

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بنام نفش بند صفحه خاک
عزارا افروز مه رویان افلاک



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش آبشناسی

موضوع:

ارزیابی آبگذری تکیه گاهها و پی سد گتوند و راههای کاهش آن

نگارنده :

نادر یزدان بخش

اساتید راهنما :

دکتر ناصر حافظی مقدس

دکتر غلام عباس کاظمی

زمستان ۸۶

تقدیم به همنسرم مهربانم



فرزند دل‌بندم

تشکر و تقدیر

با حمد و سپاس فراوان از خداوند منان که به من توفیق آموختن پرتوئی از دانش هستی و آشنایی با گوشه‌ای از حقایق آفرینش و گهواره کهن را عطا فرمود.

قلم از نگارش حق زحمات و مساعدتهای اساتید گرانقدر و دوستان بزرگوار ناتوان است، اما وظیفه حکم می‌کند که هر چند ناچیز ولی در حد توان تشکر و قدردانی نمایم.

از اساتید محترم جناب آقایان دکتر ناصر حافظی مقدس و دکتر غلام عباس کاظمی که با راهنمایی‌های ارزشمند و بزرگواری خود مرا در نگارش و به ثمر رسیدن این تحقیق یاری رساندند سپاسگزارم.

از اساتید بزرگوار خود جناب آقایان دکتر کرمی و دکتر دولتی که در این مسیر با اهدای گوهر دانش خویش دیدگاهم را فراتر ساختند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دیگر اساتید بخش زمین شناسی دانشگاه و کلیه کارشناسان این بخش جناب آقای شاه حسینی و خانم سعیدی، سپاسگزارم.

از تمامی دوستان و کارشناسان عزیزی که کمکهای آنها باعث پیشبرد این پایان نامه شد کمال تشکر و قدر دانی را دارم و برایشان سعادت‌مندی آرزومندم.

در پایان از خانواده‌ام، بویژه پدر و مادر مهربانم که پشتیبانی و مشوق من در تمامی مراحل زندگی و تحصیلم بودن و همسر فداکارم که با صبر و شکیبایی فراوان در طول دوره تحصیل این مسیر را برایم هموار ساخت خالصانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

پیک / امید همواره رهپوی کویستان و

سهند سعادت رام تازیانه بختان باد

نادر یزدان بخش زمستان ۸۶

چکیده

هدف از مطالعه حاضر بررسی آبگذری پی و تکیه گاههای سد گتوند و ارائه راهکاری مناسب جهت کاهش آن می‌باشد. برای این منظور ابتدا عوامل مؤثر در آبگذری و روشهای متداول کاهش آن در سدهای خاکی مورد بررسی قرار گرفته و سپس با بررسی های صحرایی و مطالعات ژئوتکنیکی وضعیت زیر سطحی محور و تکیه گاه سد گتوند بررسی شده است. همچنین بر اساس نتایج آزمایشات لوژان و لوفران، نفوذپذیری مصالح تشکیل دهنده پی و تکیه‌گاه و رفتار آنها تحت فشار های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. عملیات تزریق آزمایشی و نتایج آبگذری مبین این است که با انتخاب روش بهینه تزریق شامل نسبت اختلاط سیمان و فشار مناسب و نیز استفاده از افزودنی های مناسب می‌توان آبگذری پی سد گتوند را تا حد مورد نیاز کاهش داد. از جمله موارد مورد بررسی در این مطالعه، ارزیابی رفتار توده سنگ سد گتوند در برابر آزمایش فشار آب و دسته بندی آن و نقش فشار در رفتار توده سنگ و خواص متفاوت آن می‌باشد. بر مبنای یافته های فوق در مطالعه حاضر روشهای حفاری و تزریق و نیز فشار مؤثر در طراحی پرده تزریق از داخل گالری بازرسی و نیز فازهای مختلف ساختگاه سد به صورت دستورالعمل های اجرایی ارائه شده است.

Abstract

The purpose of this research is to evaluate the water loss from foundation and embankments of Gotvand dam and present suitable solutions aim at decreasing these water losses. To achieve this, firstly, effective factors in seepage and usual methods for reducing it, in earth dams have been evaluated. Then, with the aid of field investigations and geotechnical studies, sub surface condition of the embankments of the dam was assessed. In addition, by undertaking Lujon and Lofran tests, permeability of foundation and embankments materials and their behavior under different pressures, have been studied. The results of injection grout test and seepage shows that by choosing suitable methods for injection such as correct percentage of cement mixture, optimum injection pressure and also using suitable additives, seepage of Gotvand dam can be reduced to necessary amount. Other topics evaluated in this study include behavior of stone mass of Gotvand Dam against water pressure test and its classification and the properties and role of pressure in controlling the behavior of stone mass. The results of this research have led to the development of some protocols that help in the selection of the types of drilling and injection as well as correct effective pressure in designing injection screen from inspection gallery and within different phases of dam structure.

