

نوسان های عرضی یک پل هنگام زمین لرزه



در فواصل داخلی پل ساخته شده از شاه تیرهای جعبه ای از بلوک های مهاری به اسم deadmen استفاده و در سازه قرار داده شدند. این روش دهه های زیادی است که استفاده می شود و شاید در دهه بعدی هم مورد استفاده قرار بگیرد. از این روش هنگامی استفاده می شود که عمر طولانی شاه تیرهای بتنی باعث شروع به شکم دادگی در آنها می شود. کارگران برای اینکه بتوانند شاه تیرها را در راستای اصلی نگه دارند، بلوک ها را به وسیله کابل هایی به هم متصل و محکم می کنند.

Deadmen ها در دهانه شرقی جدید پل Bay قرار گرفتند (که شامل یک پل هوایی و معلق می باشد)، به صورتی که انتظار می رود این پل حداقل تا ۱۵۰ سال پس از این اقدام دوام داشته باشد (پل شرقی که هنوز هم مورد استفاده قرار می گیرد، پس از این مدت فرو خواهد ریخت).

اما برای این که این پل تا قرن بیست و دوم دوام داشته باشد، باید نقطه ای خاص در دهانه جدید هنگام زمین لرزه های بزرگ (مشابه تخریب گسترده در زمین لرزه سال ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو و تخریب نسبی آن در زمین لرزه سال ۱۹۸۹ در مورد پل Bay) سالم باقی بماند. دو گسل در نزدیکی این پل وجود دارد که قادر به تولید زمین لرزه های بزرگ هستند، بنابراین، سالم ماندن پل اصلاً مسئله ساده ای نیست. سالم نگه داشتن پل در طول زمین لرزه و پس از آن همواره هدف اصلی مهندسان بوده است.

آنها برای تحقق این هدف، سازه های انعطاف پذیری را طراحی می کنند که هر گونه آسیب بالقوه به واسطه اعضای خاص سازه ای محدود می شود.

Marwan Nader، طراح ارشد و معاون رئیس شرکت بین المللی مهندسی T. Y. Lin گفت: ما می خواستیم که این پل را به صورت انعطاف پذیر بسازیم تا هنگام وقوع زمین لرزه، انعطاف پذیری سیستم بر زلزله غلبه کند.

این در حالی بود که عقیده ما در تضاد با رویکرد بالقوه دیگری است که می گوید: برای اینکه پل ها بتوانند در مقابل حرکات مقاومت کنند، باید به اندازه کافی بزرگ و صلب باشند. Frieder Seible، رئیس دانشکده مهندسی Jacobs در دانشگاه کالیفرنیا که المان های زیادی را برای طراحی پل مورد آزمایش قرار داد، گفت: سازه های سخت و بزرگ در حالی که پرهزینه هستند، کاملاً هم زشت به نظر می رسند.

این طرح شامل یک پل معلق با برجی ۵۲۵ فوتی است که از چهار ستون فولادی ساخته شده است. این برج باید طبق طرح بتواند هنگام وقوع زمین لرزه های بزرگ تا حدود ۵ فوت نوسان داشته باشد.

پایه های بتنی پل به گونه ای طراحی شده اند که به خوبی قابل نوسان باشند و آسیب های وارده به قسمتی با فولادهای تقویتی را محدود کند. در کل دهانه و در اتصالات آن از ۶۰ فوت لوله کشویی فولادی به نام تیرهای لوله مانند مفصلی (hinge pipe beams) استفاده شده است. در این اتصالات قسمت های فولادی ضعیف تری وجود دارد که باید در مورد آنها اقدامات تقویتی انجام شود تا سازه بتواند هنگام وقوع زمین لرزه حرکت کند.



آقای Nader گفت: در سطحی از تغییر مکان که ما پیش بینی کردیم، خسارت ها باز هم وجود خواهند داشت اما این خسارت ها قابل جبران هستند و پل می تواند پس از وقوع زمین لرزه هم بدون هیچ مشکلی مورد بهره برداری قرار بگیرد.

