

# نقش تعمیر و نگهداری در پل های شهری

سید امیر حسین حسینی

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان - تهران - ایران  
مدرس دانشگاه آزاد اسلامی و جامع علمی کاربردی

[Web: Amirhoseinhoseini.com](http://Amirhoseinhoseini.com)

[Instagram: civilamirhosein](https://www.instagram.com/civilamirhosein)

تعمیر در لغت به معنای از بین بردن و بر طرف کردن عیوب می باشد .

عملیات تعمیر پل عموماً مقاومتی به پل نمی دهد بلکه فقط تدابیری اصلاحی هستند که برای برگرداندن قابلیت سرویس دهی پل انجام میگیرد

**عیوب و خرابی پل ها معمولاً به دلایل زیر رخ می دهد:**

- ✓ فرسایش و ناهمواری باند عبور
- ✓ انحراف یا از بین رفتن جانپناه
- ✓ پراکندگی جانپناه های پل به دلیل فشار ناشی از خاکریزی
- ✓ عدم یکپارچگی و پوسته شدن مصالح سنگی به دلیل شرایط جوی
- ✓ ترک خوردگی بدنه قوس
- ✓ فرسایش پایه های پل یا تخریب آنها



## تعمیر پل های فولادی

متداول ترین علت زوال و از بین رفتن پل های فولادی خوردگی است .

هنگامی که فولاد در بتن قرار میگیرد این خوردگی به واسطه انحلال کلرید و هنگامی که فولاد آزاد است در اثر شرایط محیطی رخ می دهد.

علم مهندسی با اطمینان پیش بینی کرده است که اگر فولادی که در این سازه ها وجود دارد در برابر خوردگی محافظت شود تا صدها سال مقاوم و پا برجاست .

این در صورتی است که نقاشی مداوم سازه ها از زمان افت ان باعث می شود که عملیات تعمیر سازه به حداقل برسد و تنها به تعویض قطعات منجر شود

جدول (۲-۶) طبقه بندی خرابی المانهای فولادی

مواد اولیه	پیوندها
خوردگی	خوردگی
ترک	شکستگی
گسیختگی	خمیدگی
کمانش <sup>۱</sup>	ترک
پیچش <sup>۲</sup>	لغزش <sup>۳</sup>

## خوردگی :

تخریب حاصل از خوردگی می تواند از یک زنگ زدگی سطحی تا فرسایش کامل یک مقطع تغییر کند  
مهمترین علت خوردگی ترشح اب نمک غلیظ می باشد



## نحوه تعمیر خوردگی:

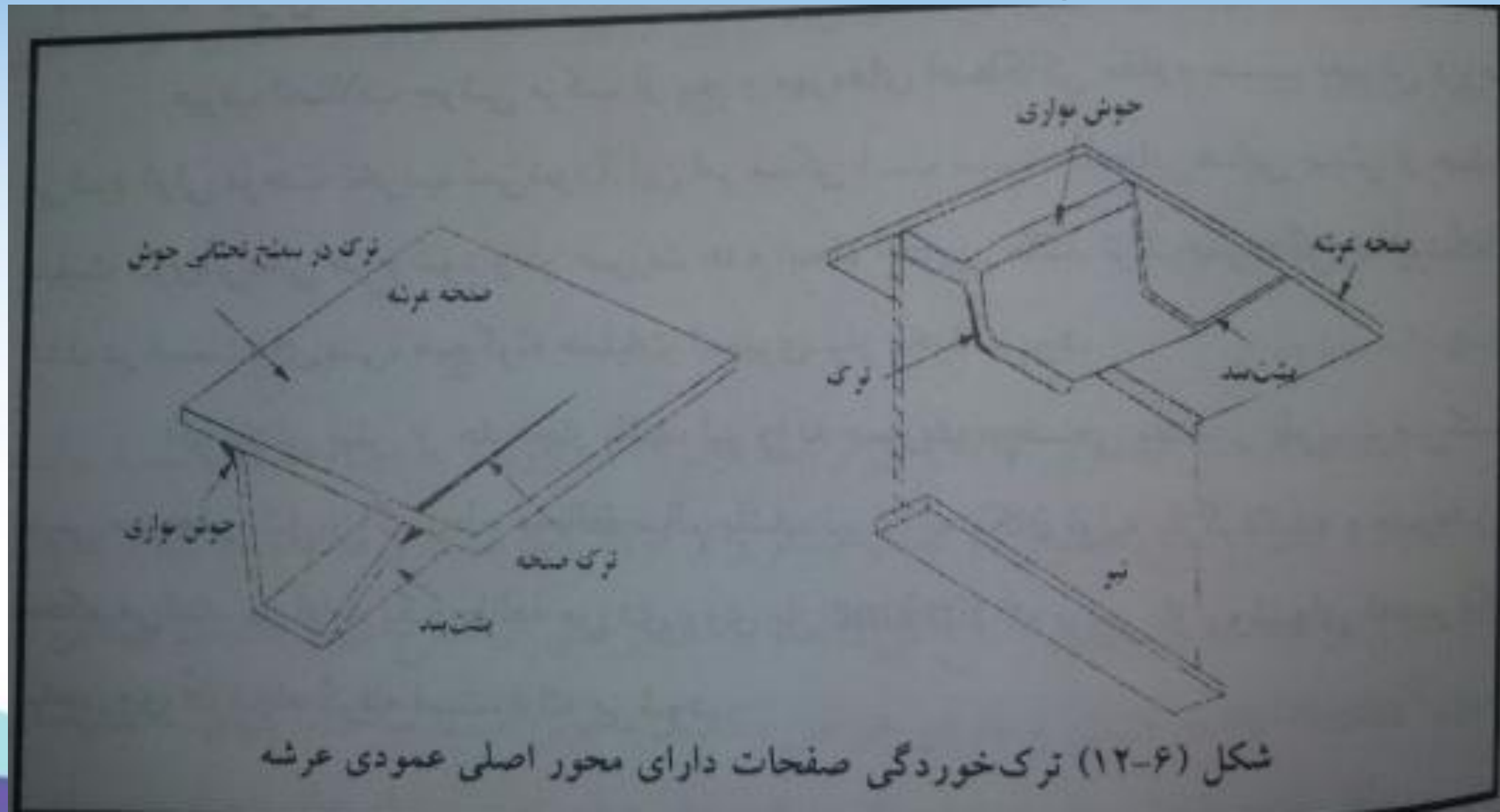
با فرض امکان دسترسی موثر ترین راه برای ناحیه آسیب دیده را با استفاده از سنگ ریزه و ساچمه پاشی کاملاً تمیز میکنیم اگر هیچ علامتی از کاهش سطح مقطع مشاهده نشد یک محافظ رنگ سه بخشی متشکل از دو لایه استر از دی اکسید آهن میکادار یا استر فسفات روی با ضخامت ۷۵ میکرون در زیر پوشش لایه نهایی مورد استفاده قرار میگیرد دو لایه دیگر نیز به همین شکل استفاده می شود

