

## تزریق، راهکاری مرسوم در آب بندی پی سدها

سالار سالخورده

کارشناس رشته ی مهندسی عمران - عمان ، دانشگاه آزاد - واحد زنجان

[salar\\_salkhordeh@yahoo.com](mailto:salar_salkhordeh@yahoo.com)

### خلاصه

اصلاح و بهسازی وضعیت پی سدها به منظور جلوگیری از حرکت کامل آب و یا طولانی کردن مسیر جریان آب به منظور کاهش اثر تخریبی زهکش، همواره یکی از اهداف مهندسان عمران در پروژه های سد سازی بوده است. در این خصوص عملیات تزریق یکی از مرسوم ترین روش های رسیدن به این هدف می باشد. برای رسیدن به بالاترین راندمان می بایستی با مورد مطالعه قرار دادن ساختگاه سدها، روش های ایجاد پرده ی آب بند و ... روش مناسبی را با توجه به شرایط، جهت آب بندی پی سد انتخاب کنیم. کلمات کلیدی: سد، فرار آب، تزریق، پرده ی آب بند

### ۱- مقدمه:

همانگونه که تاریخ و تمدن بشر نشان می دهد، اکثر تمدن ها تا حد امکان در کنار رودخانه ها و یا سواحل دریاها بنا شده است. پیوند ناگسستنی بین آب از یک طرف و کشاورزی، شرب، بهداشت، صنعت و دامپوری از طرف دیگر ما را بر ضرورت توجه هرچه بیشتر به چگونگی تامین و ذخیره ی آب معطوف می کند. در این راستا، سدها سازه های هستند که با طراحی اصولی توسط متخصصین امر به کمک انسان ها آمده و می توانند حداکثر ذخیره سازی آب را انجام دهند.

با توجه به موارد فوق الذکر، اهمیت بکارگیری روش های مناسب در جهت اصلاح و بهسازی وضعیت پی سدها (برای مثال آب بند کردن پی سدها) و همچنین تا حد امکان، جلوگیری از هدر رفتن آب پشت سدها، همواره مد نظر مهندسان بوده است. یکی از مرسوم ترین این روش ها در ایران، تزریق دوغاب و ایجاد پرده ی آب بند در پی سدها است. تزریق به عنوان یک راهکار مهندسی، یک فن آوری کهن در بهسازی زمین است که برای نخستین بار توسط شخصی بنام برگنی در سال ۱۸۰۲ میلادی انجام شد.

### ۲- تاریخچه تزریق:

پدیده تزریق بیش از ۲۰۰ سال قدمت دارد که اگر مقایسه ای با مهندسی عمران که می توان گفت سابقه ای برابر تمدن بشر دارد انجام دهیم، دوره کوتاهی می باشد. مبتکر فن تزریق مهندس فرانسوی *Charg Berigny* می باشد. وی در سال ۱۸۰۲ مدیریت بندر (دیپ) را به عهده داشت و در آن بندر آب، خاک زیر پی سطحی تاسیسات بند مربوط به جزر و مد را که روی مواد شنی قرار داشته فرسایش داده بود بقدری که جریانهای تحتانی سنگین امنیت سازه را به مخاطره انداخته بود. برای چیره شدن بر مسایل فنی غیر ممکن، ایده بهسازی پی آسیب دیده به کمک تزریق به فکر او خطور کرد. این مهندس فرانسوی از یک مخلوط سوسپانسیون آب و رس برای پر کردن حفرات پی صدمه دیده و همچنین به منظور پایدار و سفت و سخت کردن رسوبات آنجا استفاده کرد. برگنی گمانه هایی به فاصله یک متر در سرتاسر فضای آگیر ایجاد نمود و حفره ها را به وسیله وسایلی بنام تلمبه ی ضربه ای (*Blow pump*) با رس پلاستیک تزریق نمود. این وسیله یعنی تلمبه ضربه ای دارای یک سیلندر چوبی به قطر داخلی ۸ سانتی متر بود که در بالای آن یک پیستون چوبی قرار می گرفت و با رس پلاستیک پر می شد. رس به وسیله ی ضربه های یک چکش سنگین که به روی پیستون نیرو وارد می نمود به داخل حفره ها نفوذ می کرد و این روند تکرار شد تا زمانی که رس کاملاً حفره ها و خلل و فرج زیرزمینی را پر نماید. این نخستین کاربرد تزریق بود که یک موفقیت بزرگ به حساب می آمد. بعداً به جای رس، پوزولان، آهک و سیمان پرتلند در تکنولوژی تزریق مورد استفاده قرار گرفت.

### ۳- کلیات تزریق:

عملیات تزریق در صورتی موفقیت آمیز خواهد بود که شناخت کاملی از وضعیت و مشخصات منطقه براساس مشخصات ژئوتکنیکی بدست آمده از اکتشافات محلی در اختیار داشته باشیم. همچنین شناخت خواص انواع دوغاب ها و چگونگی استفاده از آنها نیز در این رهگذر بسیار تاثیرگذار خواهد بود.

بطور کلی می توان گفت اکثر تخریب ها و شکست ها در سدها به علت عدم توجه و دقت کافی در مطالعه ی ویژگی های زمین شناسی و ژئوتکنیکی ساختگاه و عدم توجه کافی در اجرا و ساخت سد و یا به دلیل بی دقتی در نگهداری های بعدی صورت گرفته است. خرابی سدها عموماً سه دسته اند که عبارتند از، خرابی های هیدرولیکی، خرابی های حاصل از زهکشی (*Drain water*)، خرابی های ساختمانی، و یا خرابی ناشی از ترکیب هریک و یا کلیه عوامل با یکدیگر.

فرار آب از مخازن سدها امری رایج است ، که می تواند حتی در برخی مواقع کاربرد سد را از بین ببرد . بطور کلی برقراری یکی از دو شرط زیر می تواند مخزنی مناسب را بوجود آورد [۱]:

الف- دیواره ها و کف مخزن از نفوذپذیری (Permeability) کمی برخوردار باشند .

ب- سطح ایستایی طبیعی زمین های اطراف دره بالاتر از سطح آب انتخاب شده برای مخزن باشند.

در مواقعی که هریک از دو شرط برقرار نباشد با ایجاد پرده آب بند ، یا تمهیدات دیگر می توان فرار آب را از مخزن کاهش داد . حال با توجه به اهمیت ایجاد پرده آب بند در پی سدها به منظور جلوگیری یا به حداقل رساندن فرار آب از زیر سد، به بررسی پارامتر های مورد نیاز در آب بندی می پردازیم.

