

*In the name of god*

## روش های آب بندی فونداسیون سدها

پژوهش و نگارش:

سید قاسم احسانی

کارشناس ارشد عمران ژئوتکنیک

Ghasem.ehsani@yahoo.com

## مقدمه :

به دنبال ساخت سد، شیب هیدرولیکی بزرگی در بالادست سد نسبت به پایین دست آن ایجاد می گردد که این امر باعث ایجاد تمایل به نشت و حرکت آب از بالادست سد به سمت پایین دست می شود.

### هدف و ضرورت آب بندی سدها عبارتند از :

- جلوگیری از فرار آب مخزن بعد از آبگیری
- جلوگیری از پدیده آب شستگی درزه ها
- کاهش فشار بر کنش
- افزایش پایداری تکیه گاههای سد

در تمامی سدها، صرف نظر از نوع مصالح به کار رفته در بدنه و یا نحوه طراحی، احتمال وقوع نشت وجود داشته و این آب می تواند از مقادیر بسیار ناچیز تا حجم های قابل توجه تغییر نماید.

## نشست آب در سدها

نشست آب در پایین دست سدهامی تواند به صورت های زیر ظاهر شود:

- افزایش رطوبت
- ایجاد نرمی در خاک همراه با توسعه پوشش گیاهی
- جریان های متمرکز و کانالی شکل از آب
- افزایش آبدهی چشمه ها و بالا آمدن سطح پیرومتری آب زیرزمینی در پایین دست

همچنین، فرار آب می تواند باعث غیراقتصادی شدن و ناپایداری در سد یا سازه های وابسته گردد.

## کنترل تراوش در سدها

### ۱. ایجاد دیوار جداکننده یا نفوذ ناپذیر در پی سد

- توسط حفر ترانشه در زیر هسته مرکزی و پر کردن آن از مواد و مصالح نفوذ ناپذیر
- توسط ایجاد پرده تزریقی
- دیوار آب بند (Cut-Off)
- سپر کوبی

۲. ایجاد زهکش ها: در بدنه و گاهی اوقات در پی سد ایجاد زهکش می تواند مسئله تراوش را کنترل نماید.

۳. ایجاد فیلترها: که در ارتباط با زهکش ها کار می کنند و نقش جلوگیری آب بردگی دانه های ریز خاک بخصوص در هسته مرکزی را ایفا می کند.

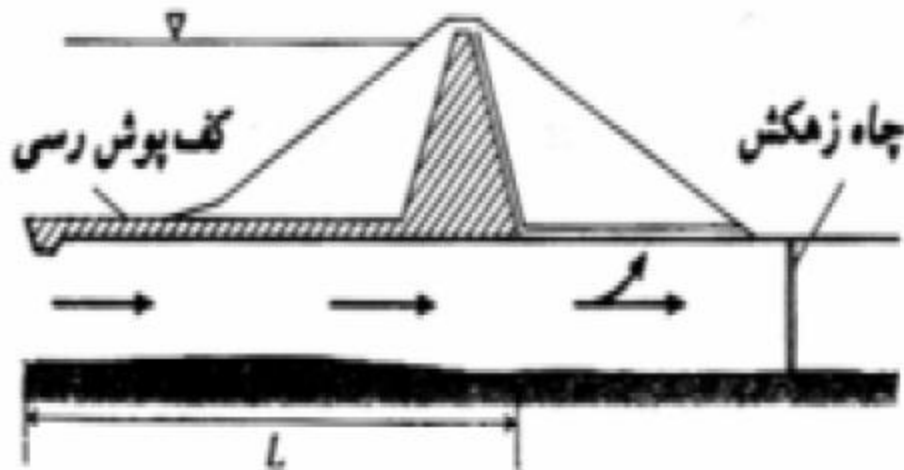
۴. هسته مرکزی: جزء اصلی بدنه سد خاکی را تشکیل می دهد و نقش آن ایجاد غیر قابل نفوذترین قسمت سد می باشد تا نقش اصلی جلوگیری از عبور آب را بعهده داشته باشد.

۵. چاههای زهکش: اگر تراوش از طریق پی سد کاملاً کنترل نشود می توان با حفر تعدادی چاه در پائین دست به کنترل نسبی آن اقدام نمود و فشارهای حفره ای و تراوش را در پی سد کنترل نمود.

۶. ایجاد پوشش غیر قابل نفوذ در بالا دست: از این پوشش به همراه چاههای زهکشی ذکر شده استفاده می شود.

## کف پوش نفوذ ناپذیر بالادست :

مطابق شکل، استفاده از کف پوش نفوذ ناپذیر بالادست یکی از روشهای متداول برای کم کردن مقدار نشت و پایین آوردن گرادیان هیدرولیکی می باشد. این شیوه باید همراه با چاههای زهکش پایین دست باشد.