اخیراً برای تعمیرات بلند مدت از رنگ های پروکسی استفاده میکنند پس از سنگ پاشی روغن محافظ اولیه تا سطح فلز اصلی برداشته می شود و یک استر غنی شده با روی با دولایه رنگ حاوی پروکسی دو جزئی غنی شده با پلس های شیشه ای که همانند پولک های ماهی ضد آب است استفاده می کنند.



## ترک خوردگی:

ترک معمولا در مجاورت قسمت هایی که سبب کشش میشوند ایجاد می شود مانند حفره یا شکاف اگر ترک خوردگی در اطراف یک پیچ و مهره روی دهد به این طریق عمل میکنیم پیچ را خارج و محل آن را کاملا تمیز میکنیم در راس ترک خوردگی برای جلوگیری از پیشروی آن حفره کوچکی به وسیله مته ایجاد کرده و فولاد اطراف ترک را به وسیله ی ماشین سنبلاده . سنبلاده میکنیم سپس با جوشکاری سر به سر ترک را برطرف میکنیم و در انتها برای آزمایش یکپارچگی جوش تست MPI انجام می دهیم اگر نتیجه آزمایش رضایت بخش بود پیچ و مهره را باز می کنیم



برخورد هر گونه وسیله با پل سبب می شود پل گسیخته شود این گسیختگی ها سبب ایجاد خمیدگی می شود در محل صفحات این خمیدگی ها با روش هایی چون خم کردن صفحات به حالت اولیه جوشکاری پیچ و مهره کردن یک صفحه پوششی در بالای ناحیه معیوب و یا بریدن صفحات شکسته شده و نصب صفحات قابل تعمیر است

### پیچش:

خمش یا پیچش صفحه های فولادی بعد از یک سانحه لزوما سبب کاهش مقاومت پل نمی شود در مواقعی که پیچش افقی بال یا جان یک تیر فولادی و پل دالی قسمت کشش و در مواقعی که نقاط ضد خمش یا نزدیک به آنها روی می دهد فشار ها کم و ذخیره مقاومت وجود دارد رنگ آمیزی و پایش در فواصل زمانی مرتب کافی است. و به عملیات دیگری نیاز ندارد و چنانچه پیچ های نگهدارنده بیرون آمده باشد و یا دچار خمش شدید و جوش ها دچار خمیدگی شوند تنها راه حل تعویض قطعات می باشد.



## لغزش :

عیوب اتصالات جوشی مرکب از پیچ و مهره های اصطکاکی مقاوم سبب لغزش درز ها می شود که ممکن است سبب جا به جایی های بیش از حد قابلیت سرویس دهی شود اگر لغزش بیش از حد باشد تیر را به صورت موضعی بلند و تقویت می کنند سپس مهره ها را شل و اگر سطح محافظ سالم باشد تیر را به مکان اولیه باز گردانده و مهره ها را محکم میکنیم

### ترمیم حکاکی و نوشته ها :

یکی از موثرترین راه های از بین بردن عیوب سطحی سیستم ساچمه پاشی است.

سیستم های جدید به صورت مرطوب می باشد و هیچگونه گرد و غبار ناشی از هوا وجود ندارد این سیستم ها بسیار موثر و در فشار های پایین عمل میکند به این معنی که بر اثر پاک کردن با ملایمت کافی انجام میگردد و هیچگونه آسیبی به سازه و قطعات اصلی پل وارد نمی کند





## آب شکستگی:

برای مقابله با پدیده آب شکستگی در پایه های پل از سازه های کمکی، مقاطع هیدرولیکی، رادیه و برید کمک گرفته میشود. خرابی های سازه ای میتواند ناشی از طراحی و محاسبات، عدم کیفیت مصالح مصرفی، بارگذاری بیش از حد طراحی، ضعف های اجرایی، تنش های بیش از حد و جابجایی های پی و پایه ها باشد.



شماره	خرابی	تعمیر	ملاحظات
۱	خرابی جزئی روکار	روکار سیمانی پلیمر اصلاح شده فشرده	پرداخت سطحی خوبی بصورت پک نزار غشایی نازک یا به صورت پرکننده می باشد. خدآب، محافظ در برابر گازهای اسیدی یون های کلرید و چرخه ذوب و انجماد می باشد.
۲	خلل و فرج سطحی و بتن لانه زنبوری	ملات خمیری با چسبندگی شدید	پرداخت خدآب و ضد کربونیزاسیون بتن، مقاومت خوب در مقابل آلودگی و مواد شیمیایی هوایی
۳	سطوح پردوی	پک تثبیت کننده سطحی دو جزئی	سطوح پردوی را به هم می چسباند و میزان جذب های متفاوت را تعدیل می کند.
۴	محافظ سطح	کمک پلیمر آبی	مقاومت بالا در برابر دی اکسید کربن و پرداخت سطحی خودکار
۵	محافظ سطح	کمک پلیمر الکترومرکب آبی غنی شده با رزین	پک لایه استفاده می شود. نرخ انتقال بخار آب بالا و مقاومت عالی در مقابل آلودگی و باران اسیدی و شامل پک سیستم فارچ کش می باشد.
۶	ترک ها و شکاف های غیر سازه ای	پرکننده شکل پذیر پلی آل غیر قابل انقباض	سخت، کاربری آسان، ترکیب ارنجایی، چسبندگی و مقاومت شیمیایی عالی، در دمایی زیر دمای انجماد به عمل می آید.
۷	حفره های جزئی (100 × 100 × 50 deep)	به عمل آوردن سریع، ملات سیمانی اصلاح شده پلیمری	دارای مقاومت بالا و لایه های فشرده
۸	حفره های بزرگ (200 × 200 × 150 deep)	مخصوص کار سنگین ملات خمیری، سیمانی، اصلاح شده پلیمری، تقویت شده فیبری	میتواند به ضخامت حداکثر 100mm بدون افت به کار رود. قابلیت چسبندگی، شکل پذیری و قالب گیری خوبی دارد
۹	ماده اتصال دهنده ۷ و ۸	پلیمر اصلاح شده، اشباع کننده سطح سیمانی	نفوذ بالا با ایجاد چسبندگی بیشتر بین بتن متخلخل و بتن های تعمیر.
۱۰	محافظت تقویت کننده های فولادی	پودر سیمانی دو جزئی با خاصیت قلیایی بالا و تجزیه پلیمری با کمک بازدارنده های آندی برای محافظت از تقویت کننده های فولادی پک و اکسید شیمیایی می دهند	نفوذ بالا با ایجاد چسبندگی بیشتر بین بتن متخلخل و بتن های تعمیر