#### ۴- پارامترهای مورد نیاز در آب بندی :

طول ، عمق و نوع آب بندی به شرایط ژئوتکنیکی و ژئومکانیکی منطقه بستگی دارد . مهمترین پارامترهای طراحی دیوار آب بند عبارتند از: میزان نفوذپذیری تکیه گاه و پی سد و نیز مشخصات ژئوتکنیکی پی از جمله میزان و نحوه ی توسعه ی درزها ، شکاف ها و ناپیوستگی های توده سنگ منطقه. هنگام مطالعه ویژگی های زمین شناسی و ژئوتکنیکی توده سنگ در مرحله اکتشاف ، لازم است اطلاعاتی در زمینه دامنه مقادیر نفوذپذیری هریک از سازندهای تشکیل دهنده توده ی سنگ منطقه در طول آب بندی و نفوذپذیری در مناطق گسله یا سایر اشکال تکتونیکی ، همچنین تراز آب زیرزمینی در سازندهای مختلف زمین شناسی و نیز وضعیت و مشخصات ژئوتکنیکی منطقه جمع آوری و پردازش شود . [۲]

بطور معمول ، میزان نفوذپذیری سازندها در سطح بیش از عمق است و می تواند به علت آزاد شدن تنش طی دوره ی تشکیل دره و یا وجود تنش های ثقلی در عمق باشد . میزان نفوذپذیری طبیعی توسط عوامل دیگری از جمله پدیده های تکتونیکی ، انحلال و شکستگی توسط آب های نفوذی یا بوسیله ی فرآیندهای هیدروترمال می تواند تغییر کند. در مناطقی که سنگ های قابل انحلال مانند سنگ آهک ، دولومیت و انیدریت وجود داشته باشد، به دلیل ایجاد پدیده کارستیک ، میزان نفوذپذیری در عمق ممکن است افزایش یافته و توزیع طبیعی نفوذپذیری نامنظم شود . پیدایش اینگونه سنگ ها در انتخاب محل سد و موقعیت و نوع آب بندی بسیار تعیین کننده است.

#### ۵- روش های مختلف آب بندی:

با در نظر گرفتن اینکه نقش آب بندی در شالوده، جلوگیری از حرکت کامل آب و یا طولانی کردن مسیر جریان آب به منظور کاهش اثر تخریبی زهکش است و با توجه به نحوه و نوع اجرا و شرایط سازه ، آب بندی به انواع زیر تقسیم می شود: [۳]؛ [۴].

۵-۱- آب بند تزریقی : استفاده از تزریق در پروژه های سدسازی گاه به منظور پرکردن شکاف ها و غارهای درون سنگ های آهکی و زمانی برای پرکردن حفره های درون خاک در یک محدوده ی آب بندی و گاه جهت تکمیل آب بندهای دیگر، از قبیل آب بندهای پرده سپری مورد استفاده قرار

می گیرد . در محیط های خاکی این روش زمانی کارایی دارد که میزان نفوذپذیری محیط قبل از تزریق از  $\frac{cm}{sec} \times 0.01$  بیشتر باشد . انتخاب نوع مواد مورد استفاده در تزریق ، 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.

۵-۲- ترانشه آب بند (Cutoff Trench) : این ترانشه در شالوده ی سد، یعنی در قاعده ی آن حفر شده و از مواد رسی و نفوذناپذیر کاملاً متراکم پر می شود . اندازه و عمق به شرایط منطقه بستگی دارد . محل محور ترانشه ممکن است منطبق با محور مغزه ی سد و یا در سمت بالادست و جلوتر از محور سد قرار گیرد. اگر نتوان تمام ضخامت لایه نفوذپذیر را بوسیله ی ترانشه، آب بندی نمود، می توان با اجرای ترانشه ی ناقص که بوسیله ی یک دیافراگم بتنی قائم تکمیل می شود، آب بندی کاملی تشکیل داد .

۵-۳- آب بند ناقص : آب بندی ناقص روشی از آب بندی است که شالوده را بطور کامل آب بندی نمی کند ، عمل اصلی این آب بند قطع کلی زهکشی نیست بلکه در محدود نمودن و افزایش طول مسیر موثر است. این آب بندی در شالوده هایی که در طبقات عمیق تر نفوذناپذیرتر می شوند بسیار موثر است، ولی در شالوده هایی که تا اعماق زیاد نفوذپذیری قابل توجهی دارند راندمان آنها بسیار کم است .

۵-۴- آب بند سپری : این نوع آب بند در شالوده های سیلتی ، ماسه ای و شنی ریز قابل اجرا است . این سپرها به روش کوبیدن در شالوده اجرا می شوند . در این نوع سپرها هیچگاه نمی توان از عدم نشت آب در حد فاصل قطعات آن مطمئن بود .

۵-۵- آب بند سیمانی و پرده بتنی درجا : این نوع آب بند ها در شالوده هایی که قله سنگ ها و قطعات سنگ های بزرگ ندارند قابل اجرا هستند . در این آب بند ها بعد از حفر گمانه هایی در یک یا چند ردیف تعیین شده ، داخل آنها را ملات سیمان ریخته و به وسیله ی انتهای سرمته این ملات با شن و ماسه درون گمانه مخلوط شده و به تدریج گمانه پر می شود . در نتیجه ، جداری از بتن در عرض شالوده بوجود می آید .

۵-۶- پوشش آب بند : این نوع آب بند لایه ای نفوذناپذیر از خاک رسی است که باید به بخش نفوذپذیر داخل سد متصل گردد . تاثیر این نوع پوشش افزایش طول مسیر جریان و در نتیجه کاهش گرادیان هیدرولیک است . به عبارت دیگر در شبکه ی جریان ، تعداد خطوط افت پتانسیل در مقایسه با حالتی که این پوشش وجود ندارد افزایش می یابد . کارایی این پوشش تا حدود زیادی به نسبت ضرایب نفوذپذیری در امتداد افقی و عمودی در زمین شالوده بستگی دارد.

۵-۷- ژئوسنتتیک ها (Geosynthetics): این مواد به عنوان مواد و مصالح جدید در ساخت سدهای بتنی و خاکی جهت تامین عملکرد و بهبود کیفیت می تواند در اجرای مهندسی ارزش بسیار کارآمد باشند. از ژئوسنتتیک ها در فارسی به عنوان غشاهای زمینی ، الیاف زمین دوخت ، لایه های مصنوعی ژئوتکنیکی نام برده شده است . این مواد از جنس پلی استر ، پلی پروپیلن ، نایلون ، پلی اتیلن ، پلی کلرید وینیل و فیبر و شیشه است . انواع مختلف آن ها عبارت است از ژئوممبران (Geomembrane) ، ژئوتکستایل (Geotextile) ، ژئوکمپوزیت (Geocomposite) ، ژئونت (Geonet) ، ژئوپایپ (Geopipe) ،

ژئوگرید (Geogrid) و ... [۵]

## ۶- تزریق (Grouting) :

در ادبیات مهندسی، سدها را گاهاً به موجودات زنده تشبیه می کنند ، زیرا به دلیل تغییر در وضعیت محیط زمین شناختی در طول زمان ، شرایط حکمفرما در سد و مخزن نیز دائماً در حال تغییر است . از اینرو است که سدها بایستی به گونه ای طراحی و اجرا شوند که در تمام مدت زمان بهره برداری، پایداری قابل قبولی از خود نشان دهند . آب جمع شده در مخزن ممکن است از محل پی یا تکیه گاه های جانبی آن یا از جسم سد تراوش نماید . فرار آب از جسم سد بویژه سدهای خاکی اهمیت خاصی در پایداری سد دارد . یکی از روش های متنوع، جهت کنترل نشت آب انجام عملیات تزریق است. میزان کنترل نشت آب به نحوه ی طراحی و اجرای آب بندی انجام شده توسط عملیات تزریق بستگی دارد . تزریق عبارتست از وارد نمودن مواد مایع تحت فشار به داخل خلل و فرج زمین یا فضاهای بین زمین و ساختارهای مجاور آن از طریق گمانه . بسیاری از دوغاب ها طوری طراحی می شوند که بعد از تزریق یا بصورت آبی یا طی زمان خاصی سخت شوند . اهداف اصلی تزریق بشرح زیر است :

۱- بوجود آوردن سنگ یا خاک با چگالی یا استحکام بیشتر.