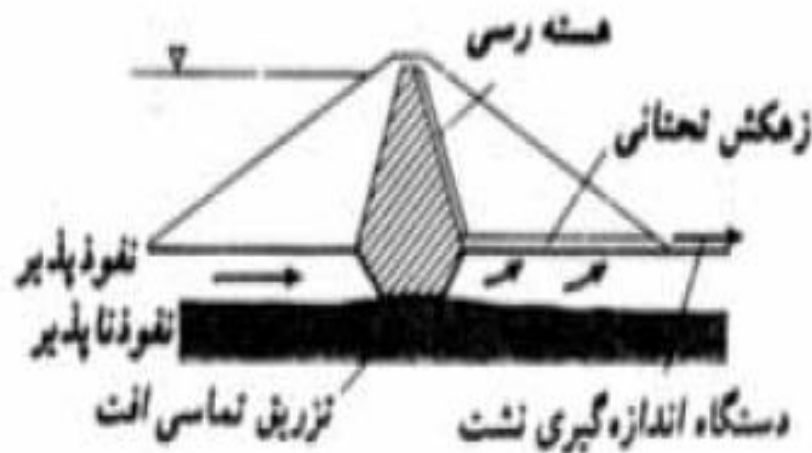


کف پوش نفوذناپذیر

## احداث ترانشه در زیر هسته سد:

در صورت کم بودن عمق پی نفوذپذیر، می توان مطابق شکل، ترانشه عریضی در زیر هسته سد احداث و آن را توسط مصالح نفوذ ناپذیر پر کرده و متراکم نمود.

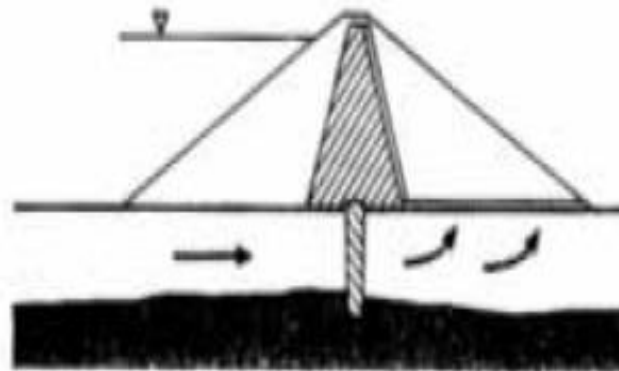
- حداقل عرض کف ترانشه ۳ متر
- حداکثر عمق اجرایی ترانشه به ۲۰ متر



دیوار آب بند با ترانشه باز

## دیوار آب بند :

در شکل زیر تکنیک جدیدتری برای احداث دیوار آب بند با استفاده هیدروفورز نشان داده شده است . در این تکنیک ابتدا ترانشه ای به عمق مورد نظر توسط هیدروفورز احداث می شود . برای جلوگیری از ریزش جدار ، درون ترانشه توسط گل بنتونیت پر می شود . بعد از اتمام عملیات ، درون ترانشه توسط بتن پلاستیک پر شود . با این تکنیک پرده هایی به عمق بیش از ۳۰ متر اجرا شده است .



دیوار آب بند cut-off

## بتن پلاستیک

بتن پلاستیک از آب، سنگدانه، سیمان، بنتونیت تشکیل یافته است و از گزینه های مناسب کاربرد در دیوار آب بند می باشد.

**بتن پلاستیک باید دارای مشخصات زیر باشد:**

- روانی (اسلامپ) بتن بین ۱۶ تا ۲۲ سانتی متر .
- مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه ای بین ۱۰ تا ۱۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع.
- مدول تغییر شکل ۲۸ روزه نمونه استوانه ای بین ۱۲۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر.

طرح اختلاط به شرح زیر می باشد:

سیمان	120-150 کیلوگرم
سنگ دانه (شن و ماسه)	1300-1500 کیلوگرم
بنتونیت سدیمی	30- 50 کیلوگرم
آب	300-380 کیلوگرم



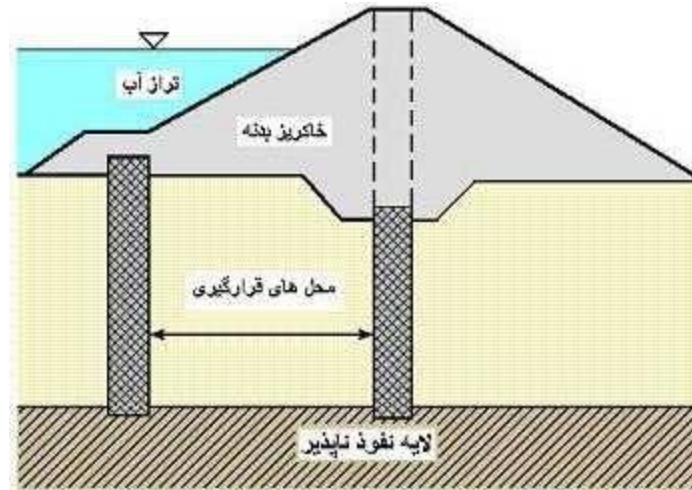
هیدروفرز یک جام حفار مکعب مستطیل می باشد که در پایین آن سرمته هایی وجود دارد که به کمک نیروی هیدرولیک دوران می کنند و محصولات حفاری را به درون جام پر می کنند. با پر شدن جام، جام به کمک جرثقیل بالا آورده شده و تخلیه می شود. در حین حفاری به وسیله گل بنتونیت از ریزش جدارها جلوگیری می شود.

