

یا حق



دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران
کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت

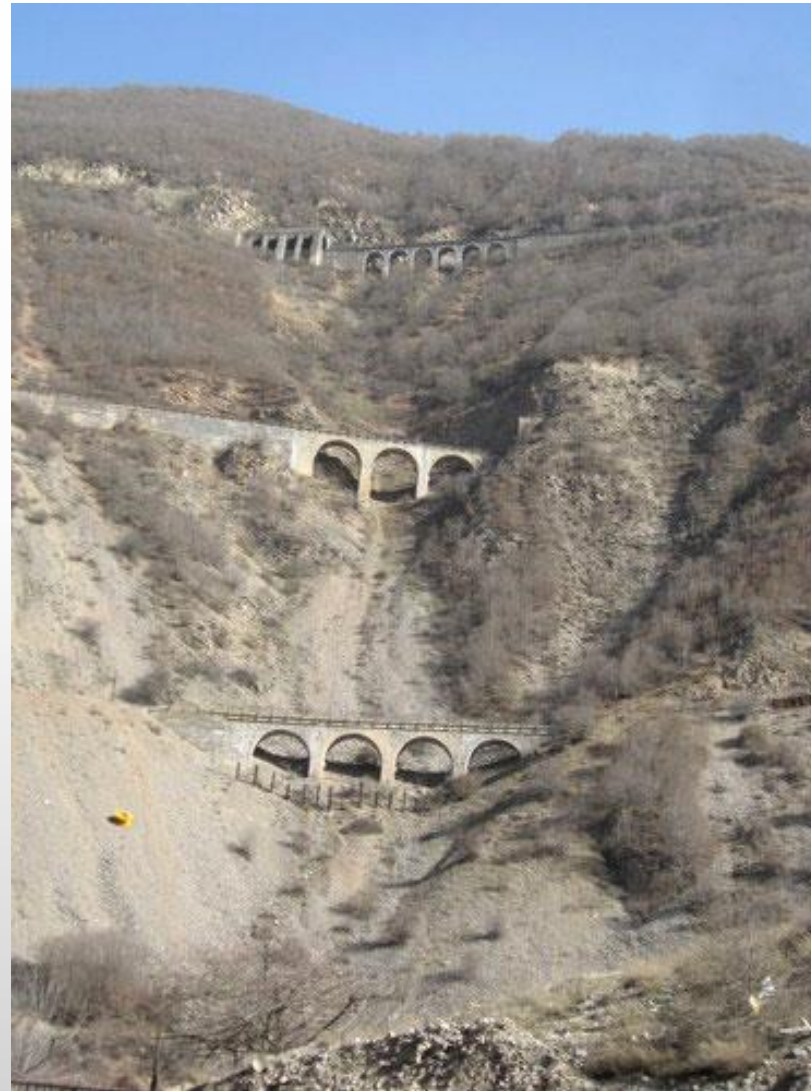
روش‌های ساخت

مدرس: امیر حسین اویسی اسکویی

نیمسال دوم سال تحصیلی ۹۵ - ۹۴



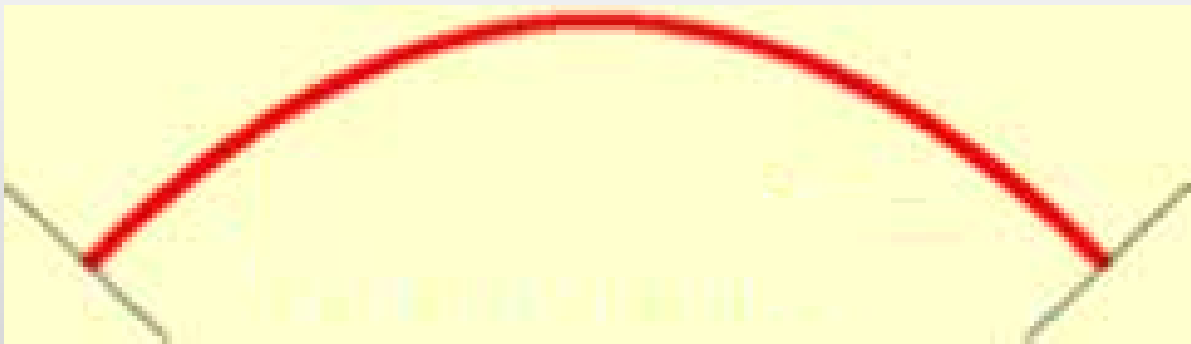
پل قوسی



پل قوسی (Arch Bridges)

پل های قوسی مطلقاً تحت فشار هستند و به همین علت از مصالحی چون مصالح بنایی، چدن و بتن ساخته می شوند. این پل ها بطور ناچیزی تحت کشش قرار می گیرند. البته در قوس مشبک تعدادی اجزای کششی وجود دارد اما اجزای اصلی پل تحت فشار قرار می گیرند و معمولاً این اجزای اصلی ضخیم تر از سایر اجزای پل ساخته می شوند.

پل قوسی یکی از ساده ترین پل هاست. زیرا اگر آن را بر روی سنگ سخت بسازیم، ما فقط به یک قوس نیاز داریم و به هیچ بخش دیگری جهت تولید پل نیاز نیست زیرا سنگ به عنوان تکیه گاه عمل می کند و سنگ باید به گونه ای برش داده شود که با افق زاویه تشکیل دهد و قوس روی سطح شیبدار سنگ (تکیه گاه) فرود می آید. در زیر یک نمونه ساده را مشاهده می نمایید.



آشنایی با چند اصطلاح:

عرشه پل: محل عبور اشخاص یا وسایل نقلیه بر روی پل

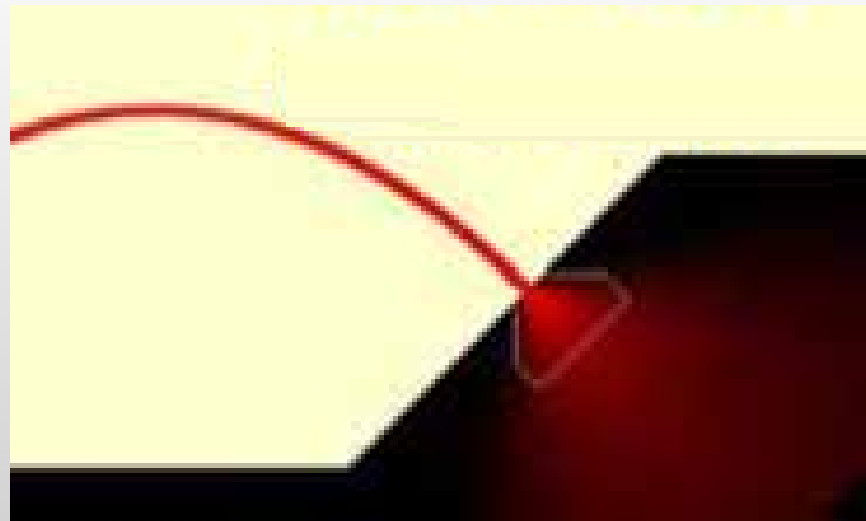
دهانه پل: فاصله بین دو ستون پل

پل قوسی (Arch Bridges)

در زمین هایی که زیاد مناسب نیستند، جهت پخش کردن بار وارده به زمین ممکن است نیاز به تکیه گاه های گسترده داشته باشیم. و در غیر این صورت قوس (پل قوسی) ممکن است به سادگی به داخل زمین فرو رود. مانند یک بیل یا یک کفش پاشنه بلند، و این مسئله مطابق با فرمول فشار در فیزیک است ($P=F/A$). طبق این فرمول هر چه سطح بزرگتر باشد، فشار نیروی وارد بر آن کاهش می یابد.