انواع مختلف پل ها بسته به سیستم سازه ای با استفاده از روش های زیر قابل تقویت و مقاوم سازی می باشند:

✓ استفاده از الیاف و نوارهای [FRP](#) برای تقویت تیرها، ستون ها و عرشه پل (مطابق با نشریه ۳۴۵ FRP

✓ استفاده از میلگرد FRP در مقاوم سازی پل

✓ استفاده از انواع میراگرها و جداگرهای لرزه ای (Damper, Base Isolation)

✓ روشهای سنتی مقاوم سازی پلها شامل تقویت با بتن، فولاد و مواد کامپوزیتی طبق نشریه های طراحی



# استفاده از انواع میراگرها و جداگرهای لرزه ای (Damper, Base Isolation)



به منظور کاهش ارتعاشات ناشی از باد یا زلزله در ساختمان‌های بلند، ابزاری ابداع گردیده و استفاده شده‌اند. ابزار کاهش ارتعاشات سازه بر اساس نیاز سیستم آنها به چند گروه تقسیم شده‌اند.

ابزار کنترل غیر فعال (Passive) سیستم‌هایی هستند که نیاز به منبع انرژی خارجی ندارند. این ابزار از نیروهایی که در پاسخ به حرکت سازه در داخل آنها ایجاد می‌شود بهره می‌گیرند. جدا ساز پایه (Base Isolation)، میراگر جرمی تنظیم شده (TMD) میراگر اصطکاکی (Friction Damper)، میراگر فلزی تسلیمی ADAS، میراگر ویسکوز و میراگر ویسکو الاستیک از این گروه‌ها هستند.

در کنترل فعال (Active)، پاسخهای سازه توسط انرژی خارجی وارده بر سازه کاهش می‌یابد. این سیستم‌ها دستگاه‌های قابل کنترلی هستند که توسط ابزار کمکی همواره در حال وارد کردن نیروهای کنترلی به ساختمان هستند. به عنوان مثال کابلی به ساختمان وصل می‌شود و در جهت خلاف نیروهای برشی وارده زلزله به ساختمان نیرو وارد میکند. سیستم‌های فعال از غیر فعال موثرتر هستند، اما علی‌رغم عملکرد عالی، مشکل بزرگ هزینه‌های اجرایی و نگهداری را دارند. نمونه این گونه سیستم‌ها میراگرهای جرمی فعال (AMD) میباشد.



## اف آر پی (FRP) چیست؟

FRP که اختصاراً حروف اول عبارت Fiber Reinforced Polymer می باشد، بیانگر سیستم کامپوزیتی از الیاف و رزین است که در آن الیافی همچون کربن CFRP، شیشه GFRP، آرامید AFRP یا بازالت Basalt نقش تامین سختی و مقاومت و رزین که می تواند از انواع مختلف اپوکسی Epoxy، وینیل استر Vinyl ester یا پلی استر (Poly ester) نقش چسبندگی بین الیاف و عملکرد یکپارچه آن ها با سطح Substrate را بر عهده دارد.



## مزایای استفاده از FRP :

وزن کم (چگالی آن در حدود ۲۰٪ فولاد است)

