پل چیست ؟

پل، سازه‌ای برای عبور از موانعی مانند آب، دره یا جاده بدون بستن مسیر زیرین دیگر است. این سازه امکان عبور از موانعی را فراهم می‌کند که گذر کردن از آن‌ها دشوار یا غیرممکن است. طراحی‌های مختلفی برای ساخت پل وجود دارند که هر یک از آن‌ها برای یک عملکرد و شرایط بخصوص مورد استفاده قرار می‌گیرند. طراحی پل‌ها با عملکرد مورد نیاز، شرایط زمین، مواد مورد استفاده و سرمایه در دسترس تغییر می‌کند. به طور کلی، پل‌ها را می‌توان بر اساس کاربردشان به موارد زیر تقسیم کرد:

- آباره (انتقال آب)
- دره گذر یا چند قوسی (جاده یا ریل بر روی دره یا رود)
- عابر پیاده
- بزرگراه
- راه‌آهن
- جاده بر روی راه آهن
- خط لوله انتقال

تاریخچه پل از چه دورانی شروع می شود؟

پل‌ها سازه‌هایی با قدمت چندین هزار ساله هستند. چیدن سنگ برای ساخت مسیر عبور بر روی رودخانه‌ها را می‌توان به عنوان اولین نمود پل در تاریخ بشر دانست. شواهد موجود نشان می‌دهد که مردم در دوران نوسنگی (آخرین دوره از عصر حجر)، برای عبور از مرداب‌ها از نوعی پیاده‌رو چوبی استفاده می‌کردند. نمونه‌ای از این پیاده‌روها، گذرگاه «Sweet Track» در کشور انگلستان است که ساخت آن به حدود ۵۸۳۰ سال قبل بازمی‌گردد.

نسخه بازسازی شده از گذرگاه Sweet Track در سامرست کشور انگلستان

مردم دوران باستان نیز از نوع خاصی از پل‌های چوبی استفاده می‌کرند .برخی از پل‌های اولیه، درختانی هستند که احتمالا به عمد توسط انسان‌ها قطع شده‌اند تا امکان عبور از موانع را برای آن‌ها فراهم کنند. البته این امکان وجود دارد که در برخی از موارد درختان به طور اتفاقی در مسیر خاصی افتاده و ایده ساخت پل‌ها را به انسان‌ها داده باشند.

پل Holzbrücke Rapperswil-Hurden بر روی دریاچه زوریخ در کشور سوئد

پل آرکادیکو (Arkadiko Bridge) یکی از چهار پل قوسی ساخته توسط میسنی‌ها (اقوام مهاجر یونانی) در عصر برنز (حدود ۳۳۰۰ سال پیش) است. این پل، بخشی از یک شبکه ارتباطی قدیمی بود که به منظور عبور ارابه‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت.

پل Arkadiko Bridge در کشور یونان، قدیمی‌ترین پل قوسی موجود است.

رومیان به عنوان بزرگ‌ترین سازندگان پل در دوران باستان شناخته می‌شوند .در این دوران، چندین پل قوسی و آباره با طراحی جدید توسط رومیان ساخته شده است. این پل‌ها از نظر مقاومت و دوام نسبت به پل‌های گذشته بهتر بودند. پل آلکانتارا در کشور اسپانیا، یکی از معروفترین پل‌های ساخته شده در دوران باستان است. با گذشت

زمان، رومیان با ترکیب کردن نوع خاصی از سیمان به نام پوزولان (خاکستر آتشفشانی) با آب، ماسه و سنگ آتشفشانی، ماده‌ای مشابه با بتن امروزی را ساختند و در پل‌ها مورد استفاده قرار دادند.

پل آلکانترا یا تراژان بر روی رود تاقوس در کشور اسپانیا

در کشور هند، پل‌هایی از قرن چهار میلادی (حدود ۱۷۰۰ سال پیش) یافت شده‌اند که موادی نظیر چوب بامبو و زنجیرهای آهنی برای تقویت آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در طول تاریخ، پل‌های بزرگ زیادی در کشور چین ساخته شدند. با این وجود، بسیاری از آن‌ها به دلیل جنگ از بین رفتند .قدیمی‌ترین پل سنگی چین، پل آنجی نام دارد که در اواخر قرن شش میلادی (حدود ۱۴۰۰سال پیش) ساخته شده است. این پل، به عنوان اولین پل قوسی سنگی با اسپندرال باز شناخته می‌شود.

پل سنگی آنجی در کشور چین

پل‌های طنابی به عنوان ساده‌ترین نوع از پل‌های معلق، اولین بار توسط امپراتوری اینکا در کوه‌های آند واقع در آمریکای جنوبی و دقیقا پیش از ورود اروپایی‌ها به این منطقه (حدود ۵۰۰ سال پیش) برای عبور از دره‌ها و مسیرهای دشوار مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

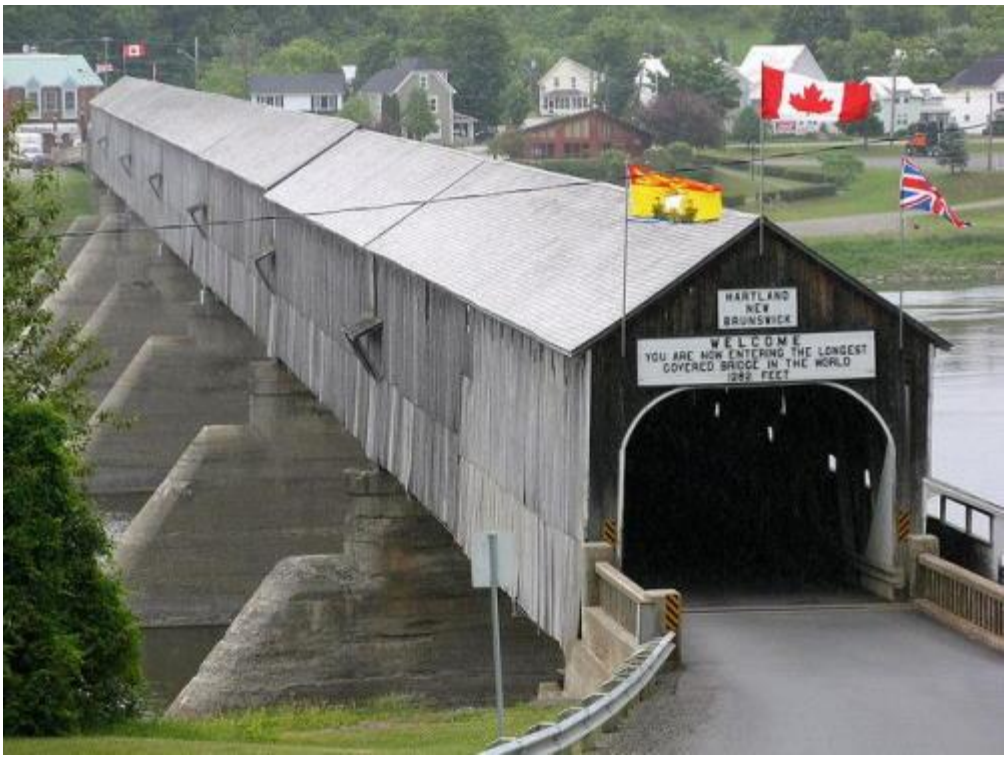
پل معلق اینکا در کشور پرو، نمونه‌ای از یک معلق ساخته شده از طناب

