# استفاده از روش تزریق درآب بندی سازه‌های انحراف سد خاکی مطالعه موردی کالورت سد خاکی برنجستانک

**دکتر ابوالفضل شمسائی**
**استاد دانشگاه صنعتی شریف گروه عمران**

**سینا فرد مرادی نیا**
**عضو هئیت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز**

**چکیده**

عملیات تزریق تحت فشار عبارت از تزریق تحت فشار یک مایع یا محلول به داخل خلل و فرج یک توده خاک یا سنگ و یا حفره موجود بین این توده‌ها و سازه‌های ساخته شده می‌باشد. ملات تزریق شده باید در داخل حفره‌ها یک ماده جامد و یا ژل مانند تشکیل دهد و یا اینکه عملیات تزریق باعث ته‌نشین شدن مواد جامد معلق در این حفره‌ها گردد. هدف اولیه تزریق تحت فشار توده‌های خاکی و یا سنگی این است که بتوان با این روش، مقاومت و دوام این توده‌ها را افزایش داده و یا به عبارت دیگر از نفوذپذیری آنها کاست. در این مقاله روش بهینه تزریق تحت فشار در بهسازی مناطقی که از نظر تحت‌الارضی در شرایط خوبی قرار ندارند ارائه شده و برای جلوگیری از مشکلات تحت‌الارضی در این قبیل مناطق دستورالعملهای لازم ذکر گردیده است. در این تحقیق روش تزریق سازه انحراف در سد خاکی که برنجستانک (کالورت) مشخص و مشخصات آن تعیین شده است.

**واژه های کلیدی** :

فشارuplift- کالورت- روش تزریق manchette – تزریق آزمایشی

## مقدمه

عملیات تزریق کاربرد گسترده‌ای به شرح زیر دارد:
الف: کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی
ب: کاهش فشار از پائین به بالا
ج: بهبودمشخصات مکانیکی خاک پی
پ: پرکردن حفره‌های موجوددر پی
ت: پایدارسازی و آماده سازی عملی‌ات اجرایی.
انجام تزریق برای کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی سنگ و تقویت نقاط ضعف سازه‌ای آن ضروری می‌باشد. اساساً ناهمگنی‌های موجود در سنگ (مثلاً گسل، چین‌خوردگی و یا درز) است که نوع و میزان پی کنی، تزریق و روش انجام آنرا مشخص می‌نماید. بر اساس فاصله و نوع شکستگیها(مثلاً ترکهای باز، شکستگیهای هوازده و یا حل شده درآب)می‌توان نوع تزریق (مانند تزریق تحکیمی، ایجاد پره تزریق) را تعیین کرد. انتخاب یک پرده تزریق و یا چند پرده و فاصله بین چاهکهای تزریق بر اساس عمق این شکستگیها تعیین می‌شود. چاهکهای تزریق باید همه شکستگیهاراقطع کنندوایده‌آل تر آن است که هر شکستگی قائم یا مایل به وسیله چند چاهک در اعماق مختلف قطع شود. گسلها ممکن است پر شده و یا باز باشند. یک گسل می‌تواند دارای وجوه هوازده بوده و یا در یک سطح وسیعی گسترده باشد. با توجه به شرایط درزها می‌توان نحوه حفاری چاهک، تمیز کردن آن، آزمایش فشار و تزریق چاهک را تعیین کرد [۱].

## مطالعات مورد نیاز:

### الف: تعیین شرایط زمین‌شناسی ساختگاه

روشها و تجهیزات لازم برای تزریق و زهکشی در یک ساختگاه معین و برای یک سازه خاص در درجه اول به شرایط زمین‌شناسی آن بستگی دارد. برنامه انجام تحقیقات زمین‌شناسی باید کاملاً جامع و مناسب باشد. اگر در مطالعات مشخص شود که از نظر زمین‌شناسی، شرایط نامناسبی وجود دارد ممکن است بهسازی شالوده به وسیله پی کنی،تزریق یاحتی تغییر ساختگاه پروژه الزامی باشد . برخی از این شرایط نامناسب عبارتنداز : وجود سنگهای قابل حل در آب، وجود نشانه‌هایی مبنی بر حل شدن سنگ در آب، درزهای بازی که میزان بازشدگی آنها رو به فزونی است، سنگهای شکسته یا دارای درزهایی زیاد، وجود درزهای صفحه‌ای، صفحات تحتانی باز، وجود گسلها یا وضعیت غیر طبیعی آب زیرزمینی.
ب : تعیین روش حفاری و تزریق : برای تعیین روش حفاری و تزریق در سنگ و تخمیین هزینه آنها باید اطلاعات لازم در موارد زیر در دسترس باشد :
۱- ساختار کلی زمین شناسی و لایه‌بندی زمین ساختگاه
۲- جهت وضعیت و فاصله درزها ۳- میزان بازشدگی درزها و نوع مصالح پرکننده آنها
۴- مرز میان انواع مختلف سنگهای ساختگاه
۵- محل گسلها
۶- حل مناطقی که دچار شکستگی شده‌اند
۷- عمق سنگ سالم
۸- عمق سفره آب زیرزمینی.
تا حد ممکن باید تعداد زیادی گمانه مورب حفر کرد تا بتوان حداکثر اطلاعات ممکن را درباره درزها و گسلهای تقریباً قائم (مخصوصاً در تکیه‌گاههایی که اغلب در آنها درزهای صفحه‌ای یا قائم وجود دارند) بدست آورد. اگر به به لایه آبدار تحت فشار برخورد شود بایدقسمتی از گمانه راکه درلایه تحت فشار قرار داردعایق کردو سپس در آن آزمایش مربوطه راانجام داد [۲].