مقاومت کششی زیاد

مقاومت در برابر خوردگی

نفوذناپذیری مغناطیسی

امکان تقویت به صورت خارجی

حمل و نقل آسان و سرعت اجرای بالا به دلیل وزن کم

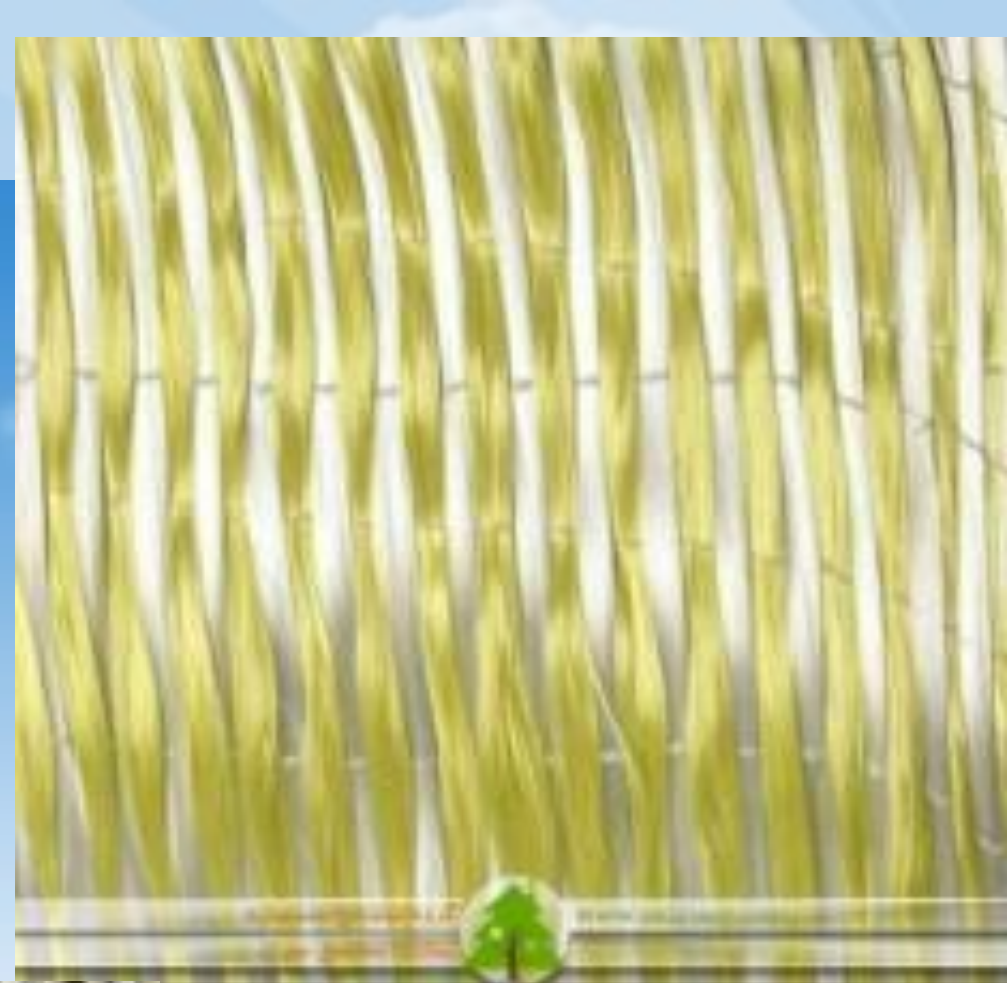
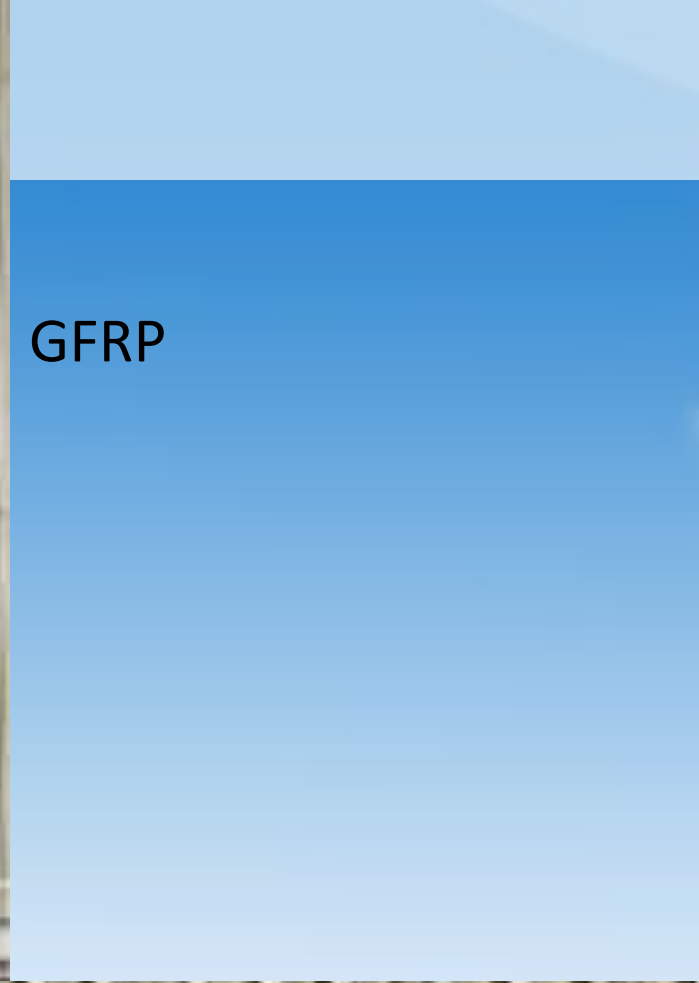
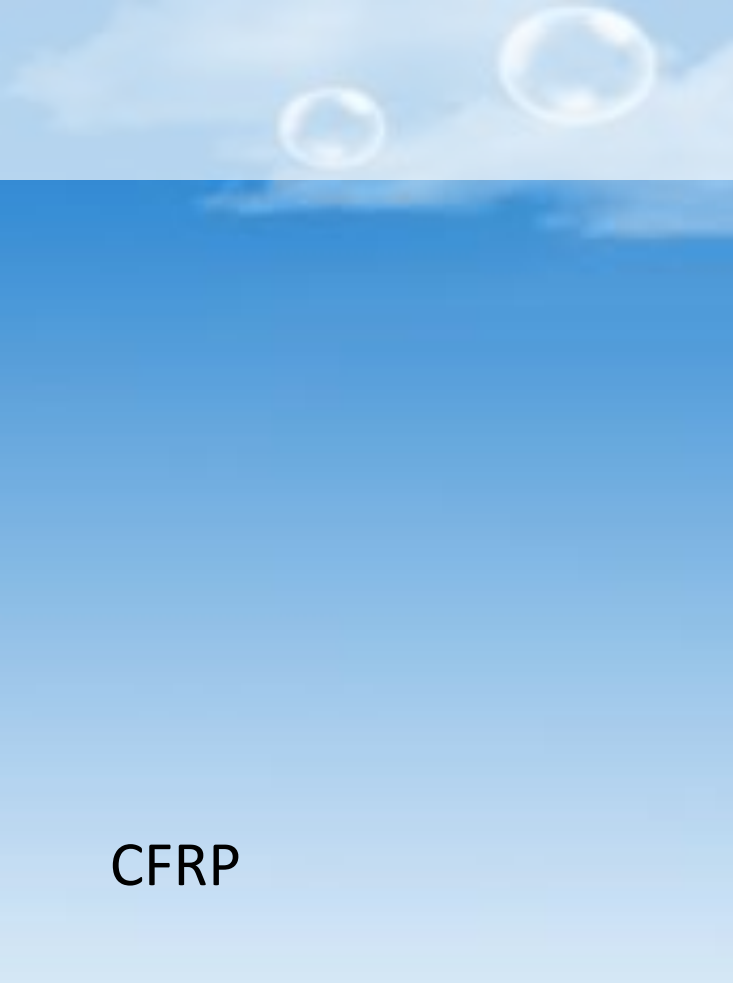


## انواع FRP بر اساس فیبر تشکیل دهنده ی آنها :

- CFRP با الیافی از جنس کربن
- GFRP با الیافی از جنس شیشه
- AFRP با الیافی از جنس آرامید
- BFRP با الیافی از جنس بازالت