نیروهای رانشی که از زمین بر قوس وارد می شود بیشتر از وزن قوس است. زیرا این نیرو ترکیب شده است از مولفه های افقی و عمودی. که مولفه های عمودی، وزن قوس را خنثی می کنند و مولفه های افقی مانع ریزش و پخش شدن قوس می شوند.

وظیفه تکیه گاه ها این است که فشار را تا زمانی که به نقطه ای در روی زمین متمرکز شود و کاهش پیدا کند، خنثی کنند. عکس زیر به این موضوع اشاره دارد.



پل قوسی (Arch Bridges)

قوس ها از سنگ، آجر، چدن، آهن نرم شکل پذیر، چوب، فولاد و آلومینیوم ساخته شده اند. بیشتر قسمت های این پل ها از فولاد ساخته می شود. حال آنکه در تعداد کمتری از این پلها تا اندازه ای از بتن نیز استفاده می شود.

قدیمی ترین پلهای قوسی از مصالح بنایی، آجر و سنگ، ساخته شده بودند که تعدادی از نمونه های قدیمی و قرون وسطایی این پلها هنوز پابرجا هستند.

چدن از مصالح بسیار مناسب برای قوس ها بود زیرا به قوسها توانایی تحمل فشار را می داد. و استفاده از آن بوسیله ساخت تعداد زیادی پل آهنی در بریتانیا ادامه یافت. نقطه ضعف بزرگ چدن این بود که مقاومت کششی خوبی نداشت. به این ترتیب چدن، ابتدا بوسیله آهن نرم شکل پذیر و پس از آن بوسیله فولاد از رده خارج شد. هر دوی این مواد در مقابل کشش مقاوم هستند.

مزایای پل های قوسی

سرتاسر قوس تحت فشار است. فشار به تکیه گاه ها منتقل می شود و سرانجام زمین زیر قوس با کشش مقاومت می کند. فقدان کشش در قوس موجب می شود که بتوان در پل های قوسی دهانه های بزرگتری نسبت به پل های تیری ایجاد کرد. و همچنین به علت فقدان کشش، در این پل ها می توان از مصالحی که مقاومت کششی زیاد بالایی، ممکن است نداشته باشند، استفاده کرد.

محدودیت‌های پل‌های قوسی

یک قوس قبل از اینکه به طور کامل ساخته شود، نمی‌تواند در جای خود بایستد. بنابراین یا باید آن را تا قبل از تکمیل شدن روی داربست (داربست طاق) قرار داد و یا اینکه باید دو نیمه قوس را از قسمت پاتاق طره سازی کرد و آنها را با کابل نگه داشت، یعنی اینکه تا قبل از اینکه قوس تکمیل شود، نیمه قوس را که مانند یک طره است، بوسیله کابل‌هایی که به آن می‌بندند، آن را نگه می‌دارند.

عیب دیگر قوس‌ها این است که نیروی رانشی یک قوس بزرگ، یک مولفه‌ی افقی دارد که تکیه‌گاه‌ها باید در مقابل آن مقاومت کنند بدون اینکه حرکت قابل ملاحظه‌ای داشته باشند.

پل قوسی چاوتیانمن

این پل بلندترین پل قوسی دنیاست. طول کلی آن ۱۷۴۱ متر، طول دهانه آن ۵۵۲ متر و ارتفاع آن ۱۴۲ متر است. مصالح ساخت این پل قوسی فولاد و بتن می باشد و در سال ۲۰۰۹ عملیات ساخت آن در منطقه چونگ کینگ چین بر روی رودخانه یانگ تسه به اتمام رسیده.



پل قوسی سد کارون ۴

- بزرگترین پل قوسی خاورمیانه
- در چهارمحال و بختیاری
- به دست متخصصان و طراحان ایرانی از فولاد مخصوص و ضد زنگ ساخته شده
- با وزن حدود ۴ هزارتن، ۳۰۰ متر طول ، حدود ۱۲ مترعرض دارد و از هزار و ۲۱۲ قطعه تشکیل شده است.
- ۶۲ متر ارتفاع از سطح دریاچه سد و ۲۷۰ متر از کف دریاچه
- برقرار کننده ارتباط چهارمحال و بختیاری به خوزستان
- دهانه اصلی این پل زیرقوسی ۳۰۰متر و طول عرشه آن ۳۸۰متر و عرض آن ۱۱.۸ متر است و دارای دو باند عبور و دو پیاده رو در طرفین

پل قوسی سد کارون ۴



پل قوسی سد کارون ۴



پل قوسی سد کارون ۴



پل های قوسی کارون ۳

این پل ها در بالا دست کارون ۳ و به منظور برقراری و حفظ ارتباط در جاده خوزستان-شهرکرد پس از آبگیری دریاچه سد و بر روی دره ای به عمق ۲۵۰ متر احداث گردیده اند.

طراحی این پل ها توسط واحد مهندسی شرکت ماشین سازی اراک و بر طبق استاندارد های ایران مانند نشریه های شماره ۱۳۹ و ۵۱۹ و ۲۸۰۰ و ... و استانداردهای معتبر جهانی (اشتو) AWS D1.5 و... انجام شده است.

آنالیز دینامیکی و زمین لرزه منطقه نیز در طراحی و ساخت پل ها در نظر گرفته شده است.

برای کاهش خطاهای ساخت و افزایش سرعت نصب، پیش مونتاژ فضایی پل در کارخانه مطابق با دیاگرام خیز منفی و نقشه های کنترلی انجام شده است. به دلیل بزرگی و حجیم بودن سازه پل و محدودیت فضای کارگاه های شرکت، عملیات پیش مونتاژ در محیط باز به مساحت ۱۳۵۰۰ متر مربع به صورت خوابیده انجام گرفته و موقعیت عناصر اصلی سازه به وسیله دوربین های نقشه برداری پیشرفته کنترل گردیده است.