### تزریق آزمایشی :

این آزمایشهاصحیح ترین اطلاعات لازم برای طراحی برنامه کامل تزریق و تخمین مقدار ملات مورد نیاز فراهم می‌آورند. با این آزمایشهامی‌توان ارزیابی دقیقی از میزان کارایی مورد انتظار از پرده نهایی بدست آورد. همچنین می‌توان مناسبترین روش حفاری در تشکیلات زمین‌شناسی ساختگاه را تشخیص داد. نوع آزمایش تزریق بر اساس نوع و اهمیت پروژه، میزان پیچیدگی شرایط زمین‌شناسی ودیگراطلاعات لازم تعیین می‌گردد. روشهای معمول تزریق آزمایشی عبارتند از :

### پرده تزریقی آزمایشی یک خطی: (Single line test grouting)

آسانترین آزمایش عبارت است از حفر چند گمانه روی خط تزریق پیشنهادی و تزریق آنها می‌باشد. توصیه می‌شود تا عملیات تزریق با یک ملات رقیق (مثلاً یک بخش سیمان و شش بخش آب) شروع شده و به تدریج با ادامه عملیات، غلظت ملات مورد استفاده بیشتر شود.

### تزریق دایره‌ای (Circle grouting) :

در این روش، تزریق در یک شعاع معین و به وسیله یک چاه آزمایشی انجام می‌شود. بسته به مشخصات سنگ، آزمایش در شعاعی حدود ۷/۵ متر (۲۵ فوت) انجام می‌گردد.گمانه‌ها را باید مطابق برنامه تزریق و بر اساس فاصله گمانه‌های اولیه و گمانه‌های میانی حفر کرد و در آنهاعملیات تزریق را انجام داد.

**تزریق چند خطی (Multiple line grouting):**

در بعضی موارد، با حفر دو یا چند ردیف گمانه، در طول پرده تزریق پیشنهادی و حفر یک چاه آزمایشی در نزدیکی این پرده، می‌توان به تزریق رضایت‌بخش دست یافت. دراین روش، قبل وبعد از آزمایش تزریق باید یک چاه آزمایشی حفر و در آن، آزمایش پمپاژ انجام شود. باید یک ردیف پیزومتر نیز عمود بر پرده تزریق نصب شود تا بتوان میزان کارآیی پرده تزریق را به دست آورد [۳].

**انواع کاربرد:**

**الف: تزریق پرده‌ای:**
**(Curtain grouting)**

تزریق پرده‌ای به منظور جلوگیری از تراوش زیر سدها و سازه‌های دیگر و یا محدود کردن تراوش به یک منطقه خاص و کنترل آن با ایجاد یک سیستم زهکشی به کار می‌رود.

**ب: تزریق سطحی :**

تزریق سطحی، معمولاً در یک محدوده معین و در گمانه‌های کم عمقی که طبق یک الگوی خاص و یا به صورت شبکه قرار گرفته‌اند انجام می‌شود. تزریق سطحی برای ایجاد موارد زیر به کار می‌رود. ۱- افزایش مقاومت سنگ‌پی ۲- جلوگیری از تراوش در لایه‌های هوازده یا نسبتاً متلاشی سطحی، سنگهای دارای شکستگیهای بسیار یا دارای لایه‌های افقی که در آنها تزریق پرده‌ای نمی‌تواند کارایی چندانی داشته باشد [۴].

**پ: تزریق حفره‌ای (Cavity filling) :**

پردکردن حفره‌ها یکی از انواع تزریق است که کمتر از انواع دیگر روی آن کار شده است. بازدهی تزریق در حفره‌ای که از رس پر شده است. تضمین شده نیست حفره‌های پر شده از آب و هوا و یا درزهای بزرگ و باز را می‌توان با ملات سیمانی با موفقیت تزریق کرد. معمولاً برای پرکردن حفره‌ها نیازبه استفاده از یک مخلوط ماسه‌ای است.