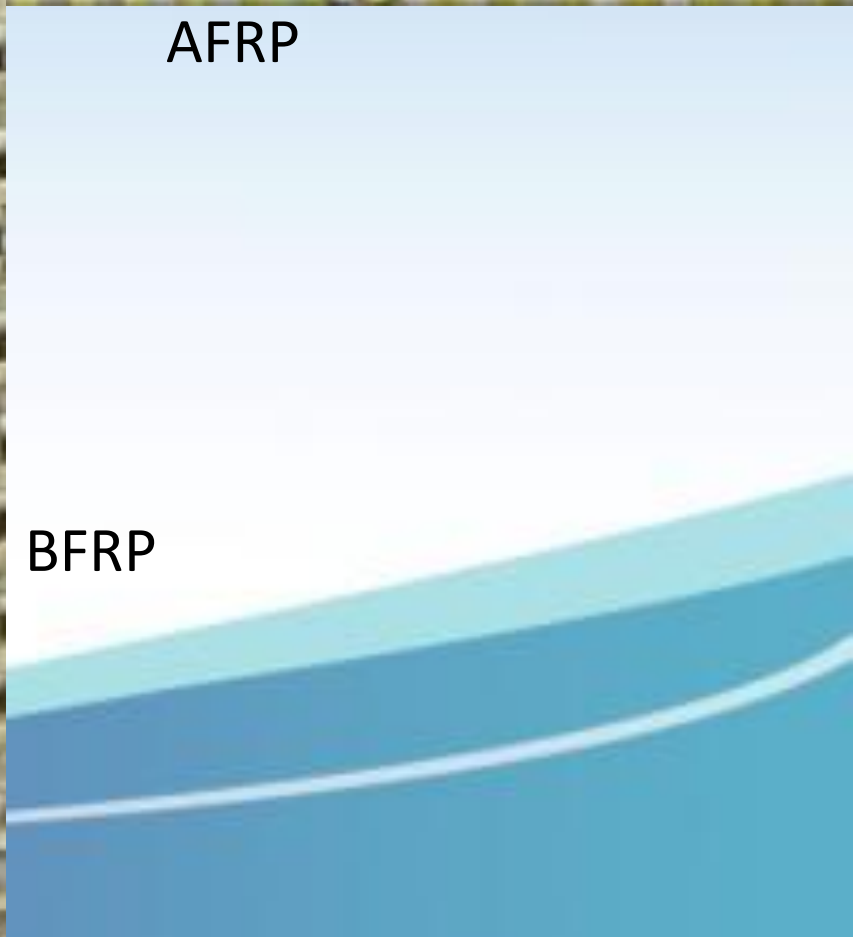
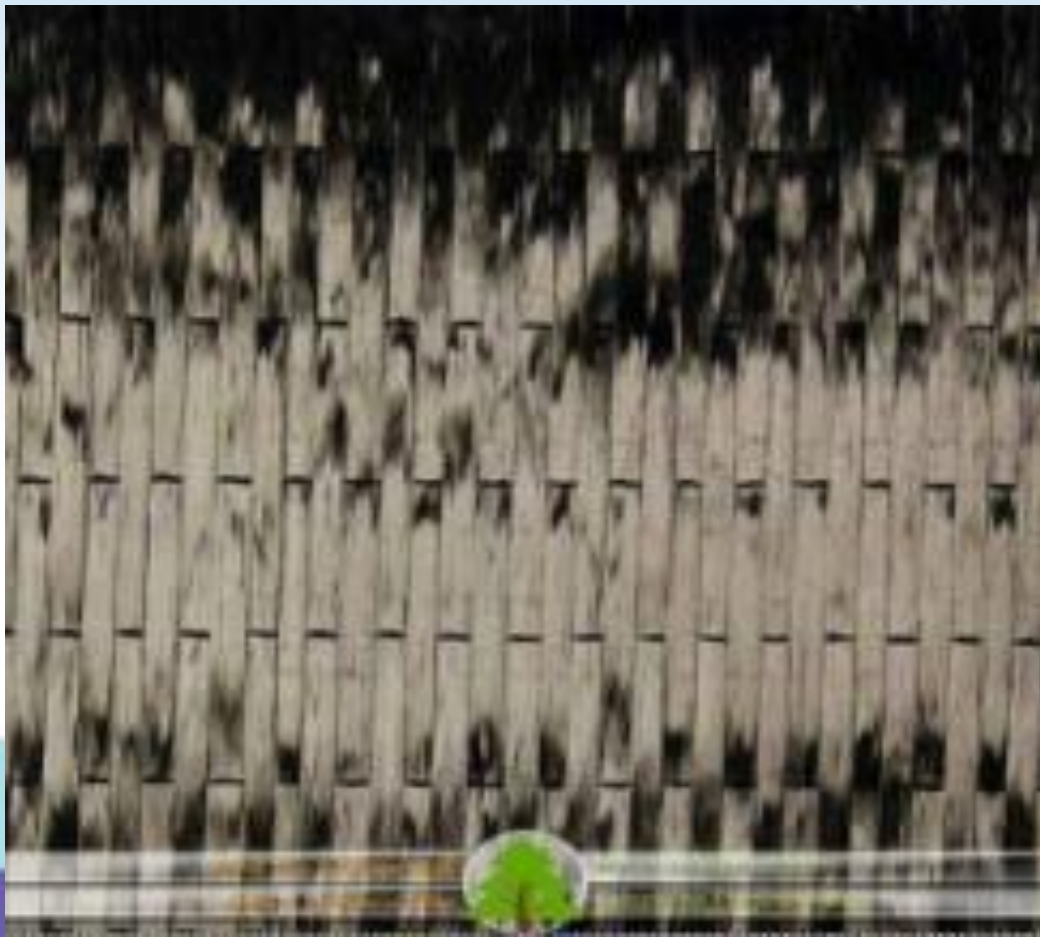






CFRP

GFRP



AFRP

BFRP

www.iranrc.com  
www.iranrc.com

www.iranrc.com  
www.iranrc.com

www.iranrc.com  
www.iranrc.com

از FRP در تقویت ستون ها، تیرها، دال ها، اتصالات، دیوارهای برشی بتنی، دیوارهای آجری، پایه و عرشه پل ها و ... می توان استفاده نمود.

تکنیک مقاوم سازی ستون های مسلح بتنی با استفاده از کامپوزیت های FRP به طور گسترده ای به جای پوشش نمودن به وسیله ی فولاد مورد کاربرد قرار گرفته است.

