





راهسازی

محمد احمدی

نیمسال اول 95-96
دانشگاه الزهراء (س)

فصل 9: ابنیه فنی راه

ابنیه فنی راه



۸-۱- مقدمه

وجود ابنیه‌های فنی برای ایجاد سهولت هرچه بیشتر در جابجایی‌ها و همچنین برای کاهش مشکلات ناشی از وجود کوه‌ها، دره‌ها و ریزش‌های طبیعی مانند باران و برف می‌باشد. از گذشته‌های دور، کوه‌ها چون دیواری در مقابل انسان‌ها قرار داشته‌اند و تنها راه بشر برای گذشتن از میان این سد بزرگ، حفر دالان‌هایی در داخل آنها بوده است. دره‌ها و رودها همچون مرزهایی مانع ارتباطات بشر متفکر بوده‌اند ولی انسان همیشه تلاش کرده تا راهی برای رفع مشکل خود، هر چند به صورت ابتدائی بیابد. پل‌ها حتی در شکل تنه‌های قطور درختان نمایانگر ذهن خلاق بشر می‌باشند.

وجود نزولات طبیعی اگرچه مایه برکت و خوشحالی انسان است اما ضررهای ناشی از آن را نباید از نظر دور کرد و باید راه‌هایی برای هر چه بهتر استفاده کردن از آنها یافت. آبروها و

زهکش‌ها شکل پیشرفته تجهیزات لازم برای هدایت آبها می‌باشند. شاید در هنگام باد و طوفان بشر اولیه برای مبارزه با این پدیده طبیعی، از درختان برای افزایش بیشتر استحکام سازه خود کمک می‌گرفته که امروزه دیوارهای حائل نمایانگر رشد این تفکر اولیه هستند. شایان ذکر است که زیبایی در ابنیه فنی بعد از در نظر گرفتن استحکام از مقاصد مهم بشر است. امروزه چنانچه بنایی در ضمن استوار بودن، باعث زیبایی چهره شهر شود، به عنوان یکی از امتیازات مهم آن شهر تلقی می‌گردد.

۸-۲- تأثیر آب بر راه

آب‌های سطحی ممکن است به جسم راه آسیب برسانند. آب و راه دو عنصر ناسازگارند آب‌های زیرزمینی نیز به عنوان عامل مخربی عمل کرده و با نفوذ به زیر روسازی راه از مقاومت جسم راه می‌کاهند.

✱ در حالت کلی جسم راه تحت حمله آب‌های زیر قرار می‌گیرد:

۱- آب آبریزها و رودخانه‌هایی که در مقاطع مختلف با راه برخورد می‌نمایند.

۲- آب حاصل از باران و ناشی از ذوب شدن برف‌ها.

۳- آب‌های حاصل از بارندگی و آب‌های ناشی از ذوب شدن برفی که در محل شیروانی‌های خاکبرداری و در دامنه دره‌هایی که راه در پایین دست آن واقع است جریان دارند و به سمت جسم راه حرکت می‌نمایند.

۴- آب‌های زیرزمینی که در اثر موئینگی در جسم راه نفوذ می‌کنند.

برای حفاظت راه در مقابل آب‌های سطحی می‌توان از پل، لوله، نهرپای شیروانی و یا ناودان استفاده کرد.

در محل تلاقی راه با رودخانه از پل استفاده می‌شود.

در حالت کلی برای دور کردن آب‌های سطحی می‌توان یکی از روش‌های زیر را بکار گرفت:

۱- سطح نهایی راه و سطح لایه‌های روسازی و سطح بستر با شیب عرضی دو طرفه اجرا شود.

۲- در طرفین راه آبروهای طولی ایجاد گردد.

۳- محل‌هایی برای جذب آب و همچنین تخلیه آب‌های کانال‌ها ساخته شود.

چنانچه نتوان آب‌های سطحی را از جسم راه دور نمود و در کناره‌های راه، آب‌های ناشی از بارندگی به مدت طولانی به صورت تالاب جمع شوند در این صورت باید سطح راه نسبت به سطح زمین طبیعی بالاتر ساخته شود.

۴- برای پایین آوردن سطح آب‌های زیرزمینی می‌توان کانال‌های زهکش عمیقی در قسمت زیرین سطح راه ایجاد کرد.

۵- از ژئوتکتایل‌ها و قیرپاشی لایه‌ها به عنوان یک لایه غیرقابل نفوذ در جسم راه استفاده نمود.
۶- در جاهایی که آب‌های زیرزمینی در سطح نسبتاً بالایی قرار دارد، می‌توان از کانال‌های زهکش روباز استفاده نمود. این کانال‌ها ممکن است در یک طرف و یا در هر دو طرف راه حفر گردند. حداقل شیب کانال‌های زهکش ۰/۲٪ و شیب جداره‌های آن ۱/۵:۱ و یا کمتر می‌باشد. حداکثر شیب طولی کانال‌های زهکش به شرح زیر است:

خاک‌های رس‌دار	خاک‌های ماسه‌ای	نوع پوشش کانال
۲	۱	کانال خاکی ساده بدون چمن کاری جداره‌ها
۲-۳	۱-۳	کانال خاکی با چمن کاری جداره‌ها
۳-۵	۳-۵	کانال‌های پوشش شده با قطعات بتونی و یا با سنگ و ملات

۷- برای عبور راه از مناطق سست و باتلاقی به کمک زهکش‌های قائم آب موجود در لایه‌های سست جذب و عمل تحکیم سریعتر انجام گیرد.

۸- زهکشی دیگری بنام زهکشی حائل وجود دارد و به این ترتیب است که کانال‌های زهکش را در شیروانی‌های خاکبرداری راه حفر می‌کنند و برای جلوگیری از نفوذ آن به خارج شیروانی بین جداره کانال و مصالح زهکش، در داخل کانال دیواره‌ای از خاک رس کوبیده شده با رطوبت بهینه و ضخامت تقریبی ۳۰ سانتی‌متر ایجاد می‌کنند.

۸-۳- زهکشی

یکی از روش‌های مقابله با آب‌های سطحی زهکشی راه‌ها می‌باشد. زهکشی سطحی در خیابانها، بزرگراه‌ها و خط آهن، وظیفه کنترل و انتقال آب اضافی را از حریم راه برعهده دارد. گنجایش هیدرولیکی نباید به میزانی باشد که بالادست صدمه چندانی ببیند و آمد و شد به صورتی مناسب انجام نشود. آب باران و آب‌های ناشی از ذوب برف‌ها و یخ‌ها به سمت نقاط پست سرازیر شده و از آنجا به طرف جاده‌ها هجوم می‌آورند برای هدایت درست آنها ابتدا باید میزان دبی آب محاسبه شود. تعیین دبی آب‌های سطحی کاری مشکل است و به پارامترهای مختلفی وابسته

می‌باشد. مقدار این آب بستگی به شرایط جوی، شیب زمین، مساحت حوزه آبرگیر، پوشش گیاهی و جنس خاک و غیره دارد. این آب‌ها چنانچه به بدنه راه نفوذ نمایند باعث افزایش رطوبت خاک بستر راه شده و در نتیجه سبب کاهش مقاومت آن می‌گردند و در هنگام عبور ترافیک سنگین از روی راه، بستر تغییر شکل داده و در آن نشست قابل توجهی بوجود می‌آید، این نشست‌ها به لایه‌های روسازی منتقل شده و باعث گسیختگی لایه‌های بالایی روسازی می‌شود، در چنین راهی، با گذشت زمان و در اثر یخبندان‌های متوالی و تنش ناشی از عبور چرخ اتومبیل‌ها ترک‌ها گسترش یافته و مشکلات زیادی در روسازی ایجاد می‌شود.

همچنین وجود آب باعث افزایش ناپایداری سازه راه شده و حتی در مواردی ضریب اطمینان در مقابل لغزش و رانش را به نصف کاهش می‌دهد. بنابراین زهکشی و جمع‌آوری و تخلیه مناسب آب‌های سطحی در حفظ پایداری سازه راه دارای اهمیت زیادی می‌باشد.

نهرهای زهکشی شامل نهرهای کنار راه برای دور کردن آب‌های سطح راه، همچنین نهرهای واقع در پای شیروانی‌ها و بالای شیروانی‌ها برای جمع‌آوری آب‌های سطح برش‌ها به کار گرفته می‌شود. برای هدایت این آب‌ها از بالا به پایین در برش‌های پرسیب از کانالها استفاده می‌شود. در صورتی که پستی و بلندی زمین اجازه دهد، شیب زمین در قسمت نهرهای زهکشی ۱:۴ و یا کمتر در نظر گرفته می‌شود.

نوع پوشش کانال‌ها بستگی به نوع خاک، شیب و سرعت جریان آب و ابعاد نهر دارد. از لحاظ اقتصادی بهترین نوع پوشش کانال، پوشش‌های گیاهی است ولی در سرعت‌های زیاد آب استفاده از پوشش گیاهی جوابگو نمی‌باشد، در این حالت می‌توان از پوشش‌های بتنی، آسفالتی و یا سنگی استفاده نمود. به طور کلی تمام تلاش‌ها بر این اساس است که تا حد ممکن بارش اضافی از سطح جاده به کناره‌ها منتقل گردند. به همین منظور طراحان راه، شیبی برای ۲ طرف جاده در نظر می‌گیرند تا سرعت انتقال آب به کناره‌ها را افزایش دهند و چنانچه می‌دانیم این شیب عرضی بسته به نوع لایه آخر روسازی بین ۱/۵ تا ۳ درصد متغیر است.

