مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن

ابنیه فنی و حفاظتی راه‌آهن

تألیف:

مهندس جمال شمسی – مهندس حسین طالبی

مرکز تحقیقات و آموزش راه آهن جمهوری اسلامی ایران

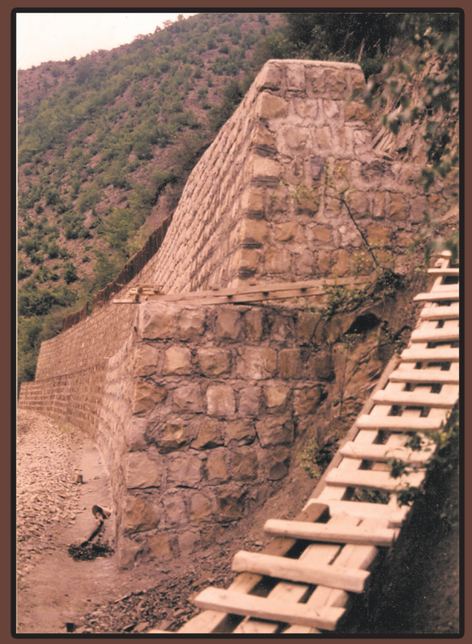
زمستان ۱۳۹۰

ابنیه فنی و حفاظتی راه‌آهن

مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن

The Iranian Railways
Research and Training Center

TECHNICAL AND PROTECTIVE STRUCTURES OF RAILWAYS



JAMAL SHAMSI – HOSSEIN TALEBI

RESEARCH AND TRAINING CENTER OF REPUBLIC

OF IRAN RAILWAYS

2012

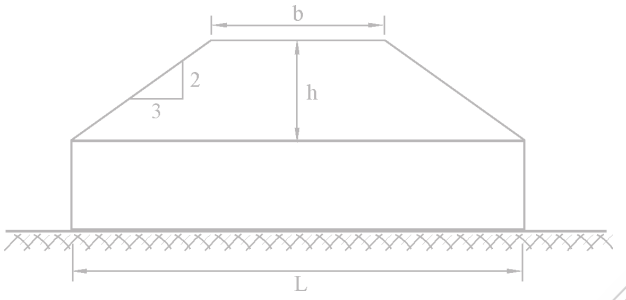
ابنیه فنی و حفاظتی

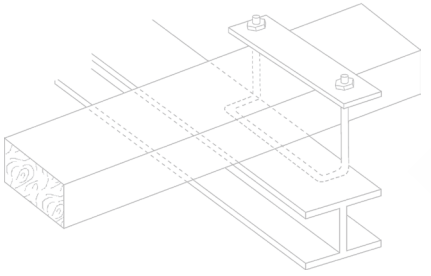
تعریف ابنیه فنی حفاظتی :

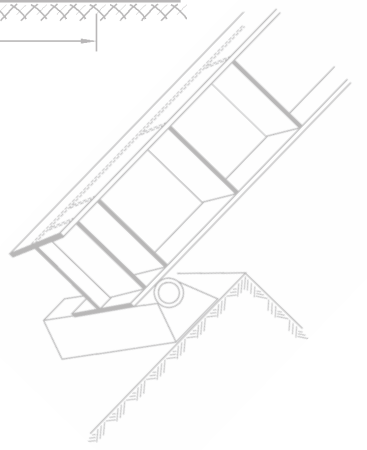
کلیه ســاختمانهایی را که به منظور حفاظت و حراســت خاکریز و خاکبرداری (جسم زیر سازی) ساخته می شود، را ابنیه فنی و حفاظتی نامیده می شوند .

فصل اول

آشنایی با پل های راه آهن







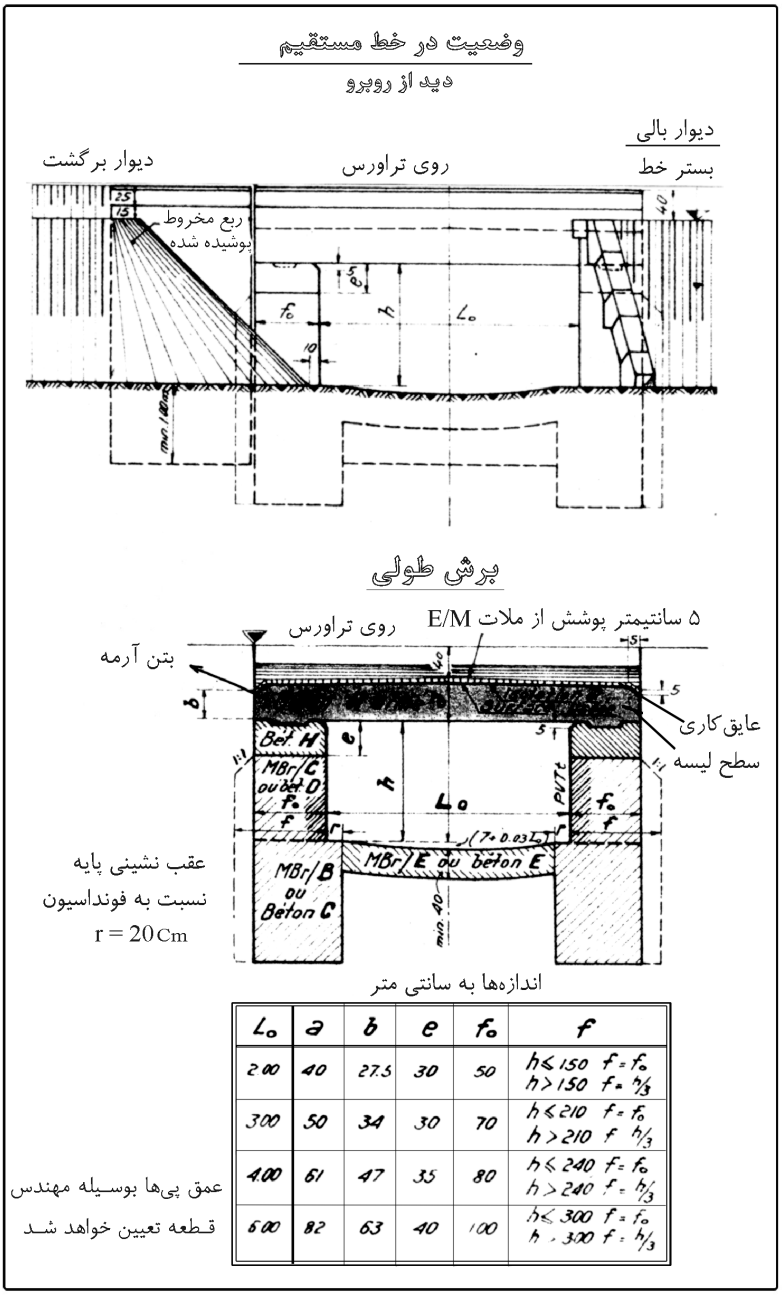
از زمانهای خیلی دور انسان طریقه‌ی عبور از عرض رودخانه ها را با استفاده از پل تجربه کرده است . بکار بردن تیرهای چوبی روی رودخانه ابتدایی ترین پل را به وجود آورد، تا عصر حاضر که طرح وصل جزیره های واقع در دریا را به وسیله‌ی پل انجام و اجرا می نمایند. پیشرفت به وجود آمده در امر پل سازی معلول گسترش راههای ارتباطی و صنعتی شدن جامعه می باشد و در این مورد استفاده از علوم و فنون نوین و شناخت کامل اجزای پل و خواص مواد بکار رفته در ساخت پل ها الزام بیشتری پیدا می‌کند . هر پل از اجزای زیر تشکیل یافته است :

پی – که در روی زمین طبیعی قرار می‌گیرد و به خاطر داشتن سطح بزرگ ، فشاری را به زمین و خاک وارد می‌کند که قابلیت تحمل آن را داشته باشد. پی ها معمولاً از بتن و در بعضی موارد از بتن مسلح (ارمه) ساخته می شوند. پی‌های نواری رادیه ژنرال و شمعی از انواع شناخته شده ی آن می باشند.

پایه – که آن را کوله نیز می‌گویند، نیروهای قائم وارد شده از ترافیک ، نیروی افقی رانش خاک و نیروی ترمز و حرکت « تراکشن» را تحمل می‌کند. پایه معمولاً از بتن و یا سنگ با مصالح بنائی بنا می شود. گاهی در پل های فلزی به خاطر رسیدن به ظرافت و افزایش فضای عبور آب پایه ها نیز فلزی انتخاب می شوند؛ مثل پل سیاه کارون در خط اهواز – بندر امام.

تابلیه – که عضو اصلی تحمل کننده‌ی بار وارده از ترافیک و پر کننده فضای خط‌القعر مسیر می باشد از بتن مسلح و یا صفحات پروفیل های فلزی و یا ترکیبی از فلز و بتن و یا به صورت سنگی احداث می‌گردد و یکی از حساس ترین اجزای پل در رابطه با تحمل نیروهای وارده می باشد. انتخاب شکل تابلیه که خرپایی یا قوسی یا تخت باشد، بستگی به دهانه‌ی پل و فضای مورد نیاز برای پی پل و نیروهای وارده بر آن دارد، اخیراً در پل ها برای تابلیه از بتن پیش تنیده استفاده می شود که از پل های بتن آرمه ظریف‌تر و مقاوم تر هستند و سه عضو فوق الذکر به عنوان عضو اصلی و باربر پل تلقی می‌گردند که پی و پایه عضو تحمل کننده ی تنش فشاری و تابلیه تحمل کننده‌ی تنش خمشی می باشد.

قرنیز – معمولاً از سنگ یا بلوک های بتنی ساخته می شود و برای جلوگیری از پخش شدن بالاست در کنار تابلیه استفاده می‌گردد. قرنیز به موازات ریل کار گذاشته می شود و به پل زیبایی می دهد.



L_o	a	b	e	f_o	f
2.00	40	27.5	30	50	$h \leq 150$ $f = f_o$ $h > 150$ $f = h/3$
3.00	50	34	30	70	$h \leq 210$ $f = f_o$ $h > 210$ $f = h/3$
4.00	61	47	35	80	$h \leq 240$ $f = f_o$ $h > 240$ $f = h/3$
6.00	82	63	40	100	$h \leq 300$ $f = f_o$ $h > 300$ $f = h/3$

شکل(۱-۱): نمای یک پل یک دهانه

نرده – نرده‌ها برای پل‌های بیش از سی متر طول و دارای ارتفاع قابل ملاحظه از خط القعر بکار می روند. نرده، برای جلوگیری از سقوط عابر روی پل منظور می شود و از نظر تحمل نیرو نقشی ندارد ولی به ظاهر پل زیبایی خاصی می‌بخشد؛ البته خود نرده در مقابل نیروی افقی وارد از سمت عابر و بر اساس آئین نامه محاسبه می‌گردد.

رادیه – یا کف پل برای جلوگیری از شسته شدن پی‌ها ساخته می شود و پی ها را به هم اتصال می‌دهد. بتن بکار رفته در رادیه بنابراصل توجیه اقتصادی، با عیار کم ساخته می شود.

بیرید – برای جلوگیری از شسته شدن رادیه در ابتدا و انتهای آن منظور می‌گردد. ببرید مانع از این می شود که آبهای جاری به زیر رادیه نفوذ نماید. گاهی بیرید انتهایی به شکل سهمی درجه (۲) انتخاب می‌گردد که آب به طور مماس بر آن حرکت می نماید و مانع از شسته شدن مسیل در مسیر خروجی پل می‌گردد. به این ترتیب از ریزش آبشارگونه که تخریب بستر را سبب می شود جلوگیری بعمل می آید و حرکت آب بر روی بیرید منحنی شکل بطور لغزان صورت می گیرد. نمونه ی این نوع ببرید در پل « کردان» واقع در خط کرج – قزوین ساخته شده است .

دیوارهای طرفین پل – برای جلوگیری از شسته شدن خاکریز و نیز جمع آوری و هدایت آب به کار می رود که به سه صورت سنگی ، بتنی ، و یا بتن مسلح احداث شده و به چهار نوع زیر تقسیم می‌گردد:

الف) دیوار برگشتی– که به طور موازی با محور خط و عمود بر پایه ها ساخته می شود و برای پل های کوچک با خاکریز بلند مورد استفاده دارد .

ب) دیوار بالی– که با زاویه‌ای حاده نسبت به پایه ها ساخته می شود و در مواردی که آب مسیر خود را بدون کمک دیوار می تواند طی کند، جلوی خاکریز را می گیرد و زاویه ی آن معمولاً با نسبت یک به چهار مشخص می‌گردد.

ج) دیوار ربع مخروطی– برای مواردی بکار می رود که ارتفاع پایه‌ها زیاد باشد. این دیوار از شسته شدن خاکریز جلوگیری می نماید و ارتفاع آن تابع حداکثر ارتفاع طغیان آب می باشد.

د) دیوار هدایت آب– که از فاصله ی دور آب را جمع کرده و به دهانه‌ی پل هدایت می نماید. این دیوار در مواردی بکار می رود که حوزه‌ی آبگیر تقریباً مسطح بوده و فاقد خط القعر باشد. در مواقع بارندگی شدید ممکن است آب به طرف خاکریز حرکت کرده و به آن آسیب برساند که با احداث دیوار فوق از این عمل جلوگیری می گردد.

نکتـــه مهم: این دیوارها باید به طـــور جداگانه عمل نمایند، بدین منظور حتماً باید بین این دیوار و دیوار کوله ژوئن (درز انقطاع) وجود داشته باشد.

پل ها از لحاظ موارد استفاده به سه نوع کلی زیر تقسیم می شوند:

● **پل های رودخانه ای**- که بر روی رودخانه احداث می گردند و بسته به عرض رودخانه و میزان آب آن دهانه‌ی پل تعیین می گردد. در این خصوص از آمار سطح آب وزارت نیرو کمک گرفته می شود.

● **پل های آبرو**- که در خط‌القعر زمین اطراف مسیر ساخته می شوند و آب بارندگی از زیر آنها عبور می کند. دهانه‌ی این پل ها متناسب با مساحتی که بنا به شیب زمین متمایل به سمت پل است، تعیین می گردد. میزان بارندگی نیز در تعیین ابعاد این نوع پل ها موثر می باشـــد . با در نظر گرفتن دو عامل فوق می توان میزان دبی (مقدار آب عبوری از دهانه را در واحد زمان دبی می گویند) را تخمین زد و دهانه را طوری پیـــش بینـــی کرد که حداکثر بارندگی را از آن عبور داد، در غیر این صورت آب از روی خط، عبور نموده و علاوه بر مشکل نمودن عبور و مرور، به خط آسیب رسانده و باعث شسته شدن خاکریز یا حداقل نشست آن خواهد شـــد. در تعیین ســـطح آبگیری از نقشـــه های رقوم دار که علاوه بر طول و عرض، ارتفاع را نیز نشان می دهد، کمک گرفته می شود. از روی این نقشه ها میزان سطح مذکور تعیین و دهانه‌ی آبرو برای بحرانی‌ترین بارندگی منظور می شود.

تعیین میزان بارندگی با اســـتفاده از آمار ســـالهای گذشته و با همکاری اداره‌ی هوا شناسی منطقه صورت می‌گیرد.

برای عبور آب های کشـــاورزی از یک سمت مســـیر به سمت دیگر نیز از این نوع پل ها استفاده می شود. شـــرایط احداث پل های جدید را اداره کل خط و ســـازه های فنی مشـــخص می نماید که با عقد قرارداد با پیمانکار نسبت به ساخت آن اقدام می گردد.

● **پـــل هـــای دره ای (ویـــادوک)** – که معمولاً طول و ارتفاع زیادی دارند برای پوشـــاندن دره و خنثی نمودن اثر اختلاف ارتفاع بکار گرفته می شـــوند. پل قطور واقع در خط شـــرفخانه – رازی در ناحیه ی راه آهن آذربایجان و پل ورســـک در ناحیه ی راه آهن شـــمال از این نوع پل ها می باشـــند. شـــکل (۱-۲) نشـــان دهنده‌ی نمونه ای از پل دره ای است.

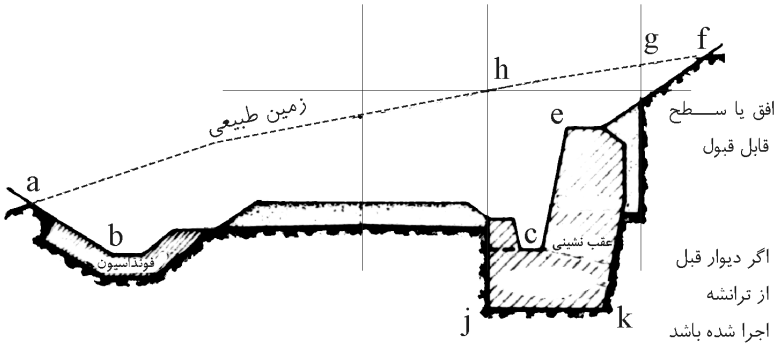
پل‌های دره‌ای عموماً از نوع طاقی انتخاب می شـــوند چرا که تابلیه های طاقی شـــکل در دهانه های بزرگ به خاطر بوجود آمدن نیروی محوری که در تمام نقاط آن هستند ظریف تر از سایر انواع آن در می آیند . در تابلیه های مسطح نیروی محوری وجود ندارد ، لذا گشتاور خمشی حداکثر مقدار خود را دارد و جهت مقابله با آن لازم اســـت ســـطح مقطع از ممان اینرسی بالایی برخوردار باشد که این امر خود باعث افزایش وزن و ابعاد تابلیه می گردد.

۱- دیوار قبل از ترانشه اجرا شده است

حفاریها - hikgb - حفاری برای پایین‌دست چال یا کانال
خاکبرداری - سایر حفاریها

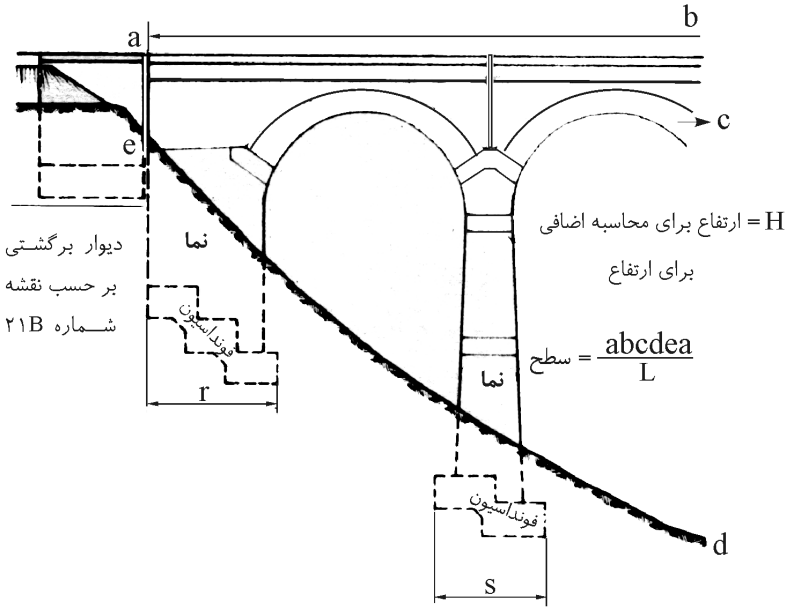
۲- دیوار بعد از ترانشه اجرا شده است

حفاریها - حفاری زیر abcef
خاکبرداری - حفاری بالای abcef



پل‌های رودخانه‌ای و پل‌ها - بنائی

L = طول برای محاسبه اضافی طول



جای شکل (۱-۲): پل دره ای

پل ها از لحاظ ظاهر و نوع ساخت به انواع زیر تقسیم می‌گردند:

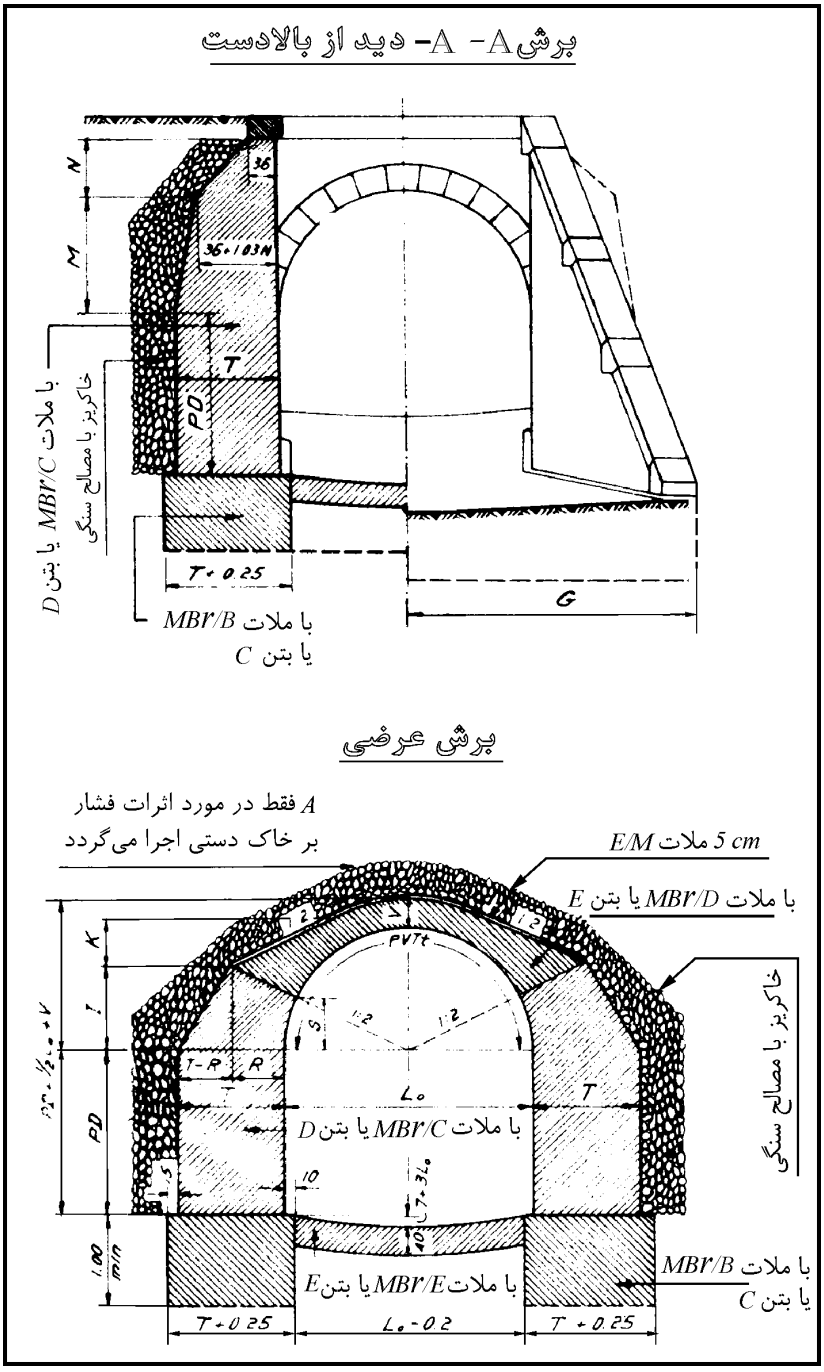
● **پل فربتن :** که پایه های آن سنگی یا بتنی بوده و تابلیه ی آن بتن آرمه می باشد که به دو صورت زیر خاکی و بدون خاکریز احداث می شود. در نوع اول خاکریز روی تابلیه قرار می گیرد، ولی در نوع دوم روی تابلیه ی بالاست و تراورس و ریل گذاشته می شود، دهانه‌ی آن از یک متر تا هشت متر می باشد و با استفاده از نقشه ی تیپ موجود اجرا می‌گردند. نقشه های مذکور، میزان آرماتور، نوع آنها، سطح کفراژبندی (قالب بندی) و حجم بتن را نیز مشخص می کند.

چنانچه بجای آرماتور از ریل استفاده گردد پل مزبور را ریل بتن می‌گویند.

● **پل طاقی ایستاده یک دهانه (A.V)** : این نوع پل از سنگ و مصالح بنایی یا بتن ساخته می شود و دارای تابلیه ی طاقی یک دهانه است و اکثراً برای عبور آبهای بارندگی بکار می رود. روی این پل خاکریز قرار دارد و دهانه‌ی آن از یک تا شش متر انتخاب گردیده است و دارای نقشه ی تیپ با کلیه‌ی مشخصات اجرایی جهت سهولت در احداث می باشد.

لازم به یاد آوری است که به سبب وجود خاکریز در روی این نوع پل ها ضربات وارده از حرکت قطار به پل کاهش یافته و در نتیجه می توان ابعاد آن را ظریفتر انتخاب نمود . همچنین برای جلوگیری از ضربات مستقیم وارده به طاق پل، روی آن را حدود ۳۰ سانتی متر بلوکاژ می نمایند.

● **پل طاقی خوابیده یک دهانه (A.V.S)؛** این پل از سنگ و مصالح بنایی یا بتن ساخته می شود و دارای تابلیه ی یک دهانه است و اکثراً در مکانهایی که ارتفاع بین خط پروژه و خط القعر کم می باشد و امکان ساختن پایه های بلند برای پل نمی باشد، ساخته می شود؛ با این کار می‌توان از فضای بیشتری برای عبور آب استفاده نمود. ضمناً ابعاد این نوع پل ها معمولاً از نوع طاقی مشابه آن کمتر است و معمولاً شبیه منحنی لنگر خمشی پل می باشد. در این پل ها نیروهای وارده به تابلیه مستقیماً به فوندانسیون وارد می شود (در بعضی از جاها ارتفاع پایه بسیار کم است) .



شکل (۱-۳): پل طاقی یک دهانه

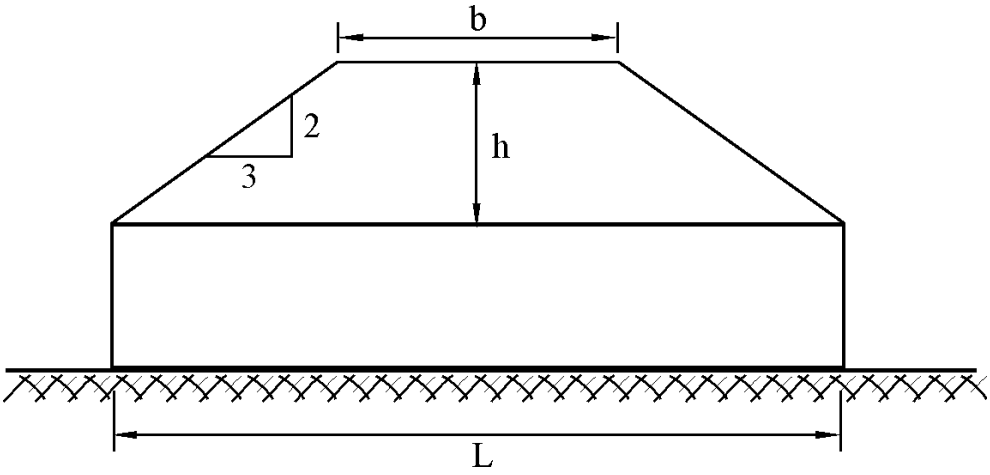
شکل (۱-۴): پل طاقی یک دهانه

● **پل طاقی چند دهانه‌ی خوابیده (P.V.S)** : این نوع پل طاقی نظیر طاقی خوابیده یک دهانه است، منتها با دهانه های متعدد و متصل به هم. این پل ها معمولاً بر روی رودخانه هایی که بستر آنها وسیع، ولی ارتفاع آن کم می باشد، ساخته می شود .

شکل (۱-۵): پل طاقی خوابیده‌ی چند دهانه

● **دالو :** نظیر فربتن بوده ، دارای دال بتن آرمه می باشد و روی آن خاکریز وجود دارد . دهانه‌ی این پل از هشـــتاد ســـانتی متر تا دو متر می باشد . اکثراً برای عبور آبهای بارندگی و آب مزارع طرفین خط بکار می رود. باید توجه داشـــت بخاطر وجود خاکریز روی این پل، عرض آن بیشـــتر از عرض پلاتفورم عرض نهایی خاکریز بوده و به علت شیب ۲:۳ خاکریز راه‌آهن عرض آن از فرمول زیر حساب می شود :

$L=3h+b$



شکل (۱-۵ الف)

که در آن : L عرض پل

h : ارتفاع خاکریز روی پل

b : عرض پلاتفورم خط می باشند (عرض نهایی خاکریز)

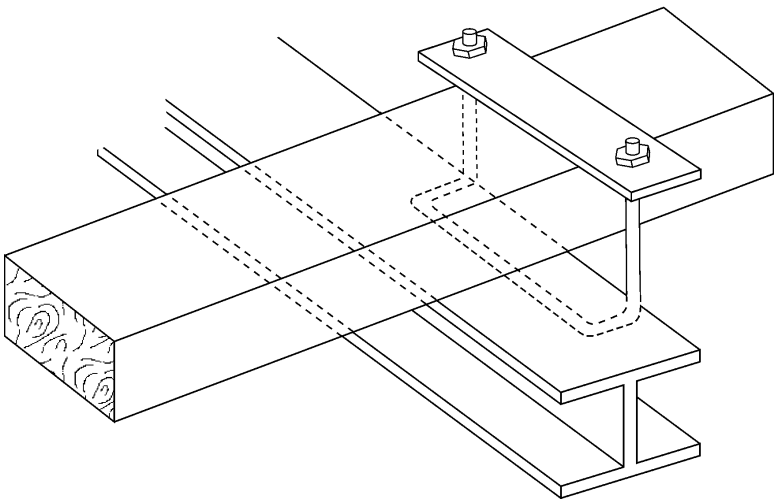
مثال (۱) – مطلوب است محاسبه ی عرض دالویی که خاکریزی به ارتفاع پنج متر روی آن بوده و عرض پلاتفورم چهار متر باشد .

$L=3h+b$ $L=3\times5+4=19m$

تبصره: رعایت عرض محاسبه شده حائز اهمیت است؛ چنانچه افزایش یا کاهشی در آن بوجود آید باعث ایجاد مشـــکلات برای اســـتقرار خط می شود، مخصوصاً در صورت کم محاسبه کردن آن که باعث مسدود شدن دهانه می‌گردد.

● **طاقی چند دهانه (P.V)**: این پل نظیر پل طاقی یک دهانه بوده، منتها با دهانه های متعدد و متصل به هم که اکثراً بر روی رودخانه زده شـــده و عموماً از ســـنگ و مصالح بنایی یا بتن ساخته می شود. در این نـــوع پـــل ها معمولاً یک یا دو پایه را در فواصل بخصوصی قوی‌تـــر از بقیه انتخاب می کنند تا پل در برابر زلزله مقاوم باشد.

● **پل شاسی فلزی (P.M)** : این نوع پل از دو تیرآهن بال پهن که به عنوان تابلیه بکار می روند، تشکیل شده است. تیر آهن ها به وسیله‌ی ناودان هایی به طول ۱/۸ متر بهم وصل می‌گردند و به وسیله‌ی نبشی، بادبندی می شـــوند. در محل تکیه گاهها بر روی پایه بتن یا ســـنگی روی زیرسری های فلزی تکیه کرده و فاصله‌ی قائم بین شاسی و زیرسری به وسیله‌ی سرب پر می شود که در پخش نیروهای عکس العمل تاثیر عمده ای دارد . تراورس ها مستقیماً روی شاسی به وسیله‌ی خاموتهای مخصوص U شکل(شکل ۱-۵ ب) بســـته می شـــوند. ابعاد تراورس برای این پل ها ۲/۶×۰/۲۵×۰/۲۵ متر می باشـــد که نسبت به تراورسهای روی بالاست قوی تر می باشد. فاصله‌ی تراورس ها از هم کنار به کنار ۲۵ سانتی متر و مرکز به مرکز ۵۰ سانتی متر است که نسبت به سایر نقاط خط فاصله‌ی کمتری را دارا می باشد و در دهانه های سه متر تا دوازده متر از پروفیلهای بال پهن استفاده می شود. از لحاظ ایستایی انتخاب فاصله‌ی محور به محور ۱۸۰ سانتی متر برای تیرهای بال پهن اهمیت فوق العاده‌ای دارد و مانع از بلند شدن شاسی پل از تکیه گاه آن می‌گردد. بدین ترتیب محل صفحه زیرسری در روی پایه استحکام بیشتری از خود نشان می دهد.



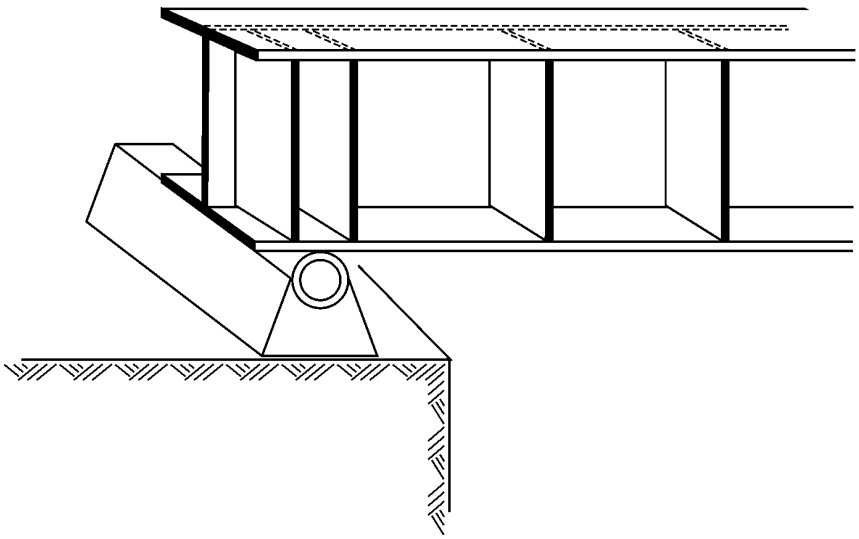
شکل (۱-۵ ب)

تبصـــره (۱) : در پـــل‌های فلزی با دهانه‌ی بزرگ به جای ســـرب در روی زیرســـری از تئوپرن اســـتفاده می‌گردد که جســـمی الاســـتیک بوده که ضمن پخش بار در مقابل حرکت طولی پل در ارتباط با افزایش و کاهش درجه حرارت و نیز خیز پل که زاویه‌ای را در تکیه گاه ایجاد می نماید، عکس العمل جالبی از خود نشان می دهد. محاسبه‌ی ضخامت این صفحات نیز از اهمیت خاصی برخوردار است .

تبصره (۲) وجود ناودانی در پل های فلزی برای تحمل نیروی عرضی که از جانب چرخ به ریل وارد می گردد (NOSING FORCE) می باشد و نبشی ها، نیروهای عرضی وارده از باد و زلزله را تحمل می‌کنند.

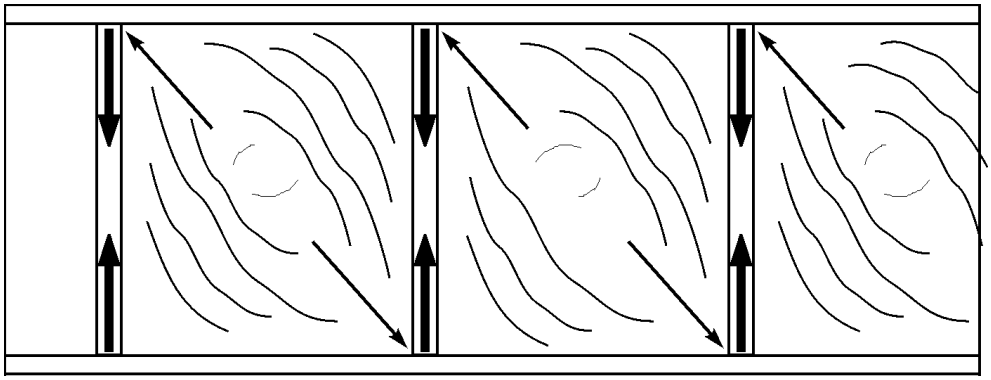
پـــل هـــای فلزی با دهانه‌ی بیش از دوازده متـــر را به خاطر محدودیت در تولیـــد پروفیل های بال پهن از تیرهای ورقی (تیر مرکب) می ســـازند که نمونه‌ی آن پل فلزی رود شـــور واقع در کیلومتر ۵۰۰+۵۲ خط تهران – قم می باشـــد. این نوع پل‌ها که از آهن ورق به ضخامت های مختلف که به هم جوش داده شده‌اند، ساخته می شوند، معمولاً به خاطر اقتصادی بودن صفحه ی جان آن از ورق نازک انتخاب می شود که مقطع ارتفاع بلندی دارد و به وســـیله‌ی صفحاتی قائم، جان تیر اصلی تقویت می‌گردد. این صفحات را اســـتیفنر (STIFFNER) می گویند که برای جلوگیری از کمانش جان تیر بکار می رود، شکل (۱-۶) نشان دهنده‌ی تیر مرکب می باشد.

مشـــهورترین این پل ها بر روی رودخانه دز در محل پل تله زنگ قدیم ســـاخته و نصب شده است. مشکل اصلی این نوع پل ها (پل های تیر ورقی) وزن بیش از اندازه ی آنهاست.



شکل(۱-۶): تیر مرکب

این نوع پل ها علاوه بر اقتصادی بودن، از نظر پایداری نیز قابل تعمق می باشـــند، بدین ترتیب که هر گاه میزان تنش ها به حد بحرانی برسد، تیر ورقی از بین نخواهد رفت، چرا که در این حالت بال ها تمام لنگر خمشـــی را تحمل می نمایند و جان کمانه شـــده مثل یک عضو قطری، کششـــی و استیفنرها نظیر عضو فشاری، عمودی عمل خواهند نمود. این عمل باعث خواهد شد که تیر ورقی به صورت خرپا رفتار نماید. پدیده‌ی فوق به نام میدان کششی قطری (TENSION FIELD) موسوم است ، شکل (۱-۷).



شکل (۱-۷): تیر مرکب در حالت بحرانی

در پل های فلزی هر چه دهانه بزرگتر شود گشتاور خمشی افزایش پیدا می‌کند. زیرا گشتاور با توان دوم دهانه متناســـب اســـت . تنش های به وجود آمده در مقطع تیر نسبت مستقیم با گشتاور و نسبت معکوس با ممان اینرسی (گشتاور ماند) دارد ، یعنی هر چه گشتاور ماند زیادتر شود، تنش کمتر می شود. مطابق تعریف گشتاور ماند از رابطه‌ی زیر نتیجه می شود:

$I=Ar^2$

یعنی ممان اینرسی برابر مجموع حاصل ضرب سطح های تشکیل دهنده‌ی مقطع در توان دوم فاصله آنها از محور خنثی می باشـــد و لذا هر چه ممکن مقطع را بلندتر انتخاب می نمایند تا گشـــتاور ماند زیاد شده و تنش تا حد تنش مجاز فولاد تقلیل پیدا نماید، ولی از طرفی هر چه مقطع بلندتر می شـــود، صرف نظر از مشکلات اجرایی و غیره ... اثر نیروی باد به صورت نیرویی فرعی افزایش پیدا می نماید، مثلاً برای پلی به طول ۲۰۰ متر و ارتفاع ۲/۵ متر که دارای ۵۰۰ متر مربع سطح بادخور است، نیروی باد از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$P=500\times250=125000Kg=125_t$

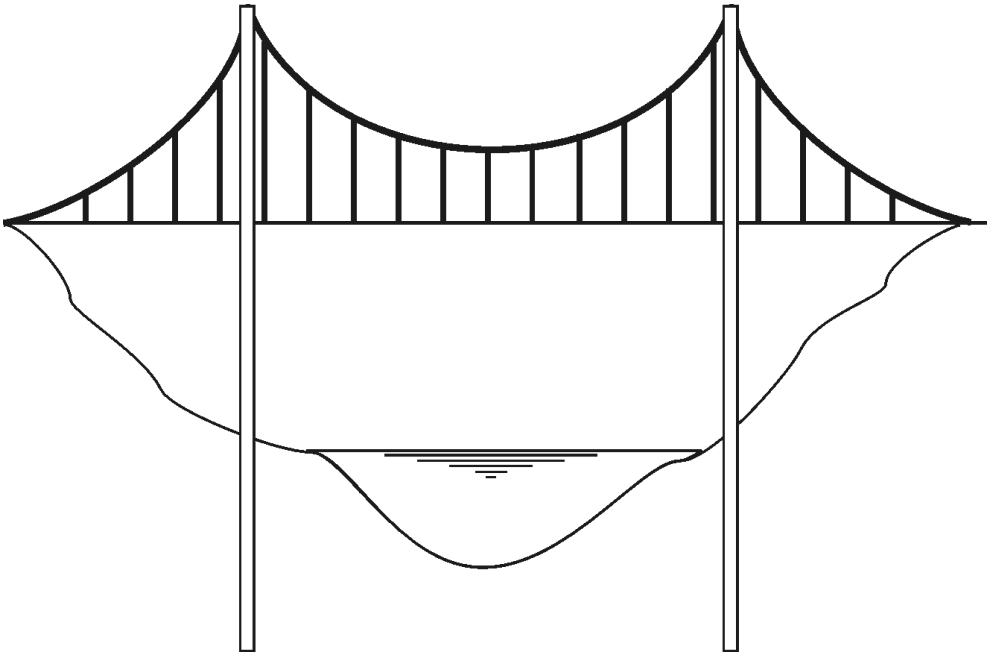
یعنی نیروی جانبی وارده ۱۲۵ تن می‌باشد که به نوبه‌ی خود قابل ملاحظه بوده و مشکلاتی را در خصوص اســتقرار پل ایجاد می‌کند ، لذا ترجیح داده می‌شــود که پل‌ها در دهانه‌های بالا خرپایی ساخته شوند تا ضمن تأمین ممان اینرســی لازم، ســطح بادخور و همچنین وزن کمتر و راحتی بیشتر، به هنگام نصب را دارا باشند. پل‌های اخیر به نام «پل با تیر مشبک» نیز معروف هستند.

● **پل های خرپایی:** چنانچه ذکر گردید در مواقعی که دهانه‌ی پل بزرگ باشد از خرپا استفاده می‌شود، به این ترتیب که در طرفین شاسی‌های طولی، خرپا را برقرار می‌سازد؛ پل آید و غموش میانه و پل تجن ساری از این نوع می‌باشند.

شــکل (۱-۸) پل خرپایی با اجزای تشــکیل دهنده‌ی آن را نشــان می‌دهد، بدیهی است ادوات روسازی شامل: تراورس، ریل و غیره مستقیماً و بدون بالاست روی تیرچه‌ی طولی بسته می‌شوند . چنانچه ارتفاع خرپا زیادتر از فضای گاباری راه‌آهن باشد، بالای آنها بهم وصل شده و بادبندی می‌گردند که این عمل از نظر یکپارچه بودن پل حائز اهمیت است و از کمانش جانبی خرپاهای طرفین جلوگیری نموده و پایداری آن را تامین و ظرفیت باربری را تا حد تنش‌های مجاز افزایش می‌دهد.

شکل (۱-۸): پل خرپایی

● **پل‌های معلق :** در این نوع پل ها تابلیه از کابلی آویخته شـــده اســـت که طرفین کابل پس از عبور از روی پایه های فلزی در نقطه ای محکم شده است . این نوع پل‌ها عموماً فلزی می باشند، چرا که نیروهای وارده به تابلیه نهایتاً به صورت کششی به کابل ها وارد می‌گردد. علی هذا با توجه به مقاومت بالای کابل، این پل ها از سایر انواع مشابه اقتصادی تر می‌باشند. لازم به یادآوری است که در طول خط راه آهن ایران از پل های معلق استفاده نشده است، زیرا ارتعاشات ناشی از حرکت و سر و صدای قطار به حدی است که میزان تغییر تکان ایجاد شـــده در جهات مختلف از حد مجاز بیشـــتر می‌شود؛ ضمن اینکه تکنیک احداث پل معلق در زمان احداث راه آهن سرتاسری هنوز جایگاه خود را پیدا نکرده بود.
امروزه از این نوع پل ها در بعضی کشورها برای راه آهن استفاده شده است .



