

«فهرست مطالب»

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: تعاریف و کلیات
۱۳	فصل دوم: انواع دیگر سدهای خاکریز
۲۸	فصل سوم: آب بندها
۴۳	فصل چهارم: شالوده، نشست و ترکها در سطح های خاکریز
۵۳	فصل پنجم: اجرای آسفالت گرم و کنترل کیفی توسط آزمایشگاه فنی و مکانیک
۶۸	فصل ششم: مواد افزودنی و تاثیر آن در آسفالت
۷۷	فصل هفتم: فیلر و نقش آن در آسفالت
۸۷	فصل هشتم: آسفالت های حفاظت شده
۹۲	منابع و مأخذ

فصل اول

تعاریف و کلیات

۱-۱ تعریف

مفهوم سد در فرهنگ فارسی و عربی آن قدر روشن است که هم در جامعه مهندسی و هم در عرف اجتماع مفهومی بی نیاز از توضیح دارد به طوری که حتی مشتقات آن در فرهنگ ماکاملاً مانوس است مانند سد معبر، سد راه، مسدود، انسداد و غیره. به هر حال معنای خاص آن عبارت است از بنایی که بخشی را از بخش دیگر جدا می‌کند و غالباً به مفهوم دیوار یا سازه ای است که از حرکت آب (کلا یا جزئاً) جلوگیری نماید تا آب ذخیره گردد یا انحراف بیابد. برای معادل فارسی این واژه، گاهی «بند» به کار برده شده است مانند بند امیر، و در حال حاضر، بند به سدهای کوتاه گفته می‌شود. معادل انگلیسی واژه سد، dam است.

از دیدگاه مقررات اجرایی، ارزیابیها و رده بندیها، سدها را به دو گروه کوتاه و بزرگ تقسیم نموده اند:

سد بزرگ^۱ بر اساس تعریف پذیرفته شده «آی گلد»^۲ سدی است که:

(۱) ارتفاع آن (فاصله بین پایینترین سطح پی عمومی آن تا تاج آن) بیش از ۱۵ متر باشد؛

(۲) اگر ارتفاع آن بین ۱۰ متر تا ۱۵ متر است، یکی از شرایط زیر را داشته باشد:
الف- طول تاج از ۵۰۰ متر نباشد؛ ب- ظرفیت دریاچه حاصل از آن سد از ۱۰^۶ متر مکعب کوچکتر نباشد؛ پ- حداکثر تخلیه سیلاب آن از ۲۰۰۰ متر مکعب در ثانیه کمتر نباشد؛ ت- سد دارای مسائل پیچیده یا مشکل در شالوده باشد به طوری که نیاز به مطالعات و راه حل های خاص داشته باشد ث- در طراحی سد مسائل خاص غیر معمول وجود داشته باشد.

۱-۲ انواع سدها:

انواع سدها را می توان از دیدگاه مصالح، فرم ساختمانی، هدف از احداث سد، نوع سرریز یا ویژگی های دیگری رده بندی نمود. آنچه معمولاً در نامگذاری ها مشاهده می شود عبارت است از: سد بتنی وزنی که پایداری آن براساس وزن آن است، سد بتنی قوسی که ممکن است تک قوسی یا دو قوسی باشد، سد بتنی پایه دار و پشت بند دار، سد پاره سنگی (که سنگی و سنگریزه ای هم گفته می شود) و سد خاکی و پشت بند دار، سد پاره خاکی و پاره سنگی است. در مقیاس های کوچک و موقت و به طور کلی محلی، از سدهایی از جنس چوب و مصالح

¹ - large dam

² - ICOLD, International Commission on Large Dams

ساختمانی نیز استفاده می شود یاد شده است. به عنوان یک طرح موقت ممکن، اخیراً از سدهای کوتاه لاستیکی نیز یاد می شود و ساخت آب بندهای پرده سپری به منظور نگهداری ارتفاع های کم آب نیز معمول است.

چنانچه سد نسبتاً بزرگی باشد و هدف از ایجاد آن ذخیره آب باشد سد مخزنی نامیده می شود. و در صورتی که هدف از احداث آن انحراف مسیر رودخانه یا تقسیم آب به صورت موقت یا دائم باشد آن را سد انحرافی و یا بند انحرافی می نامند. ارتفاع بعضی بندهای انحرافی ممکن است به ۸ متر و حتی ۱۰ متر هم برسد. در گونه های مختلف سدها ممکن است سرریز سد از تاج سد بگذرد و یا مسیر دیگری بپیش بینی شود. در مورد سدهای بتنی عبور سرریز از تاج سد معمولاً مشکلی ندارد ولی در خصوص سدهای خاکی و پاره سنگی، پیش بینی مسیر سرریز از روی تاج سد خاکی، متضمن قبول خطر فوق العاده زیادی است و همین علت تقریباً همیشه سرریز سد خاکریز در مسیر دیگری جز روی بدنه سد طراحی می شود. استثنائاً تعدادی سدهای خاکی که سرریز آنها روی آنهاست گزارش شده است.

سدهای خاکی بیش از سدهای بتنی در معرض تخریب بوده اند و براساس گزارش های ICOLD (مثلاً گزارش a, 1983) از میان ۱۴۷۰۰ سد بررسی شده، ۱۱۵۰ سد (یعنی ۷/۵ درصد) دارای نواقص جدی بوده اند و ۱۰۷ مورد (یعنی ۰/۷ درصد) تخریب شده اند. بیش از ۵۰ درصد خرابیها یا آسیب دیدگی ها سدهای خاکی در ضمن ساخت یا در اولین پر شدن بوده است. احتمال تخریب سدهای

خاکی که قبل از ۱۹۳۰ ساخته شده اند ۵ مرتبه بیش از احتمال تخریب های حاصل از سرریز آب از روی سد در رتبه اول قرار دارد. حدود ۸۰ درصد تمام سدهای از نوع خاکریز با ارتفاع کمتر از $\frac{2}{3}$ متر است و سدها نیز عمدتاً در همین گروه قرار داشته اند. در عین حال سبدهای بلندتر تخریب کمتری داشته اند ولی آسیب دیدگی بیشتری نشان داده اند.

بعضی اطلاعات آماری

اشاره به بعضی ارقام آماری در یک بحث فنی، حتی به صورت نمونه و اجمال، روشنگر ویژگی مهندسی طرح ها در مقایسه با یکدیگر و نشانگر اهمیت نسبی بعضی از پروژه ها خواهد بود. در این جا بعضی از اطلاعات در دست از مأخذهای مختلف نقل می شود، هرچند نمی توان ادعا نمود که حق مطلب در مورد کلیه رکوردهای زمانی با ابعادی بیان شده است.

قدیمی ترین سد دنیا

احتمالاً قدیمی ترین سد دنیا سد «الکفره»^۱ در ۱۶ کیلومتری جنوب شرقی «هلوان»^۲ در مصر است که بین سال های ۲۷۵۰ و ۲۹۵۰ قبل از میلاد (۵۰۰۰ سال قبل) با طول ۱۱۵ متر و ارتفاع ۱۲ متر ساخته شده است. بزی از مورخین اولین سدی را که در تاریخ ثبت شده است مربوط به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد با طول ۴۷۵ متر و عرض ۱۵ متر می دانند که ۴۵۰۰ سال از آن بهره برداری می

^۱ - Sadd Al Kafara

^۲ - Helwan

شده است. همچنین سدی به طول ۳/۲ کیلومتر و ۳۶ متر ارتفاع و ۱۵ متر عرض در یمن ساخته شده بوده است که آن را مربوط به ۱۷۰۰ سال قبل از میلاد می دانند و در قرن سوم میلادی بر اثر سیلاب منهدم گردیده است.^۱ سد داریوش روی رودخانه کر که عمر آن بیش از ۲۵۰۰ سال است، و سد بهمن شیر دارای عمری بیش از ۲۰۰۰ سال و بند میزان در شوشتر با عمر ۱۷۰۰ سال و بند امیر روی رودخانه کر که ۱۰۰۰ سال عمر دارد و هنوز در حال بهره برداری است از بندها یا سدهای باستانی محسوب می گردند.

حجیم ترین سد دنیا

احتمالاً پر حجم ترین سد تا سال ۱۹۷۳ یک سد خاکی^۲ است در آریزونا ای آمریکا که ارتفاع آن ۳۳ متر، طول ۱۰/۸۵ کیلومتر و حجم مصالح آن $۱۰^۸ * ۲/۱$ متر مکعب است.

بزرگترین سد بتنی

در واقع سازه بتنی، سد «گراند کولی»^۳ روی رودخانه کلمبیا در واشینگتن است. طول تاج آن ۱۳۹۱ متر و ارتفاع آن ۱۸۳ متر، حجم آن ۸/۰۵ میلیون متر مکعب و وزن آن ۲۱/۶ میلیون تن است. نیروگاه آن توانایی تولید ۹۷۸۰ مگاوات را دارد.

به نقل از مقاله شرایط انتخاب محل سد، توسط آقای حمید غنی زاده، مجموع مقالات اولین سمینار سد سازی ایران ۱۶-۳۰ خرداد ۶۶- تهران- ص ۶۴۴.

^۲- New Correllia Tailings

^۳- Grand Colulee

مطالعه این سد در ۱۹۳۳ شروع شده در مارچ ۱۹۴۱ ساخت آن آغاز گردیده و در ۱۹۴۲ پایان یافته است. هزینه احداث آن ۵۶ میلیون دلار گزارش شده است.

بلندترین سد بتنی دنیا

سد «گرانه دیکسن»^۱ در کشور سوئیس است که با ارتفاع ۲۸۵۴ متر و طول ۶۷۰ متر در سپتامبر ۱۹۶۱ ساخته شد. هزینه این سد ۳۷۲ میلیون دلار، و حجم آن ۵/۹ میلیون متر مکعب گزارش شده است.

بلندترین سد خاکی دنیا

سد خاکی «نورک»^۲ در روسیه با بلندی ۳۰۰ متر و با طول تقریباً ۷۳۰ متر و حجم ۵۳/۸ میلیون متر مکعب بلندترین سد خاکی دنیا تا تاریخ ۱۹۸۰ بوده است (شروع ساخت سد ۱۹۶۱ و اتمام آن ۱۹۷۹ بوده است) البته سد دیگری از نوع خاکی با ارتفاع ۳۳۵ متر در کشور روسیه در دست اقدام و مطالعه بوده است که ممکن است تاکنون احداث شده باشد.

حجم سد خاکی «نورک» تقریباً ۱۰ برابر حجم سد «گرانددیکسن» است در صورتی که ارتفاع آن فقط ۱۰ درصد بیشتر و طول آن فقط ۵٪ بیشتر از آن است.

طولانی ترین سد دنیا

طویلترین سد دنیا به نام «کی‌یف»^۳ با ارتفاع ۲۰ متر و طول ۵۴ کیلومتر در کشور روسیه در سال ۱۹۶۴ تکمیل گردید. همچنین ساخت سدی به طول ۹۹ کیلومتر

^۱ - Grand dixence in switzelard

^۲ - Nurek on the Vakhsh-Amu Darya

^۳ - Kiev

با ارتفاع متوسط در کشور چین گزارش شده است که ساخت آن در قرن ۱۷ بوده است.

طولانی ترین بند دریایی^۱ با طول ۳۲/۳ کیلومتر و ارتفاع ۷/۶ متر در شمال هلند قرار دارد.

هدف از ایجاد سدها و انتخاب نوع سد

اصولا سدها به منظور ذخیره آب و تامین آب شرب و کشاورزی و صنعت ساخته می شوند هرچند مهار سیلابها و ایجاد ارتفاع آب به منظور تامین انرژی پتانسیل برای ایجاد نیروگاه نیز می تواند از اهداف اولیه احداث سدهای بلند باشد. در مورد بندهای انحرافی، انحراف آب و یا تقسیم آن هدف اصلی را تشکیل می دهد. البته پس از احداث سد، دریاچه می تواند فواید دیگری از قبیل قایق رانی، پرورش ماهیها، و زیبایی طبیعت در برداشته باشد. در انتخاب نوع سد می توان انواع سدها را ابتدا به دو گروه رده بندی نمود: سدهای بتنی و سدهای خاکریزی ویژگی سدهای خاکریز که ممکن است خاکی یا پاره سنگی باشد عبارت از این است که این سدها را می توان بر شالوده های غیر سنگی نیز بنا نمود، از این رو محدودیتی از دیدگاه استحکام زمین مانع احداث آنها نمی شود. به طور کلی اگر عرض منطقه آبگیر (پهنای دره) خیلی وسیع باشد یا شالوده آن محل غیر سنگی باشد ساختن سد بتنی معمولا مقدور نیست یا در صورت امکان، اقتصادی نخواهد بود، در صورتی که در همین شرایط احداث سد خاکریز هم مقدور می باشد و جای بررسی دارد.

¹ - Agsluitdijk

مواردی نیز وجود دارد که مزایا و معایب هر دو نوع سد (خاکریز و بتنی) ممکن است تقریباً مساوی باشد در این شرایط تشخیص ارجحیت یکی بر دیگری بر عهده کارشناسان با تجربه است. بدیهی است طرح بهینه و تصمیم نهایی هنگامی قابل دفاع است که جمیع عوامل موثر از قبیل عوامل اقتصادی وضعیت زمین شناختی، محل کارایی نوع سد برای هدف مورد نظر امکان ایجاد و حمل و نقل مصالح مورد نظر مدت زمان ساخت و گاهی مدت زمان انحراف آب، امکان دسترسی به نیروی انسانی، مسئله هزینه سرریز و حفاظت آن، مسائل مربوط به زیرابها و دریاچه ها و حتی مسئله زیبایی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته باشد.

احداث سد اعم از کوچک یا بزرگ و اعم از بتنی یا خاکریز باید با اطمینان بسیار زیاد طراحی و اجرا گردد زیرا هزینه های اضافی که برای اجرای صحیح و دقت در کار صرف می شود درصد زیادی را تشکیل می دهد؟ در صورتی که وقوع حادثه و تخریب سد نه تنها سرمایه مادی ساخت آن را از بین می برد بلکه تلفات جانی زیادی را در بر دارد که قابل جبران نخواهد بود. برای سدهای کوتاه می توان با افزایش ضریب اطمینان بررسی های اولیه را محدود نمود. ولی برای سدهای بلند، افزایش ضریب اطمینان، هزینه احداث سد را به شدت افزایش می دهد، از این رو مطالعات اولیه باید کامل باشد تا بتوان ضریب اطمینان را در حد معمول در نظر گرفت. به عبارت دیگر درصد هزینه ای که صرف شناخت دقیق مباحث مربوط به طراحی می شود به مراتب کمتر از هزینه ای است که باید برای افزایش ضریب اطمینان در ساخت سد مصرف شود.

مطالعات کلی جهت احداث سدها

صرف نظر از نوع سد که در یک منطقه ساخته می شود مطالعات و بررسی هایی ضرورت می یابد که بستگی به شرایط ناحیه، وضعیت آبرگیری، وسعت حوزه آبرگیر و وسعت دریاچه ای که تشکیل می شود و وضعیت مصرف آب در پایین دست دارد. اهمیت مباحث مربوط به این مطالعات ضعف و شدت دارد.

این مباحث معمولاً شامل موضوعهای زیر است:

هواشناسی و هیدرولوژی، زمین شناسی و زمین شناسی مهندسی، هیدروئولوژی، ژئوتکنیک و لرزه شناسی.

مسائل دیگری که جدا از مباحث فنی فوق غالباً مورد توجه طراحان و کارفرمایان احداث سد در یک منطقه می باشد از مسائلی است که به نحوی مربوط به شرایط اقلیم شناسی، کشاورزی و نوع آن مباحث اجتماعی منطقه، و موضوع زیست محیطی ناحیه است. به هر حال احداث سد در یک جمله وضعیت زیست محیطی را نسبت به آنچه که قبل از احداث سد بوده است تغییر می دهد. قدر مسلم این است که زمین های وسیعی زیر آب مستغرق می شوند و زمین های بسیار وسیعتری سرسبز و حاصلخیز می شوند در بخش هواشناسی و هیدرولوژی وضعیت بارندگی های سالانه سیلهای دوره ای و مقدار آبی که تبخیر می شود و سرانجام ارقام سد، ظرفیت لازم برای سرریز سد، و وضعیت بادها، سرعت و امتداد آنها مشخص می

شود. در مبحث زمین شناسی و زمین شناسی مهندسی باید وضعیت لایه های شکل دهنده منطقه، نوع سنگ ها، سن آنها وضعیت چین خوردگی ها، گسل ها، روی راندها نوع رسوبات به لحاظ قدمت، طرز تشکیل و ارتباط لایه ها و رسوبات با یکدیگر و ارتباط لایه های موجود در آن محل با لایه های محل های مجاور مشخص می گردد. همچنین وضعیت آبهای زیر زمینی آبهایی که به حوضه محل سد وارد می شوند و آبهایی که ممکن است بعد از احداث سد و پر شدن دریاچه از آن خارج می شوند، ارتباط چشمه های ناحیه با حوضه سد، شرایط تغییرات زمانی آب چشمه ها و حرکات آنها در سوهای مختلف، تغییرات زمانی سطح آب زیر زمینی، نفوذ پذیری لایه های مختلف، تخلخل و آبخوری لایه های مختلف، آبگذری در گسلها و درزه ها، همه از مواردی است که باید در بخش هیدروژئولوژی با استفاده از وضعیت زمین شناسی مشخص گردد. تعیین وجود وضعیت کارستی، درزه های آبگذران و منطقه های خرد شده گسلی نیز از مسئولیت های شناخت های زمین شناسی و زمین شناسی مهندسی است.

در مبحث ژئوتکنیک و زمین شناسی مهندسی، وضعیت ژئومکانیکی لایه ها مثل مقاومت سنگ ها، تغییرات استحکام آنها، وضعیت پایداری شیبها یا عدم آن در بخش های مختلف دریاچه یا محور سد، پیش بینی امکان ناپایداری بعد از پر شدن دریاچه شناخت و مشخص کردن سنگ لغزش های قدیمی یا محتمل جدید، مشخص نمودن لایه های محتمل جابجایی مثل مارنرها، واریزه ها پس از اشباع شدن بررسی تاثیر گسلهای در ناحیه و پیش امکان حرکت آنها و شناخت و

محاسبه خواص مکانیکی و دینامیکی لایه های زیر محل احداث سد بررسی می شود. تشخیص محل های مستعد روانگرایی، واگرایی، و حساسیت خاک ها نیز باید در این بخش انجام گیرد. معمولاً تکمیل مطالعات ژئوتکنیک و گاهی شناخت دقیق چینه شناسی ولایه بندی منطقه و نیز در مواردی بررسی دقیق مبحث هیدرولوژیکی نیاز به مطالعات ژئوفیزیکی مانند لرزه نگاری و ژئوالکترونیک و گاهی ثقل سنجی دارد تا مجموعه دیدگاههای زمین شناسی سطحی و ژئوفیزیکی و به کمک حفاری گمانه های اکتشافی بتواند وضعیت زمین شناسی مهندسی و هیدروژئولوژی را برای آن ناحیه کاملاً معلوم نماید.