اصولاً خرابی‌های زودرس در روسازی‌های انعطاف‌پذیر و روسازی‌های صلب اکثراً به دلیل هوازگی در ترافیک‌های سنگین و همچنین قرار گرفتن سازه راه در محیط اشباع می‌باشد. عواملی که سبب اشباع شدن روسازی راه و بستر آن می‌شود شامل موارد زیر است: پمپاژ، انبساط نسبی (تورم) خاک بستر، خرابی در اثر یخبندان در مناطقی که یخ‌زدگی‌های متوالی وجود دارد، فرسایش و آب‌شستگی مصالح نرم و بوجود آمدن خلل و فرجی که باعث نشست بستر می‌گردند.

۸-۳-۱- زهکشی جسم راه

آب می تواند از راه ترکها، درزها، نفوذ کردن در بتن آسفالتی و یا به دلیل نفوذ آب زیرزمینی جدا شده از یک سفره آب صدماتی به روسازی های انعطاف پذیر وارد سازد. وجود آب در مقاطع روسازی باعث کاهش مقاومت سازه ای و کاهش ظرفیت باربری آن می گردد. در نتیجه این عمل تغییر شکل های خمشی در زیر بارهای سنگین چرخ افزایش می یابد. آب های سطحی به همراه آب های زیرزمینی به صورت جریانی است که باید به کمک سیستم های زهکشی منتقل شوند. اما عموماً سیستم زهکشی که برای انتقال آب های سطحی طراحی می شود، از سیستم زهکشی مربوط به آب های زیرزمینی مجزا می باشند.

انجام زهکشی سریع در زیرسازی راه برای کاهش زمانی که روسازی در تماس با آب می باشد، بسیار ضروری است با قرار دادن یک سیستم لایه زهکشی با نفوذپذیری بالا در زیر سطح روسازی در هنگام ساخت اولیه، می توان به این هدف دست یافت.

اجزاء اصلی مقطع زهکشی در روسازی انعطاف پذیر شامل موارد زیر است:

۱- لایه های با نفوذپذیری بالا

۲- سیستم جمع کننده

۳- قسمت خروجی، مجرای تهویه، دریچه تنظیف

لایه های زهکشی دارای ضخامت 75^{mm} و شامل اساس قیری نفوذپذیر می باشند. همچنین می توان از لایه ای با ضخامت 105^{mm} از جنس اساس سیمانی نفوذپذیر استفاده نمود. این لایه باید در زیر رویه آسفالتی قرار گیرد تا از نفوذ آب به مقطع جلوگیری کند.

در قسمت هایی که امکان نفوذ آب در زیر اساس و بستر وجود داشته باشد باید از آستر قیری و یا یک لایه مناسب دیگر استفاده کرد.

به کمک فرمول زیر میزان دبی راه تعیین می شود:

$$Q = \frac{V \times W}{3/6 \times 10^6} \quad \text{دبی راه بر حسب } m^3/S$$

W: عرض بر حسب متر از قسمت لایه زهکشی تا خط مرکز یا محور

V: سرعت نفوذ بر حسب m/hr

اگر اطلاعات مربوط به بارش های محلی در محل اجرای پروژه در دسترس باشد با کمک فرمول زیر می توان سرعت نفوذ آب را تعیین نمود.

$$V = 0/33 \text{ (شدت بارش ساعتی طرح)}$$

ضخامت مورد نیاز برای لایه های زهکشی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$t = \frac{1000Q}{K_s} \quad \text{دبی راه بر حسب } m^3/sec$$

K: نفوذپذیری مصالح مورد استفاده در لایه زهکشی

برای لایه از جنس اساس قیری نفوذپذیر مقدار $K = 0.0529$ می باشد.

۸-۴- آبروها

آبرو به عنوان سازه ای برای تخلیه آب های موجود در سطح راه می باشد که به صورت عرضی از زیر جسم راه عبور می کند. همچنین آبرو مجرای است که به صورت عرضی از زیر جسم راه عبور می کند و آب های موجود در مقطع راه را از بالادست به سمت پایین دست تخلیه می نماید. به این ترتیب چنانچه در مسیر آبرو و یا خط القعری برای ایجاد راه یا راه آهن از خاکریز استفاده شود برای انتقال آب موجود در یک قسمت خاکریز به سمت دیگر آن، از این سازه ای استفاده می شود. آبرو در پایین ترین نقطه خط القعر ساخته می شود. اجرای سازه آبروها به سادگی امکان پذیر است، اما به جای طراحی هیدرولیکی این سازه ها ترکیبی از دو حالت جریان های تحت فشار و آزاد بوده و بسیار پیچیده می باشد و به این ترتیب عوامل مختلفی در طراحی آن تأثیرگذار است.

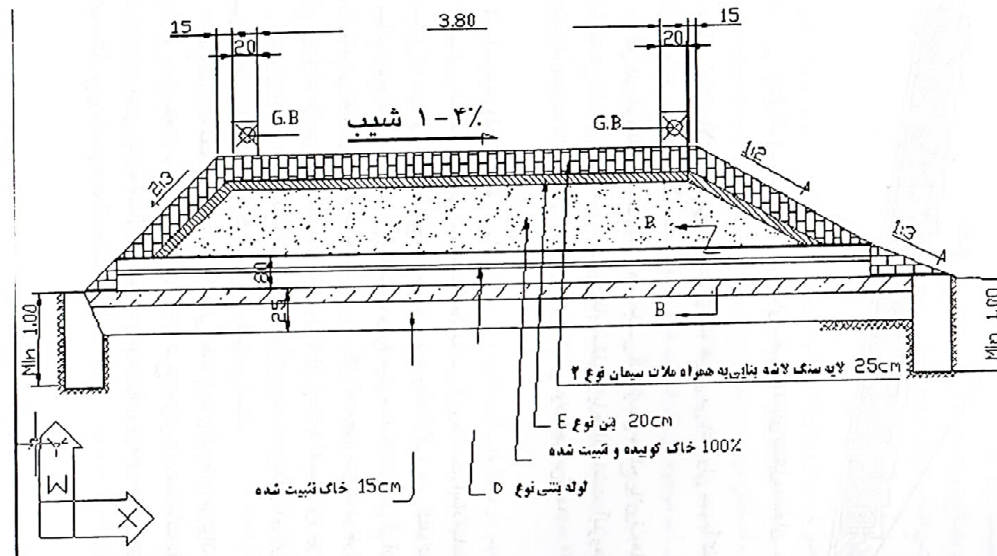
عوامل مهم در مکان یابی آبرو عبارت از: امتداد، شیب، تراز و وسعت حوزه می باشند. طراحی آبروها اصولاً شامل بررسی جریان غیر یکنواخت در کانال باز است، حتی زمانی که جریان یکنواخت باشد.

بهترین امتداد برای آبرو، قرار دادن آن در امتداد مسیل طبیعی موجود در خط القعر می باشد.

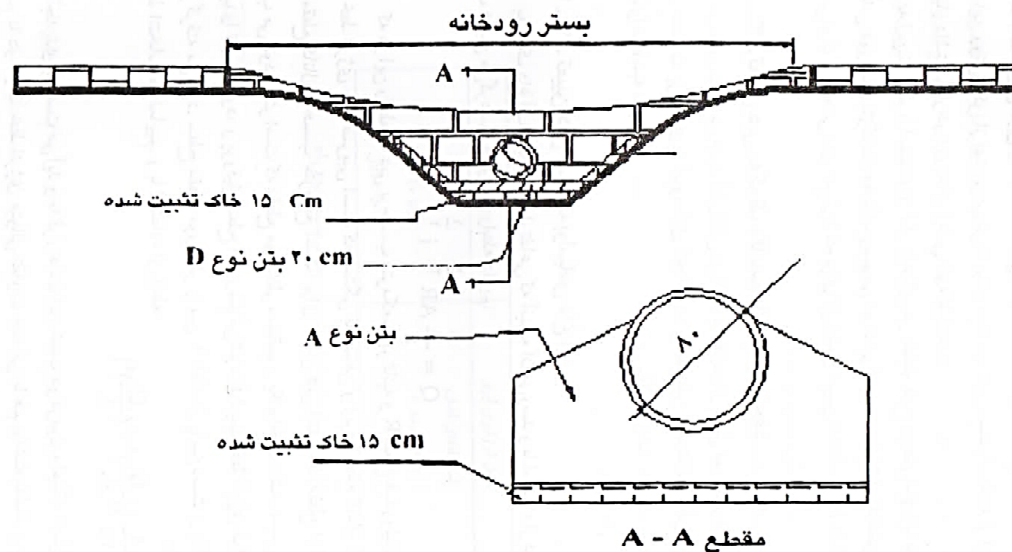
در بیشتر موارد سعی بر این است که شیب آبرو با شیب مسیل طبیعی برابر شود. با توجه به سرعت بیشتر جریان در آبرو نسبت به کانال طبیعی، امکان رسوب گذاری در آن کاهش می یابد. ولی چنانچه امکان این خطر وجود داشته باشد می توان از حوضچه های رسوب گیر در قسمت ورودی آن استفاده کرد این حوضچه ها باید در فاصله های زمانی معین تخلیه گردند.

همچنین چنانچه امکان فرسایش برای آبرو وجود داشته باشد می توان به کمک سنگچین نمودن ابتدای کانال طبیعی در خروجی آبرو و همچنین احداث حوضچه ای آرامش در خروجی و کاهش سرعت آب در قسمت آبرو به کمک پله دار کردن کف آن و شکستن شیب این مشکل را کاهش داد. شکل (۸-۱) نمونه ای از آبرو پله ای و اجزای آنرا نشان می دهد.