شکل (۱-۹): پل معلق

● **بوز:** عبارت اســـت از لوله های بتنی مســـلح که جهت عبور آب های بارندگی و یا آبیاری مزارع طرفین در زیر خط کار گذاشـــته می شـــوند. قطر داخلی بوز یک متر، قطر خارجی آنها ۱/۳ متر و طول شـــان

۰/۹۳متر می باشد. در حال حاضر بوز در کارخانجات تراورس بتنی کرج تهیه می‌گردد. جهت جلوگیری از تمرکز نیروهای وارده معمولاً حداقل ۰/۵ متر خاک روی بوزها پیش بینی می‌گردد تا نیروهای وارده از سوی قطار به صورت گسترده، توزیع و از خرد شدن بتن جلوگیری شود.

● **S.B.C**: نوع دیگری از پل های راه آهن اســت که اخیراً در محور بافق – بندر عباس احداث شده است که تابلیه‌ی آن خرپایی و باکسها و پایه‌ی آن، بتنی می باشد .

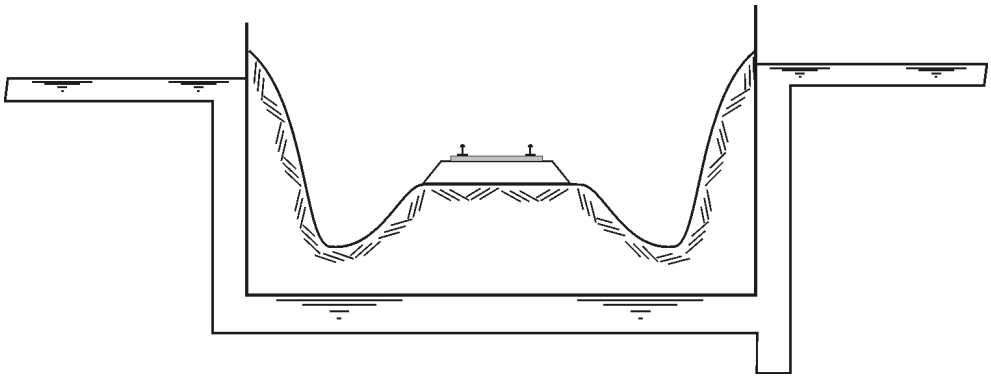
● **ســیفون** – چنانچه مسیر عبور آب در ســطحی پایین تر از خط قرار گیرد به وسیله‌ی آبرو، بوز و غیره عبور داده می شــود . اگر مســیر عبور آب در حدی بالاتر از فضای گاباری از روی خط عبور نماید، در آن صورت از پل هوایی اســتفاده می شــود. در صورتی که ارتفاع عبور پایین تر از حد گاباری باشــد ناچاراً از سیفون استفاده می شود.

ســیفون ها مقطع مربع ـ مســتطیلی داشته و از نوع بتن آرمه هستند . عبور و جریان آب از داخل سیفون متکی به قانون ظروف مرتبطه میسر می‌گردد، ولی به خاطر وجود اصطکاک در داخل آن همیشه مقداری افت ارتفاع آب در طرف دوم مشهود است . چنان‌که قبلاً اشاره شد بسیاری از پل ها نرده دارند که معمولاً از نبشی ساخته می شوند و در ردیف افقی چندین نبشی قائم را بهم مربوط نموده اند .

ارتفاع نرده از روی فرنیز یک متر اســت و فاصله‌ی نبشــی های قائم از یک متر تا ۲/۲۵ متر قابل تغییر است .

تبصره : به لحاظ این‌که تغییر مکان و تغییر طول در اثر حرارت پل های بزرگ فلزی قابل ملاحظه می باشند، در این پل ها تکیه‌گاه غلطکی پیش بینی می شود تا تابلیه آزادانه حرکت کرده و نیروی اضافی به پایه های آن منتقل نشود.

غلطک ها در یک طرف ثابت و در طرف دیگر تابلیه متحرک می باشــند و پیش بینی جابجایی چرخشــی متناسب با حداکثر خیز پل که منجر به ایجاد زاویه در تکیه‌گاه می‌گردد، انتخاب می شود . غلطک ها در فواصل زمانی معین پاک و با گازوئیل شسته می شوند؛ در غیر این صورت ممکن است حرکات فوق الذکر انجام نشود، در عوض پایه ی پل تحت نیروهای پیش بینی نشده، قرار گرفته و حتی ترکهایی در آن ایجاد شود. بعضاً نیروهای مورد بحث باعث تخریب پایه‌ی پل شده و سلامت کل سازه را به خطر می‌اندازد.



شکل (۱-۱۰): سیفون

۱-۱ نکاتی راجع به نگهداری پل ها

معمولاً نگهداری پل های بتنی ساده تر از سنگی و سنگی ساده تر از فلزی است . پل های بتنی و سنگی در روی تابلیه لوله ای برای زهکشی دارند که آبهای بارندگی به وسیله‌ی آن تخلیه می شوند؛ چنانچه این لوله ها مرتباً پاک نشوند، گرفته و باعث جمع شدن آب و یخ زدن آن در فصل زمستان می‌گردد که این مسئله باعث آسیب دیدن پل می شود. معمولاً گرفتگی لوله های درناژ مربوط به خرد شدن بالاست است که خاک موجود همراه آب حرکت نموده و خلل فرج قلوه سنگهای اطراف لوله را مسدود می نماید؛ لذا چنانچه چنین وضعی پیش آید، لازم است روی پل، تفکیک بالاست گردد. این عمل دو حسن دارد: اول این‌که زهکشی به راحتی انجام می شود ، دوم این که بالاست حالت ارتجاعی به خود گرفته و ضربات وارده از قطار را مستهلک می نماید، لذا پل کمتر کوبیده می شود.

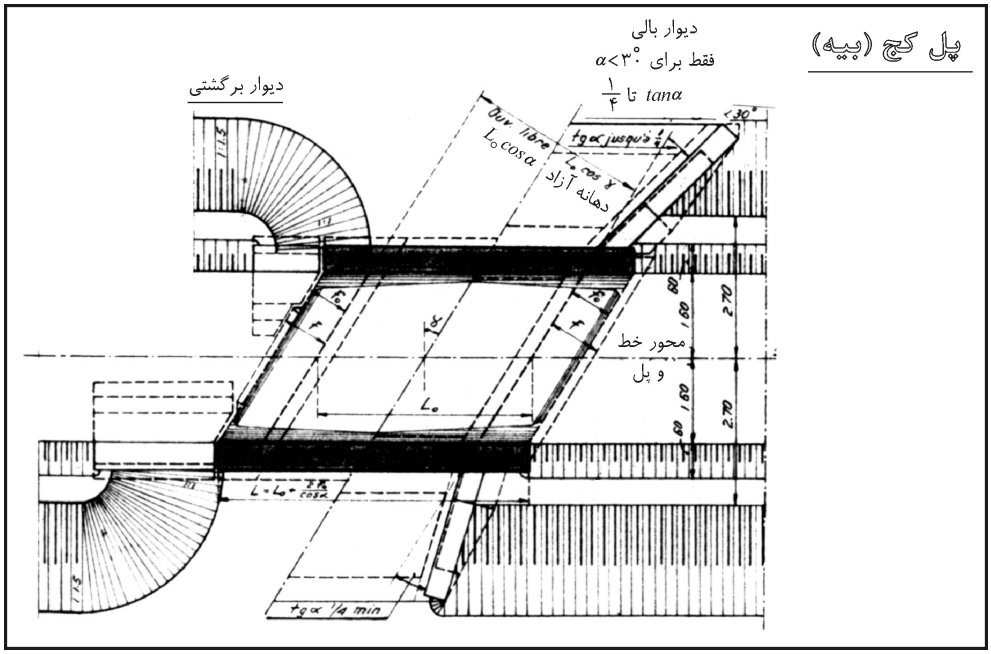
لازم است پل های فلزی هر چند سال یکبار رنگ‌آمیزی گردند ، آنها احتیاج به روان کردن غلطک ها دارند. پل های فلزی را موقع ساخت، قبل از رنگ آمیزی پاک می‌کنند؛ عمل پاک کردن شاسی ها به وسیله‌ی هوای فشرده و ماسه بادی انجام می گردد. (سندبلاست) ذرات ماسه با فشار به پروفیل ها برخورد کرده و سطح آن را پاک می کند ، یا به وسیله‌ی برس سیمی یا فلزی آن را پاک می نمایند و پس از رنگ آمیزی با مواد ضد زنگ، رنگ اصلی زده می شود . همچنین به خاطر ضربات چرخ بر روی ریل خاموت های نگهدارنده‌ی تراورس در محل خود شل می شوند که هر چند وقت یک بار پیچ های آن باید سفت گردد.

بعضی از پل های فلزی یک دال نازک در روی شاسی دارند که به گارد بالاست موسوم است ، این دال ، بالاست را نگهداری می‌کند، در نتیجه به علت وجود بالاست ضربات وارده تخفیف می یابند.

نــوع دیگر محافظت پل های فلزی، گالوانیزه کردن آنهاســت. عمل گالوانیــزه کردن با فرو بردن قطعه در روی مذاب انجام می شود. این عمل به اندازه‌ی قطعاتی که می‌توانند در حمام روی مذاب غوطه ور شوند، محدود می‌گردد. پاک کردن سطح قطعه بسیار اساسی و ضروری است .

۱-۲ پل های بیه

چنانچه محور رودخانه نسبت به محور خط مایل باشد، در آن صورت پلی که ساخته می شود، بیه نام دارد و تابلیه‌ی پل به جای مربع ـ مستطیل به شکل متوازی الاضلاع خواهد بود. δ را زاویه بیه می گویند. در پل‌های مستقیم $\delta = 0$ می باشد . شکل (۱-۱۱) نشان دهنده‌ی پل بیه است .



شکل (۱-۱۱): پل بیه

بین دهانه و دهانه مفید رابطه‌ی زیر موجود است :

دهانه مفید = $\cos\delta$ L = LO

L= دهانه مفید

LO= دهانه بیه

δ = زاویه بیه

مثال (۲): در یک پل بیه، دهانه بیه ۱۰ متر و زاویه‌ی بیه ۳۰ درجه است. دهانه‌ی مفید چقدر است؟

$L \cos = 10$

$L = \cos 30^{o} = 10 \times 0.85 = 8.65 m 10$

۱-۳ گذرگاه ها

جاده ها در تقاطع با راه آهن سه حالت دارند:

● **گذرگاه همسطح** – که در آن جاده و خط آهن همسطح بوده و یکی از دو وسیله (وسایل نقلیه و قطار) می تواند عبور کرده و دومی متوقف شود. گذرگاه همسطح به دو صورت «با راه بند و بدون راه بند» مورد استفاده قرار می‌گیرد.

● **روگذر** – که درآن جاده به وسیله‌ی پلی از روی راه آهن می‌گذرد ، شیب طرفین روگذر نباید بیش از پنج درصد (۵٪) باشد، چرا که در مواقع بارندگی و یخبندان عبورو مرور مشکل خواهد بود . همچنین در هنگام ساخت باید گاباریت راه آهن برای یک خط یا دو خط کاملاً مراعات شده و مجوزهای لازم کسب گردد. چنانچه تقاطع جاده و راه‌آهن به صورت بیه باشد، باید توجه داشت که دهانه‌ی مفید برای عبور قطار از حد استاندارد کمتر نباشد.

● **زیر گذر** – که جاده از زیر خط آهن عبور می نماید . حداکثر شیب در زیرگذر حدود پنج درصد بوده، ضمن این‌که باید نسبت به عبور دادن آبهای بارندگی پیش بینی لازم به عمل آید. در این خصوص معمولاً با حفر چاه و وصل نمودن کف زیرگذر با کانال بتنی به آن موثر است ، یا این‌که آبها را به وسیله‌ی کانال کم عرضی به محل گودی هدایت نمود .

۱-۴ اثر قوس ها در طرح پل ها

معمولاً در انتخاب مسیر راه آهن سعی بر آن است که پل ها در قوس واقع نشوند؛ علت این امر آن است که طراحی و اجرای عملیات پل ها در مسیر مستقیم ساده تر است .

در قوسها نیروی گریز از مرکز که از نوع نیروی افقی است به پل وارد می شود. این نیرو نظیر نیروی باد، زلزله و ... بوده که سهمی در واژگونی پل را دارد . از آنجا که در انتخاب شکل و استقامت پل بیشترین سهم به نیروی ثقلی (که قائم می باشد) داده می شود، لذا نیروی افقی از نوع آنچه که در بالا ذکر شده، ناخواسته بوده و مشکلاتی را پیش می آورد. در پل های مستقیم مقدار نیروی گریز از مرکز صفر بوده، در حالی که در پل های قوسی اندازه ی آن قابل توجه می باشد ، لذا سازه باید علاوه بر پایداری قائم و مقاومت در مقابل نیروهای ثقلی با نیروهای افقی که سعی در واژگونی آن را دارند، مقابله نماید. برای این منظور لازم است قسمت پایین پایه ی پل عریض تر از بالای آن باشد که این مسئله در پل های راه آهن کاملاً مشهود است . به علاوه در پل های مورد بحث اضافه عرضی لازم است که مربوط می شود به :

- شیب عرضی (دور) – وجود شیب عرضی در جاده ها و راه آهن باعث می‌گردد که محور وسیله‌ی نقلیه با محور قائم پل زاویه‌ای بسازد و بالای وسیله به سمت مرکز قوس تمایل پیدا نماید ، لذا اضافه عرض مورد نیاز است که مانع از برخورد وسیله با اعضای قائم ، به خصوص در پل‌های خرپایی گردد.
- طول وسیله خط مستقیم بوده و به اندازه اختلاف وتر (محور وسیله) و کمان (محور پل) اضافه عرض مورد نیاز است . وجود اضافه عرض، حجم عملیات را بالا می برد و درصورتی که قرار گرفتن پل در قوس اجتناب ناپذیر باشد، باید آن را در مقابل نیروی گریز از مرکز مجهز نمود. نیروی فوق برای پل های راه آهن از فرمول زیر به دست می آید :

$$F=\frac{pv^2}{127R}$$

که در آن P: بار قائم ، V : سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت و R : شعاع انحناء بر حسب متر. این نیرو در ارتفاع دو متر از روی پل که مرکز ثقل وسیله‌ی نقلیه فرض می‌گردد، اثر می‌کند.

مثال (۳) : مطلوب است تعیین نیروی گریز از مرکز برای بار یک صد تن که در روی تابلیه‌های طرفین پایه ی اصلی پل قوسی به شعاع ۳۰۰ متر قرار دارد. در اینجا سرعت برابر ۵۰ مایل در ساعت می باشد، ضمناً چنانچه ارتفاع پایه ی پل ۲۰ متر باشد ، لنگر واژگونی چقدر است ؟

نیروی گریز از مرکز $F = \frac{p.v^2}{127R} = \frac{100\times(50\times1.6)^2}{127\times 300} = 16.8 \text{ ton}$

لنگر واژگونی $M = 16.8\times (2 + 20) = 369.6 \text{ ton.m}$

توضیح : هر مایل برابر ۱/۶ کیلومتر می باشد.

لازم بـه یادآوری اسـت که فقط برای مقابله با گشـتاور فوق لازم اسـت پایه ی پل به انـدازه ۳۴۳ برابر تیرآهن نمره ۱۴ مقاومت خمشی داشته باشد.

با توجه به مثال فوق معلوم می‌گردد که پایه های پل علاوه براین‌که در مقابل نیروی محوری حاصله از بار قائم زنده و مرده و نیروهای طولی حاصله از ترمز و حرکت در جهت محور طولی پل قرار دارند، در مقابل نیروهای باد ، زلزله ، گریز از مرکز ، اثر برخورد آب و یخهای شـناور به پایه ها که همگی در جهت عمود بر محور طولی پل بوده باید ایستادگی نمایند و چنانچه هر کدام از عوامل فوق حذف یا کاهش پیدا کنند، ابعـاد مقطـع پایه و آرماتورهای به کار رفته را کاهش داده و طرح را اقتصادی‌تر می‌کند. با این حال زمانی کـه موقعیـت طبیعی منطقه اجازه ندهد حتی پل را در قوس متضاد قرار می دهند که نمونه‌ای از آن پل اس (S) در ناحیه راه آهن شمال غرب می باشد .

۱-۵ تزریق سیمان (انژکسیون)

بعضاً اتفاق می‌افتد که در پایه ها و حتی تابلیه‌ی پل‌ها بخصوص پل های طاقی ـ سنگی به مرور ترکهایی به‌وجود می‌آید . علت این امر بیشـتر مربوط به نشسـت پایه ها ، کم بودن بالاسـت در روی تابلیه و عدم تفکیک بالاسـت و عوامل جوی و روان نبودن غلطک‌ها می باشـد. در اثر عبور قطارها و فشار وارد بر پایه‌ها خاک زیر پی نشسـت کرده، پایین می‌رود تا حدی که فشـردگی کافی را داشـته باشد و اصطلاحاً حالت تحکیم به خود بگیرد؛ دیگر این‌که در دیوارهای تونل‌ها ترک ایجاد شـده و حالتی نظیر موارد ذکر شـده در خصوص پل فوق‌الذکر پیش می‌آید.

حال، چنانچه این ترک ها ترمیم نشـوند ممکن اسـت افزایش پیدا کرده و باعـث انهدام ابنیه گردند. لذا بـرای جلوگیری از افزایش ترک، مبادرت به تزریق سـیمان می‌کننـد؛ بدین صورت که ابتدا چند محل از ترک را با قلم شکافته و لوله‌های فلزی رزوه شده ی مخصوص را کار می‌گذارند و بقیه جاها را به وسیله‌ی ملات ماسه و سیمان پوشانده و سپس بعد از چند روز به وسیله‌ی دستگاه از لوله ها تزریق سیمان می کنند.

دستگاه تزریق از یک کمپرسور هوا و مخزن تشکیل شده که در داخل مخزن سیمان ، ماسه بادی و آب می ریزند و به وسیله‌ی همزن مخلوط می کنند. با باز نمودن شیر، هوای فشرده از کمپرسور به بالای مخزن وارد گردیده و محتویات مخزن از لوله ای که به لوله ی تعبیه شده در بدنه وصل است، وارد می شود و تمام قسمتهای جدا شده ی پل را پر می‌کند . با این عمل قسمتهای ترک خورده، ترمیم و قطعات جدا شده به هم وصل می شوند و حالت یک پارچگی به خود می گیرند. خاتمه ی عمل زمانی معلوم می‌گردد که سنگهای بنا (سازه) عرق نمایند؛ یا این‌که حرکت مواد کند شده به اصطلاح جواب دهد. حال چنانچه بعد از مدتی دوباره ترکهایی ظاهر گردد، معلوم می شود که نشست ادامه دارد که باید در صورت بحرانی بودن تدابیری اتخاذ گردد. در اکثر مواقع، پس از یک بار تزریق نیازی به تزریق دوم نخواهد بود. گاهی قبل از عمل تزریق برای این‌که از ادامه نقض آگاه باشند، پایه ی پل یا دیوار تونل را پلمب می کنند ، به این صورت که قسمتی از ترک را به وسیله‌ی ملات ماسه، سیمان پر نموده و روی آن یک قطعه شیشه (لام شیشه آزمایشگاهی) کار می‌گذارند که تاریخ روز عملیات نیز در روی ملات نوشته می‌شود؛ چنانچه عمل نشست ادامه داشته باشد، شیشه می‌شکند؛ درغیر این صورت عمل تزریق موفقیت آمیز تلقی می شود.

اخیراً دستگاه تزریق بتن در بعضی از موسسات فنی بکار گرفته می شود که از نظر اصول مانند دستگاه تزریق مذکور می باشد، ولی محلول داخل مخزن بتن است و لوله ها نیز قطورتر هستند .

۱-۶ شمع کوبی چیست ؟

سطح پی پل ها متناسب با میزان مقاومت خاک زیر آن انتخاب می‌گردد. می‌دانیم هر چه سطح انتقال نیرو بزرگتر باشد، فشار وارده کمتر خواهد شد . خاک ها در نقاط مختلف مقاومت های متفاوت دارند، حتی دیده شده که در طول پل های بزرگ، مقاومت خاک متفاوت بوده و چنانچه پیش بینی های لازم به عمل نیاید، منجر به نشست پایه ها و ترک برداشتن آنها می‌گردد.

میزان مقاومت خاک به وسیله‌ی موسسه‌ای به نام آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، وابسته به وزارت راه و ترابری، تعیین می‌گردد . به این ترتیب که در محل مورد نظر برای احداث پل از چندین نقطه نمونه برداری شده و تحت شرایط گوناگون آزمایش انجام می پذیرد که حاصل آن علاوه بر تعیین نوع خاک، مشخص گردیدن مقاومت آن در عمق های مختلف می باشد.

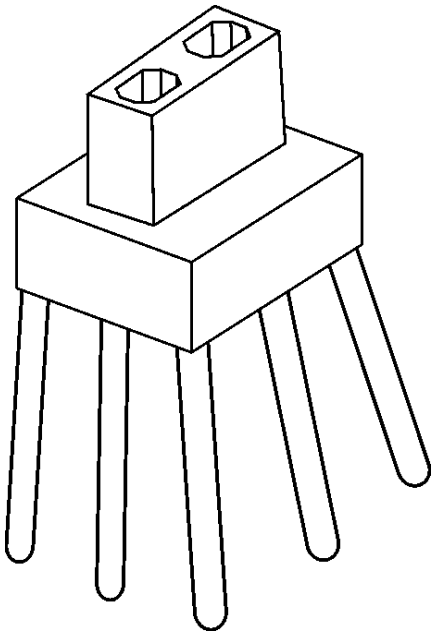
مـــی‌توان گفت که در نقاط مختلف کشـــورمان مقاومت خاک از ۰/۵ الی ۵ کیلوگرم بر ســـانتی متر مربع متغیر اســـت. فرض کنیم مقاومت خاکی برابر ۱ Kg/cm۲ باشـــد، چنانچه فونداسیون فشاری برابر با یک و یا کمتر به خاک وارد شـــود، اشـــکالی پیش نخواهد آمد، ولی چنانچه فشـــار بیشتر از یک باشد، امکان نشســـت و حتی از بین رفتن سازه متصور است . بنابراین قبل از هر گونه اقدامی لازم است آزمایش خاک از محل انجام پذیرد. در محل هایی که قابلیت تحمل خاک کم است، سطح فونداسیون بیش از اندازه بزرگتر می شـــود و علاوه بر غیر اقتصادی بودن، باعث افزایش وزن مرده ی بنا (ســـازه) نیز می‌گردد که خود در افزایش فشار وارده موثر می باشد و ممکن است حالتی به وجود آید که هر قدر هم ابعاد فونداسیون بزرگتر انتخاب گردد، فشـــار وارده از قابلیت تحمل خاک بالاتر باشـــد که در آن صورت از شـــمع کوبی اســـتفاده می‌گردد؛ به این معنی که در زیر فونداســـیون ســـتونهایی موســـوم به شـــمع به طور قائم و گاهی مایل به زمین کوبیده می شود که به خاطر وجود اصطکاک در سطح تماس خاک با شمع با مقدار قابل توجهی از نیروهای وارده مقابله می شود.

شمع از بتن مسلح در بیرون تهیه می شود و به وسیله‌ی دستگاههای مکانیکی در محل فونداسیون کوبیده و ســـپس فونداســـیون را در روی آن می ریزند . گاهی چاه هایی در زمین کنده می‌شود و آرماتورهایی نیز در داخـــل آن قـــرار می‌دهند و در محل بتن ریزی، شـــمع را کار می‌گذارنـــد. همچنین در این خصوص از شمع های فلزی که از پروفیل های مختلف می باشد نیز استفاده می‌گردد که ریل های فرسوده برای این کار مناسب اند.

با توجه به آنچه که در بالا گفته شـــد، نتیجه می‌شـــود که شمع کوبی در زمینهای سست و دارای مقاومت ناچیز انجام می شـــود، چرا که در این گونه زمین ها مقاومت اصطکاکی بیشـــتر است و در زمین های سفت نیازی به این کار نیست و اصولاً اجرای عملیات نیز در این‌گونه زمین ها مشکل است.

تبصره ۱: شـــمع های مایل برای گرفتن نیروهای افقی وارده به پایه اســـت. چنانچه نیروهای وارده از نوع ثقلی باشـــند، نیازی به شـــمع مایل نبوده و کلیه‌ی آنها قائم خواهند بود. شـــکل (۱-۱۲) نشان دهنده‌ی جزئیات مربوط به شمع و اجزای پیوسته به آن می باشد .

تبصره ۲: در بعضی موارد چنانچه موقعیت زمین و هندســـه مســـیر ایجاب نماید، فونداســـیون ها کلاً بهم وصل شـــده و به صورت یکپارچه اجرا می‌گردند . این نوع پی ها را «رادیه ژنرال» می نامند . با اســـتفاده از این فن در زمین های با مقاومت نیم کیلوگرم بر سانتی متر مربع، پل با دهانه ۵ متر و بدون نیاز به شمع احداث می شـــود. ضخامت بتنی پایه ها، کف و تابلیه تقریباً مساوی بوده و مقطع آن مشابه قوطی کبریت است که آنها را « پاکس» نام گذاری کرده اند.



شکل(۱-۱۲): شمع کوبی

۱-۷ پل های موقت

در مواردی که در اثر سیل و یا سایر عوامل جوی پلی آسیب ببیند یا کلاً از بین برود، پل موقت احداث می شود و عبور و مرور از روی آن انجام می پذیرد . پل های موقت فلزی است و در زمان کوتاهی قابل مونتاژ می باشند. برای این کار ابتدا محل پایه ها را با چیدن تراورس به صورت متعامد محکم و مسطح می‌کنند، سپس پایه ها را در روی آن قرار داده و شاقولی تنظیم می نمایند. پس از قرار دادن دو ردیف متقاطع پروفیل در روی تراورس ها، شاسی را روی پایه قرار داده و خط را روی آن می‌گذارند که در این حالت عبور قطارها با سرعت کم و با احتیاط کامل انجام می شود. باید توجه داشت چنانچه زیر پایه ها استحکام کافی نداشته باشد، امکان واژگونی پل موقت وجود دارد، لذا لازم است دقت کافی در استحکام و تعادل زیر پایه ها به عمل آید. اخیراً یک نوع پل موقت که نتیجه‌ی تحقیقات راه آهن آلمان می باشد با همکاری موسسه کروپ ساخته شده که در نوع خود بی نظیر است .

به طور کلی این نوع پل‌ها برای دهانه‌های مختلف تا صد متر قابل مونتاژ بوده ، قطعات آن سبک و به

سـهولت قابل حمل می باشـند. قطعات این پل ها با پین به هم وصل شـده و خرپایی را تشکیل می‌دهند که عضو اصلی و باربر می باشـند. این نوع پل ها بدون پایه بوده و در یک طرف مونتاژ شـده و به وسیله‌ی غلطک به طرف دیگر حرکت داده می شـوند تا به تکیه‌گاه مقابل برسـند. جهت حفظ تعادل از دماغه‌ای که به انتهای پل متصل اسـت، کمک گرفته می شـود و پس از خاتمه‌ی نصب، دماغه از آن جدا می‌گردد. اعضـای تشـکیل دهنده‌ی دماغه هیچ گونـه تفاوتی با اعضای اصلی پل نداشـته و قابل جایگزینی در پل موقت می باشند.

۱-۸ علائم اختصاری پل ها

علائم اختصاری زیر مربوط به پل ها، آبروها و غیره می باشـند که در نقشـه جات و پروفیل طولی به کار می روند و دانستن آن ها برای نقشه خوانی ابنیه‌ی فنی ضرورت کامل دارد .

B: بوز – لوله بتنی

B DEMI: نیم لوله

B MET: لوله فلزی

D: دالو

G.B: گارد بالاست

F.B: فربتن – دال بتن آرمه

A.V: طاقی یک دهانه

A.V.S: طاقی یک دهانه خوابیده شکل هندسی طاق این پلها منحنی و سهمی درجه (۲) است .

P.V: طاقی چند دهانه

P.V.S: طاقی چند دهانه خوابیده نظیر طاق نوع یک دهانه مشابه

V.D: پل دره‌ای – و با دوک

P.M: پل فلزی

PASSAGE: گذرگاه

SF یا SI: سیفون

S.B.C: پل خر پایی فلزی با پایه بتنی توپر – کوله ها نیز به صورت صندوقه‌ای

S.B.C: باکس بتنی (تابلیه) با پایه بتن توپر

۱-۹ نکاتی در مورد بتن

بتن یک نوع مواد ساختمانی است که از اختلاط و به‌هم زدن سیمان ، آب و خرده سنگ ساخته می شود و جسم همگنی است که مقاومت و جهندگی (الاستیسیته) آن بستگی دارد به :

- مقدار و جنس سیمانی که در ساختن بتن مورد مصرف می باشد،
- مقدار و جنس آبی که برای ساختن آن مورد استفاده قرار می‌گیرد،
- جنس دانه های خرده سنگ و دانه بندی آنها،
- ساختن ، مصرف کردن ، عمل آوردن و حفظ کردن بتن،
- عمر بتن.

حال به شرح هر کدام از موارد فوق می پردازیم .

۱-۹-۱ جنس سیمان

سیمان های پرتلند ترکیب شده‌اند از :

- آهک cao ۶۰ تا ۶۷٪ وزن سیمان
- سیلیس SIo2 ۱۷ تا ۲۶٪ وزن سیمان
- رس AL2o3 ۳ تا ۷٪ وزن سیمان
- اکسید آهن Fe2o3 ۰/۵ تا ۰/۶ ٪ وزن سیمان
- اکسید منیزیم Mgo ۰/۱ تا ۴/۵ ٪ وزن سیمان
- اکسید کالیوم و اکسید ناتریوم K2o , Na2o ۰/۵ تا ۱/۳ ٪ وزن سیمان
- SO3 ۱ تا ۳٪ وزن سیمان

مواد فوق پس از ترکیب و پخت در کوره های مخصوص و آماده شدن، برای استفاده بسته بندی شده و به صورت سیمان مصرفی به بازار عرضه می‌گردند. می توان با تغییرات در نسبت ترکیب و کم و زیاد کردن بعضی مواد، سیمان های مختلف و متفاوتی ساخت، از جمله سیمان ضد سولفات که در مقابل نمکها و خاکهای شور مقاومت قابل توجهی دارد و در جاهایی‌که شوری زمین محسوس است باید از آن مصرف نمود . در غیر این صورت بتن در مقابل حمله املاح خورده شده و آرماتورهای داخل آن پوسیده می شود و استحکام خود را از دست می دهد. در کارگاه های بزرگ، سیمان به صورت « فله» دپو می شود و بدین صورت در هزینه‌ی مربوط به پاکت و بسته بندی صرفه جویی بعمل می آید. برای نگهداری سیمان در

کارگاه های بتن سازی، سیمان را در سیلوهای مخصوص انبار می‌کنند.

۱-۹-۱-۱ انواع سیمان ها

پنج نوع سیمان برای استفاده در کارهای ساختمانی تهیه می شود :

● سیمان پرتلند تیپ یک

این نوع سیمان به سیمان معمولی موسوم است و برای عموم مصارفی که ویژگی خاصی از بتن خواسته نشده است، نظیر ساختن پیاده روها ، روسازی جاده ها ، پل‌های بتن آرمه به کار می رود.

● سیمان پرتلند تیپ دو

این نوع سیمان نسبت به نوع ۱ مرغوب تر می‌باشد و در مواردی که در مقابل حمله‌ی سولفات‌های معتدل لازم به احتیاط باشد، به کار می رود. سیمان نوع ۲ معمولاً کندتر از سیمان تیپ ۱ خود را می‌گیرد و در هنگام گرفتن، حرارت کمتری تولید می نماید. از این سیمان می‌توان در ساختمان‌های حجیم استفاده نمود تا درهنگام گرفتن بتن حرارت کمتری ایجاد شود و افزایش درجه حرارت بتن کمتر باشد. سکوهای بزرگ، دیوارهای حائل بزرگ، پایه ی پل‌ها نمونه‌ای از این گونه ساختمانها هستند. استفاده از این نوع سیمان در هوای گرم باعث تقلیل درجه حرارت حجم بتن در هنگام گرفتن، می شود .

● سیمان پرتلند تیپ سه

سیمان نوع ۳، سیمانی است که در مدت کوتاهی معمولاً (در عرض یک هفته) مقاومت زیادی به دست می‌آورد . این نوع سیمان هنگام گرفتن از تیپ ۱ بیشتر حرارت تولید می‌کند. از این سیمان وقتی استفاده می‌گردد که بخواهند زودتر از معمول قالب را بردارند و در هوای سرد نیز می توان از آن استفاده کرد تا مدت زمان لازم برای حفاظت بتن ریخته شده، کوتاهتر شود . سیمان نوع ۳ را سیمان زودگیر هم می‌گویند.

● سیمان تیپ چهار

این نوع سیمان، سیمانی است که هنگام گرفتن حرارت کمتری تولید می‌کند، بتنی که با این سیمان ساخته می شود، آهسته تر افزایش مقاومت پیدا می کند، یعنی دیرتر می‌گیرد. کاربرد اصلی این نوع سیمان در ساختمانهای حجیم بتنی است. در ساختمانهای حجیم، هم چون سدهای وزنی ، به علت حجم زیاد بتن، افزایش درجه حرارت ناشی از گرفتن بتن آرمه می‌تواند بسیار خطرناک باشد. لذا برای پایین نگاه داشتن درجه حرارت، از سیمان نوع ۴ که آن را سیمان دیرگیر هم می‌گویند به‌استفاده می شود.

● سیمان تیپ پنج

این نوع سیمان، وقتی به کار می‌رود که بتن در تماس شدید با سولفاتها قرار داشته باشد. این تیپ سیمان به سیمان ضد سولفات معروف است و دیرتر از سیمان معمولی خود را می گیرد .

● سیمان پوزولائی

این سیمان با افزودن پوزولان (که جنس آن سپلیکات است) به کلینکر سیمان معمولی به‌دست می آید و برای کارهای عادی نظیر آجر چینی مناسب است .

۱-۹-۲ مقدار سیمان در بتن

کمترین سیمانی که در ساختن بتن مصرف می شود به اندازه‌ای است که دوغاب سیمان رویه‌ی دانه‌های سنگ را اندود کند و بیشترین سیمان در بتن باید به اندازه‌ای باشد که دوغاب آن رویه‌ی دانه‌های سنگ را اندود کرده و جای خالی استخوان بندی سنگی را هم پر کند . اگر در ساختن بتن کمتر از این میزان، سیمان مصرف شود دانه های سنگ خوب به همدیگر نمی‌چسبند و تاب بتن کم می شود و هر گاه در ساختن بتن بیش از این میزان، سیمان مصرف شود گذشته از آن‌که به نسبت افزوده شدن سیمان، تاب بتن زیاد نمی شود، بلکه جنس گران و کم تاب سیمان نیز جانشین جنس ارزان و پرتاب سنگ می‌گردد. این کار بتن را گران می‌کند و با زیاد شدن سیمان در بتن، ساختن و عمل آوردن آن آسان می شود، تاب و ضریب جهندگی بتن افزایش می یابد، پایداری بتن در برابر سائیدگی بیشتر می شود ، فولاد در بتن زنگ نمی‌زند و بتن آب بندی می‌گردد؛ اما اندازه‌ی جمع شدن بتن افزایش می یابد . بسته به اندازه‌ی

سیمان در به سه صورت بتن ساخته می شود :

- بتن کم مایه با ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب بتن
- بتن میان مایه با ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب بتن
- بتن پر مایه با ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم سیمان درمتر مکعب بتن

بتن با عیار بیش از ۴۰۰ بخاطر کاهش تاب بتن به ازای افزایش مقدار سیمان، مورد استفاده ندارد؛ برای آن که فولاد در بتن زنگ نزند باید عیار سیمان از - - ۲۴۰ کمتر نباشد .

۱-۹-۳ آب و مقدار آن

آبی که در ساختن بتن مصرف می‌شود باید آشامیدنی باشد. اندازه‌ی آب برای ساختن بتن بستگی به : شلی و سفتی بتن ، درشتی ، نمناکی ، زبری و شکل دانه های سنگ و دمای هوا هنگام ساختن بتن دارد. هر چه بتن سفت تر و دانه‌های سنگ درشت تر ، رویه‌ی دانه‌های سنگ نمناکتر ، صافتر و شکل‌شان کره ای تر باشد، برای ساختن بتن به آب کمتر نیاز هست . هوا و آبی که در سوراخهای ریز بتن باقی بمانند، آن را پوک می کند و از تاب آن می‌کاهد. در یخبندان نیز آبهای نفوذی باعث ترکیدن بتن می‌گردند. به‌طور متوسط برای هر متر مکعب بتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ لیتر آب لازم است . نسبت وزن آب به سیمان در بتن های مسلح برای آن که فولاد در بتن زنگ نزند، باید حداکثر ۰/۶ باشد.

$$\frac{w}{c} < 0/6$$

در مورد بتن‌هایی که در حالت مرطوب در معرض درجه حرارت های زیر صفر قرار می‌گیرند، نسبت آب به سیمان نباید از شش گالون بر هر کیسه سیمان (معادل ۲۶/۶ لیتر برای ۵۰ کیلو سیمان) تجاوز نماید و در این شرایط باید از ضد یخ استفاده گردد.

برای آن که بتن آب بندی و غیر قابل نفوذ شود، لازم است مقدار آب آن ۲۷ لیتر برای هر کیسه پنجاه کیلویی سیمان باشد.

نسبت آب به سیمان در ساختمانهای مختلف در مجاورت هوا :

- قطعات نازک مانند شمع‌ها یا لوله‌های بتنی ۰/۵۵
- سقف پل‌های بتن آرمه ۰/۵

- قطعات ظریف نظیر جدول و دست انداز و قطعاتی که روی فولاد را کمتر از ۲/۵ سانتی متر بتن بپوشاند؛ ۰/۵۵
- قطعات بتنی مانند دیوار حائل ، پایه ی اسکله ، تیر و تیرچه ، بر اساس مقاومت مورد نظر
- قسمت های خارجی قطعات بزرگ بر اساس مقاومت مورد نظر
- روسازی بتنی جاده ۰/۵۵

۱-۹-۴ جنس دانه‌های سنگ و دانه‌بندی آنها

سنگی که در ساختن بتن مصرف می شود باید سالم باشد، در برابر اثرات جوی پایداری نماید، آب در آن اثر فیزیکی و شیمیایی ننماید ، آب جذب نکند، در آب وا نرود، با آب ترکیب نگردد، پوک نباشد، وزن مخصوص‌اش بیش از ۱/۵ تن بر متر مکعب باشد (مگر در بتن سبک) ، و تاب فشاری آن از $800\ \frac{kg}{cm^2}$ کمتر نباشد .

سنگ بتن باید طوری دانه بندی شود که استخوان‌بندی متراکم آن دارای کمترین جای خالی و بیشترین وزن مخصوص را دارا باشد و از دانه‌های درشت شروع شده و تدریجاً ریزتر شود؛ به عبارت دیگر دانه بندی آن پیوسته باشد. درشت‌ترین دانه ی سنگ در بتن بستگی به ابعاد موجود در عملیات دارد. سنگ به درشتی تا ۲۵ سانتی‌متر نیز در ساختن بتن مصرف شده است (در ساختمانهای بتنی با حجم بزرگ مانند سدها). در ساختن ملات سیمان، دانه های سنگ به درشتی تا ۸ میلیمتر، در بتن مسلح کارگاه تا ۳۲ میلیمتر، در ساختن بتن غیر مسلح به درشتی تا ۶۳ میلیمتر و در ساختن بتن پی به درشتی تا ۷۰ میلیمتر و درشت تر مصرف می شود. قطر درشت ترین دانه سنگ در بتن نباید از $\frac{1}{5}$ باریکترین جای ساختمان بتنی بیشتر باشد. ضمناً قطر درشت ترین دانه برای بتن مسلح باید طوری باشد که در فاصله‌ی بین آرماتورها به راحتی بلغزد ، یعنی از سه چهارم فاصله ی بین میل‌گردهای متوالی کوچکتر باشد.

۱-۹- ۵ ساختن

بتن را با دست یا ماشین می سازند و ماشین بتن سازی را بتنیر می‌گویند. بتنیر، ظرفی است شلغمی شکل، فولادی - توخالی- و چرخنده‌ای، که دانه‌های سنگی، سیمان و آب را در آن می‌ریزند و ظرف را برای ساختن بتن خمیری تا ۱/۵ دقیقه و برای بتن سفت تا دو دقیقه می‌چرخانند تا بتن ساخته شود؛ سپس از ظرف بیرون آورده، به‌محل مصرف می‌برند. حمل بتن تا پای کار به وسیله‌ی ماشینی به نام

دمپرکه پس از حمل قادر به تخلیه‌ی آن نیز هســت، صورت می پذیرد. ماشــین های بتن ســاز چرخدار با گنجایش ۱۵۰ تا ۱۵۰۰ لیتر ساخته می شوند . معمولاً نسبت اختلاط سیمان، شن و ماسه برای یک متر مکعب بتن با عیار ۳۰۰ چنین است:

- سیمان ۳۰۰ کیلوگرم
- ماسه ۰/۴ متر مکعب
- شن ۰/۸ متر مکعب

چنانچه میزان ســیمان بالا رود، حجم ماســه و شن قدری کمتر انتخاب می شود. پس از انتخاب ، ریختن و عمل آوردن بتن باید آن را در برابر تابش آفتاب ، وزش باد ، گرمای هوا و یخ زدن حفظ کرد تا همه ی سیمان بتن با آب ترکیب شود و گرنه گرما آب بتن را بخار می‌کند و گرفتن آن مختل می‌شود (بتن می سوزد). باید سطح بتن را یک هفته الی ده روز نمناک نگه‌داشت که این کار به وسیله‌ی پاشیدن آب و استفاده از گونی خیس یا یک قشر ماسه مرطوب که روی بتن را می پوشاند، انجام می پذیرد.

۱-۹-۶ عمر بتن

با گذشــت زمان تاب بتن زیاد می شــود. بتنی که در جای نمناک بماند پس از ۲۸ روز دارای ۹۰٪ تاب نهایی‌اش می شــود . پس از یک ســال نزدیک به ۵٪ نیز افزایش تاب به‌وجود می‌آید ، بیش از این زمان افزایش تاب کُند می شود، ولی ادامه خواهد داشت .

تبصره : شــن و ماســه به‌کار رفته در بتن باید کاملاً شســته شود و هر چه این مواد تمیزتر باشد در دوام بتن موثرتر هستند. وجود خاک در بتن باعث پوک شدن آن می‌گردد.

۱-۱۰ قالب بندی

برای شکل دادن به بتن به‌صورتی که مورد نیاز است، از قالب های چوبی استفاده می شود. برای این که سطح بیرونی بتن صاف در بیاید معمولاً سطح داخلی قالب داخل را رنده می‌زنند یا این‌که از آهن سفید استفاده می‌کنند . ضخامت تخته‌ی بکار رفته ۳ الی ۴ سانتی متر می باشد. هر تخته پس از ۳ بار استفاده باید کنار گذاشــته شــود، زیرا در اثر جذب آب، بتن تاب برمی‌دارد و باعث ناصافی سطح بتن می‌گردد. در جاهایی که کار مشابه به تعداد زیاد وجود دارد از قالبهای فلزی استفاده می شود. با این‌که این نوع قالبها

گران قیمت هستند، ولی برای تعداد زیاد و کارهای سری مقرون به صرفه می باشند. برای قالب های قائم در دیوارها باید به اندازه ی کافی چوب چهارتراش به عنوان پشت بند به کار رود، که دراثر فشار بتن قالب تغییر شکل ندهد. دیده شده است که بعضاً قالبهای قائم در اثر فشار، شکسته و باعث بی قواره شدن دیوار شده است . درزهای قالب باید آنچنان باشد که شیره ی بتن از آن خارج نگردد. قالب ها لازم است به دقت بهم بسته شوند تا شکل و محل آنها تغییر ننماید . در پل سازی، قالبهای زیر تابلیه، شمع بندی می شوند. به این ترتیب که تعدادی چوب که بتوانند جمعاً وزن تابلیه را تحمل کنند به صورت قائم زیر قالب پایین تابلیه قرار می دهند و به قالب و به یکدیگر وصل و محکم می کنند. این شمع ها از خیز تابلیه جلوگیری می کنند. قالب ها طوری برداشته خواهند شد که به هیچ عضوی از سازه آسیبی وارد نگردد. وقتی تابلیه به وسیله ی شمع نگه داری شده باشد، می توان قالب گونه ها و پایه ها و سایر اجزای قائم را پس از ۲۴ ساعت برداشت؛ به شرطی که مقاومت بتن بحدی رسیده باشد که به آن عضو صدمه ای وارد نگردد. شمع های زیر تابلیه را پس از ۲۸ روز که مقاومت بتن به درصد قابل ملاحظه ای رسیده باشد برمی دارند . در صورت نیاز می توان دو هفته پس از بتن ریزی شمع ها را برداشت، به شرطی که از پل بهره برداری نشود.