در قرن ۱۸ میلادی (اواخر قرن ۱۱ شمسی)، ابداعات بسیاری در زمینه طراحی پل‌های چوبی صورت گرفت و اولین کتاب مهندسی پل انتشار یافت. در سال ۱۷۷۹ میلادی (سال ۱۱۵۸ شمسی)، با رونمایی از «آیرون بریج (The Iron Bridge)یا »پل آهنی» در کشور انگلستان، انقلاب بزرگی در تکنولوژی ساخت پل رخ داد. این پل،

با استفاده از چدن ساخته شده بود. همزمان با انقلاب صنعتی در قرن ۱۹ میلادی (اواخر قرن ۱۲ شمسی)، استفاده از سیستم خرپا برای ساخت پل‌های بزرگ توسعه یافت. در ابتدا برای ساخت پل‌های خرپایی از آهن به عنوان ماده اصلی استفاده می‌شد. اگرچه، به دلیل مقاومت کششی پایین این ماده، بعدها فولاد به عنوان ماده اصلی سازنده خرپا جایگزین آهن شد. مقاومت بالای فولاد، امکان ساخت پل‌های بسیار بزرگتری را فراهم کرد. ساخت بسیاری از این پل‌های بزرگ با کمک ایده‌های گوستاو ایفل (طراح برج ایفل) صورت گرفت.

پل آهنی بر روی رود سورن در کشور انگستان

بین قرن ۱۷ تا ۱۸ میلادی (بین قرن ۱۰ تا ۱۱ شمسی)، تعدا بسیار زیادی پل سرپوشیده چوبی در کشورهای کانادا و آمریکا ساخته شد. در اواخر این دوره، ترکیب سنگ یا فلز به همراه خرپاهای چوبی نیز برای این ساخت نوع پل‌ها مورد استفاده قرار گرفت.



پل سرپوشیده هارتلند در کانادا (این پل دارای طول ۳۹۱ متر است.)

در سال ۱۹۲۷ میلادی (سال ۱۳۰۶ شمسی)، یکی از پیشتازان صنعت جوشکاری به نام «استفان بریلا (Stefan Bryła)» برای اولین با در جهان طرح ساخت یک پل جاده‌ای با استفاده از جوشکاری را ارائه کرد. در سال ۱۹۲۹ میلادی (سال ۱۳۰۸ شمسی)، «پل مارزایس (Maurzyce Bridge)» مطابق با این طرح بر روی رود اسلودویا در کشور لهستان ساخته شد.

پل مارزایس در کشور لهستان (اولین پل طراحی شده بر اساس جوشکاری)

اجزا تشکیل دهنده پل کدام هستند؟

ساختار پل، به طور کلی به دو بخش روسازه و زیرسازه تقسیم می‌شود. عرشه و اجزای مرتبط با آن مانند دال، شاه‌تیر، خرپا و غیره در بخش روسازه و یاتاقان، کوله، پایه و فونداسیون و غیره در بخش زیرسازه قرار می‌گیرند. در ادامه به معرفی اجزا اصلی پل و عملکرد آن‌ها می‌پردازیم.

عرشه پل چیست و چه کاربردی دارد؟

عرشه همان مسیر عبور و مرور بر روی پل است که بارهای اعمال شده از طرف وسایل نقلیه یا افراد را تحمل می‌کند. این بخش از پل، فرآیند انتقال نیرو به فونداسیون را بهبود می‌بخشد. المان‌های مورد استفاده در عرشه پل به جنس و نوع پل بستگی دارند. به عنوان مثال، شاه‌تیر یا تیرهای بزرگ به عنوان تکیه‌گاه عرشه (تحمل بارهای افقی) و پایه (تکیه‌گاه میانی) به عنوان نگهدارنده شاه‌تیر عمل می‌کنند. تمام این اجزا توسط یک فونداسیون عمیق نگهداری می‌شوند.

لایه بالایی پل که با عنوان عرشه پل شناخته می‌شود.

یاتاقان پل چه وظیفه ای را بر عهده دارد؟

بارهای اعمال شده به عرشه با استفاده از یاتاقان به اجزا زیرسازه منتقل می‌شوند. یاتاقان بخشی است که امکان توزیع مناسب و ایمن بار به بخش‌های دیگر را فراهم می‌کند. اگر اجزا زیرسازه قادر به تحمل مستقیم فشار وارد شده به پل نباشند، نقش یاتاقان اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. بارهای ناشی از عبور و مرور بر روی پل و تغییرات دمایی باعث اعمال نیروهای طولی بر شاه‌تیر می‌شوند. در صورتی که یاتاقان امکان جابجایی در جهت این نیروها را نداشته باشد، احتمال رخ دادن شکست در شاه‌تیر به وجود می‌آید. در واقع یاتاقان بخشی است که امکان جابجایی طولی را برای شاه‌تیر فراهم می‌کند.

اجزا روسازه از جمله عرشه بر روی یاتاق قرار می‌گیرند.

انتخاب نوع یاتاقان به بار اعمال شده، هندسه پل، میزان نگهداری، فضای موجود، جابجایی مورد انتظار، چرخش مجاز، خمش مجاز، در دسترس بودن، نظر طراح و مسائل مالی بستگی دارد. به دلیل وجود این عوامل، طراح باید سیستم یاتاق در ساخت پل را به عنوان یک پروژه جدا در نظر بگیرد.

پایه پل چیست و انواع آن کدام هستند؟

پایه، سازه‌ای عمودی است که به منظور نگهداری عرشه یا یاتاقان برای انتقال بار به فونداسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سازه‌ها معمولا در معرض نیروهای برشی (نیروهای جانبی) قرار می‌گیرد. پایه‌ها به عنوان کوله یا تکیه‌گاه دهانه‌ها در نقاط میانی پل عمل می‌کنند. به طور کلی، عملکرد پایه به دو مورد زیر تقسیم می‌شود:

۱. انتقال بار به پی
۲. مقاومت در برابر نیروهای جانبی

در اکثر موارد، طراحی پایه تنها برای مقاومت در برابر بارهای عمودی صورت می‌گیرد. در نواحی مستعدد زمین لرزه توصیه می‌شود بارهای جانبی نیز در طراحی پایه در نظر گرفته شوند.