حفر گمانه های اکتشافی و مغزه گیری از آنها جهت شناخت لایه های تحت الارضی و تعیین خواص ژئومکانیکی آنها از کارهای بسیار معمول در مرحله مطالعات اولیه جهت احداث سد در یک منطقه است. عمق گمانه ها غالباً در محل محور سد تا حداقل ۱/۵ برابر ارتفاع محتمل سد برنامه ریزی می شود. مگر اینکه به لحاظ زمین شناسی سنگ های زیرین بسیار مشخص و یکنواخت باشد. در مبحث زمین شناسی و مطالعات زلزله از یک سو باید وضعیت لرزه زمین ساخت آن ناحیه و تعیین گسلهای فعال بزرگ ناحیه ای و کوچک محلی مشخص گردد و از سوی دیگر وضعیت آماری زلزله های اتفاق افتاده در گذشته و نیز متحمل در آینده در شعاع موثر از محل احداث سد مورد بررسی قرار گیرد و مشخص گردد که ریسک لرزه خیزی آن محل و ریسک اثر زلزله های محتمل دیگر تا چه حد پیش بینی می

گردد و در صورتی که احتمال تاثیر وقوع زلزله ها برسد زیاد باشد. چه مسائلی را در طراحی سد باید مورد نظر قرار داد).

در تمام مطالعات اولیه و نیز در طراحیهای احداث سد نیاز به در دست داشتن نقشه توپوگرافی با مقیاس مناسب (مثلا ۱/۵۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ و گاهی ۱/۱۰۰۰) می باشند. معمولا نقشه زمین شناسی و زمین شناسی مهندسی و هیدرولوژی بر همین مقیاس ها پیاده می شود. البته در طراحی و به منظور نشان دادن بخش های مختلف حسب مورد نقشه های با مقیاس بزرگتر (مثلا ۱/۵۰۰ و ۱/۱۰۰) مورد استفاده قرار می گیرد.

پس از محاسبات هیدرولوژی و با توجه به وضعیت و نقشه توپوگرافی و هیدروژئولوژی و انتخاب گزینه های محتمل برای احداث سد در آنها محلها می توان حجم آب قابل ذخیره را تعیین نمود و ارتفاع سد را مشخص کرد. در صورتی که حجم رواناب بسیار زیاد باشد ارتفاع سد براساس ملاحظات دیگری مانند وضعیت توپوگرافی منطقه امکانات اقتصادی و امکان فنی ایجاد سد و مسائل محتمل دیگر تعیین می شود.

ترسیم نمودار حجم- ارتفاع و سطح دریاچه- ارتفاع از مقدماتی ترین تخمینهایی است که قبل از طراحی سایر قسمت و انتخاب نوع سد باید مشخص گردد زیرا بر این اساس حجم قابل ذخیره آب، مقدار مصرف، ارتفاع نهایی سد، و رقم سرریز مشخص می گردد. از آنجا که بررسی تفصیلی مبحثهای ذکر شده در بالا بسیار تخصصی و دقیق است. معمولا برای تبیین مطالعه هر مبحث نیاز به کارشناس

مختص همان مبحث است. هرچند سرانجام به منظور تلفیق این نتایج با یکدیگر

باید هماهنگی مشترکی بین کلیه نتیجه گیری های مجزا صورت گیرد.

فصل دوم

انواع دیگر سدهای خاکریز

سدهای پاره سنگی

اصطلاح پاره سنگی^۱ یا سنگریه‌ای یا سنگی برای سدی به کار می‌رود که قسمت عمده آن (یا تقریباً تمام آن) از قطعه سنگ‌هایی تشکیل شده باشد که بر روی هم ریخته‌اند. پاره سنگ‌ها را از معدن نزدیک محل سد و یا از هر منبع دیگری می‌آورند. سنگ‌ها باید با مقاومت کافی و مقاوم در برابر اثر آب و هوا باشند. قطعات سنگی به وزن بین ۱۵ تا ۲۰ کیلوگرم و گاهی تا ۲۰ تن نیز قابل استفاده‌اند، گرچه عملاً خارج از این دو حد نیز ممکن است وجود داشته باشند. سنگها یا با جراثقال به محل حمل شده و از ارتفاعی ریخته می‌شوند و یا به وسیله کامیون حمل می‌شوند.

اولین سدهای پاره سنگی در نیمه‌های قرن ۱۹ در غرب آمریکا ساخته شده‌اند، گرچه در آن زمان بیشتر در نزدیک معادن از این نوع سدها ساخته می‌شد و از مهارت معدن کاران در این زمینه استفاده می‌گردید. و روی سطح بالا دست با الوار چوب پوشیده می‌شد تا حتی الامکان نفوذناپذیر گردند. بعداً این گونه سدها توسعه تعریف فوق‌الذکر است. و یا سدی که در بزرگترین مقطع اقلان نصف آن را قطعه سنگ‌های برهم‌انباشته شده تشکیل دهد. در این قبیل سدها سنگ‌های گوشه‌دار ارجحیت دارند.

¹ - rockfill dam

گرچه تاریخچه سدهای پاره سنگی نسبت به سایر سدها جدید تر است، با وجود این توسعه این سدها در زمان کوتاهی صورت گرفته است، مثلاً تا قبل از سال ۱۹۲۵ فقط ۸ پاره سنگی در ایالات متحده و ۴ سد پاره سنگی در سایر نقاط دنیا گزارش شده است که ارتفاع آنها به ۳۰ متر می رسیده است، ولی در سال ۱۹۶۷ ارتفاع این نوع سدها به ۱۴۵ متر می رسیده است ولی در سال ۱۹۶۷ ارتفاع این نوع سدها به ۱۴۵ متر می رسد. در مورد ساخت و سرعت عمل ساخت آنها نیز تحولاتی پیش می آید، به طوری که در سال ۱۹۶۷ در آمریکا ارتفاع سدهای پاره سنگی با مغزه مرکزی به ۲۱۳۰ متر می رسد.

همانطور که در جدول مشاهده می شود از سدهای خاکریز ساخته شده در ایران سدهای گلیپایگاه مهاباد و قشلاق (وحدت) از نوع پاره سنگی است.

در کشورهای مختلف بر حسب نوع مصالح در دسترس و شرایط محلی درصد ساخت سدهای پاره سنگی نسبت به سایر انواع سدها متفاوت است. مثلاً در کشور نروژ از ۲۵۰ سد بلند ۱۷۲ سد از نوع خاکریز است و از این تعداد ۱۵۹ مورد از نوع پاره سنگی است و از این ۵۹ مورد، ۱۰۹ سد با مغزه خاکی یخچالی، ۹ سد با مغزه بتنی، ۷ سد با مغزه بتنی آسفالتی، ۴ سد با مغزه قیرسنگی و ۱ سد با مغزه سنگ خرد شده نرم و ۲۹ سد با پوشش آب بند است.

شیب دامنه های سد پاره سنگی را می توان حدود زاویه قرار^۱ پاره سنگ ها گرفت. هرچند امروزه در مقاطع تیپ این سدها در شرایط مختلف مقدار دقیقتری برای شیب ها تعیین کرده اند. همچنین مصالح دیگری با درصد قابل توجهی در سدهای پاره سنگی به کار می رود که باید ضرورتاً این مصالح کمتر از ۵۰ درصد کل سد را تشکیل دهند.

سدهای پاره سنگی در نقاط زلزله خیز مناسبتر از سدهای خاکی می باشند. در سدهای پاره سنگی نوعی آب بند ضرورتاً لازم است و از این لحاظ انواع آنها به قرار زیر می باشد:

(۱) سد پاره سنگی با پوشش نفوذناپذیر بر دامنه بالا دست

(۲) سد پاره سنگی با مغزه خاکی مایل

(۳) سد پاره سنگی با مغزه مرکزی که این مغزه نیز ممکن است نسبتاً نازک تا خیلی ضخیم باشد.

پوشش بالادست که امروزه از بتن یا آسفالت یا ترکیبی از این مواد ساخته می شود در قدیم و در سدهای پاره سنگی اولیه از چوب تهیه می شد. این پوشش چنانچه از بتن باشد حتماً باید مسلح ساخته شود که در آن فولاد به کار رفته حداقل ۰/۵ درصد است و درصد آن در امتداد افقی بیش از امتداد دیگر می باشد. وجود فولاد به علت مقاومت بیشتر پوشش در برابر شکسته شدن حاصل از نشستهای نامساوی است. استفاده از آسفالت نیز به علت انعطاف پذیری بیشتر آن نسبت به بتن می

¹ - angle of repose

باشد. همچنین ساخت پوشش به صورت ورقه های متناوب از بتن و آسفالت معمول است. استثنائاً ممکن است پوشش را از ورقه های فولادی به ضخامت ۶ تا ۸ میلیمتر نیز تامین نمود.

در صورتی که پوشش بتنی مورد استفاده باشد آن را به صورت قطعاتی مجزا و غیر یکپارچه می سازند. تا در برابر تغییرات درجه حرارت و نیز در برابر نشستهای نامساوی موضعی مقاوم باشد. مسئله قرار دادن درزها در بین قطعات بتن از مسائل نسبتاً مشکل است که معمولاً به کمک الوار چوب، یا آسفالت و غیره این درزها پر می شوند. به منظور یکنواختی سطح دامنه بالا دست جهت قرار دادن پوشش نفوذ ناپذیر در سطح جبهه بالادست سنگها به طور مرتب چیده شده و روی آنها به ضخامت حدود ۱۵ تا ۲۰

سانتی متر شن و قلوه سنگ قرار داده می شود و آنگاه پوشش بتنی به ضخامت ۳۰ تا ۱۰۰ سانتی متر ساخته می گردد. ادامه این پوشش باید در شالوده نیز وجود داشته باشد. و در شالوده های غیر سنگی، ادامه پوشش بالادست به صورت پرده سپر در شالوده کوبیده می شود و آنگاه با بتن آب بندی می گردد. عمق نفوذ پوشش بتنی در سنگ شالوده از ۰/۶ تا ۲ متر معمول است که این عمل به وسیله حفر ترانشه ای در سراسر طول سد صورت می گیرد. چنانچه بستر ترانشه خرد شده و دارای ترک ها و شکافهایی باشد با تزریق ملات مناسب آب بندی می گردد.

در مواردی که به جای پوشش بتنی از مغزه خاکی استفاده می شود ممکن است مغزه خاکی به طور مایل در بالا دست قرار گیرد، که در این صورت معمولاً از ۱ تا

۱۰ درصد کل حجم تشکیل می دهد. در مواردی که مغزه خاکی مرکزی ساخته می شود حجم آن تا کمتر از ۵۰ درصد کل حجم سد نیز می رسد و به این ترتیب سد پاره سنگی به سدی مرکب از سنگ و خاک تبدیل می گردد. مغز خاکی در هر حال باید به طور کامل کمپکت شده و طرفین آن به وسیله فیلتر مطبق مجهز باشد.

به لحاظ طرح و از نظر طراح در سد پاره سنگی نسبت به سد خاکی مطبق تفاوت بین طرح و آنچه که ساخته می شود زیاد تر است و قطعیت نتایج کمتر می باشد زیرا در سدهای خاکی مطبق خواص فیزیکی مهم مواد را می توان قبل از بنای سد در آزمون های آموزشگاهی به خوبی و با دقت تعیین نمود و در عمل تقریباً همان خواص را به دست می آورد، در صورتی که خواص فشار پذیری سد پاره سنگی را نمی توان در آزمایشگاه تعیین نمود و به ویژه اینکه خواص پاره سنگ های استخراج شده از نقطه ای به نقطه ای دیگر متفاوت است و حتی میزان گرازیان هیدرولیک ایجاد شده در سد را نیز نمی توان دقیق مشخص نمود.

شالوده سدهای پاره سنگی حتی الامکان باید سنگی باشد هرچند تا آن حد استحکام که برای شالوده سدهای بتنی منظور می گردد، در این مورد ضرورت ندارد و می توان بر سنگ های متوسط مانند سنگ های شیستی نیز اطمینان نمود. شالوده آبرفتی که با چسبندگی کم، مقاومت زیاد دارند نیز قابل استفاده اند. تغییر شکل در سدهای پاره سنگی شامل دو بخش است که یک بخش به علت وزن خود سنگریز و بخش دیگری به علت فشار آبی است که پس از پر کردن سد روی بخش

نفوذ ناپذیر سد وارد می آید. تغییر شکل آنی که به هر علت هر یک از این دو عامل باشد با یک مقدار تغییر شکل تدریجی و اضافی تعقیب می شود که با یک نرخ کاهش یابنده ای ادامه می یابد. عملکرد این فرایند مانند عملکرد تغییر شکل لایه ای از ماسه غیر چسبنده در زیر بار ثابت است. در حقیقت به علت بار ثابت دانه ها به تدریج جا به جا شده و یا گوشه های آنها شکسته و جایهای اندک ادامه می یابد. اکثریت تغییر شکل در سدهای پاره سنگی به علت وزن سد است و در ضمن بنایی صورت می گیرد و بعد از بنایی سد تقریباً متوقف می گردد مگر به علت یک جنبش ناگهانی که در این هنگام تغییر شکل جدیدی متحمل است.

شکل (۲-۲) تغییر شکل نقاط مختلف بدنه به یک سد پاره سنگی را به صورت ترازهای تغییر شکل های قائم مساوی نشان داده است. این ترازها مربوط به دامنه بالا دست سد «سالت اسپرینگ»^۱ در کالیفرنیا می باشد که ارتفاع آن ۱۰۰ متر از قطعه سنگ های محکم و سالم گرانیت و با پوشش بتن مسلح در بالا دست (در سال ۱۳۲۹) ساخته شده است. پر شدن مخزن در دفعه اول ۲ سال طول کشیده است و حداکثر تغییر شکل قائم دامنه بالادست پس از پر شدن حدود ۱/۲ متر در نقاطی به فاصله $\frac{1}{3}$ دامنه از پنجه آن اندازه گیری شده است. در ضمن ۲۵ سال بعدی سرعت دگر شکلی کم شده و کل تغییر شکل سرانجام به ۱/۶۷ متر رسیده است.

¹ - Salt Springs Dam

حداکثر نشست تاج در اولین پر شدن سد، ۰/۴۵ متر گزارش شده است که بعد از ۲۵ سال مقدار آن به ۱ متر می‌رسد. بعضی از پژوهشگران با اندازه‌گیری‌های متعدد به این نتیجه رسیدند که حداکثر تغییر شکل در بالادست سد در مورد سدهای پاره سنگی ساخته شده از گرانیت تقریباً متناسب با مربع ارتفاع سد می‌باشد. البته این حداکثر تغییر شکل در هر حال موجب نمی‌شود که از کارایی مغزه نفوذ ناپذیر کاسته گردد ولی ممکن است موجب شکسته شدن پوشش بتنی بالادست گردد. بنابراین تغییر شکل‌های نامساوی در نقطه‌ای که مربوط به حداکثر است تعیین کننده روش اجرایی پوشش نفوذناپذیر بالادست و یا رعایت احتیاطهای لازم در اجرای مغزه نفوذ ناپذیر می‌باشد.

در مورد نشست سدهای پاره سنگی روابطی پیشنهاد شده است که نمونه آنها عبارتند از:

$$S = \beta H^\delta$$

در این رابطه H ارتفاع سد به متر، β ضریبی است که از 10^{-4} تا 10^{-3} متغیر است و برحسب شرایط و برحسب نوع سد (یعنی با پوشش بالادست، با مغزه مایل یا با مغزه مرکزی) تعیین می‌شود و برای نشست بعد از ده سال $\delta = 1/5$ گرفته می‌شود.

$$S = \alpha H (\log t_1 - \log t) / 100 \quad \text{رابطه}$$

رابطه دیگری است که در آن مقدار α از ۰/۰۵ تا ۰/۲ برحسب نوع سد انتخاب می‌شود. و t_1 زمانی است که ساخت نیمی از سد به اتمام رسیده است.

در مورد دقت این رابطه و هر رابطه دیگری پژوهشگرانی به مطالعات تجربی پرداخته اند و مثلاً «کلمنت»^۱ [مأخذ شماره 20] تعداد ۶۸ سد پاره سنگی را مورد بررسی قرار داده و نشستهای آنها را در زمان های مختلف مقایسه نموده و تغییرات مقدار نشستها را به صورت تابعی از زمان ترسیم نموده است و به این نتیجه رسیده است که هیچ کدام از روابط تجربی پیشنهادی، رابطه کلی و دقیق نیست و تنها وسیله مطمئن برای پیش بینی نشستها مقایسه نوع سد با سدهای ساخته شده قبلی است. شاید تنها نتیجه ای که از مجموع مطالعاتش به دست آورده است تعیین منحنی هایی برای حد پایینی و حد بالایی مقدار نشست برای هر یک از انواع سه گانه سدها پاره سنگی می باشد.

در سدهای پاره سنگی عرض تاج سد و ارتفاع آزاد بر اساس همان اصول سدهای خاکی تعیین می شود. عرض تاج، حداقل ۴ متر گرفته می شود. مصالح به کار برده شده چنانکه اشاره شد باید مقاوم باشند، به طوری که استحکام هر قطعه سنگ مثلاً به حدود ۸۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع برسد.

تقریباً تمام طراحان معتقدند که سد پاره سنگی باید توام با آب اجرا شود با وجود این در علت فایده آن نظریه های متفاوتی وجود دارد و نیز در مقدار آب لازم توافق همگانی وجود ندارد، و فقط بر اساس تجربیات گذشته پیشنهاد می کنند که در هر حجم سنگ ۲ تا ۷ حجم آب اضافه شود، هر چند دلیلی در دست نیست که

¹ - R.P.Clements

از بیش از ۲ حجم آب، امتیاز قابل توجهی داشته باشد یعنی به نظر می رسد که هرگاه نسبت آب به سنگ به ۲ برسد تاثیر آب به مقدار لازم رسیده است.

سنگریزی خشک، به هر حال در بعضی موارد فاجعه آمیز بوده است. مثلاً «کوگس ول»^۱ در جنوب کالیفرنیا با ارتفاع ۸۵ متر طراحی شده بود و بدون افزودن آب تا ارتفاع ۸۰ درصد ارتفاع نهایی ساخته شد و در این مرحله از ساخت بود که در اثر یک رگبار شدید تاج سد به اندازه ۲/۴ نشست کرده و به دنبال آن ۳/۶۵ متر دیگر نشست اضافی می یابد.