فهرست مطالب

شماره صفحه

عناوین

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱- معرفی سد گتوند
۴	۲-۱- تاریخچه طرح
۴	۳-۱- موقعیت و مشخصات رودخانه کارون
۶	۴-۱- اهداف و روش کار در مطالعه حاضر
۶	۵-۱- نقش و اهمیت مطالعات انجام شده
۷	۶-۱- وضعیت اقلیمی و هواشناسی

فصل دوم: زمین شناسی و زمین ریخت شناسی محدوده سد گتوند

۹	۱-۲- زمین شناسی عمومی منطقه
۱۲	۲-۲- چینه شناسی
۱۶	۳-۲- خصوصیات تکتونیکی
۱۹	۴-۲- ناپیوستگی ها
۲۰	۱-۴-۲- توده نابرجای جناح راست
۲۱	۲-۴-۲- بلوک گسل خورده ناودیدی شکل جناح راست
۲۲	۳-۴-۲- توده نابرجای جناح چپ
۲۴	۵-۲- زمین شناسی عمومی محدوده سد
۲۵	۱-۵-۲- محور سد
۲۶	۲-۵-۲- جناح راست
۲۷	۳-۵-۲- جناح چپ
۲۷	۶-۲- هیدروژئولوژی
۲۹	۱-۶-۲- سطح آب زیرزمینی
۲۹	۲-۶-۲- شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی
۳۰	۳-۶-۲- آبدهی چشمه ها در جناحین

فصل سوم: تخلخل و نفوذ پذیری سنگها

۳۵	۱-۳- منافذ موجود در سنگ
۳۶	۲-۳- تخلخل
۳۷	۳-۳- عوامل مؤثر در تخلخل
۴۰	۴-۳- تراوش آب زیرزمینی و نفوذپذیری شالوده سدها
۴۱	۵-۳- اندازه گیری صحرایی نفوذ پذیری سنگها
۴۱	۱-۵-۳- آزمایش لوفران
۴۴	۲-۵-۳- نفوذپذیری لوژان
۴۸	۳-۵-۳- کاربرد آزمایش لوژان در ارزیابی تزریق پذیری

۴۹	 ۴-۵-۳- تفسیرهای خطا در آزمایش های فشار آب
	فصل چهارم: روش آب بندی و کنترل تراوش
۵۰	 ۱-۴- اهمیت کنترل تراوش و آب بندی
۵۲	 ۲-۴- خرابی حاصل از زه
۵۲	 ۱-۲-۴- خرابی پوسته ای شدن
۵۳	 ۲-۲-۴- خرابی حاصل از رگ آبی
۵۳	 ۳-۴- روشهای کاهش تراوش پی سدها
۵۴	 ۱-۳-۴- ترانشه آب بند
۵۴	 ۲-۳-۴- آب بند ناقص
۵۴	 ۳-۳-۴- آب بند سپری
۵۵	 ۴-۳-۴- پرده تزریق
۵۶	 ۵-۳-۴- دیوار آب بند
۵۹	 ۴-۴- مزایا و معایب آب بندها
۵۹	 ۵-۴- روشهای کنترل تراوش
۵۹	 ۱-۵-۴- زهکش
۶۰	 ۲-۵-۴- پنجه سنگی
۶۱	 ۳-۵-۴- چاه های کاهش فشار
۶۲	 ۶-۴- رابطه نفوذ پذیری و تزریق پذیری
۶۷	 ۷-۴- نمونه ای از معضلات تراوش در پی سدهای ایران
۶۷	 ۱-۷-۴- سد کرخه
۶۷	 ۲-۷-۴- سد لار
۶۹	 ۸-۴- نتیجه گیری فصل
	فصل پنجم: روشهای آب بندی در سد گتوند
۷۱	 ۱-۵- مقدمه
۷۳	 ۲-۵- انواع آب بندها در سد گتوند
۷۴	 ۳-۵- برنامه کاری تزریق آزمایشی
۷۴	 ۴-۵- آرایش گمانه های تزریق
۷۵	 ۵-۵- نسبت های اختلاط دوغاب
۷۶	 ۶-۵- روش تزریق
۷۷	 ۷-۵- فشارهای تزریق
۸۱	 ۸-۵- نتایج تزریق
۸۵	 ۹-۵- مقایسه فشار شکست سنگ در آزمایش آب و تزریق سنگ
۸۷	 ۱۰-۵- رفتار توده سنگ سد گتوند در برابر آزمایش فشار آب
۸۸	 ۱۱-۵- نقش فشار در رفتار توده سنگ گتوند
۹۱	 ۱۲-۵- ناهمخوانی نتایج لوژان و خوردند سیمان
۹۳	 ۱۳-۵- طرح پیشنهادی پرده تزریق از داخل گالری بازرسی
۹۳	 ۱-۱۳-۵- پرده آببند جناح چپ
۹۵	 ۲-۱۳-۵- پرده آببند مرکز پی (جناح مرکزی)
۹۸	 ۳-۱۳-۵- پرده آببند جناح راست
	فصل ششم: جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۳	 جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات
	فهرست