در بتن های مسلح ، برای این که آرماتورها کاملاً بوسیله بتن احاطه شده باشند و گوشه ی قالب پر از بتن بشود، از ویبراتور استفاده می گردد. ویبراتور دستگاهی مکانیکی است که موتوری دارد و لوله ای را به ارتعاش در می آورد . انتهای لوله که فلزی می باشد در داخل بتن گذاشته می شود و با لرزیدن آن، بتن جابجا شده، قالب را پر می کند. باید لوله ی ویبراتور را در فواصل ۴۰ سانتی متری داخل بتن گذاشت.

ضمناً باید آن را به طور عمود فرو برد و به صورت مایل از آن خارج نمود. ویبراتور برقی که به وسیله ی برق شهر کار می کند، در کارهای اجرائی شهری کاربرد دارد. پس از اتمام عمل ویبراسیون لازم است انتهای لوله در آب گذاشته شود که برای استفاده بعدی آماده باشد؛ اگر در معرض هوا گذاشته شود، دوغاب سیمان باعث می شود ویبراتورکه لوله اش آغشته شده، پس از خشک شدن به سختی کار کند . اگر بتن مسلح خوب ویبره نشود بعضی جاها حباب هوا در آن می ماند و پس از باز کردن قالب علاوه برکاهش مقاومت بتن، جلوه ناپسندی به آن می دهد که اصطلاحاً گفته می شود بتن «کرمو» شده است . لذا جهت رفع این نقیصه باید تا اندازه ای ویبراتور زد که آب شروع به آمدن به سطح بتن نماید، ولی هیچوقت آب در سطح بتن جمع نشود.

۱-۱۱ آرماتور (میل گرد)

آرماتورهای ســاده که دارای قطری با عدد زوج می باشند، ســطح صافی دارند. آرماتورهای آجدار « تور» که ســطح ناصاف دارند دارای مقاومت بیشــتری نسبت به نوع قبل می باشــند و در جاهائیکه سطح بتن که نیروی وارده زیاد باشــد، اســتعمال می‌گردند. امروزه اکثر آیین نامه‌ها استفاده از آرماتور ساده را برای آرماتورهای اصلی (فشــاری و کششــی) مجاز نمی‌دانند و تنها برای خاموت اســتفاده می‌شــود و سطح آرماتور باید کاملاً تمیز و عاری از روغن و مواد خارجی باشــد که بتواند چســبندگی کافی با بتن را داشته باشد.

مثال (۴): درکارگاهی جهت بتن ســازی از پیمانه‌ای به ابعاد ۲۰×۵۰×۵۰ ســانتی متر استفاده می شود. به دو پیمانه شــن و یک پیمانه ماســه، یک کیسه سیمان ۵۰ کیلویی مخلوط و آب به اندازه کافی به آن اضافه می‌گردد:

الف – عیار چنین بتنی چیست ؟

ب- چنانچه نسبت وزنی آب به سیمان ۰/۵۵ باشد، چه مقدار آب برای متر مکعب بتن لازم خواهد بود؟

جواب قسمت الف:

متر مکعب حجم پیمانه $0.5\times0.5\times0.20=0.05$

حجم شن و ماسه قبل از اختلاط $2\times0.05+1\times0.05=0.15$

(حجم بتن) حجم شن و ماسه پس از اختلاط در داخل بتن $0.15 \div 1.2= 0.125$

کیلو سیمان	متر مکعب
50	0.125
x	1

$$\rightarrow \quad x=\frac{50\times1}{0.125}$$

مقدار سیمان لازم برای تهیه یک متر مکعب بتن عیار بتن ۴۰۰ می باشد $x=۴۰۰$

جواب قسمت ب:

$$\frac{w}{c} = \frac{w}{400} \quad 0.05 \quad \rightarrow w=220$$

۲۲۰ لیتر آب لازم دارد.

مثال (۵): دیواری به ضخامت ۴۰ سانتی متر از بتن مسلح ساخته می‌شود. چنانچه فاصله آرماتورها از هم (کنار به کنار) ۱۰ سانتی متر باشد، درشت ترین دانه بکار رفته، چه ابعادی می‌تواند داشته باشد؟

جواب:

یک پنجم کوچکترین ابعاد $\frac{1}{5} \times 40=8$

سه چهارم فاصله آرماتورها $\frac{3}{4} \times 10=7.5$

- اندازه درشت‌ترین دانه حداکثر ۷/۵ سانتی متر خواهد بود.

مثال (۶): برای قالب‌بندی فونداسیونی به طول ۱۰ متر ، عرض ۵ متر و ارتفاع یک متر چند متر مکعب تخته چهار سانتی‌متری لازم است؟

جواب:

متر مربع سطح جانبی $2(10+5)\times1= 30$

متر مکعب $30\times0.04= 1.2$

مثال (۷): دریک مقطع بتنی که لازم اســت دارای ســه عدد آرماتور نمره ۲۰ باشد، اگر بخواهیم آرماتور نمره ۱۰ مصرف کنیم، چه تعداد لازم است؟

جواب:

- نسبت قطر یک آرماتور بیست به ده یعنی دو می باشد .
- نسبت مساحت آنها مجذور دو یعنی چهار خواهد بود، لذا تعداد آنها چهار برابر افزایش می یابد.

تعداد آرماتور نمره ۱۰ لازم $3\times4=12$

مثـال (۸): در یـک پروژه‌ی اجرایی جهـت تهیه‌ی بتنی به عیـار B۳۵۰ از قالبی به طول و عرض ۵۰ سانتی متر استفاده می شود . به دو پیمانه شن و یک پیمانه ماسه، یک کیسه سیمان ۵۰ کیلویی مخلوط می‌گردد، بلندی قالب چند سانتی متر است ؟

جواب: حجم قالب از فرمول زیر به دست می آید:

$$\text{حجم} = \frac{\text{ضریب کاهش حجم شن و ماسه} \times \text{وزن کیسه سیمان}}{\text{تعداد قالب شن و ماسه} \times \text{بتن عیار}}$$

$$\text{حجم} = \frac{50 \times 1.2}{350 \times 3} = 0.57$$

$0.571=0.5\times0.5\times H$

$H=0.2284m=22.84\ cm$

مثال (۹): طرح هندسـی مسـیر از راه آهن پل دره ای به ارتفاع ۱۰۰ متر پیش بینی شده است، چنانچه به جای سازه‌ی مذکور، پلی به ارتفاع ۱۰ متر جایگزین گردد، چه افزایشی در طول مسیر بوجود می آید؟ شیب مجاز مسیر پانزده در هزار می باشد .

$100-10=90$

$100 \quad 15$

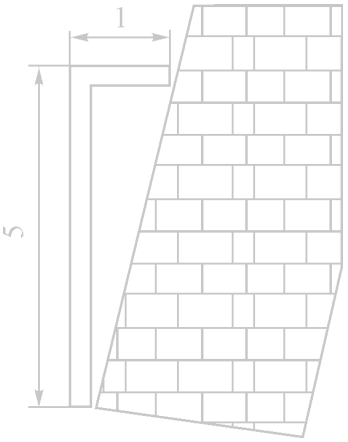
$X \quad 90$

$$x = \frac{1000 \times 90}{15} = 6000m$$

$6000\times 2=12000$ مسیر رفت و برگشت به متر

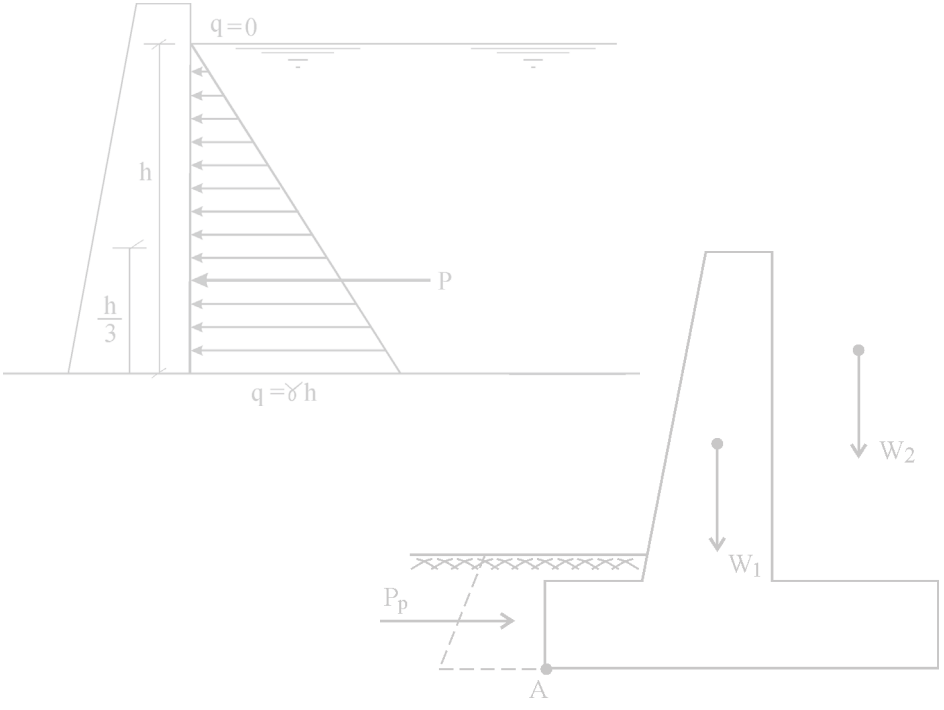
$= 12\ km$

$$M = \frac{ca\,\gamma\,h_2^{\,3}}{6}$$



فصل دوم

دیوارهای حفاظتی



همانطورکه می‌دانیم مطابق اصل پاســکال فشــار مایعات در یک نقطه درون مایع در تمام جهات یکسان وارد می‌شود و در هر نقطه فشار با وزن مخصوص سیال و ارتفاع متناسب است :

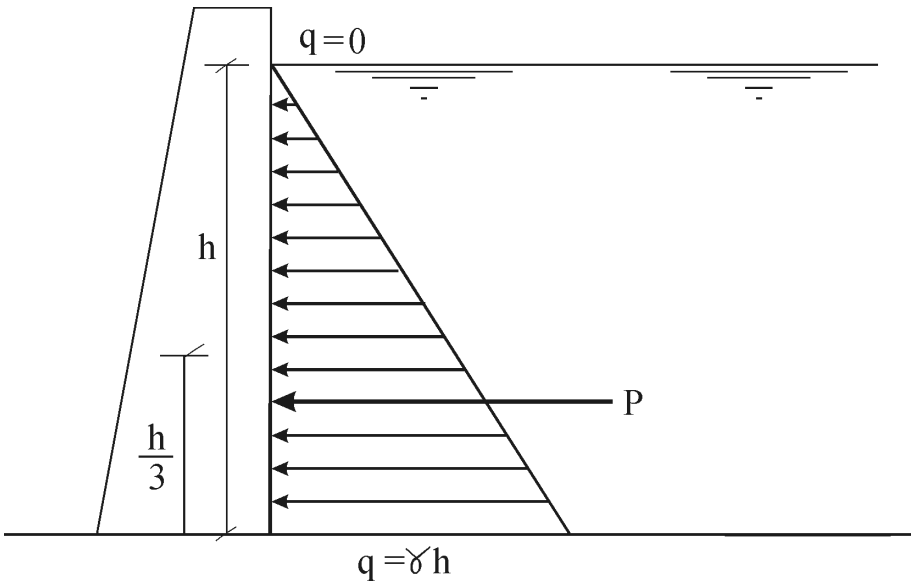
$$P=\gamma h$$

در فرمول فوق P: فشــار ســیال ، γ: وزن مخصوص و h: ارتفاع (عمق) نقطه‌ی مورد نظر می باشد. مقدار این فشــار در ارتفاع صفر (بالاترین نقطه‌ی ســیال) صفر اســت ، لذا چنانچه دیاگرام فشار را رسم کنیم، مطابق شکل (۲-۱) خواهد بود . اگر منتجه نیروی حاصله از این فشار را به دست آوریم، داریم:

$$P=\frac{1}{2}\gamma h\times h=\frac{\gamma h^2}{2}$$

گشتاور واژگونی که می‌خواهد مانع جلوی سیال را سرنگون کند، برابر است با :

$$M=\frac{\gamma h^2}{2}\times\frac{h}{3}=\frac{\gamma h^3}{6}$$



شکل (۲-۱): دیاگرام فشار هیدرواستاتیکی

در فرمول‌های فوق عرض دیوار، واحد فرض شده است. ملاحظه می‌شود که نیروی رانش متناسب با توان دوم ارتفاع و گشتاور واژگونی متناسب با توان سوم آن است ، مثلاً گشتاور دیواری به ارتفاع ۲ متر، هشت برابر دیوار یک متری است؛ واضح است که خاک مشابه با آب بوده ، منتها حالت سیلان آب بیشتر از خاک اســت. لذا تمام روابط فوق با ضریبی کوچکتر از یک به نام ضریب فشــار اکتیو تصحیح می شــوند. ضریب مزبور از رابطه‌ی زیر حاصل می شــود، که در آن دیوار با جدار قائم و ســطح خاک، افقی منظور شده است و اصطلاحاً به روش کلمب معروف می باشد.

ضریب فشار اکتیو $Ca=\frac{1-\sin Q}{1+\sin Q}$

Q، زاویه‌ی اصطکاک داخلی است که بعداً در مورد آن صحبت خواهد شد.

مثال (۱): مطلوب اســت محاسبه‌ی نیروی رانش و گشتاور واژگونی برای دیواری که جلوی توده خاکی با زاویه‌ی اصطکاک داخلی $Q=۳۰^{\circ}$ احداث شده است که در اینجا ارتفاع دیوار ۴ متر و وزن مخصوص خاک ۱/۸ تن به متر مکعب است .

$$Ca=\frac{1-\sin Q}{1+\sin Q}=\frac{1-\sin 30}{1+\sin 30}=\frac{1-0.5}{1+0.5}=0.33$$

تبصره : فشار وارده از طرف خاک به دیوار ۰/۶ فشار وارده از طرف آب به همان دیوار است .

$P=\frac{1}{2}\ 0.6\ h\times h=0.3\times h\ 4^2=0.3\times 4^2=4.8$ تن

$M=0.3\ h^2\frac{h}{3}=0.1\ h^3\times 4^3=6.4$

چنانچه در زمان اجراء، ارتفاع آن به ۵ متر افزایش یابد، درصد افزایش گشتاور واژگونی چقدر است ؟

$$M=\frac{ca\ \gamma\ h_2^{\ 3}}{6}$$

$H=4^m \quad m_1=10.67\ ca\gamma$

$$M=\frac{ca\ \gamma\ h_2^{\ 3}}{6}$$

$H=5^m \quad m_2=20.83\ ca\gamma$

$$\%\Delta m=\left(\frac{20.83-10.67}{10.67}\right)\frac{ca\gamma}{ca\gamma}\times 100=\%95.25$$

چنانچــه مقداری خاک را روی زمین بریزیم، مخروط کاملی به وجود می‌آید که شــکل این مخروط برای خاک های مختلف متفاوت است. زاویه‌ی مولد مخروط با سطح افق تقریباً برابر با زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک می باشــد . زاویه ی اصطکاک داخلی برای آب صفر اســت، یعنی هر مقدار آب را روی زمین بریزیم

همســطح خواهد ایســتاد و زاویه‌ای برابر صفر ایجاد می‌کند. پس متوجه می شــویم که ذرات آب لغزنده نیستند و به کمک یکدیگر سطح مایلی با افق می سازند. این سطح در بیشتر خاکریزهای راه آهن نسبت ۳-۲ را دارد ، یعنی در طول ۳ متر، ۲ متر اختلاف ارتفاع داریم. در خاکبرداریها نسبت بیش از این مقدار است که دلیل این امر وجود چسبندگی بین ذرات و دانه های خاک می باشد، یعنی در خاکبرداریها علاوه بر اصطکاک داخلی چســبندگی نیز بین ذرات وجود دارد. متناســب با جنس خاک شــیبهای مختلفی به وجود می‌آید؛ گاهی در اثر بارندگی خاک ریزش می کند ، یعنی در قســمتهای جلو چســبندگی موجود از بین می رود. برای جلوگیری از ریزش خاک دیوارهایی ساخته و به کار می رود که در مورد پای خاکریزها به « دیوار ضامن» و در مورد جلوی خاکبرداریها به « دیوار حائل» معروفند.

معمــولاً دیوارهای حفاظتی، وزنی هســتند؛ یعنی وزن دیوار با نیروی رانش مقابلــه می نماید تا اینکه به تعادل دیوار لطمه‌ای وارد نشــود. این نوع دیوارها را از بتن ، ســنگ و ملات ماســه ـ ســیمان می سازند. چنانچه ارتفاع زیاد باشــد دیوارهای بتن مســلح (کانتیلور) مقرون به صرفه خواهند بود. این نوع دیوارها به خاطر پیش بینی آرماتور جهت تحمل نیروها از نظر وزنی ســبکتر از نوع اول می باشــند و وزن خاک قســمتی از پایداری را تامین می کند که ابعاد مینیمم این دیوارها درشــکل نشــان داده شده است. شکل (۲-۲) برای ارتفاع بیش از ۶ یا ۷ متر دیوارهای کانترفورت (conter fort) اســتفاده می گردد. در این دیوارها تکیه گاههایی در فاصله ۰/۶ - ۰/۳ ارتفاع دیوار گذاشته می شود که هر چند از نظر اشغال فضا زیاد جالب نیست ولی از لحاظ تحمل نیرو و کاهش ممان خمشی، نیروی برشی و اقتصادی بودن آن حائز اهمیت است، شکل (۲-۳).

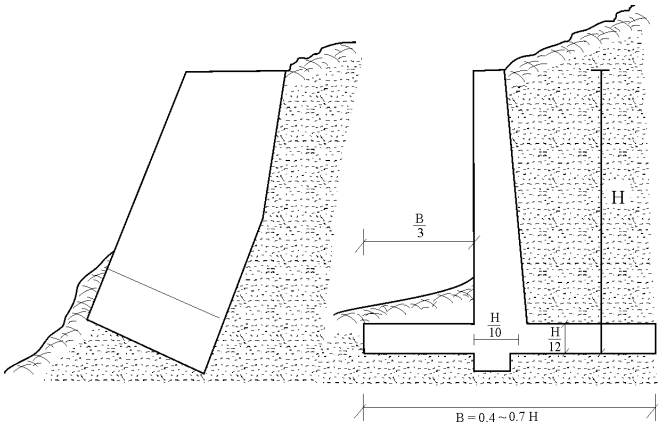
برای تخلیه‌ی آبهای پشت دیوار، مجرایی به نام بارباکان در آن تعبیه می نمایند که آبهای نفوذی و تجمع یافته را تخلیه می نماید. برای این که بارباکان مسدود نشود در پشت دیوار، اطراف آن را با قلوه سنگ می پوشانند. چنانچــه آب در پشــت دیوار بماند، خاک بــه حالت نرم و روان در می آید؛ در نتیجه فشــار وارد بر دیوار افزایــش پیدا می‌کند؛ در حقیقت زاویه ی اصطکاک داخلی کم می‌گردد و خاک حالت ســیلان پیدا کرده و فشــار افقی به دیوار وارد می ســازد که بعضاً منجر به واژگونی آن می‌گردد. در فصول ســرد، آب موجود درخاک، یخ زده و ازدیاد حجم پیدا می‌کند که برای دیوار خالی از خطرنیست .

گاهــی آبها را به وســیله‌ی لوله های فلزی نیمه مشــبک که به موازات طول دیوار قــرار می گیرد، تخلیه می‌کنند. اصولاً دیوارها با توجه به نیروی رانش و ایستادگی در مقابل گشتاور واژگونی محاسبه و طراحی

می‌گردند، ولی به خاطر ســهولت در امور اجرایی نقشــه های تیپ دیوار تهیه شده و آباک هایی[1] را همراه دارد که با ملاحظه‌ی ارتفاع دیوار و بلندی خاکریز روی آن ابعاد، دیوار وزنی تعیین و شکل آنها مشخص می‌گردد که نمونه هایی از آن در این فصل مطرح خواهد شد.

شــایان ذکر اســت، چنانچه سیستم زهکشــی دیوار حفاظتی کار نکند، برای تشخیص آن روش ساده‌ای معمول است که کاملاً تجربی بوده و عبارت است از :

اگر در زمان بارندگی بارباکان خشــک باشــد، و پس از اتمام بارندگی شروع به کار ننماید، یعنی عمل تخلیه ی آبهای حاصل از بارندگی با تأخیر صورت گیرد یا کلاً بارباکان کار نکند، معلوم می‌شود که سیستم زهکشی درســت عمل نکرده که جهت رفع آن با عبور میله‌ای از داخل بارباکان، مجرا را تمیز می‌کنند، این عمل را «سیخ زدن» می‌گویند.



شکل (۲-۲)

۲-۱ پایداری دیوارها در مقابل واژگونی

حال که با نیروی رانش و گشتاور واژگونی آشنا شدیم، بد نیست اشاره‌ای نیز به عواملی که نیروهای مقاوم کننده را به وجود می آورند، داشــته باشــیم . وزن دیوار، وزن خاک روی پی و عمق پی از عواملی هستند که در مقابل واژگونی مقاومت می‌کنند.

معمولاً دیوارها باید طوری طراحی شــوند که ممــان نیروهای مقاوم حداقل ۱/۵ تا ۲ برابر ممان نیروهای واژگونی باشد.

۱- جداولی است که بر روی آن تعداد زیادی منحنی رسم شده است که با مشخص شدن یک یا دوپارامتر بر روی یکی یا دوتا از محورهای مربع، خطی را به موازات محور دیگر عمود بر محور رســم و از محل تلاقی بر روی هر منحنی خطی عمود بر محور دیگر رســم می کنیم، که عدد به دســت آمده‌ی پارامتر دیگر را مشخص می‌کند (به منظور عدم استفاده از فرمول های مشکل).

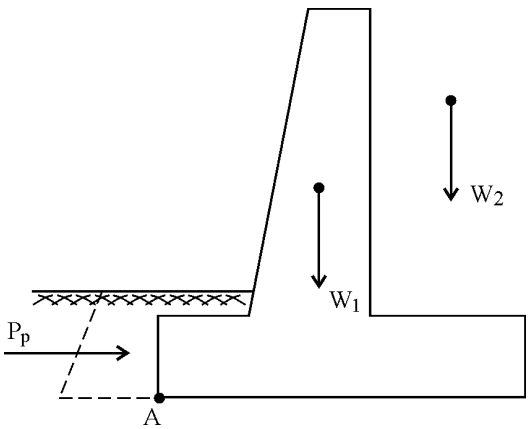
$$F.S=\frac{m_r}{m_o}>1.5$$

شکل (۲-۳)

W_1= وزن دیوارکه برای هر قسمت به مرکز ثقل آن اعمال می‌شود و

W_2 = وزن خاک روی پاشنه‌ی پی

P_p = نیروی پاسیو حاصل از خاک جلوی دیوار



شکل (۲-۳ الف)

شـــکل (۲-۴) نشـــان دهنـــده‌ی دیوار ضامن می باشـــد. در این شـــکل دیوار ضامن تیپ، بـــا پارامتر های a، b، A و H مشخص شده است. پارامترهای مذکور به ترتیب نمایانگر :

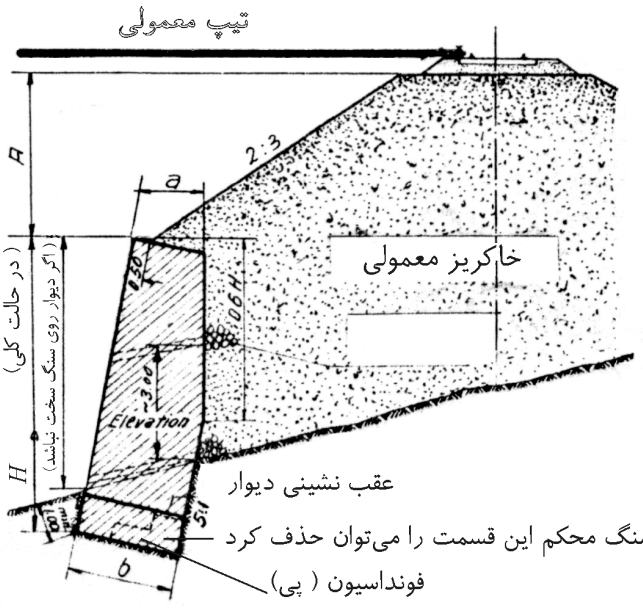
a = ضخامت بالاترین نقطه‌ی دیوار

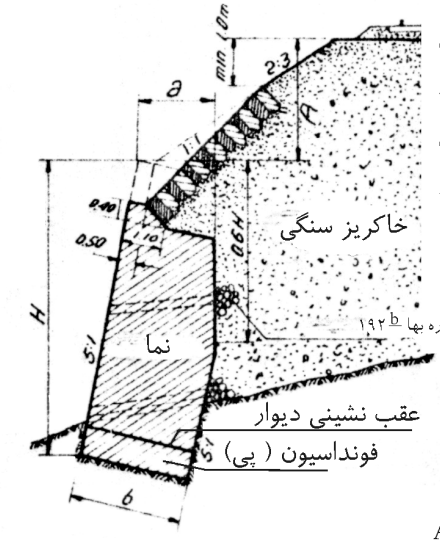
b= ضخامت پایین‌ترین نقطه‌ی دیوار

A= بلندی (ارتفاع) خاکریز از روی دیوار تا زیر بالاست

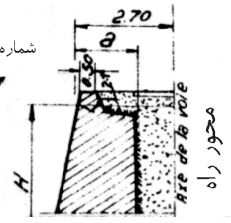
H= ارتفاع کل دیوار (ملاحظه می‌گردد قسمت بیرونی دیوار با شیب ۱: ۵ ساخته می شود . حداقل ارتفاع پی‌کنی یک متر می باشد و فاصله‌ی قائم بارباکان‌ها از هم تقریباً ۳ متر منظور شده است.

دیوار نگهبان





در حالتیکه شیب شیروانی خاکریز از $\frac{۲}{۳}$ بیشتر باشد جهت تعیین ضخامت‌های a و b ارتفاع H در نظر گرفته می‌شود

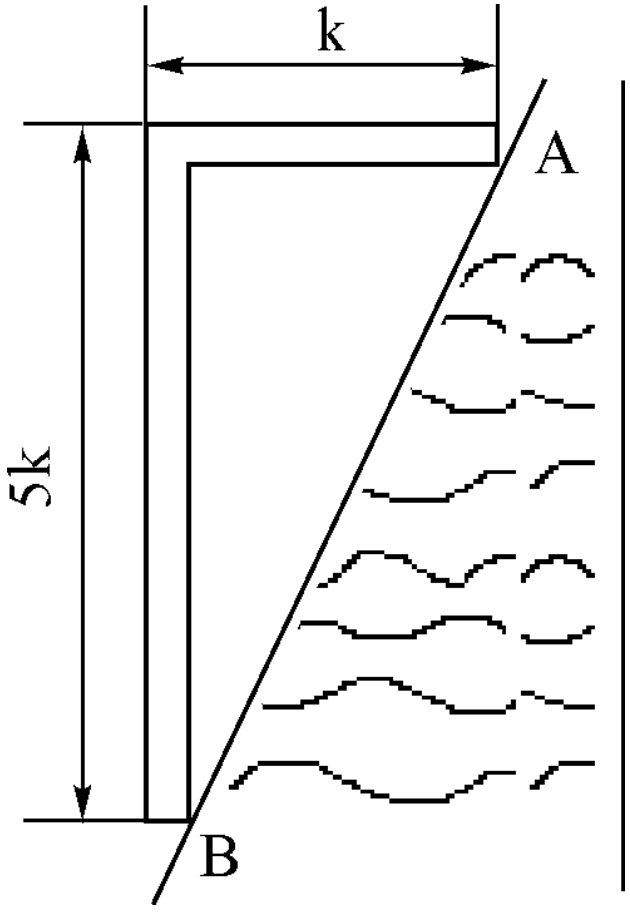


فرم تاج دیوار در حالت $A = ۰$

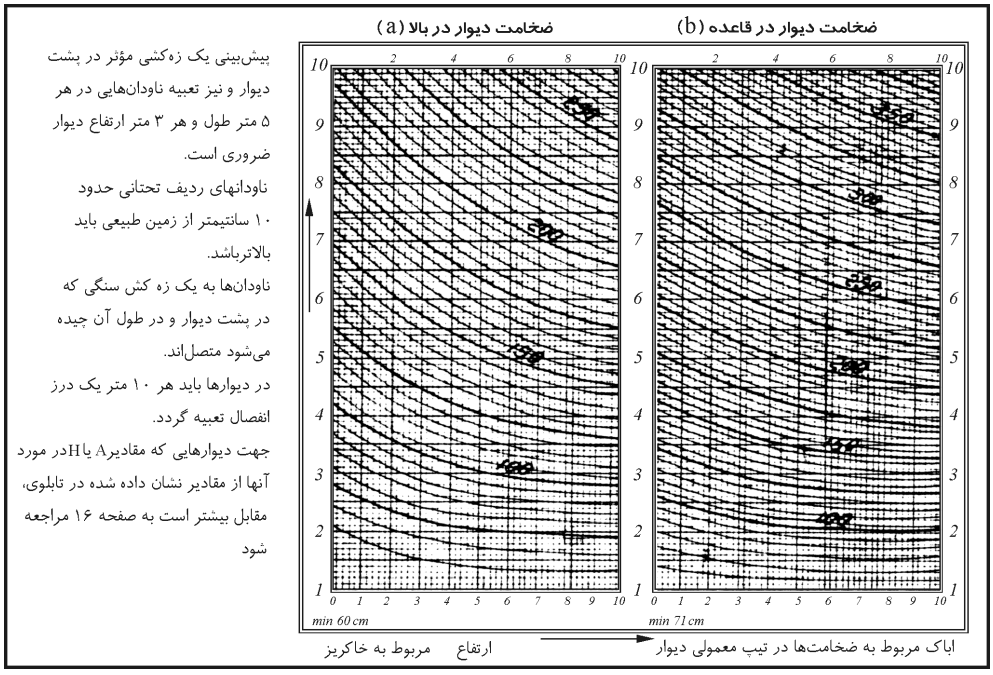
شکل (۲-۴): دیوارهای ضامن

در دیوار (شـــکل بالا) خاکریز معمولی اســـت. درشـــکل پایین خاکریز دارای ســـنگ (دج) می باشد؛ لذا شیبِ قسمتی از خاکریز از $\frac{۲}{۳}$ به $\frac{۱}{۱}$ تغییر پیدا کرده است و بالاخره برای A=o در پایین ترین قسمت شـــکل، مشـــخصات داده شده اســـت . آباک مربوطه ضخامت a وb را با در دست داشتن A وH معلوم می کند (شکل ۲-۵).

در اجرای دیوار برای ایجاد شیب ۵:۱ جلوی آن شابلونی درست می‌کنند و آن را در محل فنداسیون دیوار نصب نموده و ریســـمانی را در امتداد نقاط A و B می‌کشـــند تا با امتداد سطح بیرونی دیوار تنظیم گردد، شکل (۲-۴ الف). چیدن سنگهای دیوار در امتداد ریسمان می باشد.



شکل (۲-۴ الف)



شکل (۲-۵): آباک

مثال (۲): فرض کنیم H=6 و A=3 می باشد؛ عرض a و b را در بالا و پایین دیوار ضامن با استفاده از آباک شکل (۲-۵) تعیین نمایید.

حل: با استفاده از آباک، H=6 را در روی محور قائم و A=3 را در روی محور افقی انتخاب می کنیم؛ محل تلاقی آنها a=155 سانتی متر را می دهد؛ به همین نحو درمورد b عمل می‌کنیم.

b=223cm ، در اینجا بین a،H وb رابطه‌ای نیز موجود است .

$$b= 0.981(a+ 0.12H)$$

$$b= 0.981(1.55+0.12\times 6)=2.23\ m$$

a بدست آمده برابر فاصله افقی دیوار است. برای این‌که فاصله‌ی بالای دیوار را حساب کنیم از نسبت $\frac{۱}{۵}$ کمک می‌گیریم؛ زاویه a در بالا برابر زاویه a شیب دیوار است (در اینجا اضلاع برهم عمودند)، لذا از تشابه‌ی مثلث ها نتیجه می شود:

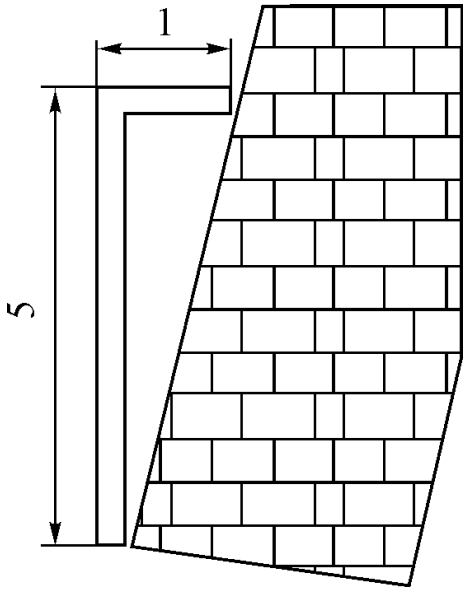
$$\frac{1}{5}=\frac{x}{1.55}=x=0.31$$

$0.3^2+1.55^2=y^2$- $y=1.58$

رجوع شود به شکل (۲-۶)

$0.6H=0.6\times6=3.6$

$3.6-0.31=3.29$



شکل(۲-۶)

مثال (۳): حساب کنید حجم دیوار مثال قبل را در صورتی که طول آن یک متر باشد.

طول دیوار= $\sqrt{6^2+1.2^2}=6.12$

$$V=6.12^2\times23\times1-1\times\left(\frac{(2.23-1.58)\times\sqrt{3.29^2-(2.23-1.58)^2}}{2}\right)$$

$V=12.60\ m^3$

مثال (۴): چنانچه دیوار مثال قبل ۲۰٪ حجم ملات و ۸۰٪ سنگ داشته باشد، مقدار حجم ملات و حجم سنگ را حساب کنید .

حجم ملات = $12.60\times0.2=2.52\ m^3/m$

حجم سنگ = $12.60\times0.8=10.08\ m^3/m$

توجه شود که اعداد بالا برای یک متر طول دیوار بدست آمده؛ حال چنانچه صد متر دیوارکشی لازم باشد، اعداد بالا در ۱۰۰ ضرب می شود.

باربا‌کان های این نوع دیوارها با فاصله ی افقی ۵ متر و فاصله ی قائم ۳ متر از هم قرار دارند. مسلم است که پایین ترین باربا‌کان در حدود سطح زمین است؛ فاصله پایین ترین باربا‌کان تا زمین طبیعی باید تقریباً ۱۰ سانتی متر باشد. در پشت باربا‌کانها برابر طول دیوار، قلوه سنگ جهت زهکشی قرار داده شده است. دیوارها در هر ده متر طول یک درز انبساط باید داشته باشند تا جلوی کشش ایجاد شده در اثر افت و خزش را بگیرد.

توضیح : چنانچه تمام طول دیوار یکسره اجرا گردد، در اثر انبساط و انقباض ترکهایی در آن ایجاد خواهد شد؛ لذا لازم است طبق نقشه ی بحث شده در فواصل ۱۰ متری درز گذاشته شود. این درز معروف به ژوئن است؛ چنانچه دیوار آسیب ببیند بازسازی طول ده متر آسان تر از کل دیوار خواهد بود. فاصله ی بین دو ژوئن را یک «کامپا دیوار» می گویند. ژوئن در کلیه ی ابنیه فنی نظیر تونل... و حتی ساختمانهای بزرگ فلزی و بتن آرمه کار گذاشته می شود و همان طورکه توضیح داده شد، قسمت های مختلف را از هم جدا می کند، که این مسئله باعث می‌گردد تنش یک قسمت به قسمت دیگر تحمیل نگردد. لازم به ذکر است که ژوئن نقش ترک عمدی در ابنیه را دارد و در صورت چشم پوشی از آن، ترکهای نامنظم بوجود خواهد آمد.

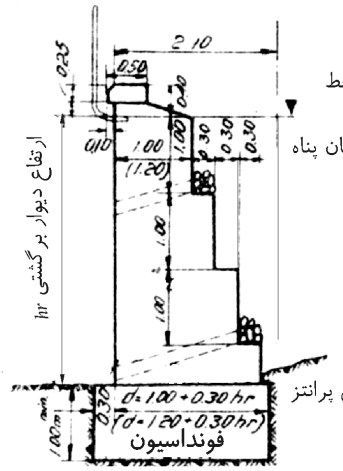
۲-۲ دیوار برگشتی

این نوع دیوارها جاهایی بکار می روند که مسیر دارای شیب عرضی خیلی تندی باشد و امکان ساختن دیوار ضامن وجود نداشته باشد و نیز در پل هایی که جریان قوی آب موجود نباشد.

جلوی دیوار، خاکریز ادامه پیدا می کند؛ گاهی جهت جمع کردن پای خاکریز از دیوار ربع مخروطی استفاده می‌گردد. شکل (۲-۷) جزئیات دیوار برگشتی را نشان می دهد؛ حداکثر مقدار hr شش متر و حداقل ارتفاع پی یک متر می باشد؛ سایر فرمولها چنین است :

$$d=1.00+0.3hr$$

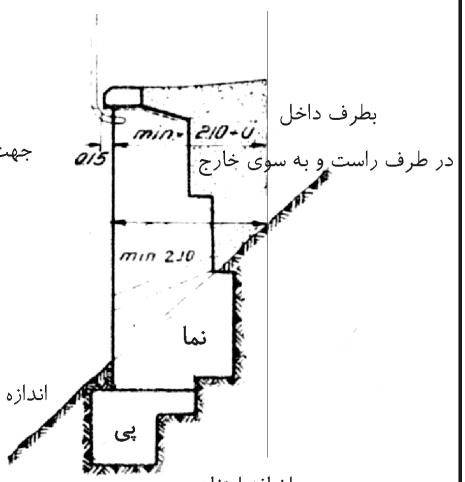
تیپ: دیوار برگشتی - ارتفاع ماکزیمم = ۶ متر



بستر خط

جهت نصب جان پناه

مربوط به کنار خارجی می باشد در قوس با شعاع کوچکتر یا مساوی ۱۰۰۰۰ قرار دارد

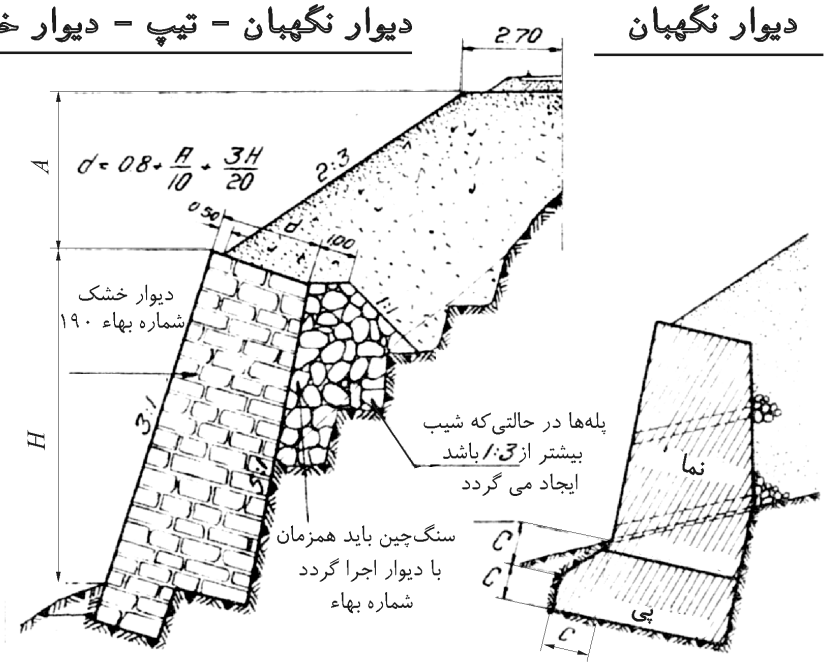


اندازه های داخل پرانتز

اضافه ارتفاع

دیوار نگهبان - تیپ - دیوار خشک

دیوار نگهبان



شکل (۲-۷): دیوار برگشتی

فرمولهایی که در داخل پرانتز در شکل نوشته شده اند مربوط به قوس با شعاع کمتر از ۱۰۰۰ متر می باشد.

مثال (۵): فرض کنیم hr=۳m و دیوار برگشـــتی در خط مســـتقیم، حال مطلوب است محاسبه‌ی حجم دیواری به طول یک متر.

$d=1.00+0.3\times3=1.9$ متر

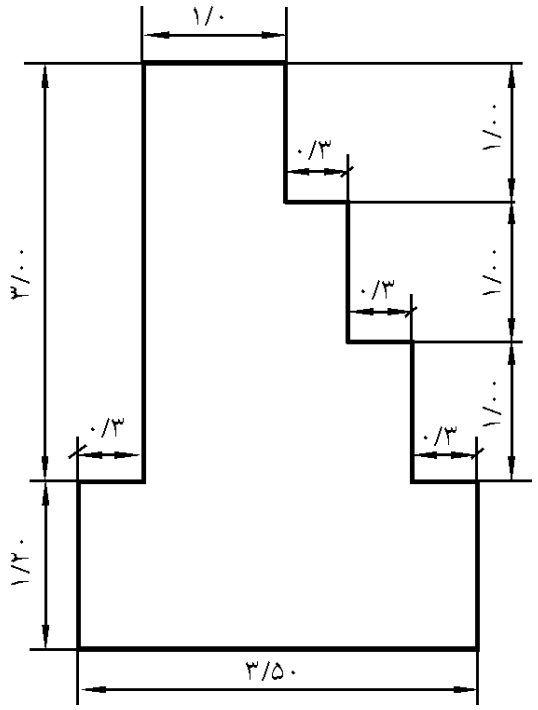
طول فوندانسیون $=2.5=0.3\times2+1.9$

جهت رسیدن به زمین سفت و مطمئن ۰/۲ متر بیشتر کنده شده است ارتفاع فوندانسیون $=1.2$

$V=3\times1\times1+0.3\times2\times1+0.3\times1\times1+2.5\times1.20=6.90 \quad m^3/m$

حداقل فاصله‌ی ضلع بیرونی این دیوار از محور خط، در حالی که خاکریز همسطح دیوار باشد ۲/۱۰ متر می باشد. چنانچه خاکریز، اختلاف ارتفاع قابل توجهی نسبت به دیوار داشته باشد طول ناشی از آن ۲/۱۰ متر اضافه می‌گردد. این اضافه عرض در شکل (۲-۷) با ü نشان داده شده است :

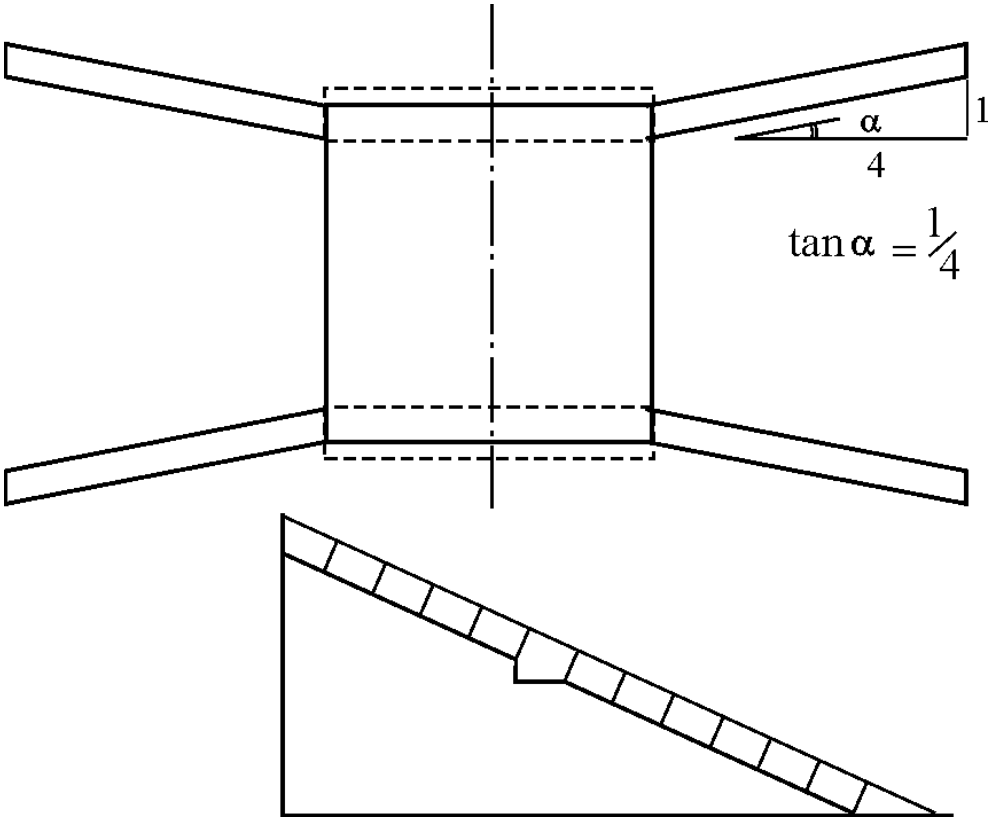
$D_{min}= 2.10 + ü$



شکل (۲-۸)

۲-۳دیوار بالی

دیوارهای بالی در دو طرفین پلها برای هدایت آب و نگهداری پاشنه‌ی خاکریز به صورت بتنی و یا سنگی احداث می شـــوند. این دیوارها به صورت مثلث قائم الزاویه بوده که بر حســـب ارتفاع پل ، قاعده و وتر آن تعیین می شـــوند و شـــیب آن تابع خاکریز اســـت ضمناً این دیوارها نســـبت به امتداد پایه‌ها نیز زاویه دار می‌باشند و جهت زیبایی ظاهری در روی آن قرنیز نصب می‌گردد.