اجرای دیوار آب بند سد سنگریزه ای گتوند علیا به عمق ۱۲۲ متر (عمیق ترین دیوار آب بند کشور)



## کاربرد دیوار آب بند :

- دیوار آب بند در سدها و سیل بندها
- کنترل آب های زیرزمینی آلوده
- ایجاد موانع آب بند در محل دفع فضولات
- کنترل آب در گودبرداری های عمیق



دیوار آب بند در زیر بدنه سد، بند، فرازبند و یا نشیب بند

## هدف از اجرای دیوار آب بند :

- ممانعت از فرار آب از بخش تراوایی پی سد
- کاهش گرادیان هیدرولیکی در زیر بستر هسته رسی سد جهت ممانعت از وقوع پدیده PIPING .
- ایجاد دیواری آب بند که در عین غیر قابل نفوذ بودن دارای مدول تغییر شکل متناسب با زمین مجاور بوده که در نتیجه نشست پی ناشی از وزن جسم سد ، بدون ایجاد شکستگی همراه با محیط پیرامون خود تغییر شکل دهد.

## مراحل اجرای دیوار آب بند :

- احداث حوضچه ها
- محلی جهت استقرار دستگاہها و ملزومات حفاری
- احداث دیوار هادی حفاری
- حفاری
- استفاده از بتونیت در حفاری
- بتن ریزی

## اصلی ترین دلایل احداث دیوار هادی

- حصول اطمینان از احداث صحیح دیوار آب بند در محل تعیین گردیده ، برابر نقشه های اجرایی .
- ممانعت از ریزش دیوار در سطوح فوقانی به لحاظ ضربات دینامیکی دستگاه حفاری و وزن ماشین آلات حفاری و تراک میکسر بتن ریزی و ایجاد مسیر لازم جهت هدایت کلمشل در راستای قائم . با اینکار شرایطی بسیار ایمن جهت کنترل عملیات اجرایی و بتن ریزی برای پرسنل از لحاظ عمق و نحوه حفاری و باز و بستن لوله ترمی در موقع بتن ریزی فراهم می نماید .
- به عنوان مبنای کنترل عمق حفاری از لبه فوقانی دیوار هادی در طول حفاری استفاده می شود .
- در دیوار های بتن مسلح ، قفس آرماتور بر روی دیوار هادی مهار می گردد

## اجرای دیوار آب بند سد خیر آباد به عمق ۴۵ متر



# گراب ۱۲ تنی

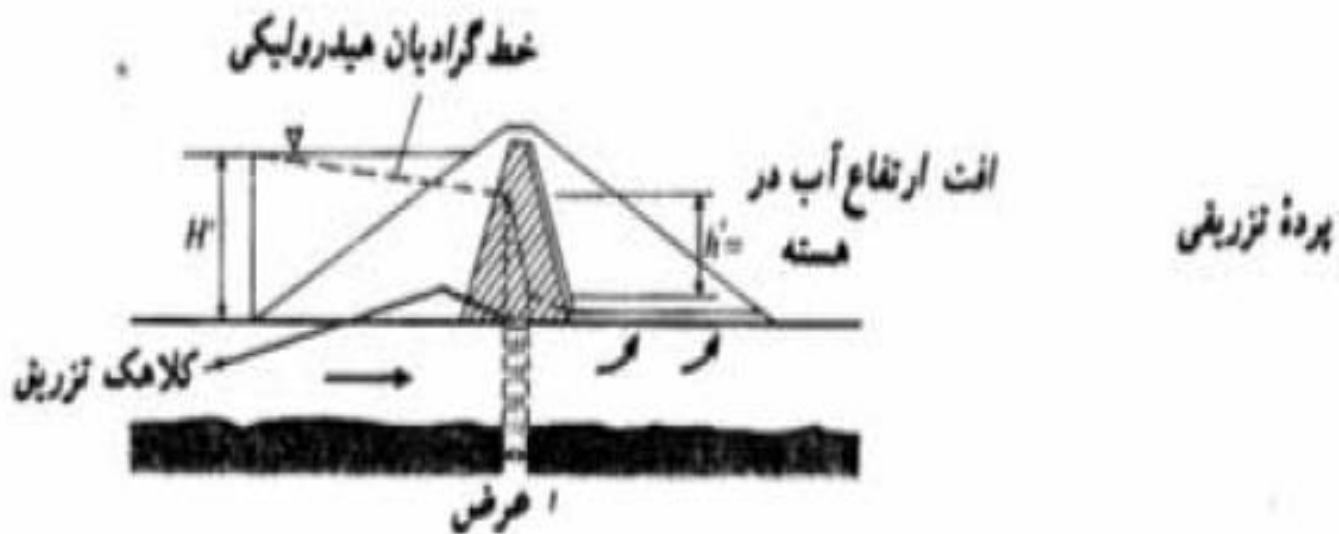




## پرده تزریقی:

در صورتی که عمق پی نفوذ پذیر زیاد باشد، می توان مطابق شکل، یک پرده آب بند با استفاده از تزریق به وجود آورد. با پیشرفت تکنیکهای تزریق در آبرفت، استفاده از این شیوه رواج خوبی دارد.

\*\*\* پرده تزریقی را می توان به عنوان یک راه حل ترمیمی بعد از احداث سد با استفاده از چاهکهایی که از بدنه سد عبور کرده اند، مورد استفاده قرار داد.



