وزارت حمل و نقل آمریکا مشخص کرده است که پل های بسیاری وجود دارند که نیاز به جایگزینی، بهسازی، ترمیم و یا تغییرات نیاز دارند. در پایان سال ۲۰۱۴ طبق آمار اداره ملی پل ها - National Bridge Inventory - ، ۱۴۵۸۰۰ پل بزرگراهی سازه ای نا کارآمد و یا عملکردی نا مطلوب دارند. این تعداد حدود ۲۷ در صد از کل پل ها راتشکیل می دهند. در بعضی از ایالت ها حتی وضعیت بدتر است، به عنوان مثال در کالیفرنیا ۳۴/۶ درصد و در نیویورک ۵۹/۸ درصد از پل ها کارایی لازم را ندارند.

زیر ساخت های موجود قدیمی شده اند نه فقط به خاطر سال های زیادی که از آنها بهره برداری شده بلکه به این دلیل نیز که بخش حمل و نقل به سمت نوسازی پیش می رود. با وجود تمایل به ارتقا و بهبود زیر ساخت ها، منابع مالی اختصاص داده شده برای جایگزینی، ترمیم و بهسازی این میزان زیاد پل کافی نیست. بنابراین استفاده از راه حل هایی که اقتصادی و درعین حال کارآمد هستند، ضروری است. در برخی موارد پل های قدیمی دارای اهمیت تاریخی هستند که سبب می شوند تقویت آن ها به جایگزین کردن آن ها با پلی دیگر ارجحیت داشته باشد.

رایج ترین نقص ها در پل های قدیمی عبارت اند از: کافی نبودن ظرفیت باربری پل (بار زنده)، کم بودن عرض خطوط ترافیکی، روشنایی کم، نیاز به خطوط ترافیکی و یا شانه راه های بیشتر، اتصالات سازه ای نا امن. در اغلب موارد ترکیبی از دو یا سه مورد از

نقص های ذکر شده در یک پل وجود دارد. در مواردی که نیاز به خطوط ترافیکی بیشتر است، گاهی می توان از یک پل دیگر موازی با پل اصلی استفاده کرد و در مواردی که نیاز است ساختار پل به صورت کلی تغییر کند، جایگزینی صورت می گیرد.

تغییر، تقویت و یا افزایش عرض پل های فلزی نسبتاً آسان تر است. یکی از مزیت های پل هایی که در طول سال های ۱۹۲۰ تا ۱۹۶۰ ساخته شده اند این است که برای ساخت آن ها از محکم ترین فولادی که در آن زمان در دسترس بوده استفاده شده است. به عنوان مثال پل اوکلند - Okland Bay Bridge- در سان فرانسیسکو که در سال ۱۹۳۶ ساخت آن به پایان رسید، از مقاوم ترین نیکل (۱۳۸۰ مگا پاسکال) و فولاد سیلیکنی (۳۱۱ مگا پاسکال) درضلع شرقی تشکیل شده است، یعنی ۶۲درصد از کل فولاد های به کار رفته درپل و ۷۲ درصد از قسمت کنسولی آن. فولاد کربنی به کار رفته در این پل از مقاومت بالایی (۲۵۵ مگا پاسکال) برخوردار است که حتی با - Astm A36- قابل مقایسه است. همین پل در ضلع غربی دارای کابل های فلزی معلقی با مقاومت بالا در حدود ۸۲۸ مگا پاسکال است.

به دلیل اینکه پل های ساخته شده با فولاد برای چندین دهه توانسته اند نیازهای بخش حمل و نقل را برطرف سازند، استفاده از فولاد هایی با مقاومت بالا برای برای مقاوم سازی و بهسازی پل های موجود به جای تخریب و جایگزنی با پلی جدید توصیه می شود. این مقاله به بررسی روش های بهسازی پل های موجود به وسیله بهره گیری از خصوصیات سیستم استاتیکی آن ها می پردازد. این روش ها برای پل هایی با قاب فلزی قابل استفاده هستند ولی کلیت آن ها را می توان برای پل های بتنی نیز به کار برد.