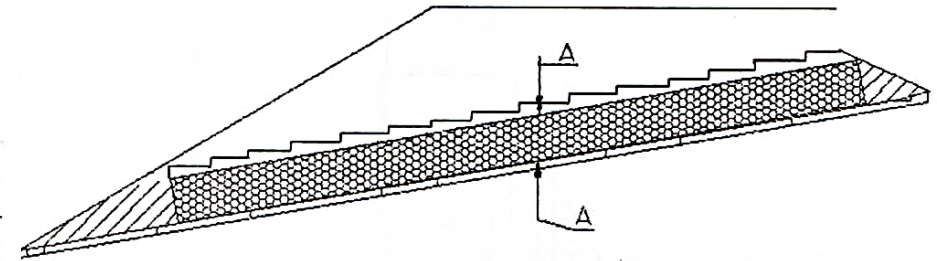
همچنین مقاطع نمونه آبروها در اشکال (۸-۲) و (۸-۳) نشان داده شده است.



شکل ۸-۲ - مقطع نمونه از یک نوع آبرو



شکل ۸-۳ - مقطع نمونه یک نوع آبرو



شکل ۸-۱ - یک نمونه از آب رو پله‌ای به همراه با اجزای تشکیل‌دهنده آن

گاهی امکان بالاتر بودن تراز ورودی از کف طبیعی می‌باشد ولی عموماً کف آبرو باید هم‌تراز کف طبیعی ساخته شود. شکل کلی آبروها به صورت لوله بوده و جنس آنها از بتن مسلح یا ورقه‌های گالوانیزه پیش‌ساخته می‌باشد. و پوشش آنها به صورت‌های سقفی و یا طاقی است. آبروهای طاقی در محل‌هایی که عملیات بنایی مقدور بوده و ارزان‌تر تمام می‌شود، اجرا می‌گردد.

۸-۴-۱ - هیدرولوژی آبرو

مهمترین مسأله در طراحی آبرو تعیین ابعاد مناسب آبروها است. ابعاد مناسب با توجه به دبی سیلابی که بدون وارد آوردن هیچ‌گونه صدمه به بدنه جاده از آبرو عبور کند، تعیین می‌گردد. دبی سیلاب طرح با توجه به عمر آبرو، احتمال وقوع سیل و خسارات ناشی از آن تخمین زده می‌شود. بنابراین ابعاد آبروها با توجه به شدیدترین سیلابی که به‌طور متوسط در طول چندین سال به‌وقوع می‌پیوندد طراحی می‌شود باید توجه داشت که این زمان به اهمیت آبرو نیز بستگی دارد. هیدرولوژی آبرو شامل مطالعات مربوط به فراوانی و شدت بارندگی‌های روی حوزه آبریز و تعیین ارتباط آن به سیلاب حداکثر در آبرو موردطراحی است. همان‌طوری‌که گفته شد در مراحل مقدماتی دهانه پل‌ها و آبروها را می‌توان از روی سطح حوزه آبریز و بازدیدهای محلی تخمین زد، ولی در طرح اجرایی باید مطالعات دقیق‌تری انجام گردد. برای این منظور نیاز به مقدار دبی سیلاب وجود دارد روش‌های مختلفی برای تعیین دبی سیلاب به کار می‌رود که در ادامه آمده است.

۸-۴-۲- تعیین دبی به کمک آمار رودخانه‌ها

این روش یکی از بهترین روش‌ها برای محاسبه دبی است. استفاده از این روش مشروط در اختیار داشتن آمار در دوره‌های زمانی طولانی است.

به این ترتیب با استفاده از آمار بارندگی در منطقه طرح منحنی‌های شدت، مدت، فراوانی را براساس دوره‌های بازگشت مختلف رسم می‌شود. در صورت در اختیار نداشتن اطلاعات محلی کافی، می‌توان از منحنی‌های هم‌باران که برای کل کشور تعیین شده است، استفاده نمود.

۸-۴-۳- تعیین دبی به کمک مقایسه با پل‌های موجود

در صورت عدم وجود آمار کافی می‌توان با مقایسه‌ی محل موردنظر با مکان‌های مشابه که در آنجا عملیات پل‌سازی یا آبروسازی انجام شده و همچنین با استفاده از قوانین هیدرولیکی دبی سیلاب را محاسبه نمود.

۸-۴-۴- تعیین دبی سیلاب براساس داغ آب

به کمک داغ آب یا بالاترین ارتفاعی که آب به آن می‌رسد و با استفاده از فرمول مانینگ دبی سیلاب تعیین می‌گردد. برطبق این رابطه داریم:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

که در این رابطه Q دبی برحسب مترمکعب بر ثانیه و R شعاع هیدرولیکی برحسب متر، i شیب خط انرژی و n ضریبی است که بستگی به صافی و زبری سطح کانال دارد. همچنین A سطح مقطع کانال برحسب مترمربع است. برای تعیین دبی ابتدا یک مقطع از کانال بطول 50^m انتخاب می‌شود، بهتر است که مقطع موردنظر مستقیم و یکنواخت باشد. سپس محل قرار گرفتن داغ آب را تعیین نموده و پروفیل سطح آب رسم می‌شود. i شیب خط انرژی موازی سطح داغ آب در نظر گرفته می‌شود. سطح مقطع موردنظر را بین ۲ نقطه در پایین‌دست و بالادست و بصورت متوسط انتخاب می‌نماییم. و با استفاده از رابطه:

$$\Delta h = \frac{V^2}{2g} = \frac{1}{2g} \left[\left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 - \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2 \right]$$

شیب جدیدی به دست می‌آید و با قرار دادن این شیب در فرمول مانینگ عملیات را آنقدر تکرار می‌کنیم تا دو شیب خط انرژی متوالی تفاوت چندانی با هم نداشته باشند و سرانجام دبی را براساس این شیب محاسبه می‌نماییم.

۸-۴-۵- تخمین دبی جریان براساس بارش

سه روش برای بدست آوردن سیلاب حداکثر در حوزه‌های آبریزی که فاقد اطلاعات و آمار هیدرولوژیکی هستند، وجود دارد: ۱- روش منطقی ۲- روش کوک ۳- روش شماره منحنی که ساده‌ترین آنها روش منطقی است. در این روش دبی سیلاب حداکثر به صورت تابعی از مساحت حوزه آبخیز آبرو و شدت بارندگی طرح تعیین می‌شود. $Q = 0.30 CIA$ در این رابطه:

Q : دبی سیلاب برحسب مترمکعب بر ثانیه

A : مساحت حوزه آبخیز برحسب کیلومتر مربع که به کمک نقشه‌های منحنی میزان قابل محاسبه است.

I : شدت بارندگی برحسب میلی‌متر بر ساعت

C : ضریب رواناب

شدت بارندگی طرح به چند عامل بستگی دارد: ۱- دوره بازگشت ۲- زمان تداوم بارندگی ۳- زمان تمرکز ۴- مساحت حوزه آبخیز

دوره بازگشت برای طراحی با کمک جدول (۸-۱) قابل محاسبه است.

محل قرارگیری آبرو	دوره بازگشت به سال
شاهراه‌های اصلی	۲۵ سال
راه‌های درجه ۲	۵ تا ۱۰ سال
راه‌های روستایی و موقت	۱ تا ۲ سال

جدول ۸-۱- دوره بازگشت آبروها برحسب نوع راه

رابطه بین شدت و تداوم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$I = \frac{c}{(d + t)^n}$$

I : شدت بارندگی

t : زمان تداوم باران

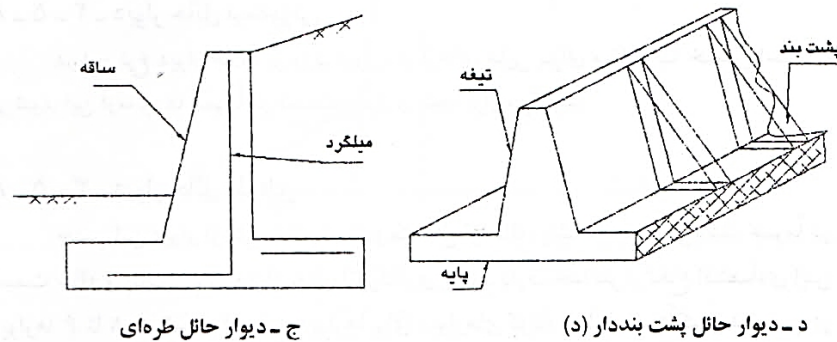
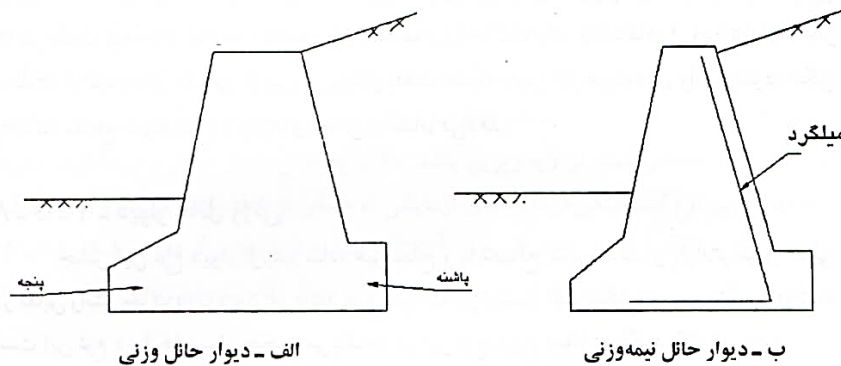
c : ثابتی که به فراوانی رخ داد وابسته است.