پایه میانی در یک پل مخصوص راه‌آهن

اکثر پایه‌ها با استفاده از بتن ساخته می‌شوند و فولاد کاربرد کمی در ساخت این سازه‌ها دارد. البته در روش‌های جدید، ستون‌های کامپوزیتی مانند ستون‌های فولادی پر شده با بتن نیز برای ساخت پایه مورد استفاده قرار می‌گیرند. پایه‌های متشکل از چند ستون، خرک نام دارند. نوع پایه مورد استفاده در پل با توجه به نوع اتصالات، شکل سطح مقطع و پیکربندی چارچوب انتخاب می‌شود. به این ترتیب، انواع پایه عبارت هستند از:

- **بر اساس نوع اتصالات** :یکپارچه یا طره ای (خرپایی)
- **بر اساس شکل سطح مقطع** :توپر، توخالی، شش گوش، دایره‌ای، هشت گوش یا مستطیلی
- **بر اساس پیکربندی** :منفرد، خرک، چکشی یا دیواری

تکیه‌گاه یا کوله پل چیست و چه اجزایی دارد؟

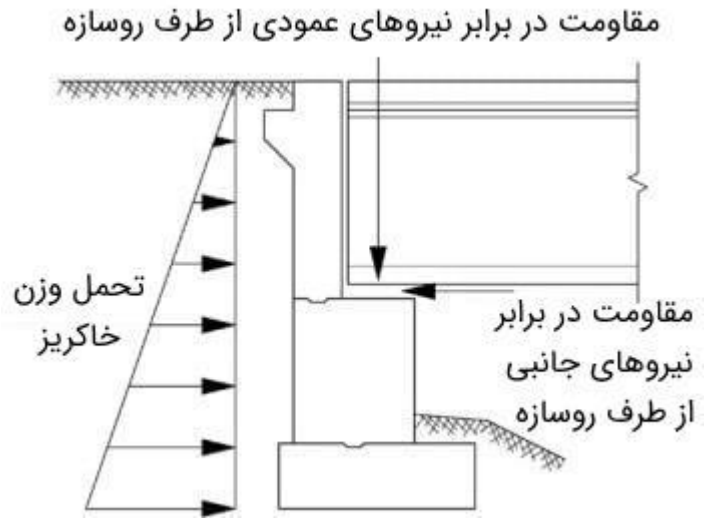
تکیه‌گاه یا کوله پل، سازه‌ای عمودی است که برای تحکیم و نگهداری زمین پشت سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. بارهای مرده و زنده اجزا روسازه توسط کوله‌ها تحمل می‌شوند. علاوه بر این، کوله از سوی خاکریز مجاور در معرض فشارهای جانبی نیز قرار می‌گیرند.

کوله پل

طراحی بارهای اعمال شده بر کوله به موارد زیر بستگی دارد:

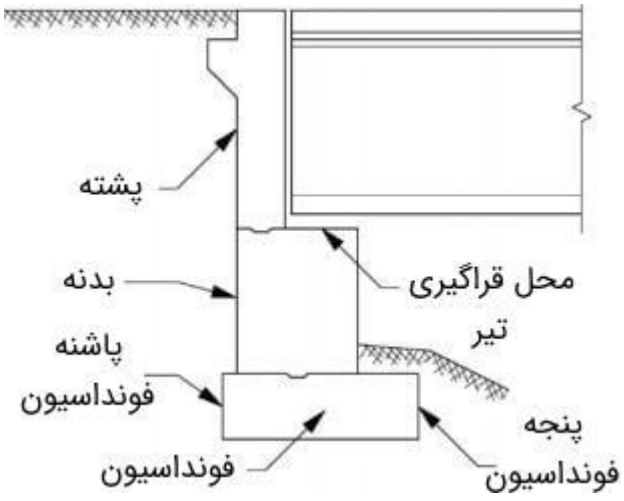
- نوع کوله مورد استفاده
- ترتیب ساخت

شکل زیر، نیروهای وارده بر یک کوله در حال ساخت را نشان می‌دهد.



عکس‌العمل کوله در برابر نیروی‌های اعمال شده

الزامات طراحی کوله‌ها مشابه دیوارهای حائل است. کوله‌ها در وهله اول برای مقاومت در برابر پیچش و لغزش طراحی می‌شوند. در واقع تمرکز اصلی در ساخت این سازها، پایداری کل سیستم است. برای اطمینان از عملکرد صحیح کوله باید نظارت ویژه‌ای بر روی آن وجود داشته باشد تا هیچ گونه نشست یا جابجایی اضافی رخ ندهد. در شکل زیر، بخش‌های مختلف کوله نشان داده شده است.



اجزا کوله

دیوار جناحی پل چه کاربردی دارد؟

دیوار جناحی یک سازه کمکی است که برای نگهداری بیشتر کوله در برابر جابجایی زمین زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیوار جناحی مانند یک دیوار حائل در مجاورت کوله‌ها و با شیب طبیعی زمین ساخته می‌شوند. ساخت این سازه‌ها به صورت مستقل یا ادغام شده با تکیه‌گاه‌ها صورت می‌گیرد.

دیوار جناحی

در هنگام طراحی دیوارهای جناحی باید سه بار اعمال شده زیر را در نظر گرفت:

۱. فشار زمین از طرف خاکریز
۲. روبار حاصل از بارهای زنده
۳. بارهای هیدرولیکی ناشی از وضعیت اشباع خاک (وجود یا عدم وجود آب در خاک)

پایداری دیوار جناحی بیشتر به مقاومت آن در برابر فشارهای فعال زمین بستگی دارد. در طرف مقابل، المان‌های سازه‌ای پل برای مقاومت در برابر فشارهای ساکن زمین طراحی و ساخته می‌شوند.

پی یا فونداسیون پل چیست؟

فونداسیون پل، سازه‌ای است که به منظور توزیع متقارن بار اعمال شده از طرف پایه، کوله و دیوار جناحی به لایه‌های زیرین ساخته می‌شود. عمق فونداسیون ساخته شده برای اجزا مختلف باید به اندازه‌ای باشد که ضربه‌های ناشی از حرکت آب یا حفر سازه‌های زیرمینی باعث آسیب دیدن آن نشود.

فوندانسیون پل در پایین‌ترین بخش آن قرار دارد.

در رابطه با ساخت پل ماکارونی فیلم آموزشی جالبی در مجموعه فرادرس تهیه شده است که می‌تواند شما را با ساز و کار پل‌ها آشنا کند. لینک این فیلم در ادامه آورده شده است.