## نکاتی در مورد پرده تزریقی:

- انجام عمل تزریق در چند خط موازی درون چاهکهایی به صورت یک در میان در فواصلی در حدود ۲ تا ۳ متر
- بررسی مناسب بودن تکنیک تزریق برای پی موجود
- استفاده از دوغابهایی با ماده چسباننده سیمان، بسیار متداول است
- بر حسب شرایط پی می توان از مواد شیمیایی خاص نیز استفاده نمود. (مخارج آنها نیز بالاتر است)
- پرده های آب بند تزریقی بیشتر در سنگهای شکاف دار و آبرفت درشت دانه مؤثر می باشند.
- تا عمق ۱۰۰ متر نیز قابل اجرا می باشد.

### چاهک زهکشی :

اگرچه در اثر اجرای مناسب پرده تزریق، مقدار تراوش کاهش می یابد اما گاهی بدلیل نفوذ جریان از اطراف پرده ، میزان فشار در زیربندنه سد زیاد خواهد شد به این دلیل و برای کاهش فشارهای بالا برنده در پی از تعدادی چاهک زهکشی سود برده می شود که در یک یا چند ردیف و در پایین دست پرده آب بند حفاری می شوند.

- فواصل گمانه ها از یکدیگر ۳متر
- عمق آنها را معادل ۲۰ تا ۴۰ درصد عمق آب در مخزن و یا ۳۵ تا ۷۵ درصد عمق پرده تزریق

## تزریق

تزریق روشی است که در آن مایعی با فشار داخل منافذ و ترکها شده (تزریق دوغابی، نفوذی، شیمیایی، شکافتنی و تراکمی) و یا با متلاشی کردن بافت خاک و سنگ های ضعیف توسط دوغاب (تزریق با فشار بالا) با آنها مخلوط شده، باعث تغییر مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک و سنگ میشود.

**دامنه کاربرد روش های متفاوت تزریق بر حسب اندازه دانه های خاک تعیین می شود.**

## پرده تزریقی سدها

- برای کاهش نشت آب از پی سدها و جلوگیری از پدیده رگاب بعمل می آید.  
رده
- از دوغاب سیمان و در مواردی از مواد شیمیایی و یا ترکیب هر دو استفاده می شود.
- در آبرفت و سنگ کاربرد دارد.

## مبانی طرح هندسی پرده آب بند

- پرده آب بند تا رسیدن به لوژون ۵ و کمتر در کف و کنارها اجرا شود.
- گسترش پرده در جناحین تا رسیدن به سطح آب زیرزمینی بالاتر از هد آب مخزن
- اگر به سطح آب زیرزمینی در جناحین در فاصله دوری برخورد شود و یا لایه ای با لوژون کمتر از ۵ دیده نشود، در این حالت گسترش پرده با بررسی شرایط ژئوهیدرولوژی و مسیرهای محتمل فرار آب تعیین می گردد.
- اگر به لایه نفوذناپذیر در کف و جناحین برخورد نشود عمق پرده بر حسب ناهمگونی مسیر تراوش آب از پی، گرادیان هیدرولیکی، کنترل پدیده رگاب و حجم نشت تعیین خواهد شد.

### نکته مهم:

تعیین عمق پرده بعنوان درصدی از ارتفاع سد بدون توجه به نتایج آزمایش نفوذپذیری و مسیر حرکت آب و پدیده رگاب فاقد ارزش مهندسی است.

• اجرای پرده آب بند در یک ردیف ارجح است

• در سازند های کارستیک با پر شدگی رسی و یا در محدوده های گسلی به چندین ردیف چال نیاز است.

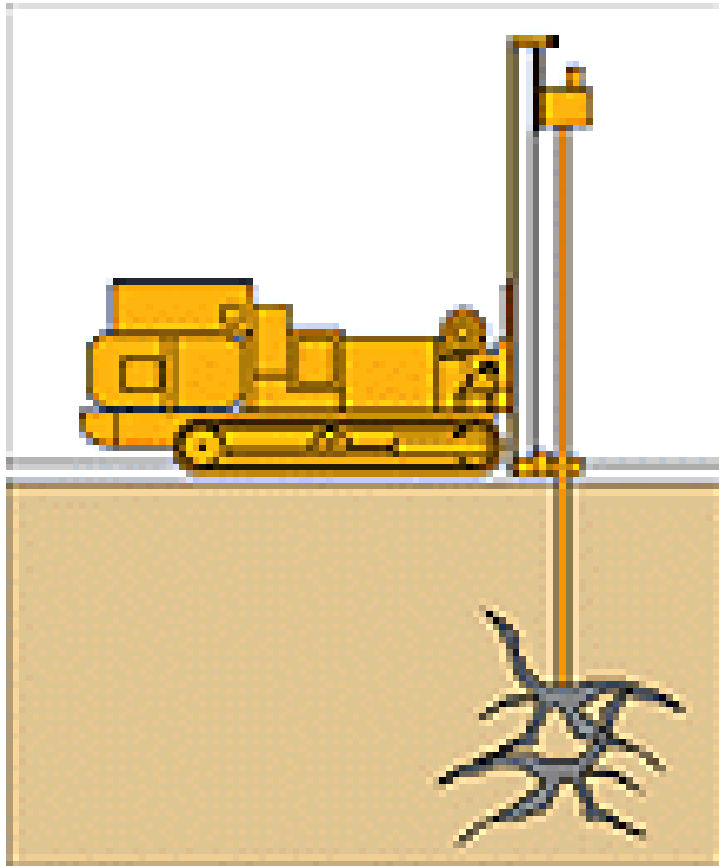
• در سازند های فرسایش پذیر از قبیل ژپیس، ماسه سنگ های ضعیف، شیل های فرسایش پذیر بیش از یک ردیف توصیه می شود.