شکل (۲-۸ الف)

۲-۴ دیوار ضامن با خشکه چینی پشت

چنانچه شیب طبیعی زمین خیلی زیاد باشد از دیوار ضامن با خشکه چینی پشت استفاده می‌گردد ، شکل (۲-۹). در این نوع دیوار شـــیب پشـــت۳:۱ و شیب جلو ۵:۱ در نظر گرفته شده است. عرض راس دیوار از رابطه ی زیر به دست می آید :

$$d=0.8+\frac{A}{10}+\frac{3H}{20}$$

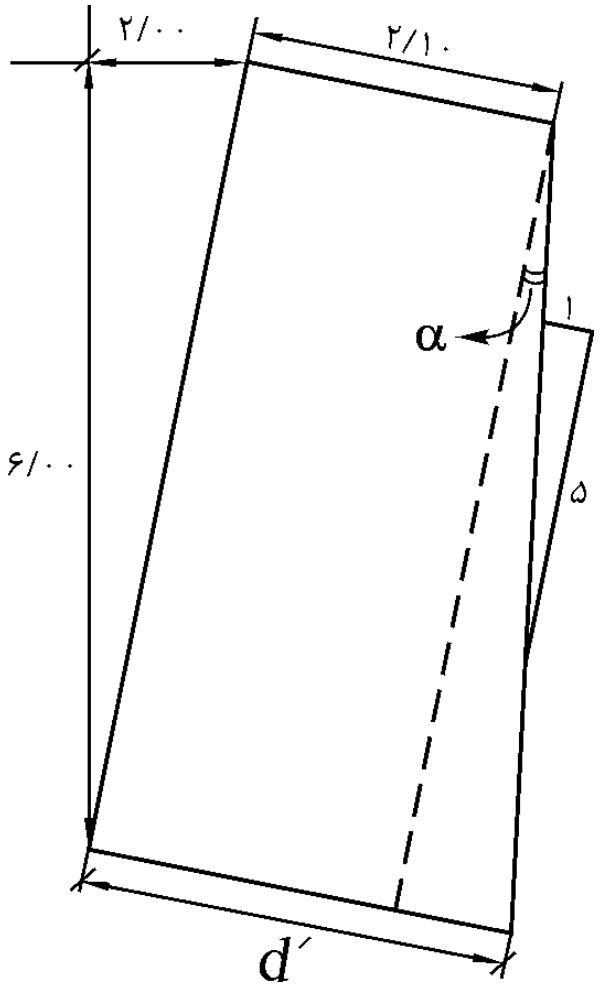
مثال (۶): چنانچه A=۴ و H= ۶ باشد، مطلوب است محاسبه ی ابعاد دیوار و حجم یک متر از آن،

$$d=0.8+\frac{4}{10}+\frac{3H}{20}$$

$$d=0.8+\frac{4}{10}+\frac{3\times6}{20}=2.1m$$

شکل(۲-۹)

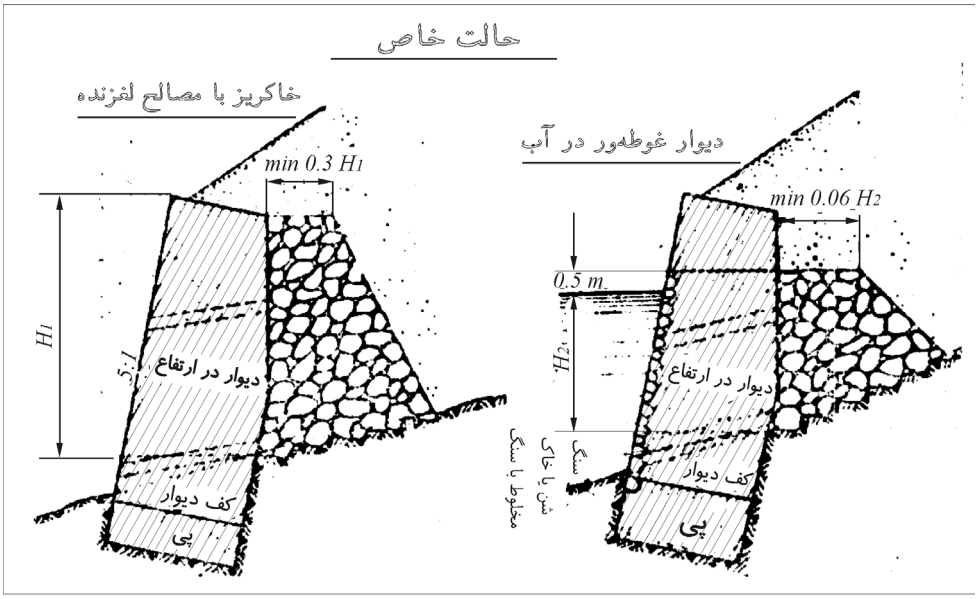
از آنجا که شیب در قسمت جلو ۳:۱ می باشد، لذا عقب نشینی دیوار ۲ متر و ارتفاع قائم آن ۶ متر است. بنابراین از قضیه فیثاغورث ارتفاع مایل آن محاسبه می شود،



شکل (۲-۱۰)

در شکل (۲-۱۱) حالتی از دیوار ضامن نشان داده شده است که خشکه چینی در پشت دیوار به طور کامل پیش بینی شـــده است. این دیوار برای خاکریزی مناسب است که از مواد لغزنده تشکیل شده باشد؛ لذا با خشـــکه چینی، فشـــار وارده به دیوار تخفیف پیدا می‌کند. چنانچه جلوی دیوار آب باشد (دیوار ساحلی)، خشـــکه چینی بیشتری لازم اســـت که برابر $0/6H_2$ می باشد؛ در این جا H_2 حداکثر ارتفاع آب است،که

مطابق آمار و ارقام اعلام شده از طریق وزارت نیرو هر چند سال یک بار اتفاق می افتد.



شکل(۲-۱۱)

شـــکل (۲-۱۲) حالت دیوار را برای خاک با مقاومت پایین مشـــخص می‌کند. اصولاً فشار وارد با خاک در جلو و پایین‌ترین نقطه‌ی دیوار به حداکثر مقدار خود می رسد، زیرا اگر دیوار تعادل نداشته باشد و بخواهد واژگون گردد، حول همان نقطه خواهد چرخید، که در آن صورت گفته می شـــود دیوار تحت اثر گشـــتاور واژگونی ناشی از نیروی افقی رانش خاک و سربار خاکریز و سربار روی خاکریز قرار گرفته و چون مقاومت خاک قابل توجه نبوده نتوانســـته فشـــار وارد را تحمل نماید و لذا جا خالی کرده و دیوار برگشـــته اســـت. جهت جبران این نقیصه، خاک قســـمت اضافی به جلوی دیوار داده شـــده است که با این عمل، هم سطح فوندانســـیون بزرگ شـــده و باعث کاهش فشـــار وارده می‌گردد و هم نقطه ی واژگونی جلوتر رفته و سبب افزایش پایداری دیوار می‌شـــود؛ این قسمت اضافی را «پنجه» می‌گویند . آباک نشان داده شده در شکل (۲-۱۲) برای ارتفاع (H) و بلندی خاکریز(A) تنظیم شده است و منحنی هایی که مقاومت خاک را از یک تا ۱۰ کیلوگرم بر ســـانتی متر مربع نشان می دهد، نیز دیده می شود. همچنین جدولی برای C بر حسب متر داده شده است که مقدار C را (که طول و بلندی پنجه دیوار است) می توان از آن استخراج نمود.

شکل (۲-۱۲)

مثال (۷): برای دیواری که ارتفاع آن شش متر و بلندی خاکریز بالای آن چهار متر است، چنانچه مقاومت مجاز خاک $4Kg/cm^2$ باشـد، بررسـی کنید که آیا پنجه لازم است گذاشته شود و در صورت نیاز مقدار طول و بلندی آن چقدر است ؟

حل : مطابق آباک شـکل (۲-۱۲) برای H=۶ و A=۴ مقاومت خاک ۵/۵ بدسـت می آید و چون مقاومت خاک در این جا ۴ می باشد و کمتر از فشار وارده از طرف دیوار است، پس پنجه لازم است. چنانچه مقاومت مجاز خاک ۵/۵ و یا بیشتر بود، نیاز به پنجه نبود. حال که ضرورت دارد، مقدار آن را از جدول تعیین می کنیم. برای ارتفاع ۶ و A=۴، در حالیکه $G=4Kg/cm^2$ باشد ، مقدار طول و بلندی $C=۰/۲m$ در می آید ، لذا باید در نقشه ی تهیه شده برای دیوار، C را با مقدار به دست آمده منظور و هنگام اجراء پیاده کرد.

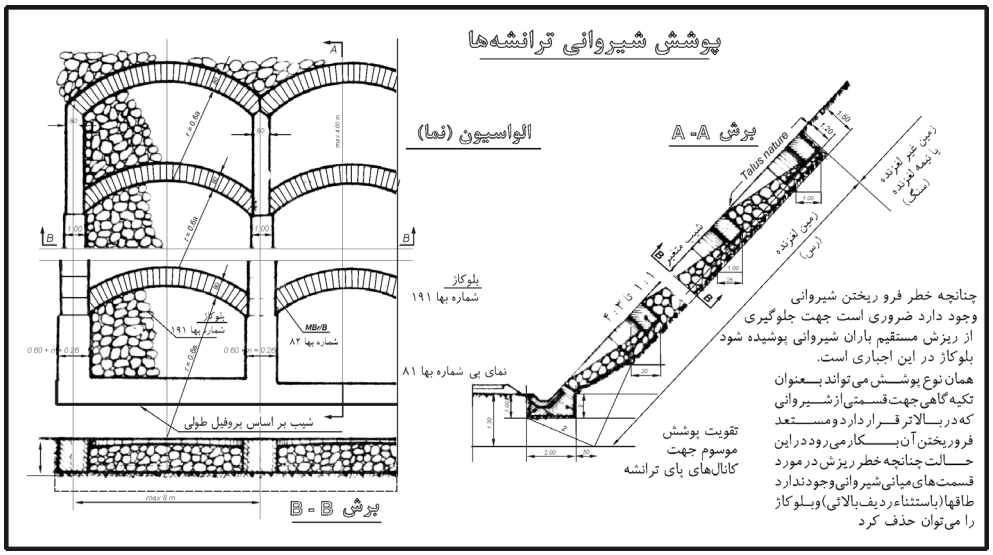
جهت راهنمایی و در شـرایطی که دسترسـی به آزمایشگاه مکانیک خاک نباشد، مقاومت بعضی از خاکها در پایین آمده است.

- تخته سنگ متراکم سخت: ۲۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- تخته سنگ سست: ۱۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- سنگهای یخچالی: ۸ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- شن متراکم: ۶ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- شن و ماسه متراکم: ۴ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- ماسه رسی خشک: ۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- رس: ۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- خاک ، خاکریز (دستی): ۰/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع

تبصره : در حال حاضر آزمایشـــگاه فنی و مکانیک خاک در مرکز اســـتانها در سطح کشور فعال می باشند و جهت آزمایش خاک و مصالح و حتی ســـیمان و تعیین دانه بندی شـــن و ماســـه خدمات ارزنده‌ای ارائه می گردد.

۲-۵ دیوار حائل

چنانچه قبلاً نیز گفته شـــد دیوارهای حائل جلوی ترانشـــه ها و ارتفاعاتی کـــه احتمال ریزش خاک دارد، احداث می شوند. پشت دیوار، طبیعی و دست نخورده است و چسبندگی لازم را دارد، علیهذا ابعاد این نوع دیوار اکثراً از دیوار ضامن کوچکتر است . در مورد دیوار ضامن، خاک چسبندگی لازم را نداشته، از این رو نیروی وارده به دیوار حداکثر مقدار ممکن را در حالت خشک دارد. جهت استفاده از خاصیت چسبندگی خاک، مقادیر بدست آمده از آباک شکل (۲-۵) در ضریبی به نام K ضرب خواهد شد. ضریب K از آباک شکل (۲-۱۳) که بر حسب شیب ترانشه مقدار آن معین می شود، به دست می‌آید.



شکل (۲-۱۳)

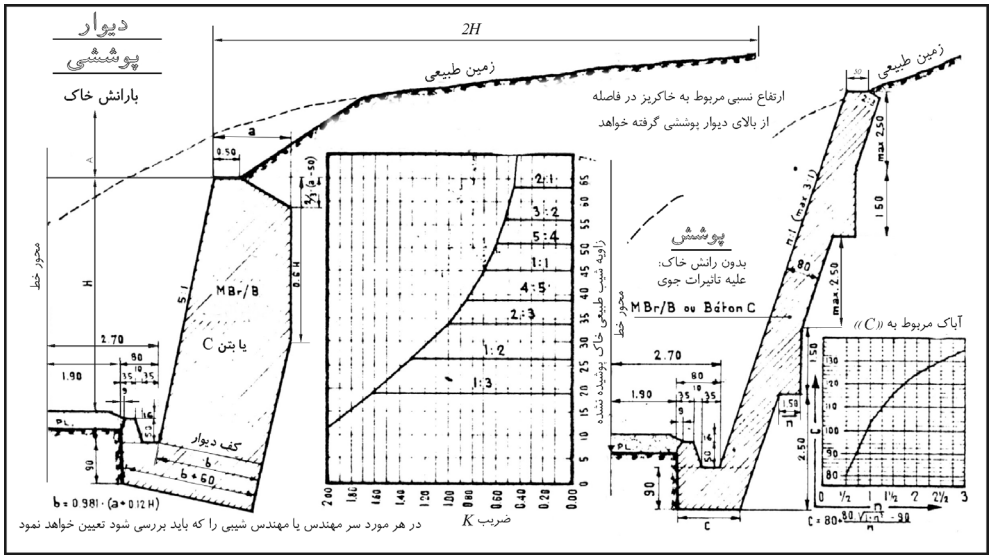
مثال (۸): چنانچه شیب ترانشه ۱:۱ باشد، ضریبی که در مقادیر A و B ضرب خواهد شد، چقدر است؟

حل : چنانچه به آباک شکل (۲-۱۳) مراجعه شود، داریم K = ۰/۷ یعنی ابعاد این دیوار هفتاد درصد ابعاد دیوار ضامن مشابه است و به خاطر چسبندگی خاک در ابعاد دیوار سی درصد کاهش به وجود آمده است .

۲-۶ دیوار پوششی

معمولاً این نوع دیوارها برای پوشش ترانشه هایی که جنس سختی دارند و در مقابل عوامل جوی ناپایدار و هوا زده می‌شوند جهت جلوگیری از هوازدگی و ریزش سطحی ترانشه بکار می روند. فشار وارد به دیوار پوششی خیلی ناچیز است، لذا ابعاد آن برای هر ارتفاعی ۸۰ سانتی متر داده شده است. درشکل (۲-۱۴) شیب دیوار با m:۱ مشخص شده است که حداکثر مقدار آن ۳:۱ است . عرض پایین ترین نقطه ی دیوار با C نشان داده می شود. رابطه ی زیر برای محاسبه ی مقدار داده شده است.

$$C=80+\frac{80\sqrt{1+n^2}-90}{n}$$



شکل (۲-۱۴): دیوار پوششی

مثال (۹): فرض کنیم شیب ترانشه ۲:۱ باشد، مطلوب است محاسبه‌ی ضخامت پایین‌ترین نقطه‌ی دیوار پوششی.

حل : چنانچه شیب ۲:۱ باشد، در آن صورت n=۲ است، پس داریم :

$$C=80+\frac{80\sqrt{1+m^2}-90}{n}$$

$$C=80+\frac{80\sqrt{1+m^2}-90}{n} \longrightarrow ce=124.4cm$$

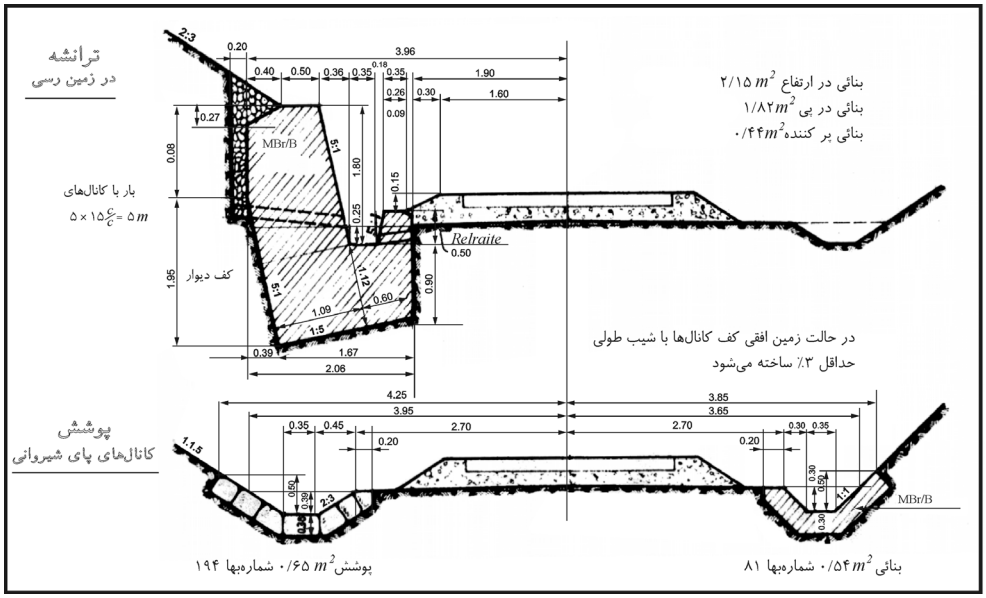
مقدار c را از آباک شکل (۲-۱۴) هم می‌توان بدست آورد؛ بقیه‌ی مقادیر به صورت عددی داده شده است . لازم به یادآوری است که در این نوع دیوار، قسمت متکی به ترانشه صاف نبوده، بلکه پلکانی است و قسمت قائم پلکان ۱/۵ متر و قسمت افقی آن $\frac{1.5}{n}$ می باشد .

مثال (۱۰): با ملاحظه‌ی مثال قبل که شیب ۲:۱ فرض شده، مطلوب است محاسبه‌ی قسمت افقی پلکان دیوار پوششی.

$$\frac{1.5}{m}=\frac{1.5}{2}=0.75$$

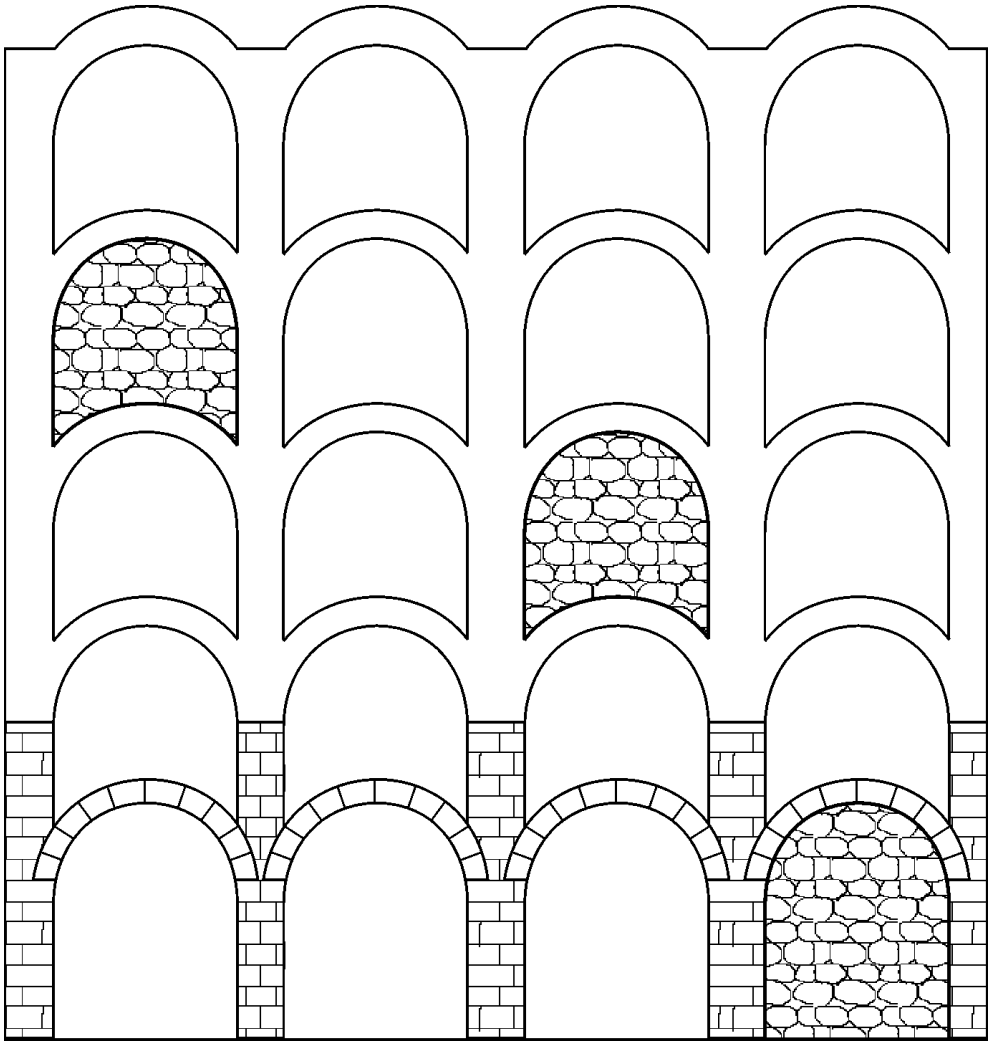
در شکل (۲-۱۵) نمونه «الف» دیوار حائل مربوط به ترانشه‌ای است که مقابل خاک رسی قرار دارد، و همانطورکه در شکل مشهود است جهت درناژ آبهای نفوذی اقداماتی صورت گرفته است و نمونه «ب»

کانال سنگی پای ترانشه است که برای هدایت آب احداث می گردد. این نوع کانالها در جهت طولی، حداقل شیب سه درهزار (۰/۰۰۳) را باید دارا باشند . در غیر این صورت آب به پایین نفوذ کرده و خاکریز خط را مرطوب و کانال را تهدید به یخبندان و انهدام می کند. در این موارد از شیب خط و با استفاده از پروفیل طولی استفاده می شود و جهت کانال و محل تخلیه، آب را طوری تنظیم می‌نمایند که منظور فوق عملی گردد. در زمان احداث راه آهن، ملاحظات و مطالعات لازم به عمل آمده و آبهای حاصل از بارندگی را از طریق کانالهای فوق الذکر به خط القعر هدایت می نمایند.



شکل (۲-۱۵): دیوار حائل

شکل دیگر از دیوارهای پوششی به صورت پنجره‌ای است که در مناطق کوهستانی راه آهن استفاده شده است. این نوع دیوارها به وسیله ی سنگ مالون و یا ترکیبی از سنگ و پونزهای بتنی ساخته می شوند و در بین پنجره ها نیز عموماً با سنگ لاشه خشکه چین می کنند که هدف از بکار بردن این نوع دیوار، صرفه جویی در مصالح و عملیات اجرایی می باشد .



شکل(۲-۱۶): دیوار پوششی با خشکه چینی

۲-۷ شات کریت

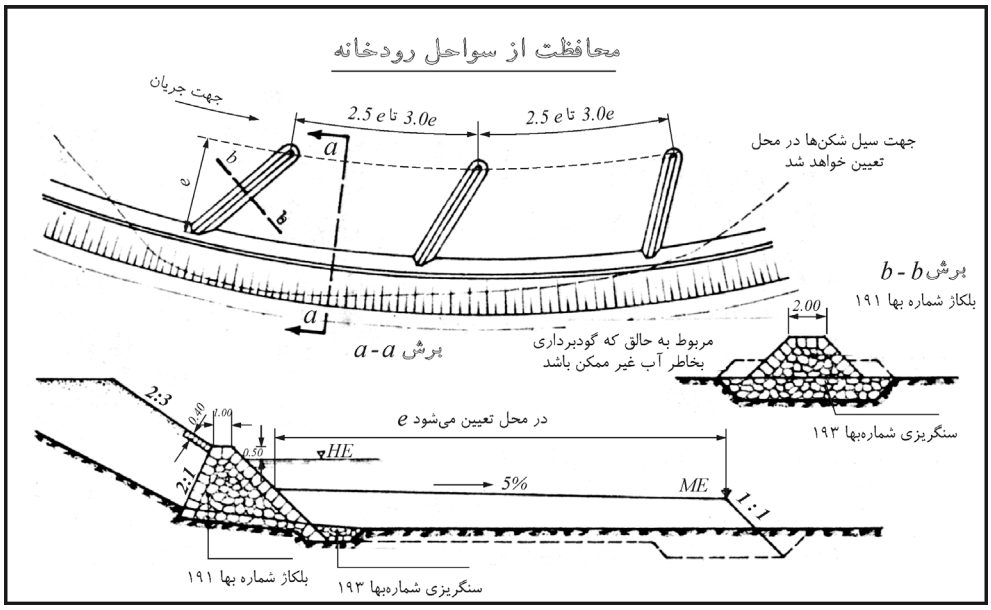
بعضی از ترانشـــه های ســـنگی در مقابل عوامل جوی ناپایدار و ســـریعاً هوا زده شده و ریزش می‌کنند و از طرفی سطح ترانشه نیز گسترده بوده و اجرای دیوار نیز مقرون به صرفه نمی باشد . در این گونه موارد از

عملیات شـــات کریت که مخلوطی اســـت از ملات بتن، مواد افزودنی دیگر و الیافهای فلزی با فشار بر روی ســـطوح ترانشـــه که در یک یا چند نوبت اجرا می‌کنند. این عمل باعث می شـــود که ترانشه از هوازدگی و ریزش مصون بماند.

۸-۲ دیوار ساحلی و سیل برگردان

ایـــن نـــوع دیوارها در ســـاحل رودخانه جهت هدایت آب به دهانه‌ی پـــل و در محل‌هایی که خاکریزی در نزدیک رودخانه قرار دارد و امکان شسته شدن آن در اثر جریان رودخانه وجود دارد، به منظور حفظ پاشنه‌ی خاکریـــز، رفـــع آب از کناره‌ی آن و جلوگیری از پخش آن در مواقع طغیان رودخانه معمولاً در منتهی الیه ســـاحل احداث می شـــوند. گاهی که دیوار قوسی شکل باشد ، جریان شدید آب در مواقع بارندگی و سیل باعـــث ضربه زدن به دیوار می‌گردد، لذا جهت جلوگیری از خطرات، دیوارهای ســـیل برگردان پیش بینی می شـــود که با زاویه‌ی حاده در کنار دیوار ســـاحلی قرار دارند. طول مفید دیوار سیل برگردان e و فاصله آنها از هم برابر ۲/۵ الی۳e خواهد بود.

زاویـــه‌ی دیـــوار اولی حدود ۴۵ درجه، دومی نزدیک به ۶۰ درجه و ســـومی قریب ۷۵ درجه می باشـــد . اولین دیوار بیشـــتر در معرض فشـــار و سرعت آب است، لذا زاویه‌اش طوری انتخاب شده که نیروی وارده باعث خرابی آن نگردد. در دیوارهای بعدی انرژی آب به مقدار زیادی مهار شـــده و به صورت آرام وارد پل می‌گردد . لازم به یادآوری اســـت که دیوارهای ســـیل برگردان درکاهش طغیان آب که ممکن است باعث ضربه زدن به پایه های پل گردد، اثر بسزایی دارند. دیوارها با شیب طولی۵ ٪ ساخته می شود. از این نوع دیوارها جهت جلوگیری از شسته شدن خاکریز هم استفاده می‌گردد. به لحاظ این‌که در فاصله‌ی دیوارها آب حرکت نداشـــته و ســـاکن است، لذا رسوبات خود را ته نشین نموده و به مرور فاصله‌ی بین دیوارها به وسیله‌ی خاک پوشانده شده و حتی روی آن سبز می شود.



شکل (۲-۱۷): دیوار ساحلی

۲-۹ دریواسیون

اغلب آبهای حاصل از بارندگی، ترانشـــه ها را خیس نموده، باعث ریزش آنها می شـــوند یا با سرازیر شدن به طرف خط، تهدیدی به ایمنی مسیر محسوب می شوند . علیهذا جهت هدایت این آبها به محل مناسب در محل های قابل اجراء و موجود در روی ترانشه، کانالهای شنی یا سنگی ایجاد و کلیه‌ی این کانالها را به دهانه ی پلی یا آبرویی هدایت می نمایند. این عمل را « دریواســیون» می‌گویند. در شـــکل (۲-۱۸) نمونه ای از آن نشان داده شده است .

شکل (۲-۱۸)

۲-۱۰ زوال ریزی

در ترانشـــه ها و دامنه ی کوههای بالای مســـیر راه آهن، ســـنگهای معلق وجود دارند که در اثر بارندگی و شسته شدن اطراف آن، ریشه‌ی سنگ در داخل سطح کوه، رفته رفته کوتاه تر شده و احتمال خطر ریزش و ســـقوط آنها وجود دارد. متاســـفانه معمولاً سقوط سنگهای "لق شـــده" موقع عبور قطار و ایجاد ارتعاش ناشـــی از حرکت اتفاق می افتد که خود باعث تشـــدید سانحه می‌شود. علی هذا در مورد این نوع سنگ ها روشهای زیر اعمال می شود:

۱- چنانچه میزان لقی سنگ کم باشد، زیر آن را به وسیله‌ی سنگ و مصالح به عنوان پایه می بندند و به این ترتیب ایستایی سنگ افزایش می یابد.

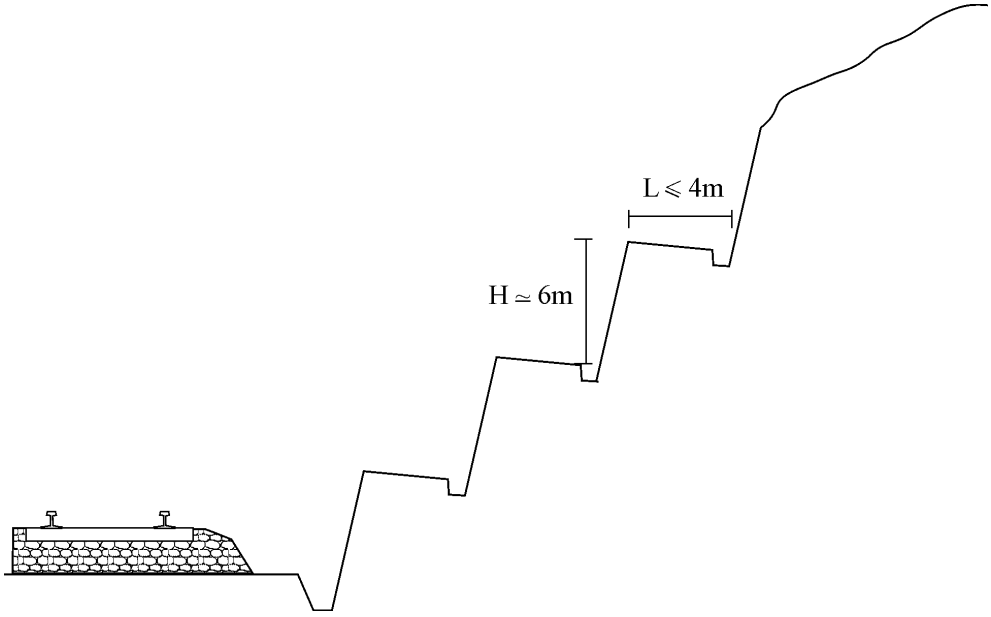
۲- چنانچه میزان لقی ســـنگ زیاد باشـــد یا دسترســـی به آن در رابطه با حمل مصالح مشکل باشد؛ پس از پوشـــاندن روی خـــط با اســـتفاده از نیروی انســـانی آن را جابجا می‌کنند. این عمـــل را « زوال ریزی» می‌گویند. پس از اتمام زوال ریزی و دور کردن سنگ های روی خط نسبت به کنترل سلامت ریل و سایر

ادوات روسازی خط، اقدام و پس از حصول اطمینان نسبت به آزادی خط و عبور و مرور قطارها مساعدت لازم معمول می گردد.

۲-۱۱ برم زنی

در بعضی از ترانشـــه های بلند که دارای چند شـــیب متفاوت بوده و ترکیب آن نیز به شـــکلی باشد که در مقابل عوامل جوی هوا زده و ریزش کنند، جهت جلوگیری از ریزش به داخل خط و همچنین جمع آوری ســـطحی، بر حســـب ارتفاع ترانشه « برم زنی» انجام می‌دهند. بدین ترتیب که در چند نقطه پلکان ایجاد می نمایند. عرض این برم ها در ارتفاع کمتر و در پایین بیشتر است .

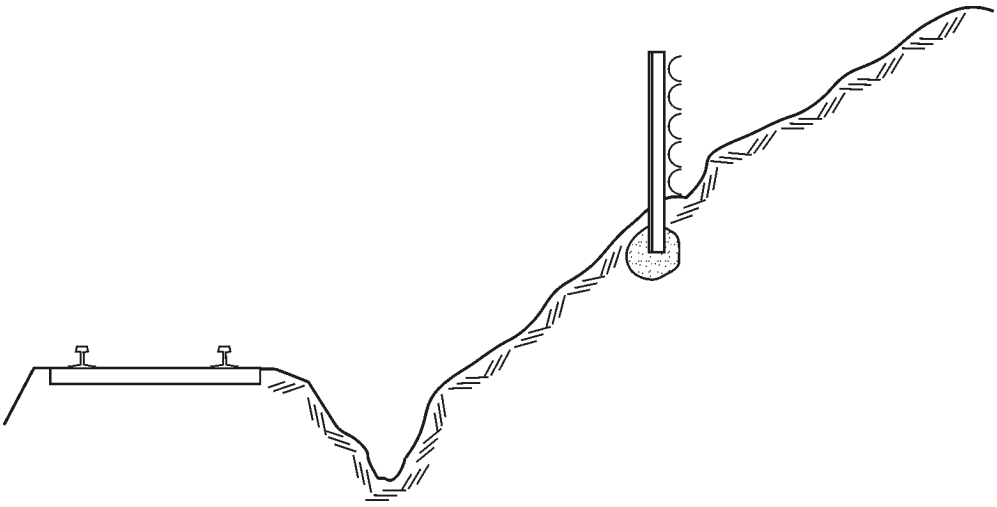
ضمناً برمها را با شـــیب معکوس نســـبت به شیب ترانشه و منتهی به کانال تخلیه‌ی آب احداث می نمایند تا دفع آبهای سطحی سریع تر صورت بگیرد . همچنین لازم است در طول سال از برمها و کانالها بازدید و در صورت ریزش و پر شدن کانالها لایروبی شوند.



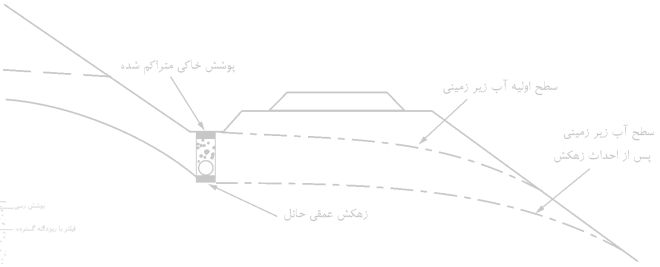
شکل (۲-۱۹)

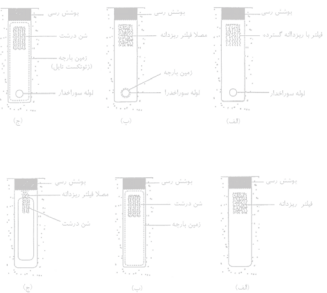
۲-۱۲ دیوارهای بهمن گیر

در نقاط برفگیر راه آهن، جهت جلوگیری از انباشـــته شـــدن برف در روی خط با اســـتفاده از تراورس های فلزی فرســـوده و ریل فرسوده، موانعی در مسیرهای شناخته شده ی برفگیر نصب می گردد که عملاً نتایج مفیدی در جلوگیری از مسدودی خط ایجاد می نمایند . نمونه ی این دیوارها در نقاط کوهستانی راه آهن از جمله حوالی ایستگاه گدوک نصب گردیده است.



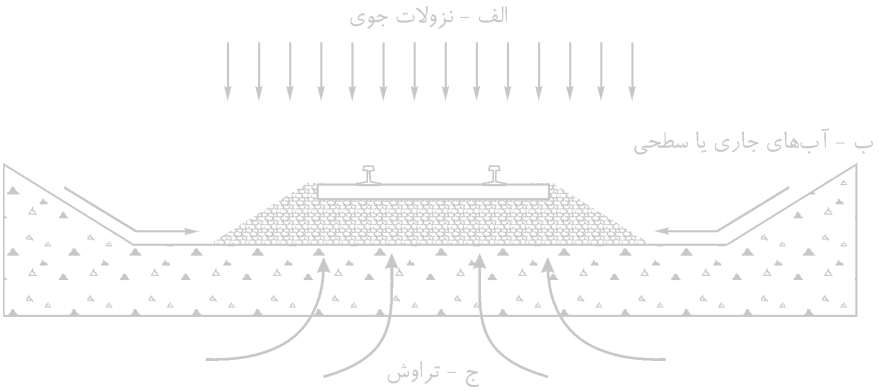
شکل (۲-۲۰): دیوار بهمن گیر

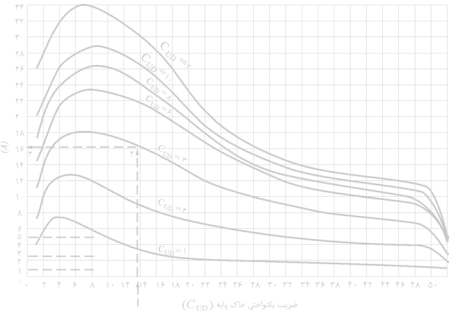




فصل سوم

زهکشی





۳-۱ کلیات

به طورکلی عمل جمع‌آوری، تخلیه و دور کردن آبهای تحت الارضی را که باعث تخریب، تضعیف و تغییر وضعیت ابنیه فنی و حفاظتی می‌گردند « زهکشی یا درناژ» (DRAINANE) می نامند.

هـر چنـد که آب یکی از مـواد اصلی در احداث ابنیه فنی اسـت ولی در مواردی باعـث تخریب آنها نیز می شـود. نفوذ آب در سـطح زیر پی ابنیه فنی باعث جابجایی ، نشست و تخریب در اثر یخبندان و غیره می شود. وجود آبهای تحت الارضی در زیر خاکریز باعث جابجایی و در مواردی حتی نشست های سریع در خاکریز می‌گردد، این نشست ها در بعضی مواقع منجر به خروج قطار از خط نیز می شود.

شـکل خاکریز از لحاظ شـیب عرضی پلاتفورم و شـیب های طرفین خاکریز موسـوم به شیروانی طوری انتخاب شده است که آبهای بارندگی را سریعاً رد نموده و مانع از نفوذ آن به جسم خاکریز می‌گردد. جهت تسریع در این امر بالاست کمک قابل توجهی می نماید و آبهای تخلیه شده به وسیله‌ی کانالهای طرفین خط و شـیب طولی مطابق با شیب مسـیر به محل مناسبی هدایت می شوند. در حقیقت این عمل را نیز می توان "درناژ " نامید، منتها زهکشـی به معنی عام بیشـتر مربوط به آبهای زیرزمینی و نحوه ی کشف و هدایت آنها می شود.

آبهای زیرزمینی در مسیر نفوذ خود وقتی به لایه‌های مقاوم و غیر قابل نفوذ می رسند، توقف نموده و لایه‌های مجاور خود را به خصوص اگر از جنس رس و مشابه آن باشد، مرطوب نموده و باعث حرکت آنها می شوند. نفوذ آب در خلل و فرج خاک باعث روانی بیش از حد آن شده، اصطکاک موجود بین ذرات خاک را کاهش و باعث می شود که بستر تحمل فشارهای وارده از طرف ترافیک را نداشته و جهت رسیدن به حالت تعادل حرکت کند. این حرکت ها که معمولاً هم در جهت عمود بر بستر و هم در جهت شاقولی اتفاق می افتد، بخصوص در مسـیر راه آهن، دقت لازم جهت حفظ اندازه‌های اسـتاندارد و مورد نیاز را بهم می زنند که بعضاً شعاع قوس موجود را تغییر داده یا در مسیر مستقیم قوس ناخواسته ایجاد می کنند.

بعضاً آبهای بارندگی در بسـتر کاملاً مسـطح نفوذ کرده و باعث روانی خاک اطراف محور راه آهن شـده و ثبـات بسـتر را تهدیـد می کند بـه طوری که نگهـداری خط در آن نقطه دشـوار می شـود. حتی در زمین های زراعتی بالا بودن سـطح آبهای زیرزمینی باعث می شـود که محصولات زراعی از بین رفته و محصول مفیدی بدست نیاید. مشکلات اخیر را می توان با عمل زهکشی و دور کردن آبهای تحت الارضی و پایین بردن سطح آن احیا نمود.