در مقایسه با استفاده از تنگ ها و مارپیچ فولادی، تکنیک محصور سازی با استفاده از FRP قابلیت این را دارد که محصور شدگی را به صورت پیوسته برای تمام مقطع عرضی ستون تامین کنند.

همچنین این مواد دارای خواص ذاتی مطلوبی (نسبت زیاد مقاومت به وزن و مقاومت بالا در برابر خوردگی و خنثی بودن الکترو مغناطیسی) هستند به گونه ای که می توان در مقاوم سازی یا بازسازی اعضای بتنی به طور موفقیت آمیزی از آنها بهره گرفت.

FRP می تواند در تیرها و دال های بتنی به عنوان جایگزین تمام یا بخشی از میلگرد کششی مورد نیاز بکار رود.



**۱- آماده سازی سازه مقاوم سازی:** قبل از انجام هرگونه تقویت با ورقه های FRP بایستی در صورت نیاز بتن تخریب شده را جدا کرده و در صورت رسیدن به آرما تور خورده شده اقدامات مربوط به ترمیم آنها یا تعویض آنها را انجام دهیم و سپس با مصالح یکنواخت سطح آنها را بپوشانیم.

**۲- آماده سازی سطح:** پس از تعمیر سازه آسیب دیده، سطح آن کاملاً صاف شده و نامنظمی ها و زوایای تند و تیز گوشه ها به وسیله ماسه پاشی **Send Blast** ، ماله، فشار آب **Water Jet** یا ساب کاملاً گرد می شود.

**۳- به کار بردن آستری یا پرایمر:** FRP برای افزایش چسبندگی و جلوگیری از جدایش ورقه FRP از لایه چسب یا رزین اپوکسی بین بتن و ورقه، با غلتک یک لایه اپوکسی FRP با لزجت کم به طور موضعی روی سطح موردنظر به عنوان پرایمر می مالند.



**۴-بتونه کردن سطح مقاوم سازی:** یک لایه چسب FRP با ویسکوزیته بالا برای پرکردن خلل و فرج و فرورفتگیها در محل‌های مورد نیاز به کار برده می شود. چسبندگی مناسب الیاف یا لمینت FRP با اجرای مستقیم مصالح ترمیم بر روی لایه زیرین که به درستی آماده شده است حاصل می شود.

**۵-بریدن شیت FRP:** بر روی یک سطح تمیز و آماده که عاری از هر گونه آلودگی، چسب و ناصافی است ورقه FRP مطابق مشخصات و جزئیات ارائه شده بریده می شود. اشباع کردن الیاف FRP در پروژه های بزرگ مقاوم سازی ورقه ها با دستگاہهای گرداننده خاص در کارخانه اشباع می شوند و لایه اپوکسی یا ماتریس رزین به آن اضافه می شود و فقط کافی است در محل مورد نظر چسبانده شود ولی در کارهای کوچکتر در محل کارگاه رزین FRP روی سطح موردنظر مالیده شده سپس ورقه FRP خشک و بدون چسب بر روی سطح بتن چسبانده می شود.



1. کاربرد مصالح FRP: الیاف را با دقت روی سطح هموار و بدون هیچ گونه آلودگی، حباب هوای محبوس به صورت کاملا صاف و مستقیم دقیق می چسبانند.

2. نظارت بر کنترل کیفیت FRP: در زمان عمل آوری ۲ تا ۶ ساعت بسته به شرایط حاکم، سطح مقاوم سازی شده با FRP چک و کنترل می شوند تا هیچ گونه حباب هوا بین لایه FRP و بتن حبس نشده باشد و خم شدگی یا بیرون زدگی (Sagging) وجود نداشته باشد و ناظرهای تربیت شده ای برای کنترل کیفیت FRP استفاده می شود.

3. اطمینان از کیفیت اجرای مقاوم سازی با FRP: گزارش های کنترل کیفیت تهیه شده و به خوبی نگهداری می شوند تا اطمینان از اجرای موفقیت آمیز ترمیم، تقویت و تعمیر با FRP حاصل شود.

4. لایه رویه FRP: پس از عمل آوری و نظارت بر کیفیت اجرای مقاوم سازی، ورقه های FRP به منظور حفاظت، نگهداری و حفظ زیبایی و معماری با یک لایه بتن رویین یا ماده ای دیگر پوشانده می شوند.



تعریف دقیق و شفاف دوام مشکل می باشد تعریف دقیق دوام قابلیت مقاومت مصالح و سازه در برابر تمامی عوامل و اثرات اعمالی در دوره زمانی مشخص که عملیات نگهداری متداول بدون ایجاد تغییر جدی در قابلیت باربری کلی و ثابت ماندن قابلیت سرویس دهی سازه مورد نظر را تامین می نماید دوام سازه میگویند

دوام بر قابلیت سرویس دهی سازه و ایمنی ان تاثیر گذار است.

دوام مصالح قادر به کاهش عملکرد و همچنین زایل نمودن وضعیت ظاهر پل می شود.

## نکات اجرایی مهم برای دوام بیشتر :

زهکشی سطحی و زیر سطحی

زهکشی سطحی امری است بسیار ضروری که هدف از اجرای ان جمع اوری و انتقال سریع و کارآمد اب به خارج از عرشه پل است معمولا شیب عرضی یک ببه چهل است برای هدایت اب به سمت جوی های مخصوص عکس