## مخلوط دوغاب و فشار تزریق

- از دوغاب سیمان پایدار غلیظ ( آب اندازی کمتر از ۵ درصد ) با مواد افزودنی از قبیل بنتونیت و یا روان کننده استفاده می شود.
- بنتونیت ۳ تا ۵ درصد و روان کننده کمتر از ۱ درصد
- پارامترهای تعیین کننده ، دوغاب مناسب ، نسبت آب به سیمان ، دانه بندی سیمان ، مواد افزودنی و فشار تزریق است.
- در گذشته فشار کمتر تزریق در آمریکای شمالی و بیشتر در اروپا اعمال می شد. امروزه توافق بر فشار بالای تزریق است .



## ۱- تزریق نفوذی



تزریق نفوذی ورود دوغاب تحت فشار به  
حفره و درز و شکافهای خاک و سنگ  
است.

## کاربرد تزریق نفوذی :

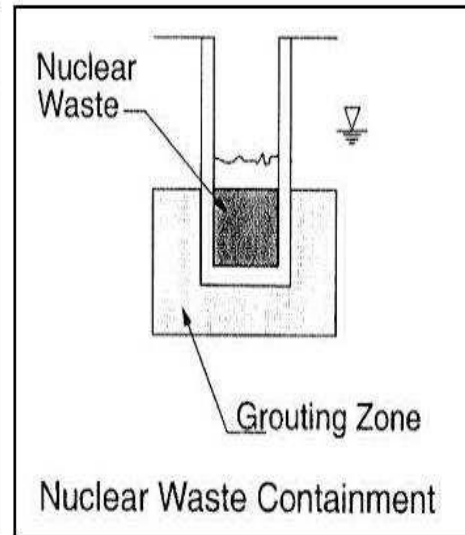
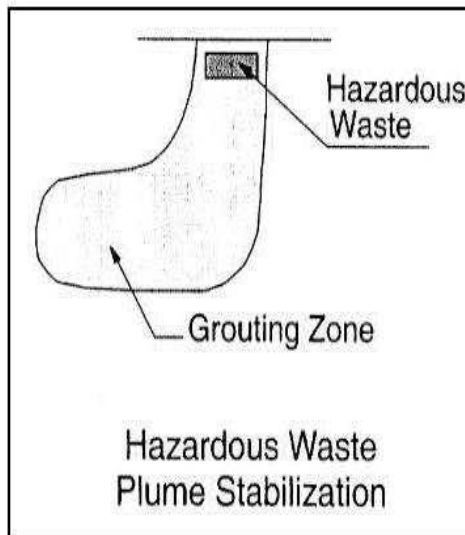
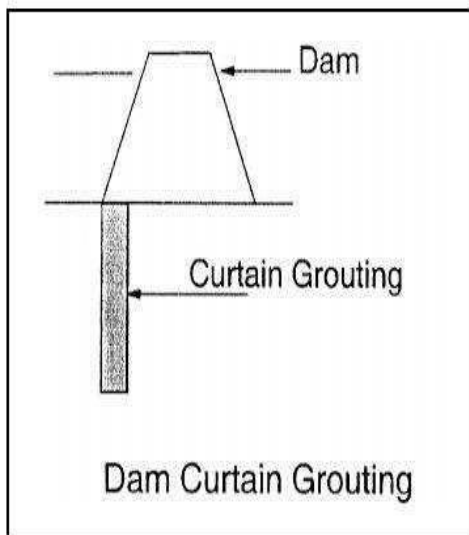
- بهسازی پی سنگی سدها
- اجرای پرده آب بند
- پایدار سازی مصالح شنی و سنگی

## مصالح تزریق :

- رس و بنتونیت
- ماسه
- افزودنی
- سیمان ریز دانه
- خاکستر آتشفشانی
- آهک
- آب



## کاربردهای تزریق



## ۲- تزریق تحکیمی

پُر کردن درزه های باز، سطوح لایه بندی، نواحی گسلی، حفره ها و سایر نقاط ضعیف سنگها با دوغاب تزریق در محدوده معینی در زیر و اطراف سازه است.

## عملکرد تزریق تحکیمی

### در سدها :

- افزایش مقاومت و مدول الاستیسیته
- کاهش نفوذپذیری

### در تونل ها :

- تحکیم و کاهش نفوذپذیری سنگ
- کاهش جریان آب بداخل تونل
- در تونل های تحت فشار کاهش نشت آب از تونل به محیط اطراف

## محل های اجرا تزریق تحکیمی

- در سطح تماس پی سدهای بتنی با سنگ
- در سدهای خاکی و سنگریزه ای در سطح تماس هسته رسی با سنگ، سکوی بتنی رویه آسفالتی یا بتنی ، سکوی بتنی هسته آسفالتی
- در محیط تونل
- پی سنگی سر ریز و سایر سازه های زیر زمینی

## فاصله و عمق گمانه های تحکیمی

### سدهای بتنی

- در شبکه ای چهار گوش به فواصل تقریبی ۳ متر
- عمق حدود ۱۰ متر در سدهای با ارتفاع کمتر از ۵۰ الی ۶۰ متر
- عمق ۲۰ متر در سدهای بلند
- در محل گسل ها و یا لایه های ضعیف تا ۱۵ الی ۲۰ متر بدون توجه به ارتفاع سد

### سدهای قوسی

علاوه بر پی در کناره ها بصورت شعاعی با همان اعماق اجرا می شوند.