**ت: تزریق گمانه‌ای :**

پر کردن مجدد گمانه‌ها و چاهکهای تزریق،یکی از قسمتهای مهم برنامه تزریق می‌باشد. این گمانه‌ها ممکن است تحت فشار آب مخزن مانند چاههای آزاد کننده فشار عمل کنند و اگر تزریق در آنها کامل نشده باشد ممکن است باعث تراوش بیشتر و ایجاد پدیده پایپینگ شوند.

**ج: تزریق تماسی (contact grouting) :**

تزریق تماسی به تزریق ملات سیمان خالص در سطح تماس سازه بتنی و سطح ماده مجاور گفته می‌شود. تزریق تماسی، حفره‌هایی را که به علت جمع‌شدگی در سطح بتن بوجود آمده‌اند می‌پوشاند.

**چ: تزریق خاک (Soil grouting)**

روشهای تزریق درخاک عبارتند از :

۱- تزریق با غلاف (Casing) : می‌توان یک غلاف را به وسیله حفر گمانه با مته یا فشار اب و یا به وسیله کوبیدن آن به عمق مورد نظر رسانده و سپس همزمان با تزریق ملات در خاک آنرا بالا کشید.

۲- غلاف پوششی ملات

(Grout sheath) : در این روش یک لوله ملات درزدار با استفاده از ملاتهای شکننده‌ای که که از نشست ملات به بالا و بیرون لوله جلوگیری می‌کند به خاک تزریق می‌شود. لوله تزریق مقداری به بیرون کشیده شده و یک غلاف ملات شکننده در زیر لوله به جا می‌گذارد ملات از طریق ترکهای ایجاد شده به وسیله فشار آن در غلاف ملات شکننده زیر انتهای لوله، در خاک تزریق می‌شود.

۳- تزریق با غلاف مجوف (Piercal casing) : در این روش یک ملات مخصوص با غلاف در خاک تزریق می‌گردد. لوله غلاف را می‌توان با فرو بردن یک ابزار پرتاب کننده در آن و شلیک یک ماده انفجاری در رقوم دلخواه سوراخ کرد.

۴- تزریق با استفاده از لوله و مانچت

(Tubes and manchette) : در این روش یک لوله مجوف با یک ملات پوششی خاص به داخل خاک تزریق می‌شود. سوراخهای لوله به وسیله یک غلاف لاستیکی (مانچت) که مانند شیر یک طرفه عمل می‌کنندازبیرون پوشانده شده‌اند. مقاطع سوراخدار لوله درست در نقطه مقابل محل‌های تزریق قرار می‌گیرند [۵].

**روشهای تزریق**

**۱-روش تزریق مرحله‌ای(Stage grouting) :**

در این روش عملیات حفاری و تزریق به طور همزمان از بالای گمانه شروع شده و در مرحله بعد حفاری و تزریق در نقاط عمیق‌تری انجام می‌شود. هر مرحله از حفاری زمانی پایان یافته تلقی می‌گردد که یا به عمق مشخصی که از قبل تعیین شده رسیده و یا اینکه شرط معینی ارضا شود.

مزایا : تزریق مرحله‌ای بدون توجه به عمق از بالای گمانه شروع شده و معمولاً با یک لوله کوتاه قابل انجام است این روش نیاز به نصب سیستم پکر در اعماق زیاد ندارد. در این روش سنگ سطحی تحت فشارهای فزاینده‌ای قرار می‌گیرد، زیرا تزریق عمقهای پایین‌تر تا حدودی روی آن تأثیر دارد.

معایب : مهمترین نقطه ضعف این روش وجود خطر تورم یا بلند شدن سنگ سطحی می‌باشد. تورم پی موجب هدر رفتن مقدار زیادی ملات شده و ممکن است روی سنگ و یا سازه‌های بالا یا مجاور آن اثر تخریبی بگذارد. اشکال دیگر این روش هزینه بالای آن می‌باشد.

**۲-روش تزریق محدود (Stop grouting)** : در این روش که گاهی آنرا تزریق مرحله‌ای پایین به بالا می‌نامند، طولی از گمانه که در آن تزریق انجام می‌شود به وسیله پکر یا کلاهکهای انبساطی بسته می‌شود. دراین روش ابتدا گمانه تا انتها حفاری شده و در آن آزمایش فشار انجام می‌گردد و سپس تزریق در آن در مراحل متوالی از قسمت انتهایی گمانه به بالا انجام می‌شود.