## زهکشی زیر سطحی

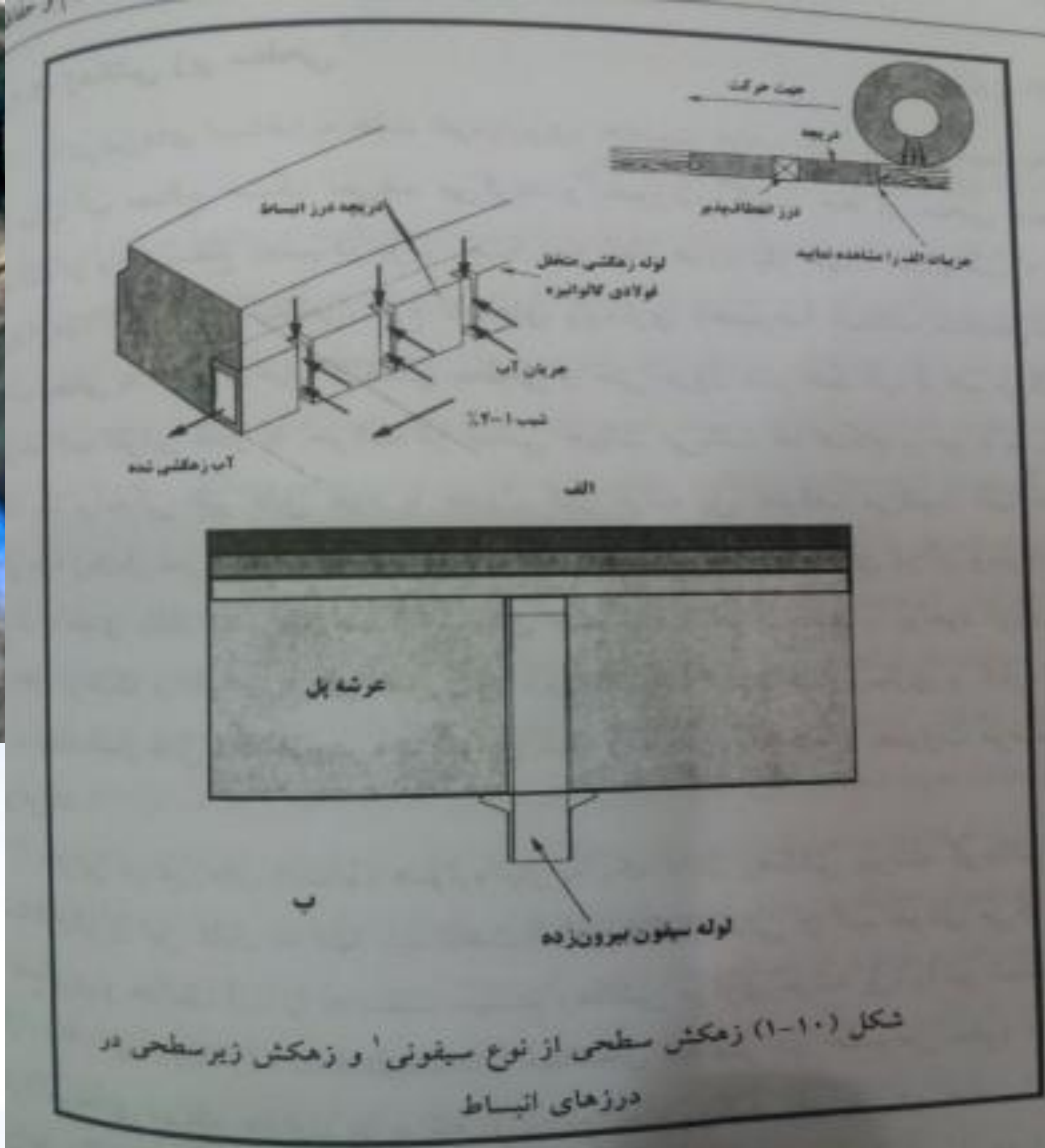
به علت نفوذ پذیری خاصیت جذب آب از درز های انبساطی استفاده می کنند.

وجود خرابی هایی روی سطح پل امکان نفوذ آب سطحی به درون و میان لایه های سطحی و حتی درون قشر ضد آب فراهم میشود بنابراین درزهای انبساطی همواره نیاز به یک کانال زهکشی کوچک پیوسته می باشد که پس از جمع اوری آب ان را به سمت زهکشی مرکزی عرشه پل هدایت می کند.

### عایق بندی عرشه پل

اگر چه بتن با طرح اختلاط اجرا و مصالح مناسب عملا نفوذ ناپذیر محسوب میشود با این حال یک لایه مخصوص جهت جلوگیری از نفوذ آب ایجاد میگردد این لایه ممکن است بصورت سرد یا گرم اجرا شده که با استفاده از یک لایه ماسه اسفالت به ضخامت ۲۰ میلی متر حفاظت میگردد که عایق های متعددی وجود دارد از جمله قیر گونی یا ایزوگام