۲- پرکردن خلل و فرج غیرقابل دسترسی با هدف ایجاد شرایط مناسب انتقال تنش در زمین یا سازه ها.

۳- انجام تزریق سبب کاهش نفوذپذیری و یا کاهش شکل پذیری منطقه ی مورد تزریق می گردد .

علاوه بر اینکه نفوذپذیری سنگ، معرف امکان نفوذ آمیزه تزریق در خلل و فرج شکاف های سنگ می باشد، بلکه می تواند موید ضرورت انجام و یا عدم امکان انجام عملیات تزریق باشد . تزریق تا حدودی یک هنر است و این هنر مبتنی بر تجربه می باشد. مشاهدات دقیق و ارزیابی رفتار سنگ در حین تزریق می تواند در حصول نتیجه ی مثبت موثر باشد.

## ۷- طبقه بندی تزریق :

مواد تزریقی با توجه به نحوه و حالت نفوذ آنها در درون زمین (سنگ یا خاک ) و تغییراتی که ایجاد می کنند بصورت زیر طبقه بندی می شوند. [۶]

۷-۱- تزریق نفوذی (Penetration Grouting): در این روش مواد تزریقی، درزه ، شکستگی ها و سطوح ناپیوستگی توده های خاک و سنگ را پر می کنند . در این روش دوغاب (Slurry) بدون ایجاد بهم ریختگی در ساختمان ذرات خاک و سنگ، جایگزین آب در خلل و فرج آنها می گردد. در این حالت اگر زمین اشباع باشد دوغاب با بیرون راندن آب از فضای خالی خود جایگزین آنها می شود. این نوع تزریق خود به دو دسته تقسیم می شود .

۷-۱-۱ تزریق نفوذی تراوشی : این تزریق در مصالح خاکی و ناپیوسته انجام می گیرد . در این تزریق مواد از طریق حفر گمانه همانند عمل تراوش به درون فضاهای خالی خاک نفوذ می کنند . عمق نفوذ و نحوه ی تراوش مواد به ضریب پوکی (Void Ratio) ، میزان اشباع شدگی (Saturation) و ضریب نفوذپذیری (Permeability Coefficient) خاک بستگی دارد .

۷-۱-۲ تزریق نفوذی تداخلی : مواد تزریقی بدون هیچگونه اثر تخریبی وارد سیستم درز و شکاف و سطوح ناپیوستگی توده سنگ شده و آنها را پر می کند . غلظت و ترکیب مواد بگونه ای انتخاب می شود که امکان حداکثر نفوذ را در درون درز و شکاف داشته باشد . در این نوع تزریق فشار تزریق به اندازه ای است که شکستگی جدید در سنگ ایجاد نکند .

۷-۲- تزریق جابجایی (Displacement Grouting): در این نوع تزریق مواد تزریقی سبب جابجا شدن مصالح زمین شده و بدون اینکه در درون مصالح نفوذ کنند بصورت یک توده مستقل و مجزا در محل مستقر شده و سبب متراکم شدن خاک ها و سنگ های اطراف خود می گردد . تزریق دوغاب به سنگ می تواند کنترل شده ( مانند تزریق تراکمی ) و یا کنترل نشده صورت گیرد . این نوع تزریق نیز خود به دو دسته تقسیم می شود .

۷-۲-۱ تزریق جابجایی کنترل شده : در این تزریق مقدار مواد تزریق شده و میزان جابجایی مواد زمین در اثر تزریق قابل کنترل است و به دلیل ایجاد شرایط جابجایی و تراکم در مواد زمین دوغاب از غلظت بالایی برخوردار است .

۷-۲-۲ تزریق جابجایی کنترل نشده : در این تزریق مواد تزریقی با فشار زیاد به درون زمین نفوذ می کنند . مواد درحین نفوذ سبب خرد شدگی و شکستگی مواد مسیر تزریق می گردند . این پدیده گسیختگی هیدرولیکی (Hydraulic fracturing) نام دارد .

۷-۳- تزریق تحکیمی (Consolidation Grouting): هدف از تزریق تحکیمی بهبود و یکنواخت نمودن خواص دگرشکلی سنگ هایی است که در زیر شالوده قرار داشته و بر اثر انفجارهایی که به منظور گودبرداری انجام شده سست گردیده اند . عمل تزریق تحکیمی به خواص سنگ ، ابعاد سازه و فشاری که بوسیله سازه به آن وارد می شود بستگی دارد .

در این نوع تزریق ملات بسیار سفت به داخل خاک سست تزریق می شود ، به این ترتیب حباب های دوغاب تشکیل شده جابجا و زمین اطراف بدون اینکه دوغاب به خلل و فرج خاک نفوذ کند چگالتر می شوند . در اکثر موارد ضروری است که مواد داخل درزه ها تخلیه و تمیز گردند تا سوسپانسیون سیمان بتواند در پرشدگی درزه ها نفوذ نماید. این تزریق در اطراف پوشش تونل ها و سنگهای ضعیف سینه کار و جهت تسهیل در حفر تونل و کاستن

از فشار وارده بر روی محافظ ها انجام می گیرد . از انواع این تزریق می توان به تزریق الکتریکی (Electro Grouting) اشاره نمود . در این تزریق با اضافه نمودن مواد شیمیایی مانند سیلیکات سدیم یا کلرید کلسیم در آند ، تحت تاثیر میدان الکتریکی، این مواد به زمین نفوذ داده می شوند . در این روش لوله تزریق دوغاب نقش آند و مواد شیمیایی نقش کاتد را بازی می کنند .