سدهای با ساخت هیدرولیکی

سدهای باطله

سدهای باطله به منظور نگهداری و ذخیره و یا رسوب دادن مواد حاصل از کارخانه تغلیظ مواد معدنی ساخته می شوند و نوع ساخته شدن آنها هیدرولیکی است، بنابراین در هر محلی که ساخته شوند جنس بدنه آنها از مواد مربوط به آن کارخانه یا معدن می باشد. خرابی سدهای باطله گاهگاهی گزارش شده است که این خرابی ممکن است به علت روانگری مواد تشکیل دهنده سد در اثر ارتعاش و یا به علت سرریز اضافی بوده است. بیشترین احتمال خرابی هنگامی است که آن سد در دره ای بنا شود که آن دره آبگیر است.

سدهای باطله به علت ماهیت ساخته شدن آنها نسبت به انواع سدهای خاکی و پاره سنگی کمترین مقاومت را دارند و چنانچه به علتی در آن ها تخریب ایجاد گردد

¹ - Cogswell Dam

کاملاً ناگهانی و فاجعه آمیز خواهد بود. به این علت در مورد طراحی و محل آنها مشورت با مهندسان هیدرولوژی نیز حایز اهمیت است. با وجود همه خطرهای محتمل معمولاً متصدیان معادن بیش از آنکه به ایمنی سد توجه داشته باشند به عملکرد آن هرچند موقت توجه می کردند.

این سدها به دو علت مخصوص باید با دقت و اطمینان طراحی و ساخته شوند و کنترل گردند. این دو علت در مورد سد های معمولی نقشی ندارند. اول اینکه چنانچه سد باطله تخریب گردد محیط زیست پایین دست را آلوده می کند و چه بسا حیات و سلامت انسان و محیط زیست در آن ناحیه در معرض خطر جدی قرار گیرد. دوم اینکه نشت آب از سد موجب آلوده کردن تمام زمین ها و آبهای پایین دست می گردد. به این علت در سالهای اخیر دولت ها و نیز آیین نامه معدنکاری در جهت در نظر گرفتن سلامت محیط زیست جدیت بیشتری نموده اند.

تا به حال تعداد ۱۱ سد باطله خراب شده است که از همه خطرناکتر دو سد در «الکبر»^۱ می باشد که در اثر تخریب (که به طور کامل هم صورت گرفته است) ۲ میلیون تن گل و لای تا ۱۲ کیلومتری به حرکت درآمده و شهر معدنکاری آن ناحیه را ویران نموده و اقلأً تا ۲۰۰ نفر تلفات جانی داشته است [مأخذ شماره ۴]

سدهای باطله به علت اشباع کامل و به علت ریز بودن دانه ها در برابر نیروهای ارتعاشی شدید و زلزله ها بسیار مساعد تخریب و ویرانی هستند و به این لحاظ باید شرایط ایمنی بیشتری در آن نواحی برقرار نمود.

¹ - Elcobre

در سال ۱۹۷۴ در انجمن ژئومکانیک استرالیا تعریف زیر توسط «مادکس»^۱ برای سدهای باطله پیشنهاد شده است سد باطله سدی است از نوع خاکریزی و برای نگهداری دو غاب کانه ها ساخته می شود و دو هدف بر آن مترتب است:

الف- ذخیره کردن دوغاب باطله

ب- تامین ذخیره موقت آب که این ذخیره پس از آنکه به مقدار کافی تصفیه و زلال گردید به رودخانه ریخته می شود و یا آنکه مجدداً به کارخانه بر می گردد.

ساخت سنگ های باطله

می توان سد باطله را کلا به صورت یک سد خاکی بنا نمود و مواد روان باطله را در پشت آن ذخیره نمود. اما معمولاً قسمت عمده سد از تجمع دانه های مواد باطله رشد کرده و ساخت آن تکمیل می گردد.

در صورتی که مواد باطله حاوی درصد کمی از دانه های حدود ماسه باشد سد را به روش معمول سدهای خاکی می سازند اما در صورتی که مواد باطله با اندازه ماسه، ۳۰ تا ۴۰ درصد دانه ها را تشکیل دهد روش ساخته شدن هیدرولیکی از همان مواد باطله برنامه ریزی می گردد که بسیار کم هزینه خواهد بود.

ساخته شدن سد باطله از مواد باطله به سه روش معمول است که عبارت است از: روش بالادست (بالارو)، روش پایین دست (پایین رو)، و روش محوری (مقارن) و این نامگذاری متناظر با جهت رشد سد نسبت به تاج است.

¹ - M.Maddox

در هر سه روش ابتدا یک سد خاکی کم ارتفاع با روش معمولی ساختن سدهای خاکی ساخته می شود. که سد (بند) اولیه^۱ نامیده می شود. این سد باید کاملاً محکم و با دقت ساخته شود و ارتفاع آزاد کافی داشته باشند. آنگاه لوله های آورنده مواد باطله روی این بند اولیه قرار داده می شود به طوری که مواد باطله که همراه آب است روی این بند ریخته شود. در نتیجه دانه های بزرگتر در نقاط نزدیک تر روی دامنه های سد رسوب کرده، ذرات ریز و معلق در آب به نقاط دورتر حرکت کرده و به تدریج ته نشین می شود و آب مجتمع یافته در پشت سد زلال می گردد. به علت شرایط موجود با این روش به تدریج که ارتفاع و ابعاد سد با ادامه کار رشد می کند، بستر مخزن و پشت سد نیز به علت رسوب ذرات ریز آب بندی می گردد. لوله های آورنده مواد باطله را در فواصل مثلاً ۱۵ متری منشعب می کنند تا در تمام طول سد اولیه توزیع یکنواخت مواد صورت گیرد و رشد سد در تمام نقاط توأم باشد. هنگامی که سطح مواد باطله رسوب کرده و به تاج سد اولیه رسید باید لوله را در ارتفاع بالاتری قرار داد تا رشد سد ادامه یابد و برای این کار در هر مرحله یک بند ماسه‌ای ایجاد می شود تا لوله روی آن قرار گیرد.

برحسب شرایط ناحیه و امکانات موجود برای یکی از انواع سه گانه ذکر شده برنامه‌ریزی می شود. در روش بالا دست رشد سد به سمت مخزن (به سمت پشت سد) ادامه می یابد و نهایتاً سد اولیه در پنجه پایین دست مدفون می شود. در روش پایین دست رشد سد به طرف جلو ادامه می یابد و سرانجام سد اولیه در

¹ - starter

مخزن سد مدفون می‌شود و در روش محوری (متقارن) رشد سد به طور قائم و متقارن بر روی سد اولیه ادامه می‌یابد، به طوری که سد اولیه همواره زیر محور سد باقی می‌ماند. در روش های پایین رو و محوری تامین یک سیستم زه کشی در پایین دست ضروری است تا در نتیجه زه کشی دائم استحکام سد را افزایش دهد. این زهکشی باید سراسری باشد.

سه نوع روش ذکر شده را به طور ساده نشان می‌دهند. دو نمونه از سدهای باطله که مربوط به بریتیش کلمبیا می‌باشند در اینجا ذکر می‌شود.

سد «برندا» که در سال ۱۹۷۰ شروع شده، ظرفیت آن $10^6 * 200$ تن مواد باطله برای مدت ۲۰ سال پیش بینی شده است. ارتفاع سد ۱۳۷ متر، طول ۲ کیلومتر، عرض قاعده ۵۵۰ متر، و $10^6 * 32/5$ تن ماسه در ساخت آن به کار می‌رود که ۵۰ درصد آن از زیر آب سیکلونها تأمین شود.

سد «گیبرالتا» در سال ۱۹۷۲ شروع شده، و با ارتفاع ۹۰ متر و طول ۲۴۳۰ متر، ظرفیت آن $10^6 * 220$ می‌باشد.

ساخت سدهای کوتاه با ساخت هیدرولیکی

شکل () نمایش ساده ای از چگونگی ساخت یک سد خاکی را به وسیله انتقال مخلوط آب و خاک به محل و انباشتن آنها به صورت یک سد نشان می‌دهد. و همان طور که در شکل مشاهده می‌شود مواد خاکی از محل قرضه جدا شده و پس از مخلوط شدن با آب به وسیله جریان آب به محل ساخت سد می‌رسد. دانه های خاک ضمن خروج از لوله انتقال، با توجه به کم شدن سرعت آب، تفکیک می‌شوند

و دانه های درشت تر در محل خروج از لوله باقی می مانند در حالی که دانه های ریز به جای دورتر در وسط سد موجب پدید آمدن مغزه سد گردد.

سدهای مختلط

در حال حاضر طرح های جدیدی در مناطق با شرایط خاصی در جهت پیشرفت احداث سدهای خاکی در دست بررسی و اجرا می باشد و در مواردی نیز با موفقیت اجرا شده است. مثلاً در مناطق خیلی سرد که برودت محیط دائمی است، امکان قرار دادن مغزه سد از توده ای یخی در سدهای پاره سنگی تجربه شده است. همچنین استفاده از تسلیح خاک و استفاده از مقطع مرکب از سنگ و خاک در مواردی با موفقیت تجربه شده است.

تکنیک تسلیح خاک به وسیله فولاد آغاز شده است و نتیجه آن ایجاد نوعی سازه انعطاف پذیر مقاوم می باشد. در عمل در ضمن تراکم خاک در هر مرحله، یا بعد از چند مرحله تراکم، نوارها یا شبکه های فولادی در داخل خاکی کار گذارده می شود. و لایه بعدی خاک روی آنها کوبیده می گردد، بر این اساس می توان جدار قائم و مقاومی مثل یک جدار بتنی ایجاد نمود. مزیت این روش این است که از عرض دامنه پایین دست کاسته می گردد و در نتیجه در طول راه های تخلیه آب، زیر آبها، تونلهای انحرافی، سرریز و غیره صرفه جویی می شود که همه در جهت کاهش هزینه است. مزیت دیگر این روش این است که می توان سرریز سرد را مانند سرریز سدهای بتنی تهیه نمود و بدون اینکه این نوع سرریز صدمه ای به سد بزند و این مزیت نیز در جهت اقتصادی بودن است. نمونه این نوع سدها که مقطع

سد Bimes Dan Vallon des در فرانسه می باشد و در سال ۱۹۷۲ به اتمام رسیده است.

در روش دیگری به وسیله قطعه سنگ های مناسب که به شبکه فولادی مهار می شوند جدار قائمی برای پشتیبانی سد تهیه می گردد و دامنه بالادست همان مشخصات خاکی را دارد.

فصل سوم

آب بندها

نقش آب بندها در شالوده، جلوگیری از حرکت کامل آب و یا دست کم طولانی‌ترین مسیر آب می باشد که در این مورد از فشار تخریبی زه کاسته می گردد و به هر حال دبی کل زه کاهش می یابد. در این فصل به طور عمومی و خلاصه در مورد انواع معمول روش های آب بندی توضیح داده می شود.

آب بند تزریقی

عوامل موثر در تزریق

تکنیک تزریق امروزه در بسیاری از پروژه های ساختمانی و در هدفهای متنوع مورد استفاده قرار می گیرد. که در پاره ای موارد به منظور مستحکم زمین کاهش دادن تاثیر ارتعاش در خاک و کاهش دادن نشست خاک در اثر بارهای دینامیک و استاتیک و اهدافی مشابه به آنچه ذکر شد می باشد، و در مواردی به منظور جلوگیری از حرکت آب است که براساس همین هدف در سدسازی مورد استفاده است.

استفاده از تزریق در پروژه های سد سازی گاه به منظور پر کردن شکافها و غارها درون سنگ های آهکی در ارتباط با مخزن سد می باشد و زمانی به منظور پر کردن حفره های درون خاک در کل یک محدوده آب بندی و زمانی به منظور تکمیل آب بندهای دیگر از قبیل آب بندهای پرده سپری می باشد.

در مورد آب بندی خاک ها توسط تزریق این روش معمولا در محیطی کارآیی لازم را دارد که نفوذپذیری محیط قبل از تزریق از 0.001 cm/sec بیشتر باشد.

تزریق مواد در درون حفره های بین دانه های خاک ضمن آب بندی کردن آن به استحکام آن نیز کمک می کند.

موادی که در تزریق به کار می رود متنوع بوده و معمولترین آنها شامل سیمان، اسفالت، رس، مواد شیمیایی است، که انتخاب نوع آنها، عمق نفوذ آنها ترتیب و چگونگی تزریق و فشار آن بستگی به شرایط شالوده نوع و وضعیت آن، ارتفاع سد و هدف از تزریق دارد. مثلا نوع دانه بندی و اندازه دانه ها و نفوذپذیری خاک نقش موثری در انتخاب نوع ماده تزریقی دارد. جدول زیر به عنوان نمونه حدود تقریبی اندازه دانه ها را در ارتباط با مناسب بودن برای نوع خاصی از ماده تزریقی نشان می دهد:

جدول نوع ماده، تزریقی برای نوع خاصی از ماده تزریقی نشان می دهد:

نوع ماده تزریقی	قطر متوسط دانه ها (mm)
سیمان	۰/۵ - ۱/۴
بنتونیت بارس - سیمان	۰/۳ - ۰/۵
رس - مواد شیمیایی، بنتونیت - مواد شیمیایی	۰/۲ - ۰/۴
مواد شیمیایی	۰/۱ - ۰/۲

به لحاظ تاریخی تا سال ۱۹۲۵ تنها ماده تزریقی معمول تقریباً فقط سیمان پرتلند خالص بود. هرچند سیمان خالص هنگامی ممکن است قابل استفاده در تزریق باشد که قطر موثر دانه‌های خاک (D_{10}) در حالت سست از 0.5 میلیمتر و در حالت متراکم از $1/4$ میلیمتر بزرگتر باشد و این شرط به ندرت ممکن است وجود داشته باشد. بنابراین گرچه تعداد معدودی از پرده‌های آب بند تزریقی با سیمان موفقیت آمیز بوده و در مورد آنها تبلیغ شده است ولی اکثریت آنها ناموفق بوده و محرمانه باقی مانده است (مأخذ شماره ۶).

در سال ۱۹۲۵ «یوستن»^۱ روشی را به منظور استحکام و غیر قابل نفوذ کردن خاک ابداع نمود که مبتنی بر پی در پی محلول‌های سیلیکات سدیم و کلرور کلسیم بود. این روش هنوز هم مورد استفاده است هرچند هزینه آن در پروژه‌های بزرگ یعنی برای آب بندهای پر حجم گران تمام می‌شود و تقریباً تا آن حد پر هزینه است که از اجرای آن صرف نظر می‌شود. این روش به صورت دیگری مخصوصاً در فرانسه پی‌گیری گردید، یعنی با استفاده از مخلوطی از سیمان و رس (گاهی با مواد شیمیایی به عنوان ضد انعقاد) جایگزین گردید. بعد از مدتی ماده شیمیایی به نام AM-9 مورد بهره‌برداری قرار گرفت. ویژگی این ماده این است که درون مجاری خاک پلیمریزه می‌شود و حفره‌ها را پر می‌کند و دانه‌ها را با هم پیوند می‌دهد، گرچه این روش نیز پر هزینه است. به طور کلی مواد تزریقی در منافذ بزرگتر یعنی در مواد درشت‌دانه‌تر بهتر نفوذ کرده و با شرایط ارزان نیز

¹ - Joosten

ضخامت بیشتر را تشکیل می دهند ولی در مورد مواد دانه ریز باید مواد تزریقی با لزجت کمتر به کار برده شوند.

آزمایشات واقعی در مقیاس بزرگ در مورد نتیجه تزریق نشان داده اند که صرف نظر از مقدار نفوذ پذیری رسوبات شالوده، میزان نفوذ پذیری بخش تزریق شده به حدود 10^{-4} تا 10^{-5} سانتی متر در ثانیه می رسد (مأخذ شماره ۶). این ارقام را می توان برای محاسبه مقدار زه در بخش تزریقی و به عنوان مبنایی برای تنظیم ضخامت آن به کار برد.

اجرای تزریق روش های آن

از نظر اجرایی به منظور تزریق مواد گمانه هایی به فاصله و عمق مناسب حفر شده و آنگاه ماده انتخابی را به داخل آنها تزریق می کنند. فاصله و تعداد و عمق گمانه ها بستگی به نوع شالوده و نوع ماده تزریق و ضخامت خواسته شده برای پرده تزریقی دارد. معمولاً ضخامت پرده تزریقی حاصل را می توان تا حدود $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{5}$ ارتفاع سطح آب در مخزن انتخاب نمود. در بسیاری از سدها یک ردیف گمانه کافی است اما اقلماً دو ردیف گمانه به منظور اطمینان بیشتر ضروری به نظر می رسد. در مواردی تزریق های مرحله ای را با دو نوع غلظت متفاوت ماده تزریق اجرا می کنند یعنی در مرحله اول در گمانه های با فاصله کمتر از ملاتهای رقیقتر استفاده می شود.

گاهی با حفر گمانه هایی تا عمق محدود ولی در یک محدوده وسیع می توان نوعی پوشش لایه ای نفوذ ناپذیر به وجود آورد. فاصله گمانه ها برای این منظور ۳ تا ۵ متر، عمق آنها ۵ تا ۱۰ متر انتخاب می شود. در استفاده از چنین روشی باید شرایط زمین ویژگی های زه و گمانه ها را با دقت مورد بررسی قرار دهند تا بتوان از عدم پیدایش احتمالی پدیده پایپینگ اطمینان کافی حاصل نمود.

فاصله گمانه ها در تزریق بستگی به شرایط متعددی دارد، از جمله اینکه تا چه وسعتی باید مواد تزریقی نفوذ کننده و امکانات نصب دستگاه حفاری و نوع خاک و نوع ماده تزریقی چگونه است. مثلاً مواد تزریقی ریزدانه تر و محلول های معلق ژل ها و رزینها موادی هستند که برای تزریق در خاک های ریزدانه تر و با نفوذپذیری کم به کار می روند بنابراین فاصله تاثیر آنها به طور نسبی کم است، در صورتی که برای خاک های درشت دانه و با نفوذ پذیری زیاد باید از مواد تزریقی درشت دانه مثل سیمان- رس استفاده نمود و چون این مواد در خاک های درشت دانه تزریق می شوند شعاع تاثیر آنها بیشتر است. بنابراین در محیط ریزدانه تر فاصله گمانه ها کمتر و در محیط دانه درشت تر فاصله گمانه ها را می توان بزرگتر انتخاب نمود.

