۹.۲ انواع سازه در پل ها

بر اساس بار جاده و رفتاری که سازه پل نشان می دهد، انواع اصلی سازه در پل ها به این صورت هستند: پل های تیری، پل های خرپایی، پل های طره ای، پل های قوسی، پل های معلق و پل های کابلی

۹.۲.۱ پل های خرپایی و پل های تیری

پل تیری یکی از ساده ترین انواع پل ها به دلیل شکل سازه ایش است. استحکام این پل توسط دو تکیه گاه در دو انتهای عرشه تامین می شود. بنابراین هیچ لنگری به تکیه گاه ها منتقل نمی شود، و در تحلیل تکیه گاه ها باید به صورت گیر دار مدل سازی شوند. مصالح رایج و معمولی که برای ساخت این پل استفاده می شود اغلب سنگ و در زمان های قدیم چوب نیز بوده است، در زیر سازی های جدید از بتن مسلح و فولاد در سطح گسترده ای استفاده می شود. در پل هایی که از تیر های فولادی ساخته شده اند، تیر اصلی ممکن است از شاه تیرهای جعبه ای و یا خرپا ها تشکیل شده باشد. تیر های جعبه ای به دلیل مقاومت خوب در برابر لنگر پیچشی به طور گسترده ای در دهانه های کوتاه پل ها استفاده می شوند.

پل های خرپایی به گروه پل های تیری تعلق دارند اما می توان آنها را در گروهی مجزا نیز طبقه بندی کرد. خرپا سازه ای مثلثی شکل است که ازاتصال اعضای کششی و فشاری تشکیل شده است. شکل ۹.۱ نمونه ای از پل های خرپایی را نشان می دهد.

شکل ۱. ۹ نمونه ای از یک پل خرپایی در لندن

۹ . ۲ . ۲ پل های قوسی

اعضای سازه اصلی یک قوس منحنی شکل را به وجود می آورند. این نوع پل به طور خاصی برای عملکردی منحنی شکل استفاده می شود. قابلیت این پل انتقال و تبدیل بارهای ثقلی و سنگین- مانند بارهای مرده و زنده – به بارهای محوری است که توسط تکیه گاه ها در دو انتهای پل مهار می شوند. بنابراین یکی از ویژگی های این نوع پل مهار و کنترل بارهای سنگین است.

برخلاف پل های تیری که بیشتر تحت خمش و برش هستند، اعضای اصلی این سازه اساساً تحت فشار ناشی از اعضای خمیده هستند. سنگ، آجر و بتن به دلیل مقاومت خوبی که در برابر فشار دارند، از مصالح معمول و رایج در ساخت این نوع پل محسوب می شوند. لازم به ذکر است که این مصالح مقاومت کم و نا چیزی در برابر کشش و خمش دارند.

در روش های ساخت و ساز نوین، پل های قوسی از قطعات فولادی رایج ساخته می شوند. یکی از نمونه های شاخص این نوع پل، پل بندرگاهی سیدنی (Sydney Harbour Bridge)است که در شکل ۹ . ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲. ۹ پل بندرگاهی سیدنی در استرالیا

۳. ۲. ۹ پل های طره ای

هر دهانه در پل طره ای همراه با دو بازوی طره ای طراحی می شود که در دو جهت مخالف امتداد داده شده اند و نهایتاً به قسمت مرکزی پل متصل می شوند. یکی از نمونه های شاخص این نوع پل، پل فورت (Forth Bridge)در اسکاتلند است که در شکل ۳. ۹ نشان داده شده است.

شکل ۳. ۹ پل فورت در اسکاتلند

۴. ۲. ۹ پل های معلق

این نوع پل برای جایی که نیاز است دهانه ها طولانی باشند، استفاده می شود. این پل دارای دهانه هایی به مراتب طولانی تر نسبت به دیگر انواع پل ها است.

یکی از نمونه های شاخص این نوع پل، پل گلدن گیت (Golden Gate Bridge) است که در شکل ۴. ۹ نشان داده شده است.اعضای اصلی در سازه این پل کابل ها، برج های تکیه گاهی و کابل های معلق عمودی هستند که وزن عرشه را تحمل می کنند. در این پل باید تکیه گاه های کافی به منظور مهار و نگه داشتن کابل ها، طراحی و منظور شوند.