در مواردی که تزریق برای بالابردن میزان پایداری استفاده می شود، باید نقش منفی فشار آب منفذی را که در پشت بخش تزریق شده ایجاد خواهد شد، به دقت مورد توجه قرار داد . در تکیه گاه سدها و مخازن ، از این تزریق برای کاهش نفوذپذیری و جلوگیری از نشت نامطلوب آب استفاده می شود. ۴-۷- تزریق اختلاط: اصلاح موضعی ستون های خاک به وسیله ی اختلاط خاک با مصالح سیمانی در محل قابل انجام است . به دلیل اینکه مصالح سیمانی بصورت فیزیکی با خاک مخلوط می گردند، نیاز به غلظت فوق العاده پایین ندارد . در این نوع تزریق معمولاً ملات های قوی سیمان استفاده می شوند . این تزریق نیز به دو روش انجام می گیرد .

۴-۷-۱ اختلاط خاک (Soil Mixing): اختلاط خاک به روشی گفته می شود که در آن مصالح سیمانی با استفاده از یک حفار با محور توخالی و سیستم مخصوص پره ای بصورت مکانیکی با خاک مخلوط می گردند . دستگاه های اختلاط ممکن است دارای مته های تکی و یا مجموعه ای از دو و یا هشت مته باشند\* . در این تزریق همچنانکه مته به داخل خاک فرو می رود ، از طریق محور توخالی آن ملات تزریق می شود .

۴-۷-۲ تزریق با فشار (Jet Grouting): در این روش جریان بسیار باریک آب با سرعت بسیار بالا از طریق جت حفاری و از انتهای گمانه شروع شده و بطرف بالای آن پیشروی می کند و به دنبال خود یک ستون یکنواخت از مخلوط خاک و سیمان برجای می گذارد . به این ترتیب مواد پی اصلی با مخلوط دوغاب - خاک نفوذناپذیر اختلاط یافته و یا جابجا می شوند . این روش جهت تشکیل دیواره های آب بند ، پی و تشکیل پی های عمیق بکار می رود .

۴-۷-۵ تزریق اتصال (Connection Grouting) و تماسی (Contact Grouting): تزریق تماسی فرایند پرمودن شکاف بین سازه و شالوده آن است. این شکاف می تواند در سطح شالوده یک سد بتنی وزنی یا یک سد قوسی و یا بین پوشش بتنی تونل و سنگ های در برگیرنده آن باشد . هدف این تزریق برداشتن فاصله بین سازه بتنی و سنگهای اطراف آن می باشد، به نحوی که این دو بتوانند بصورت یک واحد ساختمانی عمل نمایند . در تزریق تماسی تنها درزه هایی مد نظر هستند که در ضخامتی از سنگ بین ۰/۵ تا یک متر وجود دارند .

## ۸- دستگاهها و تجهیزات تزریق :

برای انجام عملیات حفاری گمانه و سپس تزریق گمانه حفاری شده نیاز به ماشین آلات و تجهیزات ویژه ای است که با توجه به طبیعت و جنس سنگ، عمق و قطر گمانه و بطور کلی ابعاد و اهداف پروژه بسیار متنوعند . ابعاد دستگاههای حفاری و پمپ های تزریق با توجه به محدودیت فضای کار در برخی از گالری ها، عامل مهمی در انتخاب و بکارگیری این ماشین آلات است . شناخت نوع سنگ و ویژگی های ژئوتکنیکی و مقاومتی آن ، در انتخاب بهینه ماشین آلات حفاری و تزریق کمک شایانی می نماید . بنابراین اولین گام در انتخاب ماشین آلات و تجهیزات ، مطالعه و کسب آگاهی از وضعیت زمین شناسی و شناخت ویژگی های ژئوتکنیکی ساختگاه پروژه و سپس شرایط محیطی از قبیل محدودیت فضای کار و وجود امکانات و تسهیلات ( برق ، آب و...) است . عدم شناخت و آگاهی از موارد یاد شده و در نتیجه گزینش نادرست ماشین آلات و تجهیزات می تواند موجب کاهش کیفیت کار و یا تاخیر در برنامه زمانبندی اجرای پروژه گردد . انتخاب نوع سیستم دستگاه حفاری و یا پمپاژ تزریق بستگی به اهداف اجرای پروژه خواهد داشت . بطور کلی با توجه به آنچه گفته شد مهمترین تجهیزات و ادوات مورد نیاز در یک فرآیند تزریق عبارت است از :

۸-۱- همزن ها (Mixer): مواد تشکیل دهنده دوغاب که عمدتاً سیمان ، آب و مواد افزودنی دیگر هستند در بونکرهای اصلی ذخیره ، و به نسبت مورد نیاز از طریق مسیرهای خاص به درون ظرف قیف مانند وارد شده و بوسیله ی این دستگاه مخلوط شده و بصورت دوغاب درمی آید . همزن ها دارای سرعت زیاد و دور کافی بوده و قادر به تهیه دوغاب کلئیدی می باشند . همچنین این دستگاه ها مجهز به یک دستگاه اندازه گیری دقیق آب برحسب لیتر بوده تا امکان اندازه گیری حجم آب موجود در ملات میسر گردد (ترجیحاً ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ دور در دقیقه ) . انواع اصلی مخلوط کن ها که برای تهیه دوغاب تزریق مورد استفاده قرار می گیرد عبارتند از مخلوط کن های کلئیدی (Colloidal Mixer) و مخلوط کن های پره دار (Agitator) . در مخلوط کن های کلئیدی سیمان و مصالح با آب شدیداً مخلوط می گردند . به همین علت این همزن ها دارای دور بالایی هستند . دوغاب در این همزن ها از هم جدا شده و با آب واکنش می دهد ، بسته به غلظت دوغاب ، پس از ۱ تا ۵ دقیقه آماده ورود به همزن ثانویه است . کیفیت دوغاب حاصله در این نوع همزن ها تابع نوع آنهاست ، لذا به این ترتیب انواع دستگاه مخلوط کن را با توجه به کیفیت دوغاب می توان بشرح زیر تقسیم بندی نمود :

۱) دستگاه همزن با امکان تولید دوغاب با کیفیت عالی ، ۲) دستگاه همزن با امکان تولید دوغاب با کیفیت متوسط و ۳) دستگاه همزن با امکان تولید دوغاب با کیفیت پایین.

پس از تولید دوغاب ، این ماده توسط شلنگی که دو همزن اولیه و ثانویه را به یکدیگر وصل می نماید به مخلوط کن های پره دار یا ثانویه ، جهت ذخیره سازی و جلوگیری از جدا شدن مواد تزریقی از یکدیگر منتقل می گردد . حرکت دورانی این مخلوط کن ۱۰۰ دور در دقیقه است .

۸-۲- پمپ های تزریق: پمپ های تزریق بایستی قادر به نگهداری یکنواخت فشار تخلیه ، پمپاژ مخلوط ماسه ، سیمان و آب باشد . انتخاب نوع پمپ به فشار و نوع جریان لازم در پروژه بستگی دارد . پمپ های مختلفی که در عملیات تزریق می توانند مورد استفاده قرار گیرند عبارتند از پمپ مارپیچی (Helical Rotor Pump) ، پمپ گریزمرکز (Centrifugal Pump) ، پمپ پیستونی (Piston Pump) ، پمپ فشارشی (Ram Pump)

\* قطر مته های تکی ۰/۵ تا ۴ متر و قطر مته های دو یا هشت تایی یک متر می باشد .