فشار تزریق نیز بستگی به شرایط متعدد دارد که از جمله فاصله گمانه ها، نوع ماده تزریقی، نوع محیط، مرحله تزریق و محدوده مطلوب تاثیر تزریق می باشد و علاوه بر این شرایط که ذکر شد لزجت و غلظت ماده تزریقی و عمق نقطه مورد تزریق نیز در انتخاب فشار مناسب تاثیر اساسی دارد. در خاک های با نفوذپذیری کم به طور نسبی فشار بیشتری نسبت به خاک های با نفوذپذیری زیاد مورد احتیاج است. اما

فشار زیادتر از یک حد نیز موجب پکیده شدن محل تحت تاثیر فشار می گردد. در خاک های درشت دانه و در سنگ های شکاف دار می توان به سهولت ماده تزریقی و فشار لازم را انتخاب نمود. اما در مورد خاک های ریزدانه دقت بیشتری لازم است. زیرا زیاد کردن فشار ممکن است موجب پکیدن خاک گردد و رقیقتر کردن ماده تزریقی همراه با فشار کمتر ممکن است موجب شود که ماده تزریقی با از دست دان آب در نتیجه جذب بین دانه ها غلیظتر شده مجاری را برای پیشروی تزریق مسدود نماید.

اینکه پیشروی تزریق در عمق خاک چگونه است بستگی به روش اجرای آن دارد، که در این مورد به طور کلی می توان سه روش را نام برد. انتخاب نوع روش بستگی به شرایط پروژه اقتصاد، امکانات و هدف ها دارد.

این سه روش کلی عبارتند از: روش درجا، روش پایین رو، روش بالا رو. هر کدام از این سه روش معایب و مزایایی دارند، هرچند به علت شرایط محل تزریق و نوع پروژه ممکن است معایب یک روش خاص انتخابی در محدوده آن پروژه پدیدار نگردد. بهترین و مجهزترین روش، نوع «درجا» می باشد که بر اساس آن می توان ترتیب مورد نظر برای تزریق در عمق های مختلف تزریق مکرر، و تزریق مرحله ای را به سهولت اجرا نمود. به طور خلاصه هرگونه روش و ماده تزریقی که به کار برده شود خالی از نقایص کلی نخواهد بود. از جمله اینکه اندازه و محل قسمت هایی از لایه مورد تزریق که تحت تاثیر تزریق قرار نگرفته است معلوم نخواهد شد و چنانچه در لایه های نفوذپذیر لایه ای از ماسه بدون تزریق، احیاناً بخش تزریق شده را قطع

کند، بعد از پر شدن مخزن سد به علت ایجاد گرادیان، هیدرولیک زیاد در آن نقطه، شدت حرکت زده در آنجا زیاد شده و به تدریج شکاف عریضی ایجاد می شود که عواقب آن قابل پیش بینی نیست. تزریق های شیمیایی در اثر تاثیر طولانی فشار ممکن است سوراخ شوند. به علاوه کارایی روش تزریق بستگی به مهارت و تجربه اجرا کنندگان آن دارد و به هر حال کارایی دراز مدت اکثریت پرده های تزریقی تا حدی نامعلوم است.

نمونه هایی از سدهایی از سدهای تزریق شده

به عنوان نمونه سد خاکی «دورلاسبودن» در استرالیا مورد بحث قرار می گیرد. این سد خاکی به ارتفاع ۷۰ متر شیب دامنه های از ۱/۱/۵ تا ۱/۳ در نقاط مختلف و با مغزه مرکزی روی شالوده ای شن و ماسه به عمق ۵۰ متر ساخته می شود. حجم عملیات خاکی آن ۲/۵ میلیون متر مکعب و تولید انرژی آن ۲۵ مگاوات می باشد. مطابق شکل () در زیر مغز سد ۸ ردیف گمانه تزریقی وجود دارد که ۵ ردیف آنها تا عمق ۱۵ تا ۲۱، و ۳ ردیف میانی تا عمق ۶۵ متر می باشد. فاصله گمانه ها ۲/۵ تا ۳ متر، فشار نهایی تزریق تا ۵۰ و ۶۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع رسیده است.

نفوذپذیری لایه بلافاصله زیر سد 10^{-4} m/see است که طبقه زیر این لایه را مواد ماسه ای سیلتی با نفوذ پذیری حدود 10^{-6} m/see تشکیل می دهد. لایه نفوذپذیر تزریق شده پس از تزریق به نفوذپذیری 10^{-7} m/see * ۴ می رسد.

در این سد جمعا ۱۰۵۷۹ متر مربع از خاک در محل آب بندی شده و برای این عمل ۲۰۵۵۷۷ متر لوله های تزریقی در جا به کار رفته است.

در فاز اول و دوم تزریق ۲۲۵۴۰ متر مکعب از مخلوطی به کار رفته است که برای هر ۱۰۰۰ لیتر آب ۱۵۰ کیلوگرم سیمان، و ۵۰۰ کیلوگرم رس وجود داشته و لزجت آن به ۳۸ مارش ثانیه رسیده است.

در فاز سوم ۲۵۱۳۲ متر مکعب ژل بنتونیت (مخلوطی از بنتونیت، مونوفسفات سدیم، سلولیکات سدیم و آب) با لزجت ۳۸ مارش ثانیه و در فاز چهارم ۶۷۲۴ متر مکعب ژلهای شیمیایی (عمدتاً آلوموسیلیکاتها) با لزجت ۳۲ مارش ثانیه مورد استفاده قرار گرفته است.

نمونه دیگر به عنوان سد «میشن»^۱ در «بریتش کلمبیا» می باشد. برای این سد ۵ ردیف گمانه تزریقی به عمق ۱۵۰ متر و فاصله ۳ متر انتخاب شده و ماده تزریقی در ردیف های بیرونی سیمان خالص، در ردیف های دوم و چهارم مخلوطی از سیمان و رس به نسبت های متفاوت و در ردیف وسط مخلوطی از سیمان و رس و مقدار کمی مواد شیمیایی به کار برده شده است. ضریب نفوذ پذیری بخش تزریق شده به 10^{-4} سانتی متر و در ثانیه و راندمان این آب بند به ۹۰٪ رسیده است.

تراشه آب بند

¹ - Mission Dam

تراشه آب بند، در شالوده سد یعنی در قاعده آن حفر شده و از مواد رسی و نفوذ ناپذیر کاملاً متراکم پر می شود. شیب کناره های آن حدود ۱۵° گرفته می شود و اندازه و عمق آن بستگی به شرایط دارد و محل محور آن ممکن است منطبق به محور مغزه سد و یا در سمت بالادست جلوتر از محور سد قرار گیرد. اگر لایه نفوذپذیر شالوده تا عمقی بیش از ۱۵ متر نباشد می توان این ترانسه را تا سنگ بستر و یا تا لایه نفوذناپذیر زیرین ادامه داد. عرض قاعده ترانسه اقل حدود ۵ متر می گیرند هرچند بر حسب وسعت کار و تجهیزات تراکم و مسائل اقتصادی ابعاد ترانسه را می توان به طور مناسب انتخاب نمود. اگر نتوان تمام ضخامت لایه نفوذپذیر را به وسیله ترانسه آب بندی نمود، می توان از ترانسه ناقص که به وسیله یک دیافراگم بتنی قائم تکمیل می شود آب بندی کاملی تشکیل داد.

آب بند ناقص

آب بندی ناقص به روشی از آب بندی گفته می شود که شالوده را به طور کامل آب بندی نمی کند. و عمل اصلی آن قطع کلی زه نیست بلکه در محدود نمودن آن و در افزایش طول مسیر آن موثر است. آب بندهای ناقص در شالوده هایی که در طبقات عمیقتر نفوذناپذیر تر می شوند بسیار موثرند اما در شالوده هایی که تا اعماق زیاد نفوذپذیری قابل توجه دارند راندمان آب بندهای ناقص کم است به طوری که اگر تا ۸۰٪ عمق کلی لایه نفوذپذیر آب بندی شود و راندمان کاهش زه از آن فقط تا ۵۰٪ می رسد. از این رو هنگامی می توان از آب بند ناقص نتیجه رضایتبخش گرفت که همراه با آب بند ناقص از پوشش بالادست نیز استفاده گردد.

آب بند سپری

آب بندی سپری یا سپرهای آب بند، در شالوده های سلیتی، ماسه ای و شنی ریز قابل اجرا می باشند. این سپرها به روش کوبیدن در شالوده اجرا می شود. و هیچ گاه نمی توان از عدم نشت آب در حد فاصل قطعات آنها مطمئن بود. به همین علت معمولاً آنها را به وسیله تزریق سیمان بتون ریزی و یا تزریق بنتونیت آب بندی می کنند. سپرهای آب بند حتی المقدور در طرف بالادست شالوده کوبیده می شود.

آب بند سیمانی و پرده بتنی درجا

این نوع آب بندها در شالوده هایی که قلوه سنگ ها و قطعات سنگ های بزرگ ندارند قابل اجرا می باشند. به طور خلاصه روش اجرای آنها به ترتیب است که بعد از حفر گمانه هایی در یک یا چند ردیف تعیین شده داخل آنها را ملات سیمان ریخته و به وسیله انتهای سر مته این ملات با شن و ماسه درون گمانه مخلوط می شود و به تدریج گمانه ها پر می شوند. در نتیجه جداری از بتن در عرض شالوده به وجود می آید.

در روش دیگر ترانشه ای به طول ۵ تا ۱۰ متر و عرض ثابت حدود ۱/۲ تا ۲ متر به وسیله ماشین آلات مخصوص حفاری می شود. در این نوع حفاری از گل حفاری به عنوان محکم کننده جدار ترانشه و انتقال مواد حفاری شده به بالا استفاده می شود و در مخزنهای مخصوص آن مجدداً تصفیه شده و با بنتونیت اضافه شده به ترانشه برگردانده می شود. بعد از حفر تا عمق مورد نظر ترانشه به وسیله بتن ساخته شده

پر می گردد. ترانشه های دیگری به همین ترتیب و در یک امتداد ساخته می گردند. تا اینکه تمامی طول شالوده در محل مورد نظر به وسیله یک دیوار بتنی آب بندی می گردد.

ساختن پرده سیمانی توسط گمانه و یا به وسیله ترانشه در هر حال مشکلات اجرایی فراوان (از جمله وجود آب و خشکانیدن آن) و مسائل اقتصادی زیادی دارد.

پوشش بالادست

پوشش بالادست لایه ای نفوذناپذیر از خاک رسی است که باید به بخش نفوذناپذیر داخل سد متصل گردد. تاثیر این پوشش افزایش طول مسیر جریان و در نتیجه کاهش گرادیان هیدرولیک است و به عبارت دیگر در شبکه جریان تعداد خطوط افت پتانسیل در مقایسه با حالتی که این پوشش وجود ندارد افزایش می یابد. دو نوع از آب بندی به وسیله پوشش بالادست را نشان می دهد که نوع B از اطمینان بیشتری برخوردار است.

کارایی پوشش بالادست تا حد زیادی بستگی به ضرایب نفوذپذیری در امتداد افقی و عمودی در زمین شالوده دارد گرچه نسبت این ضرایب تقریباً هیچ گاه به طور دقیق دانسته نیست ولی ممکن است در مواردی رقمی نسبتاً بزرگ باشد. به هر حال اگر براساس مساوی بودن ضرایب نفوذپذیری شالوده در امتداد افقی و عمودی مقدار زه آب محاسبه گردد و ضریب نفوذپذیری هر دو امتداد برابر ضریب نفوذپذیری افقی در نظر گرفته شود مقدار محاسبه شده زه، حد بالایی را نشان می

دهد. در مواردی رسوبات سلتی و رسی در بستر مخزن تجمع می یابد و خود به خود بر ضخامت و آب بندی این پوشش می افزاید.

تعیین ابعاد پوشش بالادست

اگر ضریب نفوذپذیری افقی متوسط لایه شالوده k ، اختلاف سطح آب در طرفین سد h ، و ضخامت لایه نفوذپذیر زیر سد d ، باشد و بخواهیم مقدار دبی زه در شالوده را از مقدار q (در واحد طول سد) که بدون پوشش نفوذناپذیر است به مقدار pd بعد از قرار دادن پوشش کاهش دهیم لازم است طول پوشش را برابر L از رابطه زیر تعیین کنیم:

$$L = \frac{khd - pqb}{pq}$$

در این رابطه، b عرض قاعده بخش نفوذناپذیر سد است و p عددی کوچکتر از واحد است و رابطه فوق تا حدی تقریبی است.

برای تعیین ضخامت این پوشش روابطی پیشنهاد شده است که از جمله عبارت است از:

$$t = 61 + 0.02 X$$

در این رابطه t ، ضخامت پوشش در هر نقطه بر حسب سانتی متر و X فاصله هر نقطه از ابتدای پوشش است.

رابطه دیگری به صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$t = (K_r / K_p) \frac{L}{D} X$$

در این رابطه k_1 و k_2 به ترتیب نفوذپذیری متوسط شالوده و پوشش نفوذناپذیر، L طول پوشش از ابتدا تا مقطع نفوذناپذیر سد (بر حسب متر)، d ضخامت لایه نفوذ پذیر است.

در شرایط معمولی (سدهای کوتاه) ضخامت پوشش بالادست بین $1/5$ تا 3 متر و طول آن حدود 10 برابر ارتفاع آب مخزن در نظر گرفته می شود. در صورتی که شالوده ماسه ریز یا سیلتی باشد، طول پوشش را تا 15 برابر ارتفاع آب می گیرند.

مزایا و معایب آب بندها

در یک آب بند کامل و ایده آل راندمان آب بند به یک (یا صد درصد) می رسد. راندمان آب بند عبارت است از نسبت اختلاف ارتفاع پیزومتریک آب بلافاصله در بالا دست آب و ارتفاع پیزومتریک آب بلافاصله در پایین دست آن به اختلاف پیزومتریک کلی آب بین مقطع ورودی در بالادست و مقطع خروجی در پایین دست سد، یعنی:

$$E = H' / H$$

در این رابطه H' اختلاف دما پیزومتریک آب بین دو نقطه یکی در بلافاصله در بالا دست و دیگری در بلافاصله پایین دست آب بند است و H اختلاف ارتفاع آب بین سطح مخزن و سطح آب در جلوی سد می باشد.

هرچند می توان راندمان آب بند را در ضمن طراحی سد با رسم شبکه جریان به دست آورد، اما راندمان واقعی هنگامی معلوم می شود که برای دفعه اول مخزن سد پر شود و اختلاف سطح آب در چاه هایی که در بلافاصله بالادست و بلافاصله پایین

دست آب بند حفر شده اند اندازه گیری گردد. در بسیاری موارد مشاهده شده است که راندمان واقعی به مراتب کمتر از مقدار پیش بینی شده راندمان توسط طراح می باشد. تفاوت بین مقدار واقعی و مقدار پیش بینی شده بستگی به نوع آب بند، شرایط خاک زیر سطحی، و روش و نوع عملیات اجرایی دارد که این بستگی به کیفیت کار پیمانکار خواهد داشت. بنابراین در انتخاب نوع آب بند تمام این عوامل را باید در نظر گرفت.

تنها نوعی از آب بند که راندمان آن را می توان به خوبی پیش بینی نمود و تقریباً همان راندمان را در اجرا به دست آورد آب بند حاصل از ترانسه های رسی با جدار مایل است.

از آنجا که قبل از ایجاد آب بند فقط برای تعداد معدودی از نقاط زمین می توان وضعیت خاک را با اطمینان مشخص نمود و آب بند بر اساس همین اطلاعات طراحی می شود، از این رو ممکن است در ضمن اجرا (مثلاً در اجرای ترانسه های آب بند) وضعیت های دیگر مشاهده شود که احتیاج به تغییر طرح و یا تعویض خاک و اصطلاحات دیگری داشته باشد.

تمام آب بندها علی رغم مدیریت صحیح در ساختن آنها ممکن است با نقیصه هایی در عمل مواجه شوند. در هر نوع آب بند به هر حال همراه با افزایش عمق، اختلاف بین راندمان پیش بینی شده و راندمان واقعی آن افزایش می یابد و در شرایط خاصی ممکن است از راندمان واقعی آن تا حد کاسته گردد که عملاً آب بند ایجاد شده را بی فایده نماید.

پرده سپرهای فلزی در محل های قفل شده نفوذناپذیر نیستند و یا ممکن است ضمن نصب پرده سپرها هنگام برخورد با سنگ های پیش بینی نشده قفلها شکسته شده و با فرو رفتن پرده سپر در عمق بیشتر شکاف موجود در محل قفلها بیشتر شده و حتی فاصله حدود چند ده سانتی متر بین دو قطعه مجاور پرده سپر پایدار گردد. چنین نقیصه‌هایی موارد متعدد مشاهده شده است. همچنین مواردی مشاهده شده است که پرده سپرها به علت رسیدن به سنگ بستر و یا به علت ضربه های کوبنده، به صورت منحنی در آمده و لذا قادر به جلوگیری از حرکت آب نبودند و در مواردی راندمان آب بندی آنها به ۱۰ درصد رسیده است.

بنابراین شرایط زمین ساخت و خاک منطقه ممکن است برای نوعی از آب بند- هرچند پرهزینه باشد مناسب نباشد ولی نوع دیگر از آب بندی را به خوبی امکان پذیر باشد و به عکس اگر شرایط برای نوعی خاصی از آب بند موفقیت آمیز باشد دلیلی وجود ندارد که برای نوع دیگر نیز موفقیت آمیز باشد. مثلاً چنانچه خطر انحراف پرده سپرها و ایجاد شکاف در بین آنها در اعماق زمین باشد می توان به جای آنها از پرده سینما که به وسیله حفر یک سری گمانه و پر کردن آنها با بتن ساخته می شود استفاده نمود. امروزه حفر گمانه ها به قطر ۵۰ تا ۶۰ سانتی متر برای این منظور معمول است و تا اعماق قابل توجه مثلاً ۱۰۰ متر قابل اجرا می باشد. راندمان این نوع آب بندها تقریباً کامل گزارش شده است.

فصل چهارم

شالوده، نشست و ترکها در سد های خاکریز

شالوده سدهای خاکی

شالوده سد خاکی به آن بخش از زمین ناحیه زیر سد گفته می شود که به نحوی تحت تاثیر بارهای حاصل از سد و نیز تحت تاثیر زه قرار می گیرند و از این رو لازم است دارای خصوصیات زیر باشد:

۱- زیربنایی محکم در تمام شرایط بارگذاری باشد و نشست آن تا آن حد نباشد که موجب تحریک سد گردد.

۲- در برابر نیروهای زه مقاوم باشد تا موجب پدیده پایپینگ نگردد.

۳- نفوذ پذیری آن تا آن حد نباشد که اتلاف آب از طریق زه بخش قابل توجهی از اتلاف آب مخزن را شامل گردد. در این مورد معمولاً می توان از اتلاف آب جلوگیری نمود. در صورتی که دار شرایط استثنایی آب بندی شالوده مقذور نباشد آن زمین شالوده مناسبی برای سد نیست.