در مسیر راه آهن و در زمان احداث آن در نقاطی که آبهای تحت الارضی، موجود و امکان ایجاد خطر متصور باشد درناژ احداث می گردد و محل آن در پروفیل طولی مسیر درکیلومتر مربوطه قید می شود. در واقع اهمیت درناژ از سایر ابنیه فنی و حفاظتی، اگر بیشتر نباشد، کمتر نیست . به مرور درناژ در اثر وقوع زلزله، حرکت لایه ها و سایر عواملی که بعداً شرح داده خواهد شد غیر قابل استفاده می گردد و اصطلاحاً "کور" می شود و یا این که وضعیت زمین طبیعی عوض می شود و آبهای تحت الارضی در نقاطی تجمع می کنند، لذا جهت احیاء درناژ قدیمی و کور و یا ایجاد درناژهای جدید نیاز به مطالعه و اتخاذ روشهای علمی می باشد. هر چند که بیشتر روشهای بکار رفته در امر زهکشی تجربی است ولی اصول علمی و فنی حاکم بر آن نیز قابل ملاحظه می باشد . در این فصل تلاش بر این است که ضمن بررسی روشها و دستورالعمل ها و استانداردهای موجود، با آئین نامه ی زهکشی- که اخیراً تدوین شده است- نیز آشنایی حاصل گردد و در انتها نیز با ذکر چند مثال از نحوه‌ی اجرای عملیات و وضعیت زهکشهای موجود راه آهن مطالبی بیان گردد.

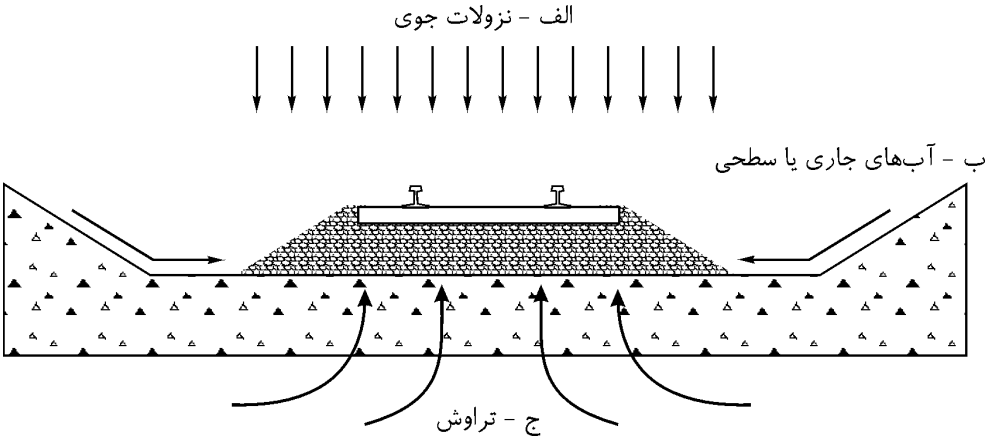
۳-۱-۱ نفوذ آب

سه منشاء اصلی ورود آب به جسم راه آهن در شکل (۳-۱) نشان داده شده است . این سه منشاء عبارتند از :

الف – نزولات جوی که مستقیماً بر روی راه می بارد،

ب – آبهای جاری بر روی دامنه های مشرف به راه که خود حاصل بارندگی و یا تراوش آب های زیر زمینی هستند،

ج – آبهای زیرزمینی در زیر بستر راه که تحت تاثیر بار آبی (گرادیان) رو به بالا و یا کشش موئینگی قرار دارند.



شکل (۳-۱): سه منشاء اصلی نفوذ آب به جسم راه آهن

به علت تخلخل زیاد بالاست ، آبهای ناشی از بارندگی در داخل لایه‌ی بالاست نفوذ کرده و به سطح بستر آن (سطح فوقانی لایه‌ی زیر بالاست) می رسد. آبهای جاری در سطح دامنه های بالادست نیز در صورتی که منحرف نشود، وارد لایه ی بالاست و یا بدنه ی راه خواهند شد . در نهایت آبهای زیرزمینی می توانند در اثر فشـــار آرتزین و یا به واســـطه ی کشـــش موئینگی لایه های خاک ریزدانه به جســـم راه نفوذ کرده ، مقاومت و پایایی آن را کاهش دهد.

۳-۱-۲ شناخت منابع نفوذ آب

با توجه به این که زهکشـــی آبهای ناشـــی از هر کدام از سه منبع مذکور در بند (۳-۱-۱) روش های خاص خود را دارد ، لازم است در مرحله ی مطالعات اکتشافی ، این سه منبع به دقت شناخته شود.
عوامل اصلی مورد مطالعه برای این منظور عبارتند از: شرایط جوی ، وضعیت آبهای زیرزمینی ، ویژگیهای ژئوتکنیکی زمین و مصالح خاکریزها و توپوگرافی زمین قبل و بعد از اجرای پروژه .

۳-۱-۳ سیستم زهکشی

سیستم زهکشی دائم برای بدترین شرایط محتمل از لحاظ میزان بارندگی و بالاترین تراز آبهای زیر زمینی طراحی می‌گردد. سیستم زهکشی موقت (حین اجرا) نیز با توجه به عوامل فوق و بر اساس مرحله بندی عملیات اجرایی و فصول اجرا طرح می شود.

در طراحی سیستم زهکشی ، به ویژه در موارد مرتبط با جریان و تراوش آبهای زیرزمینی ، استفاده از تخصص مهندسان ژئوتکنیک با تجربه ضرورت دارد.

با توجه به نقش اساسی نگهداری و ترمیم در کارائی سیستم های زهکشی ، لازم است که این دو عامل در مرحله ی طراحی به خوبی مورد توجه قرار گیرند.

اجرای سیستم زهکشی شامل: احداث نهرها ، آبروهای باز و یا بسته ، لوله گذاری سطحی و زیر سطحی، تهیه و ریختن مصالح فیلتر و زهکش ، انحراف و تنظیم جریان آب انهار موجود ، مسیل ها و رودخانه و سایر کارهای تکمیلی باید مطابق نقشه ها و دستور دستگاه نظارت انجام گیرد.

۳-۲ انواع زهکشی

به طورکلی، زهکشی آبها به دو طریق صورت می گیرد:

- زهکشی آبهای سطحی
- زهکشی آبهای زیر سطحی یا زیر زمینی

کاربری ها و شرایط این دو نوع زهکشی در ذیل به طور جداگانه ارائه می گردد.

۳-۲-۱ زهکشی آبهای سطحی

آبهای بارندگی که از بین دانه های لایه ی بالاست نفوذ می کنند باید بتوانند به سرعت و در جهت عرضی (عمود بر محور راه) از آن خارج شوند. لازم است که بخش عمده ی این آب با جریان یافتن بر روی سطح بستر لایه ی بالاست و بخش کمتر آن با جریان یافتن در داخل و یا سطح بستر لایه ی زیر بالاست به بیرون راه یابد؛ این زهکشی را « زهکش عرضی» می نامند.

۳-۲-۱-۱ شرایط زهکشی عرضی

شرایط لازم برای زهکشی عرضی عبارتند از :

الف – بالاست باید به اندازه ی کافی تمیز (عاری از ریز دانه) باشد تا آبهای نفوذی به سرعت از آن خارج شود؛

ب – سطح بستر لایه ی بالاست و نیز سطح بستر لایه ی زیر بالاست شیب عرضی کافی جهت هدایت

جانبی آبهای نفوذی را داشـــته باشند. نشست و تغییر شـــکل تدریجی لایه ی زیر بالاست می تواند شیب عرضی را معکوس کرده و زهکشـــی را مختل ســـازد؛ حداقل شیب عرضی بستر بالاست تا ۶ درصد منظور می شود؛

ج- آبهای خارج شده از بالاست و زیر بالاست بتوانند با سرعت کافی به بیرون هدایت و تخلیه شوند.

۳-۲-۱-۲ موقعیت زهکشی عرضی

در خاکریزی ها ، دامنه ی خاکریز آســـان ترین مسیر زهکشی عرضی آبهای فوق الذکر را تشکیل می دهد؛ مشـــروط براین که اولاً فاصله ی لایه ی بالاســـت از دامنه‌ی خاکریز زیاد نباشـــد ، ثانیاً جریان آب در روی دامنه باعث فرسایش و شکستگی مصالح خاکریز نگردد.

در صورتی که فاصله ی پای بالاســـت تا دامنه‌ی خاکریز زیاد باشـــد ، استفاده از آبروهای عرضی جهت تخلیه‌ی آبهای ســـطحی لازم خواهد بود. در صورتی که به علت ارتفاع زیاد، شـــیب تند خاکریز و یا نوع مصالح به کار برده شـــده، فرســـایش پذیری دامنه ها زیاد باشد ، استفاده از آبرو بر روی دامنه ی خاکریز نیز ضرورت خواهد داشت . تشخیص لزوم استفاده از آبروهای عرضی و آبروهای واقع بر روی دامنه ی خاکریز بر عهده مشاور است.

۳-۲-۱-۳ هدایت و تخلیه ی آبهای سطحی

آبهای زهکشـــی شـــده از جسم راه و آبهای جاری بر روی سطح شیب دار شیروانیهای بالا دست معمولاً به وســـیله‌ی نهرها یا آبروهای جانبی که به موازات راه ادامه یافته و به آبراهه های طبیعی منتهی می گردند، تخلیه می شود. این زهکش های جانبی[1] در یک و یا هر دو طرف راه احداث می شوند.

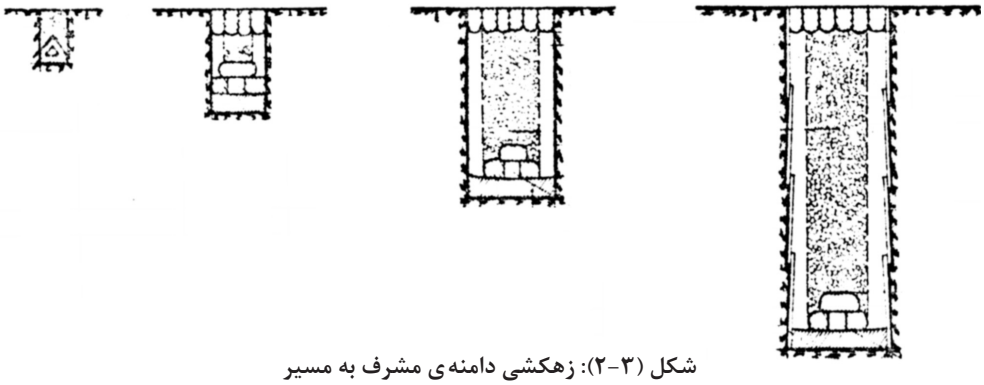
۳-۲-۱-۴ نهرها و آبروهای جانبی

در جاهایـــی کـــه شـــیب طولـــی زمیـــن (در امتداد طـــول راه) کـــم و یا طول زهکشـــی زیاد باشـــد ، به زهکشـــی های « خروجی عرضی» [2] ختم می شـــوند که آبهای جمع آوری شـــده را در مسیر کوتاه تری به آبراهه ها و یا حوضچه های طبیعی منتقل می سازند.

در جاهایی که شـــیب زمین های اطراف به طرف بدنه ی خاکریز بوده ، و شـــیب طولی زمین برای تخلیه ی

1. Side Drains
2. Offtake Drains

آب توسط نهرها یا آبروهای جانبی کافی نباشد ، در بالادست راه ، نهرهایی با زاویه‌ی مناسب نسبت به محور راه احداث می کنند، به نحوی که شیب لازم برای جریان طبیعی آب را تامین نماید.
نمونه ای از این نوع سیستم زهکشی در شکل (۳-۲) نشان داده شده است .



شکل (۳-۲): زهکشی دامنه‌ی مشرف به مسیر

در دامنه های با ارتفاع زیاد و شیب تند ممکن است بنا به تشخیص مشاور لازم باشد به جای نهر از آبروهای سنگی یا بتنی و از لوله‌گذاری سطحی استفاده شود.
شیب نهرهای جانبی ، وقتی که در خاک کنده شده باشند، باید بزرگتر از ۲۵ ٪ باشد تا ته‌نشین شدن گل و لای در داخل آنها محدود باشد. از طرف دیگر ، بسته به جنس خاک بستر ، حداکثر شیب این نهرها باید به اندازه‌ای باشد تا سرعت زیاد آب باعث شسته شدگی جدار نهر نگردد.
در صورتی که سرعت جریان در نهر جانبی به اندازه‌ای باشد که ایجاد شکستگی در جدار نهر کند ، باید به‌کمک پوشش محافظ (سنگی یا بتنی ، ...) از تخریب آن جلوگیری نمود . درسایر مواردی که به دلیل محدودیت عرضی مقطع راه (تونل ها ، ایستگاهها ، ...) و یا شرایط توپوگرافی احداث نهر خاکی غیر ممکن و یا غیر اقتصادی باشد و یا نفوذ آب از نهر به زمین زیر ، پایداری دامنه های مجاور را تهدید نماید، به جای نهر ، آبرو احداث و یا از لوله‌گذاری استفاده می شود.
مقطع عرضی نهرهای خاکی به شکل V و یا ذورنقه است. در حالت اخیر حداقل عرض کف باید ۰/۵ متر در نظر گرفته شود . برم (پله) موجود در میان نهر جانبی و پای خاکریز باید به سمت نهر شیب داشته باشد. باید دقت نمود که احداث نهرهای جانبی به پایداری خاکریزها و ترانشه ها آسیب نرساند.

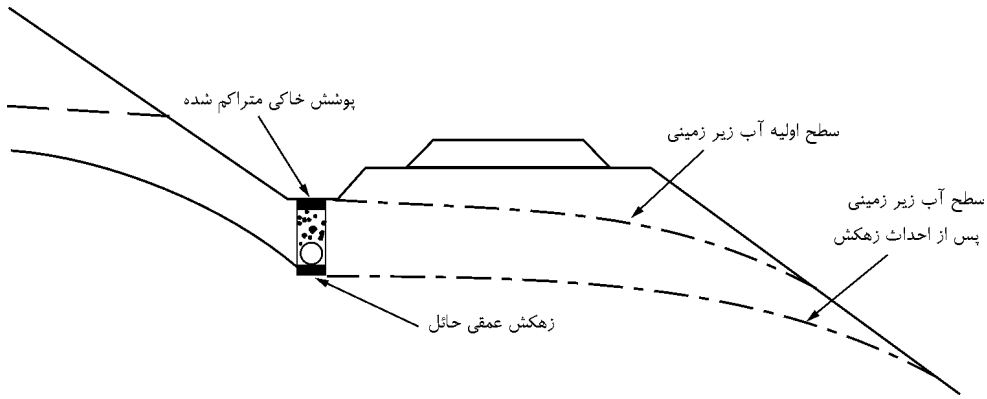
۳-۳ زهکشی آبهای زیر زمینی

در جاهایی که بالا بودن سطح آب زیر زمینی اعم از سطح ایستایی[1] یا سطح آزاد آب جاری در زیر زمین[2] یا سطح آب جذب شده در اثر کشش موئینگی[3] موجب نرم شدگی[4] یا کاهش استحکام خاک در زیر لایه ی زیر بالاست شود از روش زهکشی عمقی یا زیر سطحی استفاده می شود . نرم شدگی خاک می تواند از تاثیر یک یا چند عامل نظیر رطوبت زیاد ، تورم حاصل از یخبندان و پمپاژ بخش زیر دانه لایه های زیرین به سمت بالا ناشی گردد.

زهکشی آبهای زیر زمینی باید به نحوی صورت گیرد که سطح آب زیر زمینی ، در بالاترین تراز سالیانه ، حداقل ۱/۲ متر پایین تر از بستر زیر بالاست باشد.

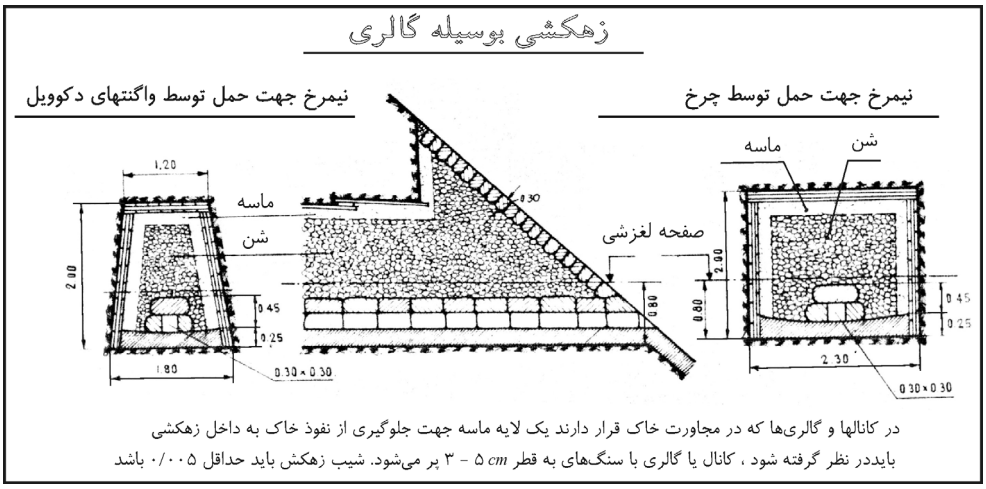
درشکل های (۳-۳ و ۳-۴) دو نمونه از کاربرد زهکشی های عمقی نشان داده شده است.

آب جذب شده در اثر کشش موئینگی در خاک های ریزدانه (رس و لای) را نمی توان زهکشی کرد، اما می توان با پایین بردن سطح ایستایی یا سطح آزاد آب آن را کنترل نمود.



شکل (۳-۳): زهکشی عمقی یک طرفه

1. Water table
2. Water table
3. Capillary Tcnsion
4. Softenning

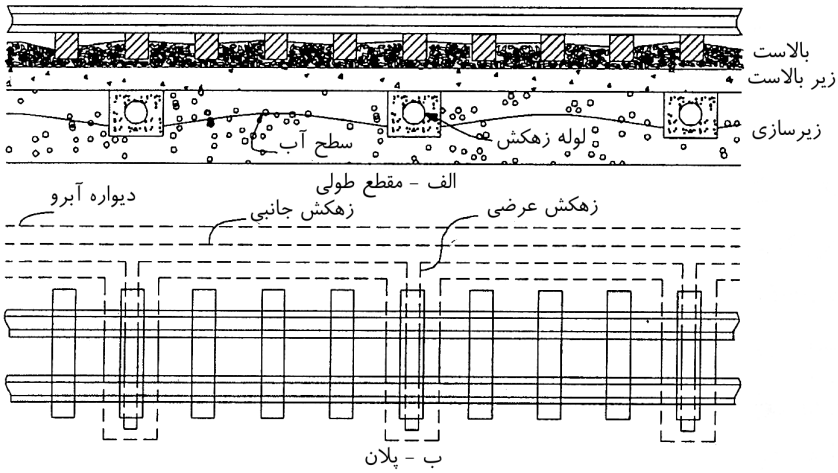


در کانالها و گالری‌ها که در مجاورت خاک قرار دارند یک لایه ماسه جهت جلوگیری از نفوذ خاک به داخل زهکشی بایددر نظر گرفته شود ، کانال یا گالری با سنگ‌های به قطر ۵ - ۳ *cm* پر می‌شود. شیب زهکش باید حداقل ۰/۰۰۵ باشد

شکل (۴-۳): زهکشی عمقی دو طرفه

۳-۳-۱ زهکشی در مسیرهای با عرض زیاد

در مسیرهای با عرض زیاد مانند (ایستگاهها ، راههای چند خطه و .....) که در آنها زهکشی عرضی آبهای نفوذی در لایه‌ی بالاســت نمی تواند به خوبی انجام گیرد، مطابق شــکل (۳-۵) از زهکشــی های عرضی زیر زمینی استفاده می شود.



شکل (۳-۵): نمونه ای از زهکشی عرضی زیر زمینی

۳-۴ زهکشی مسیر در شیب عرضی

برای پایین بردن سطح آب زیرزمینی در ترانشه ها و یا در نقاطی که راه در شیب عرضی واقع است از زهکشی های عمقی حائل استفاده می شود. نمونه هایی از این نوع زهکشی ها در شکل های(۳-۳) و (۳-۴) نشان داده شده‌اند. در مسیر های واقع در شیب عرضی ممکن است احداث زهکشی های حائل جانبی (روباز یا روبسته) به تنهایی برای جمع آوری آبهای تراوشی (زه آب) کافی نباشد؛ در این صورت باید از زهکشی های عمقی عمود بر محور راه (زهکشی های عرضی) استفاده شود.

۳-۵ زهکشی آب معلق

در محل هایی که بالا بودن تراز آب زیر زمینی ناشی از سفره ی آب معلق[1] باشد و ضخامت لایه ی ناتراوای نگهدارنده ی این آب چندان زیاد نباشد، می توان با احداث چاههای زهکشی و هدایت آب به لایه های نفوذ ناپذیر زیرین ، زهکشی مورد نیاز را انجام داد.

۳-۶ نکات مهم

الف – طراحی هر سیستم زهکشی عمقی باید بر پایه ی مطالعات دقیق ژئوتکنیکی و هیدرولوژی شامل بررسی های محلی و برداشت تراز آبهای زیرزمینی ، نمونه‌گیری از خاک (تا پایین‌ترین عمق تاثیر زهکشی) و انجام آزمایش های آزمایشگاهی صورت گیرد.

ب- با توجه به گران بودن هزینه‌ی مطالعات ، اجرا و نگهداری سیستم های زهکشی عمقی و لزوم اعمال نظارت فنی دقیق بر کلیه ی مراحل تهیه ی مصالح و اجرای این سیستم ها ، در محل هایی از مسیر که تراز آب زیرزمینی بالا است و به ویژه وقتی که تراوائی خاک، کم و در نتیجه قابلیت زهکشی آن ضعیف باشد، بهتر آن است که خط پروژه با خاکریزی ، بالا آورده شود به طوری که دیگر نیازی به احداث سیستم زهکشی عمقی نباشد.

ج- محدودیت ها و ملاحظات مربوط به نگهداری و ترمیم سیستم های زهکشی عمقی ، از جمله مهمترین عواملی هستندکه باید از همان نخستین مراحل طرح ، مورد مطالعه قرار گرفته و در طراحی نهایی سیستم دیده شود.

1. Perched Water

۳-۷ انواع زهکش های عمقی

هر سیستم زهکشی عمقی ممکن است شامل یک یا چند نوع زهکشی به شرح زیر باشد :

الف – آبرو جانبی عمیق روباز و یا سرپوشیده یا نهر جانبی عمیق ،

ب- زهکشی لوله ای ،

ج-ترانشه ی زهکشی (زهکش فرانسوی) ،

د- چاه زهکش ،

ه – قنات ،

و – زهکش های ماشینی (چال های ایجاد شده به وسیله‌ی دستگاه حفاری یا نفوذی)

زهکش های نوع الف در بخش های (۳-۲ و ۳-۳ و ۳-۴) شرح داده شده است.

چاه زهکش در حالت عادی (چاه با قطرِ بزرگِ پر شـــده از مصالح ســـنگ دانه‌های زهکش) حالت خاصی از زهکش فرانسوی محسوب می شود.

قنات به عنوان سیســـتم زهکشی ، به ویژه برای اصلاح زهکشی دامنه های طبیعی در معرض خطر لغزش و یا توده‌های خاک پشـــت دیوارهای نگهبان کارآیی خوبی می تواند داشـــته باشـــد. جزئیات این روش در بخش قنات آورده شده است.

زهکشی‌های ماشینی (افقی ، مایل یا قائم) در شرایط خاص و به ویژه برای اصلاح زهکشی طبیعی دامنه هایی که در معرض خطر لغزش هستند، به کار برده می‌شوند. در صورت نیاز به بهره‌گیری از این نوع زهکش ها موضوع در مشخصات فنی خصوصی قید خواهد شد.

۳-۷-۱ زهکش لوله ای

این نوع زهکش حفر ترانشه و استقرار لوله‌ی سوراخ دار (مشبک ، متخلخل ، شکاف دار و یا سوراخ دار) و یا لوله گذاری با درزهای باز و پرکردن حجم ترانشه با مصالح دانه‌ای منتخب (زهکش) احداث می شود.

سه نمونه متداول از این نوع زهکشی در شکل (۳-۶) نشان داده شده است که عبارتند از :

الف – لوله سوراخ دار + مصالح سنگ دانه ای با منحنی دانه بندی گسترده[1] به عنوان فیلتر و زهکش،

ب- لوله سوراخ دار + زمین پارچه (ژئو تکستایل)[2] برای جلوگیری از فرار دانه‌های فیلتر + مصالح سنگی با دانه بندی نسبتاً ریز (زهکش و فیلتر)،

1. Broadly Graded
2. Geotexile

ج- لولــه ســوراخ دار + مصالح زهکش + زمیــن پارچه به عنوان فیلتر برای جلوگیری از فرســایش خاک پیرامون (خاک پایه).

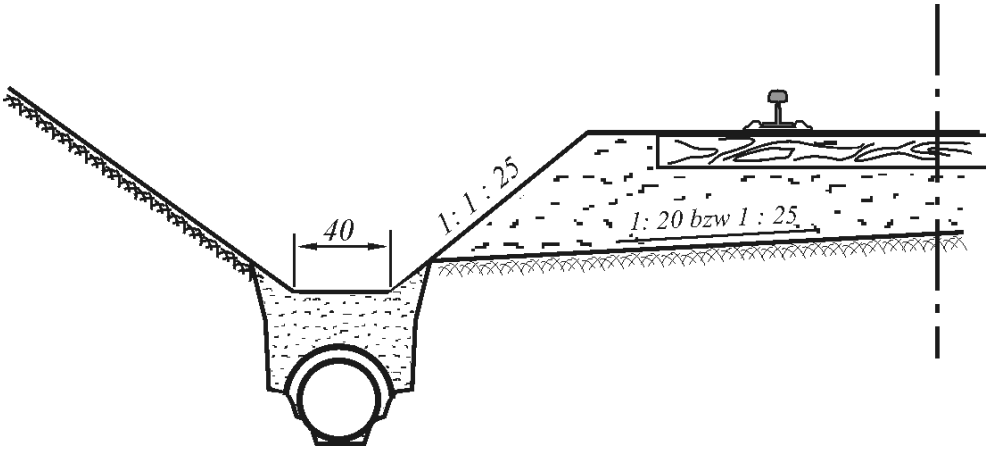
۲-۷-۳ ترانشه ی زهکش

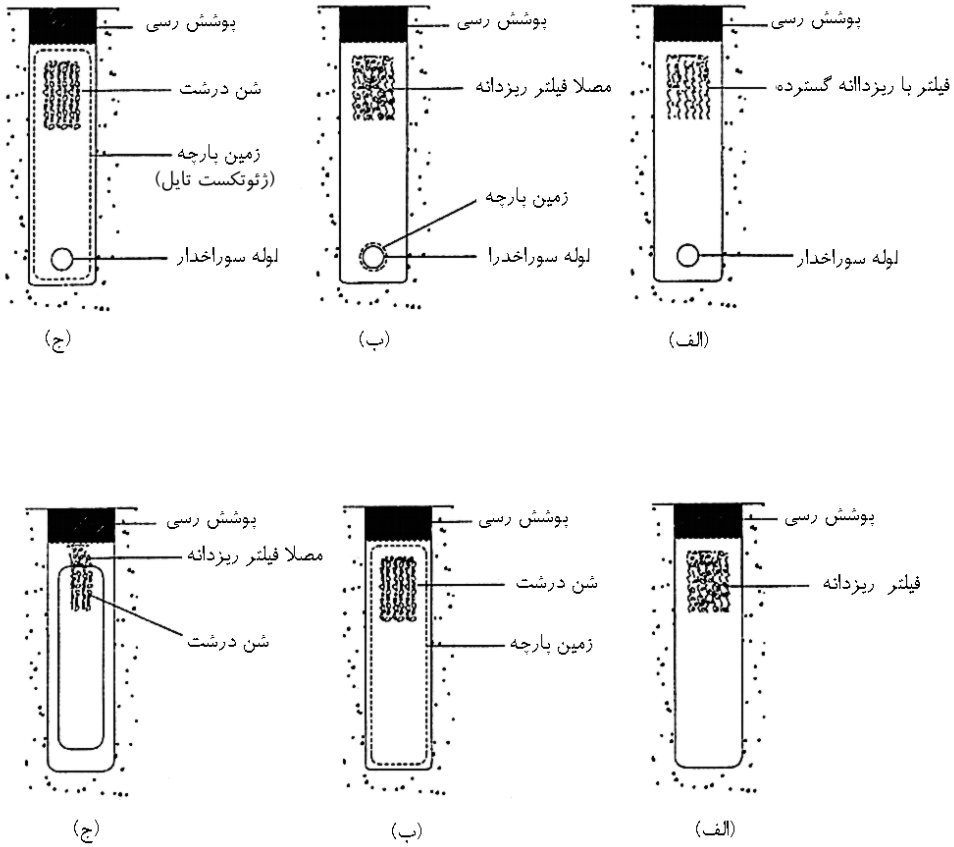
این زهکش با حفره ترانشه و پرکردن آن با مصالح دانه‌ای متخلخل (قلوه سنگ ، شن ، ماسه) احداث می شود. جزئیات اجرایی آن بســته به این‌که حفاظت مصالح متخلخل در مقابل گرفتگی ناشــی از شســته شــدن (فرســایش) خاک پیرامون چگونه تامین می شــود، متفاوت می باشد. در شکل (۳-۷) سه حالت مختلف این نوع زهکشی نشان داده شده است که عبارتند از :

الف – ترانشــه پر شــده با زهکش ریزدانه که نقش فیلتر را نیز در مقابل عبور ذرات ریز خاک پیرامون ایفا می کند،

ب- ترانشه پرشده با زهکش درشت دانه که به وسیله لایه ای از جنس زمین – پارچه در مقابل پدیده ی فرسایش خاک پیرامون محافظت شده است،

ج- ترانشه متشکل از مصالح زهکش درشت دانه در وسط و لایه‌ای از فیلتر ریزدانه در دور مصالح زهکش (فیلتر برای جلوگیری از فرســایش خاک پیرامون) و لایه‌ای از زمین- پارچه به منظور جلوگیری از فرار ذرات مصالح فیلتر به داخل منافذ مصالح زهکش.





شکل (۳-۶): نمونه هایی از زهکشی های لوله‌ای

شکل (۳-۷): نمونه‌هایی از ترانشه‌های زهکشی

۳-۸ حالات ناپایداری فیلترها

سیستم هایی که برای زهکشی عمقی به کار برده می شوند همچنان که آبهای زیرزمینی ساکن (ایستایی) و یا درحال جریان (زه آب) را جمع‌آوری می‌کنند، شرایط طبیعی زمین را بر هم می زنند و باعث تغییر در پارامترهای مکانیکی خاک می‌شوند.

سیســـتم های زهکش عمقی باید در مقابل حرکت ذرات کوچک خاک و در نتیجه مسدود شدن زهکشی و خروج آن از شرایط بهره برداری، پایدار باشند. منشاء این ذرات ریز اغلب خاک پایه (خاکی که زهکش می شــود) و در بعضی مواقع خود مصالح فیلتر اســت . ســه پدیده‌ی مکانیکی فرســایش[1]، جابجایی[2] و گرفتگی پدیده هایی هســتند که باعث تغییر در شــرایط مصالح فیلتر و یا به عبارت دیگر ناپایداری فیلتر می شوند. عرض سوراخ های زهکش (لوله ها و زمین پارچه ها) نیز به طور مستقیم بر روی جابجایی و گرفتگی تاثیر می گذارد.

1. Erosion
2. Suffosion

انواع حالات فرسـایش ، جابجایی و گرفتگی که ممکن اسـت در یک زهکشی مشتمل بر فیلتر دانه‌ای و لوله‌ی سوراخ دار رخ دهد، عبارتند از :

الف – فرسایش تماسی خاک (شسته شدگی ذرات خاک پایه) در فصل مشترک فیلتر و خاک پایه

ب- فرسایش داخلی خاک پایه

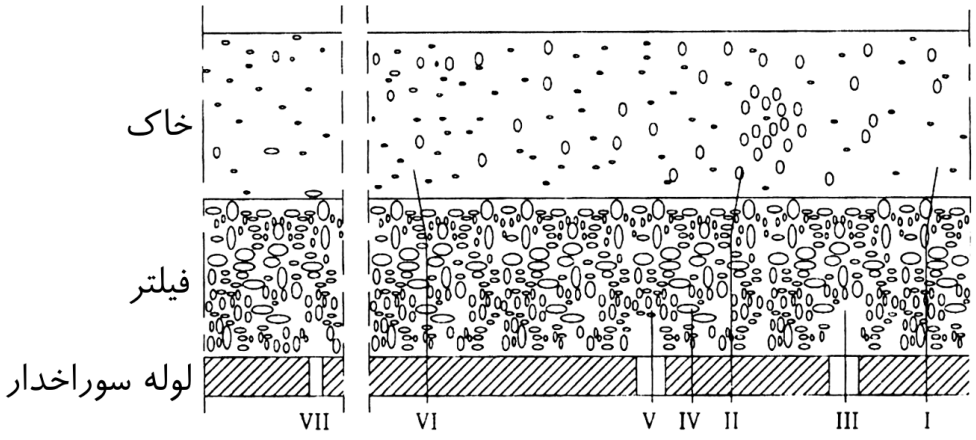
پ- فرسایش تماسی فیلتر در محل سوراخ های لوله زهکشی

ت- جابجایی در داخل مصالح فیلتر

ث- جابجایی مصالح فیلتر همراه با شسته شدگی آنها در محل سوراخ ها

ج- گرفتگی منافذ فیلتر توسط ذرات خاک پایه

چ-گرفتگی سوراخ های لوله زهکشی



شکل (۳-۸): حالات مختلف ناپایداری فیلتر

۳-۹ معیارهای طراحی فیلترها

در طراحی فیلتر باید معیارهای زیر کنترل شود :

۱- پایداری در برابر فرسایش خاک پایه (فرآیند های الف و ب)

۲- پایداری در برابر جابجایی داخلی مصالح فیلتر (فرآیندهای ت و ث)

۳- نفوذ پذیری (تراوائی) کافی (برای تسهیل عبور زه آب و نیز جلوگیری از فرآیند ج)

۴- پایداری در برابر فرسایش تماسی در مجاورت لوله زهکشی (فرآیند پ)

در صـورت اسـتفاده از فیلتر پارچـه‌ای (زمین – پارچه هـا) به جای فیلتر دانه‌ای ، لازم اسـت ابعاد سوراخ های آن به اندازه‌ای باشد که دو معیار (متناقض) شماره ۱ و ۳ فوق را ارضاء کند.

۳-۹-۱ روابط طراحی فیلتر

روابط زیر جهت طراحی فیلتر به منظور ارضای معیارهای فوق توصیه می شود :

۳-۹-۱-۱ معیارهای پایداری در مقابل فرسایش (فرآیند الف ، ب)

الف – رابطه ترزاقی : $\frac{D_{۱۵}}{d_{۸۵}} < ۴$ تا ۵

کاربرد این رابطه تنها در شرایط زیر مناسب است :

- خاک پایه غیرچسبنده و با ضریب یکنواختی بین ۲ تا ۳ $CUD < ۲$ تا ۳
- مصالح فیلتر در پشت دانه با ضریب یکنواختی بین ۲ تا ۳ $CUD < ۲،۳$

به علاوه باید ضرایب یکنواختی خاک و فیلتر نزدیک به هم باشد:

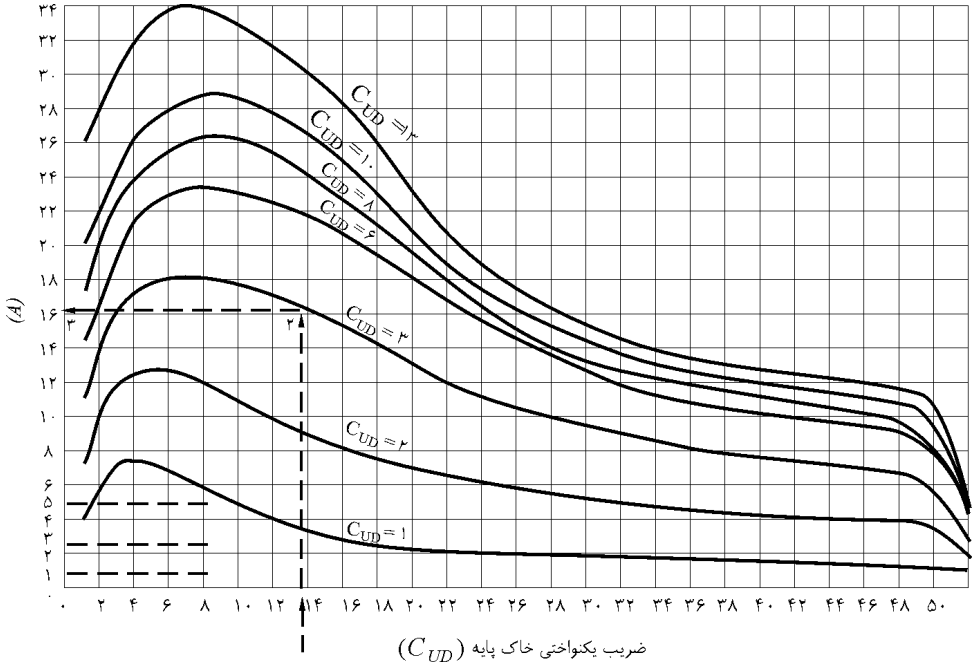
$CU \approx CUD$

با توجه به محدودیت دامنه‌ی کاربرد ترزاقی ، روابط زیر برای تامین پایداری در مقابل فرسـایش تماسـی توصیه می شود :

ب-برای خاک هایی که نشـانه‌ی خمیری آنها از ۱۰ کوچکتر بوده ($Pi < ۱۰$) و یا $d_{۱۰} > ۰/۰۰۲mm$ باشد :

$$D_{۵۰} < \frac{1}{\eta} A.d_{۵۰}$$

در این رابطه η ضریب شکل مصالح فیلتر است که برای مصالح گردگوشه مقدار آن برابر ۱ و برای مصالح تیز گوشـه مسـاوی ۱/۳۳می باشـد . A تابعی از ضرایب یکنواختی خاک پایه و مصالح فیلتر است که با استفاده از نمودار شکل (۳-۹) مقدار آن بدست می آید .



شکل (۹-۳): نمودار تعیین ضریب A بر اساس ضریب یکنواختی خاک پایه و فیلتر

ج- بـرای خـاک هایی که Pi > ۱۰ و یا ۰/۰۰۲ > ۱۰ d معیار مقاومت در مقابل فرسـایش تماسـی به صورت زیر است :

D ۱۷ < D ۱۷ adm

D۱۷ adm تابعی از حد روانی خاک پایه (IL) است که با استفاده از نمودار شکل (۳-۱۰) تعیین می شود.

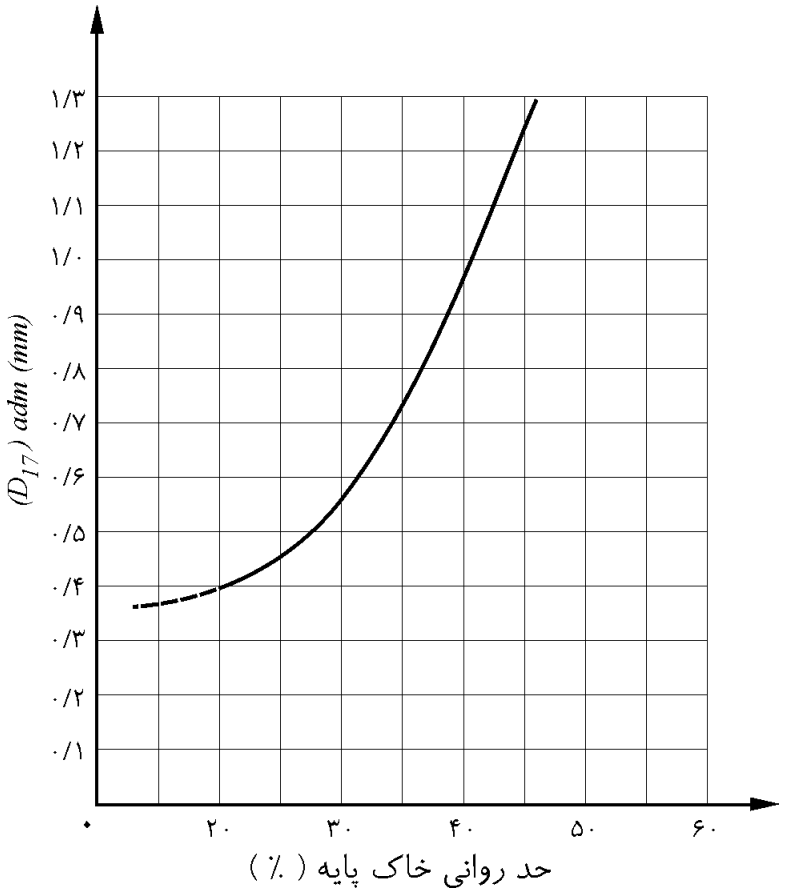
۳-۹-۱-۲ جابجایی داخلی در مصالح فیلتر

شـرایط مقاومـت در مقابل جابجایی دانه های مصالح فیلتر (کـه باعث تفکیک دانه بندی و فرار دانه ها از سوراخ های لوله زهکش می شود) عبارتند از :

الف – CUD < ۸

ب- همواره (پیوسته) بودن منحنی دانه بندی فیلتر

پ-کافی بودن تراکم مصالح فیلتر :۰/۳۳< Dr(البته برای داشتن تراوایی کافی لازم است که ۰/۶۷ < Dr باشد).



شکل (۱۰-۳): نمودار تعیین D۱۷adm

۳-۹-۱-۳ نفوذ پذیری

نفوذپذیری لازم فیلتر وقتی تأمین می شود که داشته باشیم:

CUD<۳و CUD ≈CUD

در حالتی که: D۱۵>۳d۱۵

و در حالتی که: CUD>۳

$CUD \approx CUD$

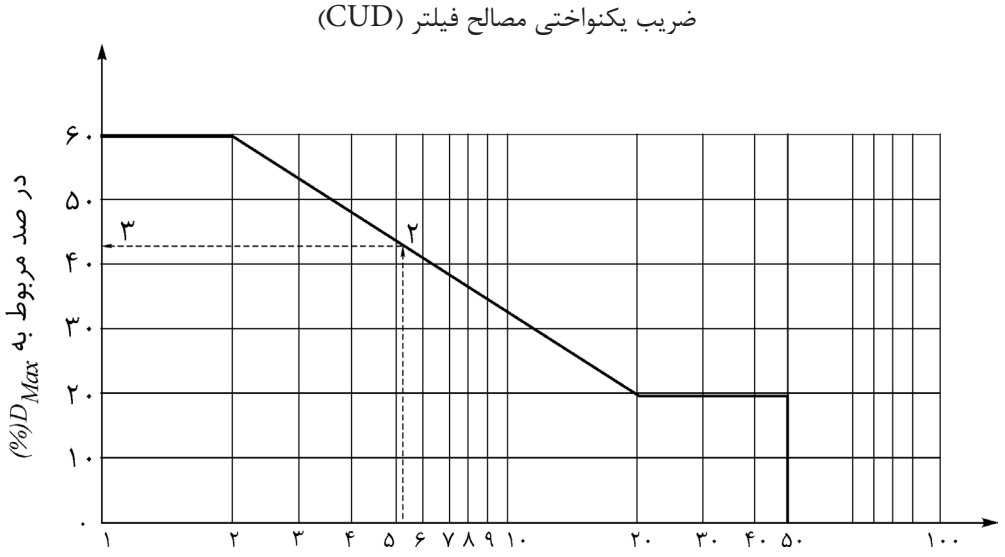
۳-۹-۱-۴ اندازه‌ی سوراخ های لوله زهکشی

اندازه‌ی سوراخ های لوله زهکشی (قطر سوراخ ها و عرض شکاف ها) در مجاورت مصالح فیلتر باید در محدوده ی زیر قرار بگیرد:

$Dmin < b < Dmax$

$Dmin = ۰/۲۷ \, cD \quad ۱۷۶ \sqrt{CUD}$

و Dmax تابعی از ضریب یکنواختی منحنی دانه بندی مصالح فیلتر است که اندازه ی آن از نمودار شکل (۳-۱۱) بدست می آید. در روابط فوق b: عرض مجاز سوراخ زهکش و e : نسبت تخلخل[1] مصالح فیلتر می باشد.