پمپ دیافراگمی (Diaphragm Pump) و پمپ دستی (Hand Pump). از بین کلیه انواع پمپ، پمپ های پیستونی کاربرد فراوانی دارند که عملکرد آن مختصراً آمده است.

۸-۲-۱- پمپ پیستونی: این پمپ ها بعلاوه مکانیزم پیستونی خود دارای دبی و فشار نوسانی بوده و قابلیت تولید فشارهای بالا را دارا هستند. این پمپ امکان تزریق سوسپانسیون حاوی ماسه را که قطر دانه ها ۲ تا ۳ میلیمتر است را فراهم می نماید. ظرفیت این پمپ ها ۷۰ لیتر در دقیقه در فشار حداکثر ۶۰ بار است. با کاهش ظرفیت، فشار ممکن است تا ۱۲۰ بار و توان آن تا ۲۰ کیلووات افزایش یابد. بدلیل نوسان فشار در خروجی نصب دستگاه تنظیم فشار برای تزریق یکنواخت مناسب است [۳].

۸-۳- دستگاه های حفر چال و گمانه جهت انجام عملیات تزریق: بخش عمده ی هزینه های مربوط به عملیات اجرایی پرده ی آب بند در پروژه های سد سازی، مربوط به حفاری گمانه های تزریق می شود. عمق گمانه های تزریق می تواند بیش از ۲۰۰ متر نیز باشد. جمع حفاری های انجام شده در یک پروژه ممکن است از چند صد متر نیز تجاوز کند. انتخاب مناسب نوع سیستم حفاری و دستگاه حفاری تأثیر مستقیمی بر صحت و سلامت گمانه های حفاری شده خواهد داشت چرا که عدم سلامت گمانه ی حفاری شده به مفهوم زیر سؤال رفتن عملیات اجرای پرده آب بند خواهد بود. به دلیل تنوع سنگ، انواع مختلف از سیستم های حفاری نیز جهت حفر گمانه در سنگ توسعه یافته است که انتخاب آنها بستگی به اندازه پروژه، نوع سنگ، عمق و قطر گمانه و ... دارد. نوع رایج حفاری، حفاری بوسیله حفارهای مکانیکی می باشد که خود به سه نوع کلی تقسیم می شوند.

(۱) سیستم حفاری ضربه ای (Percussive drilling)

(۲) سیستم حفاری دورانی (Rotary drilling)

(۳) سیستم حفاری ضربه ای - دورانی (Percussive-Rotary drilling)

۸-۴- خطوط تزریق و متعلقات آن: به مسیرهای انتقال دوغاب از پمپ ها به گمانه و بالعکس خط جریان تزریق می گویند. اجزا اصلی این خط، لوله های پر مقاومت ناقل دوغاب، فشارسنج ها، شیرهای تخلیه و برگشت و دبی سنج ها هستند. به منظور جلوگیری از انسداد لوله ها در اثر رسوب نمودن سوسپانسیون ناپایدار، معمولاً از لوله های با قطر داخلی ۱۰ تا ۲۵ میلیمتر استفاده می شود. از مزایای این لوله ها این است که، ۱- باعث ممانعت از انسداد خط تزریق و جلوگیری از ژل شدگی (Gelation) دوغاب می گردد، ۲- در زمان عملیات تزریق و در هنگام تغییر نسبت ها در مخلوط، حجم کمی از آن هدر می رود و ۳- با استفاده از این لوله ها قدرت پمپ شونده گی و میزبان نفوذ دوغاب افزایش می یابد.

مسدود کننده ها (Packers) از دیگر وسایل تزریق هستند که به منظور آب بند نمودن قطعه ی تزریق در گمانه مورد استفاده می گیرد و متناسب با نیاز طرح از مواد پلاستیکی مقاوم، حلقه های قابل انبساط توسط هوا و آب و از نوع لاستیک می باشند. این وسایل بایستی در حالت انبساط تحمل فشار آب و تزریق را تا ۴۰ اتمسفر بدون نشت را داشته باشند. ابزارسنجش و فشارسنج ها (Pressure Gauges)، شامل یکسری شیرها و ابزار فشارسنج می باشند که در محل اتصال شیلنگ ها در محل تزریق بدون گمانه کار گذاشته شده و به منظور مشخص شدن فشار تزریق دوغاب و ثبت فشار خودکار مورد استفاده قرار می گیرند. از مهمترین انواع پکر می توان مکانیکی، پنوماتیکی و یکبار مصرف را نام برد.

## ۹- دوغاب تزریق:

مواد مختلفی برای تزریق استفاده می شود که نوع آنها به هدف عملیات تزریق و مشخصات سنگ یا خاک مورد تزریق بستگی دارد. این مواد عبارتند از ملات پلاستیک، سوسپانسیون رقیق و غلیظ سیمان و یا دیگر ترکیبات و مواد مضاف در آب، محلولها و مواد شیمیایی، رزین ها، فومهای مصنوعی تا بیتومین های داغ و امولسیون بیتومین تغییر می کند. اما می توان گفت عملاً سهم کاربردی دوغاب های سیمانی از سایر دوغاب ها بیشتر است، بطوریکه در اکثر مراجع پارامتر پیش فرض تزریق دوغاب سیمانی است. [۲] علت پرکاربرد بودن دوغاب های سیمانی در احداث پرده ی تزریق را می توان ناشی از موارد زیر دانست:

۱- تهیه ارزان، آسان و در دسترس بودن سیمان به عنوان ماده اصلی تشکیل دهنده دوغاب

۲- مقاومت شیمیایی و فیزیکی قابل قبول در حالت عادی. در شرایط خاص و در حضور آب های خورنده امکان استفاده از سیمان های خاص و افزودنی های مناسب جهت جلوگیری از خاصیت آب فراهم است.

۳- امکان ایجاد دوغاب با گستره دانه بندی وسیع. محدوده دانه بندی این دوغاب ها بین ۴ میکرون (سیمان بسیار ریز) تا بیش از چند میلی متر (ملات بتنی) متغییر است.

۴- عدم ایجاد آلودگی شیمیایی. به دلیل مجاورت پرده آب بند با آب این فاکتور از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در ادامه ی مقاله به دلیل کاربرد فراوان این نوع دوغاب (دوغاب های سیمانی) به بررسی آن می پردازیم.