مزایا : در این روش نقاط ضعف پی که در هنگام حفاری تعیین می‌شود را می‌توان به وسیله کلاهکهای انبساطی یا پکر محدود کرد و راهکارهای مناسب برای بهسازی آن را بدست آورد.

معایب : در بعضی از موارد، ملات،پکرها یا کلاهکهای انبساطی رادور زده و از طریق شکستگیها و درزهای قائم یا نزدیک به قائم به بیرون محدوده در حال تزریق نفوذ می‌کند. در این روش نمی‌توان با استفاده از کلاهکهای انبساطی در سنگهای شکسته یا دارای شکستگی و در سنگهای دارای حفره‌های بزرگ و یا سنگهایی که بر اثر حل شدن در آب کندویی شده‌اند شرایط خوبی از نظر آب‌بندی ایجاد کرد.

**۳-تزریق مجموعه‌ای (Series grouting):**

این روش مشابه تزریق مرحله‌ای است با این تفاوت که تزریق در مراحل عمیق‌تر در گمانه‌های جدید حفر شده در مجاورت گمانه قبل انجام می‌شود.

مزایا : در این روش، تزریق از گمانه‌های جدید و در سطح بکر سنگ انجام می‌گیرد و از این نقطه نظر تعداد بیشتری از حفره‌های سنگ در معرض تزریق قرار می‌گیرند و ملات تزریق شده به گمانه بر اثر شستشو و تخلیه هدر نمی‌رود.

معایب : معایب عمده تزریق مرحله‌ای خطر تورم و بلند شدن شالوده و زیاد بودن هزینه و زمان لازم برای تزریق، در مورد روش تزریق مجموعه‌ای نیز صادق هستند.

**٤-تزریق مداری (Ctrcuit grouting) :**

این روش تزریق نیاز به یک سیستم تزریق دو لوله‌ای دارد. خط پمپاژ به لوله‌ای که از طریق یک کلاهک انبساطی یا پکر یا کلاهک مخصوص تا پنج فوت در گمانه فرو رفته است متصل می‌باشد. جریان ملات از این لوله، گمانه را پر کرد، از طریق گشودگی موجود در کلاهک انبساطی به لوله برگشت وارد شده و به مخزن ملات بر می‌گردد تا مجدداً در خط تزریق قرار گیرد. در این صورت هنگامی که فشار پمپاژ از فشار تزریق مطلوب بیشتر شود، گمانه تزریق تبدیل به جزئی از سیستم تزریق می‌گردد.

مزایا : ملات در کل گمانه تا زمان پایان یافتن تزریق به صورت تر باقی می‌ماند. به این ترتیب گشودگیهای کوچک که در زیر گشودگیهای بزرگ قرار می‌گیرند می‌توانند پس از پر شدن گشودگیهای بزرگ، مورد تزریق قرار گیرند. حفره‌های بزرگ را می‌توان با قرار دادن لوله تزریق در آنها با فشار تزریق کرد.

معایب : اگر پکر تقریباً نزدیک بالای گمانه نصب شود تزریق کل گمانه با فشار کم انجام می‌شود. اگر پکر چندین فوت زیر سطح زمین نصب شود ملات به قسمت بالای سنگ نفوذ می‌کند. برای نصب سیستم مدار جریان رفت و برگشت ملات به گمانه قطورتری نیاز می‌باشد. هزینه این روش از روش مرحله‌ای یا محدود بیشتر است.

**۵- روش ثقلی (ترمی)، (Tremie) :**

در مواردی به کار می‌رود که حفره‌های بزرگی در ساختگاه وجود دارند و می‌توان ملات را آزادانه به آنها تزریق کرد. مثالهایی ازاین مواردرا می‌توان درتشکیلات زمین‌شناسی قابل حل در آب گدازه‌های بازالت و غارهای معدنی نام برد [۶].

## مشخصات سیستم انحراف آب در سد خاکی برنجستانک

سد خاکی برنجستانک بر روی رودخانه برنجستانک واقع در بخش شیرگاه شهرستان قائم شهر از استان مازندران واقع شده است. تاج این سد ۱۸۰ متر و ارتفاع آن ۹۵ متر است. مساحت دریاچه پشت آن حدود یک کیلومتر مربع و حوضه آبریز آن در سطح پنجاه و شش کیلومتر مربع می‌باشد. برای انحراف آب در طول ساخت و نیز به منظور تعبیه لوله‌های آبگیری از یک کالورت مستطیلی شکل (Boxculver) که در داخل پی و در عمق مابین ۴/۵ الی ۶ متر زیر خاکریز سد قرار دارد استفاده به عمل آمده است و ابعاد آن ۲۸۰ سانتی‌متر (جهت قائم) در ۵۳۰ سانتیمتر (جهت افقی) می‌باشد. برای افزایش طول مسیر جریان و کاهش فشار از پایین به بالا در زیر کالورت و نیز افزایش کیفیت ژئومکانیکی بستر آن از پرده آب بند پیشنهاد می‌شود.