n, d : ثابت

زمان تمرکز فاصله زمانی بین شروع بارندگی و زمانی که بارش تمام سطح حوزه آبرگیر را فرا گرفته و به محل آبرو رسیده، می‌باشد. این زمان تابع عواملی مانند مساحت و شکل حوزه، شیب متوسط حوزه، طول شیب و زبری سیل اصلی حوزه، طول و شیب و زبری کانال‌های درجه

۸-۵- دیوارهای حائل

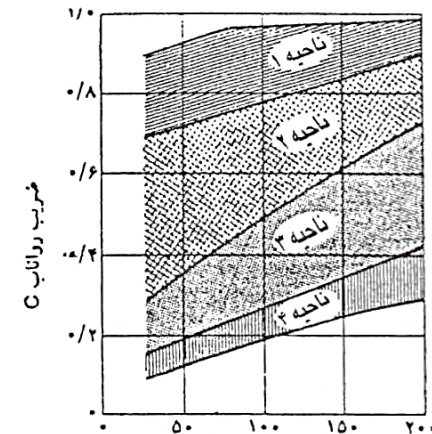
از انواع دیگر ابنیه فنی می‌توان دیوار حائل را نام برد. استفاده از سازه‌های نگه‌دار یا دیوار حائل^۱ جزء تمهیدات حفاظتی است که در بسیاری از کارهای عمرانی و برای نگهداری مصالح با شیبی بیش از حد شیب طبیعی استفاده می‌شود. به این ترتیب دیوار حائل به عنوان یک تکیه‌گاه جانبی عمل کرده و به عنوان راه‌حلی برای پایداری شیب‌های مصنوعی و طبیعی متداول است. در راهسازی به دلیل موقعیت و سستی زمین دیوارسازی انجام می‌شود.



شکل ۸-۵- مقاطع چند نمونه از دیوارهای حائل

دوم، نوع پوشش حوزه و جریان‌های عرضی رواناب است. پس از تعیین زمان تمرکز حوزه به کمک نمودارهای شدت - مدت فراوانی، شدت بارش مربوطه تعیین گردیده و در رابطه منطقی قابل استفاده می‌باشد.

ضریب رواناب با تقسیم حجم رواناب به حجم بارندگی تعیین می‌شود و بستگی به شدت بارش نوع پوشش سطح، عمق خاک و شیب آن دارد. به کمک شکل (۸-۴) می‌توان ضریب رواناب را تعیین نمود.



متوسط شدت بارندگی (mm/h)

- ناحیه ۱ مناطق با نفوذ پذیری کم یا زمینهای عریض از پوشش گیاهی با شیب زیاد
- ناحیه ۲ مناطق جنگلی با شیب زیاد و زمینهای عریض از پوشش گیاهی با شیب متوسط
- ناحیه ۳ مناطق نیمه مازور و مزروعی و با مناطق درختکاری شده با شیب متوسط
- ناحیه ۴ مناطق با نفوذ پذیری بالا و یا زمینهای زراعتی مسطح

شکل ۸-۴ تعیین ضریب رواناب با توجه به شدت بارندگی و نوع پوشش حوزه

همچنین مقدار ضریب C برای جاده‌ها برابر مقادیر زیر است:

نوع پوشش سطحی	ضریب C
جاده‌های آسفالتی	۰/۸۰ - ۰/۹۵
جاده‌های بتنی	۰/۷۰ - ۰/۹۰
جاده‌های شنی	۰/۳۵ - ۰/۷۰

در صورت یکنواخت نبودن سطح حوزه مقدار متوسطی از ضرایب با توجه به سطوحی که

جنس و ضرایب آنها متفاوت است، تعیین می‌گردد.

بر حسب هندسه مورد استفاده و مصالح مورد نظر دیوارهای حائل به صورت های زیر می باشند:

۱- دیوار حائل وزنی

۲- دیوار حائل نیمه وزنی

۳- دیوار حائل طره ای

۴- دیوار حائل پشت بنددار

برای کارهای جاده سازی عموماً از دیوارهای خاکی تثبیت شده ی مکانیکی و دیوارهای وزنی استفاده می شود مخصوصاً در مکان هایی که نیاز به برشهای عمیق وجود دارد یا در محل هایی که در سمت تپه جاده نیاز به دیواری جهت نگهداری خاک دارند، با استفاده از این دیوارها نیاز استفاده از شیب های طبیعی از بین می رود و باعث صرفه جویی در هزینه های راه می شود. شکل (۸-۵) مقاطع نمونه انواع دیوارهای حائل را نشان می دهد.

۸-۵-۱- دیوار حائل وزنی

جنس این نوع دیوار از بتن ساده غیر مسلح و یا مصالح بنایی است و پارامتر مؤثر اصلی در مقابل رانش خاک وزن دیوار می باشد همان گونه که در قسمت الف شکل (۸-۵) نشان داده شده است این نوع دیوارها بسیار حجیم می باشند، در این نوع دیوار حائل میلگرد بکار نمی رود.

۸-۵-۲- دیوار حائل نیمه وزنی

در این نوع دیوار علاوه بر وزن دیوار، از آرماتورهای برای مقابله با خمش استفاده می شود. این آرماتورها عموماً در قسمت دیوار و پنجه قرار می گیرند.

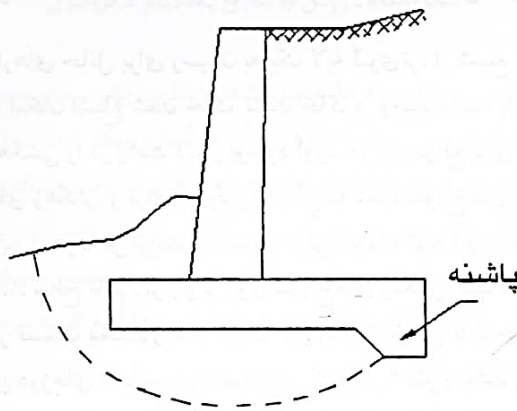
۸-۵-۳- دیوار حائل طره ای

جنس این دیوار از بتن مسلح است و متشکل از ساقه، پاشنه و پنجه می باشد. عموماً در قسمت ساقه و پنجه و پاشنه نیاز به آرماتورگذاری وجود دارد. حداکثر ارتفاع اقتصادی این دیوارها ۶ تا ۸ متر است. این نوع دیوارها برای دیوارهای کوتاه با طول نسبتاً کم و همچنین در مواردی که منطقه خاکریزی محدود است و یا استفاده از خاک موجود به عنوان خاکریز ضرورت دارد، استفاده می شود. همچنین در مناطق شهری که زیبایی و دوام هزینه های اضافی را توجیه می کند، به کار می رود.

۸-۴-۴- دیوار حائل پشت بنددار

این دیوارها شامل پایه، تیغه و پشت بند می باشند. در این دیوارها خاکریز پایه ها را می پوشانند. در این نوع دیوار در فاصله های منظم پشت بندهای عمود بر دیوار تیغه مشاهده می شود که باعث اتصال تیغه و پایه ها به هم می شوند و به این ترتیب سبب کاهش نیروی برشی و خمشی می گردند.

برای طراحی دیوارهای حائل اولاً باید پارامتر فشار جانبی را تعیین کرده و به کمک این پارامتر، پایداری کل سازه را کنترل نمود این کنترل ها شامل پایداری در مقابل واژگونی و لغزش می باشد. همچنین باید ظرفیت باربری خاک زیرسازه را کنترل کرده و در صورت نیاز و کم بودن ظرفیت باربری قبل از شروع عملیات به کمک روش هایی مثل زهکشی، تراکم، تعویض خاک و تثبیت، ظرفیت باربری خاک را به حد مطلوب رسانده و سپس عملیات شروع گردد و در هنگامی که کیفیت لایه تحتانی کمتر از لایه زیرین باشد امکان چرخش دیوار حائل وجود دارد. عموماً برای تعیین این نوع گسیختگی از دایره های آزمایشی که همگی از نقطه پاشنه می گذرد کمک گرفته می شود. برای مقابله با لغزش احتمالی عموماً از زبانه پاشنه استفاده می گردد. در شکل (۸-۶) استفاده از پاشنه برای مقابله با لغزش در دیوارهای حائل نشان داده شده است.



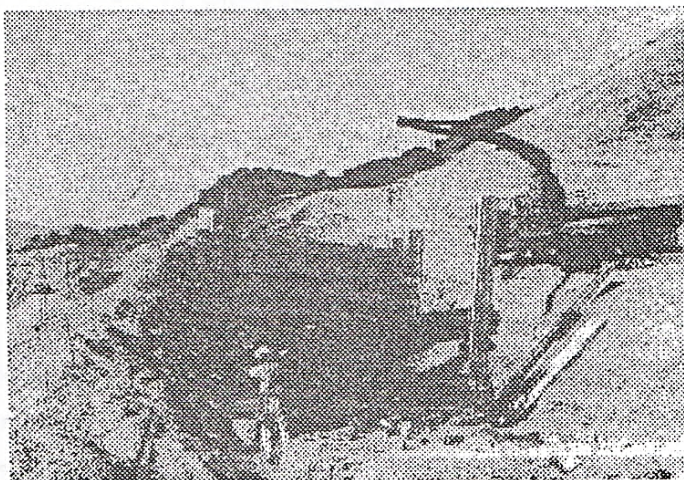
شکل ۸-۶- استفاده از پاشنه برای مقابله با لغزش در دیوارهای حائل

به این ترتیب برای کنترل پایداری دیوارهای حائل، انجام مراحل زیر ضروری است:

۱- کنترل در مقابل واژگونی حول پنجه

۲- کنترل در مقابل لغزش در امتداد پایه

می‌گیرد و یا در پایین راه دیواری ساخته می‌شود و خاکریزی بین دیوار و دره قرار می‌گیرد و این حالت هنگامی بوقوع می‌پیوندد که راه از کنار دره عبور کند.
زمانی که تمام مقطع راه در خاکبرداری قرار گیرد، نیاز به دیوارسازی نیست.