جرثقیل های ویژه که اصلی ترین تجهیزات نصب می باشند، مطابق آیین نامه های معتبر در شرکت ماشین سازی اراک طراحی و تولید شده و کنترل های لازم باربری بر روی آنها صورت گرفته است. ظرفیت هر کدام از جرثقیل ها ۲۰ تن و به عبارتی دوبر ۱۰ تن و وزن هر دستگاه ۷۰ تن می باشد.

به دلیل صعب العبور بودن منطقه و عمق بسیار زیاد و شیب طرفین دره و عدم امکان استفاده از پایه های موقت و روش های متداول دیگر، نصب سازه بسیار مشکل بوده است. طرح ویژه روش نصب با طراحی سازه پل به صورت خود ایستا و کنسول تا طول ۱۳۸ متر و استفاده از جرثقیل های ویژه از طرفین مد نظر قرار گرفته است. تیرهای طولی در انتهای عرشه به کوله ها و کوله ها با سیستم انکر یچ و تزریق تا عمق ۲۴ متر به صورت پس تنیده به کوه مهار گردیده اند. همچنین با همین روش عضو فوقانی انتهایی خرپایی قوس در پاتاق به کوه مهار گردیده است.

پل های قوسی کارون ۳



پل های قوسی کارون ۳



پل قوسی ورسک

پل ورسک از بزرگترین پل های راه آهن سراسری ایران است که در ارتفاعات روستای ورسک در شهرستان سواد کوه واقع در مازندران قرار دارد. ورسک از شاهکارهای شرکت مهندسی دانمارکی Kampsax است که توسط مهندسان آلمانی و اتریشی با تضمین ۷۰ ساله احداث شده است.

در ساخت این پل از هیچ سازه فلزی استفاده نشده است. طول پل ۱۱۰ متر و طول قوس زیر آن ۶۶ متر است و در زمان جنگ جهانی دوم به پل پیروزی معروف بود.

امروز پل ورسک علاوه بر اهمیت ویژه در صنعت حمل و نقل، از جاذبه های سیاحتی کشور نیز محسوب می شود. در سال ۱۳۲۰ که نیروهای متفقین در زمان جنگ جهانی دوم وارد ایران شدند، یکی از دلایل پیروزی خود را در این جنگ وجود راه آهن سراسری ایران عنوان کردند.

چرچیل، نخست وزیر وقت انگلیس نیز پل ورسک مستقر در راه آهن شمال را پل پیروزی لقب داد. این بنا از ملات سیمان و شن شسته شده و آجر ساخته شده و در ساختمان آن از آرماتور استفاده نشده است.

حجم پل ورسک که دارای ۶۶ متر دهانه قوسی و ۱۱۰ متر ارتفاع از ته دره است، جمعا ۴۵۰۰ مترمکعب است.

پل قوسی ورسک

در زمان حکومت رضاشاه و در اول اردیبهشت سال ۱۳۱۲ یورگن ساکسیلد به عنوان مدیرعامل شرکت دانمارکی کامپساکس (Kampsax) قرارداد احداث راه آهن شمال - جنوب ایران را امضاء کرد. تا قبل از آن برخی شرکت های آمریکایی، انگلیسی، فرانسوی و آلمانی در ساخت راه آهن از میان کوه های البرز ناکام مانده بودند.

یورگن ساکسیلد در این قرارداد تعهد داد تا احداث ۹۰۰ کیلومتر خط راه آهن را در مدت شش ماه به پایان برساند و برای ساخت هر متر راه آهن، معادل پنج دلار طلا (حدود ۱۹۵ گرم طلای خالص) دریافت کند. پس از آن بهترین مهندسان اروپا به ایران آمده و پس از تهیه عکس هوایی از کوه های البرز متوجه شدند که راه آهن باید از روستای عباس آباد (که بعدها به ورسک تغییر نام داد) عبور می کرد و قطار پس از عبور از روستای ورسک باید با طی مسافت ده کیلومتر و نیز ۶۰۰ متر صعود، از کوهستان عبور و به سمت تونل گدوک حرکت می کرد که حرکت در چنین شیب تندی برای قطار ناممکن بود. پس آنان تصمیم گرفتند مسیر را به شکل سه پله بر روی دامنه کوه اجرا کنند که به سه خط طلا معروف شد. همچنین

وجود دره ورسک از چالش های دیگر این پروژه بود که مهندسان کامپساکس را مجبور کرد تا پلی با دهانه بزرگ را روی آن در نظر بگیرند. سرانجام کار ساخت این پل در اواسط آبان سال ۱۳۱۳ در شهرستان سوادکوه استان مازندران، توسط شرکت مهندسی دانمارکی کامپساکس، به عنوان برنده مناقصه ساخت پل، و توسط مهندسان آلمانی و اتریشی آغاز شد و در ۵ اردیبهشت سال ۱۳۱۵ بازگشایی شد

پل قوسی ورسک

پل ورسک که راه ارتباطی راه آهن سراسری شمال جنوب می باشد با ابزار آلات بسیار ساده مانند دینامیت و دریل دستی ساخته شده است. این بنا از ملات سیمان و شن شسته شده و آجر ساخته شده و در ساختمان آن از آرماتور استفاده نشده است. به بیان دیگر این بنا از ملات غیر مسلح ساخته شده است. از شگفتی های ساخت این پل عدم استفاده از هیچ سازه فلزی در ساخت آن است. برای ساخت این پل ابتدا دوپایه بتنی در دو طرف کوه ایجاد شد و به هم متصل گردید و سپس دال قوسی روی آن اجرا گردید و سپس نمای آجری روی آن اجرا شد.



پل قوسی ورسک



پل قوسی ورسک

جنگ جهانی دوم

بر اساس برخی منابع با شروع جنگ دوم جهانی و با توجه به احتمال ورود متفقین به ایران و استفاده آنان از راه‌آهن ایران، تصمیم گرفته شد که همه پل‌ها مین‌گذاری شوند. پل راه‌آهن ورسک نیز شامل این دستور بود، اما پل‌ها هیچ‌گاه منفجر نشدند و متفقین پس از اطلاع از این موضوع اقدام به خنثی کردن مین‌ها کردند. محمد سجادی وزیر راه ایران بین سال‌های ۱۳۱۷ تا ۱۳۲۰ با اشاره به مین‌گذاری پل ورسک گفته بود: «با شنیدن اخبار وحشتناک از جبهه‌های جنگ شوروی، دستور مین‌گذاری پل ورسک و پل‌های مهم دیگر راه‌آهن داده شد و این کار با دقت و به صورت محرمانه انجام پذیرفت. لیکن پس از اشغال ایران توسط متفقین، دستوری برای انفجار پل‌ها صادر نشد و متفقین هم از مکان دقیق آنها باخبر شدند.