جان‌پناه، نرده، گارد ریل و جدول

جان‌پناه، نرده، گارد ریل و جدول از نظر ساختاری برای سازه مهم نیستند اما به خاطر رعایت مسائل ایمنی در پل ساخته می‌شوند. این سازه‌ها بر روی عرشه قرار می‌گیرند؛ از افتادن وسایل نقیله به پایین جلوگیری کرده و امکان جداسازی مسیر برای کنترل ترافیک را فراهم می‌کنند.

نمونه‌ای از یک جان‌پناه در کنار عرشه

مواد مورد استفاده در ساخت پل کدام هستند؟

سنگ، چوب، بتن و فولاد، چهار ماده مرسوم مورد استفاده در ساخت پل هستند .چوب و سنگ از اولین مواد به کار رفته در ساخت پل محسوب می‌شوند. مهمترین دلیل استفاده از این مواد در زمان‌های قدیم، دسترسی آسان به آن‌ها در طبیعت بود. بعدها از آجر به عنوان یک ماده فرعی برای ساخت پل‌های سنگی استفاده شد. با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی ساخت پل، گزینه‌های بیشتری پیش روی طراحان قرار گرفت. بتن و فولاد از مواد مصنوعی ساخته شده توسط انسان هستند .استفاده از این مواد مصنوعی در ساخت پل، به عنوان دومین دوره در مهندسی پل و شروع تکنولوژی جدید پل‌سازی در نظر گرفته می‌شود. امروزه علاوه بر بتن و فولاد، ساخت پل‌های جدید با استفاده از ترکیب مواد مختلف یا مواد ترکیبی صورت می‌گیرد. در ادامه، مواد مورد استفاده در ساخت پل‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

سنگ

سنگ، یکی از اولین موادی به شمار می‌رود که برای ساخت پل مورد استفاده قرار گرفته است. در طول تاریخ، این ماده تنها به شکل قوسی در ساخت پل به کار رفته است؛ چراکه سازه‌های قوسی مقاومت فشاری بالاتری را تحمل می‌کنند .استفاده از سنگ، امکان ساخت پل‌های زیبا و بادوام را برای مهندسان فراهم کرد. دوام بالا و نیاز به تعمیر و نگهداری کم باعث اثبات کارآمدی و صرفه اقتصادی پل‌های سنگی در دوره‌های مختلف شد.

چوب

در گذشته، مواد چوبی کاربرد بسیار گسترده‌ای در ساخت پل‌ها داشتند. در آن دوران، از چوب برای ساخت پل‌های کوچک (پیاده‌روها) با ظرفیت باربری پایین استفاده می‌شد. از مزایای چوب می‌توان به سختی بالا، دسترسی آسان،

هزینه پایین، سبکی و سازگاری با محیط زیست اشاره کرد. معایبی نظیر تنوع بسیار زیاد (خواص متفاوت)، آسیب‌پذیری در برابر حشرات (موریانه، سوسک، کرم و غیره)، احتمال پوسیدگی، ضعف در برابر دماهای بالا و مقاومت کششی پایین باعث کاربرد محدود چوب در ساخت پل‌های امروزی شده است. امروزه از چوب‌های ورقه‌ای در تیر و قوس پل‌ها استفاده می‌شود.

فولاد

شروع استفاده از فلزات در ساخت پل‌ها به دوران انقلاب صنعتی بازمی‌گردد .در آن زمان از آهن یا چدن در ساخت پل‌ها استفاده می‌شد. آهن و چدن دارای مقاومت فشاری بالا و مقاومت کششی پایین هستند. مقاومت کششی پایین این مواد منجر به ساخت آلیاژی از آهن، کربن و دیگر فلزات شد که به آن فولاد گفته می‌شود. فولاد مقاومت فشاری و کششی بالایی نسبت به مواد دیگر دارد. این موضوع، استفاده از آن را برای ساخت پل مناسب می‌کند. فولاد مورد استفاده در ساخت و سازهای معمولی، ۱۰ برابر مقاوم‌تر از بتن است .شکل پذیری فولاد، مهمترین ویژگی ذاتی آن برای ساخت پل‌ها به شمار می‌رود. این ویژگی مهم باعث می‌شود که پیش از شکست کامل، مقداری تغییرشکل در سازه رخ دهد.

خواص فولاد، به ترکیب شیمیایی و روش ساخت آن بستگی دارد. موارد زیر مهمترین خواص فولاد هستند که برای ساخت پل در نظر گرفته می‌شوند:

- مقاومت
- سختی(چقرمگی)
- شکل‌پذیری
- دوام
- قابلیت جوش پذیری

منظور از مقاومت فولاد، مقاومت کششی و مقاومت تسلیم آن است. به دلیل طراحی اکثر سازه های فولادی برای عملکرد در شرایط الاستیک، دانستن مقاومت تسلیم اهمیت بالایی پیدا می‌کند. مقدار این مقاومت معمولا در دستورالعمل‌های طراحی آورده می‌شود .شکل‌پذیری فولاد برای طراحی اتصالات و نحوه توزیع تنش در مراحل نهایی شکست اهمیت دارد. علاوه بر این موارد، مقاومت فولاد در برابر هوازدگی نیز در حین طراحی مد نظر قرار داده می‌شود.

بتن

بتن، ماده اصلی به کار رفته در ساخت اکثر پل‌های جدید است. این ماده با وجود بهره‌مندی از مقاومت فشاری بالا، مقاومت کششی پایینی دارد. البته مشکل پایین بودن مقاومت کششی بتن با ظهور سازه‌های بتن مسلح کاملا برطرف شده است .مدول الاستیسیته بتن در تنش‌های پایین به سمت مقادیر ثابت میل می‌کند. این مسئله می‌تواند زمینه‌ساز تشکیل و گسترش ترک در سازه‌های بتنی شود. انبساط حرارتی، آب‌رفتگی و خزش در تنش‌های بالا از دیگر مسائلی که امکان رخ دادن آن‌ها در سازه‌های بتنی وجود دارد.

رفتار مکانیکی بتن بر اساس مقاومت فشاری آن مشخص می‌شود. معمولا بتن مسلح یا پیش تنیده در ساخت پل مورد استفاده قرار می‌گیرد. آرماتورهای موجود در این نوع بتن، ویژگی شکل‌پذیری سازه را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، امروزه استفاده از این آرماتورها به عنوان الزامی برای مقاومت پل در برابر زلزله در نظر گرفته می‌شود. در

مجموع، بتن پیش تنیده نسبت به بتن مسلح کاربرد و رواج بیشتری برای ساخت پل دارد؛ چراکه بتن پیش تنیده، معایب عمده بتن مسلح نظیر محدودیت در مقاومت، سنگینی سازه و دشوار بودن ساخت و ساز را برطرف کرده است.