شکل ۸-۸- روش جاگذاری یک دیوار حائل فلزی

در راه‌ها علاوه بر انواع دیوارها به صورت‌های بنایی، بتنی، بتن مسلح ممکن است از دیوارهای فلزی (گالوانیزه) نیز استفاده شود. روش جاگذاری یک نمونه از این دیوارها در شکل (۸-۸) نشان داده شده است. در راه‌های کم‌اهمیت دیوارها به صورت خشکه‌چینی می‌باشد.
گاهی در خاکبرداری‌ها نیز دیوار حائل به کار می‌رود که دلیل آن سستی جنس زمین و وجود امکان لغزش و ریزش در شیروانی خاکبرداری است. همچنین ممکن است شیب لازم جهت شیروانی خاکبرداری در فاصله‌های دوری خط زمین را قطع کرده و زمین لازم برای تأمین خاکبرداری وجود نداشته باشد.

۸-۶- پل‌ها

پل در زمهره ابنیه فنی - هنری است که برای عبور از موانع عموماً عمیق و نیمه‌عمیق و برای اتصال راه ارتباطی ساخته شده و ارتباط بر روی فروفتگی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- کنترل ظرفیت باربری پایه

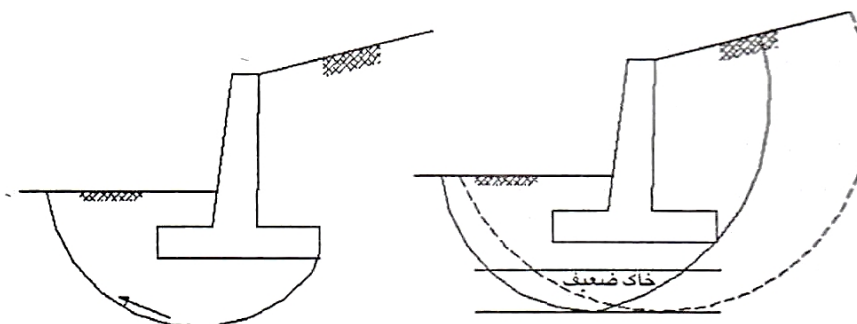
۴- کنترل نشست

۵- کنترل پایداری کلی

همچنین در دیوارهای حائل امکان دو نوع خرابی دیگر نیز وجود دارد:

۱- گسیختگی برشی سطحی

۲- گسیختگی برشی عمقی



شکل ۹-۷- انواع گسیختگی‌های برشی در خاک زیر دیوارهای حائل

گاهی در دیوارهای حائل برای رسیدن به یک لایه قوی‌تر، از شمع استفاده می‌شود. همچنین در زمانی که امکان اشباع شدن خاک پشت خاکریز وجود داشته باشد، باید به کمک زهکش‌هایی امکان زهکشی را در پشت دیوار بوجود آورد. در این مواقع برای جلوگیری از ورود ریزدانه‌ها به سوراخ‌های زهکش و برای جلوگیری از گرفته شدن سوراخ‌های زهکش‌ها یکسری فیلتر نصب می‌شود. این فیلترها می‌توانند از مصالح خیلی ریزدانه تهیه شوند. همچنین می‌توان از ژئوتکستایل‌ها در امتداد سطح قائم دیوار و بر روی سوراخ‌های زهکش استفاده کرد. در دیوارهای پشت بنددار، برای هر قسمت محصور شده توسط دیواره‌های تقویتی باید حداقل یک زهکش موجود باشد. همچنین درزهای انقباض در فاصله‌هایی کمتر از ۹ متر و یکسری درزهای انبساط در فاصله‌های کمتر از ۲۷m برای دیوارهای بتنی وزنی یا مسلح تعبیه می‌شود.

برای مقابله با ترک‌های انقباضی و حرارتی، بجز در دیوارهای وزنی به ازاء هر متر ارتفاع، فولادگذاری بصورت افقی نزدیک وجوه بیرونی دیوار انجام می‌شود. با توجه به موقعیت محل دیوارهای حائل در راه‌ها و میزان مخارج دیوارسازی در خاکریزی دو شکل دیوار خواهیم داشت. به این ترتیب که یا قسمتی از شیروانی خاکریز ساخته شده و دیوار در قسمت پایین شیروانی قرار

موقعیت کلی پل توسط مسیر جاده مربوطه مشخص می‌شود. این موقعیت به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که به نحو مطلوب از مانع مورد نظر عبور کند. محل پل‌های کوچک به کمک پروفیل طولی راه به دست می‌آید. برای پل‌های متوسط و بزرگ، مجموع هزینه پل‌سازی و راه‌سازی مشرف به پل را محاسبه کرده و اقتصادی‌ترین آنها را انتخاب می‌نمایند.

حتی‌المقدور از ساخت پل‌های شیب‌دار، مورب و قوسی شکل که هزینه زیادی را دربر دارند و ساخت آنها مشکل‌تر است، پرهیز می‌شود. علاوه بر این، زمینی که پی‌سازی پل بر روی آن انجام می‌شود، باید دارای استحکام کافی باشد. در بسترهایی که جنس آنها سست می‌باشد و سرعت آب در محل زیاد است به‌صورتی که پی‌ها نمایان می‌شوند، پی‌ها را به‌صورت عمیق اجرا می‌کنند و یا در نهایت بستر رودخانه را تثبیت می‌نمایند. چنانچه مسیر مناسبی برای پل‌سازی پیدا نشود، ابتدا پل را در محل مناسب اجرا کرده و سپس آب را به مسیر فعلی هدایت می‌نمایند. در مسیرهایی که امکان تغییر مسیر آب وجود دارد، مانند مکان‌هایی که دو منحنی مقعر و محدب به هم متصل می‌شوند، محل نامناسبی برای قرارگیری پل است در حالی که وسط این دو منحنی، محل خوبی برای قرارگیری پل می‌باشد.

به‌طور کلی قسمت عریض رودخانه، محل نامناسبی برای اجرای پل‌ها است زیرا در مقایسه با پل دیگری که در محل تنگ‌تر قرار گرفته و هر دو دارای مقطع مساوی برای عبور آب می‌باشند، با توجه به اینکه پل در حالت اول دارای پایه‌های بیشتری می‌باشد باعث می‌شود که آب در این حالت بیشتر از حالت دوم پشته کند و خطر بیشتری را به وجود آورد. همچنین در محل‌های تنگ‌تر، رسوب کمتری باقی می‌ماند. در انتخاب محل پل باید مسیر نهرهای طبیعی بررسی شود و امکان گود شدن یا عریض شدن طبیعی مسیر جریان آب در نظر گرفته شود.

۸-۶-۲- تقسیم‌بندی پل‌ها در حالت کلی

پل‌ها به‌طور کلی به ۳ دسته پل‌های گذرنده از روی آب، پل‌های گذرنده از روی راه‌آهن و پل‌های راه شوسه تقسیم‌بندی می‌شوند.

مسیر جاده بر روی موانع آبی به گونه‌ای می‌گذرد که مخارج ساخت، تعمیر و جایگزینی پل به حداقل ممکن برسد. همچنین باید احتمال گود شدن و عریض شدن مسیر طبیعی جریان در نظر گرفته شود. در مناطقی که احتمال وقوع سیل وجود ندارد و در قسمت‌های ابتدایی و انتهایی پل در قسمت اتصال آن به خشکی، خاکبرداری انجام می‌شود و زمین طبیعی پایین‌تر قرار می‌گیرد، در

صورت احتمال وقوع سیل‌های خیلی شدید، جاده در بزرگترین دهانه پل ساخته می‌شود. برای مقابله با سیل از سیل‌بندها، موانع انحرافی، لایروبی و افزایش دهانه‌های پل استفاده می‌شود. همچنین از قطع گیاهان و درختان موجود در مجاورت دهانه‌های انتهایی اجتناب می‌شود. از قرار دادن قرصه‌ها نیز در محل‌هایی که باعث افزایش سرعت آب می‌شود، باید پرهیز شود.

طراحی پل‌هایی که از روی مسیر راه‌آهن عبور می‌کنند براساس ضوابط استاندارد راه‌آهن مربوطه و نیز شرایط اختصاصی محلی و استانی انجام می‌شود. در این پل‌ها در صورت عبور لوکوموتیوهای بخاری احتمال خراب شدن فولاد و سطوح بتنی نزدیک‌تر از ۶ متر وجود دارد. برای حفاظت در مقابل این خرابی از ورق‌های چدنی و آلیاژهای گالوانیزه ضد خوردگی و آزبست استفاده می‌شود.

