای پیمانکار برای جبران عقب ماندگی

با توجه به محدودیت زمانی اجرا و عدم امکان پذیرش هرگونه تاخیر در اجرای پروژه، باید تمهیداتی جهت جلوگیری از ایجاد هر گونه تاخیر در نظر گرفته می‌شد. لذا با توجه به وضعیت اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۱ و ۲ و مسجل شدن عدم امکان اتمام پوشش بتنی این دو شفت مطابق برنامه زمانبندی اولیه و استفاده قالب‌های آنها در شفت‌های ۳ و ۴، بهترین راهکار، مستقل نمودن اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۳ و ۴ از شفت‌های ۱ و ۲ بود. برای انجام این منظور لازم بود که قالب‌های جداگانه‌ای برای هر یک از این شفت‌ها تامین می‌گردید. با توجه به روش اجرای استفاده شده در شفت‌های ۱ و ۲، و مشخص شدن نرم اجرایی قالب‌های بالارونده معمولی در اجرای پوشش بتنی شفت‌ها عملاً استفاده از این نوع سیستم در اجرای شفت‌های ۳ و ۴ امکان پذیر نبود زیرا با استفاده از روش اجرای فعلی و شروع اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۳ و ۴ مطابق برنامه زمانبندی، پروژه با حداقل ۷۰ روز تاخیر به اتمام می‌رسید، لذا با در نظر گرفتن این مطلب لازم بود که روش اجرای شفت‌های ۳ و ۴ به طور کامل تغییر کند. برای اجرای پوشش بتنی شفت‌ها امکان استفاده از سیستم‌های متنوع قالب‌بندی نظیر قالب‌های بالارونده، لغزان و خود بالارونده وجود دارد و در بین این سیستم‌ها قالب لغزان سریع‌ترین نرخ پیشروی را دارا می‌باشد لذا پیمانکار جهت جلوگیری از عقب ماندگی برنامه زمانبندی و جهت تحقق تعهدات، برای اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۳ و ۴ استفاده از دو دست قالب لغزان را در هر یک از شفت‌ها در دستور کار خود قرار داد. در این قالب‌ها برخلاف قالب‌های بالارونده سه عمل قالب‌بندی، میلگردگذاری و بتن‌ریزی بطور همزمان و پیوسته انجام گرفته و همچنین هر یک از عملیات فوق در هر لحظه قابل کنترل هستند. این روش قالب بندی بر اساس حرکت مداوم قالب یا اصطلاحات لغزیدن آن به سمت بالا بنا نهاده شده است. قالب همواره و بطور پیوسته به بتن متصل بوده و سیستم معمولاً بطور شبانه روزی در حال عملیات می‌باشد. در کارگاه بسیار مستقر روی قالب لغزان، تیم‌های آرماتوربند، بتن ریز و راهبری قالب در حال اجرا می‌باشند که هماهنگی آنها با یکدیگر و با کارگاه ثابت مستقر در پای سازه از مهم ترین رموز موفقیت سیستم به حساب می‌آید. در اکیپ بتن ریز، همواره افرادی بطور مستمر به تمیز نگاه داشتن دیواره قالب، ترمیم و پرداخت سطح بتن خارج شده از زیر قالب اشتغال دارند. کلیات عملکرد قالب لغزان به همراه بخش‌های مختلف آن در

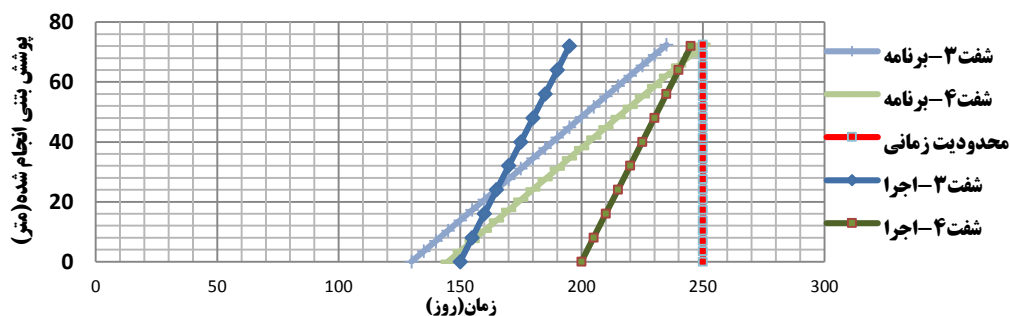
شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل (۶): نحوه عملکرد قالب لغزان و مونتاژ قالب لغزان در بالای شفت