شکل (۳-۱۱): نمودار تعیین درصد مربوط به Dmax از منحنی دانه بندی فیلتر

1. Void Ratio

۳-۹-۲ مصالح زهکش عمقی

اجزاء تشـــکیل دهنده‌ی زهکش های عمقی شـــامل ترانشـــه های موازی یا عمود بر محور راه ، لوله های زهکشـــی ، لوله های جمـــع کننده[1] اتصالات ، مصالح دانه ای (پرکننده، زهکـــش، فیلتر، زهکش – فیلتر) و انـــواع زمیـــن – پارچه ها باید با دقت تمام اجرا شـــده و در کلیه‌ی مراحل اجـــرا و بهره برداری به خوبی نگهداری شوند.

در انتخاب جنس لوله های زهکش (سیمانی ، پلاستیک ، سفالی ، آلومینیومی ، فولادی) و زمین پارچه ها باید دوام آنها در مقابل عوامل محیطی مانند: یخبندان ، خورندگی ، املاح موجود درخاک پیرامون و یا محلول در آب زیرزمینی، بر اساس استانداردها و آئین نامه های متداول معتبر مورد بررسی قرار گیرد. جنس لوله ها و اتصالات و زمین پارچه ها باید در مشخصات فنی خصوصی طرح قید گردد. مصالح دانه‌ای هم باید از دوام کافی در مقابل تغییرات رطوبت و تاثیر عوامل شیمیایی محیط برخوردار باشد.

۳-۱۰ قنات

جمع آوری آبهای زیرزمینی با روش خاص و به سطح زمین رسانیدن آن با استفاده از قوه‌ی ثقل ، از طریق حفر قنات انجام می شود. بدون تردید اولین قدم در راه حفر قنات مطالعه درباره‌ی وجود جریان آبهای زیر زمینی اســـت. اندیشـــه ی اساسی و اصلی در حفر قنات استفاده از چاههای افقی به جای چاههای عمودی بوده است تا با ایجاد شیب ملایم آب به خودی خود به سطح زمین رسانیده شود.

۳-۱۰-۱ فاصله‌ی میان دو میله قنات و حداکثر عمق هر یک

عمق میله های یک رشـــته قنات از صفرکه انتهای آن اســـت، شـــروع و در چاه اصلی به حداکثر می رسد. فاصله بین میله ها معمولاً بین ۱۵ تا ۲۰ متر است. در بعضی موارد مثلاً موقع عبور از مسیر رودخانه ها یا تپه ها و یا آزاد راهها و ایستگاههای راه آهن، این فاصله حتی به ۲۰۰ متر هم می رسد.

۳-۱۰-۲ ابعاد مجرا و میله

ابعاد مجرا در حدود ۱۲۰ ×۹۰ ســـانتی متر و قطر میله در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ ســـانتی متر است . ابعاد مجرا را معمولاً به حداقل می رسانند تا مقدار خاکبرداری حتی الامقدور کم شود.

1. Collections

۳-۱۰-۳ طول قنات

طول یک رشته قنات بر حسب شرایط طبیعی مسیر آن متغیر است. این شرایط بستگی به شیب زمین و عمق مادر چاه دارد. طویل ترین قناتی که در ایران در حوالی گناباد حفر شده، به طول حدود ۷۰ کیلومتر می باشد.

۳-۱۱ انواع قنات و موقعیت آنها

قنات ها به دو دسته به شرح زیر تقسیم می شوند:

۳-۱۱-۱ قنات های دایر

قنات های دایر معمولاً برای شرب اهالی روستاها و شهرها و مشروب کردن اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند و حفاظت میله ها و مجراهای آن به عهده ی پیمانکار است . قنات ها دارای حریمی می باشند که این حریم در طرفین برابر با عمق میله است (حداکثر ۲۰ متر از هر طرف) باید حتی المقدور مسیر خط و مسیر قنات در یک امتداد قرار نگیرند و حریم هر یک رعایت شود.

در صورتی که مسیر خط ، امتداد یک رشته قنات را به صورت مورب قطع نماید، در صورت لزوم و بر حسب تشخیص دستگاه نظارت باید امتداد قنات را عمود بر مسیر خط ، منحرف نمود؛ درهر صورت این تغییرات نباید مشکلی درعبور آب قنات به وجود آورد.

چنانچه میله ها در حریم خط قرار گیرند باید آنها را بر اساس دستورات دستگاه نظارت با خاک پر و کور نمود و به جای آنها نسبت به حفر میله های جدید با رعایت حریم مسیر خط و رشته قنات اقدام نمود .

در صورتی که مسیر قنات در خاک برداری قرار گیرد باید عمق قنات از سطح آماده شده را اندازه گیری و بر اساس دستور دستگاه نظارت عمل شود.

۳-۱۱-۲ قنات های بایر

قنات‌های متروکه، که در زیر بستر راه قرار می‌گیرند باید طبق دستور دستگاه نظارت کاملاً پر و متراکم شوند. چنانچه چاههای بازدید قنات های متروکه در مسیر خط و یا داخل حریم قرار گیرد ، بر حسب مورد به شرح زیر عمل می شود :

۳-۱۱-۲-۱ در بستر خط

پر کردن میله قناتهایی که در بستر خط قرار می‌گیرند باید با توجه به عمق میله و دستور دستگاه نظارت اجرا گردند.

۳-۱۱-۲-۲ در حریم خط

بر حسب عمق میله‌ی قنات می‌توان با مصرف مصالح ماسه بادی یا مخلوط رودخانه‌ای (که در حالت اشباع می باشد) تا ارتفاع ۱ الی ۲ متری سطح بستر حریم اقدام و بقیه را با شفته آهک یا بتن مگر، پر نمود. به هر حال این عملیات با تائید دستگاه نظارت انجام می شود.

۳-۱۱-۲-۳ چاههای آزمایش و کنترل

در صورتی که برای پیدا کردن مسیر قناتهای کهنه ، نیاز به حفر چاههای بازرسی باشد ، پس از انجام آزمایش ، چاههای حفر شده باید کاملاً پر و مطابق مشخصات کوبیده شود. بهتر است این چاهها در دو طرف مسیر حفر گردیده و روی آنها با تپه های خاک علامت گذاری شود. باید دقت لازم بعمل آید که در این عملیات به قناتهای دایر صدمه‌ای وارد نشود و در هر صورت هرگونه خرابی که به قنات های دایر وارد شود، مسئول آن پیمانکار بوده و باید از عهده‌ی خسارات وارده بر آید و قنات ها را تعمیر نماید، ضمن اینکه باید از دست زدن و برداشتن خاکهای اطراف میله های چاهها که درخارج از حریم راه قرار گرفته است، جداً خودداری گردد.

۳-۱۲ پوشش داخلی مجرا

زمینهای منطقه ی فلات از لحاظ ساختمان طبیعی دارای کیفیتی هستند که برای پوشش داخلی قنات معمولاً اقدامات حفاظتی ضرورت نمی یابد؛ در قسمتی از مجرا که مدام با آب تماس دارد، در اثر رسوبات آهکی به مرور پوشش نسبتاً محکمی به وجود می‌آید که از نفوذ آب به خارج جلوگیری می کند؛ حتی‌المقدور به این پوشش نباید آسیبی رسانید.

در نقاطی که زمین سست و ریزشی باشد که اصطلاحاً به آن زمین های « شولاتی» می‌گویند از تنبوشه های سفالی یا بتنی بیضی شکل، که به آن «کول» می گویند و فراخی دهانه‌ی آن آدم رو است،

اســتفاده مــی‌کنند. بعضی از میله‌ها را نیز با دقت مــی‌بندند و حتی طوقه‌ی میله را گاهی تا آخر با آجر، سنگ، ملات، ماسه سیمان و یا ماسه آهک می سازند.

چنانچه قنات درعمق کمتر از ۵ متر از ســطح زمین طبیعی بســتر راه قرار گرفته باشد باید لوله های بتن مســلح به قطر ۸۰ ســانتی متر در قنات کار گذارده شود. برای عمق‌های بین ۵ و ۱۰ متر، قنات ها باید با قطعات بتن مسلح پوشش داده شوند.

چنانچه عمق قنات زیر ســطح زمین بســتر راه بیشتر از ۱۰ باشــد با توجه به جنس زمین و بازدید دقیق می‌توان قنات را بدون حفاظ باقی گذاشــت ولی در صورتیکه احتمال ریزش باشــد با قطعات بتن مســلح طبق دستور دستگاه نظارت باید پوشش شود.

در صورتی‌که میله‌ی قنات در مســیر راه قرار گیرد، اگر عمق آن تا ده متر باشــد باید آن را تماماً با آجر و ملات ماسه سیمان طوقه چینی کرد و دهانه‌ی آن را درعمق حدود دو متری از سطح زمین با قطعات بتن مسلح، پوشش و خاکریزی نمود و خاکهای ریخته شده را طبق مشخصات کوبید.

۳-۱۳ اجرای عملیات زهکشی

چنانچه آثار و علائم وجود آبهای زیرزمینی در محلی مشــهود باشــد و مراقبت های شــدید را طلب کند، ممکن اســت جهت حفظ و تثبیت بســتر مبادرت به احداث درناژ لازم باشــد. جهت ایــن امر معمولاً در خط‌القعر و در بالا دست خط چاهی حفر می‌کنند که به چاه درناژ موسوم است. با حفر این چاه لایه‌های تشــکیل دهنده‌ی زمین مشخص و یادداشــت می‌شود تا حدی که به آبهای تحت الارضی دسترسی پیدا می شــود و لایه‌های زهکشــی که معمولاً از شن و ماسه یا مخلوطی از آن دو به صورت متراکم می باشد، پیدا می‌شــود. ســطح آب در ته چاه نشان دهنده‌ی سطح آبهای زیرزمینی است. لازم است این آب را در جهت تقریباً عمود بر مسیر خط از طریق کانال زیرزمینی موسوم به گالری و با شیب حدود ۲/۵ درصد به پایینی دست خط هدایت نمود. چنانچه شیب کمتر از مقدار فوق باشد باعث کندی حرکت آب و افزایش امکان نفوذ آن خواهد بود. در صورتی که شــیب بیشتر از رقم فوق باشد، سرعت آبهای خروجی زیاد شده و باعث تخریب و گود نمودن مسیر آب می شود. علیهذا شیب ۲/۵ درصد کلاً مورد قبول می باشد.

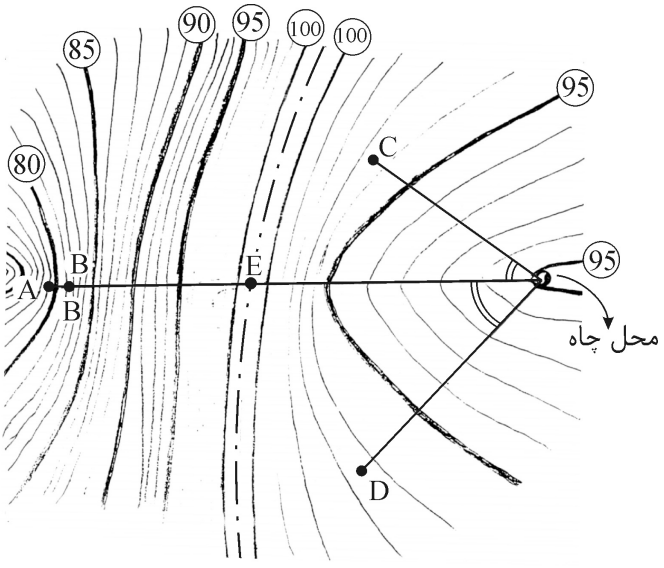
سعی ما بر این است که اولاً سطح آبهای زیرزمینی را پیدا کنیم، ثانیاً از محل لایه‌های نفوذ ناپذیر اطلاع بدســت بیاوریم، ثالثاً مجرایی درســت کنیم که این آبها را با شــیب مناسبی تخلیه کند. طبیعی است در

صورت ادامه‌ی این عمل سطح بالای مجرا، خشک و قابل اطمینان می‌شود .

حال باید دید روشهای اجرایی مواردی که ذکر شد چگونه است ؟

احداث چاه و تجمع آب، سطح آبهای زیرزمینی و لایه های نفوذ ناپذیر را نشان می دهد. این سطوح با اندازه گیری‌ای که در امتداد قائم از لبه ی چاه تا سطح آب، همچنین از لبه‌ی چاه تا کف آن است، قابل اندازه‌گیری و یادداشت می باشد. مرحله‌ی بعدی این است که نقطه‌ای در پایین دست خط پیدا کنیم که بتواند با شیب لازم، آب را هدایت کند. در این راستا از نقشه ی پلان تاکئومتری محل که در آرشیو فنی اداره ی کل خط و ابنیه فنی راه آهن موجود است استفاده می کنیم. چنانچه دسترسی به نقشه ی مذکور میسر نبود، می‌توان با استفاده از روشها و وسایل نقشه برداری آن را تهیه نمود و با استفاده از مقیاس نقشه و اختلاف رقوم منحنی ها، نقطه ی خروجی آب را تعیین نمود. جهت روشن شدن مطلب از مثال عددی بهره می گیریم .

مثال (۳-۱): پلان تاکئومتری مطابق شکل (۳-۱۲) موجود است؛ محل چاه زهکشی در آن مشخص گردیده است. سطح آب در ارتفاع ۷ متر پایین تر از لبه‌ی چاه و کف چاه در سطح ۸ متر زیر لبه ی چاه قرار دارد . نقطه ی خروجی آب در پایین دست خط را با رعایت ۲/۵ درصد مشخص نمایید.



شکل (۳-۱۲): پلان تاکئومتری محل زهکشی

اطلاعات لازم را از روی شـکل (۳-۱۲) بدسـت می آوریم . سـطح لبه ی چاه روی منحنی ۹۰ قرار دارد . محل چاه با حروف O نشان داده شده است

سطح آب زیر زمینی ۹۰-۷=۸۳m

سطح لایه ی نفوذ ناپذیر (کف چاه) ۹۰-۸=۸۲m

به روش سعی و خطا فرض می کنیم که محل خروج آب ۲ متر پایین تر ازکف چاه باشد.

سطح فرضی محل خروج آب ۸۲-۲=۸۰

محلی را در روی منحنی تراز ۸۰ انتخاب می کنیم که کوتاه ترین فاصله را از چاه داشـته باشـد. چنین نقطه ای به فاصله ۲۶/۵ متر از مرکز چاه قرار دارد که درشـکل با حرف A مشـخص شده است، لذا با یک تناسب ساده داریم :

۱۰۰ ۲/۵

x=۰/۶۶

۲۶/۵ x

مطابق عدد حاصله، اختلاف ارتفاع به دسـت آمده ۰/۶۶ متر می باشـد . لازم اسـت محل خروج آب به اندازه‌ی آن پایین تر از سطح کف چاه باشد. سطح جدید محل خروج آب چنین بدست می آید.

۸۲-۰/۶۶=۸۱/۳۴

مشابه عملیات بالا را با ارتفاع جدید انجام می دهیم .

نقطه B با ارتفاع ۸۱/۳۴ به فاصله ۲۵/۵ متر از مرکز چاه قرار دارد .

۱۰۰ ۲/۵

x=۰/۶۴

۲۵/۵ x

تفاوت سطح در دو حالت کم است، لذا نقطه B با ارتفاع ۸۱/۳۴ و فاصله ۲۵/۵ متر قابل قبول است .

۸۲-۸۱/۳۴=۰/۶۶

۲۵/۵ ۰/۶۶

X=۲/۵۹

۱۰۰ x

افزایش شـــیب در این حالت جزئی و به میزان ۰/۰۰۰۹ می باشـــد ، علیهذا نقطه B به عنوان محل خروج آبهای تحت الارضی مورد قبول است .

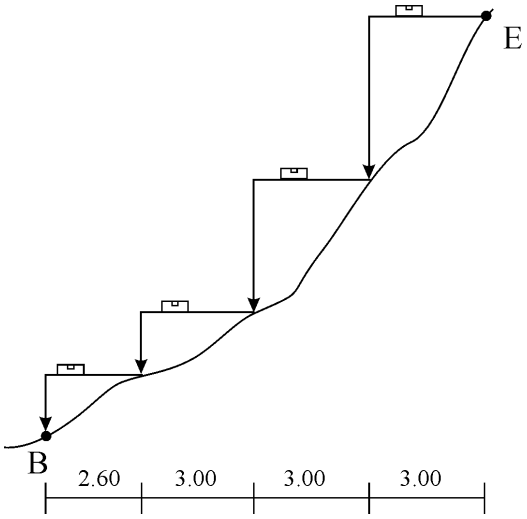
۳-۱۳-۱ روش پیاده کردن نقطه B در روی زمین

نقاط C و D دو نقطه ی مشخص نظیر تیر ارتباط در طرفین مسیر چاه به نقطه B می باشند. اگر چنین نقاطی موجود نباشـــد، می توان به وســـیله ی پیکه کوبی آن را ایجاد کرد به طوری که دو نقطه ی مذکور در پلان تهیه شـــده، منعکس گردد. زاویه α و β که خطوط OC و OD با محور OB را می ســـازند از روی نقشه قابل اندازه گیری اند .

روی دهانـــه ی چاه را با تخته پوشـــانیده و نقطه O را روی آن مشـــخص می کنیم. بـــا قرار دادن دوربین تئودلیت در روی نقطه O و با اســـتفاده از زوایای α و β مســـیر OB مشـــخص و در بالاترین نقطه ی (خط الرأس) نقطه E مشخص می شود.

چنانچـــه دوربیـــن را در نقطه E قرار دهیم و به نقطه O قراول برویـــم با چرخاندن لوله ی دوربین، امتداد EB مشخص می شود. برای تعیین فاصله ی دقیق EB می توان از اندازه ی روی نقشه و استفاده از مسیر دوربین و یا حتی از شمشه و تراز استفاده نمود.

مثال (۳-۲): چنانچه از شمشـــه ای به طول ۳ متر اســـتفاده شود و فاصله EB از روی نقشه ۱۱/۶۰ متر باشد، چگونه باید نقطه B را از روی E به دست آورد .



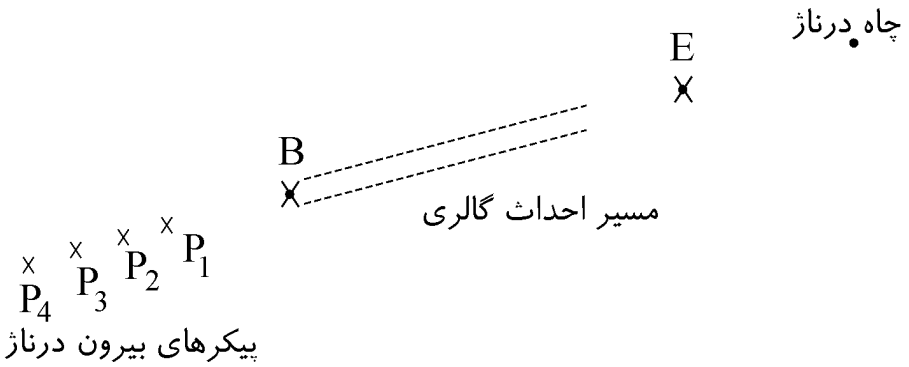
شکل (۳-۱۳)

از طول ۱۱/۶۰ متر هر بار مقدار ۳ متر کسر می کنیم؛ باقی مانده ۲/۶۰ متر خواهد بود. معلوم می شود که سه بار طول کامل شمشه به علاوه ۲/۶۰ متر خواهد بود. لذا در نقطه E شمشه را به وسیله ی تراز بنایی، تراز نموده و از انتهای آن شاقولی آویزان می کنیم تا نقطه E1 را روی زمین مشخص کند. فاصله‌ی افقی EE1 برابر طول شمشه یعنی ۳ متر می باشد . این بار ابتدای شمشه را در نقطه E1 قرار داده و به ترتیبی که گفته شد، عمل می کنیم تا به نقطه E2 برسیم . از روی نقطه E2 نقطه E3 را بدست می آوریم. در نقطه E3 شمشه را افقی قرار داده، بجای انتهای آن از نقطه‌ای که فاصله ی افقی اش تا E3 برابر ۲/۶۰ متر باشد شاقول را آویزان تا نقطه B را مشخص کند. فاصله افقی EB برابر مجموع سه طول شمشه بعلاوه ۲/۶۰ متر جمعاً ۱۱/۶۰ متر می باشد.

چون نقطه‌ی موجود در پلان مسطحه می باشد و طول و عرض های نشان داده شده برابر ابعاد افقی و مسطحه آن می باشد، لذا محل نقطه B صحیح است و با اطمینان کامل از این که شیب لازم جهت تخلیه ی آبهای ته چاه را داراست، می توان به بقیه‌ی عملیات اجرایی پرداخت. لازم است از نقطه B شروع به کندن گالری نموده و مسیر را تا محل چاه ادامه دهیم، ولی این سئوال پیش می‌آید که مسیر حفاری چگونه انتخاب گردد تا درست به ته چاه رسیده و انحراف از مسیر به وجود نیاید، بخصوص این که بعضی ازگالریها ممکن است طول چند ده متر را دارا باشند.

لذا جهت جلوگیری از انحراف، روش اجرایی زیر پیشنهاد می شود. مطابق شکل(۳-۱۴) نقاط E و B در روی زمین مشخص و پیکه کوبی شده اند. قبل از شروع به حفاری به وسیله ی دوربین که درنقطه E

مســتقر و به نقطه B قراول رفته باشــد در امتداد EB نقاط کمکیP4، P3، P2 وP1 که نشان دهنده‌ی امتداد EB و چاه درناژ می باشد، بدست می آید و در طول عملیات اجرایی می توان با استفاده از دو عدد ژالون که درنقاط P1 و P2 و غیره نصب می شوند، امتداد را تشخیص داد.



شکل (۳-۱۴)

در زمان حفاری درهر نقطه گالری خط دید ما باید از نقطه P1 و P2 و ... بگذرد. این امر باعث می شود که امتداد موردنظر با دقت قابل قبولی پیاده شود. زمانی که گالری حفاری به ته چاه رسید و آبهای جمع شده درآن را تخلیه نمود، انجام زهکشی مطلوب می باشد. جهت روشن شدن امر و تجسم بهتر، برشی از چاه و محل حفرشده درشکل (۳-۱۵) نشان داده شده است .

شکل (۳-۱۵): برش طولی درناژ

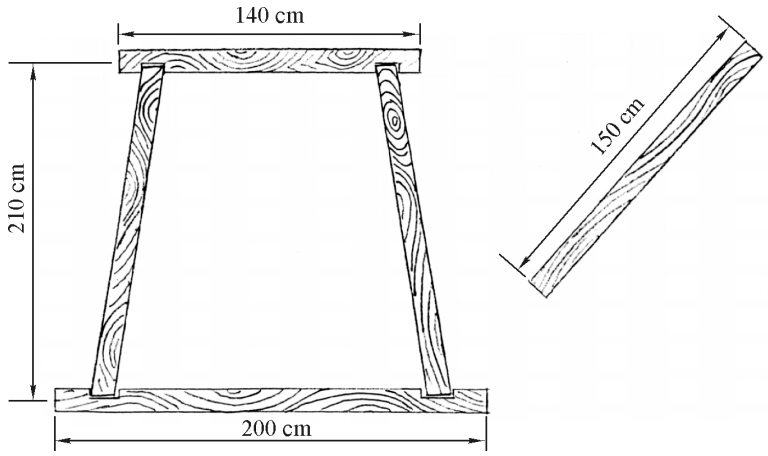
۳-۱۳-۲ تکمیل و بدنه سازی درناژ

همزمان با حفر گالری لازم اســت ســقف و جداره ی آن نگهداشته شود تا خطر ریزش و مسدودی آن که ضررهای جانی و مالی درپی دارد، به حداقل ممکن برسد .

جهت این کار روش ســنتی کامیساکســی وجود دارد که در زمان احداث راه آهن به مرحله اجرا درآمده است و هنوز هم معمول است و به شرح ذیل ارائه می شود:

در ایــن روش مطابق شــکل (۳-۱۶) چهــار قطعه چوب جنگلی از نوع تــراورس چوبی، انتخاب و مطابق اندازه های نشان داده شده، برش داده می شوند.

همچنین از تخته روسی قالب بندی، قطعاتی به طول ۱۵۰ سانتی متر به تعداد مورد نیاز، انتخاب و به پای کار حمل می شــود. تخته ها لازم اســت صاف، عاری از ترک و تابیدگی بوده و قبلاً در محل دور از تابش آفتاب و وزش باد، دپو شده باشند.



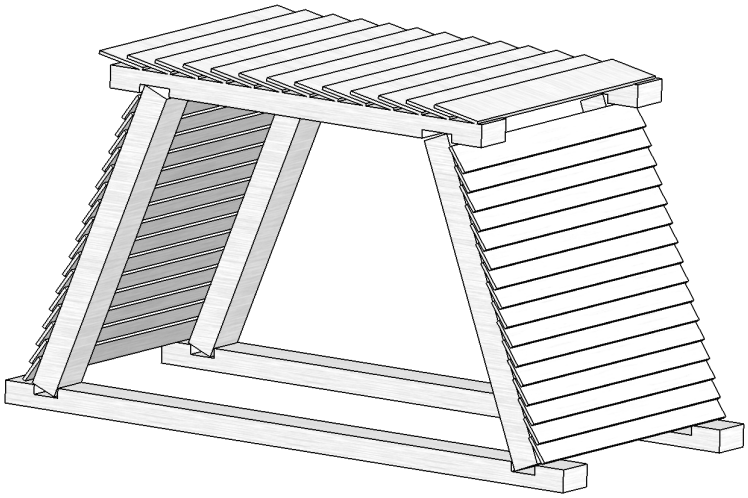
شکل (۳-۱۶)

پس از فراهم شــدن چوب و تخته ها از نقطه ی انتهایی زهکشــی (نقطه B)، شــروع به کندن می کنند. قسمت های اول کار که ارتفاع کف کانال تا زمین طبیعی کم است به صورت رو باز احداث می‌گردد.

هــر چــه جلوتر می رویم این فاصله افزایش می یابد به طوری که روبــاز بودن آن مقرون به صرفه نبوده و لازم است نظیر حفر تونل در داخل زمین ادامه مسیر بدهیم. از این نقاط به بعد نیاز به حفظ و نگهداری محل حفاری شــده، ضرورت پیدا می‌کند. از قالب های چوبی نشــان داده شده درشکل (۳-۱۶) مطابق با موقعیــت هر کدام اســتفاده و آن را به صورت یک قاب (چهارچــوب) در می‌آورند که اصطلاحاً " رامکا"

نامیده می شود.

اطراف این چهارچوب به وسیله تخته ها مطابق شکل (۳-۱۷) پوشیده می‌شوند تا مانع از ریزش خاک به داخل گالری گردند. ابعاد انتخابی برای استفاده از چرخ دستی در تخلیه مصالح مازاد به خارج مناسب بوده و کارکنان به راحتی در داخل آن رفت و آمد می نمایند.

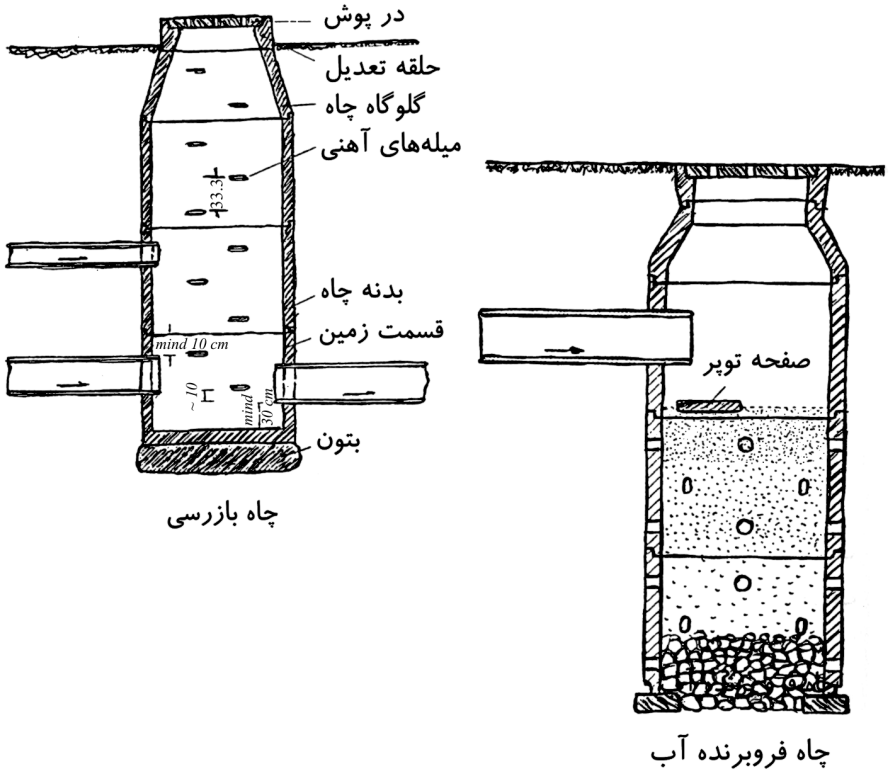


شکل(۳-۱۷)

فاصله‌ی محور به محور رامکا از هم ۱۲۰ سانتی متر، انتخاب و سپس تخته ها در اطراف آن چیده می شوند. مجموعه تخته ها در فاصله ۱۲۰ سانتی‌متر قرار می‌گیرند که رامکاهای طرفین آن را "کاپل" می‌گویند. ادامه عملیات حفاری و کارگذاشتن تخته و قاب تا رسیدن به چاه درناژ ادامه دارد که قسمت اعظم آبهای تحت الارضی را به بیرون هدایت خواهد نمود.

لازم به یادآوری است در خروجی کانال تخلیه‌ی آب با شبکه فلزی یا توری پوشیده می شود تا مانع از عبور بعضی از حیوانات به داخل کانال گردد.

قسمت روباز کانال مطابق شکل (۳-۱۸) خشکه چینی و مطابق شیب طبیعی زمین بازسازی می‌گردد. چاه درناژ با سنگ لاشه یا قلوه سنگ، بلوکاژ و روی آن علامت گذاری می شود.



شکل (۳-۱۸)

درناژ های احداث شـــده به روش فوق در ابتدای امر نســـبت به تخلیه ی آبهای زیرزمینی و خشـــک کردن خاکریز و زمین طبیعی زیر آن و کاهش سطح آبهای تحت الارضی تاثیر مثبت و مداومی نشان می دهند. متاســـفانه به مرور زمان در اثر پوســـیدن رامکا و چوبهای اطراف آن و یا جابجایی مختصر زمین و خاکریز، درناژها نیمه مسدود و یا مسدود شده و مانع از خروج آب به بیرون می شود . خشک بودن محل خروجی درناژ نشـــانه‌ی عدم کارایی و مســـدودی آن می باشد . به علاوه اثرات تخریبی خود را نشان می‌دهد. تعداد این موارد کم نبوده و در بعضی مواقع بیش از پنجاه درصد درناژهای مسیری مسدود می گردند و مشکلات متعددی از لحاظ نگهداری خط و ایمنی به وجود می آورند ، علیهذا مؤلف که درســـال ۱۳۶۸ مســـئولیت قســـمت امور فنی اداره کل و ابنیه فنی را به عهده داشـــت جهت رفع این نقیصه اقدام نمود. یکی از علل مســـدودی درناژها پوســـیدن چوبها و دیگری عدم قابلیت تحمل بار به عنوان یک ســـازه درگالری احداثی

بود. درجهت رفع این مشـــکل تصمیم گرفته شد بجای چوب از بتن مسلح استفاده شود که هر چه آب به آن می رسد، مقاوم تر گردد.

به علاوه باید طوری باشـــد که تحمل بارهای وارده، وزن خاک و ترافیک و غیره را داشـــته باشد تا دو مورد نقص ذکر شـــده در بالا از بین رفته و مشکل مســـدودی درناژها مرتفع گردد. در این راستا انتخاب شکل ســـازه مورد نظر بود. پس از مطالعه‌ی زیاد و اســـتفاده از برنامه ی کامپیوتری مخصوصی که به جهت این امر برنامه نویســـی شده بود، شکل قوســـی انتخاب گردید؛ حتی نوع قوس و شعاع های مختلفی که به آن اختصاص داده شده، شکلی از طاق را ارائه داد که ضمن داشتن فضای کافی جهت عملیات و عبور و مرور، درصد قابل ملاحظه‌ای از نیروهای داخلی به صورت فشـــاری به مقطع آن وارد می شـــد و بطوریکه اطلاع دارید بتن در فشار بهترین قابلیت را نشان می دهد . سپس اندازه و ابعاد آن متناسب با ابعاد هیکل انسان انتخاب گردید، به طوریکه موقع کار و رفت و آمد هیچ گونه مشکلی بوجود نیاید. یکی از مشکلات موجود ســـنگین بودن آن بود، علیهذا مطابق شـــکل به صورت دو پارچه طراحی گردید که هر قســـمت آن ۱۲۷ کیلوگرم وزن داشت و به راحتی به وسیله چرخ دستی و کارگر قابل حمل بود . ترکیب دو قسمت، سازه‌ای را آماده می‌کند که در اصطلاح تئوری سازه ها به آن قوس "سه مفصلی" می‌گویند. دو مفصل در محل‌های اتکا به کف و یک مفصل در بالاترین نقطه که دو قسمت روی هم می‌نشیند. ضخامت هر عضو ۱۵ سانتی متر که درکنار هم چیده می شـــود و حلقه های فلزی موجود در بدنه امکان اتصال این ها را به وســـیله میله بلند و دو ســـر رزوه فراهم می‌کند . در اســـتفاده از این سازه کلیه‌ی عملیات تعیین مسیر و حفاری نظیر حالت ســـنتی می باشـــد، فقط به جای گذاشتن رامکا و تخته از این ســـازه ها که معروف به "تنبوشه" می باشد، اســـتفاده می شـــود؛ ضمناً هیچگونه شن و ماسه‌ای درداخل آن مورد لزوم نیست وتمام فضای درناژ باز و قابل استفاده می باشد.

به این ترتیب امکان جابجایی و کور شـــدن درناژ به صفر می رســـد. بدیهی است در قسمت خروجی درناژ نصب درب فلزی مشبک ضروری است تا از لانه کردن حیوانات وحشی در داخل این نوع درناژ جلوگیری شده و در مواقع بازدید در آن باز شود.

پس از طراحی این سیستم در نواحی از آن استقبال بعمل آمد و به تدریج درناژهای احداثی با این سیستم مجهز شـــدند. در فصل های پاییز و زمســـتان که عملیات ساختمانی سرعت کمتری دارد نسبت به ساخت سازه های فوق اقدام و آنها را دپو می‌کنند تا در فصل کار از آنها استفاده گردد. ضمناً با استفاده از قالب های فلزی امکان تولید انبوه و پیش ساخته آن درمحلی مناسب مقدور می باشد .

شکل (۳-۱۹): مقطع تنبوشه

۳-۱۳-۳ معایب احداث درناژ به روش سنتی

۱- به مرور و با گذشـــت زمان و رســـوب نمودن ذرات ریز خاک و املاح درلابلای ســـنگها و شن و ماسه و همچنین به لحاظ پوسیدن رامکا و جابجایی آن زهکشی سنتی مسدود و باعث انبار شدن آب در بالا دست خط می گردد.

۲- به لحاظ وجود رطوبت در بستر طبیعی درناژ و جنس نامناسب خاک در دراز مدت ممکن است شیب کـف درناژ به هم خورده و خروج آب را با مشـــکل روبرو کند. آبهای مانـــده در درناژ خود باعث تخریب و عدم کارآئی آن می شود.

۳- ســـطح مقطع کانال تخلیه ی آب بحدی اســـت که پس از ساخت، بازدید درناژ اصلی شاخه های فرعی آن مقدور نمی باشد.

۴- با توجه به نوع چوب و قیمت آن طرح اقتصادی نبوده و ایمنی کارکنان در طول عملیات ضمانت کافی و کامل ندارد.

۳-۱۳-۴ مزایای احداث درناژ با تنبوشه

۱- چون بدنه این نوع سازه ها تحمل نیروهای وارده را دارند، امکان کور شدن درناژ به صفر می رسد .
۲- به لحاظ باز بودن فضای درناژ تهویه و تبخیر به راحتی انجام و به هدف مان که خشـــک کردن محیط است، راحت تر می رسیم.
۳- امکان بازدید گالری و درناژ های فرعی درهر زمان بخصوص پس از وقوع زلزله و ســـیل و ســـایر عوامل جوی و ترمیم قسمتهای آسیب دیده موجود می باشد.
۴- چنانچه پس از احداث درناژ، تراوش آب در نقطه ای زیاد باشـــد، می توان نسبت به احداث درناژ فرعی اقدام نمود.
۵- این روش از لحاظ قیمت تمام شده مصالح به کار رفته مقرون به صرفه می باشد.

۳-۱۳-۵ نکاتی در مورد نگهداری درناژها

۱- لازم است درناژهای سنتی در فواصل زمانی مشخص و در فصول مختلف سال از لحاظ دبی آب کنترل شـــوند؛ بدین معنی که پیمانه ای با حجم مشـــخص و ثابت در محل خروج آب قرار داده و زمان پر شـــدن آب را یادداشت و دبی آب محاسبه و نسبت به دوره ی مشابه در سالهای قبل مقایسه گردد. چون کاهش تدریجی دبی آب در وضعیت ثابت ممکن است نشانه ی کور شدن درناژ باشد.
۲- قســـمت روباز کانال که بعضاً به لحاظ کمی شـــیب زمین طبیعی طول زیادی پیدا کرده، در اثر ریزش خاک مسدود و مانع از خروج آب می گردد؛ لازم است بازدید مستمر بعمل آمده و رفع نقایص بشود.
۳- در درناژ های تنبوشه ای بازدید از داخل درناژ – کنترل جابجایی تنبوشه ها و آب شستگی کف لازم می باشد.

۳-۱۳-۶ احیاء درناژهای کور شده

هر چند که معمول اســـت در درناژ های کور شـــده، سنگها را درآورده و بجای آن از تنبوشه استفاده گردد، ولی به لحاظ ایمنی بهتر است در مجاورت آن و در فاصله ی نسبتاً مطمئنی از درناژهای قدیمی نسبت به احداث زهکشی جدید اقدام نمود . شایان ذکر است که در پشت درناژهای کور شده بعضاً حوض بزرگی از

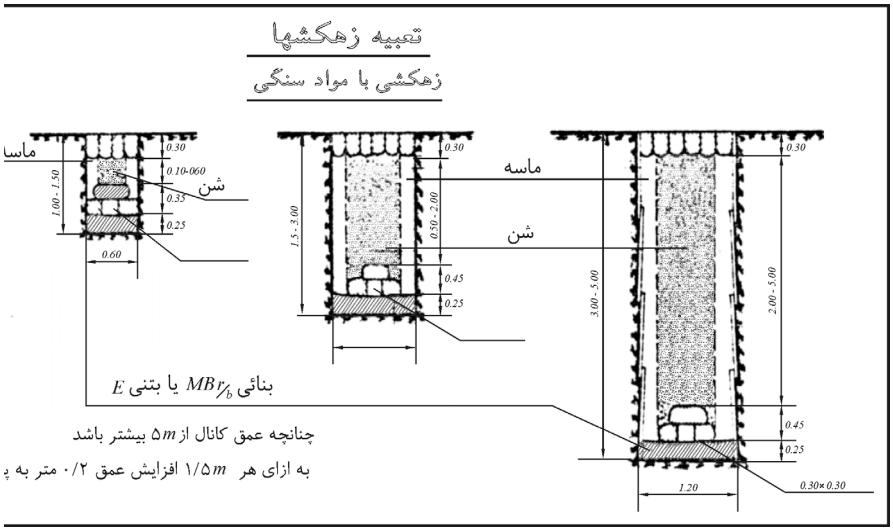
آب حبس شده که لازم است نهایت احتیاط بعمل آید تا از لحاظ ایمنی خطراتی متوجه کارکنان نشود.

۳-۱۳-۷ زهکشی در محل های تقریباً مسطح

وقتی ارتفاع خاکریز زیاد باشد و در محوطه ی کنار خاکریز حوزه ی آبگیر بارندگی کم بوده و قدری بالاتر از قسمت دیگر باشد، به طوری که امکان احداث پل و رد کردن آبها از لحاظ فنی مقدور نبوده و یا به لحاظ کمی آب حاصل از بارندگی مقرون به صرفه نباشد، برای تخلیه ی آب از یک طرف خاکریز به طرف دیگر از زهکشی استفاده می شود. گودترین نقطه ی آبگیر به صورت چاهی کنده شده و از ته چاه به شیب مناسبی به طرف مقابل خاکریز وصل می شود.

پس از احداث کانال، تخلیه ی آب کلیه ی قسمت های روباز با شن و ماسه پر شده و سطح تمام شده، بلوکاژ می شود. به این طریق تخلیه ی آبها به سهولت انجام می شود. لایه های تشکیل دهنده، پس از کف بتنی، سه عدد سنگ، (که به صورت قائم و افقی قرار داده می شود) و شن درشت و سپس روی آنها را می پوشاند بطوری که آبهای نفوذی پس از گذشتن ازلایه ها وارد مجرا شده و جریان می یابد.

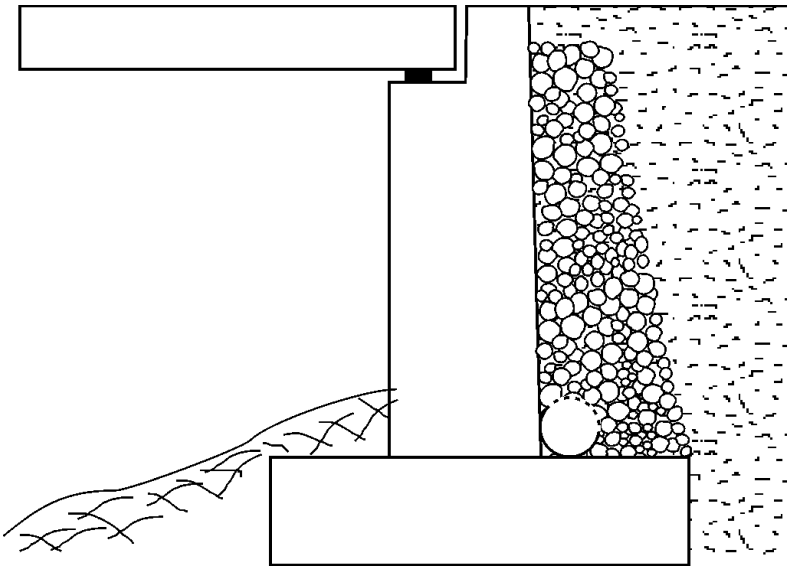
با مراجعه به شکل (۳-۱۹ الف) و ملاحظه ی جزئیات معلوم می شود ابعاد برای ارتفاع ۳ تا ۵ متر پیش بینی شده است. برای ارتفاع بیش از ۵ متر به ازاء هر ۱/۵ متر افزایش، ۰/۲ متر به عرض درناژ اضافه می شود . از این روش بخصوص در زمین های با شن متراکم استفاده می شود.



شکل (۳-۱۹ الف): تعبیه زهکشها - زهکشی با مواد سنگی

۳-۱۳-۸ زهکشی در ابنیه فنی

هر چند مقوله ی زهکشـــی بیشـــتر زمین طبیعی و خاکریز را تداعی می کند، ولی برای سایر ابنیه‌ی فنی نیز تخلیه ی آبها پیش بینی شـــده اســـت. در پشـــت پایه ی بعضی از پلها، لوله های نیمه مشبک قرار داده می شود و سپس روی آن قلوه سنگ و یا شن ریخته می شود . آبهای نفوذی به این وسیله زهکشی شده و از دو سر لوله تخلیه می شود. به شکل (۳-۲۰) رجوع کنید.