در مورد هر شالوده ای تحقیقات زمین شناسی و بررسی های اولیه ضروری است، هر چند میزان حجم کار و تعداد آزمایش ها بستگی به بزرگی سد و شرایط اقتصادی و نوع زمین دارد.

شالوده ممکن است سنگی، نیمه سنگی و یا خاکی بوده و به هر حال می توان نفوذ پذیر یا نفوذناپذیر باشد. که در هر کدام از انواع شالوده ها مسائل خاصی مطرح می شود.

شالوده سنگی

این نوع شالوده حتی شالوده هایی که از جنس سنگ های شیل می باشد معمولاً از نظر مقاومت برای سدهای خاکی مشکلی را ایجاد نمی کند و تنها مشکلی که در آنها احتمال دارد مسئله اتلاف آب از شکافها، درزه ها و گسلها و یا از لایه های نفوذپذیر آنهاست که معمولاً از امکان تزریق ملات سیمان در آنها و آب بندی آنها وجود دارد. گاهگاهی سنگ های از جنس شیل دارای درزه های و گسلها و رگه هایی است که از مواد سست تر پر شده و در برابر نیروهای خارجی مقاومت کمتری دارند در چنین مواردی بررسی های مفصلتر ضروری است.

شالوده نفوذ پذیر

غالباً شالوده سدهای خاکی را انباشته های آبرفتی دوران اخیر تشکیل می دهند که این انباشته ها شامل شن و ماسه نسبتاً نفوذپذیر است و بر روی تشکیلات زمین شناسی قدیمی تر ماندن رسها و سنگ ها قرار گرفته اند. در چنین مواردی حرکت آب درون شالوده اولین موجب اتلاف آب می گردد و ثانیاً امکان ایجاد ماسه روان در جلوی سد و پیدایش پدیده پایپینگ را افزایش می دهد.

روش جلوگیری از این پدیده ها بستگی به شرایط در محل و از جمله ضخامت لایه نفوذپذیر دارد به طوری که ضخامت ۱۵ متر را می توان به وسیله ترانشه آب بند یا پرده سپرهای فلزی و تکنیک های دیگر آب بندی نموده و برای ضخامت های بیشتر تدابیر دیگری به کار برد.

انباشته های ماسه ای سست یا سیلتهای درشت با دانسیته نسبی کوچکتر از ۰.۵۰٪ یکی از مشکلترین مسائل را ممکن است ایجاد کند، زیرا نه تنها به علت مقاومت کم و فشردگی پذیری زیاد شالوده مناسبی نیستند، بلکه در اثر وجود تکان های شدید (مانند زلزله) مستعد روانگرایی هستند که در نتیجه این پدیده تمام مقاومت آنها دفعتاً از بین می رود و محیط آنها مانند یک سیال یا لزجت فاقد مقاومت می گردد. خوشبختانه تاکنون گسیختگی هایی از این نوع گزارش شده است.

شالوده نفوذناپذیر

شالوده های رسی و سیلتی که تا اعماق زیاد ادامه دارند تقریباً از نامطمئن ترین انواع شالوده ها هستند. البته چنان چه ضخامت چنین شالوده ای کم باشد می توان ابتدا آن را برداشته و سد را روی شالوده محکم زیر آنها بنا نمود. ولی اگر ضخامت آن زیاد باشد که هزینه تعویض آن درسد هزینه قابل توجهی را تشکیل دهد لازم است مسائل خاص آن را در نظر گرفته شود.

شالوده های نفوذناپذیر معمولاً مسائل آب بندی و کنترل زه را کمتر از سایر شالوده ها دارد مگر آنکه به طور متناوب همراه عدسیها یا لایه های نفوذپذیر باشد همچنین در صورتی که شالوده نفوذناپذیر کم عمق روی لایه های نفوذ پذیر قرار گرفته باشد امکان پیدایش فشار زه کنترل نشده در پایاب سد و ایجاد پایپینگ وجود دارد که در مورد تکنیک های جلوگیری از خطر های این پدیده در این مورد در فصل پنجم اشاره شده است.

افزایش فشار منفذی در این شالوده در ضمن ساخت آن و تا مدت کوتاهی پس از اتمام ساخت سد از پدیده های دیگری است که موجب کم شدن مقاومت و کاهش ضریب اطمینان می گردد. علت این کاهش مقاومت بدیهی است. زیرا نفوذپذیری خاک بسیار کم است و آب منفذی فرصت کافی برای خروج ندارد، ناچار فشار آن به علت فشار لایه های بالایی در اثر ساخت سد افزایش می یابد و در نتیجه از تنش موثر که بخشی از مقاومت است کاسته می گردد، زیرا:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \varphi = c + (\sigma_n - u) \tan \varphi$$

$$\sigma_n - u \rightarrow 0$$

در مواردی که خطر حاصل از این پدیده متحمل باشد به منظور جلوگیری از تخریب سد روش هایی معمول است که می توان ساخت مرحله ای سد ایجاد چاه های ماسه ای، کم کردن شیب دامنه ها و نیز ایجاد لایه های تراسی در طرفین دامنه ها را نام برد. روش های ذکر شده نه تنها مقاومت متوسط شالوده را در برابر سد در ضمن ساخت و بعد از آن افزایش می دهند، بلکه هر کدام به نحوی در کاهش دادن نشستهای نامساوی در دراز مدت فوق العاده موثرند، زیرا مثلاً وجود چاه های ماسه ای یا مرحله ای ساختن سد موجب می شود که قسمت عمده نشست سد (تا هر مرحله که ساخته شده است) در ضمن ساخت صورت گیرد و در نتیجه اولاً می تواند نقاط ضعیف شالوده یا بدنه و به طور کلی هر گونه بعکس العمل واقعی شالوده در برابر بار را عمدتاً نمایان سازد ثانیاً نشست دراز مدت شالوده که پس از اتمام سد در طول سالها پدیدار می گردد و بر تمام بدنه سد

تاثیر می گذارد ناچیز گردد و به طور غیر مستقیم از کاهش یافتن ارتفاع آزاد که در اثر نشست تاج سد اتفاق می افتد و زمینه مساعدی برای تخریب حاصل از سرریز است جلوگیری نماید.

در مواردی از دو یا چند روش نام برده با هم استفاده شده است، مثلاً سد «باندری» که روی شالوده سستی قرار دارد در سه مرحله ساخته شده است و نیز از تکنیک چاه های ماسه ای در آن استفاده شده است. به علت نامعلوم بودن عکس العلی شالوده سست و غیر قابل پیش بینی بودن این عکس العمل گاهگاهی حتی ساخن یک مدل واقعی کوچک روی شالوده مورد نظر پیشنهاد شده است و در مواردی نیز تجربه شده است. مثلاً برای ساختن سد خاکی «ویلارد» به طول ۲۰ کیلومتر و ارتفاع ۱۰ متر روی شالوده سیلتهای نرم آلی، یک مدل کوچک به طول ۷۲ متر و ارتفاع ۱۰ متر با هزینه ۴۰۰۰۰ دلار ساخته شد و نتایج بررسی نشست و پایداری برای ساختن تمام سد رضایتبخش بود. بعلاوه پیشنهاد مهندسان با تجربه در مورد محاسبه ضریب اطمینان برای شالوده های سست این است که محاسبات بر اساس مقاومت شالوده صورت گیرد و از مقاومت بدنه سد در محاسبه پایداری صرف نظر شود، البته این پیشنهاد منطقی به نظر می رسد زیرا در اثر نشستهای زیاد در شالوده بدنه سد تحت تاثیر تنشهای کششی قابل توجهی قرار می گیرد به طوری که احتمال گسیختگی غیر همزمان بدنه و شالوده افزایش می یابد و چه بسا که بدنه سد قبل از شالوده به حد گسیختگی برسد و فقط به علت مقاومت شالوده پایدار بماند.

همچنین شالوده های سست خطر رانش خاک از زیر سد وجود دارد که به علت تنش های برشی افقی متحمل است. برای بررسی امکان این پدیده رابطه ای پیشنهاد شده است که براساس ان تنش برشی افقی ایجاد شده زیر سد را نشان می دهد، آنگاه این تنش برشی باید با مقاومت برشی شالوده مقایسه گردد، در صورتی که بیش از مقاومت برشی مجاز گردد پایداری سد مورد تردید است. رابطه تعیین تنش برش افقی عبارت است از:

$$S = \gamma \frac{h_1^2 - h_2^2}{2} \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

در این رابطه فاصله تاج سد از لایه صلب زیرین (سنگ بستر و یا لایه ای که مقاومت آن نسبت به لایه های بالایی ضروری است) h_2 ، فاصله قائم قاعده سد از لایه صلب زیرین، γ وزن واحد متوسط مواد تشکیل دهنده سد، φ زاویه اصطکاک داخلی معادل که مقدار آن متوسط زاویه اصطکاک داخلی پوسته و زاویه φ_2 که از رابطه زیر به دست می آید:

$$\tan \varphi_2 = \frac{c + \gamma h \tan \varphi}{\gamma h} = \frac{c}{\gamma h} + \tan \varphi$$

φ و c و γ پارامترهای متوسط مغزه سد است و h ارتفاع سد از قاعده می باشد. مقدار تنش برشی متوسط افقی از $S_a = S/b$ به دست می آید، که b فاصله افقی تاج تا پنجه سد است و تنش برشی ماکزیمم از رابطه $S_{max} = 1/4 S_a$ نتیجه می شود که محل تاثیر این تنش برشی ماکزیمم را به فاصله افقی $0.4b$ از شانه تاج به طرف پنجه در نظر می گیرند و ضریب اطمینان عبارت است از:

$$F = \frac{\tau}{S_{\max}}$$

τ مقاومت برشی موجود در قاعده شالوده، S_{\max} تنش برشی ایجاد شده است که هر دو کمیت در فاصله افقی $0.4b$ از تاج به طرف پنجه اندازه گیری شده است. چون تنش برشی حداکثر در فاصله $0.4b$ (یعنی فاصله ای افقی زیر دامنه سد با مبدأ از تاج) پدید می گردد بنابراین در این نقطه باید مقاومت برشی محاسبه گردد. با توجه به ارتفاع خاک سد در این نقطه وزن واحد متوسط عبارت است از:

$$\frac{36 \times 2 + 51 \times 1}{51} = 1.706 \text{ ton/m}^3$$

(عدد ۱ وزن واحد موثر مصالح شالوده است)

مصالح شالوده دارای مشخصات $\varphi = 33^\circ$ و $c = 0$ است از این رو:

$$\tau = 1.706 \times 51 \times \tan 33^\circ = 56.5 \text{ ton/m}^3$$

و ضریب اطمینان:

$$F = \frac{56.5}{12.76} = 4.45$$

می توان با محاسبه نشان داد که در ترازهای دیگر شالوده (مثلاً عمق ۵ متری، ۱۰ متری و غیره) مقدار ضریب اطمینان بیش از مقدار فوق به دست می آید.

نشست سد

علتهای نشستها و دگرشکلها

به علت وزن سازه سد که بار قائم و توزیع شده بر یک محوطه وسیع است زمین زیر آن الزاماً نشست خواهد داشت. مقدار و نوع این نشست بستگی به نوع زمین و

مقدار بار دارد. زمین های سنگی و آبرفتی شن و ماسه ای نشست تقریبا به طور کامل در ضمن ساختن ساده اتفاق می افتد و در مقابل در زمین های رسی-سیلنتی نشست کامل در طول سالها پس از تکمیل سد ادامه می یابد. هرچند که ممکن است قست عمده آن در ضمن ساخت سد صورت گیرد. ذیلا مواردی از نشستهای اندازه گیری شده به عنوان نمونه نقل می شود:

سد «فرسنو» با ارتفاع ماکزیمم ۲۲ متر که بر روی سیلت و رس نرم بنا شده است تا حدود ۲/۴ متر نشست داشته است که نیمی از آن در ضمن بنای سد اتفاق افتاده است. سد «میشن» روی رودخانه ای در بریتیش کلمبیا که در سال ۱۹۶۰ تکمیل شده با ارتفاع ۴۵ متر (روی شالوده ای ضخیم از مواد رسی) تا ۴/۵ متر نشست برای آن پیش بینی شده است که نیمی از این مقدار در ضمن بنای سد صورت گرفته است. یک مورد استثنایی دیگر نشست سد «فورت پک» روی رودخانه «میسوری» می باشد. این سد که به ارتفاع ۶۰ متر است ۸/۴ متر نشست داشته است.

نشست شالوده های ماسه ای شنی معمولا تمام آن در ضمن بنا صورت می گیرد. مقدار این نشست از چند سانتیمتر تا چند متر متفاوت است، که بستگی به دانسیته نسبی زمین و نوع دانه بندی خاک و مقدار بزرگی سد دارد. مثلا سد «سره پانسن» در فرانسه که در زیر آن بیش از ۹۰ متر آبرفت دانه ای متراکم قرار دارد نشست کلی آن در ضمن بنای آن ۴۵ سانتی متر گزارش شده است. از طرف

دیگر مثلاً سد «راندال» به ارتفاع ۴۸ متر روی رودخانه میسوری که زیر شالوده آن ۵۰ متر آبرفت های سیلت و ماسه ای ریز می باشد تا ۲ متر نشست داشته است. علاوه بر نشست زمین به علت وزن سد به علت وزن آب روی دامنه بالادست و روی بستر مخزن نیز مقداری نشست پیش بینی می شود. البته اندازه گیری نشست بستر مخزن پس از پر شدن بسیار دشوار است با وجود این در نقاطی این اندازه گیری انجام گردیده و مقدار نشست را نشان داده است. مثلاً برای سد «بولدر» نشست نقاط میانی بستر مخزن تا ۱۷ سانتی متر گزارش شده است و برای سد «گاریسون» در رودخانه میسوری نشست نقاط میانی بستر دریاچه ۳۰ تا ۶۰ سانتی متر اندازه گیری شده است.

گسترش قاعده سنگ

به علت نوع نشست در قاعده سدهای خاکی که حداکثر آن در نقاط میانی سد است و به تدریج کم شده تا در پنجه ها به صفر می رسد. ساز سد به تدریج تحت نوعی کشش قرار می گیرد و فاصله بین پنجه دامنه های سد در امتداد قاعده، اندکی افزایش می یابد. توجه به این پدیده در طرح لوله ها و آبراههایی که در قاعده سد گذارده می شود خالی از اهمیت نیست. در اندازه گیری هایی که برای چند سد کوتاه (ارتفاع ۱۲ تا ۲۴ متر) انجام گردیده به این نتیجه رسیده اند که متوسط گسترش مجاری خروجی آب بین ۰/۳ تا ۰/۹ درصد طول اصلی بوده است. مقدار گسترش قاعده سد گاهی یکنواخت است و در مواردی متناسب با نشست در نقاط مختلف است یعنی در وسط سد بیشتر و به تدریج کاسته می گردد. در

مواردی نیز حداکثر کشش (مثلا به مقدار ۰/۵ درصد) در محلی بین پنجه و قله سد اتفاق می افتد.

اثرات نشست سد

به طور کلی مقدار نهایی نشست یک سد بستگی به نوع زمین و بار سد (یعنی ارتفاع آن) دارد اما در مورد نشستهای تحکیمی، زمان رسیدن به حد نهایی نشست بستگی به نفوذپذیری شالوده و شرایط زهکشی دارد. در شالوده های سنگی و آبرفت های درشت دانه تدریجی تقریبا ناچیز (و یا صفر) است و نشست تدریجی سد فقط مربوط به بدنه سد است.

در کلیه سدهای خاکی نشست تاج سد، به هر حال نامساوی است هرچند ممکن است متقارن باشد زیرا بار سد در بخش محوری حداکثر است و در پنجه ها به صفر می رسد. شرایط دیگر مثل ناهمگن بودن شالوده وجود لایه های به ضخامت های متفاوت وجود زهکش در یک طرف سد، وجود بار آب در بالا دست نیز موجب نامتقارن شدن نشستها می گردند.

فصل پنجم

اجرای آسفالت گرم و کنترل کیفی توسط آزمایشگاه فنی و مکانیک

مقدمه

قبل از حمل و پخش مخلوطی آسفالتی سطح راه باید در طول مورد نظر آماده شود چنانچه قرار است آسفالت بر روی قشر اساسی و یا زیراساس اجرا شود لازم است هرگونه پستی و بلندی (ناهمواری) برطرف و سطح راه کاملاً مسطح گردد و سپس توسط هوای فشرده و یا غیره کلیه خاک و خاشاک از سطح راه حذف و سپس پریمکت شود.

پریمکت

- پریمکت Primcoat عبارت است از پخش یک قشر قیر با ویسکوزیته کم از نوع MC یا SC بر روی قشر اساس که به منظورهای نفوذ در خلل و فرج اندود کردن و چسباندن قشر آسفالت به سطح اساس به مقدار ۱ تا ۲ کیلوگرم در متر مربع دستگاه قیرپاش انجام می شود.

- عملیات پریمکت ۲۴ ساعت قبل از اجرای آسفالت انجام می شود و لازم است دستگاه به طور کاملاً یکنواخت و با درجه حرارت معین در سطح راه پخش نماید.

- حداقل مصرف قیر مناسب برای سطح شنی راه که خلل و فرج آن کم باشد برابر ۰/۸ کیلوگرم در متر مربع و در سطح راه با بافت درشت دانه و پر منفذ ۲ کیلوگرم متر مربع می باشد.

- استفاده از انواع قیر پریمکت در سطح اساس بستگی به درجه حرارت هوادارد به طوری که در هوای سرد قیر RC- 70 و در هوای معتدل قیر MC-70 و برای هوای گرم قیر از نوع SC- 70 استفاده می شود.

- متوسط مصرف قیر پریمکت ۱/۲ کیلوگرم در متر مربع می باشد و حداقل درجه حرارت قیر پریمکت ۷۰ درجه سانتیگراد برای قیر RC و برای قیر SC برابر ۱۱۰ درجه سانتیگراد خواهد بود.

- حداقل درجه حرارت هوا جهت اجرای پریمکت باید بیش از ۱۰ درجه سانتیگراد باشد و ضمناً در هوای مه آلود، مرطوب و بارانی اجرای آن مجاز نمی باشد.

- در صورت نیاز به اجرای آسفالت تازه بر روی آسفالت قدیمی لازم است که قبل از اجرا سطح راه توسط جاروی مکانیکی و یا هوای فشرده کاملاً تمیز و عاری از گرد و غبار شده و سپس به منظور ایجاد چسبندگی بین لایه های آسفالت قدیم و جدید یک قشر تک کت Tack Coat بر روی آسفالت کهنه پخش شود.