## فاصله و عمق گمانه های تحکیمی

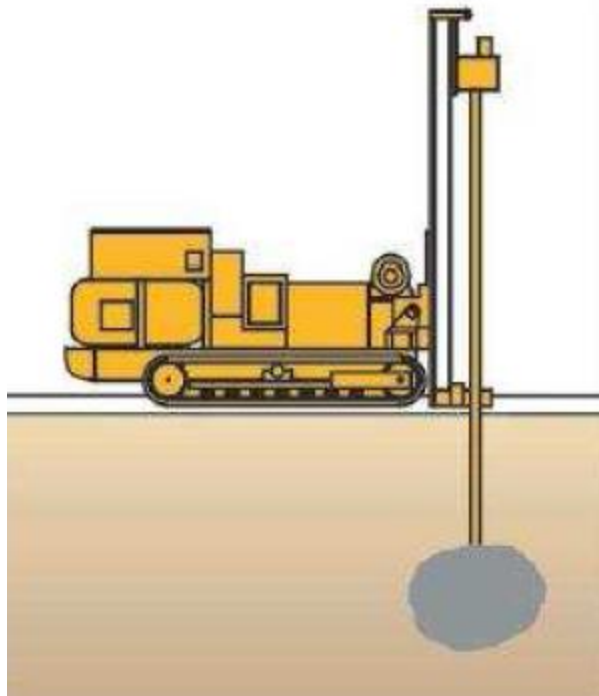
### سدهای خاکی و سنگریزه ای

بعد از هموار نمودن کلیه سطوح و مسدود نمودن ترک های باز با سیمان یا ملات در شبکه ای تقریبی با فاصله ۳ متر با عمق ۵ الی ۱۰ متر، در مجاورت پرده آبنند در طرفین به عمق ۱۵ تا ۲۰ متر در سطح تماس هسته با سنگ اجرا می شود.

### معیار کفایت

- کاهش مقادیر لوژون به ۵ تا ۱۰ و خورند سیمان معادل ۲۰ تا ۵۰ کیلوگرم در متر طول گمانه

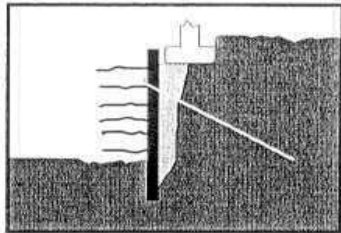
## تزریق شیمیایی



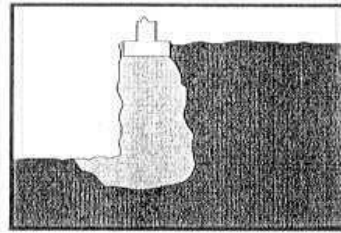
اگر اندازه منافذ کوچک باشد و سیمان معمولی نتواند در خلل و فرج نفوذ نماید از مواد شیمیایی در تزریق استفاده می شود. تزریق شیمیایی با دو هدف انجام می شود و افزایش مقاومت بمنظور تامین ظرفیت باربری بالاتر و یا کاهش نفوذ پذیری برای آب بندی .

## کاربرد تزریق های شیمیایی

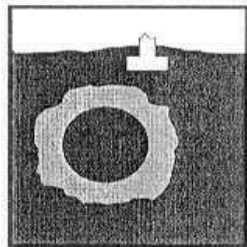
نمونه های از کاربرد تزریق بشرح  
زیر است :



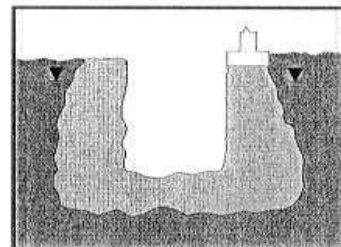
For Lagging Operation



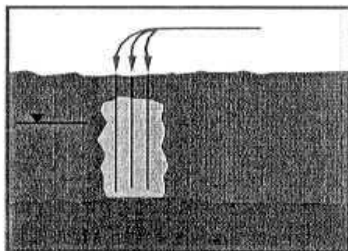
Support of Footing



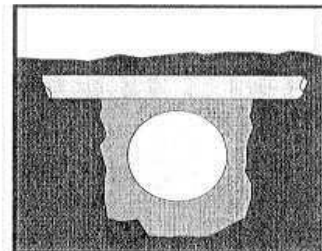
Grouted Tunnel Support



Pit Excavation Below  
Water



Grouted Cut-Off Wall



Grouted Pipeline  
Support

- اجرای پرده آب بند
- حفاظت سازه ای دیوار گود
- تقویت پی
- تقویت و پایدار سازی تونل
- گودبرداری در زیر سطح آب
- زیر زمینی
- تقویت و پایدار سازی خطوط لوله