در طول جنگ جهانی دوم متفقین برای جلوگیری از شکست اتحاد جماهیر شوروی از قوای آلمان روزانه با ۷۵ قطار ادوات نظامی و تسلیحات را از بندر شاهپور (بندر امام خمینی فعلی) به بندر شاه (بندر ترکمن فعلی) می‌رساندند و بطور متوسط هر ۲۵ دقیقه یک قطار از روی پل ورسک عبور می‌کرد.

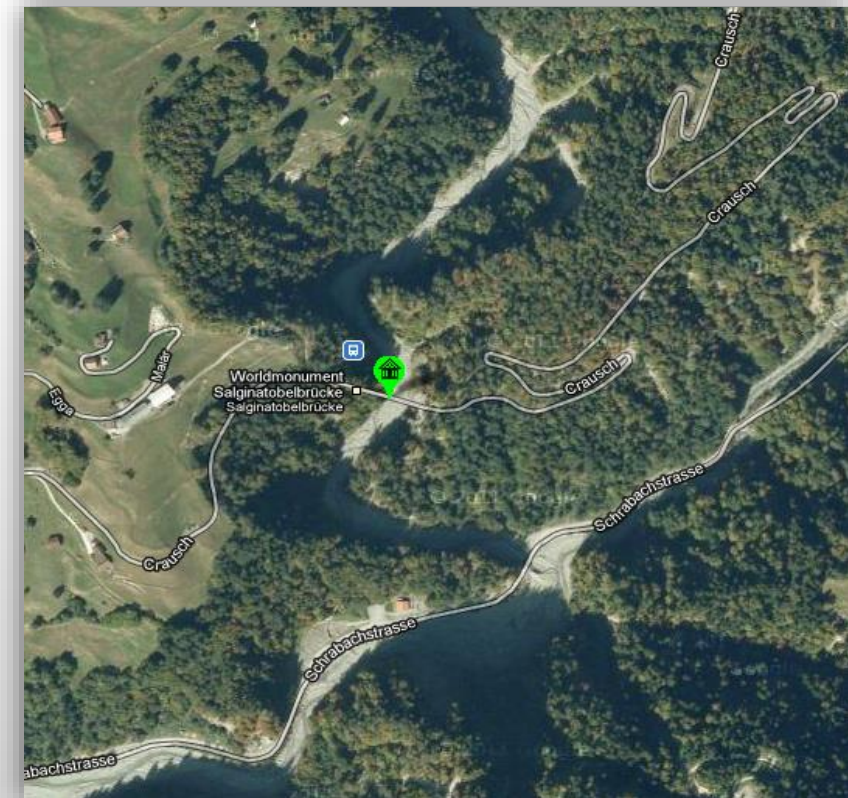
پل قوسی ورسک

حجم پل ورسک که دارای ۶۶ متر دهانه قوسی اصلی و ۱۱۰ متر ارتفاع از ته دره است، جمعاً ۴۵۰۰ مترمکعب است. طول کلی پل ۸۶ متر است. هزینه ساخت آن در آن زمان، بالغ بر ۲ میلیون و ۶۰۰ هزار ریال بوده است. برای ساخت این پل عظیم چند طرح مبتنی بر استفاده از مصالح بنایی که بیشتر مقرون به صرفه بوده، به تصویب رسید.



پل سالجیناتوبل

پل سالجیناتوبل یک پل قوسی از جنس بتن مسلح است که توسط مهندس عمران نامدار سوئیسی، روبرت میلارت (۱۸۷۲-۱۹۴۰) طراحی شده است. این پل بر روی یکی از دره های کوه آلپ بنام اسپیرز واقع در کشور سوئیس بین سال های ۱۹۲۹ و ۱۹۳۰ ساخته شده است. این پل به درخواست ساکنین دو روستای Schuders و Schuders که خواستار راه دسترسی بهتری نسبت به راه روستایی موجود بودند احداث گردید.



پل سالجیناتوبل



پل سالجیناتوبل

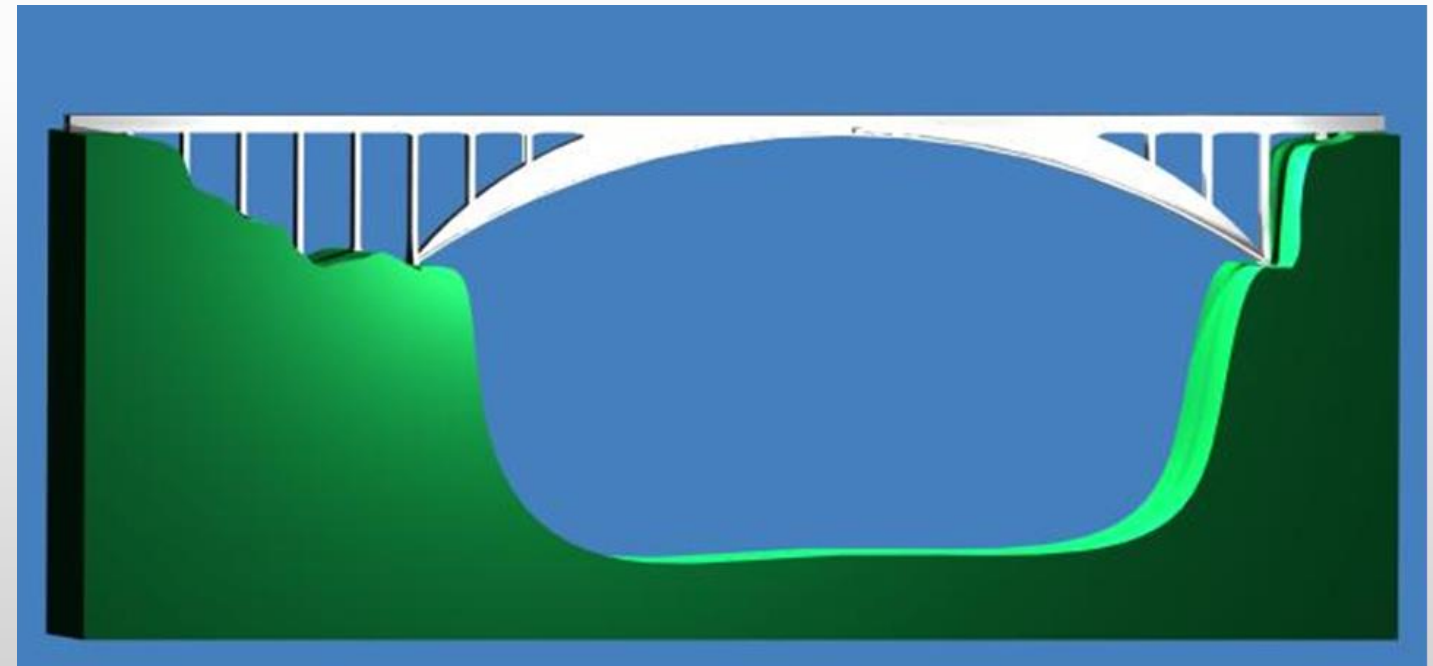
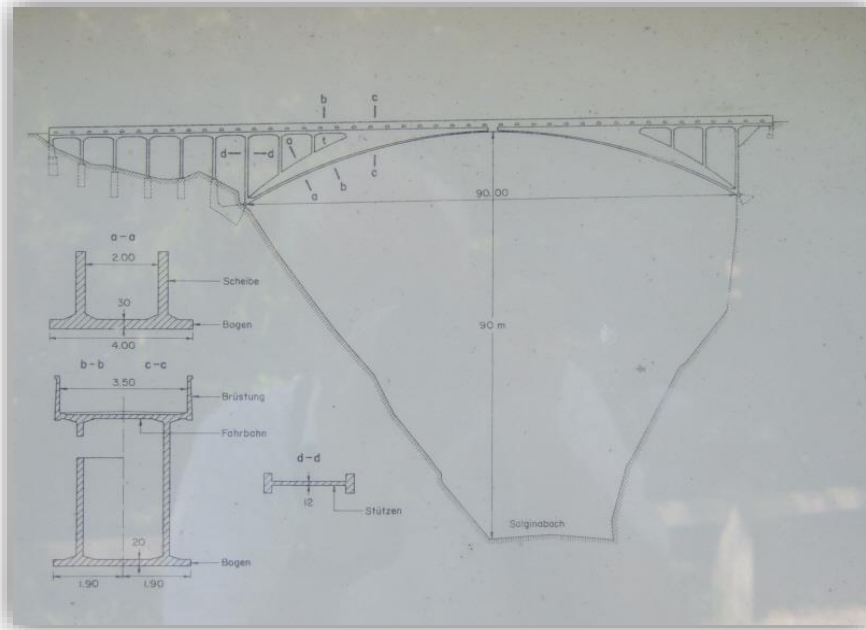
مشخصات