میزان مصالح مورد نیاز برای ساخت این پل در مقایسه با پل های دیگر با طول های مشابه کمتر است و سبب می شود تا هزینه ساخت این نوع پل کاهش یابد. این پل نسبت به وزن سبک تری که در مقایسه با پل های سنگین تردارد، مقاومت خوبی در برابر حرکات زلزله نشان می دهد.

شکل ۴. ۹ پل گلدن گیت در کالیفرنیا

۵. ۲. ۹ پل های کابلی

این نوع پل به لحاظ ظاهر مشابه پل های معلق است، با اینکه رفتار سازه ای این پل کاملاً متفاوت از پل های معلق است. یک پل کابلی معمولی از شاه تیرهای به هم پیوسته همراه با برج هایی تشکیل شده که مقاومت آن ها توسط فونداسیون پل تامین می شود. کابل ها از دو سمت هر برج به صورت مورب به سمت پایین کشیده شده اند تا تکیه گاهی برای شاه تیر باشند. در این پل، برج ها سازه های باربر اصلی هستند.

مزیت اصلی این نوع پل در مقایسه با پل های معلق این است که کابل ها برای پایدار بودن نیاز به تکیه گاه و مهاربندی ندارند. کابل ها نقش تکیه گاه برای عرشه پل را دارند، همچنین استحکام و سختی بیشتری را سبب می شوند تا میزان تغییر شکل فیزیکی پل را کاهش دهند. به لحاظ اجرایی، این نوع پل گزینه ای مناسب در مواردی است که نیاز است دهانه ها طولانی تر از دهانه های پل های طره ای باشند، این در حالی است که دهانه های پل های کابلی نسبت به پل های معلق کوتاه تر هستند. برای دهانه هایی با طول بیش از ۱۰۰۰ متر، پل های کابلی اقتصادی ترین گزینه هستند.

یکی از شاخص ترین نمونه های این نوع پل، پل میلائو (Millau Viaduct Bridge)در فرانسه است که درشکل ۵. ۹ نشان داده شده است.

شکل ۵. ۹ پل میلائو در فرانسه

۹. ۳ طراحی سازه درپل ها

در روند طراحی پل باید چندین عامل مهم در نظر گرفته شود تا بهترین سازه طراحی شود، این عوامل عبارت اند از: انتخاب سیستم پل، مصالح، ابعاد، فونداسیون، زیبایی، چشم انداز محلی، مناظر طبیعی و محیط زیست. طراحان سازه باید بهترین و موثرترین طرح را با در نظر گرفتن عوامل ذکر شده به همراه بالاترین سطح ایمنی و کمترین هزینه ممکن تهیه کنند.

در طراحی پل، سازه فوقانی به عرشه، تیرها، خرپاها و متعلقات مختلف بالای سطح پل اشاره دارد، در حالیکه سازه زیرین اساساً شامل اجزایی است که بارهای سطح پل را مهار و سپس به زمین منتقل می کنند، مانند ستون ها، شمع ها و دیوارهای موج شکن که سازو کار پل را سبب می شوند.

۹. ۴ طراحی بارها و بارگذاری

دستورالعمل های طراحی مثل Eurocode1 و AASHTO جزئیات لازم برای طراحی بارها در پل ها را در اختیار قرار می دهد. طبق دستور العمل Eurocode1، طراحان باید وزن خود پل، بار اعمال شده، بار باد، تغییرات دمایی، تغییر مکان در حین اجرا، اتفاقات غیر مترقبه (بار ضربه ای) و بار عبورو مرور و جا به جایی را در نظر بگیرند. همچنین عواملی مثل خزش بتن، افت، رانش زمین و زمین لرزه باید بررسی شوند.

مدل های بارگذاری باید برای پل های بزرگراهی در هر دو آیین نامه ای که قبلاً به آن ها اشاره شد، بسط و گسترش داده شوند. ترکیب اصلی بارها در پل های بزرگراهی، مجموعه ای از بار مرده، بار زنده و بار دینامیکی است. این مدل بر پایه اطلاعات آماری موجود در رابطه با بارهای ذکر شده تهیه شده است.

در این قسمت بارهای عمده ای که به سازه فوقانی پل وارد می شود به همراه توزیع این بارها روی پل تشریح خواهد شد. خواننده می تواند برای کسب اطلاعات بیشتر درباره مشخصات و ویژگی های طراحی ذکر شده به این بخش مراجعه کند.