بعد از بررسی و انجام تعمیرات موقت (قرار دادن صفحات فولادی روی اتصالات خاص)، پل پس از وقوع یک زمین لرزه بزرگ، لازم است که حداقل در چند ساعت اولیه رفت و آمد کارکنان بخش اضطراری و وسایل نقلیه اضطراری از روی پل امکان پذیر باشد. با توجه به اینکه دو فرودگاه بزرگ در نزدیکی این پل قرار دارند، انتظار می رود که کاردهی آنها پس از وقوع یک فاجعه به صفر برسد. Benicia-Martinez، سخنگوی سازمان راه و ترابری کالیفرنیا گفت: این پل و پل Benicia-Martinez به لحاظ لرزه ای دارای دهانه ای به اندازه ۲۰ مایل در راستای شمال شرقی هستند که می تواند نقش یک شاهراه یا راه اضطراری را هنگام وقوع زمین لرزه در منطقه دچار فاجعه شده از پایگاه نیروی هوایی ایفا کند.

یک زلزله سبب جایگزینی ضروری این دهانه به طول ۲/۲ مایل بین شهر Oakland و جزیره Yerba Buena (در میانه خلیج سانفرانسیسکو) شد. زمین لرزه Loma Prieta در سال ۱۹۸۹، اولین بار پس از فاجعه سال ۱۹۰۶ در امتداد گسل San Andreas رخ داد. این زمین لرزه سبب شد دهانه خرپایی فولادی موجود فرو بریزد و ماشین سواران کشته شوند. این

پل به مدت یک ماه بسته شد. این زلزله با بزرگی ۶/۹ ریشتر سبب تکان های شدیدی به مدت ۱۵ ثانیه شد که حرکت آن به مراتب بزرگ تر از میزان طراحی شده برای پل بود.

آقای Nader گفت: هنگامی که پل با حرکت های زمین لرزه سال ۱۹۸۹ روبرو شد، این پل به معنای واقعی دچار کشش شد تا جایی که یکی از دهانه های آن فرو ریخت. اغلب متخصصان بر این باورند که یک زلزله قوی تر در امتداد گسل San Andreas یا Hayward در شرق خلیج به احتمال زیاد موجب فروریزی کلی دهانه قدیمی می شود.

بر اساس تحقیقات موسسه زمین شناسی ایالات متحده آمریکا و چند موسسه دیگر، به احتمال زیاد یک زمین لرزه شدید (زمین لرزه ای به بزرگی ۶/۷ ریشتر یا بیشتر با احتمال ۲٪) در منطقه خلیج تا قبل از سال ۲۰۳۶ رخ می دهد؛ اما آقای Nader و همکارانش تمرکز خود را روی اندازه گیری بزرگی زمین لرزه در کانون آن قرار ندادند چرا که آنها حرکات زمین را در منطقه قرار گیری پل تحت کنترل داشتند. برنامه ریزی این گروه با در نظر داشتن بزرگ ترین حرکات مورد انتظار در طول ۱۵۰۰ سال صورت گرفته است.

پس از زلزله سال ۱۹۸۹ مهندسان تصمیم گرفتند غربی ترین دهانه پل - پل معلق دوبل بین سانفرانسیسکو و جزیره Yerba Buena - را با اعمال تغییراتی به لحاظ لرزه ای ایمن سازی کنند. در نهایت پل خرابی و گذر گاه شرقی باید به پایین منتقل شود (پل Golden Gate در طول زمین لرزه دچار خسارت نشد اما برای مقابله با زمین لرزه بزرگ تر بهسازی شد).

از جمله مشکلاتی که دهانه شرقی داشت، این بود که فونداسیون پایه پل ها روی سنگ قرار نداشتند، بلکه روی زمینی گل و لای مانند واقع شده بودند که مثل ژل هنگام زلزله سبب تشدید حرکات می شد.

برنامه ریزی جایگزینی این پل به دلیل بحث های متعدد درباره مسیر پل جدید (عبور از عرض خلیج) و ظاهر دهانه به تأخیر افتاد.

آقای Nader (کسی که دکترای خود را از دانشگاه کالیفرنیا دریافت کرد و زلزله سال ۱۹۸۹ را به طور مستقیم تجربه کرد) گفت: مردم عامه فکر می کردند که دهانه های چشم گیر پل در سمتی از خلیج است که سانفرانسیسکو قرار دارد و شرق خلیج ساده خواهد بود؛ بنابراین آنها خواستار یک دهانه چشم گیر بودند.