نوع سازه : قوس سه مفصلی بتن مسلح با تیر حمال بصورت باکس توخالی
 طول کلی : ۱۳۳ متر
 عرض راه : ۳.۵ متر
 شیب راه : ۳٪ یا ۴ متر
 دهانه قوس : ۹۰ متر
 خیز قوس : ۱۳ متر
 ابعاد قوس : در بخش تکیه گاهی ۰.۴*۶ متر و در بخش تاج ۰.۲*۳.۸ متر
 ظرفیت تحمل بار : ۸ تن یا ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمربع
 ارتفاع از ته دره : بیش از ۹۰ متر

مهندس طراح : روبرت میلارت
 داربست : ریچارد کوری
 پیمانکار : Florian Prader

شروع ساخت : سال ۱۹۲۹
 اتمام ساخت : سال ۱۹۳۰
 تاریخ افتتاح : ۱۳/۸/۱۹۳۰

پل سالجیناتوبل



پل سالجیناتوبل

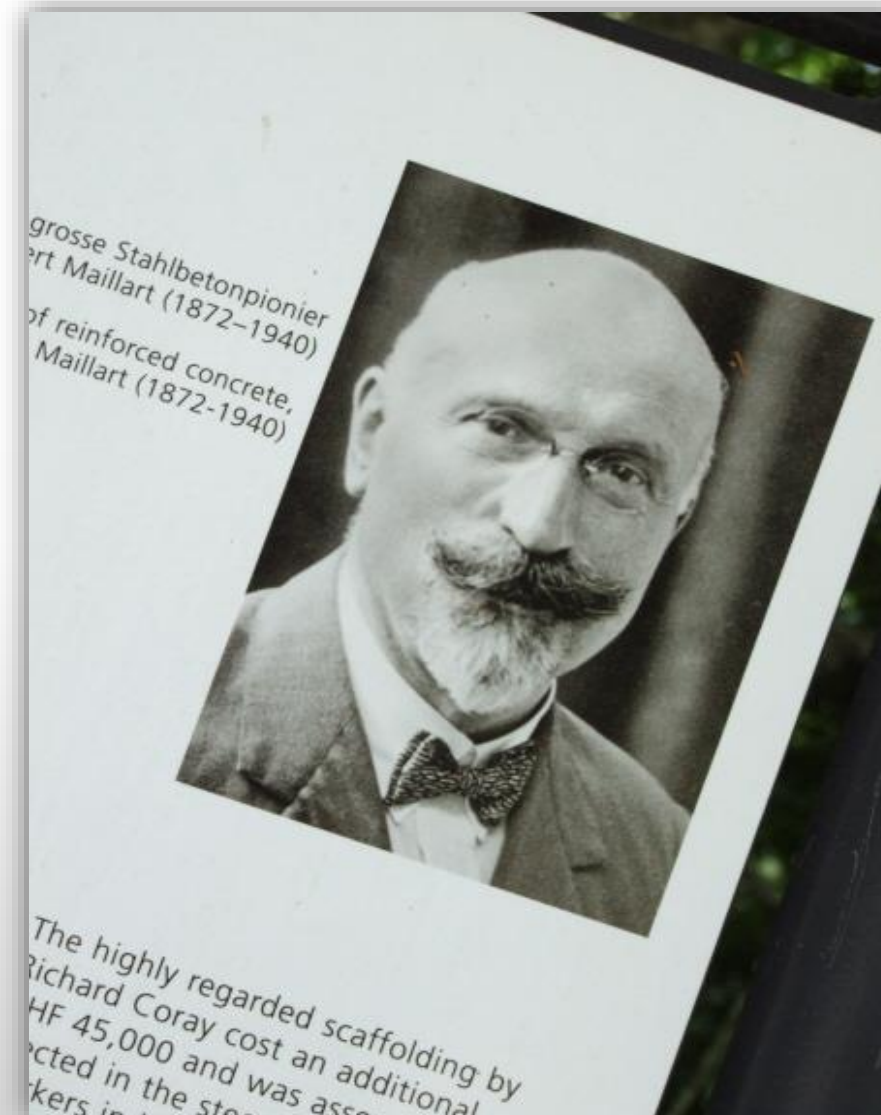
مناقصه این پل بصورت طراحی و ساخت بعد از مدتی از جنگ جهانی اول انجام شد. ۱۹ پیشنهاد ارائه گردید. پیشنهاد میلارت از نظر طراحی و اقتصادی برنده اعلام گردید.