همچنین با آزمایشاتی که از نظر نفوذپذیری در محل روی خاک طبیعی(محور سد در عمق‌های سطحی)

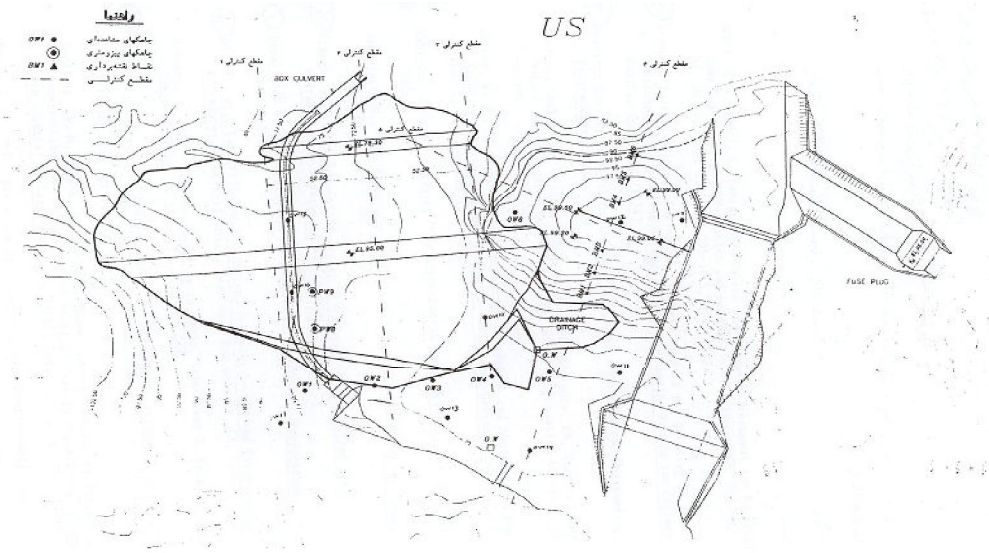
انجام شده می‌توان دید که این خاک با دانسیته و رطوبت طبیعی در صحرا دارای نفوذپذیری حدود ۱۰P-۵P cm/see می‌باشد[ ۳].

## مشخصات مصالح گمانه‌های حفر شده زیر کالورت

برای تعیین مشخصات مصالح زیر کالورت دو گمانه در کالورت مطابق شکل – ۱ حفاری شده است. گمانه ow B15B به فاصله ۹۳ متر از انتهای کالورت و گمانه ow **B16B** به فاصله ۱۳۳ متر از انتهای کالورت می‌باشد.

مشخصات حفاری گمانه ow B15B به شرح زیر است :

۱- نوع حفاری : حفاری دورانی با تریکون
۲- عمق حفاری در لایه بتن مسلح یک متر
۳- عمق حفاری در آبرفت درشت دانه به قطر ۱۱۳ میلیمتر ۰/۵ متر
۴- عمق حفاری در آبرفت ریز دانه به قطر ۱۱۳ میلیمتر ۱/۵ متر
۵- طول لوله جدار ۳ متر و قطر آن ۱۱۳ میلی‌متر می‌باشد.



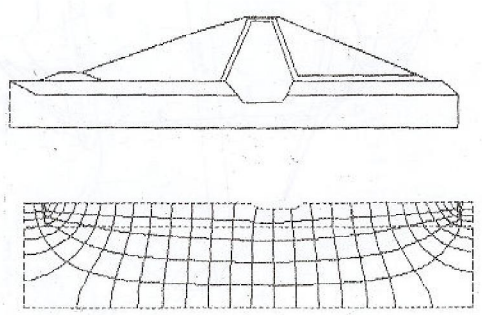

**شکل-۱- موقعیت گمانه هایowB15Bو owB16B در پلان کلی طرح سد خاکی برنجستانک**

**مشخصات حفاری گمانه ow B16B به شرح زیر است:**

۱- نوع حفاری : حفاری دورانی با تریکون
۲- عمق حفاری در لایه بتن مسلح ۱/۰۵ متر
۳- عمق حفاری در آبرفت درشت دانه با قطر ۱۱۳ میلیمتر ۰/۵ متر
۴- عمق حفاری در آبرفت ریز دانه با قطر ۱۱۳ میلی‌متر ۱/۵ متر
۵- طول لوله جدار ۳ متر و قطر آن ۱۱۳ میلی‌متر می‌باشد.
سطح آب در چاهک نزدیک به دهانه کالورت که در سمت راست کالورت حفر شده است ۳۱ cm از سطح لوله و در چاهک سمت چپ که در بالا دست کالورت واقع است ۹ cm اندازه‌گیری شده است. در این شرایط ارتفاع آب در بالا دست سد
۲۵/۷ متر و ارتفاع آب در پایین دست سد در گمانه ۲ ow برابر ۴/۵۸ متر اندازه‌گیری شده است.