فصل اول

کلیات

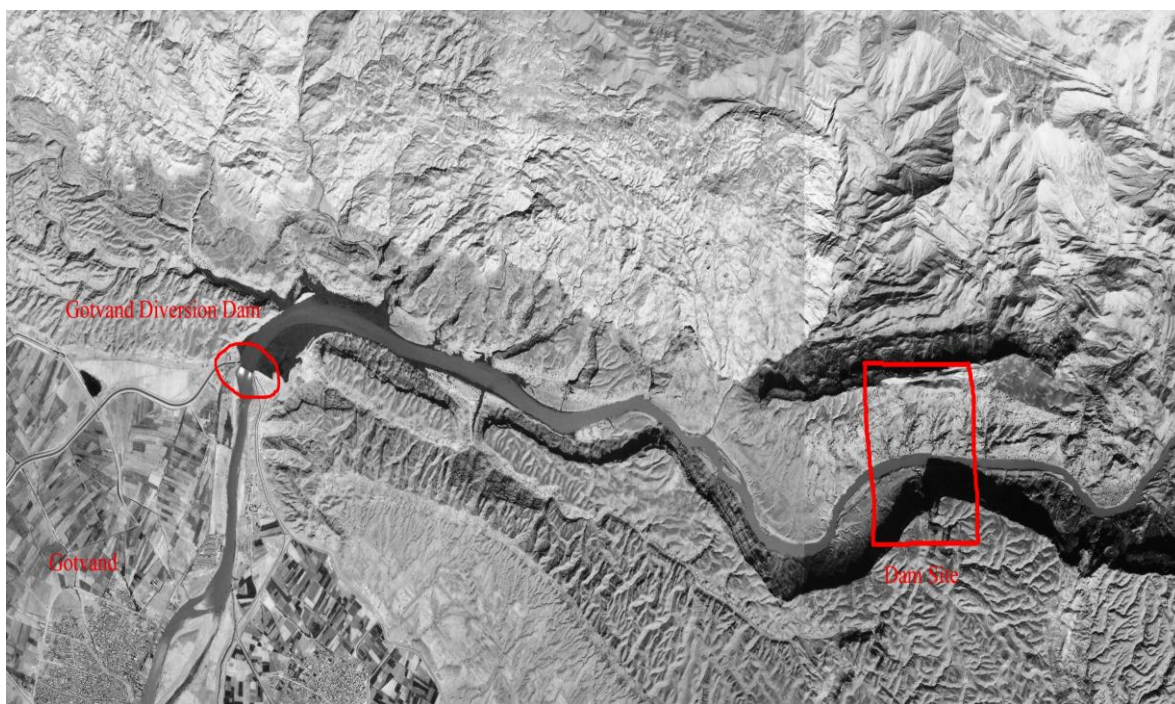
در این فصل موارد زیر مورد بحث قرار می‌گیرد:

- معرفی سد گتوند
- تاریخچه طرح
- مشخصات رود خفیه کارون و حوضه آبریز آن
- اهداف و روش مطالعه
- مطالعات انجام شده در منطقه
- شرایط اقلیمی

فصل اول: کلیات

۱-۱- معرفی سد گتوند

ساختگاه سد و نیروگاه گتوند علیا در استان خوزستان بر روی رودخانه کارون، در فاصله ۳۸۰ کیلومتری از مصب رودخانه و در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان شوشتر و در نزدیکی شهر گتوند واقع شده است شکل (۱-۱ و ۲-۱). مساحت حوضه آبریز آن ۳۲۴۲۵ کیلومتر مربع است. سد گتوند آخرین سد بلندی است که بر روی رودخانه کارون در حال ساخت است.