تک کت

- تک کت Tack coat پخش یک لایه بسیار نازک امولسیون قیر رقیق شده و یا قیر مخلوط RCO می باشد که به مقدار ۰/۳ الی ۰/۶ کیلوگرم در متر مربع بر روی قشر آسفالت قدیمی پخش می گردد. ضروری است که هنگام اجرای تک کت سطح راه خشک و تمیز بوده و هوا نیز مه آلود و بارانی نباشد.

- دستگاه پخش تک کت باید کاملاً سالم بوده تا بتواند تک کت را به طور کاملاً یکنواخت در سطح جاده پخش نماید.
- هنگام اجرای پریمکت و یا تک کت می بایست جاده و یا خیابان مسدود گردیده و هیچ نوع عبور و مرور بر سطح آن صورت نگیرد.
- جهت کنترل مقادیر وزنی پریمکت یا تک کت پخش شده آزمایش سینی Plate انجام می شود. بدین منظور از یک سینی به ابعاد مشخصی ۳۰*۳۰ سانتیمتر که وزن آن نیز قبلاً تعیین گردیده است و در مسیر قیرپاش در سطح جاده قرار می دهند استفاده می شود قیری که در سطح جاده پخش می شود بر روی سینی ریخته شده و پس از توزین در آزمایشگاه مقدار قیر پخش شده در متر مربع را تعیین می نمایند.

نمونه برداری از مصالح سنگی

- لازم است حداقل هفته ای یک بار از مصالح سنگی مورد استفاده در کارگاه به روش (ASHTO- T2) که در فصول بعدی به آن اشاره شده است نمونه برداری گردیده و بر روی آنها اعم از دانه ریز و دانه درشت به صورت جداگانه آزمایشات دانه بندی، حدود خمیری، ارزش ماسه ای، تعیین درصد شکستگی، انجام گرفته و نتایج را با مشخصات فنی مقایسه و در صورت تطابق با استاندارد از آنها استفاده شود.

- لازم است از مصالح سنگی سیلوهای گرم و غبار حاصل از غبارگیر، نمونه برداری و آزمایشات لازم بر روی آنها انجام و نتایج با مشخصات فنی مورد ارزیابی واقع شود.

- ضروری است که از هر یک تن قیر ورودی به کارگاه یک نمونه برابر استاندارد AASHTO- T40 اخذ و آن را تحت آزمایش های نفوذی و گروه ویسکوزیته قرار داده و نتایج با مشخصات فنی AASHTO-M20 , AASHTO-M26 مقایسه گردد.

اجرای آسفالت

- طرح آسفالت به روش مارشال (MARSHAL) توسط آزمایشگاه مکانیک خاک انجام و آسفالت در کارخانه برابر طرح ارائه شده از جانب آزمایشگاه ساخته و تولید شود و کارخانه آسفالت باید مجهز بوده و دارای تجهیزات لازم برای آنچه که در فصول بعدی شرح داده خواهد شد باشد.

- باید دقت شود داخل کامیونهایی که آسفالت حمل می نمایند تمیز و عاری از روغن، گل و لای و گرد و غبار باشد. ظرفیت تولید آسفالت و تعداد کامیون ها باید متناسب با ظرفیت پخش فینیشر باشد و حداکثر زمان تولید آسفالت تا پخش آن بیش از ۲ ساعت نگردد. باید سطح آسفالت را با ضخامت یکنواخت و مورد نیاز در سطح خیابان یا جاده پخش نماید.

- ضخامت آسفالت باید طوری تنظیم شود تا پس از متراکم شدن (غلطک خوردن) برابر ضخامت مشخصات فنی خواسته شده گردد.

- باید دقت لازم به عمل آید که محل اتصال عرضی آسفالت هم سطح و یکنواخت شود.
- درجه حرارت پخش مخلوط آسفالتی بستگی به نوع قیر ودانه بندی مصالح سنگی فصل اجرای کار و محیط، نوع و تعداد غلطک ها دارد. حداقل درجه حرارت برای آسفالت با دانه بندی پیوسته ۱۲۰ درجه سانتیگراد می باشد.
- کوبیدن آسفالت با غلطک های مختلف عملکرد متفاوت دارند ولی غلطک های مورد استفاده در متراکم کردن باید خودرو بوده و همچنین از غلطک های نوع کششی و بیش از ۸ تن وزن در متراکم کردن آسفالت استفاده نگردد.
- روی چرخ های غلطک باید گل گیر و لوله آبپاش و لوله آبپاش وجود داشته باشد تا از چسبیدن آسفالت به چرخ های آن جلوگیری کند. استفاده از گازوئیل و روغن سوخته به روی چرخ غلطک مجاز نمی باشد. سرعت غلطک ها در هنگام تراکم آسفالت نباید از ۵ کیلومتر در ساعت تجاوز نماید.
- عمل تراکم آسفالت باید بلافاصله پس از پخش مخلوط آسفالتی، صورت گیرد و حداقل درجه حرارت آسفالت نباید در هنگام تراکم از ۱۲۰ درجه سانتیگراد تجاوز ننماید.
- در قسمت هایی که به دلیل مختلف استفاده از غلطک های بزرگ میسر نیست از غلطک های کوچک استفاده شود و رعایت لازم جهت رسیدن به تراکم مناسب صورت گیرد.

- حداکثر سرعت غلطک نباید از ۵ کیلومتر در ساعت تجاوز نماید. در مرحله اول باید بلافاصله پس از پختن آسفالت توسط غلطک های بزرگ میسر نیست از غلطک های کوچک استفاده شود و رعایت لازم جهت رسیدن به تراکم مناسب صورت گیرد.

- حداکثر سرعت غلطک نباید از ۵ کیلومتر در ساعت تجاوز نماید. در مرحله اول بلافاصله پس از پخش آسفالت توسط غلطک فلزی بین ۸ تا ۱۲ تن آسفالت اطو و در مرحله دوم زمانی که درجه حرارت آسفالت ۹۵ درجه سانتیگراد می باشد و حالت خمیری دارد از غلطک لاستیکی استفاده و سرعت غلطک های لاستیکی ۴ تا ۵ کیلومتر در ساعت و فاصله دو غلطک باید طوری تنظیم شود تا از ۶۰ متر بیشتر نگردد. در مرحله نهایی و تکمیلی آرایش سطح آسفالت باید از غلطک بوزن ۸ تن استفاده شود.

- لازم است از آسفالت متراکم شده در ازای هر ۲۵۰ متر خطر عبور تعداد یک نمونه حجیم آسفالت اخذ و نسبت به اندازه گیری ضخامت آسفالت در حداقل سه نقطه اقدام شود. در صورتی که آسفالت بدون توزین و چشمی ساخته می شود و تهیه آن توسط کارخانه نگرفته است به جای فاصله ۲۵۰ متر، از هر صد متر نمونه برداری و ضخامت آن دقیقاً تعیین گردد.

- در تمام طول مسیر آسفالت ریزی باید اقدامات ویژه نسبت به نصب علائم ایمنی و اخباری به کار گرفته شود تا از عبور و مرور وسائل جلوگیری نمایند. زمانی وسائل نقلیه مجازند از روی آسفالت متراکم شده عبور نمایند که آسفالت

ریزی باید اقدامات ویژه نسبت به نصب علائم ایمنی و اخباری به کار گرفته شود تا از عبور وسائل جلوگیری نمایند. زمانی وسائل نقلیه مجازند از روی آسفالت متراکم شده عبور نمایند که آسفالت آنقدر سرد شده باشد تا اثر چرخ بر روی آن باقی نماند و حداکثر درجه حرارت آسفالت سرد شده نباید از ۴۰ درجه سانتیگراد تجاوز نماید.

- نمونه برداری از آسفالت کوبیده شده در فاصله ۱۰۰ یا ۲۵۰ متر همان طوری که شرح داده شد و به منظوره‌های زیر انجام می‌گیرد:
 - تعیین ضخامت آسفالت
 - تعیین درصد قیر آسفالت نسبت به مصالح و کل آسفالت
 - آزمایش وزن مخصوص آسفالت
 - تعیین درصد کوبیدگی آسفالت
 - آزمایش مقاومت، نرمی و فضای خالی آسفالت
- که ذیلاً نسبت به روش نمونه‌گیری و انجام آزمایش‌ها پرداخته می‌شود:

نمونه‌گیری از آسفالت

نمونه برداری از آسفالت در حین اجرا

- نمونه برداری یا نمونه‌گیری به اندازه خود آزمایش مهم می‌باشد. در هنگام نمونه‌گیری لازم است احتیاط و دقت لازم به عمل آمده تا نمونه اخذ شده حاوی تمام پارامترهای قابل قبول، از کیفیت کل آسفالت باشد. یک نمونه برداری مناسب باید نمایانگر خصوصیات آسفالت تهیه شده از مرکز تولید

ساخت و تا موقع مصرف باشد نمایانگر خصوصیات آسفالت تهیه شده از مرکز تولید، ساخت و تا موقع مصرف باشد که با انجام آزمایش بر روی آن و بررسی نتیجه به دست آمده در مورد صحت نمونه گیری قضاوت خواهد شد.

نمونه گیری از روی تسمه نقاله:

هنگام نمونه برداری از روی تسمه نقاله آن را متوقف ساخته و مقدار دو قالب نمونه، از وسط تسمه بر می داریم و جهت انجام آزمایش ها، به آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک ارسال می نماییم.

نمونه برداری از کامیون:

لازم است به طور اتفاقی از کامیون حامل آسفالت نمونه برداری شود. بدین منظور مقدار حداقل ۵ قالب نمونه برداشته شده را روی آسفالت سفره ریخته و پس از تقسیم بندی برابر روشی که در فصول تقسیم بندی و نمونه برداری شرح داده خواهد شد آن را تقسیم می کنیم و نمونه موردنظر را برداشته و به منظور انجام آزمایش های لازم آن را به آزمایشگاه منتقل کنیم.

نمونه برداری پس از متراکم کردن آسفالت

نمونه برداری توسط دستگاه کرگیری (Core) با مته به قطر ۴ اینچ از نوع سه الماسه انجام می شود. در صورت موجود نبودن دستگاه کرگیری نمونه آسفالت های لازم در طول مسیر جاده به ابعاد حداقل ۲۰*۲۰ توسط اره و یا چکش و قلم و با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول زیر برداشته می شود. پس از برداشتن نمونه آن را از قیر پریمکت چسبیده و خاک را پاک نموده و بسته بندی می نماییم و با

رعایت های لازم در حمل آن را به آزمایشگاه آسفالت می فرستیم. درجه حرارت محیط در نگهداری و حمل نمونه به منظور جلوگیری از هم پاشیدگی آن نقش به سزایی دارد.

بزرگترین سایز دانه در مخلوط آسفالتی	وزن تقریبی نمونه	سطح مخلوطی متراکم شده
۲ اینچ (۵۰ میلی متر)	۱۶ کیلوگرم	۱۵۰۰ سانتی متر مربع
$\frac{1}{2}$ اینچ (۳۸-۱ میلی متر)	۱۱ کیلوگرم	۹۰۰ سانتی متر مربع
۱ اینچ (۲۵ میلی متر)	۹ کیلوگرم	۹۰۰ سانتی متر مربع
$\frac{3}{4}$ اینچ (۱۲/۵ میلی متر)	$\frac{7}{3}$ کیلوگرم	۶۴۵ سانتی متر مربع
$\frac{1}{2}$ اینچ (۱۲/۵ میلی متر)	$\frac{5}{5}$ کیلوگرم	۴۰۰
$\frac{1}{8}$ اینچ (۹/۵ میلی متر)	$\frac{3}{6}$ کیلوگرم	۲۳۰ میلی متر
نمره ۴ (۴/۷ میلی متر)	$\frac{1}{8}$ کیلوگرم	۲۳۰ میلی متر

لازم است بر روی نمونه های اخذ شد مشخصات کامل نمونه شامل:

- شماره نمونه

- محل نمونه برداری با مختصات یا کیلومتر محل نمونه برداری شده
 - نام پروژه
 - شماره پروژه
 - نام نمونه گیرنده
 - ساعت و تاریخ نمونه برداری
 - وضعیت هوا در هنگام نمونه برداری، قید گردد
- در تهیه گزارش باید اطلاعاتی چون: وضعیت جغرافیایی محل منبع نمونه اخذ شده، کارخانه و نوع آن، مقدار پخت، مشخصات قیر و اجزا معدنی مصالح به کار رفته فواصل محل نمونه برداری از کارخانه و معدن و ... درج گردد.
- در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک بر روی نمونه های اخذ شده آزمایش های به شرح زیر که روش انجام و استاندارد آن آمده است انجام می گردد:

الف: تعیین ضخامت آسفالت

- جهت تعیین ضخامت دقیق آسفالت، پس از حذف کامل خاک و قیر چسبیده به آن که تراشیدن آن با کاردک تیز امکان پذیر است و ضخامت آسفالت را با کولیس و یا خط کش حداقل در سه نقطه تعیین و سپس معدل آنها به عنوان ضخامت آسفالت گزارش می شود.

ب: آزمایش تعیین درصد قیر در آسفالت

- ۱- قبل از انجام آزمایش لازم است وسائل و ابزار کار شامل، یک دستگاه سانتریفوژ برقی و یا دستی، فیلتر آزمایش، مواد حل شامل بنزین و یا تتراکلروکربن،

پیمانه جهت ریختن بنزین و یا حلال در دستگاه سانتریفوژ اون با درجه تنظیم ترازو با دقت ۰/۱ گرم، کاردگ برس و یا قلم مویی، کاسه (ظرف جهت نمونه) را آماده می نماییم.

۲- آسفالت را در دمای 5 ± 110 درجه سانتی گراد در اون گذارده تا باز شود و پس از خارج نمودن از اون و سرد شدن آن مقدار حدود ۱۲۰۰ گرم نمونه را در پیاله دستگاه که قبلا وزن آن مشخص شده است ریخته و وزن آن را تعیین می نماییم.

۳- جداگانه وزن فیلتر را تعیین می نماییم.

۴- پیاله محتوی آسفالت را وزن نموده و در دستگاه سانتریفوژ سوار می کنیم و سپس فیلتر توزین شده را بر روی آن قرار داده درب دستگاه را بسته و با پیچ های موجود محکم می نماییم. بعد درب دستگاه سانتریفوژ را گذارده و با قلاب یا گیره ها درب آن را محکم می نماییم.

۵- در حداقل ۵ مرحله و هر مرحله ۲۵۰ سانتی متر مکعب حلال بنزین یا تتراکلروکربن را از کیف بالای دستگاه به درون آن ریخته و اگر دستگاه سانتریفوژ دستی است دسته را آن قدر گردانده تا کلیه بنزین یا قیر حل شده از شیر پایین دستگاه تخلیه شود. در صوت برقی بودن دستگاه کلید آن را روشن می کنیم. سپس با درجه مربوطه سرعت گردش و ویبره شدن آن را تنظیم می کنیم. این کارها را تا زمانی صورت می گیرد که تمام قیر حل شده و بنزین و یا حلال تمیز از دستگاه خارج شود.

۶- در این مرحله چفت دستگاه را باز و درب آن را بر می داریم. پس از باز کردن پیچ فیلتر و پیاله را با احتیاط برداشته و در داخل اون قرار می دهیم تا فیلتر و مصالح آسفالت در درجه حرارت 5 ± 110 خشک شوند. پس از خشک شدن آنها را از اون خارج نموده و فیلتر و ظرف و مصالح را دقیقاً وزن می کنیم و آنها را بر روی الک های $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, ۴, ۲۰, ۴۰, ۱۰۰ و ۲۰۰ دانه بندی می نماییم و سپس نمودار دانه بندی را رسم و با نمودار مشخصات فنی لازم مقایسه می کنیم.

ج: آزمایش وزن مخصوص آسفالت و درصد کوبیدگی

- وزن (نمونه آسفالت را در هوا) را با ترازو به دقت ۰/۱ گرم تعیین و سپس نمونه را در موم داغ فرو برده و پس از خارج کردن آن را وزن نموده (وزن نمونه با موم) را تعیین و در برگ آزمایش یادداشت می نماییم.
- وزن نمونه در آب را با استفاده از قانون ارشمیدس تعیین می نماییم به این شکل که هر جسمی که بدرون آب داخل شود به اندازه وزن مایع هم حجمش از وزن آن کاسته خواهد شد.

د: تعیین فضای خالی $V.M.A$

$$\text{درصد وزنی مصالح سنگی} * \text{وزن مخصوص نمونه} = \frac{\text{مارشال}}{100} \frac{\text{فضای خالی مصالح سنگی}}{\text{وزن مخصوص مصالح سنگی}}$$

نتایج به دست آمده از آزمایش را با نتایج استاندارد و مشخصات فنی مقایسه می نماییم.

شرح کل آزمایشهای آسفالت در بخش طرح مخلوط آسفالت های گرم به روش مارشال که طی استاندارد ASTM-D 1559 آمده کاملاً شرح داده شده است. در کارگاه ساختمانی وظیفه تکنسین مقیم در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک است که نتایج را به مهندس ناظر مقیم کارگاه گزارش نماید و ضمناً جهت مقایسه نتایج می توان از استانداردهایی به شرح زیر استفاده نمود:

مشخصات فنی و استاندارد مصالح، قیر و آسفالت

مصالح سنگی

AASHTO T-2	نمونه برداری از مصالح سنگی
AASHTO T-11	دانه بندی مصالح سنگی
AASHTO T- 88	هیدرومتری
AASHTO M-17	مشخصات فنی فیلر
AASHTO M-37	دانه بندی فیلر
AASHTO M-39	دانه بندی فیلر

AASHTO M-6	مشخصات مصالح ریزدانه در مخلوط آسفالتی
AASHTO T-176	نرمی مصالح ریزدانه
AASHTO T 96	ارزش ماسه ای
AASHTO T104	سایش مصالح سنگی به روش لس آنجلس
AASHTO T 84	مقاومت مصالح سنگی در برابر عوامل جوی
AASHTO T- 85	وزن مخصوص و جذب آن مصالح ریزدانه
AASHTO T-100, T- 133	وزن مخصوص و جذب آب مصالح درشت دانه
BS- 63	وزن مخصوص فیلر

قییر

AASHTO T-47	نمونه برداری از قییر
AASHTO M-20	مشخصات قییرهای نفوذی
AASHTO M-226	مشخصات قییرهای ویسکوز و آزمایشات مربوطه

مخلوط های آسفالتی

AASHTO T-168	نمونه برداری از مخلوط های آسفالتی
AASHTO D-1559	طرح مخلوط های آسفالتی
AASHTO T- 164	چسبندگی قییر و دانه بندی
AASHTO T-182	چسبندگی قییر به مصالح
AASHTO T-166	تعیین درصد پوشش قییردانه درشت

AASHTO T-166	وزن مخصوص مخلوط آسفالت کوبیده شده
AASHTO T-206	وزن مخصوص ماکزیمم مخلوطهای آسفالتی
AASHTO T-209	دانسیته مخلوط آسفالتی کوبیده شده
AASHTO T- 230	مشخصات کارخانه آسفالت
AASHTO M-156	بازرسی و نظارت کارخانه آسفالت

فصل ششم

مواد افزودنی و تاثیر آن در آسفالت

مقدمه:

افزودنی ها به موادی اطلاق می گردد که در زمان تهیه آسفالت به مخلوط قیر و مصالح سنگی اضافه می شوند. افزودن این مواد باعث تغییرات ویژه در بتن آسفالتی شده و نهایتاً بهبود مشخصات فنی آسفالت را در پی خواهند داشت.