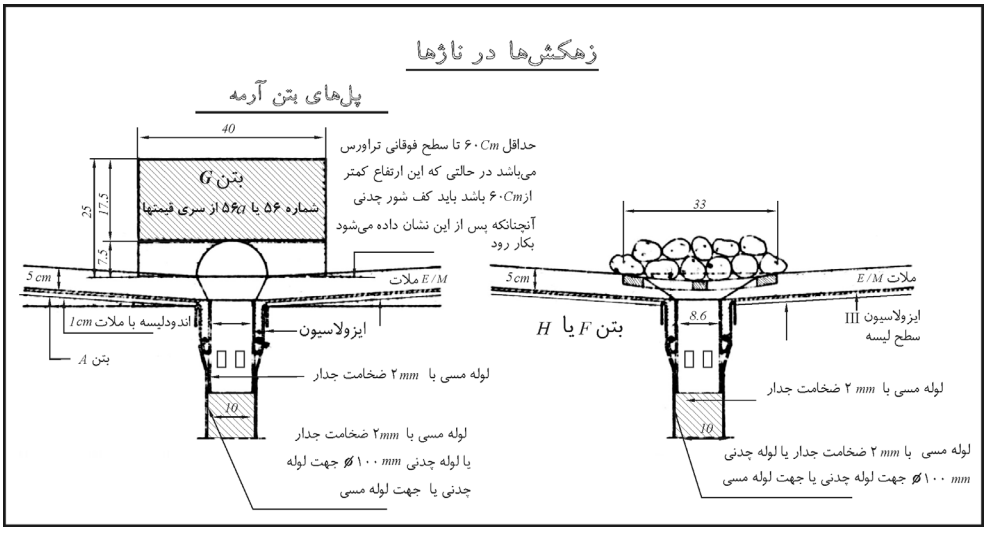
شکل (۳-۲۰)

به طوری که در فصل بعد خواهیم دید در داخل تونل ها نیز امکانات زهکشی پیش بینی شده است. آبهای نفوذی از بالای کوه به وســـیله آن زهکش شـــده و از کانالی در طول تونل متناســـب با شیب طولی خط به بیرون هدایت می شوند.

در مورد دیوارها به طوری که در فصل قبل اشـــاره شـــد، بارباکان هایی پیش بینی شـــده و در پشت دیوار جلوی آنها قلوه سنگ قرار داده‌اند که آبهای نفوذی خالی شوند.

برای پلهای بزرگ در تابلیه محل تخلیه‌ی آب پیش‌بینی شـــده اســـت. شـــیب لازم برای جریان آب بالای

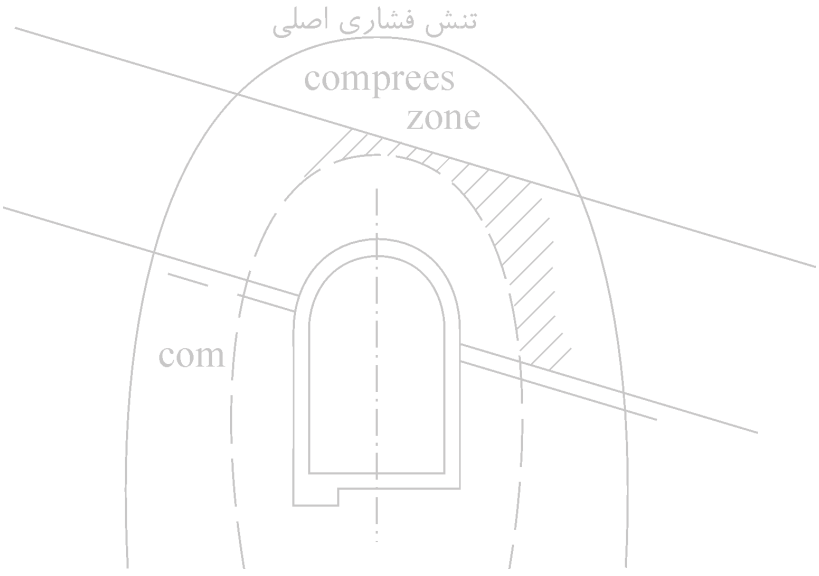
تابلیه به سمت آن نقطه داده می‌شود. لوله‌ی فلزی تعبیه شده در تابلیه که از پایین به فضای آزاد و از بالا به چند عدد قلوه سنگ محدود است، عمل زهکشی را انجام می‌دهد . چنانچه این آبها در روی تابلیه پل بماند باعث یخ زدن آب و آسیب دیدن ایزولاسیون پل می‌گردد. اگر درناژ پل کار نکند دور لوله‌ی درناژ خیس شده و پس از خشک شدن شوره می‌زند که با تفکیک بالاست و تجدید ایزولاسیون رفع مشکل می شود. شکل (۳-۲۱) جزئیات درناژ تابلیه پل را نشان می دهد. قطر لوله های درناژ ۱۰ سانتی متر بوده و در بعضی از پلها بجای قلوه سنگ از مکعب مستطیل بتنی به ابعاد ۲۵ × ۴۰× ۴۰ سانتی متر استفاده می شود . قسمت پایین این مکعب به شکل دو نیم استوانه متعامد خالی است که محل خالی باعث هدایت آب به لوله ی تخلیه می شود.



شکل (۳-۲۱): زهکش ها (درناژ ها)

فصل چهارم

تونل ها



یکی از خصوصیات راه آهن داشــتن شــیب و فراز کم می باشــد، چرا که اصطکاک آهن روی آهن (چرخ لکوموتیو و واگن روی ریل) خیلی ناچیز اســت؛ لذا چنانچه مقدار شــیب زیاد باشــد، ســرعت قطار کم می شود و منظور اصلی از ایجاد راه آهن که برای حمل بار بیشتر و سریع تر می باشد، برآورده نمی شود؛ حتی در خیلی از موارد یکی از ضرایب لازم جهت افزایش باردهی راه آهن کاهش شیب به حداقل ممکن می باشد . کاستن شیب و فراز مستلزم اتخاذ تدابیری جهت خنثی نمودن اثر اختلافات ارتفاع شدید روی مسیر است که بهترین روش، استفاده از پل روی دره ها و بکار گرفتن تونل در دل کوهها و در بعضی موارد نیز طولانی نمودن مســیر در امتداد رودخانه ها و حاشــیه ی کوهها و تپه هاســت . به این ترتیب می توان انتظار داشــت که تعداد پل و تونل در مســیر راه آهن بیشتر از جاده و شوسه باشد. جهت شکافتن کوه به منظور زدن تونل موارد زیر باید مطالعه گردد:

۱- نقشــه برداری از منطقه – امروزه به وســیله‌ی نقشــه برداری هوایی (فتوگرامتری) به راحتی میسر اســت که با استفاده از عکسهای هوایی و دســتگاه استرئوسکوپ بتوان تصویری برجسته از عوارض مسیر مشاهده نمود و محل تونل را انتخاب کرد. معمولاً در پیاده کردن مسیر تونل ها جهت کاهش میزان خطاها از روشهای مثلث بندی و پلیگون بندی استفاده می‌گردد.

۲- زمین شناســی منطقه – شــناخت زمین از لحاظ قشــرهای تشــکیل دهنده ، همچنین تشخیص گســل های فعال و غیر فعال زلزله و این که تونل در چه وضعی گســل ها را قطع نماید، حائز اهمیت بوده و قابل بررسی می باشد.

۳- تعیین ســختی صخره های تشــکیل دهنده – که بیشــتر در مرحله ی اجرا انجام می گیرد، لذا با اســتفاده از میزان نفوذ امواج ماوراء صوت در ســنگهای تشــکیل دهنده، سختی آن تعیین و تصمیم لازم جهت انتخاب نحوه ی عمل برای حفاری تونل ها و مصالح لازم برای تقویت بدنه‌ی آنها اتخاذ می‌گردد.

۴- بررسی وضع صخره های اطراف تونل – معمولاً میزان تعادل صخره های بدنه ی تونل بررسی و به شرح زیر طبقه بندی می شود :

الف – کاملاً پایدار (سنگی یکپارچه)

ب- پایدار (سنگی توده ای با درزه)

ج- موقتاً پایدار (سنگی با درزه های زیاد)

د- ناپایدار (سنگهای شکسته و پر درزه)

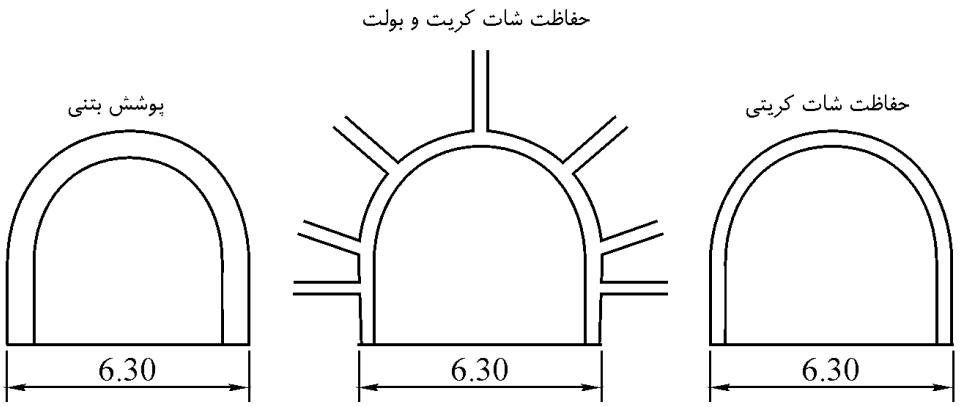
بدیهی اســت چنانچه صخره از نوع اول باشــد قســمت حفاری شده بعنوان قســمت داخلی عمل نموده و به هیچ گونه پوشــش و تقویت و تجهیزی نیاز نیست. در مورد دوم فقط آستر تونل مرکب از سنگ مالون و مصالح بنایی کافی خواهد بود و برای حالت سوم و چهارم احتیاج به آستر بتنی و بتن مسلح هست که بتواند فشارهای جانبی وارده از خاک و سنگینی قسمت شل شده‌ی بالای تونل را تحمل نماید و بسته به نوع خواص صخره و خاک اطراف ابعاد بتن و مقدار آرماتورها تعیین می گردد.

یکی از روشــهای تجهیز تونل ها اســتفاده از راک بولت و بتن پاشی (شــات کریت) می باشد که در مقام مقایسه با بتن آرمه ضخامت آستر به اندازه و حجم حفاری نزدیک به ۱۰٪ و هزینه تمام شده ۱۰ الی ۱۵٪ کاهش می یابد. در این روش از خطر ریزش کاســته می شــود و در نتیجه سوانح ضمن کار به حداقل می رسد . روش کار ساده است ، از این روش حتی برای پوشش حفاظتی پل ها، پوشش تراشه ها و تثبیت و تقویت آستر ترک خورده ی تونل ها استفاده می گردد.

آزمایش هایی که به عمل آمده مشخص نموده که مجموعه ی این روش؛ تقویت و صخره به صورت سیستم واحد و یکپارچه عمل می کند.

آزمایش مقایسه ای برای انواع مختلف آسترهای تونل بعمل آمده، به شرح زیر است :

یک تونل آزمایشی به دهانه ۶/۳۰ متر ایجاد و به سه قسمت تقسیم شده است؛ قسمت اول به وسیله آستر بتن آرمه ، قسمت دوم به وسیله بتن پاشی با ضخامت ۱۵ سانتی متر و راک بولت و قسمت سوم فقط با بتن پاشی تقویت گردیده است، شکل (۱-۴).



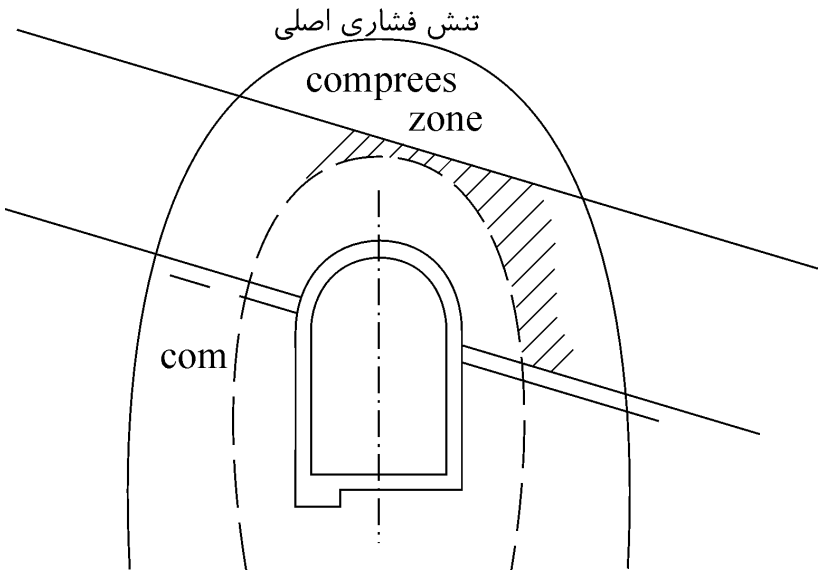
شکل (۴-۱)

ابزار اندازه‌گیری رابطه تغییر مکان با زمان در بالاترین نقاط تونل ها نصب گردیده اســت؛ نتیجه آزمایشها نشان داده که :

برای بتن پاشــی و راک بولت پایداری تا یک ماه حفظ شــده است. برای بتن پاشی تغییر مکان پس از دو ماه به ۰/۰۰۱۲ میلیمتر در روز رســیده اســت ، ولی برای آســتر بتنی میزان تغییر مکان ادامه یافته و به ۰/۰۰۲۵ میلیمتر در روز رسیده است تا این که در ماه دهم ترکهایی به عرض یک میلیمتر در یک چهارم ارتفاع طاق ایجاد گردیده و تغییر مکان کامل در ماه سی و ششم بوجود آمده است. ملاحظه می شود که ســازه ی بتن پاشــی و مجموعه ی بتن پاشی با راک بولت در شرایط خوبی عمل نموده‌اند. برای تشخیص شکل صخره در ضمن کندن روشهایی معمول است :

- استفاده از مقاومتهای الکتریکی نشان دهنده ی تغییر مکان
- استفاده از امواج صوتی

با اســتفاده از امکانات فوق می توان پدیده‌ی تغییر مکان را بررســی کرد و بدین ترتیب معلوم می شود که قسمتی از بالا و اطراف تونل به نام منطقه ی تنش اولیه تغییر مکانهایی می دهد؛ سپس منطقه ی فشاری در مجــاورت و زیــر آن در فاصله‌ای حدود ۱ تا ۱/۵ برابر قطر تونل تشــکیل می‌گردد و بالاخره صخره ی محیط تونل در یک عمق مشخص شل می شود.



شکل (۴-۲)

شـــکل (۴-۲) نمایانگر مناطق ســـه گانه ی فوق است . سیستم بتن پاشی و راک بولت می تواند در مقابل تغییر مکان محیط مقاومت نموده و باعث شـــود که ســـه منطقه ی فوق الذکر در هم تلفیق شده و پایداری نهایی حاصل گردد . این پدیده ۲۰ تا ۴۵ روز طول می کشد.

شـــکل (۴-۳) منحنی های تنش های یکســـان آستر بتن پاشی شده را نشان می دهد . ملاحظه می شود کـــه تنـــش ها به هم نزدیک گردیده و ضمن هم جنس بودن از نظر مقدار نیز حدود هم می باشـــد، یعنی توزیع مجدد و تعدیل تنش ها بوجود آمده است .

تبصره : تجربه ثابت کرده که دیوارهای قوســـی شـــکل برای زمینهای نرم با تغییر شکل بیشتر مناسب تر از نوع مستقیم آن است .

شکل (۴-۳)

فرمول تجربی زیر برای محاسبات ابعاد پوشش داخلی بتن پاشی و راک بولت مورد استفاده قرار می گیرد.

$d=30-5a+b(cm)$

d= ضخامت بتن پاشی

a= برای سنگ رست (نوع III) مساوی ۳

- برای سنگ مطبّق (طبقه ای) نرم و سنگ آهک با مقاومت $\frac{kg}{cm^2}$ ۲۰۰ -۵۰ (نوع IV) مساوی ۴
- برای سنگهای سخت با مقاومت $\frac{kg}{cm^2}$ ۶۰۰-۳۰۰ (نوع VI و V) مساوی ۵

b = ضریب دهانه برای راه آهن یک خطه $b=0$

- ضریب دهانه برای راه آهن دو خطه $b=5$

طول راک بولت از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$L=300-30a+10b$

فاصله‌ی بولت‌ها از هم برابر نصف طول آنها از هم می باشد.

برای بکار بردن سیستم بتن پاشی در صخره‌های نوع III و IV علاوه بر استفاده از راک بولت‌ها مصرف شبکه آرماتور mesh نیز ضروری است .

مثال (۱): – برای تونلی که در داخل صخره‌ای با سنگهای سخت نوع VI و V هوا زده شده است ، مطلوب است محاسبه‌ی ضخامت بتن پاشی و طول راک بولت و فاصله‌ی بولت ها از هم؛ تونل فوق برای راه آهن یک خطه در نظر گرفته شده است .

حل :

$a=5$ ⟵ سنگ سخت نوع (VI) و (V)

$b=0$ تونل راه آهن یک خطه

$d=30-5a+b$

ضخامت بتن پاشی بر حسب سانتی متر $d=30-5\times5+0=5$

$L=300-30a+10b$

طول بولت $L=300-30\times5+10\times0=150$ cm

فاصله دو بولت متوالی $150\div2=75$ cm

لازم است مقاومت نمونه استوانه‌ای بتن پاشی (f،c) در فواصل زمانی مختلف، مقادیر زیر را داشته باشد:

- بعد از ۸ ساعت ۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- بعد از ۲۴ ساعت ۱۴۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- بعد از ۲۸ روز ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع

حداقل سیمان مصرفی در هر متر مکعب بتن باید ۳۰۰ کیلوگرم باشد.

۴-۱ نحوه‌ی عمل

پس از تعیین ضخامت بتن طول بولت و فاصله‌ی آنها از هم، کلیه‌ی سطوحی را که قرار است بتن پاشی شوند از

گرد و خاک ، لکه های چربی و سایر مواد مضر پاک نموده و تا اجرای بتن پاشی مرطوب نگاه می دارند . سوراخ بولت ها را که قبلاً تعبیه شده با آب تحت فشار شستشو و سپس با هوا خنک می‌نمایند. بولت ها را با مهار انبساط مکانیکی یا نوعی اپوکسی و یا رزین پولیستر مهاربندی می کنند .پیچ ها ممکن است بدون مهار بندی و با استفاده از دوغاب اپوکسی یا رزین پولیستر نصب گردند. پیچ های نصب شده باید قادر باشند بارکششی به میزان ۰/۷۵ تنش ارتجاعی پیچ را تحمل نمایند. این آزمایش با استفاده از جک هیدرولیکی به عمل می آید، تور سیمی فولادی از مفتول‌های چهار میلیمتری با چشمه‌ی شش سانتی متری تهیه و پشت صفحات اتکایی بولت ها مهار می‌نمایند و علاوه بر آن با وسایل دیگری نظیر میخ محکم می کنند. حداقل روی هم افتادگی تور سیمی در نقاط جدایی ۲۰ سانتی متر می باشد و بالاخره بتن پاشی انجام می شود.

گاهی از میله‌های قوس‌دار فولادی (آرک) برای تقویت بتن پاشی استفاده می‌شود که می‌تواند توأم با تور سیمی فولادی بکار رود. محور آرک ها باید عمود بر محور تونل باشد که در مواقع تحمل نیرو حداکثر کارآئی را داشته باشند.

معمولاً در امر تونل سازی مطالعات عمیقی صورت می‌گیرد. روش معمول برای کندن تونل انفجار می باشد. اخیراً کندن تونل به وسیله ماشین نیز اجرا شده است، ولی فعلاً هزینه‌ی این عمل به حدی است که استفاده از آن در همه موارد مقرون به صرفه نمی باشد. این ماشین تونلی تا قطر ۱۰ متر را می تواند حفاری کند. در بعضی از کشورها ماشین هایی با توان احداث تونل تا قطر ۶ متر بکار گرفته شده است. چون این ماشین ها به نیروی برق زیادی احتیاج دارند برای جاهایی که نیروی برق به وسیله‌ی دیزل‌های ژنراتور تولید می شود، زیاد مقرون به صرفه نخواهد بود[1]. زمانی که تونل به اندازه‌ی کافی کنده شد سقف تونل باید ضمن عملیات، نگه داشته شود یا این‌که عملیات دیوار و سقف سازی آن کامل گردد.برای انفجار سوراخی در صخره ایجاد می‌گردد که به چال زنی موسوم است و مواد قابل انفجار در آن کار گذاشته می شود . حجم این مواد متناسب با نوع صخره تعیین می‌گردد. مقطع تونل به صورت نعل اسبی انتخاب گردیده که بهتر بتواند نیروهای وارده را تحمل کند.

۴-۲ زهکشی

آبهای نفوذی بین آستر و صخره قرار گرفته و فشار خود را به بدنه ی تونل وارد می سازد. این آبها باید زهکشی و تخلیه گردند. در طاق و بدنه ی تونل سوراخ هایی به موازات محیط داخلی تونل و به شکل کانال

۱- این دستگاه معروف به T.B.M و یا کالیفرنیا می باشد و در حفاری تونل های داخل شهر و حتی تونل های آبرسانی نیز استفاده می شود. در ایران نیز امروزه تعداد زیادی مورد استفاده می باشد.

احداث می‌گردند که آبها از آن طریق خارج شده و به کانال طولی تخلیه ی آب تونل وصل می شوند. در مواردی که این سوراخ ها گرفته شوند آب از سقف و دیواره های تونل خارج می‌گردد که ضمن خیس کردن خط از جاهای دیگر به بدنه نفوذ نموده و بین آستر و صخره جدایی ایجاد می نماید؛ علاوه بر آن در زمستان به صورت قندیل یخ در آمده، به جلوی لکوموتیو اصابت و باعث آسیب رساندن به آن می گردند. در چنین مواردی باید به ترمیم زهکشی اقدام نمود . در موقع حفاری تونل آزمایش خاک روی نمونه های مختلف انجام می‌گیرد؛ علاوه بر آن عمق آبهای زیرزمینی نیز مشخص می شود، حتی تجزیه های شیمیایی روی آب انجام می‌گیرد که مواد موجود در آن شناسایی گردد.

از نظر ابعاد پنج تونل در راه آهن ایران مورد استفاده قرار گرفته است :

الف : نوع A به ابعاد ۵/۸۰ ×۵/۲۰ متر ۵/۲۰ حداکثر عرض تونل و ۵/۸۰ حداکثر ارتفاع

ب : نوع B به ابعاد ۵/۸۰ ×۵/۵۰ متر

ج : نوع C به ابعاد ۶/۰۰×۵/۵۰ متر

د: نوع دو خطه به قطر ۱۰ متر که در محور بافق – بندر عباس تعدادی احداث شده است(شکل ۴-۷)

ه : نوع یک خطه به ابعاد ۷/۲۰ ×۶/۲۰ متر ۶/۲۰ حداکثر عرض و ۷/۲۰ حداکثر ارتفاع که درمحور مشهد-سرخس تعداد سه دستگاه احداث شده است (شکل ۴-۸)

تیپ A در خط مستقیم و قوسهایی با شعاع بیش از ۲۵۰ متر مورد استفاده قرار می گیرد.

تیپ B برای قوسهایی با شعاع کوچکتر از ۲۵۰ متر بکار می رود.

تیپ C برای قوس های با شعاع بسیار کوچک مناسب است .

به طوری که ملاحظه می‌گردد نوع B به اندازه ۳۰ سانتی متر اضافه عرض دارد و این به خاطر قوسهای خط می باشد که در آن نقاط حداقل فضای لازم بین قطار و دیوارهای تونل حفظ گردد. در تیپ A مورد استفاده در خط مستقیم، محور تقارن قائم از وسط می‌گذرد و منحصر به فرد می باشد، در حالی که در تیپ B مورد استفاده در قوسها، چهار محور قائم دیده می شود که در نوع اولی این چهار محور بر هم منطبق هستند . این محورها عبارتند از :

۱- محور تونل

۲- محور فضای آزاد گاباری

۳- محور خط

۴- محور مسیر

۱- محور تونل

این محور، تونل را نصف می کند و کلیه ی ابعاد تونل حول آن محور که قائم می باشد، تقارن دارند.

۲- محور فضای آزاد گاباری

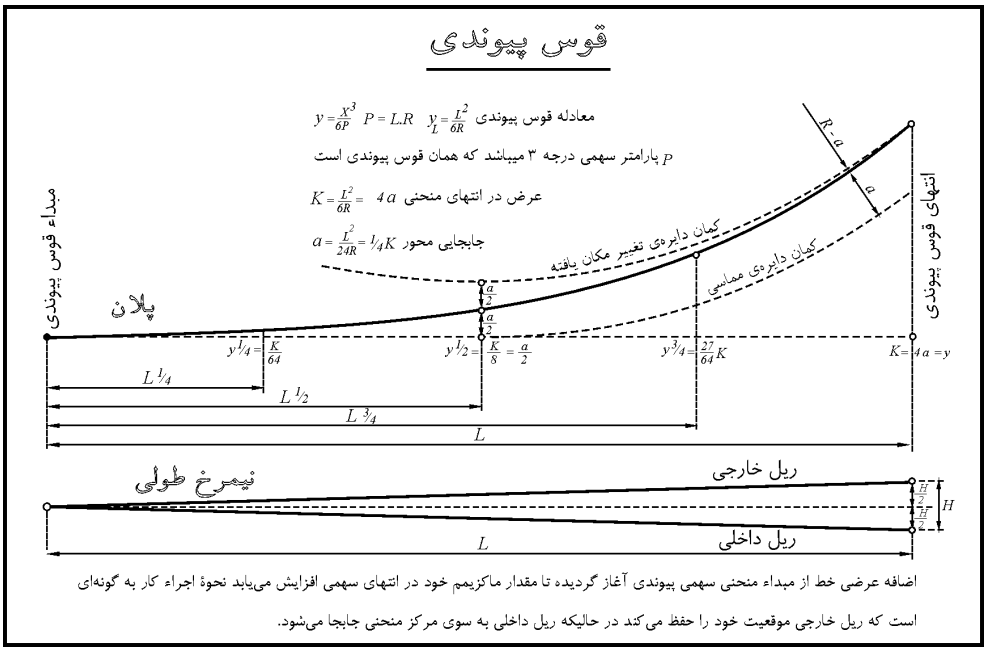
در قوسها، وسیله نقلیه از حالت قائم منحرف شده و قدری به طرف مرکز قوس متمایل می شود و این انحراف به خاطر دِور یا شیب عرضی خط می باشد که جهت خنثی نمودن اثر نیروی گریز از مرکز به خط داده می شود، لذا محور فضای آزاد با محور تونل زاویه‌ای که مساوی با زاویه دور می باشد، می سازد.

۳- محور خط

در قوسها، محور خط بر محور تونل منطبق نبوده، قدری از آن فاصله داشته، ولی با آن موازی می باشد و در این حالت است که فاصله ی فضای آزاد از دیوارهای تونل یکسان می شود که این مقدار بستگی به شعاع قوس دارد و هر چه شعاع کوچکتر گردد، این فاصله بیشتر خواهد شد.

۴- محور مسیر

بحث در این مورد مربوط به قوس پیوندی می گردد، درشکل (۴-۴) قوس دایره ، که بوسیله‌ی نقشه برداری در طول مسیر پیاده شده با نقطه چین مشخص شده است ولی این کمان نمی تواند به عنوان قوس خط مورد استفاده قرار گیرد، زیرا در ابتدای قوس وسیله نقلیه که از خط مستقیم با شعاع بی نهایت باید وارد شعاع کوچکتری مثلاً ۳۰۰ متر بشود با تغییر شعاع ناگهانی روبرو می گردد.



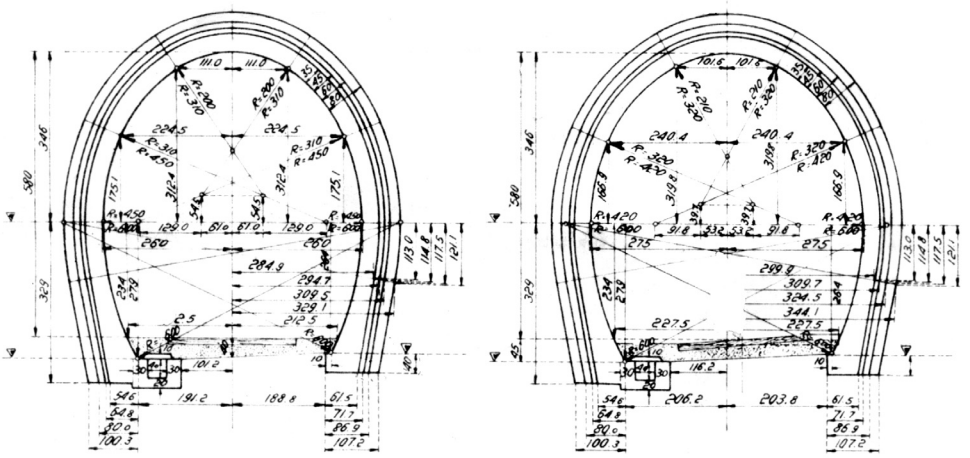
شکل (۴-۴)

این تغییر شعاع نیروی مرکزی را یکباره به آن وارد می‌کند که از نظر راحتی مسافران و تعادل قطار جالب نمی باشد، لذا در قوسها قبل از دایره یک قوس پیوندی که در راه آهن ایران سهمی درجه سوم یا کلوتوئید می باشد، بکار می برند و به این وسیله شعاع که در ابتدای پیوندی بی نهایت است، رفته رفته کاهش یافته و در آخر قوس پیوندی برابر شـعاع دایره می شـود. قوس پیوندی نصف طولش در خط مسـتقیم و نصف دیگرش در منحنی اسـت. با بکار بردن پیوندی نقاط دایره‌ی اولی به اندازه α از حالت قبلی جابجا شـده و در امتداد پیوندی قرار می گیرد. این جابجایی را "دپلاسمان" می گویند. محور مسیر در تونل‌ها نشان دهنده‌ی محل اول قوس دایره‌ای است.

تبصره – اخیراً در خطوط جدیدالاحداث راه آهن کشورمان بجای سهمی درجه سوم از منحنی کلوتوئید استفاده شده است .

در قوس به شعاع ۲۲۰ متر مقدار برابر ۶۸/۲ سانتیمتر و فاصله ی محور خط با محور تونل مساوی ۱۶/۸ سانتی متر است . بنابراین کل جابجایی محور مسیر و تونل ۸۵ سانتیمتر می باشد. این جابجایی در شعاع

۲۰۰۰ متر برابر ۲ سانتیمتر و از شعاع ۲۰۰۰ متر به بالا صفر می باشد؛ شکل (۴-۵) جزئیات را نشان می دهد. هدف از رعایت اندازه های فوق این است که فاصله ی محور تونل با مسیر پیاده شده ی اولیه رعایت گردد تا پس از تکمیل خط، مسیر مورد قبولی داشته باشیم .



شکل (۴-۵)

از نظر نوع خاک تونل ها را با رادیه و یا بدون رادیه می سازند؛ اگر خاک زیر تونل مقاوم باشد تونل از نوع بدون رادیه انتخاب می شود و چنانچه خاک سست باشد با رادیه ساخته می شود.

تونل ها مقطع شـــان که نعل اسبی می باشـــد از چند دایره تشکیل شده است، یعنی تونل نوع A در روی محـــور افقـــی که پایین ترین نقطه ی آن ۳/۲۹ متر فاصله دارد با دایره‌ای به شـــعاع ۶ متر که مرکزش در روی محور افقی اســـت، شـــروع می‌شود. از محور افقی به بالا شعاع به ۴/۵ متر کاهش می‌یابد و این وضع تا ارتفاع ۱/۷۵۱ بالای محور افقی ادامه دارد؛ سپس با شعاع ۳/۱۰ متر تا ارتفاع ۳/۱۲۴ بالای محور افقی و بالاخره با شـــعاع ۲ متر تا ارتفاع ۳/۴۶ بالای محور افقی به بالاترین نقطه ی تونل می رســـد. همین وضع تقارن در نیمه‌ی دیگر تکرار می‌گردد . به این ترتیب ملاحظه می‌گردد که منحنی تشـــکیل دهنده مقطع تونل A مرکب از چهار قوس دایره‌ای به شعاع های ۶ و ۴/۵ و ۳/۱۰ و ۲ متر می‌باشد . در مورد تونل B اعداد قدری متفاوت هستند که در شکل (۴-۶) مشخص گردیده است .

شکل (۴-۶)

کف تونل ها به طرف کانال خروج آب، آن هم به سمت بیرون تونل شیب دارد، لذا آبهای نفوذی بدین وسیله دور می شوند؛ در جاهایی که تونل از دامنه ی کوه عبور نماید، چون تحت اثر نیروهای غیر متقارن افقی قرار می گیرد، پایه ی طرف دامنه ی کوه ضخیم تر از پایه ی سمت قله انتخاب می گردد و بدین وسیله پایداری کلی تونل در مقابل نیروی رانش خاک افزایش می یابد.

سر در تونل ها طوری ساخته می شود که آبهای جاری شده از سطح کوه به وسیله‌ی یک کانال کوچک بالای سر در گرفته شده و به وسیله دو مجرای مخصوص تخلیه گردد؛ به علاوه دیوارهای بالی در دو طرف آن منظور می شود که شیب این دیوارها از $\frac{۲}{۳}$ تا $\frac{۱}{۱}$ متفاوت بوده و متناسب با حجم خاک ابتدای تونل و انتهای آن احداث می گردد. درپوش کانال خروج داخل تونل، بتنی بوده و به ابعاد ۴۰ × ۶۰ و با ضخامت ۱۲ سانتی متر ساخته می شود. این درپوش ها به وسیله‌ی آرماتورهای نمره پنج مسلح می گردند؛ ممکن است بجای دیوارهای بالی تونل دیوار برگشتی درنظر گرفته شود . نوع این دیوارها با ملاحظه ی مشخصات محل تعیین می شود، ضمن اینکه باید وضعیت قرار گرفتن خروجی تونل در تقاطع یا کوه را نیز مد نظر قرار داد.

بارباکانهای دیوار تونل به فاصله ۲ متر از هم در نظر گرفته می شود. در داخل تونل پناهگاه هایی برای استفاده از عابر پیاده ساخته شده است که مورد استفاده‌ی مامورین درهنگام عبور قطار قرار می گیرد.

سنگ چند وجهی نامنظم (عمقی)

$a \geqslant$ ۱۰ سانتیمتر

$b \geqslant$ ۲۵ سانتیمتر

سنگ چند وجهی نامنظم (راسته و کله)

$a \geqslant$ ۱۰ سانتیمتر

$b \geqslant$ ۳۵ سانتیمتر

فصل پنجم

سنگ های ساختمانی

استفاده از سنگهای مختلف به عنوان پوشش و محافظ برای انواع ساختمانها به دو منظور زیر اعمال می‌گردد:

۱- سنگ پلاک: به عنوان نما و پوشش قائم قسمت بیرونی ساختمانها بکار می رود و اصطلاحاً "سنگ پلاک" نامیده می شـود . سـنگ پلاک در کف اطاقها، سـرویس و کف پنجره، قرنیز، سنگ پله و کف پارکینگ، حیاط خلوت و غیره که جنبه‌ی تزئینی و بهداشتی به ساختمان می دهند نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- سـنگ مالون : به عنوان مصالح ساختمانی که در انواع دیوارهای ساختمان سنگی، حفاظتی، پایه ها و بدنه ی تونل مورد مصرف دارد.

معمولاً سـنگهای نوع اول از معادن اسـتخراج می‌گردند که با نام محل قرارگیری معدن و یا نوع سـنگ مشـهور هستند، مثل سنگ چینی سفید سیرجان، سنگ چینی الیگودرز، کریستال ازنا، گرانیت زنجان و غیره .

سـنگهای نوع دوم معمولاً از نوع سـخت و به رنگهای سیاه و زرد از نزدیکی محل کارگاه استخراج و حمل می شوند.

سـنگها به خاطر این‌که مدت های مدید در زیر خاک مدفون بوده و در تماس با نور آفتاب و هوا نبوده اند پس از اسـتخراج و استفاده در مجاورت نور و هوا قدری تغییر رنگ می دهند، لذا سنگهای سفید سفیدتر و در نتیجه مرغوبتر و سـنگهای رنگی رنگ پریده تر و نامرغوبتر می‌شـوند و در این خصوص لازم است در انتخاب سنگ نوع (۱) به این موضوع دقت گردد.

۱-۵ دسته بندی سنگها

از لحاظ مهندسی، ساختمان سنگها به سه دسته تقسیم می شوند :

۱- سـنگهای آذرین : سنگهای آذرین که به آنها سـنگهای آتشفشانی هم می‌گویند، سنگهایی هستند که از سرد شدن مواد گداخته فوران یافته از قسمت مذاب زمین حاصل شده اند. از مشخصات این سنگها این‌که یکپارچه و بدون رگه و فاقد فسیل و بقایای موجودات زنده بوده و بر حسب مدت زمان سرد شدن تمام بلوری و نیمه بلوری هستند .

۲- سنگهای رسوبی : منشاء اصلی این سنگها مواد ریز جامد حاصل از فرسایش معلق در آب رودخانه‌هاست که تحت تاثیر شرایط محیطی و جوی تشکیل شده اند.

مشخصات این سنگها عبارت است از :

- معمولاً لایه لایه هستند،
- فاقد بلور هستند،
- سست تر از دو نوع آذرین و دگرگونی هستند،
- ممکن است بقایای اجساد حیوانات در لای سنگها دیده شوند،
- جنس سنگ یکنواخت نیست و ممکن است دارای لایه های خاک و لای باشند.

۳- سنگهای دگرگونی: اگر سنگهای رسوبی یا آذرین از محل تشکیل، تحت اثر شرایط مختلف، به اعماق زمین منتقل بشوند و در آنجا تحت تاثیر فشار یا حرارت و در مجاورت رطوبت قرار گیرند، تغییراتی در ساختمان آنها پیدا می شود که باعث دگرگونی آنها می‌گردد. نمونه ی این سنگها شیست و مرمرها هستند.

● **استخراج سنگ:** معمولاً سنگ را از اعماق زمین به وسیله‌ی چال زدن و استفاده از دینامیت یا مواد منبسط شونده نظیر کتراک استخراج و به قطعات قابل حمل با تریلی تبدیل می‌کنند. این قطعه که به کارخانه‌ی سنگ بری حمل می شود به "قلّه " موسوم است . درصورتی که نیاز به تهیه ی سنگ نما و غیره باشد به وسیله اره به ابعاد و ضخامت های مختلف از ۱ تا ۶ سانتی متر بر حسب محل مصرف برش داده می شود.

● **وزن مخصوص سنگهای ساختمانی:** وزن مخصوص سنگ از ۱/۷ تا ۳ تن بر متر مکعب متغیر است. هر چه وزن مخصوص سنگ زیادتر باشد سنگ جلا پذیرتر می باشد. سنگ با وزن مخصوص ۲/۵ به بالا تا حد آئینه‌ای شدن جلا بر می دارد.

سنگ از جمله مصالح ساختمانی طبیعی است که در بیشتر مناطق کشورمان به وفور یافت می شود و حتی آن را بدون ملات و به صورت خشکه چینی مورد استفاده قرار می دهند.

سنگ به وسیله‌ی اره برقی ، پتک ، چکش ، قلم و تیشه و ابزارهای گوناگون دیگر به شکل ها و اندازه های متفاوت درمی‌آید و آن را در نقاط مختلف ساختمان مورد بهره برداری قرار می دهند.

۵-۲ اصول کلی انتخاب سنگها برای بنایی سنگی :

۱- بافت سنگ

- بافت سنگ باید بدون شیار و ترک و رگه سست باشد،
- بدون هیچ خلل و فرج باشد،
- یکدست و یکنواخت باشد،

۲- جذب آب

سنگ طبیعی ساختمان در مقابل آب باید :

- در آب حل نشود،
- بیش از ۸٪ وزن خود آب جذب نکند.

مثال(۵-۱): قطعه سنگی به وزن ۱/۲۰۰ کیلوگرم در داخل آب قرار داده شده است، پس از ۲۴ ساعت وزن آن به ۱/۲۸۴ کیلوگرم می رسد. درصد جذب آب آن را مشخص و تعیین کنید و بیان نمایید با درصد بدست آمده قابلیت استفاده درکارهای ساختمانی را دارد یا خیر ؟

حل :

$$۱/۲۸۴-۱/۲۰۰=۰/۰۸۴\ kg$$

$$\frac{۰/۰۸۴}{۱/۲۰۰}\times ۱۰۰=۷$$

$۷ < ۸$ قابل قبول است

چون ۷ درصد آب جذب نموده و آن کمتر از هشت درصد است، لذا میزان جذب آب در حد مجاز قرار دارد .

۳- پاکیزگی

- سنگ ساختمانی نباید آلودگی داشته باشد .

۴- پایداری در برابر عوامل جوی

- سنگ طبیعی باید در مقابل یخزدگی و فرسایش مقاوم باشد.

۵- مقاومت و دوام

سنگ باید مقاومت فشار و دوام کافی متناسب با مورد مصرف را داشته باشد.

۵-۳ تعاریف عمومی برای انواع شکل سنگها:

۱- سنگهای رودخانه‌ای

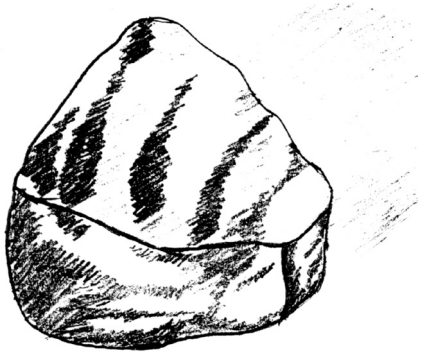
این سنگها در اثر فرسایش آب و غلطیدن روی هم فاقد لبه و گوشه های تیز بوده و سطح آنها صیقلی است.

۲- سنگهای قلوه رودخانه ای

این نوع سنگها از قطر ۵ سانتی متر تا ۱۵ سانتی متر از بستر رودخانه ها قابل برداشت است و در موارد مخصوص استفاده می گردد.

۳- سنگهای معدنی (روباز و عمقی)

این سنگها بیشتر لبه تیز هستند و مستقیماً از درون رگه کوه استخراج می‌گردند . در عملیات استخراج آنها از مواد منفجره، پتک، قلمهای بزرگ، چکش های ضربه ای هوای متراکم (دج بر) و سیم برش استفاده می شود . این سنگها با حجم زیاد به صورت جدا شده، سنگ قله (coupe) می باشند.



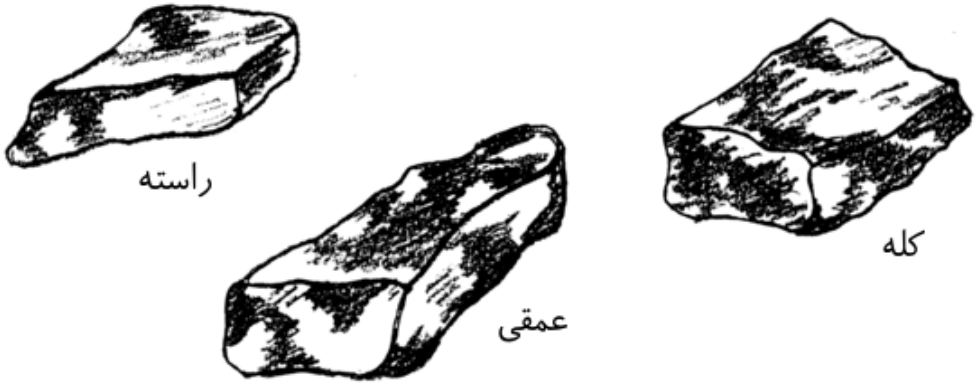
شکل (۵-۱): سنگ قله

۴- سنگهای لاشه

این سنگها در حین عملیات استخراج یا در مراحل مختلف قواره کردن سنگها بدست می آید. استفاده از آنها به عنوان سنگهای پرکننده در میان دیوار مجاز می باشد.

۵- سنگ قواره (مالون بروت) Moellon Brut = MBr

هنگامی که گوشه های تیز و برنده ی سنگ لاشه را با چکش ، پتک بگیرند (تراش دهند)، سنگ بدست آمده سنگ قواره نامیده می شود . کوچکترین بعد سنگ قواره ۱۵ سانتی متر و حداقل طول سنگ با احتساب ریشه ۲۰ سانتی متر است.