کامپوزیت

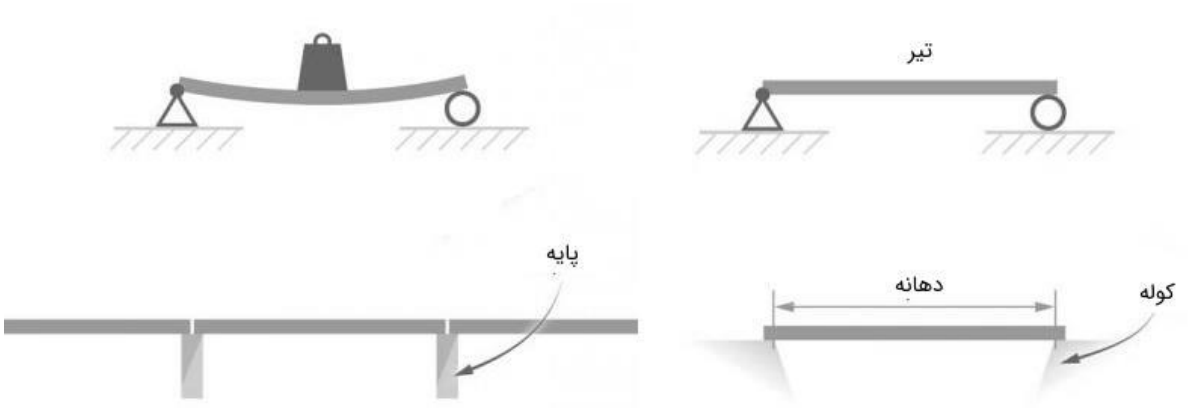
مواد کامپوزیتی به عنوان یک گزینه مناسب برای ساخت پل‌های جدید و همچنین ترمیم پل‌های قدیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال، فیبرهای پلیمری تقویت‌شده دارای وزن کم، دوام بالا، مقاومت خوب و شکل‌پذیری مناسب هستند. مواد کامپوزیتی علاوه بر داشتن مزیت‌های مواد دیگر، معایب آن‌ها را نیز برطرف کرده‌اند.

انواع پل کدام هستند؟

پل، سازه‌ای با انواع متنوع است. به طور کلی، نحوه اعمال تنش‌های عمودی یا افقی، ساختار پل را مشخص می‌کند. در برخی از موارد، وظیفه تحمل بارهای اعمال شده بر عهده عرشه و در موارد دیگر، این وظیفه بر عهده پایه‌ها است .در مجموع، پل‌ها را می‌توان به هفت گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد. در ادامه، به معرفی انواع پل می‌پردازیم.

پل تیری یا پل شاه تیری

پل تیری، پل شاه‌تیری یا پل با تیر نورد شده، یکی از ساده‌ترین انواع پل محسوب می‌شود. پل‌های ساخته شده توسط الوار چوبی را می‌توان به عنوان شناخته‌شده‌ترین نوع پل‌های تیری در نظر گرفت. در گذشته، بخش عرشه این سازه‌ها با چندین تخته یا الوار چوبی ساخته می‌شد. نگهداری عرشه نیز توسط دو پایه یا تکیه‌گاه در دو طرف الوار صورت می‌گرفت. در اکثر مواقع، تیرهای میانی وظیفه نگهداری و پایداری بیشتر پل‌های تیری را بر عهده دارند.



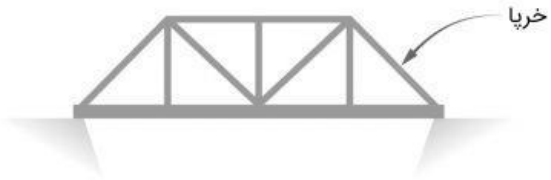
اجزا پل تیری

فضای مخصوص عبور و مرور انسان‌ها یا وسایل نقلیه از یک عرشه ساده عمود بر تیرهای نگهدارنده تشکیل می‌شود. به این سازه، تیر با نگهداری ساده می‌گویند. در این نوع پل، هیچ توزیع تنشی بین اجزا صورت نمی‌گیرد.

نمونه‌ای از یک پل تیری بر روی رود آیوا

پل خرپایی

پل خرپایی، سازه‌ای است که با استفاده بهینه و ساده از خرپا، بارهای اعمال شده را تحمل می‌کند. قدمت استفاده از این نوع پل، به چندین قرن قبل بازمی‌گردد. انواع مختلفی از پل‌های خرپایی ساده وجود دارند که تمام آن‌ها از مقاطع مثلثی تشکیل می‌شوند.

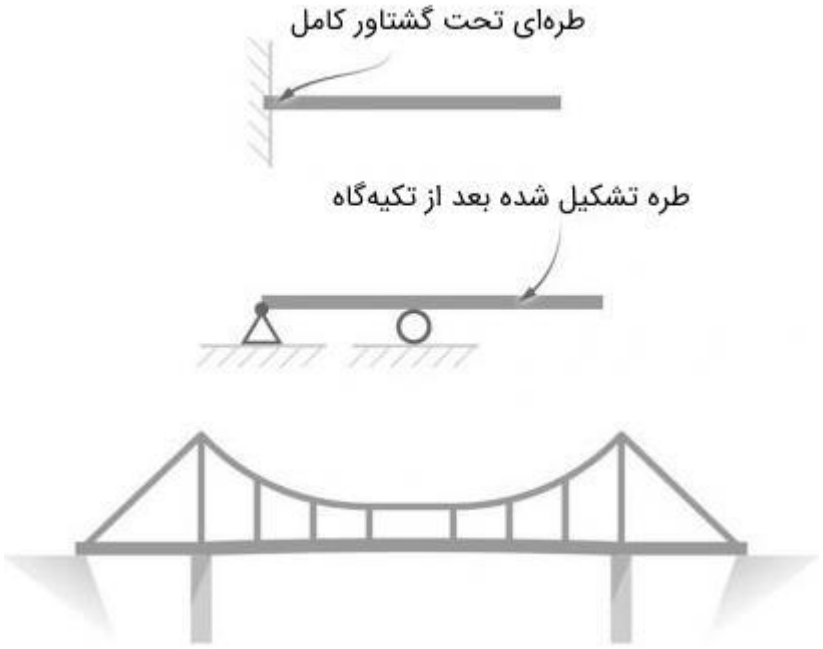


نقش اجزا مثلثی در پل‌های خرپایی بسیار مهم است. این اجزا با جذب موثر بارهای کششی و فشاری، امکان عملکرد مناسب سازه در برابر بارهای دینامیکی را فراهم می‌کنند. به این ترتیب از حفظ مناسب ساختار پل و عدم آسیب دیدن عرشه هنگام وزش بادهای شدید اطمینان حاصل می‌شود.

