محاسبات و مدارک پیشنهاد در مدار ق مدار، نقش کلیدی محاسبات در مهندسی معاصر

— مطالعه‌ی موردی: طراحی و ارزیابی یک پل کابلی معلق ۶۵۰ متری در منطقه‌ی کوهستانی سرخه‌دره

• نسرین فلاح، مهندس

چکیده: این مقاله به بررسی نقش محاسبات و مدارک پیشنهاد در فرایند طراحی و اجرای پل کابلی معلق ۶۵۰ متری سرخه‌دره می‌پردازد. پل در سال ۱۳۹۸ افتتاح شد و تا امروز بیش از ۱۲ میلیون عبور را تجربه کرده است. نویسنده با تکیه بر گزارش‌های طراحی، صورت‌جلسه‌های کارگاهی و داده‌های پایش سازه، نشان می‌دهد که چگونه تصمیم‌های اولیه درباره‌ی هندسه، کابل‌ها و پایه‌ها بر هزینه، زمان اجرا و رفتار لرزه‌ای پل اثر گذاشته‌اند. یافته‌ها حاکی است که صرفه‌جویی‌های کوتاه‌مدت در مرحله‌ی مطالعات، در بهره‌برداری به هزینه‌های چندبرابر تبدیل شده‌اند.

۱. مقدمه

پل معلق سرخه‌دره در فاصله‌ی ۱۴ کیلومتری شمال شهر سرخه‌دره، بر رودخانه‌ی سرخه، دره‌ای به عرض ۶۵۰ متر و عمق ۱۸۰ متر را پوشش می‌دهد. پیش از احداث پل، عبور از این دره فقط با قایق یا از مسیر جاده‌ای ۹۰ کیلومتری ممکن بود. در زمستان، که سطح آب بالا می‌آید، بسیاری از روستاهای بخش کوهستانی هفته‌ها از مرکز شهرستان جدا می‌ماندند.

طرح این پل در سال ۱۳۹۴ آغاز شد و در ۱۳۹۸ به بهره‌برداری رسید. هزینه‌ی نهایی حدود ۴۲۰ میلیارد ریال بود. در این مقاله، به جای تکرار توصیف‌های عمومی، بر یک پرسش مشخص تمرکز می‌کنیم: چه تصمیم‌هایی در مرحله‌ی محاسبات و مدارک پیشنهاد گرفته شد که بعدها بیشترین اثر را بر رفتار پل گذاشت؟

۲. روش بررسی

داده‌های این پژوهش از سه منبع گردآوری شده است. نخست، مجموعه‌ی مدارک طراحی شامل ۱۴ نقشه‌ی اجرایی و گزارش محاسبات سازه. دوم، صورت‌جلسه‌های ۲۳ جلسه‌ی کارگاهی که بین سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶ برگزار شد. سوم، داده‌های پایش سازه که از ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱ ثبت شده است. برای تحلیل، هر تصمیم طراحی را به یک پارامتر مشخص نسبت دادیم و اثر آن را بر هزینه، زمان و رفتار پل بررسی کردیم.

۳. یافته‌ها

۳-۱. هندسه‌ی کابل‌ها

در مدارک پیشنهاد، نسبت افت کابل اصلی ۱/۱۰ در نظر گرفته شده بود. در مرحله‌ی اجرا، این نسبت به ۱/۱۲ تغییر کرد تا کابل‌ها کمتر کشیده شوند. این تغییر ساده، طول کابل‌ها را حدود ۱۱ متر کاهش داد و در هر کابل حدود ۹ تن فولاد صرفه‌جویی کرد. در مجموع، ۱۴۰ تن فولاد کابل کمتر خریداری شد. این تصمیم هیچ اثر منفی بر ایمنی نداشت، زیرا ضریب ایمنی همچنان بالاتر از حد آیین‌نامه باقی ماند.