بطور کلی دوغابی که تحت نام پایه سیمانی یا بطور خلاصه دوغاب سیمانی معرفی می گردد شامل سه جز اصلی، آب، سیمان و یک یا چند افزودنی (Additives) است. براساس وجود افزودنی و نوع آن [۷] دوغاب های سیمانی را به چهار گروه سیمان خالص، سیمان - افزودنی، سیمان - ماسه، و سیمان بتنویت تقسیم بندی نموده اند. اضافه بر چهار نوع فوق دو نوع سیمان نرمة ی خاکستر (Fly Ash) و سیمان - رس را نیز معرفی می نمایند. [۸]

تمامی انواع معمول دوغاب های پایه ی سیمانی در دسته ی سیالات بینگهامی (Bingham Fluids) قرار می گیرند. [۳] طبق نظر هولسیبی نسبت های رایج W:C می تواند از ۱ : ۵ ، ۱ : ۴ ، ۱ : ۳ ، ۱ : ۲ ، ۱ : ۱ ، ۱ : ۰/۸ ، ۱ : ۰/۶ و ۱ : ۰/۵ متغییر باشد ، ضمناً این نسبت ها ویسکوزیته مشخصی به مخلوط می دهند . بایستی دقت گردد هرگز نمی توان دوغاب با غلظت W:C زیاد را به یکباره به غلظت پایین W:C رساند .

از فاکتورهای بسیار مهم دیگر قابل توجه در دوغاب تغییر بسیاری از خواص آن با گذشت زمان است که نهایتاً منجر به سخت شدن آن می گردد . از این رو در مطالعه خواص مکانیکی این سیالات ، فاکتور زمان ، نسبت اجزا تشکیل دهنده ، نوع و مقدار دوغاب بکار رفته در تهیه آن نقش اصلی را برعهده دارند . دوغاب تزریقی مورد استفاده با توجه به ترکیب و نحوه مخلوط شدن مواد تشکیل دهنده آن به سه نوع زیر تقسیم می گردد .

۱-دوغاب معلق (Suspension): در دوغاب معلق ذرات جامد ریز دانه بصورت معلق در یک محیط قرار دارند . با توجه به نوع مواد تشکیل دهنده امکان نشست و رسوب نمودن ذرات جامد در محیط مخلول وجود دارد . بدیهی است هرچه اندازه ذرات ریزتر باشد امکان جدایش سریع کمتر است .

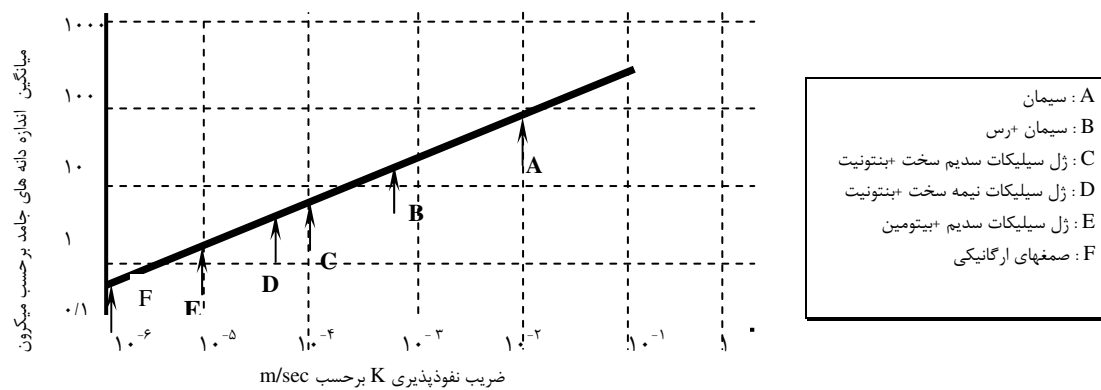
۲-دوغاب شیرابه (Emulsion): این دوغاب ترکیبی از عناصر کلئیدی و یا مایع در یک فاز خلا یا هوا مانند کف ها می باشد .

۳-دوغاب محلول (Solution): در این دوغاب ترکیب دو یا چند ماده که بصورت یک محلول همگن در آمده مورد استفاده قرار می گیرد . به عنوان مثال ترکیب سیلیکات سدیم . ماده ارگانیکی و یا دیگر محلول ها که بنام مواد تزریق شیمیایی معرفی می شوند .

هولسیبی مواد تزریقی را با توجه به عناصر تشکیل دهنده آنها در سه گروه بشرح زیر تقسیم بندی نموده است .

۱-تزریق با مواد سیمانی ، ۲- تزریق با مواد رسی ، ۳- تزریق با مواد شیمیایی

با توجه به ضریب نفوذپذیری و جنس زمین در هر قسمت ، مواد تزریقی متناسب با شرایط منطقه مورد استفاده قرار خواهد گرفت . همانطور که در شکل (۱) مشخص است دوغاب سیمانی خالص زمانی استفاده می گردد که خاک از جنس شن درشت دانه بوده و ضریب نفوذپذیری نسبتاً بالایی داشته باشد . با ریزدانه تر شدن اندازه ی دانه های تشکیل دهنده خاک و بالطبع آن کاهش ضریب نفوذپذیری آنها دوغاب سیمان بایستی حالت محلول نرمی بخود بگیرد .



شکل ۱- موارد استفاده از مواد تزریقی با توجه به ضریب نفوذپذیری و جنس خاک [۹]

بطور کلی در یک جمع بندی می توان گفت نوع دوغاب مورد استفاده در یک عملیات تزریق می تواند تابع عوامل زیر باشد .

۱- ویژگی های نفوذپذیری سنگ ها و خاک ها با توجه به میزان تخلخل ، درصد اشباع شدگی و بافت

۲- روش انتخابی تزریق و آرایش گمانه های تزریق در منطقه

۳- نوع مواد تزریق مورد استفاده و ترکیب شیمیایی آنها

۴- واکنش زمین نسبت به نفوذ مواد تزریقی درون فضاهای خالی خود و احتمال بروز فعل و انفعالات شیمیایی

۵- هزینه های اجرای یک عمل تزریق و اهمیت اجرای آن با توجه به نوع طرح

### ۱۰- اجزا تشکیل دهنده دوغاب سیمان:

۱۰-۱- سیمان: قسمت اعظم ماده مصرفی تزریق، سیمان است و شامل انواع سیمان سرباره ای (Blast Furnace Slag Cement)، سیمان ریزدانه (Fine Cement) و بسیار ریزدانه (Extra Fine Cement) می باشد. مهمترین خاصیت سیمان معمولی ریزدانه ای و گرد شدگی ذرات آن است، زیرا به شدت بر کاهش راسب شدگی و افزایش سیالیت و نفوذ آن به درون درزه ها تاثیرگذار است. [۲]