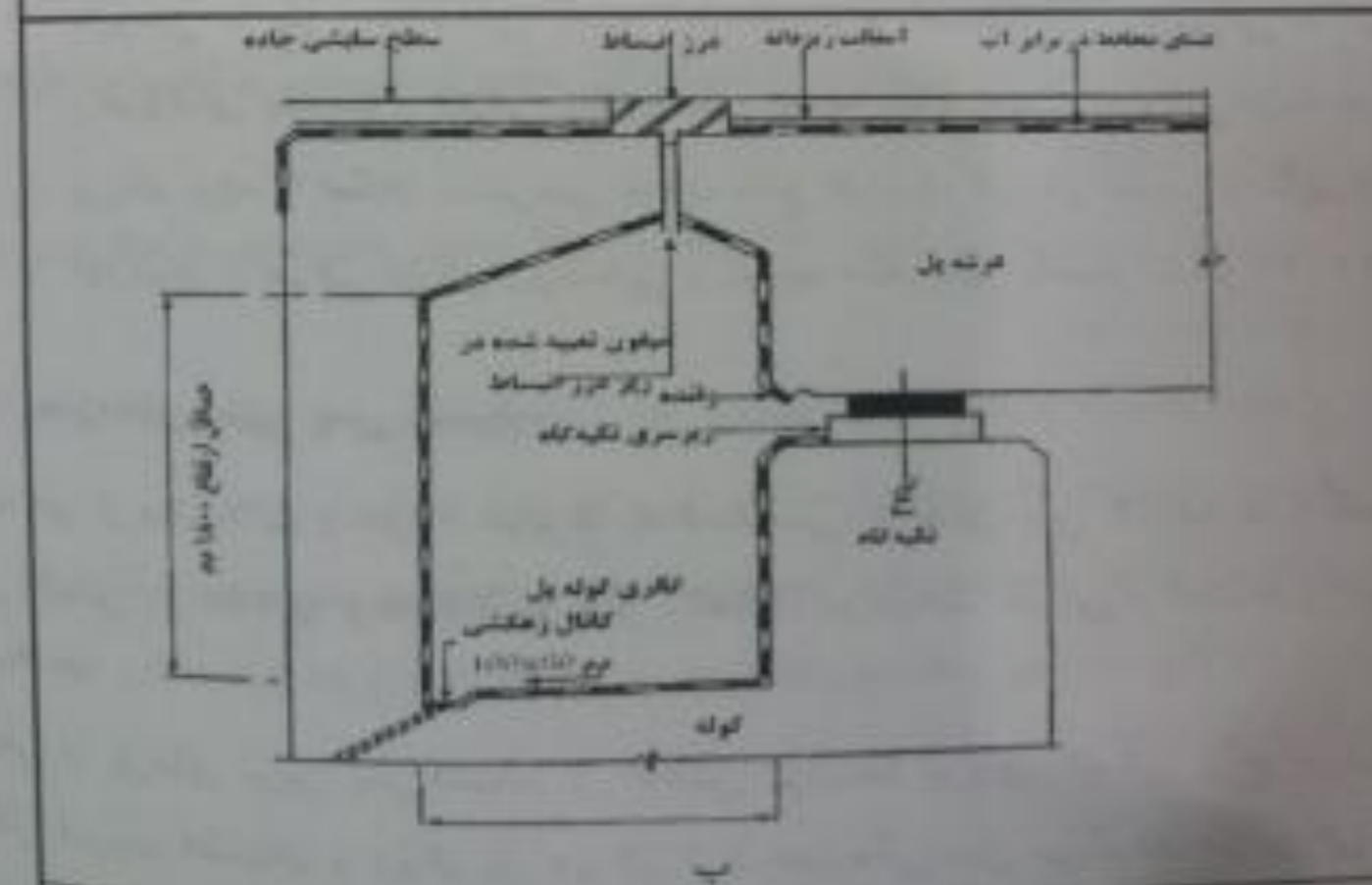
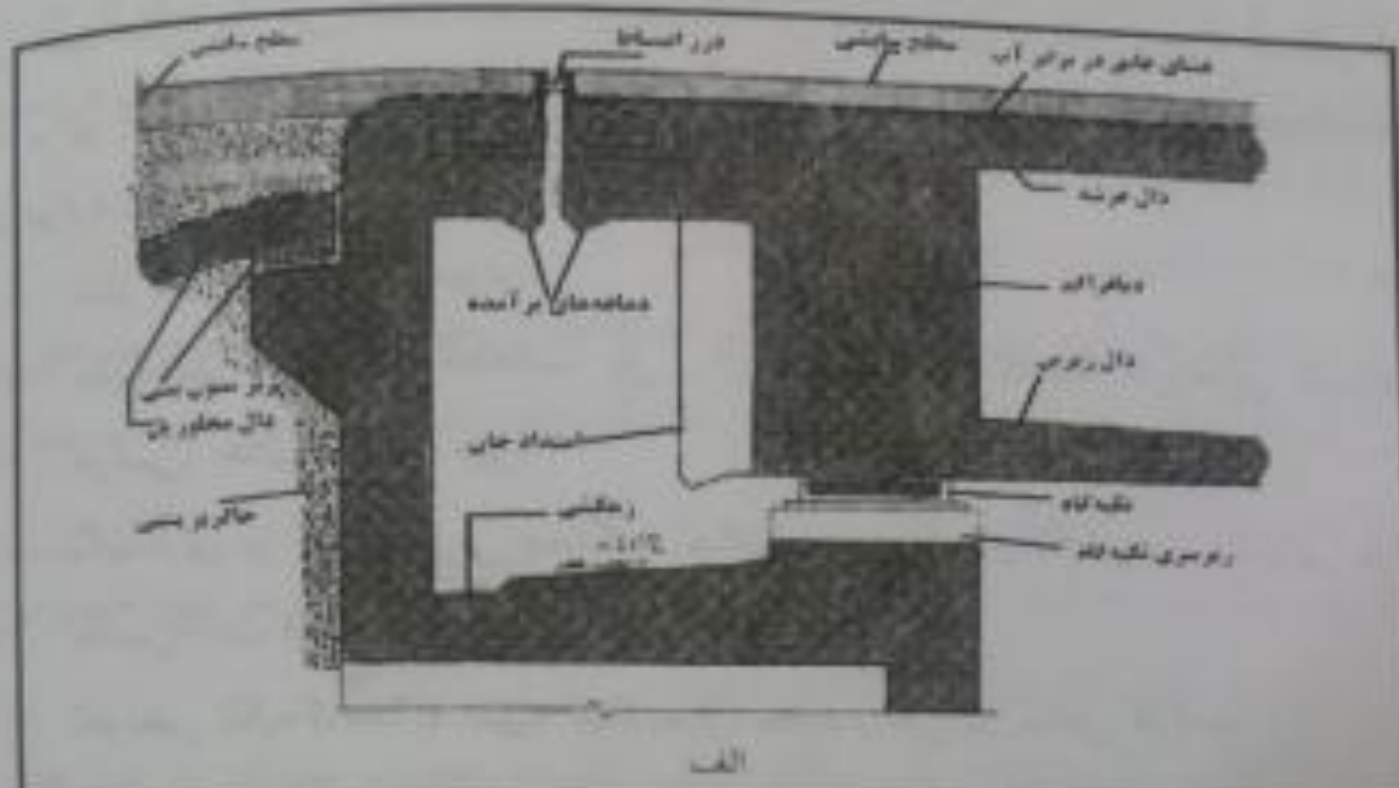


## بازرسی و نگهداری از پل ها

ایجاد دسترسی مناسب و کافی جهت عملیات بازرسی و نگهداری یک عامل مهم در افزایش عمر مفید سازه پل می باشد هدف از ایجاد این دسترسی ها باید ایجاد فضای کاری راحت و خوشایند برای مهندس پل باشد

1. دسترسی مناسب باید موارد زیر را شامل باشد
2. تمیز نمودن و رنگ آمیزی
3. جایگزینی اعضا و قطعات پل از جمله تکیه گاه ها درزهای انبساطی مهار های عرضی
4. نگهداری و نظارت بر عملکرد مناسب سیستم زهکشی روشنایی و روغن کاری ماشین آلات
5. تعویض تکیه گاه با تعبیه جک های مخصوص در محاکله
6. بازرسی داخلی سازه های بسته اطمینان از روشنایی و تهویه مناسب زاهرو های بازرسی شکل





شکل (۱۰-۱۱) راهروی دسترسی بین خرشک و کوله پیل: الف) بر طبق جزئیات ارائه شده (Mann (1999) و ب) BA 57/95



سپاس  
از همراهی شما عزیزان