مهمترین عواملی که در به کارگیری مواد افزودنی در مخلوط های بتن آسفالتی موثر می باشند عبارتند از:

- کاهش قیمت آسفالت
- ضخامت کم لایه های آسفالتی حاوی مواد افزودنی
- کم شدن مرمت های روزمره و طولانی شدن فواصل بین بهسازی رویه های

آسفالتی

- بالا رفتن فشار مجاز آسفالت
- به کار گرفتن تولیدات جامد صنعتی و وسایل جدید در تولید و اجرا
- بکار گرفتن ضایعات صنایع و بهداشت محیط زیست

که مختصراً توضیحات لازم داده خواهد شد:

الف: مواد افزودنی باعث جایگزین شدن مصالح و قیر شدن و صرفه جویی در مقدار مصرف قیر باعث کاهش مخارج آسفالت خواهد شد.

ب: به کارگرفتن مواد افزودنی باعث افزایش استقامت و قدرت باربری آسفالت شده و می توان برای بار ترافیک مشخص لایه آسفالت نازکتری به کار برد. با استفاده از مواد افزودنی مختلف می توان خواص مکانیکی بتن آسفالتی را در دراز مدت بهبود بخشیده و مقدار بهسازی و مرمت ها را کاهش داد.

ج: با پیشرفت صنایع و افزایش تنوع در تولیدات هر روز مواد جدیدی که پتانسیل به کارگیری در تهیه آسفالت را دارند به بازار عرضه می شوند. گسترش و توسعه تکنولوژی روسازی راه ایجاب می نماید که چنین مواردی در تهیه بتن آسفالت های مرغوب تر به کار گرفته شوند. ضمناً با تولید و عرضه ماشین آلات و وسایل آزمایشگاهی مدرن و دقیق تر سهولت بیشتر در اجرای عملیات آسفالتی میسر می گردد.

د: به موازات تولیدات مفید صنایع مواد زائد نیز حاصل می شود که به علت ویژگی های فیزیکی و مکانیکی به مقدار زیاد بعنوان ماده چسب و افزودنی به کار گرفته می شوند. که این کار استفاده دو جانبه دارد، از طرفی به مصرف رسیدن این مواد به تمیز شدن محیط زیست کمک می نماید و از طرف دیگر به عنوان یک منبع جدید در صنعت روسازی مورد بهره برداری قرار می گیرند و هدف از استفاده مواد افزودنی بهبود در عملکرد روسازی ها، پایین آوردن مرمت و بهسازی و کاهش مخارج در پروژه های راهسازی خواهد بود.

معمول ترین خرابی هایی که در روسازی آسفالت مشهود می گردد عبارتند از:

تغییر شکل های موضعی به علت نشست لایه های زیرین در اثر بار ترافیک، ایجاد شیار و موج در سطح آسفالت، قیرزدگی، ایجاد و انواع ترک ها که منجر به پاشیدگی و عریان شدن آسفالت می گردد و در فصول قبل به آن پرداخته شد. میزان خرابی ها با توجه به بار ترافیک و شرایط جوی متفاوت می باشد. به منظور کاهش خرابیها مهمترین نکاتی که در رابطه با انتخاب و نحوه عملکرد مواد افزودنی می توان در نظر گرفت تاثیر این مواد در تعیین ویسکوزیته مخلوط می باشد. چون آسفالت در درجه حرارت های بالا به علت پایین بودن ویسکوزیته قیر، نرم و در درجات حرارت پایین سخت و حتی شکننده می شود. مواد افزودنی باعث کم شدن تغییر شکل ها، قیرزدگی ها، بهبود بخشیدن به مقاومت مخلوط در برابر سایش و فرسایش و جلوگیری از بروز ترک ها به ویژه ترک های پوست سوسماری و بهبود بخشیدن به خواص آسفالت های نامرغوب می شوند.

تقسیم بندی مواد افزودنی

- مواد افزودنی به چند گروه زیر تقسیم می شوند:

پرکننده ها (Fillers):

این مواد بیشتر به منظور پر کردن فضای خالی بین دانه های مصالح سنگی و بهبود بخشیدن به دانه بندی مصالح پایدار کردن و بالا بردن کیفیت و چسبندگی بین دانه ها به کار برده می شود که از جمله این مواد می توان: گرد سنگ، سیمان، خاکستر ذغال سنگ، نرمه ذغال سنگ مرغوب، گوگرد و آهک را نام برد. لازم است میزان مخلوط پر کننده ها با درصد صحیح و به طور یکنواخت انجام گردد، زیرا که

مصرف مقدار بیش از حد این مواد (Filler) باعث می شود قیر کافی در مخلوط وارد نشده و بتن آسفالتی مقاوم حاصل نشود.

- به طور متوسط نسبت وزنی مخلوط این مواد ۰/۵ تا ۱/۲ درصد می باشد. که در زمان تهیه آسفالت به مخلوط اضافه می گردد.

مواد جایگزین شونده (extenders):

این گروه از مواد افزودنی بدین منظور به کار می روند که با اضافه کردن آن ها در مخلوط مصرف مواد قیر کاهش یابد. از مهمترین این مواد می توان گوگرد، لیگنین Lignin (بافت گیاهی) را نام برد که به کار بردن این مواد باعث کاهش مصرف قیر و صرفه جویی آن خواهد شد. مثلاً در مصرف گوگرد، ویسکوزیته گوگرد بین ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد کم شده و بتن آسفالتی حاصل از مخلوط آنها دارای ویسکوزیته کم در درجه حرارت های اختلاط و کوبیدن است. این مواد باعث راحت کار کردن مخلوط شده و سختی خود را حفظ می کند.

مصرف لیگنین Lignin علاوه بر صرفه جویی در مصرف قیر، باعث کم شدن حساسیت استقامت شده و مقاومت بالاتری به دست می دهد.

مواد رشته ای یا الیاف (Fibers):

این گروه از مواد شامل الیاف طبیعی (پنبه نسوز Rock wool) و الیاف مصنوعی (شیشه، الیاف پلی استر، الیاف پلی پروپیلین) می باشند. اینگونه مواد افزودنی مخلوط را مسلح کرده و باعث تقویت بالا بردن مقاومت کششی و بالا رفتن حد مجاز تغییر شکل نهایی مخلوط می شوند.

اکسید کننده‌ها Oxidants و اکسید شونده‌ها Anti Oxidants:

اکسید کننده‌ها موجب بالا بردن سختی مخلوط آسفالت شده و در نتیجه باعث جلوگیری از خرابی‌هایی که به علت نرمی آسفالت در درجه حرارت‌های بالا، بوجود می‌آیند، مثل گودی و شیار زیر چرخ به کار می‌رود. تاثیر این نوع مواد روی آسفالت، شبیه اکسید و سخت شدن آسفالت در طول عمر روسازی می‌باشند، ولی باید توجه نمود که در نتیجه فعل و انفعالات شیمیایی متفاوت افزودن اکسید کننده‌ها خطر ترک‌های انقباضی را خواهند داشت.

آنتی اکسیدها برای کم نمودن سرعت اکسیداسیون و سخت شدن آسفالت بوده و برای جلوگیری از خرابی‌ها در درجات حرارت پایین و بالا رفتن دوام آسفالت می‌باشند.

لازم به یادآوری است که هر دو مواد اکسیدکننده‌ها و اکسیدشونده‌ها در زمان تهیه قیر به آن اضافه می‌شود.

مشتقات نفتی یا هیدروکربن‌ها (Hydrocarbons)

این مواد شامل قیر و سایر مشتقات نفتی می‌باشد و در هنگام تهیه آسفالت نو، از آسفالت‌های کهنه می‌توان آنها را در گروه مواد افزودنی به حساب آورد.

در روسازی راه، دوباره سازی و بهسازی رویه آسفالت به روش سرد و یا گرم افزودن مقداری هیدروکربن‌های سبک، باعث نرم و جوان شدن روسازی خواهد شد و نقطه مقابل این عمل اضافه کردن مشتقات نفتی سنگین به مخلوط‌های آسفالتی بیش از اندازه نرم برای سخت نمودن آنهاست.

اتصال دهنده ها Antistrips

- این گروه مواد افزودنی برای بهبود بخشیدن و محکم تر شدن اتصالات بین قیر و مصالح سنگی به کار می روند و به صورت پر کننده و یا مایع مورد استفاده قرار می گیرند.

پدیده جدا شدن دانه های مصالح سنگی در بتن آسفالتی (Stripping) می تواند منجر به هم پاشیدن رویه آسفالتی شود. این نوع ضایعه یکی از انواع خرابی ها در روسازی می باشد، که به خواص شیمیایی و رطوبت در رویه آسفالتی بستگی دارد.

مواد افزودنی گروه اتصال دهنده های antistrips باعث قوی شدن باند شیمیایی بین دانه های مصالح و آسفالت در مجاورت با رطوبت خواهد شد.

- به منظور جلوگیری از ترک های زودرس که از مصرف مصالح سنگی حاوی خاک رس در آسفالت بوجود می آید استفاده مقدراری آهک خشک و یا شستشوی مصالح با دوغاب آهک باعث بالا رفتن و مقاومت مخلوط و کم شدن حساسیت پایداری آن به درصد قیر می شود.

لازم است تهیه دوغاب نسبت یک قسمت آهک و سه قسمت آب صورت گرفته و با نسبت ۳ تا ۵ درصد مصالح مصرف گردد، ضمناً چون آهک یک اکسید شونده است لذا سرعت سخت شدن آسفالت آغشته به آهک در مقایسه با مصرف آسفالت بدون آهک در عمر روسازی کمتر می باشند.

لاستیکها و پلاستیکها یا پلیمرها (polymers):

۲- در زمان تهیه قیر به ۷۵ درصد قیر، ۲۵ درصد مواد افزودنی و به ۸۰ درصد قیر، ۲۰ درصد مواد افزودنی (لاستیک- پلاستیک) اضافه می شود.

نتیجه گیری

- یکی از خرابی های رایج در آسفالت ایجاد ترک های پوست سوسماری است که با استفاده از مواد افزودنی پلاستیکی سه مرتبه دیرتر ظاهر شده یعنی اگر پس از گذشت سه سال از عمر آسفالت معمولی ترک پوست سوسماری در آن ظاهر شود در آسفالت با مواد افزودنی لاستیکی در مدت ۹ سال بعد ترک های یاد شده ظاهر خواهند شد.
- آسفالت حاوی پلیمرها مقاومت بیشتری در برابر سایش، به ویژه سایش در مقابل زنجیر چرخ در موقع یخبندان از خود نشان می دهد.
- و با توجه به نفوذپذیری کمتر در آسفالت حاوی پلیمرها، مانع خرابیهای کمتر حاصل از رطوبت در رویه آسفالتی می شود.
- استفاده از پلیمرها باعث کاهش لغزندگی روی جاد در زمان بارندگی و کم شدن تصادفات خواهد شد.
- یکی از ویژگی های استفاده از پلیمرها، کاهش صدای ترافیک، بر روی رویه های آسفالتی خواهد بود.
- مصرف لاستیک های فرسوده که مسئله حاد آلودگی محیط زیست را دارد از محاسن استفاده از این نوع مواد افزودنی می باشد.

- در شرایط بارگذاری و ترافیک یکسان، ضخامت آسفالت با استفاده از مواد افزودنی، نصف ضخامت با استفاده از آسفالت معمولی مقایسه خواهد شد.

لازم به توضیح است با توجه به این که هنوز تجربه کافی جهت تهیه آسفالت های حاوی مواد افزودنی در دست نیست، لذا استفاده از بعضی مواد افزودنی خالی از ریسک نیست و لذا لازم است برابر مشخصات عمل کرده و قبل از استفاده در راهسازی آزمایشات لازم انجام گردد و پس از حصول اطمینان از نتایج آزمایشات و کیفیت آن، نسبت به استفاده از آنها اقدام و کنترل کیفی دقیق در حین اجرای عملیات آسفالت به عمل آید.

فصل هفتم

فیلر و نقش آن در آسفالت

مقدمه

- فیلر (Filler) به مصالحی اطلاق می شود که از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۶ میلی متر) عبور نموده و عاری از رس و یا مواد آلی باشد و یا به عبارتی فیلر به مصالح ریزدانه و نرمی اطلاق می شود که از آن جهت پر نمودن فضای خالی بین دانه ها و ایجاد پایداری در آسفالت استفاده شده و باید عاری از رس، مواد مضره و آلی باشد.

- جهت تهیه فیلر سنگ را در آسیاب پودر نموده، به طوری که دانه بندی مورد نظر تشکیل شود. سنگ آهکی، برای تهیه فیلر مناسب تر می باشد و لازم است فیلر حاصل از پودر سنگ آهکی را قبل از مصرف آزمایش نمود تا خواص شکستگی یا متورم شدن در مقابل آب و رطوبت را نداشته باشد تا باعث اضمحلال و کاهش مقاومت آسفالت نگردد.

مشخصات فنی فیلر

- میزان درصد مصرف فیلر در مصالح آسفالت بستگی به دانه بندی مصالح سنگی و درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ دارد. هرچقدر درصد فضای خالی مصالح بیشتر و دانه بندی باز باشد لازم است جهت پر نمودن فضای خالی آن تا حد استاندارد قابل قبول از فیلر استفاده نمود. متوسط میزان مصرف فیلر در آسفالت ۳ تا ۷ درصد می باشد که اگر توسط پودر حاصل در مصالح تامین

نگردد، باید از پودر سنگ برابر با مشخصات فنی لازم که به آن اشاره خواهد شد و یا با استفاده از سیمان پرتلند تامین گردد.

- دانه بندی فیلر برای استفاده در آسفالت های گرم طبق استاندارد های آیین نامه سازمان برنامه، استاندارد ASTM, BCEOM و انستیتو آسفالت به شرح

جدول مندرج در زیر می باشد:

درصد عبوری				
اندازه سوراخ الک	سازمان برنامه	ASTM	BCEOM	انستیتو آسفالت
الک شماره ۳۰ (۰/۶ میلیمتر)	۱۰۰	۱۰۰	-	۱۰۰
الک شماره ۵۰ (۰/۳ میلیمتر)	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰	۹۵-۱۰۰
الک شماره ۱۰۰ (۰/۱۵ میلیمتر)	۹۰-۱۰۰	-	-	۹۰-۱۰۰
الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر)	۷۰-۱۰۰	۷۰-۱۰۰	۸۰-۱۰۰	۷۰-۱۰۰

- مشخصات حدود دانه بندی فیلر برابر استاندارد نشریه شماره ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه به شرح زیر می باشد:

اندازه سوراخ الک	درصد وزنی رد شده از الک	استاندارد
الک شماره ۳۰ (۰/۶ میلیمتر)	۱۰۰	
الک شماره ۵۰ (۰/۳ میلیمتر)	۹۵-۱۰۰	
الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر)	۷۰-۱۰۰	
اندازه سایزدانه ۰/۰۵۵ میلیمتر	۱۰-۲۲	

و بنابر آیین نامه لازم است فیلر از پودر سنگ، فیلر معدنی، سیمان، آهک شکفته شده و یا دیگر مواد معدنی به استثنای فیلر حاصل از سنگ های سیلیسی که کیفیت و مرغوبیت مورد نظر را دارد استفاده شود و همچنین ضروری است ضمن قرارگرفتن در محدوده استاندارد دانه بندی یاد شده عاری از خاک رس و مواد آلی باشد و چنان چه از آهک شکفته شده استفاده می شود نیاز است مقدار مصرف آن از ۴ درصد تجاوز نماید.

- در کارخانه های آسفالت واحدی به نام فیلر گیر و یا غبارگیر Dust Collector وجود دارد که در انتهای قسمت دستگاه خشک کننده به صورت لوله قطوری واقع شده به طوری که از درون آن گازهای حاصل از احتراق دستگاه خشک کننده خارج می شود و این لوله به دستگاه مکنده مجهزی که توسط آن دود و گاز محتوی غبار خارج می شود وصل گردیده است. دود و گاز

ابتدا به قسمت فوقانی غبارگیر که به صورت استوانه ای می باشد وارد شده و در آنجا شروع به چرخش نموده و به واسطه حرکت درروانی، ذرات گرد و غبار تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز از گازهای گرم جدا و به قسمت تحتانی دستگاه که به شکل مخروط ناقص می باشد و از قاعده به قسمت فوقانی نصب گردیده هدایت می شوند. از آنجایی که عملیات غبارگیری صد در صد کامل نبوده، به طوری که ذرات ریز همچنان در گازهای احتراق باقیمانده و از طریق دودکش خارج می شوند، لذا میزان جمع نمودن گرد و غبار بستگی به مجهز بودن دستگاه به سیستم شستشو و جدا کننده گرد و غبار از گازها دارد.

فیلر حاصل از گرد و غبار در قسمت تحتانی دستگاه جمع شده و از طریق لوله آن به مصالح گرمی که از مخازن گرم خارج شده اند اضافه تا ضمن تکمیل دانه بندی مصالح سنگی به دستگاه مخلوط کن برده می شود.

نقش فیلر در آسفالت

مهمترین نقش فیلر در آسفالت به شرح زیر است:

- افزایش عمر آسفالت
- ازدیاد مقاومت در برابر تاثیر آب
- ازدیاد قدرت باربری آسفالت
- افزایش مقاومت در مقابل ضربه
- افزایش مقاومت برشی و فشاری آسفالت

باید توجه داشت که استفاده از فیلر در آسفالت گرم باید برابر مقادیر مجاز باشد، زیرا استفاده بیش از حد مجاز آن در آسفالت معایب زیر را به دنبال خواهد داشت:

- کاهش تخلخل
- افزایش مقاومت در برابر تراکم
- کاهش استقامت به علت کاهش اصطکاک داخلی

تأثیر رس در فیلر

یکی از مواردی که به آن نیز زیاد اشاره شده است عاری بودن فیلر از رس و یا اثر مخرب رس در فیلر می باشد.