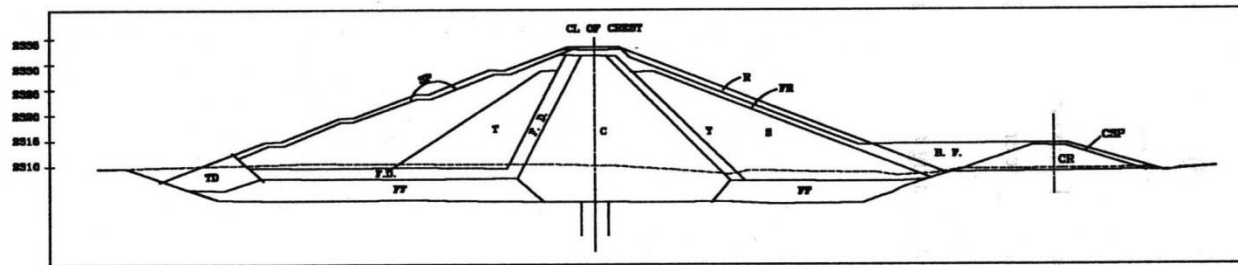
## دو غاب های شیمیایی:

- سیلیکات سدیم
- آکرلیت
- آکریلامید
- پلی یوریتان
- سیمان ریز دانه سیلیکات

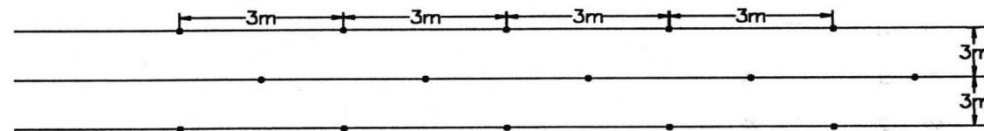
## خطرات ناشی از تزریق های جدید در سدها و آب بندها:

- ایجاد شکاف در هسته
- بستن چاههای زهکش

# مقطع سد و پرده آب بند (تزریق شیمیایی در آبرفت)



مقطع سد



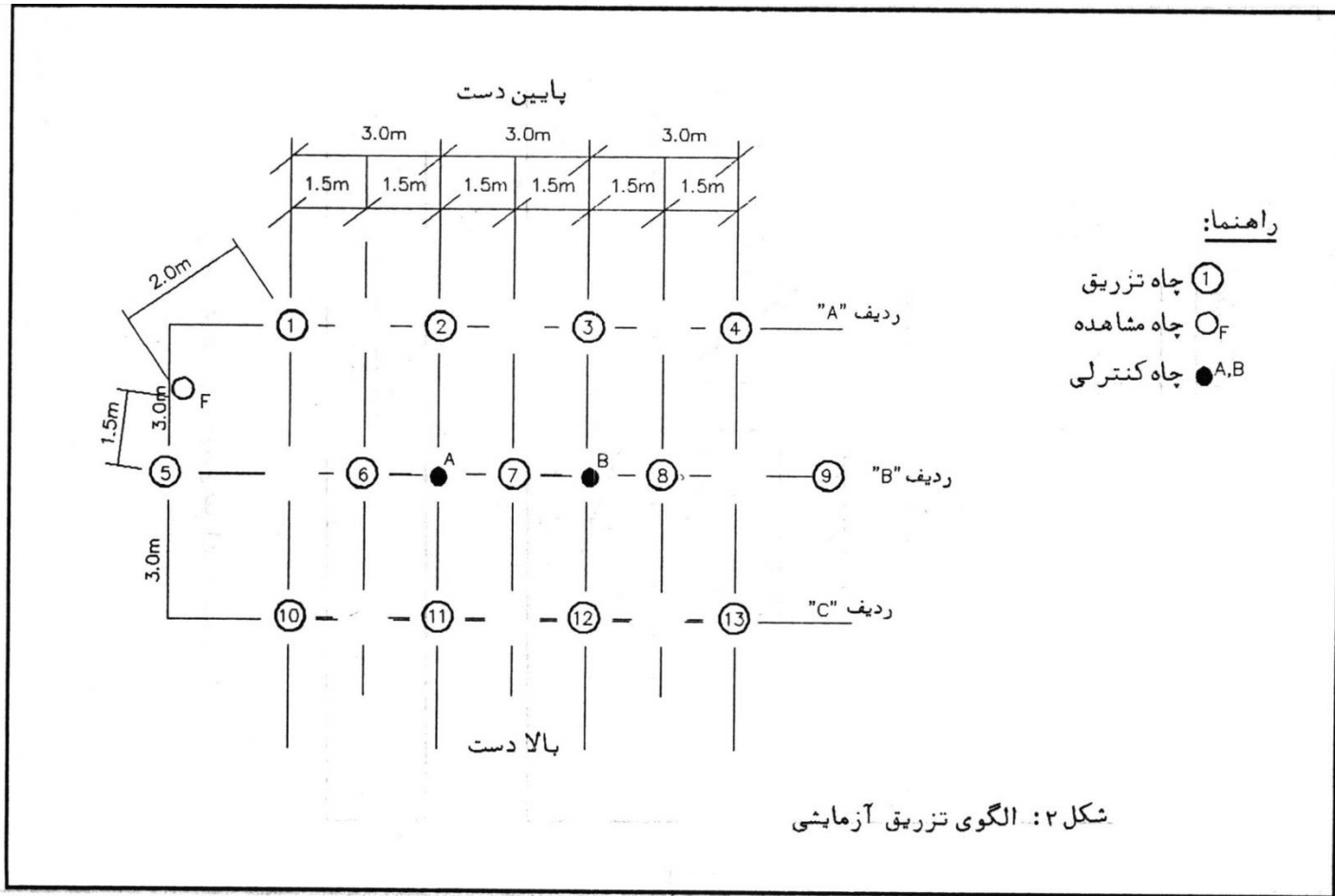
پلان پرده آب بند

## LEGEND:

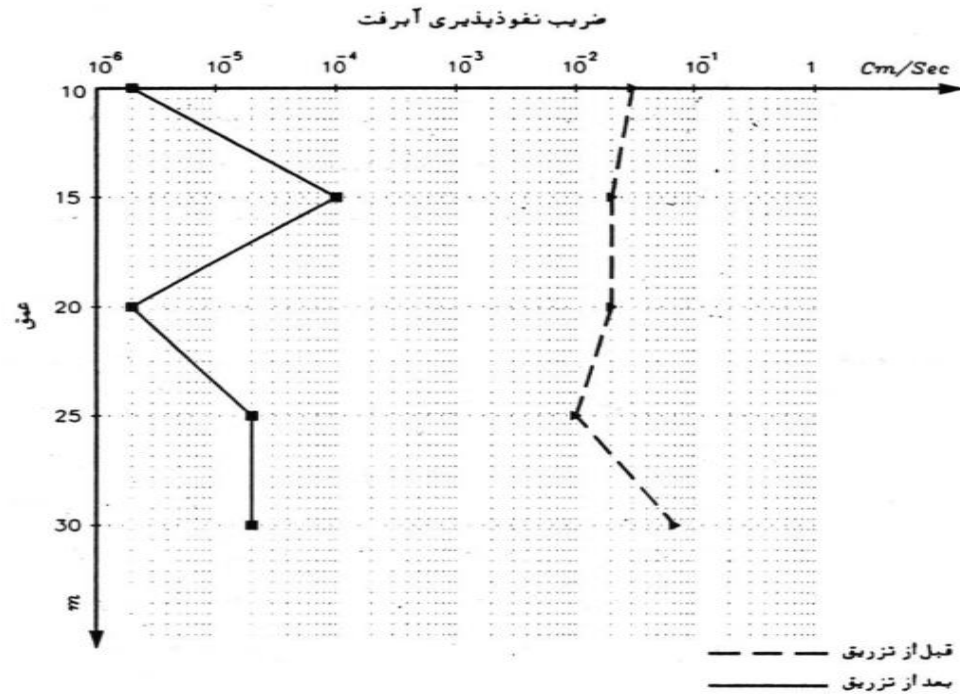
C: CORE	SP: DOWNSTREAM SLOPE PROTECTION
S: SHELL	CR: COFFERDAM
T: TRANSITION	CPS: COFFERDAM SLOPE PROTECTION
F: FILTER	B.F.: BACKFILL
D: DRAIN	D: DRAIN
FR: FILTER UNDER RIPRAP	FF: FOUNDATION FILL
R: RIPRAP	TE: TOE DRAIN

شکل ۱- مقطع شماتیک سد حنا و پرده آب بند

# جانمایی تزریق آزمایشی آبرفت در سد



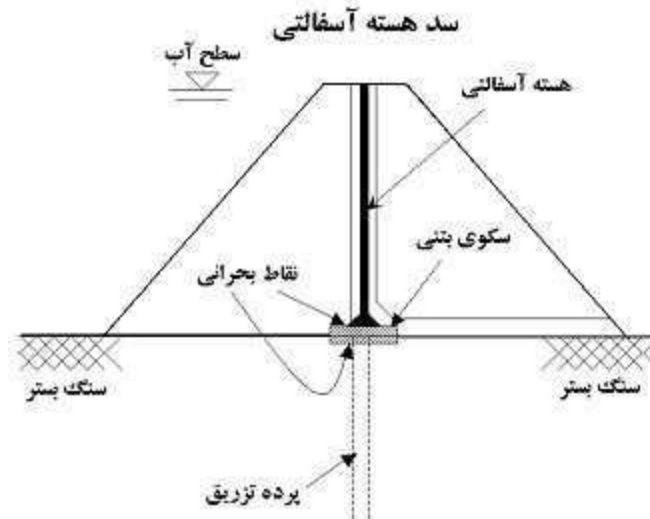
## نتایج آزمایش نفوذ پذیری تزریق شیمیایی سد



شکل شماره ۴ - نمونه ای از نفوذپذیری اندازه گیری شده در تزریق آبرفت سد حنا

## سد سنگریزه ای هسته آسفالتی میجران

تزریق آب بندی و تحکیمی در محل  
سکو از اهمیت ویژه ای برخوردار است.





سد شهید عباس پور - اجرای پرده آب بند - نیروگاه دوم



## سد مارون - پرده آب بند و عملیات تحکیمی تونل دوم



( نمای کلی سد مارون )

## نتیجه گیری

امروزه با توجه به نیاز روزافزون به منابع آبی و رو به پایان بودن ساختگاه های مناسب برای سدسازی از نظر آب بندی و اجرای چنین سازه هایی در ساختگاه های مسئله دار ، اهمیت توجه به زمین شناسی مهندسی و طراحی مناسب پرده آب بند دو چندان میگردد. در چنین شرایطی انتخاب روشهای مختلف آب بندی نقش مهمی در موفقیت طراحی ها و کاهش هزینه ها دارد.