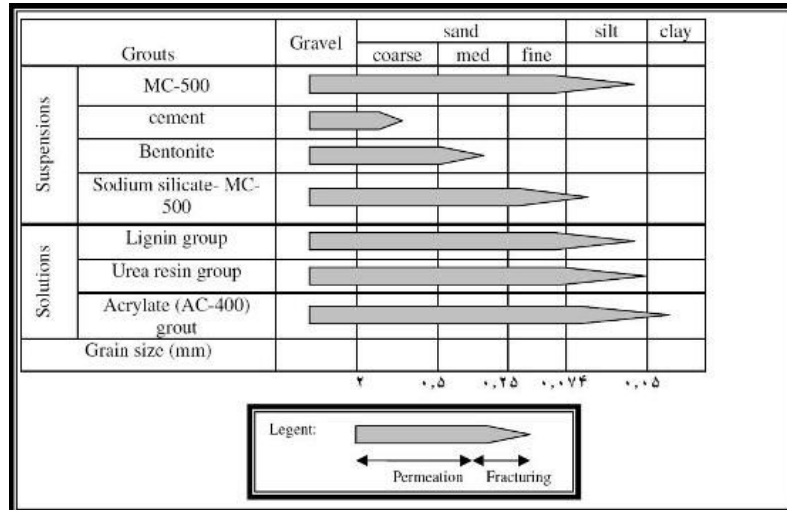
۱۰-۲- بنتونیت: بنتونیت یک ماده افزودنی رایج و عنصر اصلی کانی های رسی است که جاذب آب می باشد . وقتی سدیم بنتونیت با سیمان واکنش دهد به کلسیم بنتونیت تبدیل شده و در اثر این واکنش به دلیل حضور آب ، افزایش گرانیوی و تقویت گیرش دوغاب را به همراه خواهد داشت . ضمناً بنتونیت باعث افزایش میزان چسبندگی دوغاب به سنگ درون گیر و مقاومت دوغاب در برابر موارد فرساینده ای همچون جریانات آب زیرزمینی می گردد . [۳]

۱۰-۳- افزودنی ها: در حالت کلی بهتر است این مواد در تهیه ی دوغاب مورد استفاده قرار نگیرند ، ضمن اینکه یک اختلاط مناسب ، بهتر از افزودن این مواد می باشد ، ولی به هرحال افزودنی ها جهت درمان و علاج مشکل خاص دوغاب ممکن است مورد استفاده قرار گیرند . ولی غالباً مقدار مصرف آنها نسبت به اجزا پیشین بسیار کمتر است . مواد افزودنی در سه گروه زیر طبقه بندی می گردند [۲]

۱- مواد پرکننده : این مواد از قبیل ماسه ، رس (بنتونیت ) ، خرده سنگ و شن (سبک وزن یا سنگین وزن ) ، و در محل هایی استفاده می شود که فضاهای خالی با ابعاد بزرگ و در یک منطقه گسترده و پراکنده باشند .

۲- مواد واکنشی : این مواد شامل کف های سیلیسی ، خاکسترهای آتشفشانی و صنعتی بوده و به دلیل ریزدانه بودن بیش از حد اندازه ذرات آنها می تواند اثر مطلوبی در بالا بردن کیفیت دوغاب سیمان داشته باشد .

۳- مواد با تاثیر خاص : این مواد عموماً " ترکیب شیمیایی داشته و اثرات خاصی در رفتار فیزیکی و شیمیایی دوغاب سیمان می گذارند . نمونه ای از مواد افزودنی در دوغاب سیمان و محدودیت های استفاده از آنها با توجه به جنس خاکها در شکل (۲) آمده است .



شکل ۲- مواد افزودنی در دوغاب سیمان و محدودیت های استفاده از آنها [۲]

\*MC مخفف سیمان خیلی ریز دانه است.

۱۰-۴- آب : اصلی ترین ماده تهیه یک دوغاب سیمانی ، آب است . آب مورد استفاده در تهیه ی دوغاب ها باید فاقد مواد آلی و ذرات جامد باشد . یعنی آب مناسب دارای ظاهری زلال است . وجود ذرات خارجی در آب باعث مسدود شدن شیرها و سوپاپ ها و حتی ناکارآمدی دوغاب در شکستگی ها می شود . از نظر شیمیایی نیز باید تا حد مجازی عاری از یون های مضر و رسوبات محلول باشد . لذا بنا به گفته کوتزنر [۱۰] کیفیت آب مناسب تهیه دوغاب نسبتاً مشابه کیفیت شرب است .

#### ۱۱- نسبت اختلاط آمیزه های تزریق :

آنچه تا بدین جا مطرح گردیده اجزای یک آمیزه تزریق یا دوغاب بوده است . حال ضروری است بدانیم چه میزان از هریک و یا بعبارتی چه نسبت از هر ماده در یک اختلاط نیاز است تا انتخاب یکی از فاکتورهای موثر در عمل تزریق مناسب باشد . نظریه های مختلفی در رابطه با نسبت اختلاط مواد وجود دارد ، و در اکثر آنها بطور کلی از نسبت  $W:C$  نام برده می شود . در برخی موارد مشاهده شده از نسبت  $W:S$  (آب به جامد ) و یا  $W:c:b:s$  (سهم حضور آب ، سیمان ، بنتونیت و ماسه ) استفاده می گردد . به اعتقاد کوتزنر (۱۹۹۶) تزریق باید با درشت دانه ترین دوغاب ممکن آغاز گردد . استفاده نابجا از دوغاب های ریزدانه باعث دورشدن دوغاب مورد تزریق از گمانه تا فواصل دور و نامطلوب و پایین آوردن کارایی عملیات می گردد . اکنون پذیرفته شده است که سوسپانسیون در شروع کار تزریق نباید رقیقتر از  $1C:3W$  باشد . زیرا در خمیرسیمانی که با آب سخت شده مقدار زیادی آهک آزاد باقی می ماند که بعداً با آبی که حفره ها و شکافها را پر می کند شسته شده و از محیط عمل خارج می شود . لمباردی (Lembardi-۱۹۸۵) پیشنهاد نمود که حتی شکافهای باریک با سوسپانسیون  $1C:0.6W$  تزریق شود و این موضوع حقیقتی را روشن می کند که گردش سوسپانسیون در شکاف ها ، تحت تاثیر گرانشی آنها نیست بلکه تحت تاثیر حداکثر اندازه ذرات سیمان است . همچنین در صورتی که مقدار نسبت از  $0.4C:W$  کمتر گردد فرایند هیدراتاسیون بصورت کامل رخ نمی دهد . شرف و شاه [۷] مقدار  $C:W$  با آغاز عملیات را در حالت کلی برابر ۲ پیشنهاد نموده اند . جدول (۱). اگر دانسیته اولیه سوسپانسیون تزریق را بصورتی که توسط هولسی پیشنهاد شده و در آن متوسط عرض درز و شکافهای محیط اعمال شده است ، از جدول (۲) مورد استفاده قرار داد ، انتخاب مناسبی انجام گرفته است .