۸-۶-۳- انواع پل‌ها

آنچه در کلیه پل‌ها ثابت است قسمت فوقانی پل (عرض پل) می‌باشد که شامل قسمت سواره‌رو و پیاده‌رو جاده است. عرض پل به تعداد باندهای مورد نظر و پیاده‌روها وابسته است. عرض پل‌های راه‌آهن نیز وابسته به خطوط راه‌آهن بوده و چون در ایران عموماً راه‌آهن یک خطه می‌باشد، عرض پل‌های راه‌آهن مربوط به یک خط بوده و اندازه‌ی آن ۴/۸ متر است. برای عبور کارکنان راه‌آهن، یک یا دو پیاده‌رو به عرض ۰/۵ متر نیز در نظر گرفته می‌شود. در پل‌های راه شوسه، قسمت عرشه بدون درز انقطاع طولی اجرا می‌شود در صورتی که پل‌های راه‌آهن به عکس پل‌های راه شوسه دارای درز انقطاع هستند.

قسمت متغیر پل‌ها عرشه است که به‌صورت‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- **پل‌های صفحه‌ای:** در این پل‌ها عرشه به‌عنوان منتقل‌کننده بار به پایه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- **پل‌های باتیر حمال:** بار به وسیله‌ی تیر حمال به پایه‌های پل منتقل می‌شود. روی تیر را به کمک بتن مسلح با قطر کم می‌پوشانند.

۳- **پل‌های طاقی:** طاق وظیفه‌ی حمل بار وارده را به عهده دارد. این پل‌ها از جنس بتن، آجر و سنگ هستند و بسیار سنگین وزن می‌باشند. در این پل‌ها در وسط سقف و به موازات محور طولی پل ممکن است ترک ایجاد شود.

۴- **پل‌های قوسی:** مقداری از بار به کمک قوس و بقیه بار به کمک کف مسلح پل حمل می‌شود. وزن این پل‌ها نسبت به پل‌های طاقی کمتر بوده و جنس آنها از بتن مسلح و یا فولاد می‌باشد.

۵ - پل‌های دروازه‌ای: مقطع عرضی این پل‌ها مانند پل‌های صفحه‌ای می‌باشد.

۶ - پل‌های تورکه‌ای و معلق: در این نوع پل‌ها بار وارده به کمک کابل‌های قطور تحمل می‌شود و شامل قسمت‌های کابل، آویز، کف پل و ستون (به عنوان پایه پل) می‌باشند.

۷ - پل‌های متحرک: این پل‌ها در روی رودخانه‌های قابل کشتیرانی برای عبور کشتی استفاده شده و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که اختلاف بین سطح آب و سقف پل، برای عبور کشتی کافی نیست.

پل‌های متحرک شامل پل‌های دوار، پل‌های بالارو، پل‌های اهرمی، پل‌های اشتراوس و پل‌های شزر می‌باشند.

۸ - ۶ - ۴ - طراحی هیدرولیکی پل‌ها

این مطالعات جزء لازم از طرح مقدماتی پل می‌باشد. هدف از طراحی هیدرولیکی، یافتن مقطعی در زیر عرشه است، که بتواند سیلاب طرح را با ضریب اطمینان خوبی عبور دهد. سیلاب طرح برای پل‌های ایران و راه‌های اصلی، ۵۰ تا ۱۰۰ ساله انتخاب می‌شود. این گزارش شامل اطلاعات محلی، آنالیز هیدرولوژیکی و آنالیز هیدرولیکی می‌باشد. برای تعیین دهانه پل از طریق تئوری در صورتی که طغیان بطور آرام انجام گردد، از فرمول‌های هیدرولیکی استفاده می‌شود. استفاده از مدل در آزمایشگاه و پیاده نمودن شرایط محلی، یکی از روش‌های تعیین دهانه مناسب پل با مقیاس معین می‌باشد. همچنین می‌توان از تجربیات مربوط به پل‌های ساخته شده در همان رودخانه، در صورت معادل بودن عرض، عمق و شکل مصالح بستر با موقعیت پل جدید، استفاده نمود.

فرمول‌های تجربی دیگری که مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل فرمول‌های Sejourne و lannusse می‌باشند. فرمول lannusse کلی‌تر بوده و به صورت زیر است:

$$L = \alpha \sqrt{V(i_i + i_m)}$$

L: دهانه پل بر حسب متر

S: بر حسب هکتار (سطح آبریز رودخانه)

α : ضریب معادل ۰/۱۵ برای مناطق جنگلی

۰/۲ برای زمین‌های کشت شده از خاک رس

۰/۲۵ برای زمین‌های غیر قابل کشت

i: شیب رودخانه در محل پل بر حسب متر بر کیلومتر

i_m: شیب متوسط رودخانه از سرچشمه تا محل پل

در راه‌هایی که عرض آنها زیاد است در پل‌های زیرگذر، تعداد دهانه‌ها افزایش می‌یابد.

در رودخانه‌هایی که امکان طغیان داشته باشند و به اصطلاح در رودخانه‌های وحشی، عرض بستر رودخانه در زیر پل حداقل برابر عرض رودخانه در بالادست و پایین دست می‌باشد. برای تعیین دهانه با توجه به نوع رودخانه دو احتمال وجود دارد:

الف - رودخانه دچار طغیان‌های شدید می‌شود: در این حالت نباید تغییری در بستر رودخانه ایجاد شود و در بالادست و پایین دست وضعیت طغیان، همان حالت قبل از پل‌سازی باقی می‌ماند.

برای عبور خار و خاشاک و حتی در مناطق سردسیر قطعات بزرگ یخ فاصله‌ای را که به عنوان هواکش موسوم است، برای پل‌ها در نظر می‌گیریم. این ارتفاع آزاد برای دهانه‌های بزرگ‌تر از ۸ متر، حداقل ۲/۵ متر و برای اهداف قایقرانی ۴/۵ متر و برای کشتیرانی با توجه به ابعاد کشتی تعیین می‌شود.

ب - در رودخانه‌هایی که طغیان به طور آرام و منظم انجام می‌شود و سطح آب به مرور بالا می‌آید؛ می‌توان دهانه پل را به میزان معینی تقلیل داد و در نتیجه تراز آب در هنگام طغیان بالاتر از حد معمول قبل از پل‌سازی خواهد بود و به این ترتیب با افزایش هواکش در این رودخانه‌ها از بروز مشکل در هنگام طغیان جلوگیری می‌شود. ولی در این پل‌ها، تراز آب در بالادست و پایین دست قدری پایین‌تر از تراز آن در زیر پل است. بنابراین اگر هواکش از حد معقول بیشتر انتخاب شود، امکان آب‌گرفتگی زمین‌های اطراف رودخانه وجود خواهد داشت.

۸ - ۶ - ۵ - چگونگی انتخاب نوع پل

برای تعیین نوع پل ابتدا ارتفاع عرشه را تعیین نموده و با توجه به این ارتفاع، از پل‌های مختلف استفاده می‌کنیم. چنانچه این ارتفاع زیاد شود از پل‌های طاقی و قوسی (در حالتی که کف روی قوس قرار می‌گیرد) و چنانچه مقدار ارتفاع کاهش یابد از پل‌های صفحه‌ای و پل‌های باتیر حمال استفاده می‌شود.

در صورتی که ارتفاع عرشه بسیار کوچک باشد، از پل‌های متحرک استفاده می‌گردد. این انتخاب با توجه به مقاومت و در نظر گرفتن هزینه نگهداری پل انجام می‌شود. البته مسائل اجرایی نباید از نظر دور نگه داشته شود. همچنین شرایط محیطی و زیبایی عوامل مؤثر دیگری در انتخاب نوع پل است. از پل‌های کم‌وزن برای پل‌سازی بر روی بسترهای سست، استفاده می‌شود.

نگهداری و حفاظت از پل‌ها باید بصورت دائم و اقتصادی باشد. عمر پل به نگهداری آن وابسته است. از عوامل مخرب پل‌ها می‌توان آب، دود، باد و یخبندان را نام برد. برای جلوگیری از نفوذ آب در اثر بارندگی از قشر عایقی مانند آسفالت استفاده می‌شود.

برای محافظت پل‌های فلزی در مقابل زنگ‌زدگی از اضافه کردن مس به فولاد استفاده می‌گردد. دو تا چهار در هزار مس، مقاومت فولاد را تا دو برابر افزایش می‌دهد. همچنین اجرای یک قشر رنگ ضدزنگ قبل از اجرای پل‌های فلزی و یک قشر دیگر بعد از سوار کردن آن، راه دیگر محافظت این نوع پل‌ها می‌باشد. قشر بتن نیز می‌تواند به عنوان محافظ فولاد به کار رود.

۸-۷- تونل‌ها

تونل‌ها جزء ابنیه فنی هستند که ساخت آنها در کشور ما به زمانی بس طولانی مربوط می‌شود. حدود ۳۰۰۰ سال پیش نیاکان ما برای دستیابی به آب زیرزمینی و رفع نیاز خود اقدام به حفر قنات‌ها که درواقع نوعی تونل می‌باشد، می‌کردند. همچنین تونل‌ها در زیر دیوار قلعه‌ها به عنوان راهی برای رد و بدل کردن پیام‌های محرمانه، استفاده می‌شد. از جمله تونل‌های معروف، تونلی است که در ۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح برای آرامگاه داریوش کبیر در نقش رستم حفر شد. امروزه برای رفع مشکلات ترافیک، از مزایای این سازه در زیرزمین استفاده می‌شود. همچنین برای کوتاه کردن مسیرها در کوهستان‌های مرتفع و پرشیب از این سازه مهم استفاده می‌گردد. عموماً حفر تونل چندین سال به طول می‌انجامد.