جایگزینی عرشه پل با سیستمی سبک تر

زمانی که نیاز است ظرفیت بار زنده سازه افزایش یابد، روش معمول برای این کار مقاوم سازی همه اعضای ضعیف است. این کار نیاز به مصالح خاص، نیروی انسانی و زمان دارد، به خاطر همین این روش کارایی لازم را ندارد. برای مثال یک پل باید ظرفیت باربری آن ۲۵ درصد افزایش یابد و این یعنی همه اجزا نیاز به مقاوم سازی از طریق اضافه کردن ورق های فولادی و یا مقاطعی دیگر از جنس فولاد، دارند. این صفحات به وسیله جوش و یا پیچ هایی با مقاومت بالا به اعضای قبلی متصل می شوند. برای اینکه مقاوم سازی ۲۵ درصدی انجام شود و همچنین برای جبران وزن اضافه شده ، نیاز است که تقریبا ۳۵درصد به عرض مقطع و وزن همه اعضای موجود پل اضافه شود.

یک روش کارآمد تر این است که دال بتنی موجود با یک سیستم سبک تر مثل عرشه فولادی تعویض شود درنتیجه وزن پل کاهش می یابد. این روش در طی سال های ۱۹۶۸ تا ۱۹۷۸ در مورد پل های جورج واشنگتن – George Washington Bridge - در نیویورک و پل گلدن گیت -Golden Gate Bridge- در سان فرانسیسکو بسیار موفق عمل کرد. این روش بار مرده پل را کاهش می دهد، به ظرفیت سازه پل اضافه می کند و سبب کم شدن تنش های بیش از اندازه می شود. این روش سبب می شود تا بهسازی فونداسیون آسان تر صورت گیرد و در آخر موجب تقویت ستون ها می شود.

به طور کلی این قبیل روش های جایگزینی با عرشه های فولادی سبک سبب می شود تا نیروی ناشی از وزن سازه ۱/۳۸ تا ۱/۶۵ مگا پاسکال (۱۴۰ تا ۲۷۰ کیلوگرم بر متر مربع) کمتر شود، در مرحله بعد سبب کاهش چشم گیر بار زنده می شود. یک مطالعه دقیق درباره این روش نشان داده است که تقریباً ۳۵ درصد از وزن پل اصلی کاسته می شود. در مورد پل جورج واشنگتن - George Washington Bridge - این مقدار ۴۳ درصد و در مورد پل گلدن گیت -Golden Gate Bridge- ۳۲/۵ درصد است. در روشی

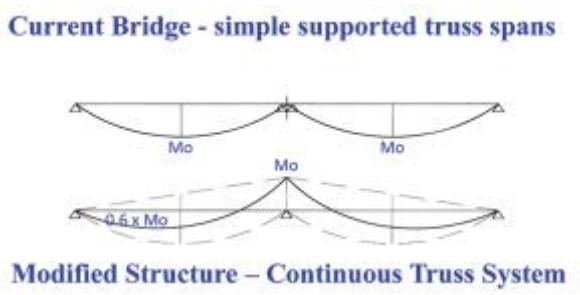
موثرتر عرشه های بتنی قدیمی با ورقه های آلومینیومی چکش کاری شده جایگرین می شوند و یا اخیراً با سیستم ورق های ساندویچی - SPS - جایگزین می شوند. این سیستم های سبک وزن عرشه را حتی تا بیش از ۶۰ درصد کاهش می دهند.

تبدیل دهانه های ساده به دهانه های متوالی

با توجه به اینکه بسیاری از پل ها با دهانه های طولانی به صورت خرپاهای تکیه گاهی ساده و یا خرپاهای کنسولی هستند، یک روش موثر و نسبتاً ساده برای تقویت آن ها، تبدیلشان به سیستم های خرپایی به هم پیوسته است. این روش، دهانه های ساده کنار هم را به یک سیستم با چهار یا پنج و یا دهانه های به هم پیوسته بیشتر تبدیل می کندکه این دهانه ها وابسته به طول مطلوب انبساط اتصالات هستند.