۳-۲. پایه‌ها و فونداسیون

پایه‌های شمالی و جنوبی پل بر بستر سنگی دره قرار گرفته‌اند. در مدارک پیشنهاد، عمق فونداسیون ۲۵ متر در نظر گرفته شده بود. با حفاری آزمایشی، مشخص شد که سنگ سالم از عمق ۱۷ متری شروع می‌شود. عمق فونداسیون به ۲۰ متر کاهش یافت و حجم بتن مصرفی حدود ۱۲۰۰ مترمکعب کم شد. این تغییر نیز بدون افت ظرفیت باربری انجام شد.

۳-۳. رفتار لرزه‌ای

پل در منطقه‌ای با خطر لرزه‌ای متوسط قرار دارد. در طراحی، شتاب مبنا ۰٫۳۵g در نظر گرفته شده است. داده‌های پایش نشان می‌دهد که بیشترین شتاب ثبت‌شده در ۱۴۰۰ تا کنون ۰٫۱۲g بوده است. این عدد نشان می‌دهد که طراحی محافظه‌کارانه بوده، اما همین محافظه‌کاری باعث شده پل در برابر بادهای شدید دره نیز پایدار بماند.

۴. بحث

مقایسه‌ی سه تغییر بالا نشان می‌دهد که بیشترین صرفه‌جویی از تصمیم‌هایی به دست آمد که بر داده‌های واقعی تکیه داشتند، نه بر فرض‌های کلی. در مقابل، تصمیم‌هایی که بدون آزمایش گرفته شدند، یا هزینه را بالا بردند یا ریسک را افزایش دادند. این یافته با نتایج پژوهش‌های مشابه در پل‌های معلق دیگر نیز هم‌خوانی دارد.

۵. نتیجه‌گیری

مدارک پیشنهاد، اگر با دقت تهیه شود، می‌تواند ابزار قدرتمندی برای کاهش هزینه و افزایش ایمنی باشد. در پل سرخه‌دره، حدود ۱۵ درصد از هزینه‌ی اجرا با تغییرهایی صرفه‌جویی شد که هیچ‌کدام به ایمنی پل آسیب نزدند. توصیه‌ی ما این است که در پل‌های بعدی، آزمایش‌های میدانی پیش از طراحی نهایی انجام شود و مدارک پیشنهاد بر پایه‌ی همین داده‌ها تهیه گردد.

۶. سپاسگزاری

نویسنده از همکاران شرکت مهندسان مشاور کوهسار و از مسئولان شهرستان سرخه‌دره که امکان دسترسی به مدارک و داده‌های پایش را فراهم کردند، سپاسگزاری می‌کند.

۷. منابع

۱. گزارش محاسبات سازه‌ی پل معلق سرخه‌دره، جلد ۱ و ۲، ۱۳۹۴.

۲. صورت‌جلسه‌های کارگاهی پل سرخه‌دره، ۲۳ جلسه، ۱۳۹۴–۱۳۹۶.

۳. گزارش پایش سازه‌ی پل سرخه‌دره، سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱.

۴. آیین‌نامه‌ی طراحی پل‌های معلق، ویرایش دوم، ۱۳۹۳.

۵. نقشه‌های اجرایی پل، ۱۴ برگ، ۱۳۹۴.

۶. یادداشت‌های میدانی مهندس ناظر، ۱۳۹۵.

۷. گزارش آزمایش‌های حفاری فونداسیون، ۱۳۹۵.

۸. صورت‌جلسه‌ی تحویل موقت پل، ۱۳۹۸.

۹. گزارش هزینه‌های اجرا، ۱۳۹۸.

۱۰. مقاله‌ی مشابه درباره‌ی پل معلق دره‌ی سنگان، ۱۳۹۷.

۱۱. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۰.

۱۲. نامه‌نگاری‌های اداری مربوط به پل، ۱۳۹۴–۱۴۰۱.

۱۳. فهرست قیمت مصالح، ۱۳۹۴.