## مشخصات پیشنهادی برای تزریق کالورت سد خاکی برنجستانک

بااستفاده ازنرم افزار seep.۳D مقدار فشار از پایین به بالا (Uplift) با توجه به پتانسیل بدست آمده از جدول ۱ و شکل -۲ محاسبه شده است [۴]. با توجه به این جدول و شکل -۲ حداکثر فشار تزریق در زیر کالورت سد برنجستانک تا فاصله ۷۰ متری از انتهای کالورت برابر ۲/۵ بار و از فاصله ۷۰ تا ۱۴۰ متری آن برابر ۱ بار تعیین شده است. میزان فشار تزریق تا فاصله ۷۰ متری از انتهای کالورت در عمق ۰-۱/۵ متری برابر ۱/۵ بار و در عمق ۱/۵-۳ متری برابر ۲/۵ بار می‌باشد. این فشار در فاصله ۷۰-۱۴۰ متری از انتهای کالورت در عمق ۰-۱/۵ متری برابر ۰/۵ بار و در عمق ۱/۵ تا ۳ متری برابر۱بار تعیین گردیده است. می‌توان از روش تزریق مرحله‌ای یا روش Manchette برای انجام عملیات تزریق درزیر کالورت سد خاکی برنجستانک استفاده کرد. برای دوغاب مورد استفاده در عملیات تزریق کالورت سد فوق می‌توان مخلوطی از آب و سیمان همراه بابنتونیت ومواد افزودنی دیگر(سیلیکات سدیم) را پیشنهاد کرد. سیمان مورد مصرف در ساخت دوغاب باید با مشخصات ASTM-C۱۵۰ مطابقت داشته ومی‌توان ازسیمان پرتلند تیپ دو استفاده نمود. بنتونیت به کار رفته باید با درجه فعالیت زیاد(High activated type) با حداقل حد روانی ۲۰۰ درصد باشد. نسبت وزنی اختلاف بنتونیت به سیمان در پرده آب بند ۵ درصد و برای تزریق تحکیمی ۳ درصد پیشنهاد می‌گردد. آب باید صاف و تمیز بوده و دارای ذرت حامد معلق کمتر از ۰/۲ درصد، موادمحلول کمتراز۳/۵درصد،کلر کمتر از ۱ درصد، سولفات کمتر از ۰/۳ درصد و درصد قلیایی کمتر از ۰/۰۶ باشد. برای افزایش شعاع تاثیر تزریق وبالا بردن کیفیت عملیات تزریق،می‌توان از محلول سیلیکات من_اسب،(با افزودن سیلیکات سدیم غلیظ با نسبت آب به سیلیکات سدیم ۴ به ۱) استفاده می‌شود. سیلیکات سدیم از نوع خنثی و دارای وزن مخصوص ۱/۳۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب پیشنهادمی‌گردد [۵].