۹. ۴. ۱ بارهای مرده

بر اساس مشخصات مندرج در آیین نامه Eurocode1، بارهای مرده در پل ها دو دسته هستند. دسته اول ناشی از سازه پل، مثل سازه های فولادی یا سازه های بتنی است که بر اساس ابعاد عناصر سازه ای تعیین می شوند. دسته دوم ناشی از قسمت های غیر سازه ای پل مثل موانع بتنی، سطح رویی و پوشش عرشه و هر مورد دیگری است که به منزله بار دائمی توسط مهندس در نظر گرفته شده است.

۹. ۴. ۲ بارهای زنده

غالب بار زنده وارد به پل را بار ترافیکی و عبور و مرور تشکیل می دهد. بیشترین بار زنده ای که پل می تواند تحمل کند بر اساس بیشترین عبور و مرور وسایل نقلیه در مدت زمان مشخصی تعین خواهد شد. افزایش حجم و سرعت عبور و مرور در آینده پیش رو نیز باید در نظرگرفته شود. در بعضی موارد انجام اقدامات و تست های مختلف در رابطه با عملکرد و رفتار سازه تحت بیشترین بار وارده، حائز اهمیت است.

اثر بارهای زنده روی پل به پارامتر های متعددی مثل طول دهانه، وزن کامیون ها و بارکش ها، بارهای محوری، موقعیت محورها، وضعیت و موقعیت وسایل نقلیه روی پل (طولی و عرضی)، تعداد و حجم وسایل نقلیه روی پل، فواصل شاه تیرها و سختی اعضای سازه (دال ها و تیر ها)، بستگی دارد. اثرات هر کدام از این پارامترها باید به صورت جداگانه بررسی شود.

آیین نامه Eurocode1 مدل های مختلفی از بارهای ترافیکی را در اختیار طراح قرار می دهد که عبارت اند از:

- نیروهای عمودی: LM1, LM2, LM3, LM4
- نیروهای افقی یا محوری: اصطکاک، شتاب یا سرعت، گریز از مرکز و عرضی
- مجموعه ای از بارها: gr1a, gr1b, gr2, gr3, gr4, gr5

آیین نامه AASHTO نیز مدل هایی برای بارهای ترافیکی در اختیار قرار می دهد. برای مثال کامیون هایی که ترکیب بار و وزنشان بیش از مشخصات و مقادیر مجاز است در این آیین نامه با نام (Highway Load) بررسی می شوند.

۹. ۴. ۳ اثرات زمین لرزه روی پل ها

بار زمین لرزه یکی از موارد مهم دیگری است که باید در نظر گرفته شود. جا به جایی و یا تغییر شکل زمین یکی از دلایل اصلی آسیب دیدن پل ها است، که سبب فرو ریختن و یا خسارت دیدن پل می شود. طرح سازه های فوقانی باید به گونه ای باشد که هنگام زمین لرزه پل پایداری لازم را داشته باشد و بتواند خاصیت ارتجاعی اش را حفظ کند.

۹. ۴. ۴ اثرات نیروی باد روی پل ها

فرو ریزی معروف پل تاکوما (Tacoma Narrous Bridge) در سال ۱۹۴۰ نشان دهنده اهمیت اثرات نیروی باد روی دهانه های طولانی پل ها است. تحقیقات گسترده ای برای بررسی اثرات باد روی دهانه های طولانی پل های کابلی ومعلق انجام شده

است. دراین تحقیقات به تحلیل واکنش پل تحت بار باد نیز پرداخته شده است. در شرایط خاص آزمایش های تونل باد و مدل های دینامیکی دقیق نیز باید انجام شوند.

پل تاکوما ناروز قبل از فرو ریزی

پل تاکوما ناروز پس از فرو ریزی

۵. ۴. ۹ اتفاقات و عوامل غیر مترقبه(بارهای ضربه ای)

در طراحی پل در نظر گرفتن عوامل و اتفاقات غیر مترقبه مانند برخورد کشتی نیز حائز اهمیت است. چندین سناریو در رابطه با این مورد وجود دارد، مثل برخورد قسمت جلوی کشتی با ستون پل یا برخورد قسمت کناری کشتی با پل و یا برخورد اتاقک روی عرشه کشتی با دهانه پل

عوامل موثر در بارهای ضربه ای عبارت اند از: نوع آبراه و مسیر رودخانه، شرایط وقوع سیلاب ها، آبخور کشتی و سازه