نمونه‌ای از یک پل خرپایی

پل طره ای

طراحی اولین پل طره‌ای به عنوان یک پیشرفت بزرگ در مهندسی پل در نظر گرفته می‌شود. ساخت این نوع پل، توسط تیر یا خرپاهای یکسرگیر دار (طره) ساده صورت می‌گیرد. این اجزا با استفاده از بتن پیش تنیده یا فولاد ساختمانی ساخته می‌شوند. اگر عرشه تنها از یک طرف (در ناحیه بازوی گیردار) نگهداری شده باشد، ساختار سازه ناپایدار و خطرناک به نظر خواهد رسید. در صورتی که بازوهای گیردار پل توسط دهانه معلق به یکدیگر متصل می‌شوند.



دهانه معلق، یک عضو میانی است که هیچ نگهداری در زیر آن وجود ندارد. در واقع، بار پل توسط مهاربندهای قطری به همراه تیرهای افقی تحمل می‌شود .امروزه ساخت پل‌های طره‌ای با رعایت شدید مسائل ایمنی صورت می‌گیرد.

نمونه‌ای از یک پل طره‌ای

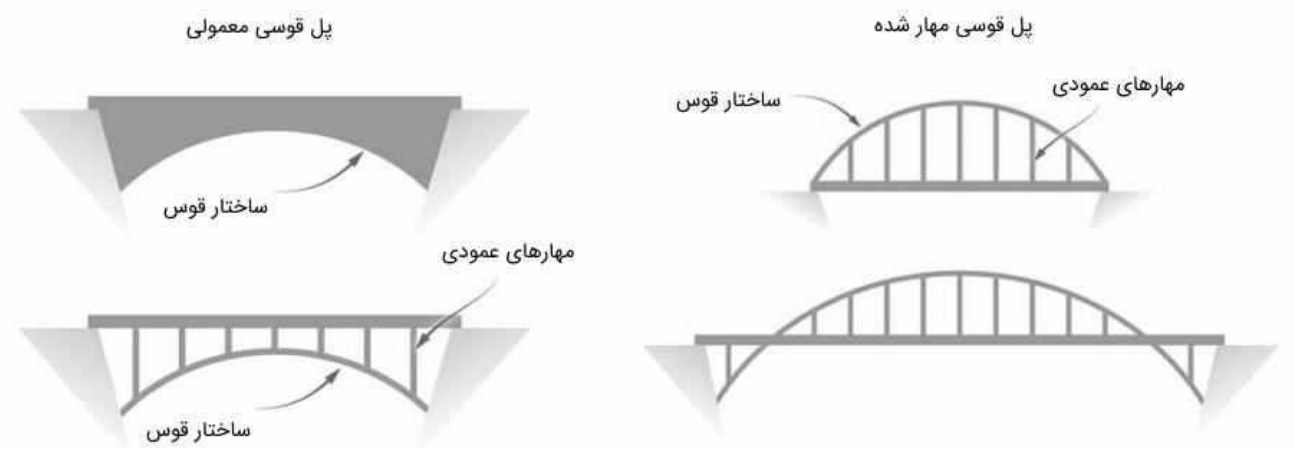
پل قوسی معمولی

پل‌های قوسی انواع مختلفی دارند. با این وجود، یک المان در تمام این پل‌ها مشترک است. پل‌های قوسی، دارای یک یا چند قوس در زیر سازه و تکیه‌گاه‌هایی برای نگهداری این قوس‌ها هستند. متداول‌ترین نوع پل قوسی، پل چند دهانه (دره گذر) با طول زیاد و قوس‌های فراوان است.

در پل‌های قوسی، فشارهای جانبی ناشی از دهانه قوس به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌شوند. به همین دلیل، حفظ یکپارچکی، مقاومت بالا و ساخت مناسب این بخش از اهمیت بالایی برخوردار است. پل‌های قوسی دارای طراحی ساده و کارایی بالا هستند. این پل‌ها می‌توانند وزن انسان و حتی وسایل نقلیه سنگین (مانند قطار) را تحمل کنند.

پل قوسی مهار شده

پل‌های قوسی مهار شده، سازه‌هایی با طراحی جذاب هستند که معمولا از یک قوس فلزی به همراه مهارهای عمودی نگهدارنده بین عرشه و قوس استفاده ساخته می‌شوند. نقاط انتهایی قوس توسط یال تحتانی مشابه ترکیب کمان و زه به یکدیگر متصل شده‌اند.



مقایسه ساختار پل‌های قوسی معمولی با پل‌های قوسی مهار شده

مهارهای عمودی، فشار رو به پایین قوس به عرشه را به کشش تبدیل می‌کنند .به باور عموم، در این پل‌ها کوله‌ها وظیفه نگه داشتن قوس و کل سازه را در کنار یکدیگر بر عهده دارند. اگرچه، این عرشه یا یال تحتانی است که نقاط انتهایی قوس را به یکدیگر متصل می‌کند. بهترین مثال برای درک این وضعیت، زه کمان است. زه با جذب فشار، دو طرف کمان را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد و صاف باقی می‌ماند.

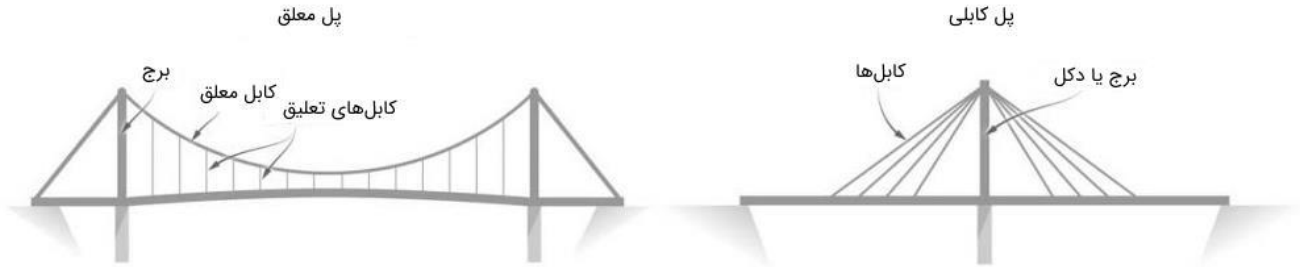
پل معلق

ساختار پل‌های معلق بسیار ساده و در عین حال کارآمد است. عرشه این پل‌ها، وظیفه تحمل بارهای وارده را بر عهده دارند. بر روی عرشه پل‌های معلق، برج‌هایی به منظور نگهداری از کابل‌های معلق و کابل‌های تعلیق قرار گرفته‌اند. کابل‌های معلق از هر دو طرف پل گسترش می‌یابند و به طور محکم به زمین وصل می‌شوند. تعداد برج‌های مورد استفاده برای نگهداری کابل‌های معلق به اندازه پل بستگی دارد.