۸- بررسی عملکرد قالب لغزان

پیمانکار پروژه برای شروع عملیات پوشش بتنی شفت‌های ۳ و ۴ توانست دو مجموعه قالب لغزان به همراه یک گروه راهبر قالب آماده کند و قرار شد که ابتدا پوشش بتنی شفت ۳ توسط گروه راهبر صورت پذیرد و پس از اتمام پوشش بتنی شفت ۳، پوشش بتنی شفت ۴ آغاز گردد. عملکرد قالب‌های لغزان در اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۳ و ۴ در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل (۷): عملکرد قالب لغزان در مقایسه با برنامه زمانبندی

بر اساس برنامه زمانبندی قرار بود که پوشش بتنی شفت ۳ در روز ۱۳۰ ام از زمان شروع پروژه آغاز گردد، ولی با توجه به زمان بر شدن اتمام سازه زیر شفت ۳، اجرای پوشش بتنی با استفاده از قالب لغزان در روز ۱۵۰ پروژه آغاز گردید ولی با توجه به سرعت خیلی زیاد اجرای پوشش بتنی با استفاده از قالب لغزان، اجرای پوشش بتنی این سازه بجای ۱۰۵ روز در مدت ۴۵ روز به اتمام رسید و بلافاصله پس از اتمام پوشش بتنی این شفت، پوشش بتنی شفت ۴ با ۵۰ روز تاخیر نسبت به برنامه زمانبندی اولیه پروژه آغاز شد ولی سرعت بسیار زیاد قالب لغزان باعث جبران این تاخیر شد و پوشش بتنی این شفت، ۵ روز زودتر از برنامه زمانبندی اصلی به اتمام رسید. همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود نرخ پیشروی قالب لغزان حدود ۱۶۰ سانتی متر در روز بوده است. البته لازم به ذکر است که نرخ پیشروی قالب لغزان به عوامل متعددی نظیر سهولت دسترسی به عرشه قالب، میزان تراکم آرماتوربندی مقطع، شکل سطح مقطع، طرح اختلاط بتن و ... بستگی دارد که با توجه به تجارب کسب شده و بسته به شرایط امکان افزایش سرعت قالب تا حدود ۵ متر در روز وجود دارد ولی در این سازه گیت شفت سازه آنگیر سد گتوند که تراکم آرماتوربندی آن بسیار بالا بوده است (حدود ۸،۵ تن به ازای هر متر ارتفاع) و نیز سطح مقطع خاص (دارای سه بازشدگی و دارای کنج‌های متعدد) می‌باشد سرعت پیشروی به نسبت عملکرد قالب لغزان معمول قالب‌های لغزان کمتر می‌باشد.

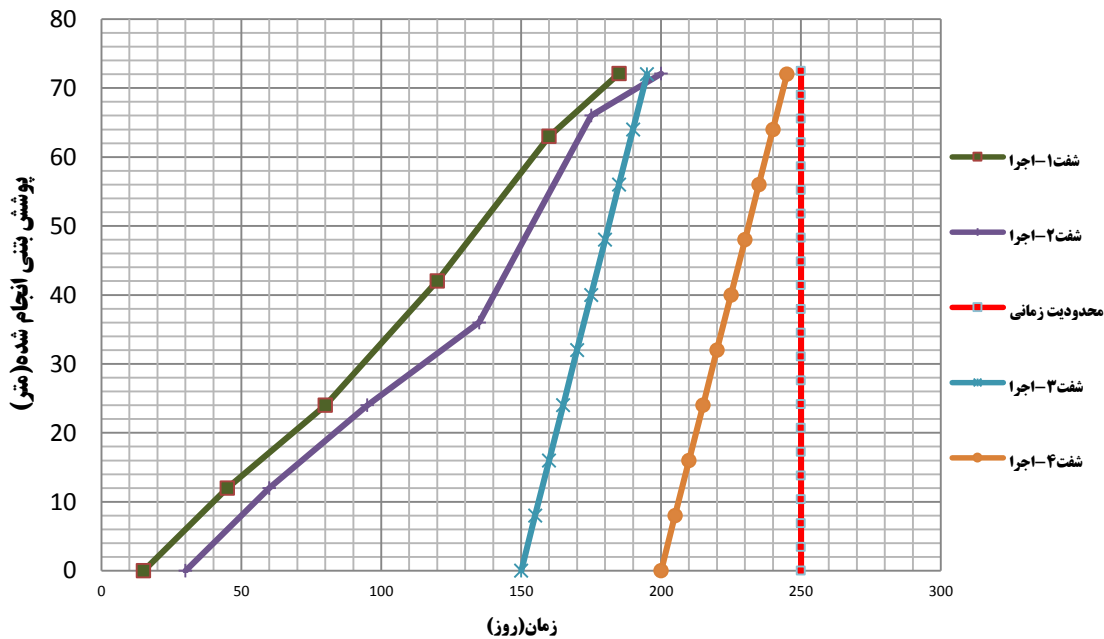
۹- مقایسه بین عملکرد قالب لغزان و قالب بالارونده:

با توجه به مطالب بیان شده در بخش‌های ۷ و ۸ و ۹ نحوه عملکرد قالب‌های لغزان و بالارونده معمولی را در اجرای پوشش

بتنی گیت شفت‌های سازه آبگیر نیروگاه سد گتوند در این بخش از لحاظ زمان ساخت، هزینه‌های ساخت، کیفیت و ایمنی اجرا مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۹-۱- مقایسه از لحاظ زمان اجرا

در مجموع کل عملکرد پروژه با استفاده در قالب‌های بالارونده و لغزان را می‌توان در نمودار ۸ مشاهده نمود.



شکل (۸): مقایسه عملکرد قالب لغزان با قالب بالارونده

همانگونه که در شکل ۹ مشاهده می‌گردد با استفاده از قالب‌های بالارونده زمان اجرای پوشش بتنی شفت‌های ۱ و ۲ به طور متوسط در حدود ۱۷۰ روز بوده است در حالی که در شفت‌های ۳ و ۴ که از قالب لغزان استفاده شده است متوسط زمان اجرای پوشش بتنی هر شفت در حدود ۴۵ روز بوده است و از لحاظ سرعت اجرا، قالب‌های لغزان به طور متوسط در هر روز ۱۶۰ سانتیمتر پیشروی داشته‌اند در حالی که این مقدار برای قالب‌های بالاروند در حدود ۴۲ سانتیمتر در روز بوده است. لذا می‌گفت که راندمان اجرایی قالب‌های لغزان در حدود ۳,۷ برابر قالب‌های بالارونده می‌باشد.

۹-۲- مقایسه از لحاظ هزینه‌های اجرا:

با توجه به اینکه کل این پروژه در یک بازه زمانی ۲۵۰ روز اجرا شده است لذا جهت مقایسه بین دو روش اجرا استفاده از قالب لغزان با قالب بالارونده، از مقایسه مواد و مصالح (نظیر هزینه‌های تامین بتن و آرماتور و ...) صرف نظر شده است و مقایسه بین دو روش بر اساس هزینه‌های تامین قالب و قالب‌بندی، آرماتوربندی و بتن‌ریزی صورت گرفته است. نتیجه مقایسه در جدول ۱ نمایش داده شده است. لازم به توضیح است که هزینه‌های محاسبه شده بر اساس مستندات و نرم‌های متعارف کارگاه در خصوص نیروی انسانی می‌باشد. همانگونه که در این جدول مشاهده می‌گردد هزینه‌های تامین قالب لغزان حدود ۵۰ درصد بیشتر از قالب بالارونده می‌باشد ولی چون زمان اجرای پروژه با استفاده از قالب لغزان حدود ۳,۷ برابر قالب لغزان است، لذا هزینه اصلی دیگر نظیر دستمزد قالب‌بندی و آرماتوربندی در مجموع باعث افزایش هزینه‌های قالب بالارونده شده اند به طور که کل هزینه‌های اجرا با استفاده از قالب لغزان ۱۱ درصد کمتر از اجرا با استفاده از قالب بالارونده می‌باشد.