میلارت مناقصه این پل را بخاطر طراحی فوق العاده اش برنده نشد بلکه به علت قیمت کمتر نسبت به ۱۹ پیشنهاد دیگر برنده شد ؛ یعنی با استفاده از یک سیستم سازه ای جدید توانست با کمترین هزینه ، پلی زیبا و مستحکم بسازد. بنابراین این پل نه تنها به خاطر ویژگی های ساخت بتنی بلکه بخاطر طراحی اقتصادی اش برنده اعلام گردید.

میلارت مهندسی است که با استفاده از نوآوری های مهندسی ، در طراحی پل هایش اقتصاد را با زیباشناختی در هم می آویزد. در کارهای میلارت می توان شجاعت ، منحصر بفردی در فرم و تکنولوژی پیشرفته زمان خود را مشاهده کرد. میلارت اولین کسی است که از بتن مسلح در ساخت پل استفاده نمود ؛ قبل از این ، کاربرد بتن مسلح در پل سازی در قسمت بنایی بود .

پل سالجیناتوبل

روبرت میلارت



پل سالجیناتوبل

میلارت قبلاً پل قوسی سه مفصلی بر روی رودخانه راین در منطقه تاواناسا در سال ۱۹۰۴ طراحی کرده بود. این پل دارای ۵۱ متر طول دهانه بود. پل تاواناسا بر اثر بهمن سال ۱۹۲۷ تخریب گردید. اگرچه میلارت در مناقصه پل جایگزین برنده نشد اما او با تجربیات پل تاواناسا با همان فرم کلی، پل سالجیناتوبل را ساخت. میلارت پیشقدم پل های قوسی سه مفصلی در جهان است.



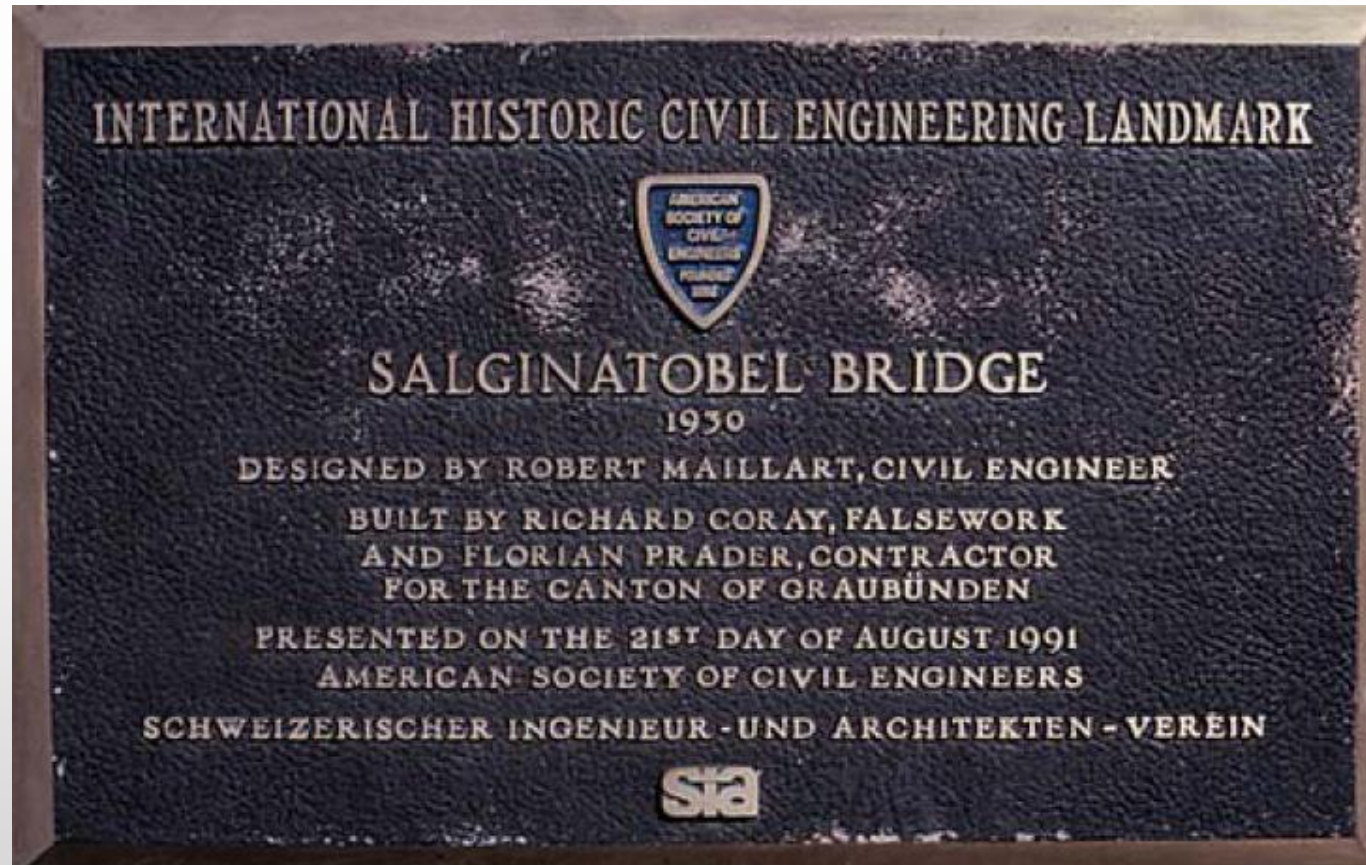
پل سالجیناتوبل

در سال های ۱۹۷۵ و ۱۹۷۶ پل سالجیناتوبل بطور گسترده ای تعمیر گردید. دیواره ها اصلاح و سازه آب بندی گردید. در سال ۱۹۹۸ نیز هزینه ای بالغ بر ۱.۳ میلیون دلار صرف تعمیرات گردید.



پل سالجیناتوبل

در سال ۱۹۹۱ این پل به عنوان سیزدهمین سازه بتنی و اولین پل بتنی که در تاریخ مهندسی عمران جهان برجسته می باشد ، توسط انجمن آمریکایی مهندسی عمران (ASCE) انتخاب گردید .