تمام بارهای اعمال شده به پل در طول کابل‌های معلق به کشش تبدیل می‌شوند. در صورت وجود نقص، عدم توزیع صحیح بارهای اعمال شده و اضافه کردن بار به سیستم از طرف این کابل‌ها، امکان جابجایی پل در شرایط بد آب و هوایی وجود خواهد داشت.

پل کابلی

پل‌های کابلی، سازه‌هایی هستند که در آن‌ها، برج یا دکل وظیفه تحمل بار را بر عهده دارد. در این سازه‌ها، تعدادی کابل مستقیما از بالا یا از نقاط مختلف روی برج به عرشه متصل می‌شوند. در حالت اتصال از نقاط مختلف، یک الگوی بادبزنی توسط کابل‌ها به وجود می‌آید. این الگو نشانه‌ای است که بسیاری از مردم پل‌های کابلی را از روی آن می‌شناسند.



مقایسه ساختار پل‌های معلق با پل‌های کابلی

کاربرد پل‌های کابلی برای مواقعی است که طول مسیر بیشتر از طول مناسب برای طراحی پل‌های طره‌ای و کمتر از طول مناسب برای طراحی پل‌های معلق باشد. یکی از مشکلات اصلی استفاده از این پل‌ها، امکان اعمال فشار افقی از طرف اتصالات میانی کابل‌ها به روی عرشه است. به همین دلیل، عرشه پل‌های کابلی باید برای تحمل این فشارها تقویت شده باشد.

پل متحرک

پل‌های متحرک، نوع دیگری از پل‌ها هستند که به دلیل تفاوت جزئی با دیگر موارد، در گروه اصلی قرار نمی‌گیرند. این پل‌ها که قابلیت تغییر موقعیت و شکل را دارند؛ به منظور فراهم کردن امکان عبور کشتی و قایق طراحی و ساخته می‌شوند. در مواقعی که به کارگیری مسیر طولانی و پایه‌های بلند ضروری نباشد، استفاده از پل‌های متحرک از نظر هزینه گزینه مناسب‌تری خواهد بود .تنها عیب این سازه‌ها، توقف ترافیک روی آن‌ها در هنگام عبور کشتی و قایق است. پل‌های متحرک را می‌توان به انواع باسکولی (بازشو یک طرفه یا دو طرفه)، گردان (چرخشی)، آسانسوری (بالا رونده)، جمع شونده (تاشو)، موقت و غیره تقسیم‌بندی کرد.

مقایسه انواع پل ها

پارامترهای مختلفی برای مقایسه انواع پل‌ها وجود دارد. در این بخش، انواع پل را از نظر هزینه، کارایی، مقاومت و ساخت به طور خلاصه مورد بررسی قرار می‌دهیم.

هزینه

با یک بررسی ساده بر روی هزینه ساخت پل‌ها می‌توان دریافت که پل‌های معلق، هزینه بیشتری نسبت به دیگر گزینه‌ها دارند. عوامل زیادی بر روی هزینه بالای پل‌های معلق تاثیرگذار هستند. پل‌های معلق معمولا برای مسیرهای بسیار بلند (با دهانه‌های حداکثر دو کیلومتری) مورد استفاده قرار می‌گیرند. ابعاد برج، مواد مورد استفاده و نصب خرپای عرشه (در زیر عرشه) نیز هزینه‌های بیشتری را به ساخت این نوع پل اضافه می‌کنند. امروزه ساخت پل‌های معلق بزرگ می‌تواند تا یک میلیارد دلار هزینه داشته باشد.

کارایی

از نظر مقاومت، کارایی پل‌های خرپایی بیشتر از انواع دیگر پل‌ها است. این پل‌ها، **نسبت مقاومت به وزن** بهتری دارند.

مقاومت

پل‌های خرپایی علاوه بر نسبت بالای مقاومت به وزن، به عنوان مقاومت‌ترین نوع پل نیز در نظر گرفته می‌شوند. این سازه‌ها از مجموعه اجزا مثلثی شکل ساخته می‌شوند. اتصال اجزا مثلثی به یکدیگر معمولا توسط پیچ و مهر صورت می‌گیرد. این کار باعث پخش شدن بار ناشی از حرکت وسایل نقلیه یا شرایط بد آب و هوایی به تمام اجزا پل می‌شود. به این ترتیب، پایداری سازه افزایش و احتمال خم شدن آن کاهش می‌یابد.

ساخت

ساده‌ترین نوع پل از نظر ساخت، پل‌های تیری هستند. به همین دلیل، پل‌های تیری به عنوان رایج‌ترین نوع پل نیز شناخته می‌شوند.

روش های ساخت پل کدامند؟

در بخش‌های قبلی، تاریخچه ساخت پل توسط انسان را مورد بررسی قرار دادیم .امروزه با پیشرفت تکنولوژی، روش‌های متعددی برای ساخت این سازه‌ها معرفی شده‌اند. در ادامه به معرفی پرکاربردترین روش‌های ساخت پل می‌پردازیم.

ساخت پل با روش ساخت برجا

«روش ساخت برجا» (Cast In Situ Method)، یک روش انعطاف‌پذیر برای ساخت پل‌هایی با هندسه پیچیده یا غیرمتعارف است. قطعات مورد نیاز برای ساخت پل با استفاده از روش ساخت برجا در محل پروژه ساخته می‌شوند. این روش بیشتر در پروژه‌هایی به کار می‌رود که به دلیل اندازه بزرگ قطعات ساخته شده یا نبودن مسیر دسترسی مناسب، امکان انتقال اجزا به محل مورد نیاز وجود نداشته باشد. روش ساخت برجا به سه نوع «روش

پیشرانی» (Incremental Launching Method)، «روش طره متعادل» (Balanced Cantilever Method) و «روش ساخت برجا پس تنیده» (Cast In Situ Post Tensioned Method) تقسیم می‌شود.

ساخت پل با روش پیشرانی

روش پیشرانی یا به اختصارILM ، معمولا برای ساخت پل‌های بتنی پیوسته یا پل‌هایی با شاه‌تیر فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیند ساخت در این روش به صورت تدریجی است. در روش پیشرانی، ساخت عرشه با جلو بردن سازه از تکیه‌گاه تا پایه به صورت منقطع انجام می‌شود. این روش برای عرشه‌هایی با طول بیش از ۲۵۰ متر قابل استفاده است.