۸-۷-۱- عملیات مقدماتی در تونل‌سازی

مطالعات مقدماتی شامل آنالیز اقتصادی، بررسی زمین‌شناسی و تأثیر آن در تونل‌سازی است. به این ترتیب پس از تعیین محل تونل، نقشه زمین‌شناسی تهیه می‌شود.

اهمیت ویژه تونل‌ها این است که از گرانترین سازه‌های مهندسی عمران محسوب شده و عموماً هزینه‌های قطعی تونل‌ها از مسیرهای روباز به مراتب بیشتر است. بنابراین باید ساخت تونل به گونه‌ای باشد که صرفه‌جویی در مسافت و حجم ترافیک جابجا شده، هزینه‌های سنگین اجرای آن‌را جبران کند.

بررسی دقیق شرایط زمین‌شناسی از مهم‌ترین مراحل عملیات مقدماتی تونل‌سازی می‌باشد.

تونل‌ها براساس شرایط زمین‌شناسی به صورت‌های زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- تونل‌های دامنه کوه
- تونل‌های بستر کوه
- تونل‌های انحراف آب
- تونل‌های زیر برجستگی‌ها و یا تیغه‌های کوه
- تونل‌های خارج برجستگی‌ها
- تونل‌های زیر خط‌الرأس‌ها و رشته‌کوه‌ها
- تونل‌های شهری و زیر آبی

به این ترتیب ابتدا تحقیقات زمین‌شناسی بصورت کلی و قبل از برنامه‌ریزی انجام شده و سپس تحقیقات ژئوتکنیکی موازی با برنامه‌ریزی و طراحی و البته قبل از ساخت تونل انجام می‌شود. به کمک این تحقیقات اطلاعات پیشرفته‌ای درباره‌ی مقاومت فیزیکی و خصوصیات شیمیایی سنگ‌ها و وضعیت و چگونگی آنها اعم از هوازدگی، ترک خوردگی، پایداری و تراکم نسبی به دست می‌آید و در انتها تحقیقات زمین‌شناسی طی عملیات ساخت تونل باید ادامه پیدا کند. این تحقیقات برای اثبات این امر است که آیا روش حفاری به کار گرفته شده صحیح است و یا نیاز به اصلاح دارد. از عوامل عمده زمین‌شناسی که در تونل‌سازی مؤثر واقع می‌شوند شامل موقعیت و جهت لایه‌هایی است که حفاری می‌شود. هرچه سنگ‌ها سالم‌تر و یکنواخت‌تر باشند، ساخت تونل راحت‌تر است و هرچه توده‌های سنگ‌ها لایه‌بندی نباشند، برای تونل‌سازی مناسب‌تر می‌باشد.

طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌ها به صورت چین موجی شکل هستند که ناودیس قسمت کاسه‌ای موج است و تاج آن طاق‌دیس نامیده می‌شود. چنانچه تونلی باید در امتداد لایه‌ها قرار بگیرد، بهتر است که به موازات محور طاق‌دیس قرار گیرد تا بدین وسیله فشار وارده بر تونل کمتر شود. همچنین در طاق‌دیس‌ها آب تمایل به خروج از تونل را خواهد داشت و مشکلی از لحاظ تجمع آن بوجود نمی‌آید. به این ترتیب چگونگی و موقعیت لایه‌هایی که مورد حفاری قرار می‌گیرند و اثرات عوامل فیزیکی و شیمیایی و زیست محیطی، عواملی هستند که تأثیر زیادی در چگونگی عملیات تونل‌سازی دارند. مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی و توپوگرافی ناحیه، درجه حرارت، ضخامت طبقات زمین، کانی‌های موجود در سنگ، دانه‌بندی، سختی و جنس سنگ عمده مسائلی هستند که در تهیه نقشه زمین‌شناسی در نظر گرفته می‌شوند.

همچنین به دلیل اینکه آب از فاکتورهای اساسی در تعیین بارهای وارده بر تونل است، چه قبل و چه بعد از ساخت تونل، مقدار و نوع آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. زیرا

ممکن است آب‌های زیرزمینی حالت خورندگی داشته باشند و به وسائل و تجهیزات نگهداری آسیب برسانند. اهمیت این قضیه تا جایی است که به‌عنوان یک اصل در اصول مسیریابی یاد می‌شود و از ایجاد هرگونه حفره زیرزمینی در نواحی و نقاط آب‌دار حتی‌المقدور اجتناب می‌شود. شناسایی و مطالعه‌ی گازها و درجه‌ی حرارت برای ایمنی و سلامت کارگران انجام می‌گیرد و در نهایت تمام اطلاعات به‌دست آمده در پروفیل طولی زمین‌شناسی منعکس می‌شود.

در این پروفیل می‌توان موقعیت و عمق گمانه‌ها، چاه‌های اکتشافی، تونل‌ها انحرافی، اطلاعات در مورد شرایط هیدرولوژیکی زیرزمینی، چشمه‌ها و لایه‌های آبدار، چگونگی سنگ‌ها و لایه‌های موجود و گسل‌ها را بدست آورد. یک ویژگی مهم پروفیل طولی، منحنی درجه حرارت تخمین زده شده در داخل تونل است.

با داشتن تمام اطلاعات مقدماتی درباره‌ی همه‌ی شرایط محیطی مؤثر در تعیین محل تونل، موقعیت و ساختمان، ابعاد تونل و کیفیت لایه‌ای که باید حفاری شود، تعیین می‌گردد و با توجه به این آگاهی‌ها روش صحیح ساخت تونل انتخاب می‌شود.

۸- ۷- ۲- عوامل مؤثر در موقعیت تونل

انتخاب مسیر عموماً به مسائل ترافیکی و حمل و نقل ارتباط می‌یابد و مسیر مطلوب برای احداث تونل مسیرهای مستقیم است. این مسئله به‌دلیل اقتصادی‌تر شدن پروژه، قابلیت دید بهتر و همچنین سادگی اجرا و نقشه‌برداری و ایجاد تهویه بهتر می‌باشد. مسیرهای مناسب در مناطق شهری با توجه به نیازهای مردم و شبکه خیابان‌های موجود تعیین می‌شود.

تونل باید در لایه نفوذناپذیر در زیر یک پوشش به ضخامت کافی قرار داده شود. این ضخامت برای جلوگیری از هجوم آب و فرار هوای فشرده و همچنین ایجاد یک حاشیه مناسب برای اطمینان و ایجاد امنیت در هنگام ساخت، می‌باشد.

۸- ۷- ۳- تعیین مقطع عرضی تونل

مقطع تونل با توجه به نیاز ترافیکی و یا دبی آب تعیین می‌شود. در حفر تونل ابتدا یک سطح مقطع بزرگ‌تری ایجاد می‌شود و سپس با نصب وسایل نگهداری که باعث اشغال حجمی از مقطع تونل می‌شود، سطح مقطع تونل کاهش می‌یابد.

سطح مقطع تونل با توجه به عوامل زیر تعیین می‌شود:

- سطح مقطع لازم جهت تجهیزات تونل

- سطح مقطع لازم جهت نصب وسایل نگهداری

- سطح مقطع لازم جهت عبور وسایل نقلیه با در نظر گرفتن مقررات ایمنی

در تونل‌های راه‌آهن اندازه سطح مقطع به‌صورت استاندارد شده وجود دارد. اما در تونل‌های اتومبیل‌رو اندازه سطح مقطع بر مبنای تعداد باندهای جاده‌ای، بزرگترین وسیله نقلیه، حداکثر سرعت مجاز عبور و همچنین در نظر گرفتن مقررات ایمنی جاده‌های کشور محاسبه می‌شود.

انتخاب مقطع عرضی تونل به عوامل زیر وابسته است:

۱- فاصله‌ها و ابعاد تعیین‌شده از نظر حرکت وسایل نقلیه و حمل‌ونقل کالا در تونل

۲- نوع، استحکام و مقدار آب و فشارهای مربوط به خاک

۳- روش حفاری تونل

۴- مصالح و مقاومت پوشش تونل به علاوه‌ی بارهای داخلی وارد بر آن

۵- ضرورت انطباق یک مسیر یک خطه یا چند خطه در تونل

به این ترتیب از عوامل مهم در طراحی و تعیین موقعیت تونل، تعیین مقطع عرضی و فاصله آزاد مورد نیاز است. فاصله آزاد با توجه به نوع تونل به عوامل مختلفی وابسته است. به‌طور مثال فاصله آزاد در تونل‌های راه‌آهن باید حداقل ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر بزرگ‌تر از فاصله آزاد لازم برای قسمت رو باز مسیر باشد، این فاصله برای تأمین ایمنی بیشتر در نظر گرفته می‌شود.

عامل مهمی که بر روی شکل مقطع عرضی مؤثر است ساختار زمین و در واقع کیفیت مصالح است که باید در مقابل فشارهای وارده مقابله نماید. به‌طور کلی شکل مقطع عرضی با توجه به بزرگی نسبی بارهای قائم و افقی وارده انتخاب می‌شود. مصالح پوششی تونل نیز جزء عواملی است که در انتخاب مقطع عرضی باید در نظر گرفته شود. مصالحی مثل سنگ و آجر که در برابر نیروی فشاری مقاومتند به سازه‌های مرکب از قوس‌ها و دیوارهای حائل محدود می‌شوند. در مورد شکل مقطع باید به شرایط خاک محل و همچنین روش‌های ساخت توجه شود. لازم به ذکر است که تونل‌ها می‌توانند دارای اشکال مختلفی مانند تونل‌های طاقی شکل (با یک یا چند قوس)، تونل‌های با مقطع دایره‌ای و یا با مقطع مستطیل باشند.