جدول (۱): مقایسه هزینه‌های قالب لغزان با قالب بالارونده

نسبت هزینه های اجرا شفت با قالب لغزان به قالب بالارونده	قالب لغزان (۳ و ۴)	قالب بالاروند (شفت ۱ و ۲)	برای کل پروژه شفت(تومان)
1.50	100,000,000	80,000,000	هزینه تامین سازه فلزی قالب
	20,000,000	0	هزینه تامین سیستم هیدرولیک
0.64	113,850,000	176,800,000	نیروی انسانی قالب بندی
0.00	0	6,000,000	هزینه مرتبط با عملیات قالب بندی در طول
0.67	128,700,000	191,533,333	هزینه آرماتور بندی
2.48	64,350,000	26,000,000	هزینه بتن ریزی
0.89	426,900,000	480,333,333	مجموع(تومان)
907,233,333			هزینه کل اجرای ۴ شفت

۹-۳- مقایسه از لحاظ کیفیت و ایمنی

نتیجه مقایسه از لحاظ ایمنی و کیفیت اجرا به طور خلاصه در جدول ۲ آمده است.

۱۰- درس‌های آموخته شده از این پروژه:

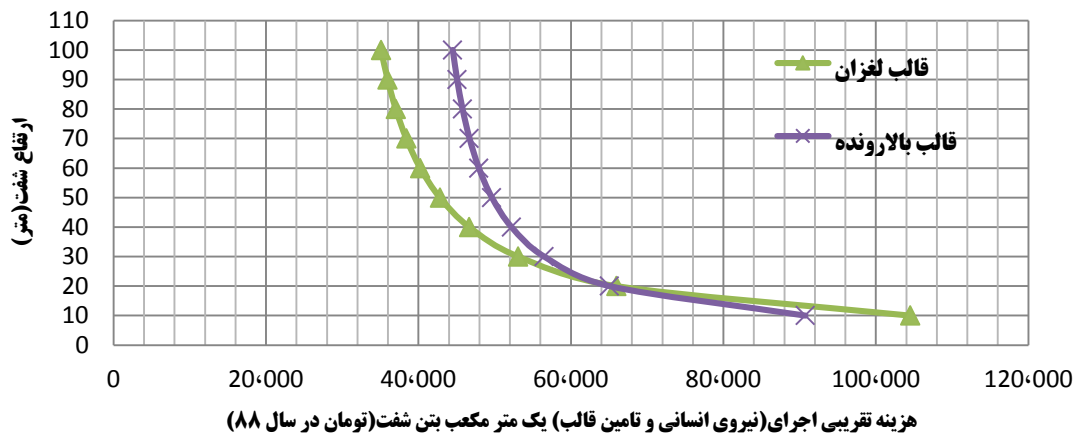
در این پروژه دو عامل باعث گردید که هزینه و زمان اجرای پروژه افزایش یابد که آن دو عامل عبارتند از:

- دست بالاگرفتن نرم‌های اجرایی با استفاده قالب بالارونده
 - عدم مقایسه دقیق بین روش‌های اجرایی متفاوت از لحاظ زمان و هزینه
- دست بالا گرفتن نرم‌های اجرایی قالب بالارونده باعث گردید که پیمانکار پروژه جهت جبران عقب ماندگی‌های ایجاد شده و جلوگیری از جریمه شدن، دوست قالب لغزان تهیه کند که این عمل باعث افزایش هزینه‌های پروژه گردید و عدم مقایسه دقیق بین روش‌های اجرایی متفاوت از لحاظ زمان و هزینه باعث گردید که از ابتدا روش اجرای نامناسبی جهت اجرای این پروژه انتخاب کند.

لذا قبل از شروع اجرای این سازه‌ها لازم است که برنامه‌ریزی دقیق در خصوص نحوه اجرای آنها صورت پذیرد و سازمان و روش اجرای سازه به کامل ترین صورت ممکن تهیه گردد به گونه‌ای که واقع بینانه باشد و در آن ریسک‌های پیمانکار سه حوزه اصلی هزینه‌های ساخت، زمان اجرا و کیفیت ساخت به حداقل ممکن برسد. با توجه به تجارب کسب شده، روش پیشنهادی تدوین سازمان و روش اجرا سازه‌های بتنی را می‌توان مطابق چارت شکل ۹ ترسیم نمود. همانگونه که در این چارت مشاهده می‌شود و در تدوین سازمان و روش اجرای سازه‌ها موارد بسیاری باید در نظر گرفته شوند و هرچه پروژه بزرگتر و پیچیده‌تر باشد باید در تدوین آن دقت بیشتری نمود.