**جدول ۱- نسبت W:C براساس میزان بازشدگی درزه ها و مقادیر لوژان منسوب به آنها [۷]**

نسبت W:C	مقدار عدد لوژان مشاهده شده	میزان بازشدگی ، e، برحسب میلیمتر
۳ بجای ۲	$N \leq 5$	شکستگی های نسبتاً ریز: $e=0.08$
۲	$5 \leq N \leq 30$	شکستگی هایی با ابعاد معمول : $0.1 \leq e \leq 12/5$
۱ بجای ۲	$30 \leq N$	شکستگی های باز شده : $25/4 \leq e \leq 12/5$
۰/۸ یا غلیظ تر		شکستگی های بسیار باز شده : $e \leq 25/4$

**جدول ۲- دانسیته اولیه سوسپانسیون تزریق [۲]**

نسبت آب	متوسط عرض درز و شکافها به میلیمتر
۳:۱	< ۱
۲:۱	= ۱
۱:۱	> ۱

### ۱۲- تزریق دوغاب و روش های آن :

هدف از احداث پرده تزریق ، کاهش نفوذپذیری طبیعی و متغییر شالوده به استاندارد دلخواه می باشد . ترکیب آمیزه تزریق باید با مشخصات درز و شکاف ها هماهنگ و مبتنی بر نتایج گمانه های آزمایشی باشد . فشار تزریق و معیار اشباع نیز براساس نتایج تزریق های آزمایشی بدست می آید . پس از تعیین مقادیر فوق تعیین روش تزریق و مراحل اجرای آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت .

روش های گوناگونی برای تزریق دوغاب سیمان در زمین وجود دارد وعوامل متعددی همچون جنس زمین ، هدف از تزریق ، نوع مواد تزریقی ، عمق تزریق در تعیین نوع تزریق موثر هستند . یکی از روش های متداول ، تزریق مرحله ای است . در صورتیکه طول گمانه تزریق بیش از ۱۰ متر باشد ، تزریق لازم است بصورت مرحله ای انجام گیرد تا کنترل بیشتری بر عملیات تزریق امکان پذیر گردد. [۲] در این مقاله با توجه به متداول بودن روش تزریق مرحله ای به بررسی آن می پردازیم. روش های تزریق مرحله ای به چهار صورت زیر انجام می گیرد . [۲]

۱-روش اول: در این روش تزریق دوغاب از بالا به پایین بصورت باز و بدون حضور پکر برای جدا نمودن مراحل تزریق انجام می شود . در این روش ابتدا گمانه تا عمق معینی حفر شده و پس از تمیزکردن و انجام آزمایش های آب در آن، با بستن دهنه ی چاه عمل تزریق انجام می گیرد . سپس مرحله بعدی حفاری شروع شده و عمل فوق تکرار می گردد . این عمل تا رسیدن گمانه و تزریق به عمق قابل قبول ادامه خواهد یافت.

۲- روش دوم: در این روش همانند روش قبلی عمل تزریق بصورت مرحله ای از بالا به پایین انجام می گیرد با این تفاوت که در هر مرحله تزریق قسمت بالایی که قبلاً تزریق در آن انجام گرفته با استفاده از پکر مسدود می گردد ، لذا با اجرای این روش مناطق تزریق یافته در طول گمانه شرایط یکسانی را نشان می دهند . از مزایای این روش در مقایسه با روش قبلی سرعت بالای انجام عملیات و کاهش حجم مواد مصرفی است.

۳- روش سوم : در این روش ابتدا گمانه تا عمق مورد نظر حفر می شود و پس از شستشوی گمانه و انجام آزمایشات مختلف آب و نفوذپذیری در آن، تزریق از پایین به بالا انجام می گیرد . در هر مرحله از تزریق محدوده ی مورد نظر مشخص شده و بوسیله پکر از بالا بسته می شود بنابراین تزریق دوغاب سیمان از محل پکر به بعد صورت می گیرد و با انجام عمل تزریق در آن محدوده موقعیت قرارگرفتن پکرها در مرحله بعدی تعیین شده و عمل تزریق مجدداً آغاز می گردد و این عمل تا تزریق تمام طول گمانه و رسیدن به سطح زمین ادامه می یابد . سرعت عمل این روش از دو روش قبلی بیشتر است .

۴- روش چهارم : این روش که به روش تزریق چرخشی (Circuit Grouting) یا جریانی معروف است ، به صورت مرحله ای در مناطقی که امکان ریزش چاه وجود دارد مورد استفاده می باشد . در این روش بلافاصله بعد از عملیات حفاری نوعی لوله تزریق جایگزین میله و ابزار حفاری می شود . قبل از انجام تزریق طول لوله شسته شده و آزمایش نفوذپذیری آب در آن انجام و سپس تزریق دوغاب سیمان از درون لوله صورت می گیرد . لوله ی تزریق دارای شیارهای طویل بوده که از طریق آنها مواد تزریقی به بیرون هدایت می گردند . سرعت انجام عملیات تزریق بدین روش از سایر روش ها کندتر است . در اسپانیا این روش بدلیل پایین بودن درصد اشتباه در اندازه گیری فشار تزریق شده و جریان آمیزه در مواردی که میزان خوردن آمیزه کم باشد به کرات استفاده می شود .

### ۱۳- نتیجه گیری:

با توجه به ضرورت کنترل و جلوگیری فرار آب از زیر سدها و بمنظور موفقیت آمیز بودن عملیات تزریق که منتهی به ایجاد پرده ی آب بند مناسب با ساختگاه سد می شود ، توجه هر چه بیشتر به موارد زیر پیشنهاد می گردد.

- ۱- شناخت کامل از منطقه و ساختگاه سد و تفسیر صحیح نتایج آزمایش ها با توجه به مشخصات ژئوتکنیکی که حاصل از اکتشافات محلی است..
- ۲- دقت در انتخاب نوع پرده ی آب بند.
- ۳- شناخت کامل از انواع دوغاب ها ، خصوصیات آن ها و چگونگی استفاده از آن ها با توجه به ساختگاه سد.



### مراجع:

- ۱- معماریان ، ح . (۱۳۷۴) " زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک " ، دانشگاه تهران.
- 2- Housby,A.C(1990)" Construction and Design of Cement Grouting–A Guide to Grouting in Rock Foundation " , John Willy & Sons , Inc . New York.
- ۳- نانوایلر،ای.(۱۹۸۸) " عملیات مهندسی تزریق " (ترجمه مهندسین مشاور دزآب) ، انتشارات صنعت سرا و مهندسین مشاور زایندهآب ، اصفهان ، زمستان ۱۳۷۵.
- ۴- وفائیان ، م . (۱۳۷۷) " سدهای خاکی " ، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- ۵- رفیعا ، ف و امینی (۱۳۸۱) " روش های اجرایی پایدارسازی دیواره مخازن سدها " ، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران ، وزارت نیرو.
- 6- Housmann, M.R., MC Graw(1990) " Engineering Principles of Ground Modification " , Hill . New York .
- 7- Shroff , A.V & Shah , D.L (1999) " Grouting Technology in Tunneling and Dam Construction " , A.A. Balkema , Rotterdam, Brookfield .
- 8- Weaver , K.(1991) " Dam Foundation Grouting " , ASCE , New York.
- 9- Combfort,H.(1989)" Grout and Grouting " , Ch.32 of Ground Engineers Reference Book , edit by Bell F , Butter Worth.
- 10- Kutzner , C. (1996) " Grouting of Rock and Soil " , A.A.Balkeman Brookfield.