

پل عابر پیاده اپلتون

پل عابر پیاده‌ی اپلتون یک پل چندمنظوره به طول ۷۵۰ فوت است که در سواحل رودخانه‌ی چارلز ریور در بوستون ماساچوست قرار دارد. سازه‌ی خمیده مانند این پل به دلیل شکل چالش‌برانگیز هندسی آن می‌تواند یک پل نمادین برای بوستون باشد.

STV خدمات طراحی مهندسی را برای شرکت پیمانکاری J.F. White، شرکت ساخت‌وساز Skanska و Consigli ارائه داد تا مفهوم طراحی اولیه را به همراه ویژگی‌های معماری خاص به مفهوم طراحی نهایی تبدیل کند. کار این شرکت بررسی ساخت، قابل‌اجرا بودن و عملکرد سازه در برابر لرزش ناشی از حرکت عابر پیاده را بود.

ارتعاشات ناشی از حرکت عابران



رندر پلان نما توسط STV

این پل به‌عنوان راه ارتباطی اصلی به گردشگاه رودخانه‌ی چارلز ریور بوستون، گردشگران زیادی را به خود جذب می‌کند که شامل نیم میلیون نفر برای نمایش آتش‌بازی سالانه در چهارم جولای (مراسم آتش‌بازی روز استقلال آمریکا) هم می‌شود؛ بنابراین، یکی از ویژگی‌های اصلی سازه آسیب‌پذیر بودن آن در برابر ارتعاشات است. کنترل کردن این ارتعاشات برای حفظ راحتی عابران پیاده یک چالش اصلی در طول فاز طراحی بود.

تیم پروژه از SETRA که یک راهنمای برگرفته از AASHTO برای ارزیابی ارتعاشات ایجاد شده توسط عابر پیاده کمک گرفت. SETRA سطوح راحتی را بر اساس شتاب‌های سازه‌ای تعریف می‌کند. در طول طراحی، تکرارهای زیادی انجام شد تا بیشترین سطح راحتی بدون نیاز به تدابیر مکمل مانند نصب میراگرهای جرمی، به دست آید.

ویژگی‌های منحصربه‌فرد

این پل از بیش از ۵۵۰ فوت تیرهای پیوسته تشکیل شده است که در دو جهت خمیده هستند، یکی به قسمت پله‌ها و دیگری به سمت منظره چشم‌نواز میدان منتهی می‌شود. اتصال فولادی سازه نیاز به برنامه‌ریزی دقیق در طول فاز طراحی و ساخت‌وساز بر روی خیابان شلوغ شهر داشت. تیم تنش‌های اعضا را در طول دوره‌ی ساخت و نصب ارزیابی کرد.



پل بدون مفصل

چالش بزرگ این پل منحصربه‌فرد ساخت سازه‌ای فولادی و قابلیت اجرای آن بود. مفهوم طراحی اولیه نیازمند سازه‌ای با خم‌های پیچیده، با اعضایی که با هم زاویه‌های حاد می‌ساختند و اتصالات جوشی در همه‌ی اتصالات اعضا بود. این طراحی شامل یک مقطع باکس مانند برای تیرهای طولی در دهانه‌های مسیر و دهانه‌های خمیده‌ی اصلی بود. تیم خطاهای ساخت و نصب را ارزیابی کرده و مشخص کرد که مقاطع باکس به دلیل توالی باکس‌ها و طبیعت خمیده‌ی تیرها و پروفیل‌ها، به‌سختی به هم متصل می‌شوند.

این چالش‌ها به همراه درزهای اتصال مناسب و لازم برای جوشکاری این اتصالات همراه بود که نشان می‌داد اجرای تیرهای باکس مانند، با توجه به حرکت‌های گرمایی پل غیرممکن بود. تیرهای باکس به مقطع تیر لوله‌ای با اندازه‌ی مشابه تغییر پیدا کردند. این تیرها دسترسی بهتری برای ساخت اتصالات در اختیار قار می‌دادند که باعث می‌شد قطعات در محل کار بهتر به هم متصل شوند. از آنجا که جان‌ها و بال‌های فوقانی مستقل هستند، دیافراگم‌های داخلی به حفظ ابعاد مقطع کمک می‌کنند. اتصالات جوشی به اتصالات پیچ و مهره‌ای تغییر کردند.

سازه‌ی پل تنها دارای درز انبساط در تکیه‌گاه‌ها و در فاصله‌ی ۵۵۰ فوت از مسیر S شکل است. بار زنده‌ی پل از استاندارد AASHTO هم بیش‌تر و ۱۲۰ پوند بر فوت مربع در نظر گرفته شد تا بار ازدحام تخمین زده‌شده را تحمل کند. ترکیب بارهای زنده و اثرات دمایی بر فولاد و عرشه‌ی بتنی بارهای قابل‌توجهی را به تکیه‌گاه و پایه‌های Y شکل منتقل می‌کنند که به‌صورت صلب به تیرها متصل شده‌اند.