**شکل-۲- شبکه جریان در زیر کالورت**

**جدول-۱- مقادیر فشار از پایین به بالا در فواصل مختلف زیر کالورت**

| فاصله (m) | باقیمانده (m) | فشار uplift (at) | فاصله (m) | باقیمانده (m) | فشار uplift (at) | فاصله (m) | باقیمانده (m) | فشار uplift (at) | فاصله (m) | باقیمانده (m) | فشار uplift (at) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 70 | 2.75 | 37.45 | 61.745 | 1.92 | 106.76 | 50.81 | 0.83 | 120.91 | 47.81 | 0.53 |
| 1.333 | 70 | 2.75 | 39.00 | 61.490 | 1.89 | 108.33 | 50.53 | 0.80 | 122.49 | 47.35 | 0.48 |
| 2.667 | 70 | 2.75 | 40.55 | 61.24 | 1.87 | 109.91 | 50.24 | 0.77 | 124.06 | 46.89 | 0.43 |
| 4.00 | 70 | 2.75 | 56.05 | 58.86 | 1.63 | 111.48 | 49.94 | 0.74 | 125.63 | 46.37 | 0.38 |
| 5.33 | 70 | 2.75 | 57.6 | 58.63 | 1.61 | 113.05 | 49.63 | 0.71 | 127.21 | 45.78 | 0.32 |
| 6.667 | 70 | 2.75 | 59.15 | 58.41 | 1.59 | 114.62 | 49.30 | 0.68 | 128.78 | 45.12 | 0.26 |
| 8.00 | 69.252 | 2.67 | 60.700 | 58.19 | 1.56 | 102.04 | 51.62 | 0.91 | 130.35 | 44.37 | 0.18 |
| 9.55 | 68.493 | 2.59 | 62.25 | 57.840 | 1.53 | 103.621 | 51.36 | 0.88 | 131.92 | 43.512 | 0.1 |
| 11.100 | 67.83 | 2.53 | 63.80 | 57.75 | 1.52 | 105.19 | 51.09 | 0.85 | 133.5 | 42.5 | 0 |
| 26.6 | 63.68 | 2.08 | 65.35 | 57.53 | 1.50 | 106.76 | 50.81 | 0.83 | 134.75 | 42.5 | 0 |
| 28.15 | 63.38 | 2.08 | 66.900 | 57.32 | 1.48 | 108.33 | 50.53 | 0.80 | 136.00 | 42.5 | 0 |
| 29.70 | 63.09 | 2.05 | 68.45 | 57.11 | 1.46 | 109.91 | 50.24 | 0.77 | 137.25 | 42.55 | 0 |
| 31.25 | 62.80 | 2.03 | 70.00 | 56.91 | 1.44 | 111.48 | 49.94 | 0.74 | | | |
| 32.80 | 62.535 | 2.03 | 100.47 | 51.88 | 0.93 | 113.05 | 49.63 | 0.71 | | | |
| 34.350 | 62.266 | 1.97 | 102.04 | 51.62 | 0.91 | 114.62 | 49.30 | 0.68 | | | |
| 35.90 | 62.003 | 1.95 | 103.621 | 51.36 | 0.88 | 116.20 | 48.96 | 0.64 | | | |
| | | | 105.19 | 51.09 | 0.85 | 114.77 | 48.60 | 0.61 | | | - |
| | | | | | | 119.34 | 48.22 | 0.57 | | | |

## نتیجه‌گیری

۱- عملیات تزریق در سدها برای کاهش جریان نشت آب از طریق پی سد، جلوگیری از فرسایش داخلی و شسته شدن ذرات ریز از هسته به داخل درز و شکافهای پی و کاهش فشار هیدرواستاتیک در قسمت پایین دست پی به کار می‌رود. از آنجا که روشها و تجهیزات لازم برای تزریق و زهکشی در یک ساختگاه معین و برای یک سازه خاص در درجه اول به شرایط زمین‌شناسی آن بستگی دارد، برنامه انجام تحقیقات زمین شناسی باید کاملا تجامع و مناسب باشد.

۲- تزریق آزمایشی صحیحترین اطلاعات لازم برای طراحی برنامه کامل تزریق و تخمین مقدار ملات مورد نیاز را فراهم می‌آورد. بدین منظور می‌توان از روشهای پرده تزریق آزمایشی یک خطی، تزریق دایره‌ای و تزریق چند خطی استفاده کرد.

۳- به منظور جلوگیری از تراوش زیر سدها و محدود کردن تراوش در یک منطقه خاص می توان از تزریق پرده‌ای و با تعبیه یک سیستم زهکشی مناسب استفاده کرد. تزریق سطحی معمولا در یک محدوده معین و در گمانه‌های کم عمقی که طبق یک الگوی خاص و یا به صورت شبکه قرارگرفته‌اند انجام می‌شود. تزریق سطحی برای افزایش مقاومت سنگ و پی و جلوگیری از تراوش در لایه های هوازده یا نسبتا متلاشی سطحی انجام می‌شود. تزریق سطحی با فشار کم یا نزدیک به فشار ثقلی انجام میگیرد.

۴- بازدهی تزریق در حفره‌ای که از رس پر شده است تضمین شده نیست، اگر چه می‌توان با ملات سیمانی حفره های پر شد از آب و هوا و یا درزهای بزرگ و باز را با موفقیت تزریق کرد.

۵- تزریق تماسی، حفره‌هایی را که به علت جمع شدگی در سطح بتن بوجود آمده اند می‌پوشاند. تزریق تماسی در واقع ابزاری است که از آن برای اتصال و درگیری کامل بیتن سازه بتنی یا فولادی و سطح سنگ مجاور آن استفاده می‌شود. در روش تزریق محدود که آنرا تزریق مرحله‌ای پایین به بالا نیز می‌نامند، نقاط ضعف پی در هنگام حفاری مشاهده می‌شود را می‌توان به وسیله کلاهکهای انبساطی یا پکر