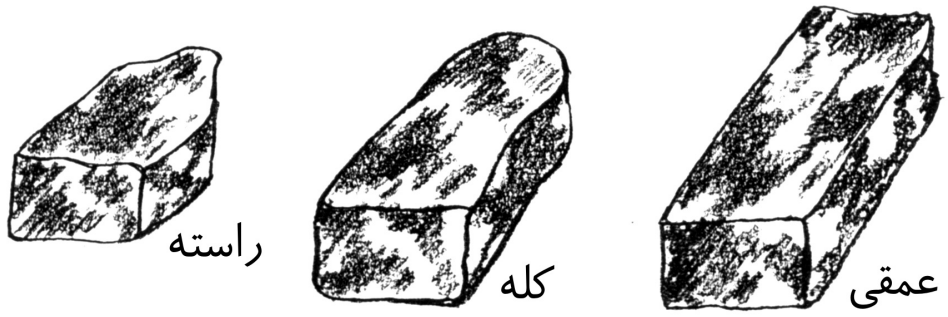


شکل (۵-۲): سنگ قواره

۶- سنگ بادبر یا رگه‌ای (مالون) Moellon

سنگی است که هنگام استخراج از معدن به کمک پتک آن را به صورت تقریبی مکعب مستطیل در می‌آورند و سپس در کارگاه سطح نمای آن را حدوداً به صورت چهار گوش (مربع یا مستطیل) شکل می‌دهند. ریشه‌ی سنگ از طرف نما به طرف دم سنگ با استفاده از پتک کمی لاغرتر می شود تا عمل کنار هم قرار دادن سنگها به راحتی صورت گیرد. حداقل عرض و ارتفاع سنگ بادبر به ترتیب ۲۰ و ۱۵ سانتی متر و اندازه‌ی بار سنگ حداکثر ۴ سانتی متر است .

تبصره – بیرون زدگی (برجستگی) سطح نمای سنگ نسبت به بر سنگ "بار سنگ" نامیده می شود.

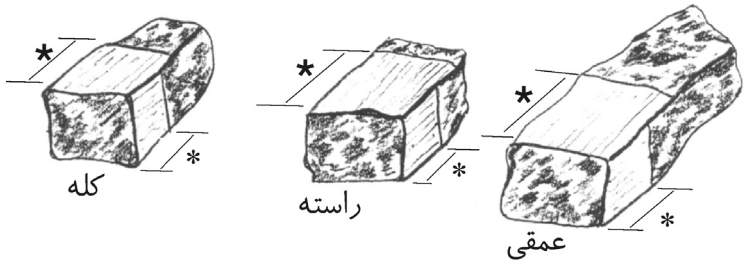


شکل (۵-۳): سنگ بادبر

۷- سنگ سر تراش یا رگه‌ای کلنگی (Moellon Tetue = MTt)

اگر سطوح قائم (جانبی) و سطوح افقی (ملات خور بالایی و پایینی) سنگ بادبر را در مجاورت نما به منظور داشتن درزهای ظریف‌تر دور نمای دیوار با کمک کلنگ ویژه، دست تراش کنند، آن را "سنگ سر تراش" می نامند.

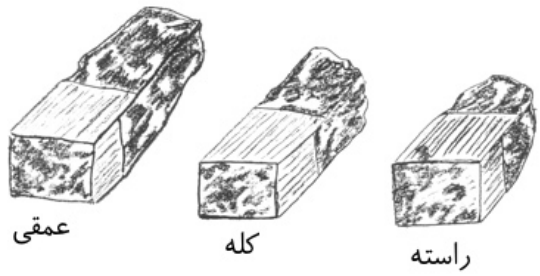
قسمت های تراش خورده از طرف نمای سنگ به طرف دم سنگ حداقل ۸ سانتیمتر، برای سطوح جانبی ۱۲ سانتیمتر و برای سطوح بالایی و پایینی (ملات خور) می باشد. طبق معمول دم سنگ لاغرتر از هیکل سنگ است.



* حداقل ۸ سانتیمتر
* حداقل ۱۲ سانتیمتر

شکل (۵-۴): سنگ سر تراش

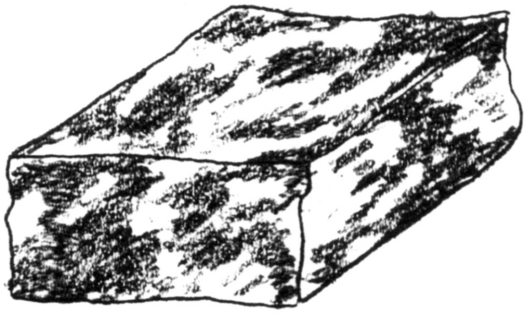
۸- سنگ سر تراش گونیا شده : نوعی سنگ سرتراش است که سطح نمای آن کاملاً به صورت مربع یا مستطیل درآمده است (با زوایای ۹۰ درجه) و مختصر تیشه کاری روی نمای آن انجام می شود.



شکل (۵-۵): سنگ سر تراش گونیا شده

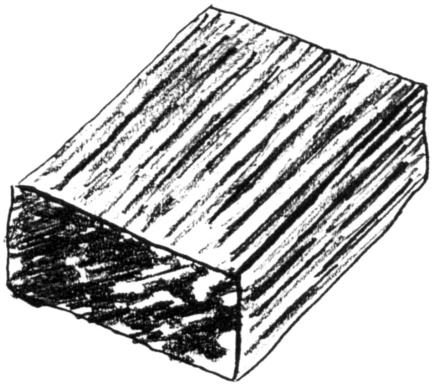
۹- سنگ بادکوبه‌ای (Moellon pique = MpI) – نوعی سنگ سرتراش است که چنانچه سطح نما برجسته تر از قسمت های قلم تراش شده ی دور سنگ باشد، تیشه داری می‌کنند . حداکثر برجستگی (بار سنگ) ۴ سانتیمتر خواهد بود. به این نوع سنگ ها، سنگ رگه‌ای کلنگی لبه فتیله‌ای نیز می گویند.

۱۰- سنگ مکعبی – سنگ مکعب یا مکعب مستطیل شکلی است که تمام وجوه آن تقریباً به صورت چهارگوش درآمده است .



شکل(۵-۶): سنگ مکعبی

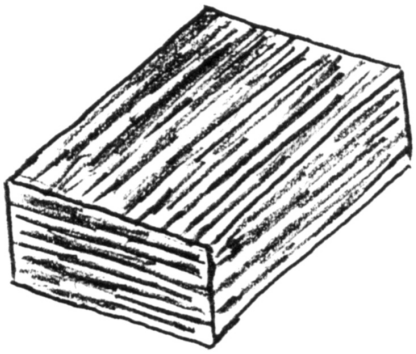
۱۱- سنگ تمام تراش (Moellon Dapparei = MAP) – اگر سطوح قائم (جانبی) و سطوح افقی (بالایی و پایینی) سنگ را از سطح نما تا انتهای ریشه دست تراش کنند، به آن "سنگ تمام تراش" می‌گویند. عموماً این سنگ ها در مواردی که بیش از یک سطح نمای سنگ مورد نیاز باشد, بکار می رود. نمای این سنگها را می توان دست تراش کرده یا با ابزار شکل به آن داد.



شکل (۵-۷): سنگ تمام تراش

۱۲- سنگ اندازه (pierre de bille)

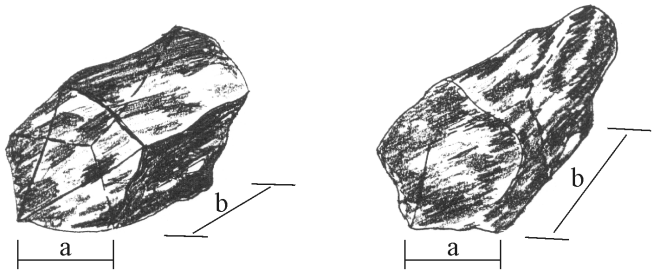
اگر سنگ تمام تراش طبق اندازه‌ی مشخص تهیه شده باشد، "سنگ اندازه" نامیده می‌شود.



شکل (۵-۸): سنگ اندازه

۱۳- سنگ چند وجهی نامنظم

سنگی است که نمای آن به صورت چند وجهی نامنظم بوده و هریک از زوایای آن باید حداقل ۹۰ درجه باشد. نمای این سنگها ۵ ضلعی یا ۶ ضلعی بوده و حداقل اندازه‌ی ریشه ۲۵ سانتیمتر و اندازه‌ی هر ضلع در سطح نمای سنگهای چند وجهی حداقل ۱۰ سانتی متر بیشتر از اندازه‌ی ریشه سنگ است.



سنگ چند وجهی نامنظم (عمقی)

$a \geqslant$ ۱۰ سانتیمتر

$b \geqslant$ ۲۵ سانتیمتر

سنگ چند وجهی نامنظم (راسته و کله)

$a \geqslant$ ۱۰ سانتیمتر

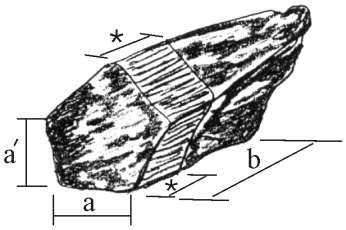
$b \geqslant$ ۳۵ سانتیمتر

شکل (۵-۹): سنگ چند وجهی نامنظم

۱۴- سنگ چند وجهی نامنظم سرتراش (Moellon Mosaique)

نوعی سنگ چند وجهی نامنظم است با این تفاوتها که :

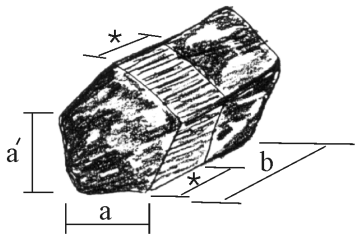
- دور تا دور سنگ از طرف نما به طرف دم به اندازه‌ی حداقل ۱۰ سانتی متر تراش خورده است.
- اندازه‌ی بزرگترین بعد (ضلع) سطح نمای بزرگ نباید بیش از ۲ برابر اندازه‌ی کوچکترین ضلع باشد.
- بار سنگ حداکثر ۲ سانتی متر است .



سنگ چند وجهی نامنظم سر تراش (عمقی)

$a \leqslant ۲a'$

۳۵ سانتیمتر $\leqslant b$



سنگ چند وجهی نامنظم سر تراش(راسته و کله)

$a \leqslant ۲a'$

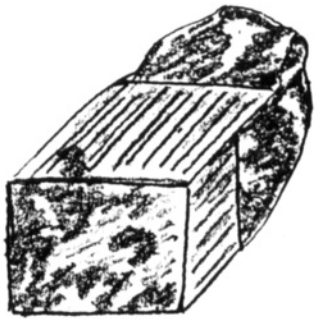
۲۵ سانتیمتر $\leqslant b$

* حداقل ۱۰ سانتیمتر

شکل (۵-۱۰): سنگ چند وجهی نامنظم سرتراش

۵-۴ تعاریف مربوط به سنگها

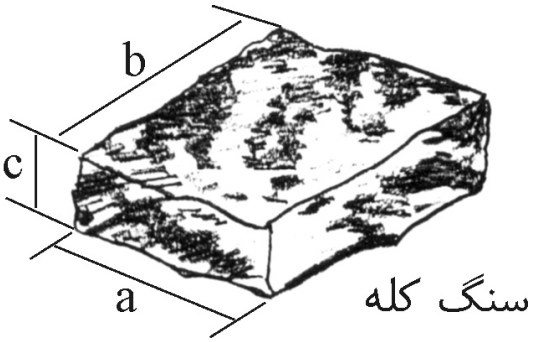
۱- سنگ کوتاه ریشه یا " راسته " - قطعه سنگی که طول اصلی آن درامتداد نمای دیوار قرار می‌گیرد. ریشه‌ی آن باید کمتر از ۱۵ سانتی متر و طول آن نباید در هیچ موردی از ۶۰ سانتی متر بیشتر شود.



شکل (۵-۱۱): سنگ راسته

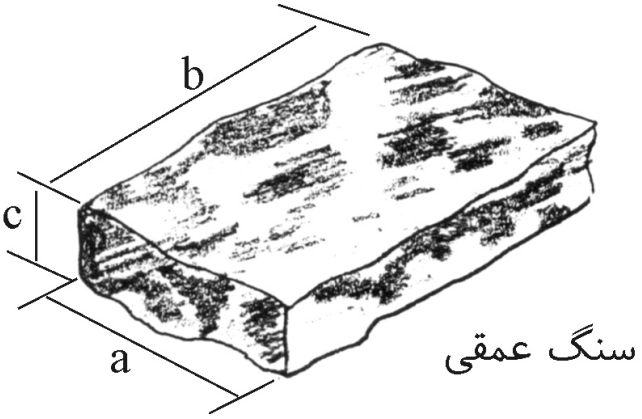
۲- سنگ بلند ریشه – قطعه سنگی است که طول اصلی آن در داخل دیوار (عمود بر سطح نما) قرار می‌گیرد. سنگهای کله و عمقی از این نوع هستند.

الف – سنگ کله سنگ بلند ریشه‌ای است که ابعاد آن باید مشخصات زیر را داشته باشد.



شکل (۵-۱۲): سنگ کله

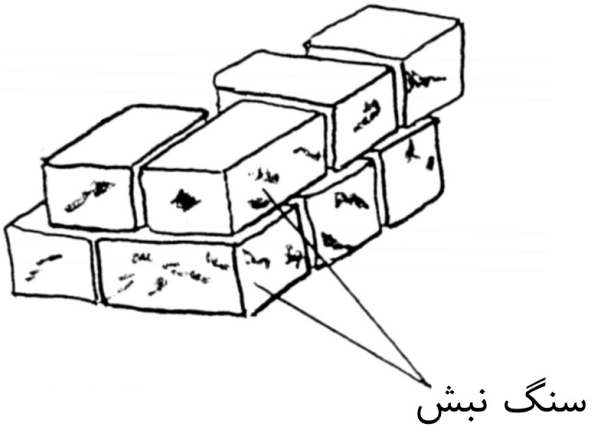
ب- سنگ عمقی سنگ بلند ریشه‌ای است که از نظر ابعاد تابع اندازه های زیر است .



شکل (۵-۱۳): سنگ عمقی

۳- سنگ نبش یا گوشه

سنگی است که در گوشه‌ی دیوار قرار می‌گیرد و برای قفل و بست دو دیوار به هم لازم است و درانتهای دیوار نظیر جوانب درب پنجره مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر دو نمای این سنگ تیشه دار می شود.



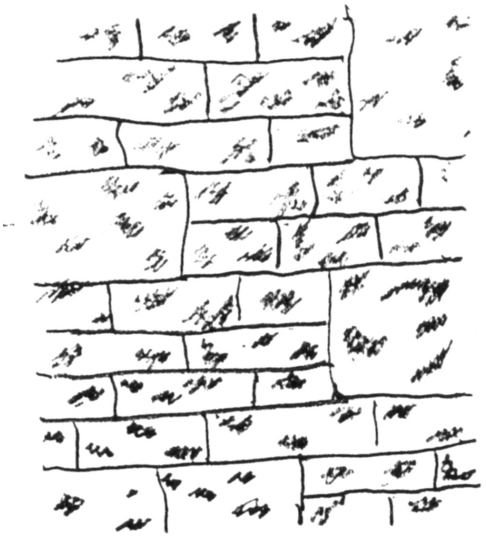
شکل (۵-۱۴): سنگ نبش

۵-۵ تعاریف مربوط به بافت های دیوار سنگی

- **رج**- قطعات سنگ که بین دو بند (درز) افقی سراسری در طول دیوار قرار گرفته باشد و ارتفاع (فاصله‌ی بین دو بند افقی) آن برابر ارتفاع سنگ گوشه (نبش) باشد، تشکیل یک "رج سنگی" می دهد.
- **دیوار سنگی با رجهای نامساوی** – دیواری است که ارتفاع رجهای آن با هم برابر نباشد.
- **دیوار سنگی با رجهای مساوی**- دراین نوع دیوار ارتفاع کلیه ی سنگهای قابل رویت در نمای دیوار با اختلاف ۱± سانتی متر نسبت به ارتفاع تعیین شده، می باشد. به این ترتیب اختلاف ارتفاع کوچکترین رج تا بزرگترین رج نباید از ۲ سانتی متر بیشتر شود، ضمن اینکه هیچ دو رج متوالی نباید اختلاف ارتفاعی بیش از ۱ سانتیمتر با یکدیگر داشته باشند.

شکل (۵-۱۵): دیوار سنگی با رجهای مساوی

● **دیوار سنگی به رج برده شده**- این دیوار، نوعی دیوار سنگی رجدار است که ارتفاع هر رج آن برابر با ارتفاع سنگ گوشه همان رج است ولی به غیر از سنگ گوشه بقیه‌ی سنگهای نیمرج می‌توانند دارای ارتفاعی کمتر از ارتفاع آن رج باشند، به نحوی که با قرار دادن ۲ یا ۳ سنگ بر روی هم ارتفاع رج کامل شود. دیوار سنگی به رج برده شده غالباً با رجهای نامساوی بنا می‌شود، ولی می‌تواند با رجهای مساوی نیز طرح و اجرا گردد.

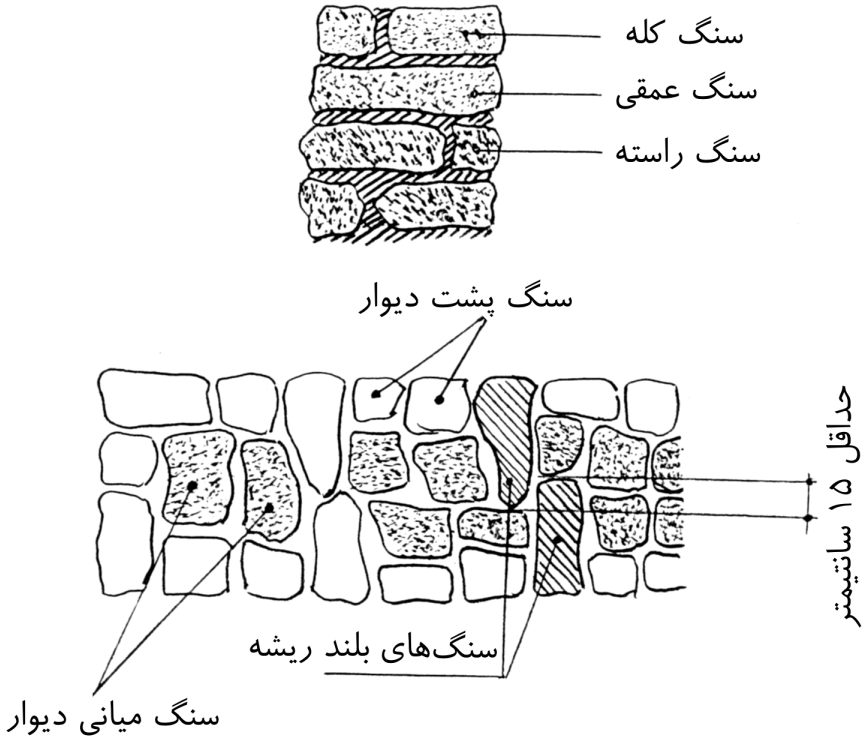


شکل (۵-۱۶): دیوار سنگی به رج برده شده

۵-۶ نکاتی در مورد اجزای دیوارهای سنگی

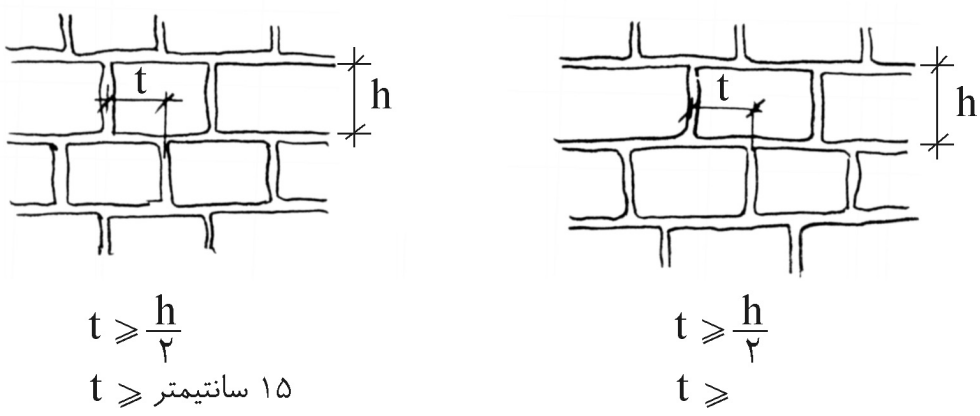
در هر نوع دیوار سازی سنگی با استفاده‌ی مناسب از سنگهای کوتاه ریشه (راسته) و بلند ریشه (کله و عمقی) می‌توان قفل و بست لازم را ایجاد کرد. ریشه‌ی سنگ در دیوار نباید از ۱۵ سانتی متر کمتر باشد. به ازای هر دو سنگ راسته دست کم یک سنگ کله و در هر متر مربع نمای دیوار دست کم یک سنگ عمقی باید بکار رود.

بهتر است اندازه‌ی ریشه‌ی سنگهای عمقی به اندازه $\frac{۲}{۳}$ کلفتی دیوار در نظر گرفته شود.



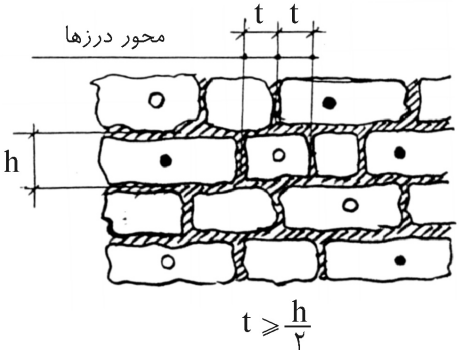
شکل (۵-۱۷): نحوه‌ی قرار گرفتن سنگها در مقطع دیوار

- ضخامت دیوارهای سنگی حداقل ۴۵ سانتی متر انتخاب شود.
- هیچ سنگی مستقیماً با سنگ دیگری در تماس نباشد و حتماً ملات در بین آنها باشد.
- در رج زیرین سنگهایی که بلافاصله بر روی پی یا زیرسازی قرار می‌گیرند از سنگهای بزرگ بلند ریشه استفاده شود.
- بنایی با سنگ در مواقعی که برودت محل یا درجه حرارت مصالح مصرفی از ۵ + درجه سانتیگراد کمتر باشد، مجاز نیست .
- در همه‌ی دیوار چینی‌های بدون رج و نامرتب باید درهر ۱/۵ متر ارتفاع یک بند افقی سراسری در ضخامت دیوار ایجاد شود.
- بندها مطابق شکل (۵-۱۸) تشکیل شود.



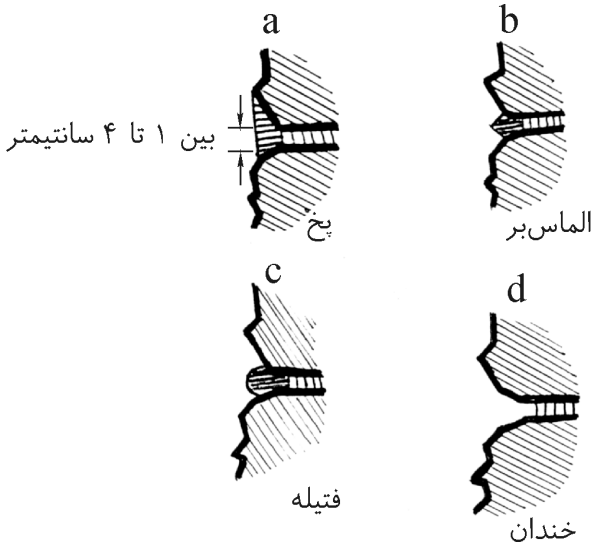
شکل (۵-۱۸)

- فاصله افقی بین دو درز قائم در دو رج متوالی سنگها مطابق شکل (۵-۱۹) باشد .



شکل (۵-۱۹)

- در هنگام بنایی باید نخست سنگها را مرطوب کرد و سپس از آنها استفاده نمود و دیوار را پس از چیدن، مدتی مرطوب نگه داشت.
- در برآورد تعداد سنگها معمولاً ۱۰ قطعه سنگ در هر متر مربع محسوب می‌گردد.
- پس از اتمام دیوار باید نسبت به بندکشی مطابق شکل (۵-۲۰) اقدام نمود.



شکل (۵-۲۰): بندکشی ها

- ملاتهای پیشنهادی برای دیوار های سنگی،

الف – ملات ماسه سیمان با حداقل ۲۰۰ کیلوگرم سیمان، درهر متر مکعب ملات (یک حجم سیمان و شش حجم ماسه)

ب- ملات حرامزاده (باتارد)

۱۳۰ کیلوگرم سیمان + ۱۳۰ کیلوگرم گرد آهک شکفته + یک متر مکعب ماسه

تبصره : مقاومت ملات همیشه باید کمتر از مقاومت سنگ باشد تا باعث شکستن سنگ نشود.

- ملات بین دو سنگ باید ضخیم باشد؛ حداکثر ضخامت مجاز ملات ۴ سانتی متر است .

- از ادامه درزهای قائم جلوگیری شود.

- ارتفاع سنگ هیچ‌گاه نباید از عرض (قاعده) آن بزرگتر باشد.

- از سنگهایی که زوایای تیز و شکسته دارند نباید استفاده گردد.

- از مصرف سنگهای کاس (توگرد) که خطر شکسته شدن را دارند خودداری شود.

- به منظور حفظ زیبایی و همگنی دیوار باید سعی شود سطح نمای سنگها با هم اختلاف زیادی نداشته باشند.

- ارتفاع سنگهای پای دیوار یعنی فاصله اولین درز افقی با زمین نباید از ۳۰ سانتی متر کمتر باشد.

- از ایجاد درزهای مورب به دلیل انتقال نامتجانس نیروها پرهیز شود.
- از سنگهایی که زوایای کمتر از ۹۰ درجه دارند نباید استفاده شود.
- از مصرف خرده سنگها درنمای دیوار باید خودداری شود.
- نسبت تعداد سنگهای کله به بقیه سنگها باید در هر حال کمتر از $\frac{۱}{۳}$ باشد.
- فاصله محورهای دو سنگ کله از هم نباید بیشتر از ۱/۵ متر شود.
- بالای دیوار را نباید با ملات پوشاند بلکه باید با پوشش مناسب سنگی، بتنی یا فلزی دیوار را محافظت کرد.
- فاصله‌ی افقی بین دو درز قائم حداقل باید ۱۰ سانتی متر باشد.

۵-۷ دیوار نیمه سنگی (متشکل از سنگ و بتن)

- در این دیوارها طرف نما با سنگ و پشت کار با بتن ساخته می شود و اصول کلی زیر حاکم است:

۱- سنگهای مورد نیاز باید از جنس سنگهای سخت و همساز با بتن و ملات ماسه سیمان انتخاب گردد.

۲- سنگها باید به صورت کله و راسته (حداقل یک سنگ کله برای ۲ سنگ راسته) بکار برده شود. اختلاف ریشه سنگهای کله با سنگهای راسته باید دست کم ۱۵ سانتیمتر باشد.

۳- حداقل ضخامت قسمت بتنی ۱۵ سانتیمتر باشد؛ به این ترتیب حداقل ضخامت دیوار به اندازه‌ی ریشه سنگهای کله به اضافه ۱۵ سانتیمتر خواهد بود.

۴- ضخامت این دیوار دست کم ۶۰ سانتی متر و در صورت عدم امکان ۵۵ سانتیمتر باشد.

۵- ملات مورد استفاده ماسه سیمان به عیار حداقل ۲۰۰ کیلوگرم در متر مکعب ملات باشد. (مقاومت ملات باید کمتر از سنگ باشد).

۶- بعد از نصب هر رج سنگ بلافاصله پشت آنها بتن ریزی و ویبره گردد.

۷- حسن بزرگ این دیوارها در این است که به علت وجود قالب و بتن ریزی، در مخارج ساخت دیوار و زمان اجرای آن صرفه جویی می شود . این دیوارها از مقاومت حرارتی بالا و استحکام خوبی برخوردار هستند.

۸- لازم است در محاسبه‌ی باربری این دیوارها ضخامت بافتهای سنگی و بتنی آن را تعیین نمود و هر دو قسمت سنگی و بتنی را به عنوان عامل باربر درنظر گرفت؛ به شکل (۵-۲۱) رجوع شود .

شکل (۵-۲۱) دیوار نیمه سنگی

۵-۸ انواع ملات و بتن‌های مورد اســتفاده برای ســنگها – در زمان احداث راه آهن سرتاســری با توجه به نیروهای وارده بر ســازه ســنگی ملات و بتن‌های با عیارهای گوناگون مورد استفاده قرار گرفته و بر حســب عیار آن ها با حروف لاتین A و B و ... مشــخص گردیده و در نقشه های اجرایی ابنیه فنی نوع ســنگ و نوع ملات و یا بتن نشــان داده شده اند؛ به هر حال آشنایی با انواع ملات و بتن مورد استفاده در ابنیه فنی ضرورت دارد.

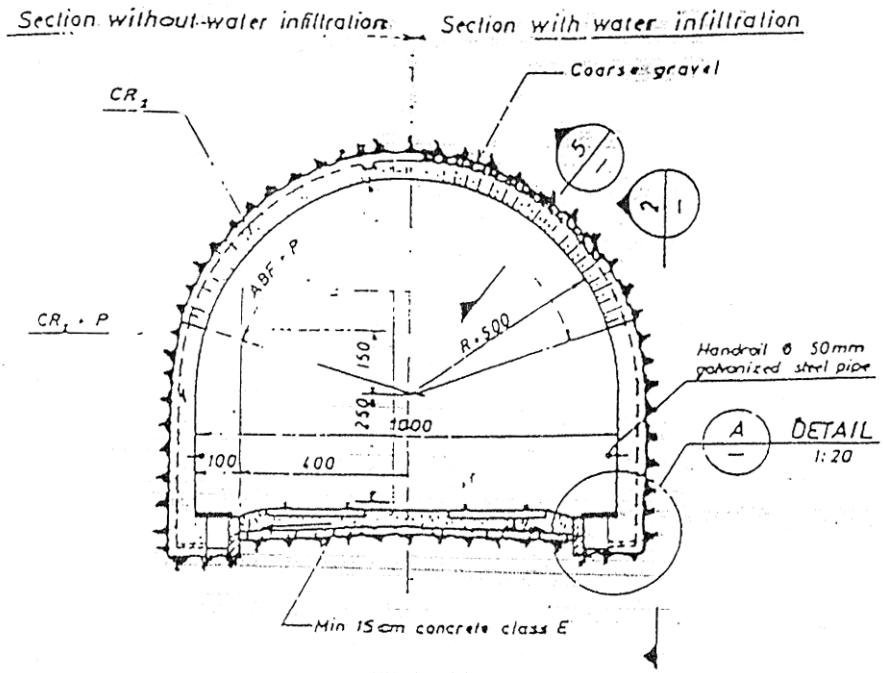
● انواع ملاتها در جدول زیر نشان داده شده است:

جدول (۵-۱): انواع ملات و بتن ابنیه فنی

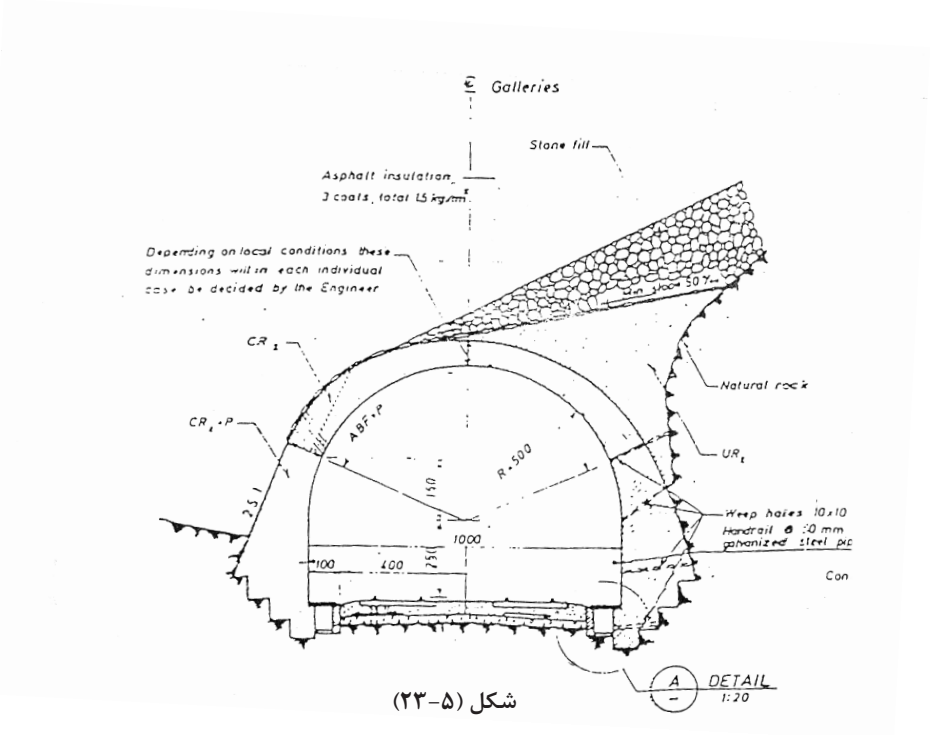
علامت	ملات		بتن		
	سیمان Kg	ماسه M3	سیمان Kg	ماسه M3	شن M3
A	۲۰۰	۱/۰۰	۲۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰
B	۲۵۰	“	۲۵۰	“	“
C	۳۰۰	“	۳۰۰	“	“
D	۳۵۰	“	۳۵۰	“	“
E	۴۰۰	“	۴۰۰	“	“
F	۵۰۰	“	۵۰۰	۱/۰۰	۱/۶۷
G	۶۰۰	“	۶۰۰	۱/۰۰	۱/۶۷
H	۷۰۰	“	۷۰۰	۱/۰۰	۱/۵۰
I	۷۵۰	“	۷۵۰	۱/۰۰	۵۰/۱
K	۱۰۰۰	“	۱۰۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰

جدول (۵-۲): ویژگیهای عمومی برخی از سنگهای مهم درجدول زیر آمده است :

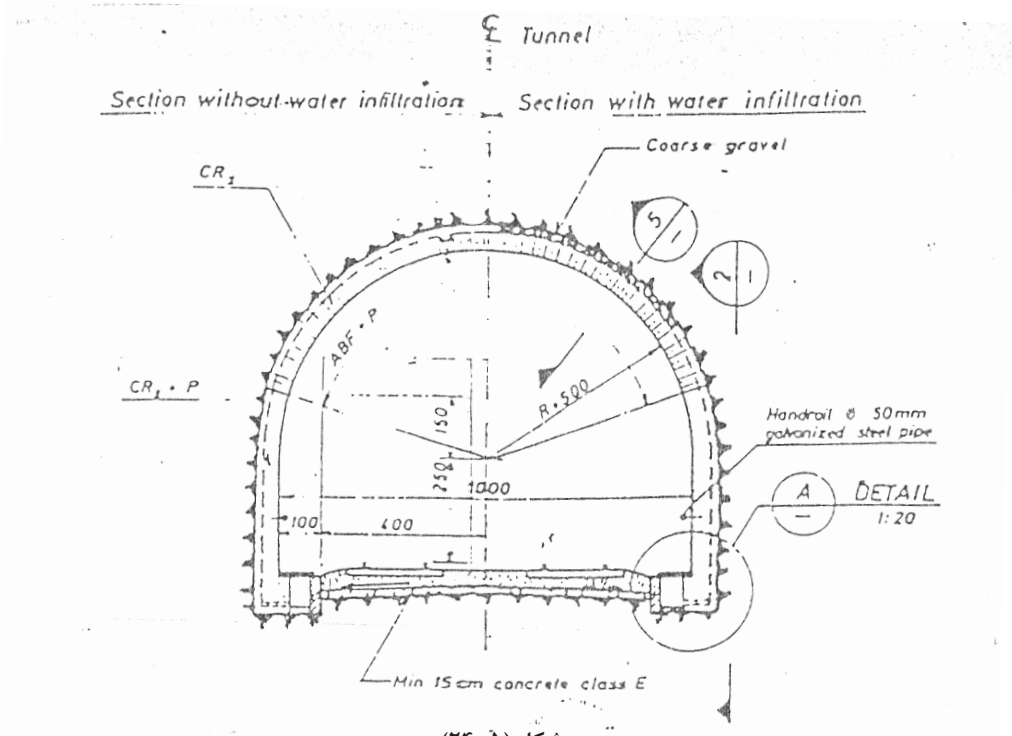
نوع سنگ		مشخصات	نفوذپذیزی	تغییرشکل پذیری	مقاومت
آذرین	سنگهای آشکار بلورین	دانه‌های بهم جوش خورده دارند فضای خالی بسیار کم است	اساساً نفوذناپذیرند	بسیار کم	بسیار زیاد
	سنگهای پنهان بلورین	مشابه فوق یا اینکه می‌تواند حفره‌دار باشد	در صورت حفره‌داری می‌توانند بسیار نفوذپذیر باشند	بسیار کم تا کم	بسیار زیاد تا زیاد
	متخلخل	پوکی زیادی دارند	بسیار زیاد	نسبتاً زیاد	نسبتاً کم
رسوبی	ماسه سنگ	حفرات با سیمان پرشده	کم	کم	زیاد
		بخشی از سطح حفرات با سیمان پرشده	بسیار زیاد	متوسط تا زیاد	متوسط تا کم
	شیلها	وابسته به درجه سنگ شدگی است	نفوذناپذیر	زیاد تا کم	کم تا زیاد
				می‌توانند به شدت منبسط شوند	
	سنگ آهک	انواع خالص (معمولاً حفرات ایجاد می‌شود)	در مسیر حفرات نفوذپذیری زیاد	کم، به استثنای قوس حفرات	قوس حفرات
		انواع ناخالص	است	معمولاً کم	معمولاً زیاد
	دلومیت	به ندرت حفرات ایجاد می‌شود	نفوذناپذیر	کمتر از سنگ آهک	بیش از سنگ آهک
دگرگونی	گنیس	تورق ضعیف	اساساً غیرقابل نفوذ	کم	زیاد
		تورق قوی	بسیار کم	عمودبرتورق‌متوسط‌وبموازات‌تورق‌کم	عمودبرتورق زیادبه موازات‌تورق‌کم
	شیست	به شدت متورق	کم	مشابه گنیس	مشابه گنیس
	فیلیت	تورق زیاد	کم، ضعیفتر از گنیس	ضعیفتر از گنیس	مشابه گنیس
	کوارتزیت	دانه‌ها به شدت بهم جوش خورده‌اند	نفوذناپذیر	بسیار کم	بسیار زیاد
	سنگ مرمر	بشدت جوش خورده	نفوذناپذیر	بسیار کم	بسیار زیاد



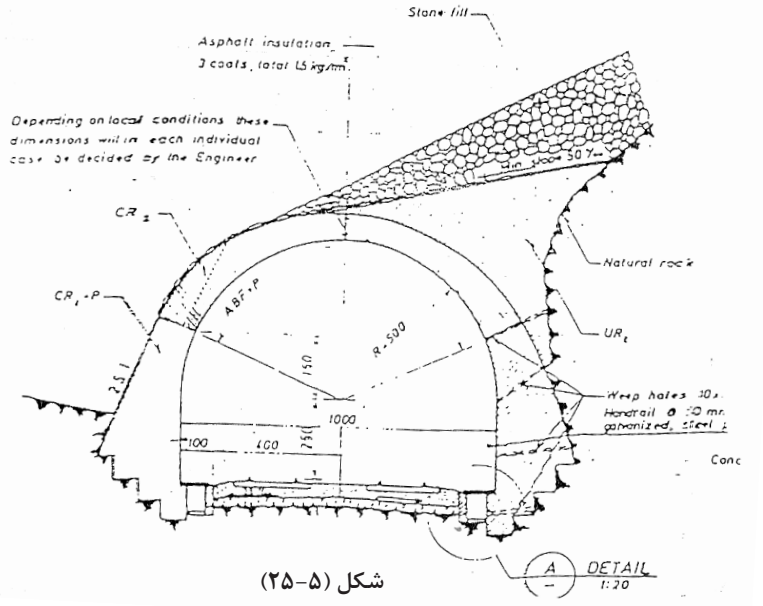
شکل (۵-۲۲)



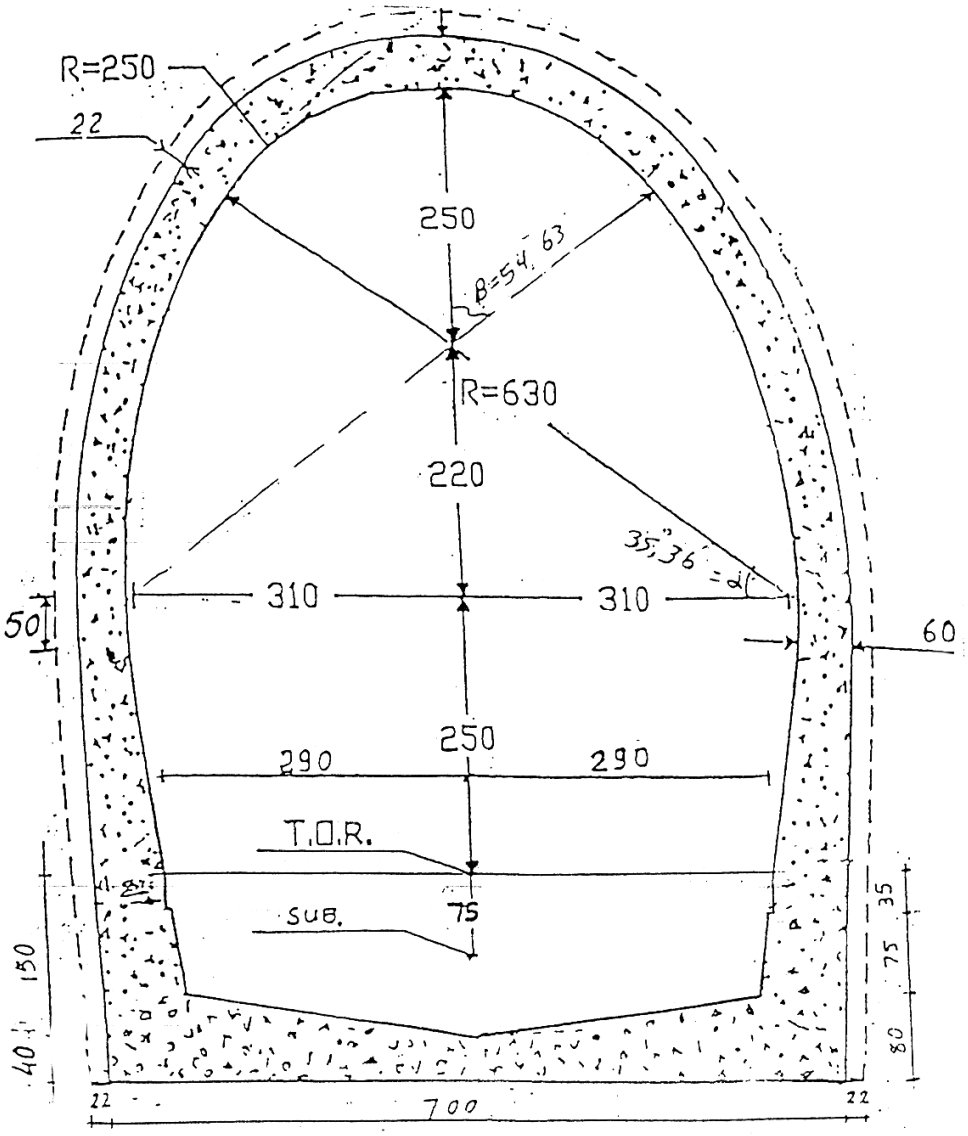
شکل (۵-۲۳)



شکل (۵-۲۴)



شکل (۵-۲۵)


R=250
22
250
β=54.63
R=630
220
35°36'=α
310
310
50
60
250
290
290
T.O.R.
SUB.
75
150
40
35
75
80
22
700
22

شکل (۵-۲۶)