مؤلف تحت عنوان تز کارشناسی ارشد، تحقیقات وسیعی در رابطه با موارد زیر انجام داده است:

- فیلر و نقش آن در آسفالت
- اثر زیانبار رس در فیلر
- آیا به طور کامل نباید رس در فیلر باشد
- آیا وجود هر نوع رس در فیلر اثر مخرب دارد و یا نوع رس و کانی و درصد مقدار آن در فیلر تا حدی مجاز است و یا تاثیر قابل توجهی ندارد
- آیا نوع فیلر در آسفالت یا ترکیب با رس، تا چه حد در پایداری و یا کاهش پایداری موثر خواهد بود.

بدین منظور در تحقیقات انجام شده از سه نوع رس پودر شده غیر حساس با کد

C-CL (Lean Clay) رس غیر حساس (Silty Clay) C1-M1 شماره نمونه -C

1 و رس حساس CH (Fat Clay) شماره نمونه C-2 انتخاب و به نسبت‌های ۲ و ۵ و ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درصد با فیلرهای انتخابی مخلوط و پس از انجام کلیه آزمایش‌های مکانیک خاک لازم از جمله: دانه بندی، هیدرومتری، توده ویژه، ارزش ماسه ای، طبقه بندی، Reidjen, Enslin تعیین حدود روانی و خمیری، حد انقباض و نتیجه‌گیری لازم با سه نوع دانه بندی باز و پیوسته که ذیلاً خواهد آمد مخلوط و با نسبت قیر خالص ۴ تا ۸/۵ درصد و مقدار لازم نمونه آسفالت با تراکم‌های ۷۵، ۵۰، ۲۵، ۱۵، ۵، ۱۰۰ ضربه بر هر طرف نمونه تهیه و آزمایش‌های لازم از جمله: وزن مخصوص Bulk Density تعیین فضای خالی Void مقاومت (پایداری) Stability، روانی Flow آزمایش رایس Rice جهت تعیین درصد حجمی فضای خالی آسفالت V.M.A آزمایش کشش غیر مستقیم و غیره انجام و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

رس غیر حساس شماره C-1

این رس که جهت مخلوط با فیلر از نوع غیر حساس و دارای کانی Caolinite (Ca^{++}) انتخاب شده از تجزیه شیمیایی، فلدسپات‌ها و سایر سنگ‌های آلومینیوم دار حاصل می‌شود و ساختمان بلوری آن مرکب است از لایه‌های سیلیکا و گیبسیت که هر لایه به وسیله اتصال هیدروژنی بین قاعده سیلیکا و لایه گیبسیت مقابل به یکدیگر وصل می‌گردند و تنها این اتصال ضعیف تراز اتصال کووالانس بین راس لایه سیلیکا و لایه گیبسیت می‌باشد و این پیوند نسبتاً ضعیف هیدروژنی باعث می‌شود که بلوهای کائولینیت به صفحات بسیار نازک تقسیم شوند.

صفحات بلوری کائولینیت در روی سطح خود مقداری بار منفی حمل نموده و این بار باعث جذب لایه های ضخیم آب بدور ذرات می گردد و لذا مجاورت کائولینیت با آب به آن خاصیت پلاستیسیته می بخشد.

از نظر موقعیت زمین شناسی خاک یاد شده مربوط به رسوبات دوره پلیوسن و میوسن می باشد که مواد آن با جاری شدن حل و ته نشست Desposition در دوره سکون تشکیل شده است.

بر روی رس مربوطه به آزمایشات مکانیک خاک انجام شده که نتایج آن به شرح زیر می باشد:

حد روانی $LL = 33\%$

حد خمیری $PL = 18\%$

دامنه خمیری $PI = 15$

قهوه‌ای $Brown =$ رنگ خاک رس

$92.5\% =$ درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰

$G_s = 2.71$ توده ویژه

حد انقباض $SL = 15.8\%$

$0.15\% = SO_3\%$ درصد سولفات

$0.2\% = Organic\%$ درصد مواد آلی

Ca^{++} = نوع یون قابل تعویض

ضمن اینکه این رس در حالت مرطوب چسبندگی داشته و به کف پا می چسبد و در حالت خشک مقاومتی بیش از ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع دارد.

رس حساس شماره C-2

این خاک رس که به عنوان رس حساس جهت ترکیب با فیلر انتخاب شده است دارای کانی مونت موریلینیت Montmorilinite به رنگ سبز روشن با رگه های سفید رنگ و دارای خاصیت چسبندگی شدید High Plasticity می باشد و از رسوبات خاکستری آتشفشانی در آبهای شور دوران کرتاسه تشکیل شده و بلوهای آن مرکب است از لایه های سلیکا و گیبسیت، و چون هر لایه گیبسیت بین دو لایه سلیکا قرار می گیرد و لایه های سلیکا در دو طرف در معرض محیط مجاور خود قرار گرفته و به علت بار منفی موجود در روی آن مولکول های آب را به خود جذب نموده و لذا صفحات بنیادی سلیکات و گیبسیت سلیکا با لایه های آب بین آنها متصل می گردند.

نتایج آزمایشات مکانیک خاک که بر روی رس مربوطه انجام شده نتایج زیر را دارا می باشد:

حد روانی $LL = 123\%$

حد خمیری $PL = 43\%$

دامنه خمیری $PI = 80$

حد انقباض $SL = 18\%$

$CH =$ کد خاک

رنگ خاک = L. Green to white

P200= 100% درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰

در ضمن این خاک در حالت معمولی نیز رطوبت هوا را به خود جذب و مقاومت تک محوری آن در حالت رطوبت طبیعی برابر 3.0 Kg/cm^2 و در حالت خشک $q_u = 14.0 \text{ Kg/cm}^2$ و در حالت معمولی حالت رس صابونی را داشته و دارای جسبندگی شدید می باشد.

فیلر انتخابی شماره F-2

این فیلر با شماره F-2 نامگذاری شده است. از پودر سنگ معادن کوه های جنوب شهرستان قائم تهیه شده و لیتوگرافی آن شامل طبقات زیر است:

سنگ آهک ماسه ای و سنگ آهک با فسیل خار داران از قبیل Sculla و با توجه به مشاهدات میکروسکوپی بافت آن دانه ریز، به رنگ سفید و از نوع آهکی و متشکل از:

- آهک بسیار ریز (کلسیت میکروسکوپی)

- ذرات ریز کوارتز و سیلیس به مقدار کم

- ناخالصی های اکسید آهن

- فلدسپات تجزیه شده و کلریت

- ذرات ریز رس های مختلف

که به وسیله سیمان آهکی بسیار ریزدانه به هم متصل شده و سنگ آهک ریزدانه سیلتی Calcarius Silt Stone را تشکیل داده است.

- درصد عبوری این فیلتر (پودر سنگ) از الک شماره ۴۰ استاندارد آمریکایی صد درصد و از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر) برابر ۵۳ درصد دانه بندی زیر را دارا است:

اندازه سوراخ الک	درصد وزنی رد شده از الک	استاندارد
الک شماره ۴۰	۱۰۰	
الک شماره ۶۰	۸۸	
الک شماره ۱۰۰	۶۸	
الک شماره ۲۰۰	۵۳	
سایز ۰/۰۰۵	۸	

این فیلتر فاقد چسبندگی (Non PI) بوده و توده ویژه آن $G_s = 2.68$ و ارزش ماسه ای آن $SE = 68.5\%$ می باشد.

آسفالتهای حفاظت شده (Surface Treatments)

کلیات

آسفالت های حفاظتی به آن دسته از مخلوط های قیر و مصالح سنگی اطلاق می شود که جهت پوشش و محافظت راه در مقابل عوامل جوی و جلوگیری از فرسایش سطح راه های شنی و یا آسفالته به ضخامت ۲/۵ سانتی متر اجرا می گردد. مزایای این نوع آسفالت سهولت در اجرا و اقتصادی بودن آن می باشد جهت تهیه مخلوط قیرهای مخلوط، سبک و یا امولسین قیر استفاده می شود و دارای انواع متنوع است که در یک لایه و یا بیشتر اجرا می شود و شامل انواع زیر می باشد:

- آسفالت سطحی یک لایه و دولایه Single and Double surface Treatment

Treatment

- سیل کت ها Seal Coat

- غبارنشانی Dust-laying

- آسفالت سطحی پیش اندوز Plant-Mixed surface Treatment

انواع آسالت حفاظتی

آسفالت سطحی

در این روش ابتدا یک قشر قیر در سطح آماده راه ریخته و بلافاصله یک قشر مصالح شکسته تمیز بر روی آن پخش می شود و لازم است قبل از اجرای کار کلیه چاله ها و ناهمواری های موجود کاملاً مرمت شده و راه پروفیله گردد و باید سطح

راه را از کلیه مصالح و قسمت های سست عاری نموده و نقاط ضعف آن حذف شود. برای اجرای کار می توان از انواع قیر خالص و یا قیرهای مخلوط و امولسیون قیری استفاده کرد.

هم چنین نباید شعله آتش به هنگام استفاده به قیر نزدیک شود. جهت گرم کردن قیر از چراغ های شعله ای استفاده شود و مصالح سنگی که برای تهیه آسفالت های حفاظتی مورد استفاده قرار می گیرد. باید از نوع شکسته و تمیز بوده و مشخصات فنی زیر را دارا باشد و هم چنین دانه بندی آن به شرح جدول I که از آئین نامه شماره ۸ آشتو M-43 اخذ شده بوده و مقادیر و مصالح سنگی برحسب کیلوگرم در متر مربع منطبق بر جداول III و IV باشد.

جدول شماره III مقدار قیر و مصالح سنگی برای آسفالت سطحی یک لایه

مقدار قیر کیلوگرم در متر مربع	مقدار مصالح سنگی کیلوگرم در متر مربع	شماره دانه بندی
۱/۸ - ۲/۳	۲۲-۲۸	الف
۱/۲ - ۱/۴	۱۴-۱۷	ب
۰/۷-۱	۹-۱۲	ج
۰/۵-۰/۷	۶-۹	د

جدول IV مقدار قیر و مصالح سنگی در آسفالت سطحی دولایه ای

نوع آسفالت سطح	نوع لایه	شماره دانه‌بندی	مقدار مصالح Kg/m ²	مقدار قیر Kg/m ²
درشت دانه	اول	الف	۲۰-۲۵	۱/۲-۱/۴
درشت دانه	دوم	ج	۸-۱۰	۱/۸-۲/۱
متوسط دانه	اول	ب	۱۴-۱۷	۱/۲-۱/۴
متوسط دانه	دوم	د	۹-۶	۱/۸-۲/۱

وسائل کار جهت اجرای آسفالت سطحی شامل غلطک لاستیکی ۴ تا ۸ تن با فشار تماس ۲/۸ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و چرخ به عرض ۱/۵ متر، پخش کن مصالح سنگی، قیرپاش مجهز به سرعت سنج، دستگاه پخش امولسیون مجهز به سرعت سنج و با عرض قیرپاش ۴ متر می باشند.

در صورت استفاده از قیر مخلوط جهت اجرای آسفالت سطحی لازم است هوا گرم و خشک بوده و حداقل درجه حرارت هوا ۲۷ درجه سانتیگراد باشد. به منظور اجرای آسفالت سطحی می بایست قیرپاشی آن منطبق با مقادیر ارائه شده جداول فوق بوده و به شکل یکنواخت و پس از پخش و نفوذ پرمکت صورت گیرد. عملیات پخش مصالح می بایست بلافاصله پس از قیرپاشی و توسط دستگاه پخش انجام پذیرد. در صورت نیاز به اجرای لایه دوم باید حداقل دو هفته از اجرای آسفالت لایه اول گذشته باشد. عملیات غلطک زنی باید آنقدر ادامه یابد تا مصالح تماماص در قیر نفوذ کند. پس از اجرا مصالح اضافی را با جاروی مکانیکی از سطح راه جمع، به

طور یکه سطح راه کاملاً مسطح و یکنواخت شود و در صورت نیاز استفاده از جاده حتی الامکان در مدت فاصله بین لایه جاده عبور کند. لازم است مصالح قبل و بعد از اجرای عملیات، آزمایش و سپس نتایج با مشخصات فنی یاد شده در جداول فوق مقایسه گردد و ضمن قیرپاشی آزمایش سینی انجام پذیرفته و مقدار قیر در متر مربع کنترل و مقدار آن مشخص شود.

سیل کت Seal Coat

سیل کت به آسفالت حفاظتی با ضخامت کم اطلاق می شود که به منظور بهبود سطح راه آسفالته اعم از آسفالت گرم و یا سرد و نیز غیر قابل نفوذ نمودن سطح راه در مقابل نزولات جوی به مانند برف و باران به کار می رود. سیل کت دارای انواع زیر است:

- سیل کت با مصالح سنگی Aggregate seal

که مشابه با آسفالت سطحی یک لایه می باشد و به جهت غیر قابل نفوذ نمودن سطح راه آسفالته و بهبود و اصلاح آن به کار می رود.

سیل کت ماسه ای Sand Seal که در آن از مصالح ریزدانه نظیر ماسه شکسته استفاده می شود و از آن برای ریز نمودن سطح راه استفاده می شود.

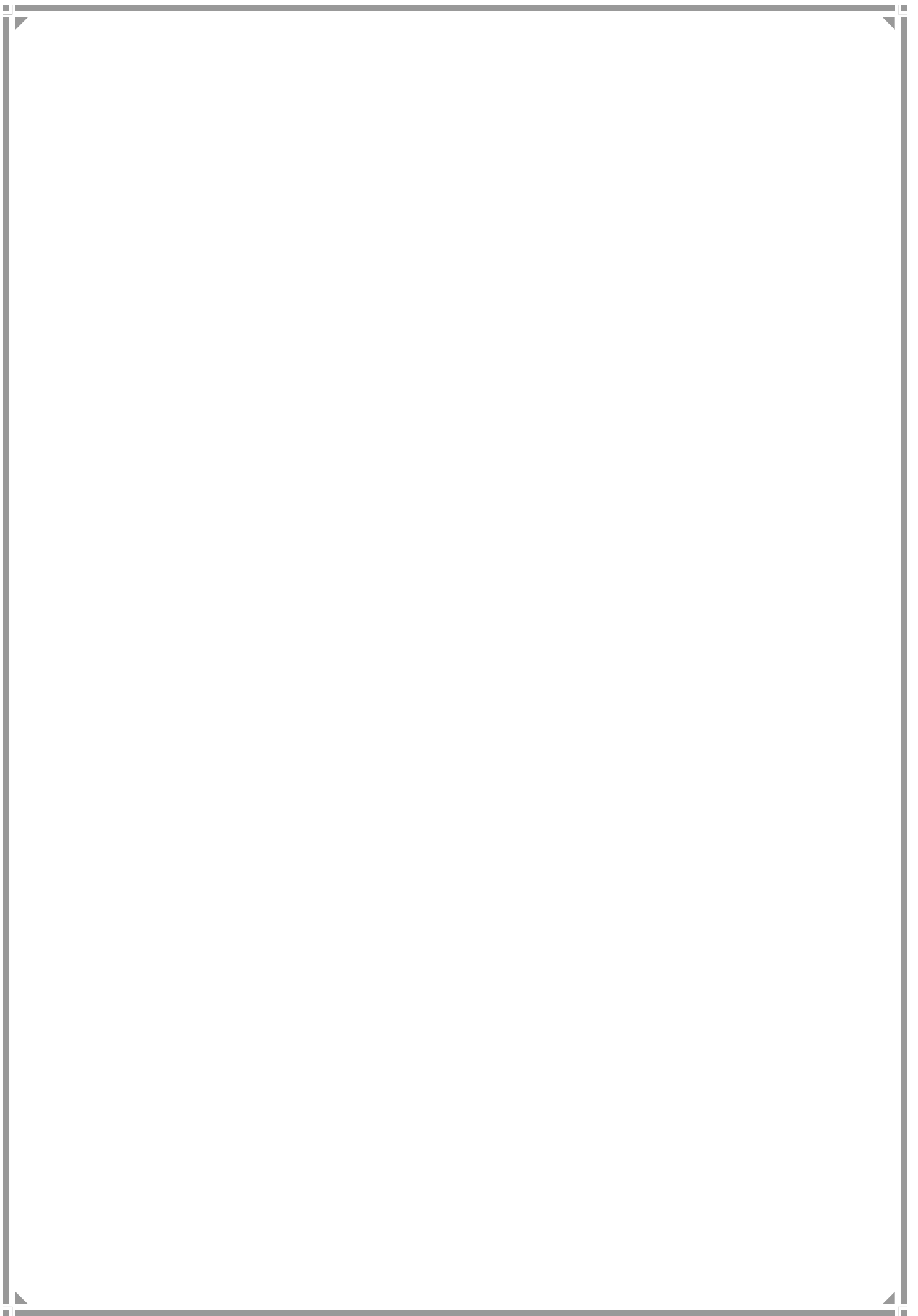
- سیل کت امولسیون Fog seal که عبارت است از قیرپاشی سطح راه با

امولسیون قیر به مقدار کم جهت بازسازی ترک ها و خلل و فرج جزئی سطح

راه

- اسلاری سیل Sturry seal که در این نوع سیل کت مخلوطی از مصالح ریزدانه، فیلر، امولسیون قیر و آب که به منظور پر کردن ترک های سطحی، سطوح آسفالتی و غیر قابل نفوذ نمودن آن با ضخامت بین ۲ تا ۶ میلیمتر به حالت گل و شل در سطح راه پخش می شود.
- جهت اجرای سیل کت لازم است سطح راه کاملا مسطح گردیده و خاک و غبار با جاروی مکانیکی تمیز شود.
- مصرف مواد قیری مخلوط در سیل کت مانند آنچه که در رابطه با آسفالت سطحی شرح داده شد و درجه حرارت قیر استفاده امولسیون قیری در اسلار سیت و سیل کت امولسیونی به شرح جدول زیر می باشد:

نوع مواد قیری	درجه حرارت پخش برای منفذ سوزنی	درجه حرارت پخش جهت منفذ شیاری
امولسیون قیرآنیونیک -CS 1	۲۵-۵۵ سانتیگراد	۲۵-۵۵ سانتیگراد
امولسیون قیرآنیونیک -SS 1h	۲۵-۵۵ سانتیگراد	۲۵-۵۵ سانتیگراد
امولسیون قیرآنیونیک CSS-1	۲۵-۵۵ سانتیگراد	۲۵-۵۵ سانتیگراد
امولسیون قیرکاتیونیک CSS-1	۲۵-۵۵ سانتیگراد	۲۵-۵۵ سانتیگراد



منابع و مأخذ

- ۱- سدهای خاکی / تالیف: دکتر محمود وفائیان- انتشارات واحد صنعتی اصفهان
- ۲- راه و آسفالت/ تالیف: مهندس عباس حاج محمد رضایی
- ۳- مجموعه مقالات اولین سمینار قیر و آسفالت / آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری
- ۴- سدهای خاکی / انتشارات دانشگاه تهران
- ۵- روسازی راه/ دکتر بهبهانیان