ساخت پل با روش طره متعادل

روش طره متعادل برای ساخت پل‌هایی با طول دهانه ۵۰ تا ۲۵۰ متر مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساخت پل در این روش می‌تواند به صورت برجا یا پیش ساخته باشد. در روش برجا، قطعات پل از سر آزاد طره نگهداری شده توسط پایه‌ها به یگدیگر متصل می‌شوند. روش طره متعادل برای ساخت پل‌هایی با دهانه بلند، طول نامنظم و پل‌های کابلی بهترین گزینه به حساب می‌آید.

ساخت پل با روش ساخت برجا پس تنیده

روش ساخت برجا پس تنیده، یکی از پرتقاضاترین روش‌های ساخت پل است. این روش امکان ساخت پل‌هایی با انحناهای پیچیده و با دوام بالا را فراهم می‌کند. در این روش علاوه بر بتن و آرماتور، رشته‌ها و میله‌ها نیز برای ایجاد پس تنیدگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پس از آماده‌سازی قالب بتن، رشته‌ها درون آرماتور قرار می‌گیرند و بتن‌ریزی انجام می‌شود. پس از سفت شدن بتن، رشته‌ها توسط جک کشیده می‌شوند تا در معرض یک نیروی کششی با مقدار مشخص قرار گیرند. با رسیدن به نیروی کششی از پیش تعیین شده، رشته‌ها در همان وضعیت قفل می‌شوند. به این ترتیب، ظرفیت باربری و دوام پل افزایش می‌یابد. پس تنیدگی، نیاز به استفاده از تکیه‌گاه‌های میانی را برای پل‌هایی با دهانه بلند حذف می‌کند.

مزایا و معایب روش ساخت برجا

مزایای روش ساخت برجا عبارت هستند از:

- نیازی به جابجایی سنگین تجهیزات یا انتقال تجهیزات به محل پروژه وجود ندارد.
- روسازه از آسیب‌های حین جابجایی در امان است.
- بهترین گزینه برای ساخت پل در نواحی غیر قابل دسترس است.
- هزینه ساخت پل‌های بتنی مسلح مناسب است.

از معایب روش ساخت برجا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- زمان ساخت نسبت به روش‌های پیش ساخته بیشتر است.
- برای مواردی که ساخت بر روی آب انجام می‌شود، احتمال آسیب دیدن بتن تازه وجود دارد.
- نیاز به نیروی کار زیاد و نظارت افراد باتجربه وجود دارد.

ساخت پل با روش پیش ساخته

در «روش پیش ساخته(Precast Method) «، ساخت پل با استفاده از قطعات پیش ساخته بتنی انجام می‌شود. روش‌های مختلفی برای ساخت این قطعات وجود دارد .به طور کلی، اجزا پیش ساخته در این روش به موارد زیر تقسیم می‌شوند:

- تیرهای پیش ساخته
- عرشه پیش ساخته
- عرشه پیش ساخته منقطع

ساخت پل با روش ساخت دهانه به دهانه

»روش ساخت دهانه به دهانه(Span by Span Casting Method) «، یکی از روش‌های پیشرفته مشابه روش طره متعادل است. ساخت دهانه به دهانه به عنوان بهترین روش از نظر هزینه و سرعت در نظر گرفته می‌شود. این روش به منظور ساخت پل‌های بلند یا چند دهانه با طول حداکثر ۶۰ متر برای هر دهانه منتاسب است.

روش ساخت دهانه به دهانه، با قرار دادن عرشه در یکی از تکیه‌گاه‌ها شروع می‌شود و با اتصال قطعات بعدی تا رسیدن به انتهای پل پایان می‌یابد .جانمایی قطعات توسط یک سیستم دکل موقتی یا با استفاده از خرپا مونتاژ شده صورت می‌گیرد.

عوامل موثر بر انتخاب پل مناسب کدام هستند؟

پیش از ساخت پل، باید روش مناسب آن را انتخاب کرد. این کار توسط تیم طراحی پل صورت می‌گیرد. عوامل اصلی موثر بر انتخاب روش منسب ساخت پل عبارت هستند از:

۱. مقیاس
۲. موانع موجود در مسیر
۳. قواعد مربوط به طول دهانه
۴. مقاطع افقی و عمودی عرشه
۵. نوع و خواص زمین‌شناسی لایه‌های خاک
۶. آب و هوای منطقه
۷. هزینه مواد سازنده
۸. هزینه نیروی انسانی
۹. مسیر دسترسی به محل پروژه
۱۰. حداکثر زمان موجود برای ساخت

عوامل موثر بر تخریب پل کدام هستند؟

پل‌ها، سازه‌های بزرگ و سنگین با طراحی و ساخت دشوار هستند. ساخت این سازها نیازمند زمان و هزینه بالا است. به همین دلیل، رخ دادن هر نوع شکستی در پل‌ها می‌تواند ضررهای جانی و مالی قابل توجهی را در پی داشته باشد. به طور کلی، عوامل موثر بر شکست پل‌ها عبارت هستند از:

- طول دهانه
- اعمال بارهای ضربه‌ای یا متناوب بر روی سازه
- احتمال افزایش بار در طول عمر سازه
- وجود شرایط بد آب و هوایی (بدون هیچ گونه روکش‌کاری) و قرارگیری در معرض باد، رطوبت و تغییرات اقلیمی شدید
- عبور متناوب وسایل نقلیه سنگین

کاربری و عملکرد پل‌ها به بار اعمال شده بر روی آن‌ها و محیطی که قرار است از روی آن عبور کنند، بستگی دارد. طبق مطالعات صورت گرفته، حساس‌ترین اجزا در هنگام رخ دادن شکست‌های بزرگ عبارت هستند از:

۱. **پی** :فرسایش و آسیب دیدن پی باعث ریزش کل سازه می‌شود.
۲. **اجزا فولادی** :خستگی، شکنندگی، تنش و خوردگی اجزا فولادی سازه باعث ایجاد و گسترش ترک می‌شوند.
۳. **اجزا عرشه** :برخورد وسایل نقلیه با شاه‌تیر و پایه‌ها، برخورد وسایل نقلیه با اجزا خرپا، جابجایی بار قطار و خروج قطار از ریل
۴. **سطح عرشه** :شوره زدن سطح عرشه باعث تنش زدایی و خوردگی تقویت‌کننده‌های سازه می‌شود.
۵. **سیستم کف** :خوردگی و آسیب دیدن سیستم کف پل باعث آسیب به جاده یا عرشه می‌شود.
۶. **اجزا مجاور آب** :ضربه‌های ناشی از جریان آب زیر پل باعث اعمال بارهای اقفی به کف و آسیب‌پذیری آن می‌شود.