پل اولیه

پل پس از تغییرات



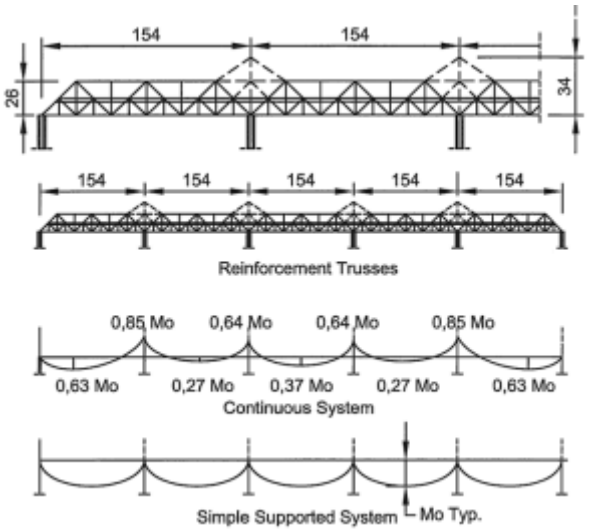
شکل ۱

ارتقا و افزایش ظرفیت از جا به جایی حداکثر خم مورد نیاز($M_{max}= WL^2/8$) از قسمت مرکزی هر دهانه به قسمت مرکزی تکیه گاه (شکل۱) حاصل می شود. علاوه بر این مهندسان می توانند از ارتفاع بیشتری در سمت تکیه گاه مرکزی سیستم خرپایی به هم پیوسته بهره بگیرند و بار قوس را کاهش دهند. یک نمونه در شکل ۲ نشان داده شده که حاصل مطالعاتی برای تقویت پل -Healdsburg در کالیفرنیا است که به دو خرپای تک دهانه ای به هم پیوسته تبدیل شده است.

شکل ۲

لازم به ذکر است که بعضی از تبدیل و جایگزینی ها نیاز به تجزیه و تحلیل دقیقی درباره همه اجزای پل دارند که شامل پایه ها فونداسیون پل می شود که ممکن است به تقویت احتیاج داشته باشد. برای مثال تکیه گاه میانی خرپاهای به هم پیوسته با دو دهانه ممکن است در معرض بارهای بیشتری باشند، نه فقط به خاطر افزایش ظرفیت آن توسط مقاوم سازی که عکس العمل های تکیه گاه میانی نیز افزایش بافته است. علاوه بر این نوع نیروها در قوس پایینی خرپا در نزدیکی تکیه گاه میانی از کششی به فشاری تغییر می کند. در نتیجه ممکن است به تغییرات اضافه تری نیاز باشد.

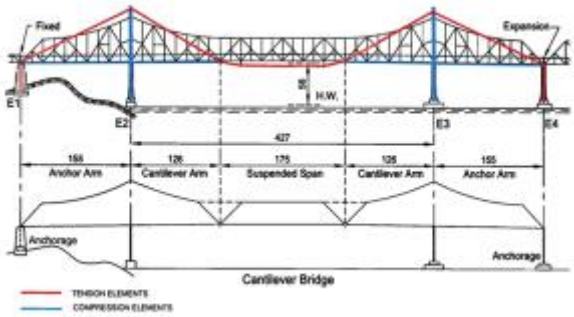
اثر تبدیل چندین دهانه ساده متوالی به سیستم خرپای بههم پیوسته دارای اهمیت بیشتری در گشتاورهای خمشی مورد نیاز (مربوط به نیروهای محوری قوس) است که میزان آن کمتر از سیستم قبلی است. میزان گشتاور مورد نیاز به از ۸۵ درصد بیشترین گشتاور (ناشی از بارهای یکنواخت) در سیستم قبلی به ۲۷ درصد کاهش می یابد. این اثرات بستگی به محل قرار گیری مقطع دارند (شکل۳). کاهش بیشتر به وسیله ترکیب دقیق اعضای اضافی خرپا در منطقه تکیه گاهی امکان پذیر است. یعنی اضافه کردن گره هایی بزرگ تر در تکیه گاه های خرپای مسطح اصلی و به صورت موازی با قوس های پایین و بالا، در نتیجه نیروی محوری موردنیاز در اعضای قوسی در مناطق ذکر شده کاهش بیشتری می یابد.



شکل ۳

تقویت پل های قوسی و سیستم خرپایی طره ای

سیستم خرپایی کنسولی معمولاً پل هایی با سه دهانه و یک اتصال که سبب می شود قسمت مرکزی معلق باشد، هستند و قسمت کنسولی به سمت قسمت مرکزی امتداد داده شده اند. این سیستم محبوبیت زیادی در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ داشت، و در آن زمان به مهندسان اجازه می داد تا به طولانی ترین دهانه های مرکزی یعنی بیشتر از ۵۴۹ متر (۱۸۰۰ فوت) دست یابند. نمونه این مورد پل Quebec در سال ۱۹۱۷ است.