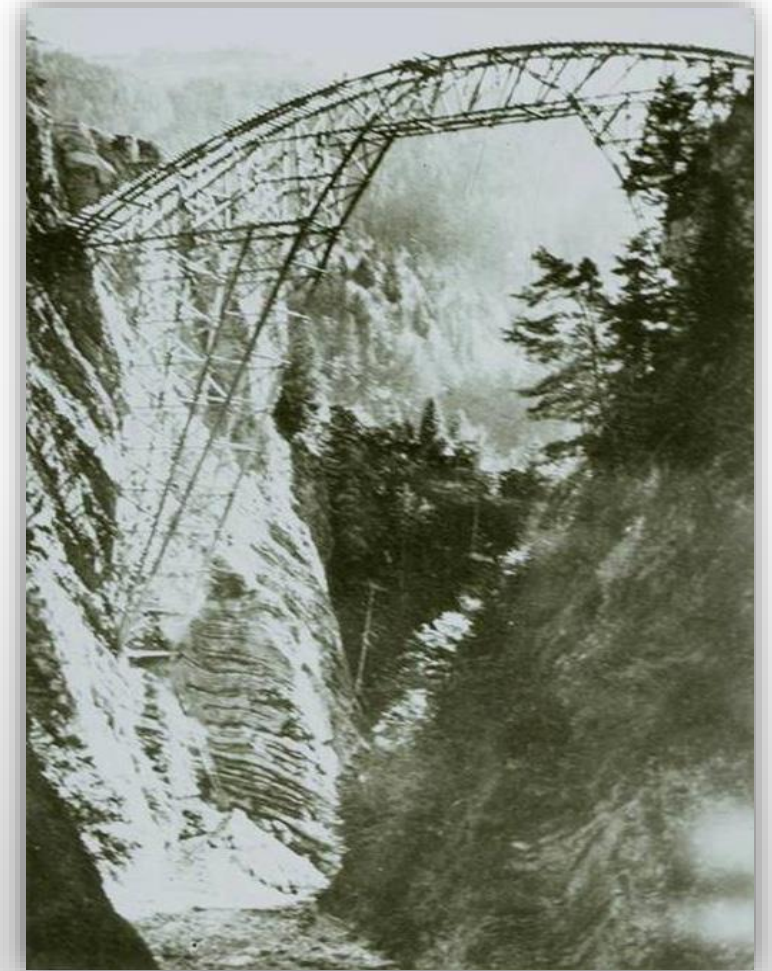


پل سالجیناتوبل

این پل با استفاده از داربست بندی ساخته شده است. این داربست های چوبی قرار بود تا اواخر تابستان ۱۹۲۹ توسط ۶ کارگر ساخته شود ولی با اتفاقی که برای یکی از کارگران اتفاق افتاد (سقوط از ارتفاع ۳۵ متری و نجات فرد !) این محقق نشد و داربست بندی تا اواسط پاییز به طول انجامید. این روش (داربست بندی) امروزه کمتر مورد استفاده قرار می گیرد زیرا که هم هزینه بر بوده و هم خطرناک است.

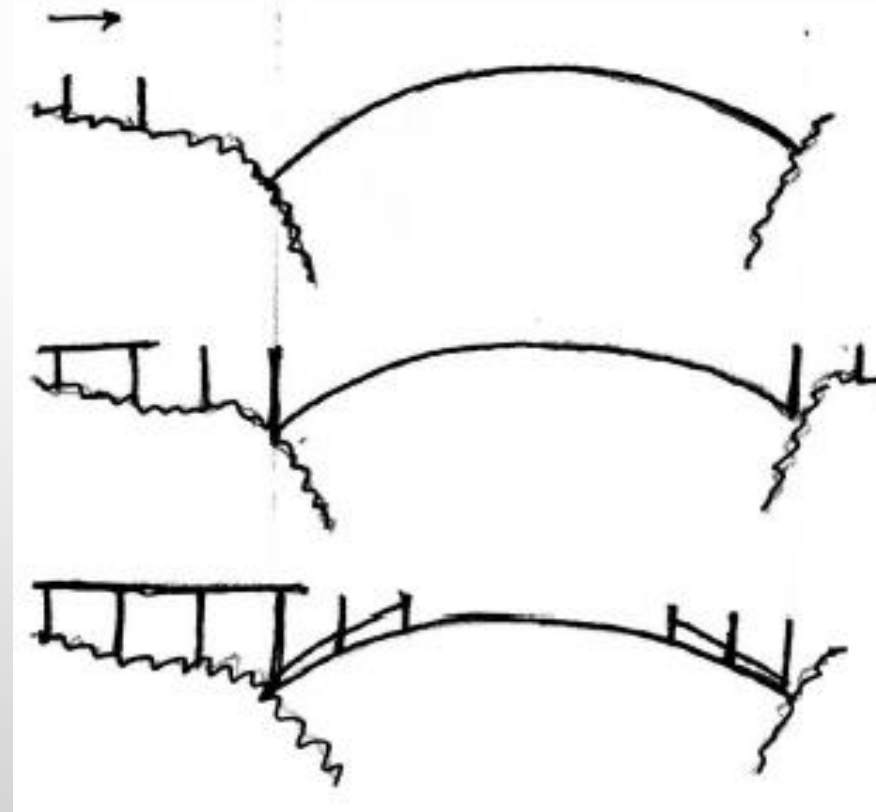


پل سالجیناتوبل



پل سالجیناتوبل

کارهای بتنی در زمانی کوتاه حدود ۳ ماه در سال ۱۹۳۰ انجام گردید. حساس ترین مرحله بتن ریزی قوس پل بود که بطور کاملاً متقارن از طرفین شروع و بدون وقفه بعد از ۴۰ ساعت اتمام گردید. تمام کارهای بتنی بصورت بتن درجا صورت پذیرفت و با فرقون حمل گردید. این روش اگرچه در گذشته روش مناسبی بود ولی امروزه این روش ، روشی نامناسب است.