جدول (۲): مقایسه کیفیت و ایمنی قالب لغزان با قالب بالارونده

روش	قالب لغزان	قالب بالارونده
تعداد درزهای	0	24
نیاز به نوار آببند	ندارد	دارد
سهولت در ترمیم	به راحتی امکان پذیر است	دارای صعوبت اجرایی است
عملکرد سازه	یکپارچه	وجود درزهای اجرایی عامل تضعیف
ایمنی	با توجه به وجود سکوی	با توجه به جدا بودن هریک از بخش



شکل (۱۰): نمودار هزینه اجرای پوشش بتنی شفت

۱۲- نتیجه گیری:

در این پژوهش دو روش اجرای استفاده از قالب‌های بالارونده و قالب‌های لغزان که در اجرای پوشش بتنی شفت سازه آنگیر سد گتوند علیا مورد استفاده قرار گرفته بود، از لحاظ زمان، هزینه و کیفیت اجرا مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به نتایج مقایسه مشخص شد که نرخ پیشروی قالب‌های لغزان در این نوع شفت حدود ۳٫۷ برابر قالب‌های بالارونده می‌باشد در حالی که در شرایط یکسان هزینه‌های استفاده از قالب لغزان حدود ۱۱ درصد کمتر از قالب بالارونده است. با بررسی نحوه اجرا پروژه مشخص شد که پیمانکار پروژه با توجه به پیش‌بینی نادرست نرخ اجرای قالب‌های بالارونده باعث افزایش زمان و هزینه پروژه شد که اگر بجای روش اجرا شده، از یک دست قالب لغزان استفاده می‌شد اولاً هزینه‌ها حدود ۲۵ درصد کاهش می‌یافت ثانیاً پروژه حدود ۲۵ روز زودتر از موعد مقرر به پایان می‌رسید و با توجه به تجارب کسب شده در این پروژه نمودار برای محاسبه هزینه اجرای هر متر مکعب بتن‌ریزی شفت در ارتفاع‌های متغیر رسم شد که بر اساس آن مشخص گردید در صورتی ارتفاع شفت بیش از ۲۰ متر باشد، استفاده از روش قالب لغزان در اجرای پوشش بتنی در هر صورت بهینه‌ترین روش می‌باشد.

لذا می‌توان نتیجه گرفت که در صورتی که پروژه دارای محدودیت زمانی باشد، مدت زمان پروژه مهمترین عامل تعیین کننده تکنولوژی و روش اجرا می‌باشد و در بررسی روش و تکنولوژی‌های مختلف اجرا برای یک پروژه، نگاه واقع بینانه به این موضوع بسیار ضروری است، زیرا عدم برآورد صحیح از نرخ‌های و هزینه‌های اجرا یکی از عمده ترین ریسک‌ها در انتخاب روش اجرا می‌باشد و لازم است که برای هر پروژه یک فرایند تصمیم گیری دقیق جهت مشخص نمود روش اجرا تعیین نمود. زیرا دست بالا یا دست پایین گرفتن نرخ‌های اجرای باعث ایجاد هزینه‌های مضاعف به پروژه خواهد شد.

به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت سه عامل مهم زمان، هزینه و کیفیت در یک پروژه در ارتباط مستقیم با روش و تکنولوژی اجرای آن می‌باشد و هرچه انتخاب روش و تکنولوژی اجرا با دقت بیشتری انجام پذیرد زمان و هزینه پروژه کاهش و کیفیت افزایش می‌یابد.

۱۳- مراجع

- [۱] خسروپور، حسین؛ شناسنامه سیستم آبرسان نیروگاه سد گتوند، گروه تخصصی سپاسد، ۱۳۹۰
- [۲] خسروپور، حسین؛ برنامه زمانبندی مصوب سیستم آبرسان نیروگاه سد گتوند، گروه تخصصی سپاسد، ۱۳۸۸
- [3] Dr. Edward G. Nawy, P.E., C.Eng; "Concrete Construction Engineering Handbook"; 2th edition., (2008)
- [۴] تقی‌پور، محمود؛ روش اجرای پوشش بتنی گیت شفت‌های سد گتوند، گروه تخصصی سپاسد، ۱۳۸۷
- [5] Dr. Edward G. Nawy, P.E., C.Eng; "Concrete Construction Engineering Handbook"; 2th edition., (2008)
- [۶] خسروپور، حسین؛ نجفی ساروکلائی، محمدرضا؛ ضرورت و نحوه تدوین سازمان ، روش و تکنولوژی اجزای سازه های بتنی، دومین کنفرانس ملی بتن، ۱۳۸۸