محدود کرده و راهکارهای مناسب برای بهسازی آن را اجرا کرد. در روش تزریق مجموعه‌ای، تزریق از کمانه‌های جدید و در سطح پکر انجام می‌شود و از این نظر تعداد بیشتری از حفره‌های سنگ در معرض تزریق قرار می‌گیرد. ملات تزریق شده به گمانه بر اثر شستشو و تخلیه به هدر نمی‌رود. در تزریق مداری ملات در کل گمانه تا زمان پایان یافتن تزریق به صورت تر باقی می‌ماند. به این ترتیب گشودکیهای کوچک که در زیر گشودگیهای بزرگ قرار می گیرند می‌توانند پیش از پر شدن گشودگیهای بزرگ مورد تزریق قرار گیرند. روش ثقلی (ترمی) در مواردی به کار می‌رود که حفره‌های بزرگی در ساختگاه وجود داشته می‌توان ملات را آزادانه به آنها تزریق کرد.

۶- در کالورت سد خاکی برنجستانک تا فاصله ۷۰ متری از انتهای کالورت فشار تزریق حداکثر ۲/۵ بار و از فاصله ۷۰ تا ۱۴۰ متری آن حداکثر فشار با توجه به مقدار فشار از پایین به بالا (UPLIFT) یک بار تعیین شده است. میزان فشار تزریق تا فاصله ۷۰ متری از انتهای کالورت در عمق ۰-۱/۵ متری برابر ۱/۵ بار و در عمق ۱/۵-۳ متری برابر ۲/۵ بار می‌باشد این فشار در فاصله ۷۰-۱۴۰ متری از انتهای کالورت در عمق ۰-۱/۵ متری برابر ۰/۵ بار و در عمق ۱/۵ تا ۳ متری برابر ۱ بار تعیین شده است.

۷- پیشنهاد می‌شود از روش تزریق مرحله‌ای یا روش مانشت برای انجام عملیات تزریق در کالورت سد خاکی برنجستانک استفاده شود. گمانه‌هایی که برای ایجاد پرده آب بند در زیر کالورت سد خاکی برنجستانک حفر خواهند شد باتوجه به نتایج تزریق آزمایشی باید در یک ردیف قرار داشته و به روش نیمه کردن فواصل گمانه ها اجرا گردند.

۸- از نظر ترتیب اجرائی ابتدا گمانه‌های اولیه به فاصله ۳۰ متر حفاری و تزریق می‌شوند. عمق این گمانه‌ها با توجه به ساختمان زمین‌شناسی زیر کالورت که از گمانه‌های اکتشافی به دست آمده است ۳ متر می‌باشد. این گمانه‌ها به ترتیب لایه‌های شن سیلتی (GC) و رسهای ماسه‌ای یا سیلتی (CL) را قع خواهند کرد.

۹- گمانه های مرحله دوم (S) در وسط فواصل گمانه‌های (P) به فاصله ۱۵ متر جای می‌گیرند. گمانه‌های مرحله سوم (q) در وسط فواصل گمانه‌های (S) به فاصله ۷/۵ متر قرار خواهند گرفت.

## مراجع

۱- American society of civil Engineers, “purpose or need for Grouting in the Treatment of Foundations,” proceeding, Engineering Foundation Conference, Pacific Grove, CA (1974).

۲- American Society of civil Engineers, “Grouting in Geotechnical Engineering,” proceedings (1982).

۳- گزارشات زمین شناسی و ژئوتکنیک سد خاکی برنجستانک (سازمان آب منطقه هایاستان مازندران)

٤- Tallard, G. R and c. Caron, Chemical Grouts for Soils, Vols ۱ and ۲, Federal Highway Administration, Reports FHWA-RD-77-50 and FHWA-RD-7751, june (1977).

٥- Chung, T. J (1978) finite Element Analysis in fluid Dynamics. McGraw Hill, New York.

# Optimal Injection Method In Divresion Structures Of Earth Dam

**Abolfazl Shamsaee**
Professor Of Sharif University , Tehran , Iran

**Sina Fardmoradi nia**
Azad University Academic Staff Member

**Abstract**

Pressurized injection operation means the pressurized injection of a liquid or solution into pore of a mass of soil or stone and/ or cavity between them and built structures . The injected mortar mustconstitute a solid and / or jel-like matter inside the cavites , and / or the operations of the injection must cause sedimentation of the solid matter suspending in these cavites. The primary purpose of the pressurized injection of soil or stone masses is to increase the resistance and durability of these masses and / or decreae their permibility . In this paper , the optimal pressurized injection has been presented for the improvement of the areas are not in good conditions in terms of substructure , and necessary instructions have been menitioned o prevent such substructure problems. In this research , the injection method of diversion structures in Berenjestank culvert earth dam has been specified , and its specification have been mentioned.

**Keywords***:*

Uplift pressure, Manchette injection method, Experimental injection