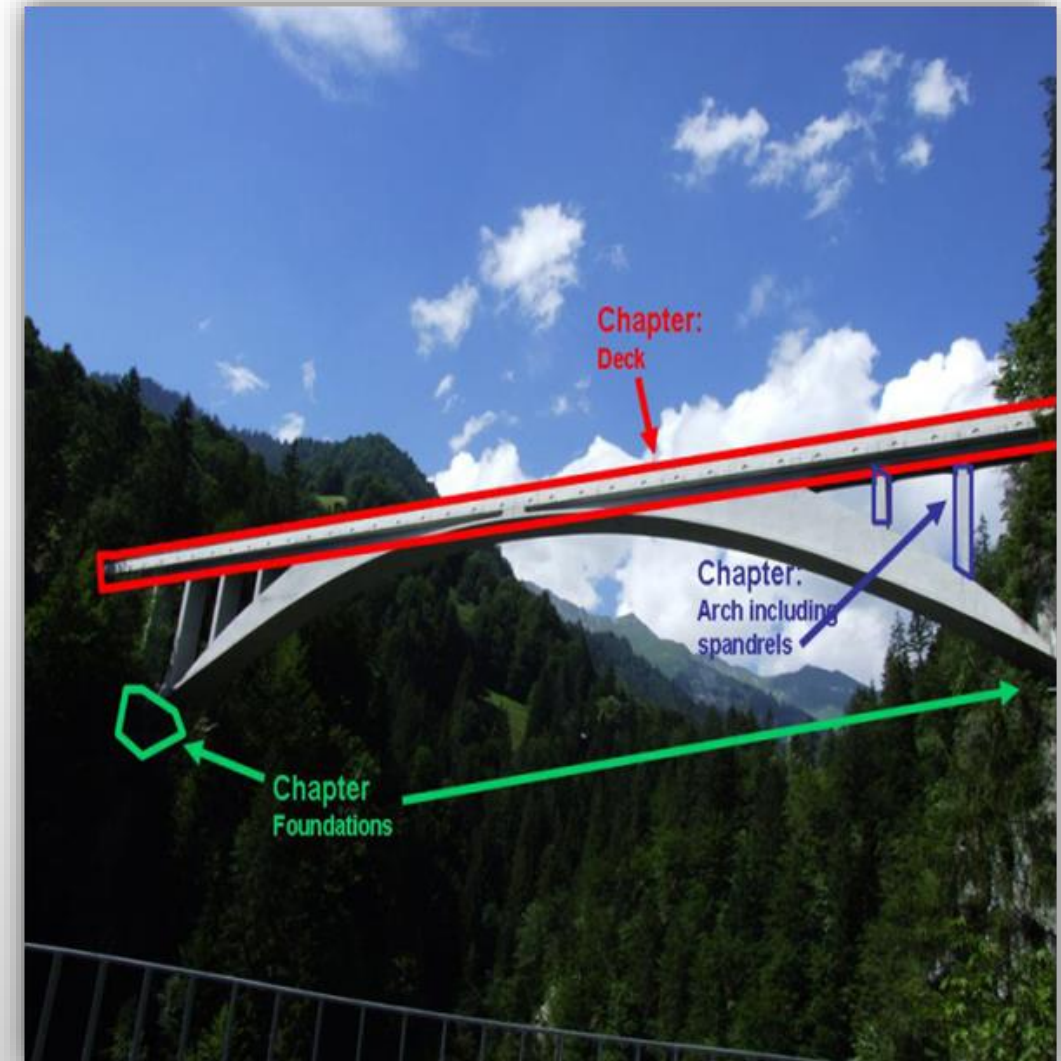
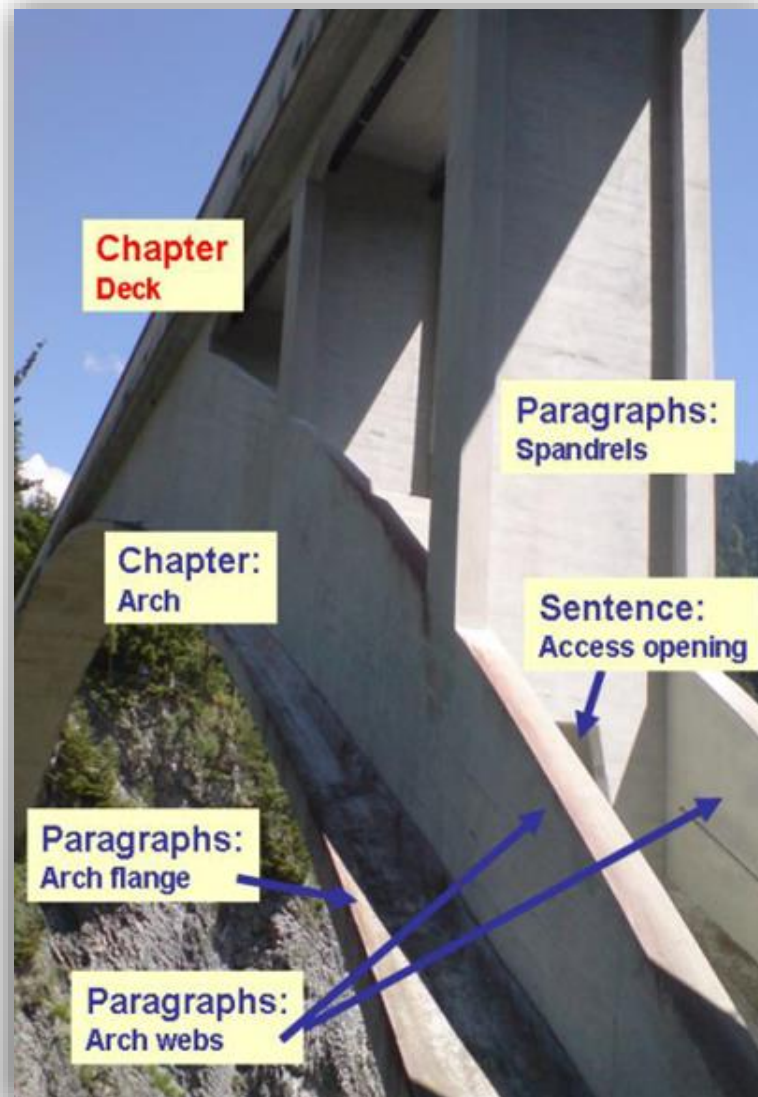


پل سالجیناتوبل

دیواره های دره از نوع صخره های ورقه ورقه هستند که دارای سستی نسبی است. به همین علت استفاده از پل های قوسی عمیق در این مکان نامناسب است زیرا که پی های قوی تر و عمیق تر نیاز خواهد داشت.

پل قوسی سه مفصلی برای رفت وآمدهای کم کوهستانی بسیار مناسب است در حالی که قوس های گیردار مستعد ترک خوردن و در نهایت خرابی هستند. تنش هایی نیز از تغییرات دمایی بوجود می آیند که بدلیل وجود مفصل مشکلی برای قوس سه مفصلی ایجاد نمی کند. قوس سه مفصلی از لحاظ استاتیکی معین هستند ، بنابراین آنالیز لنگر خمشی ساده تر و دقیق تر خواهد بود و این اجازه را به میلارت داد تا کمترین مصالح مورد نیاز برای نیروی محاسبه شده را بر خلاف سایر روش ها بدست آورد .

پل سالجیناتوبل



پل سالجیناتوبل



پل سالجیناتوبل



پل سالجیناتوبل

روش پیشنهادی در زمان حال : ساخت کانتیلوری

روش ساخت کانتیلوری در مقطع باکس توخالی ، از پایه های کناری پل شروع می شود و بطور متقارن تا وسط پل ، با استفاده از کابل های فولادی انجام می شود.

همچنین ایجاد یک کارگاه در نزدیکی دره و استفاده از روش ها و قطعات پیش ساخته ، امروزه یکی از بهترین گزینه ها در زمان حال است ؛ در حالی که دیگر نیازی به این گونه داربست ها نخواهیم داشت .