شکل ۵

یک روش بهسازی معقول برای اینگونه پل های قدیمی، اضافه کردن سیستمی کابلی به تکیه گاه میانی پل است. سیستم کابلی اضافه شده باعث ایجاد نیروهای پیش تنیدگی رو به بالا و در قسمت انتهایی بازو های کنسولی می شود (شکل ۴)، همچنین بارهای عمودی را از بخش مهم سیستم کنونی حذف می کند. این نیرو های روبه بالا، بر خلاف نیروها در طرح اصلی، به طور چشم گیری سبب کاهش تنش در سیستم موجود می شوند و ظرفیت باربری آن را افزایش می دهند. پیش تنیدگی این کابل های تقویتی در حدود ۷۵ تا ۸۵ درصد نیرو های عکس العمل بارهای مرده در دهانه کنسولی اصلی است، در نتیجه ۶۰ درصد از مجموع بارها در سازه کنسولی کاهش می یابد.

شکل 5a

مفهوم اساسی این روش می تواند برای تقویت پل های قوسی موجود نیز استفاده شود. ساده ترین و موثرترین راهکار، اضافه کردن سیستم های تکیه گاهی معلق درقسمت زیرین عرشه است (شکل ۵). صرف نظر از اینکه قوس ها بالایسطح عرشه باشند و یا پایین آن، این یک روش امکان پذیر است به شرطی که فضای کافی در سازه اضافه شده، فراهم باشد. در این روش، سیستم زنجیروار معلق دارای ستون هایی عمودی در قسمت های فشاری است، برخلاف پل های معلق معمول که کابل های عمودی در قسمت کششی هستند.

شکل5b

در مواردی که فضای کافی وجود ندارد، اجرای این سیستم در بالا و پایین عرشه، موثرترین را حل است (شکل5b). در این روش احتیاج است که از شاه تیرهایی در تکیه گاه های قوسی استفاده شود و در صورت نیاز تقویت ستون ها واقع در زیر عرشه در این ناحیه انجام می شود.

نکات کلی:

- روش های ذکر شده مزایای متعددی در مقایسه با سیستم قبلی پل ها هستند.
- این روش ها، نیرو های مورد نیاز را تقریباً در همه اجزای موجود کاهش می دهند و سبب افزایش ظرفیت باربری (بار زنده) می شوند.
- اجزای اضافه شده می توانند مستقل از اجزای قبلی عمل می کنند، همچنین سبب سهولت بیشتردر بهسازی و مراحل ساخت آنها می شود.
- عملیات ساخت و ساز ممکن است کمترین اثر را در حمل و نقل پل داشته باشد.
- اگر لازم باشد بعضی از اعضا به صورت ویژه ای تقویت شوند، می توان ازاضافه کردن ورق ها، کانال ها و .... بهره برد که آن ها را به وسیله بولت و یا جوش و یا هر دو به هم متصل می کنند، علاوه بر این پرچ های اصلی خطرناک می توانند با پرچ هایی با مقاومت بالا تعویض شوند.
- هنگامی که نیاز است عرشه پل توسعه داده شود، عملیات بهسازی پیچیده تر خواهد بود. اما باز هم در این موارد بهسازی سریع تر و ساده تر از روش های قدیمی است.

بسته به شرایط خاص درهرپروژه مقاوم سازی پل، ممکن است مهندس تصمیم بگیرد که بهسازی شالوده پل و جایگزینی عرشه با سیستم سبکتر را با هم اعمال کند.

نتیجه گیری:

سازمان حمل و نقل عمومی با توجه به اینکه بعضی از پل ها دارای سازه ای نا کارآمد هستند، باید در درجه اول به روش های بهسازی امکان پذیر بیاندیشد. مقاوم سازی سازه پل یک کار پر چالش است، به خصوص زمانی که بسیاری از مهندسان ترجیح می دهند که یک پل جدید را جایگزین کنند. بهسازی همان طور که در بالا به آن اشاره شد، ممکن است سبب صرفه جویی در هزینه، زمان و

مصالح می شود. حتی مهم تر از آن به دلیل اینکه عملیات تخریب انجام نمی شود میزان کربن تولید شده کاهش می یابد و به طور چشم گیری میزان استفاده از قطعات جدید در مقایسه با جایگزینی کامل کاهش می یابد.

در حالی که به تعداد پل های نا کارآمد هر روز اضافه می شود، بهترین پروژه از لحاظ مقاومت آن هایی هستند که از کمترین مصالح و انرژی استفاده کنند. بنابراین بهسازی سازه از لحاظ زیست محیطی بسیار بهتر از جایگزینی کامل سیستم فعلی پل است.