۸- ۷- ۴- حفر تونل

حفر تونل پس از انجام مطالعات مقدماتی با توجه به نوع سنگ به دو صورت قابل اجراست. در سنگ‌های سخت از روش آتشباری به کمک مواد منفجره و در سنگ‌های نرم از

وسایل مکانیکی استفاده می‌شود. روش آتشباری از قدیمی‌ترین روش‌های احداث تونل است. به‌طور کلی روش‌های تونل‌زنی با توجه به اندازه سطح مقطع و سختی سنگ و همچنین تکنولوژی زمان تعیین می‌شود.

عوامل مؤثر در انتخاب روش حفر تونل به شرح زیر است:

- دسترسی به تجهیزات
- نیروی انسانی ماهر
- موقعیت فیزیکی
- تهیلات و تأسیسات مورد نیاز
- مقطع و اندازه تونل
- جنبه‌های زیست محیطی
- شرایط زمین از لحاظ نرمی و سختی

از عوامل محدودکننده حفر تونل توسط ماشین، مقاومت سنگ است. در اینگونه شرایط از ماشینی بنام TBM استفاده می‌شود. به‌طور کلی از مهمترین پیشرفت‌ها در زمینه حفر تونل در نیم قرن اخیر ابداع TBM با قابلیت مانور و حفر در سنگ‌های سخت و با قطرهای بالای ۱۱ متر می‌باشد.

همان‌طور که گفته شد قدیمی‌ترین روش حفر در تونل‌سازی، روش آتشباری است. از محسّنات این روش می‌توان به عدم نیاز به سرمایه‌گذاری سنگین و تجهیزات گران‌قیمت، همچنین عدم نیاز به افراد متخصص در محل انجام عملیات و قابلیت عمل انفجار در شیب‌های مختلف را نام برد. آموزش افراد متخصص در این روش راحت‌تر و سهل‌تر بوده و تعداد افراد متخصص بیشتر است.

از معایب این روش می‌توان به کم بودن سرعت عملیات برای تونل‌های با ابعاد زیاد، ایجاد امنیت جانبی برای کارگران و سمی بودن گازهای حاصل از انفجار، حمل مواد قبل از انجام انفجارهای بعدی و خطرات ناشی از حمل مواد آتش‌زای محل چال‌زنی و انبارداری اشاره کرد. جهت چال از نظر آتشباری مهم است. زیرا اگر چال به‌صورت عمود حفر شود، تأثیر مطلوبی را نخواهد داشت. ولی چنانچه این کار با زاویه انجام شود مقدار سنگ‌های خردشده در اثر آتشباری بیشتر خواهد بود و هر چه زاویه چال کمتر باشد اثر آن بیشتر است اما برای حفاری نیاز به چال‌های بیشتری خواهیم داشت. نقشه آتشباری در تونل‌های سنگی و همگن با در نظر گرفتن سختی سنگ و نوع پیش چالی تعیین می‌شود و تا زمانی که جنس سنگ و سختی آن تغییر

نکند، نقشه آتشباری نیز تغییر نخواهد کرد.

تونل‌سازی به روش‌های دیگری نیز انجام می‌شود. روش انگلیسی، اتریشی، بلژیکی و آلمانی از جمله این روش‌ها هستند که با توجه به اینکه کشور مورد نظر اولین بار از این روش استفاده کرده و یا بیشترین استفاده از روش مذکور در این کشور انجام می‌شود به نام کشور مورد نظر خوانده می‌شوند.

روش‌های دیگری مانند روش حفر تونل‌های پیشرو، حفر تونل به کمک حفاری‌های سپر، ماشین‌های حفار بازویی یا کله‌گاو^۱ و به کمک چکش‌های ضربه‌ای هیدرولیک، نیز با توجه به نوع سنگ و عوامل مؤثر در انتخاب روش، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۸- ۷- ۵- تهویه تونل

در هنگام احداث تونل و یا در زمان بهره‌برداری، انتخاب یک سیستم تهویه مناسب برای خروج گردوغبار و گازهای حاصل از عملیات، از جمله مسائل مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد. به این ترتیب سیستم تهویه باید به گونه‌ای باشد که بتواند با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی، سرویس‌دهی مناسبی برای ایجاد جریان و ایجاد فضای مناسب برای تنفس به وجود آورد.

عواملی که موجبات تهویه را در یک تونل فراهم می‌آورند شامل موارد زیر هستند:

الف - وجود شرایط برای تهویه طبیعی که با توجه به اختلاف فشار ناشی از شرایط جوی ایجاد می‌شود. اختلاف دما با توجه به گرمای ناشی از تابش خورشید در دو انتهای تونل و گرم‌تر شدن قسمتی از تونل و در نتیجه صعود هوا به سمت بالا و کم شدن فشار باعث ایجاد تهویه به‌صورت طبیعی می‌شود. به این ترتیب به کمک ایجاد چال‌ها و منفذهایی برای خروج هوا به سمت خارج، عملیات تهویه انجام می‌شود. شرایط جوی، میزان رطوبت، جهت و سرعت باد در سرعت انجام عملیات تهویه بصورت طبیعی مؤثرند.

ب - تهویه مناسب به‌واسطه اثر پیستونی با توجه به حرکت اتومبیل‌ها در داخل تونل و ایجاد اختلاف فشار ایجاد می‌شود. سرعت اتومبیل، فرم بدنه و ابعاد تونل عوامل مؤثر در این نوع از تهویه می‌باشند.

ج - تهویه مناسب با استقرار تأسیسات مکانیکی هنگامی انجام می‌شود که موارد بالا جوابگو

نباشند به این ترتیب از بادبزن‌های چاهی و سقفی عظیم استفاده می‌شود. البته باید بگونه‌ای از این روش استفاده شود که اثرات ناشی از تهویه طبیعی و استفاده از اثر پیستونی خنثی نشود. کار این سیستم بسیار پیچیده بوده و دلیل آن تغییر جهت تهویه طبیعی هنگام شروع کار بادبزن‌هاست. از عوامل مؤثر در انتخاب یک سیستم تهویه مناسب، بررسی راه‌های ایجاد جریان هوا و شناخت عواملی است که باعث ایجاد آلودگی در داخل تونل می‌شوند.

از رایج‌ترین روش‌های تهویه تونل‌ها، تهویه طولی است و هدف آن کاهش غلظت گازهای سمی تا حد مجاز و جلوگیری از تراکم گردوغبار است. این سیستم نسبت به سیستم‌های دیگر اقتصادی‌تر است. این سیستم با استفاده از بادبزن‌های پره‌ای که در سقف تونل نصب می‌شود، کار می‌کند.

در تونل‌های طویل می‌توان با قسمت‌بندی تونل به بخش‌های مختلف و قرار دادن چاه‌های تهویه عمودی و یا افقی، تهویه مناسبی را بوجود آورد.

باید توجه داشت که ایجاد تونل‌ها در مناطق شهری ممکن است مشکلاتی را برای کسانی که در نزدیکی دهانه‌های تونل‌ها زندگی می‌کنند، به وجود آورد. یکی از روش‌های حل این مسأله خارج کردن هوای آلوده، به کمک دودکش می‌باشد. برای مطالعه جریان هوا در این روش از مدل آبی کمک گرفته می‌شود. به این ترتیب که جریان هوا را می‌توان بوسیله‌ای اندازه‌گیری سرعت‌ها و خطوط هم حجم، محاسبه کرده و کیفیت اختلاط و پخش شدن آلودگی را به وسیله‌ی رنگ مورد مطالعه قرار داد.

۸-۷-۶- نگهداری تونل

نگهداری تونل از قسمت‌های پرهزینه در عملیات تونل‌سازی می‌باشد و گاهی هزینه نگهداری به بیش از نیمی از کل هزینه حفاری می‌رسد. بدیهی است که با توجه به نوع سنگ و شکل زمین‌شناسی هزینه نگهداری تونل تغییر می‌کند. نگهداری تونل در هنگامی که جدار تونل میل به ریزش دارد، الزامی است. نگهداری به دو صورت موقت و نهایی انجام می‌شود.

در تونل‌های با مقطع کوچک و در تونل‌هایی که در چند مرحله حفاری می‌شوند، نگهداری موقت انجام می‌شود. نگهداری به شکل‌های مختلفی صورت می‌گیرد. نگهداری به کمک چوب که عموماً در تونل‌های با مقطع کوچک و به صورت دوزنقه‌ای انجام می‌شود این نگهداری از نوع موقت است.

برای محافظت تونل‌های راه‌آهن و آبرسانی یا فاضلاب، از آجر استفاده می‌شود. البته این

روش امروزه کمتر بکار می‌رود.

نگهداری به کمک بتن از روش‌های بسیار مقاوم و کم‌هزینه است که بیش از $\frac{3}{4}$ تونل‌ها در

جهان به کمک این روش محافظت می‌شوند این کار به سه شکل معمول انجام می‌شود:

۱- بتن آرمه

۲- بلوک بتنی

۳- بتن پاشی (تروکرت)

بتن پاشی به دیواره‌ی تونل صورت می‌گیرد و برای نگهداری موقت استفاده می‌شود، البته

گاهی برای نگهداری دائم و به کمک مفتول‌های فولادی که به صورت شبکه به جدار تونل متصل‌اند

نیز از بتن پاشی استفاده می‌شود. نگهداری فلزی برای نگهداری سقف و جدار تونل و نگهداری

سنگی در صورت کم بودن اجرت کارگرها نیز دو روش برای محافظت از تونل‌ها می‌باشند.