وزن سازه هم برای بهبود پاسخ لرزه‌ای عمومی پل با حذف تاج از عرشه‌ی پل و ایجاد یک عرشه‌ی بتنی سبک و تغییر مقاومت فشاری عرشه‌ی بتنی کاهش پیدا کرد. با استفاده از بتن سبک با مقاومت ۱۲۰ پوند بر فوت مربع و استفاده از قالب‌های پر شده با فوم، مزایای قابل‌توجهی به دست آمد: افزایش قابل‌توجه در فرکانس‌ها، بهبودهای جزئی در شتاب و کاهش قابل‌توجه در بار کل. این تغییرات در ترکیب با دیگر بهبودهای ایجاد شده، مانند تغییرات قاب فولادی، سازه را از بازه‌ی آسیب‌پذیر دور کردند.

دهانه‌ی خمیده اصلی که از خم‌های لوله‌ای با قطر ۱۸ و ستون‌های HSS به قطر ۱۴ اینچ تشکیل شده است، به‌عنوان یک خرپای ویرندل تحلیل شد. یال بالای خرپا ترکیبی از عرشه‌ی فولادی و تیرهای فولادی است. از مدل‌سازی سه‌بعدی برای از بین بردن تنش‌های ساخت فولاد برای تمام سازه استفاده شد.

در طول فاز طراحی، زاویه‌های باز (نسبت به محور قائم) ستون‌ها به نحوی تنظیم شد که عملکرد لرزه‌ای بهبود پیدا کند. اصلاح از ۷ درجه به ۱۵ درجه دهانه‌ی خرپایی را سخت‌تر کرد و همچنین باعث کاهش شتاب و پاسخ پل در برابر بارهای عمودی و افقی شد. این اصلاح باعث بهبود قابل‌توجه بدون مصرف هیچ‌گونه مصالح شد.

ویژگی‌ای که باعث ایجاد ظاهر نواری و منحصربه‌فرد پل شده است، ورق‌های نواری فولادی در طول کل عرشه‌ی بتنی است. این ورق‌های نواری هم‌زمان با عمل کردن به‌عنوان قالب بتن در طول ساخت، زیبایی معماری هم ایجاد می‌کنند. ورق‌های نواری به‌صورت AESS اختصاص داده شدند و با خطاهای کمتری ساخته شدند تا اتصالی بهتر ایجاد شده و تغییرات موج‌های محلی به حداقل برسد. این نوار در طول پله‌ها هم ادامه می‌یابد، اما در این نقطه، بخشی از سازه‌ی پله می‌شود.

عمق اعضای باکس مانند نواری برای پله از مفهوم اولیه متفاوت بود. طراحی مجدد باعث ایجاد جزئیات ساده‌تر اتصالات و ساخت و همچنین افزایش سختی سیستم مقاوم جانبی شد. هرچند سختی افقی با توجه به معیارهای AASHTO و SETRA الزامی نبود، اما محدود کردن نوسان دهانه‌ی اصلی بهبود قابل‌ملاحظه‌ای است. سختی افزایش‌یافته‌ی این اعضا تغییر شکل سازه تحت شرایط بهره‌برداری را هم کاهش می‌دهد. تیر باکس نواری در پله‌ها باعث بهبود عملکرد بدون نیاز به مصالح اضافی و همچنین حفظ زیبایی منحصربه‌فرد پل شد.



طرح معماری شامل پایه‌های Y شکلی بود که جزئیاتی در داخل هم داشت. این شکل هندسی چالش برانگیز که شامل شعاعی ۴ اینچی در داخل بازوها بود، باعث شد تیم به فکر ریخته‌گری فولاد برای ایجاد جزئیات منحصربه‌فرد بیفتند. پایین پایه به صورت یک مقطع ساخته شد و قطعه‌ی ریخته‌گری شده به این پایه جوش داده شد. در ورق‌های درپوش بالایی گل‌میخ‌هایی قرار داده شد تا تیرها به راحتی به آن متصل شود.

اتصال جوشی پایه به سازه‌ی بالایی باعث ایجاد تنش‌هایی بین پایه‌ها به دلیل انبساط و انقباض دمایی تیرها می‌شود. پی با حد بالا پایین سختی تخمین زده شده مدل‌سازی شد تا از عملکرد مطلوب ستون‌های پایه در طول نوسانات دمایی اطمینان حاصل شود. یک کنترل مجزا هم با استفاده از تکیه‌گاه‌های صلب انجام شد تا اثرات یخ زدن زمین در طول زمستان بررسی شود. سپس سختی و انعطاف‌پذیری پایه برای رسیدن به بازه‌ی تنش قابل قبول برای هر پایه اصلاح شد. دیگر ملاحظه‌ی انجام شده برای بهبود عملکرد لرزش سازه، بازبینی سختی پی بود. شمع‌های ریز اصلی به شمع‌های H شکل تغییر پیدا کرد که به محور قوی‌تر منجر شد.

مترجم: علی اکبر خلیلی

منبع:

<http://www.structuremag.org/?p=۱۲۲۰۷>