برخلاف بسیاری از پل های معلق معمولی که کابل های موازی از دو برج کشیده و در دو انتها مهار شده اند (در سنگ یا بتن)، این پل معلق ۲۰۴۷ فوتی تنها یک برج و یک کابل دارد که در عرشه پل مهار شده است. این کابل از انتهای شرقی تا انتهای غربی کشیده و سپس برگردانده شده است (در طراحی معمولی و در میانه خلیج، بسیار دشوار است که یک مهار روی انتهای شرقی ایجاد شود).

پل جدید طولانی ترین پل معلق جهان است که مهار آن توسط خود پل انجام می شود. این پل نامتقارن است به طوری که در یک سمت، دهانه طولانی تری نسبت به سمت دیگر دارد (آقای Nader می گوید که این شکل مشابه نیمی از یک پل معلق معمولی است). انتخاب چنین گزینه ای در طراحی سبب شد تا هزینه های پروژه به صورت قابل توجهی افزایش یابد. در یک پل معلق معمولی، عرشه در پایان نصب می شود، به این صورت که عرشه از کابل های معلق متصل به کابل های اصلی آویزان

می شود. در طراحی خود مهار، عرشه پل باید در ابتدای کار ساخته شود.

آقای Nader گفت: در این شرایط شما با چالش «تخم مرغ اول وجود داشته یا مرغ» رو به رو می شوید. شما به عرشه ای نیاز دارید که بتواند کشش را تحمل کند بنابراین کابل های مهار باید مورد استفاده قرار بگیرند اما عرشه تا زمانی که کابل ها نصب نشده اند نمی تواند خود مهار باشد؛ بنابراین شما باید از یک سیستم موقت استفاده کنید.

این سیستم که داربست نام دارد، اساساً پلی است که عرشه را تا زمان قرار گیری کابل ها بالا نگه می دارد - این عملیات در اواخر ماه دسامبر آغاز شد و انتظار می رفت که تا شش ماه طول به بینجامد. لازم است که داربست ها به لحاظ لرزه ای دارای امنیت باشند بنابراین هزینه ها افزایش یافت.

آقای Nader در تمام بحث ها در خصوص دهانه گفت که دیدگاه مورد نظر جمع این بود که تنها یک برج وجود داشته باشد؛ اما این طرح مشکلاتی داشت. وقتی یک برج وجود دارد، بخش اضافه حذف می شود (درست شبیه یک ستون). در شرایطی که شما یک ستون داشته باشید و ستون شروع به لرزش کند، همه آسیب ها به قسمت تحتانی ستون وارد خواهد شد.

وی این چنین ادامه داد، راه حلی که در گفت و گو با معماران پل ارائه شد این بود که برج به چهار محور یا ستون تقسیم شود و مهار آنها توسط اتصالات برشی صورت بگیرد.

این اتصالات از جنس فولادهای به خصوصی هستند که تغییر شکل آنها بسیار آسان تر از دیگر انواع فولاد انجام می شود. این اتصالات در نقاط به خصوصی در طول برج نصب می شوند که روی حرکت ستون ها اثر گذار هستند. دکتر Seible، از دانشگاه کالیفرنیا گفت: بسته به آن که اتصالات برشی در کجا نصب می شوند، شما می توانید پاسخ دینامیکی برج را تنظیم کنید.

زمانی که بارهای ناشی زمین لرزه بزرگ تر باشند، این اتصالات تسلیم می شوند. این اتصالات انرژی منتقل شده به برج را جذب می کنند.

آقای Nader گفت: اخیراً پی برده ام که چه نوع اتصال برشی بیشترین آسیب را در زلزله های بزرگ متحمل می شود - آنهایی که در دو سوم طول برج واقع شده اند. با این حال برج هنوز هم به لحاظ سازه ای سالم است و نیازی به جایگزینی فوری اتصالات نیست.

مترجم: بهاره بهرامی

منبع:

<http://civildigital.com/a-bridge-built-to-sway-when-the-earth-shakes/>