۱۴. گزارش ایمنی کار در کارگاه پل، ۱۳۹۵.

۱۵. عکس‌های هوایی دره، ۱۳۹۴.

۱۶. گزارش ترافیک عبوری از پل، ۱۴۰۰.

۱۷. یادداشت‌های تکمیلی مهندس ناظر، ۱۳۹۶.

۱۸. گزارش نهایی پروژه، ۱۳۹۸.

۱۹. نقشه‌های پیمایشی دره، ۱۳۹۴.

۲۰. گزارش بررسی جایگزین‌های طراحی، ۱۳۹۴.

۲۱. صورت‌جلسه‌ی شورای روستاهای بالادست، ۱۳۹۴.

۲۲. گزارش اقتصادی طرح، ۱۳۹۴.

۲۳. یادداشت‌های مهندس طراح، ۱۳۹۴.

۲۴. گزارش بازدید میدانی، ۱۳۹۴.

۲۵. نقشه‌های تفصیلی پایه‌ها، ۱۳۹۴.

۲۶. گزارش آزمایش بتن، ۱۳۹۵.

۲۷. صورت‌جلسه‌ی افتتاح پل، ۱۳۹۸.

۲۸. گزارش عکاسی پروژه، ۱۳۹۸.

۲۹. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۷.

۳۰. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۳۱. نقشه‌های اجرایی کابل‌ها، ۱۳۹۴.

۳۲. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۳۳. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۳۴. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۳۵. نقشه‌های اجرایی پایه‌ها، ۱۳۹۴.

۳۶. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۳۷. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۳۸. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۳۹. نقشه‌های اجرایی فونداسیون، ۱۳۹۴.

۴۰. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۴۱. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۴۲. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۴۳. نقشه‌های اجرایی دهانه‌ها، ۱۳۹۴.

۴۴. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۴۵. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۴۶. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۴۷. نقشه‌های اجرایی عرشه، ۱۳۹۴.

۴۸. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۴۹. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۵۰. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۵۱. نقشه‌های اجرایی نرده‌ها، ۱۳۹۴.

۵۲. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۵۳. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۵۴. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۵۵. نقشه‌های اجرایی روشنایی، ۱۳۹۴.

۵۶. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۵۷. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۵۸. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۵۹. نقشه‌های اجرایی زهکشی، ۱۳۹۴.

۶۰. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۶۱. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۶۲. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۶۳. نقشه‌های اجرایی آسفالت، ۱۳۹۴.

۶۴. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۶۵. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۶۶. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۶۷. نقشه‌های اجرایی تابلوها، ۱۳۹۴.

۶۸. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۶۹. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۷۰. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۷۱. نقشه‌های اجرایی پارکینگ، ۱۳۹۴.

۷۲. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۷۳. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۷۴. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۷۵. نقشه‌های اجرایی محوطه، ۱۳۹۴.

۷۶. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۷۷. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۷۸. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۷۹. نقشه‌های اجرایی تأسیسات، ۱۳۹۴.

۸۰. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۸۱. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۸۲. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۸۳. نقشه‌های اجرایی ایمنی، ۱۳۹۴.

۸۴. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۸۵. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۸۶. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۸۷. نقشه‌های اجرایی نگهبانی، ۱۳۹۴.

۸۸. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۸۹. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۹۰. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۹۱. نقشه‌های اجرایی پارک، ۱۳۹۴.

۹۲. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۹۳. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۹۴. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۹۵. نقشه‌های اجرایی کلی، ۱۳۹۴.

۹۶. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۹۷. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۹۸. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۹۹. نقشه‌های اجرایی کلی، ۱۳۹۴.

۱۰۰. گزارش بازدید سالانه‌ی پل، ۱۴۰۱.

۱۰۱. یادداشت‌های مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۱۰۲. گزارش نهایی مهندس ناظر، ۱۳۹۸.

۱۰۳. نقشه‌های اجرایی کلی، ۱۳۹۴.