شکل ۱-۱: تصویر ماهواره ای (LANDSAT 7 TM) موقعیت سایت سد گتوند و بند پایین دست گتوند

سد گتوند علیا از نوع سنگ ریزه‌ای با هسته رسی قائم است. ارتفاع دیواره سد در بلندترین مقطع از کف ۱۷۸ متر و تراز تاج سد در ارتفاع ۲۴۴ متری از سطح دریا پیش بینی شده است. طول و عرض سد به ترتیب ۷۶۰ و ۱۵ متر و ضخامت عرض پی ۶۵۰ متر است. سد گتوند در تقسیم بندی انجمن بین المللی سدهای بزرگ (ICOLD)^۱، در رده سدهای بزرگ قرار دارد.

از مهمترین اهداف احداث این سد، تولید سالیانه ۴۲۵۰ میلیون کیلو وات ساعت انرژی برق آبی و قابل توسعه تا دو برابر، ذخیره سازی آب کارون به میزان ۴/۵ میلیارد متر مکعب، تنظیم آب رودخانه تا ۳۴۰ متر مکعب بر ثانیه و کنترل سیلابهای مخرب فصلی و آبهای خروجی از سدهای بالا دست، تنظیم آب کشاورزی دشت خوزستان و ایجاد جاذبه های گردشگری میتوان بر شمرد.

حجم عملیات خاکریزی برای پوسته ۱۸/۵، برای هسته ۳/۱ و برای فیلتر ۲/۶ میلیون متر مکعب خواهد بود، که از منابع قرضه نزدیک به محل سد، بدست خواهد آمد. ظرفیت کل مخزن آن ۴/۵ میلیارد مترمکعب (در حداکثر تراز بهره برداری) بیش بینی شده است.

طراحی سیستم انحراف آب رودخانه، بر اساس سیل ۵۰۰ ساله با دبی لحظه ای ۶۲۱۵ متر مکعب در ثانیه در تراز ۱۳۹ در مخزن فراز بند انجام شده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته، سه رشته تونل به

۱- (International Commission of Large Dams)

ظرفیت تخلیه ۴۱۰۰ متر مکعب بر ثانیه در تراز ۱۴۰ متری احداث شده‌اند که در ساحل چپ قرار دارند. این تونلها هر یک به طول تقریبی ۱۵۰۰ متر حفاری شده‌اند. قطر حفاری شده ۱۱/۶ متر و قطر داخلی تمام شده پس از بتن ۹/۵ متر با مقطع نعل اسبی می‌باشد.

نوع فرازبند سد سنگریزه‌ای با هسته رسی مایل (ادغامی) می‌باشد. ارتفاع و عرض فرازبند به ترتیب ۷۱ و ۱۵ متر در نظر گرفته شده است که حدود ۲/۷ میلیون مترمکعب حجم بدنه آن است. نوع سرریز، اوجی دریچه‌دار با سرسره‌آبی و حوضچه آرامش که موقعیت آن در ساحل چپ رودخانه است. دریچه‌ها از نوع قطاعی به تعداد ۴ عدد می‌باشد. دریچه‌ها ۱۵ متر عرض و ۱۷ متر ارتفاع دارند که با این وضعیت سیلاب طراحی شده ۲۱,۱۷۰ متر مکعب بر ثانیه را جوابگو خواهد بود [۱].

نوع نیروگاه، روزمینی می‌باشد و موقعیت آن در ساحل چپ رودخانه است. ظرفیت نصب شده برای نیروگاه ۱۰۰۰ مگا وات است که قابل توسعه تا ۲۰۰۰ مگا وات خواهد بود. تعداد تونل‌های موجود برای انتقال آب ۴ تونل طراحی شده و با تولید ۲۵۰ مگاوات برق که قابل توسعه تا ۸ واحد ۲۵۰ مگاواتی خواهد بود. نوع توربین، فرانسیس با محور قائم می‌باشد.

۱-۲- تاریخچه طرح

مطالعات پتانسیل آبی رودخانه کارون از اوایل دهه ۱۳۴۰ آغاز شد. در مطالعات مذکور طرح هشت سد بر روی رودخانه کارون پیشنهاد شد. نتایج حاصل از این مطالعات به عنوان پیش فرض مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گرفتند. در سال ۱۳۵۶ با بهره برداری از سد شهید عباسپور (کارون ۱) در کیلومتر ۴۹۰ رودخانه کارون با حجم فعال ۱۳۵۰ میلیون متر مکعب و ظرفیت نصب ۱۰۰ مگاوات، اولین قدم در راه توسعه برق - آبی این رودخانه عملاً برداشته شد.

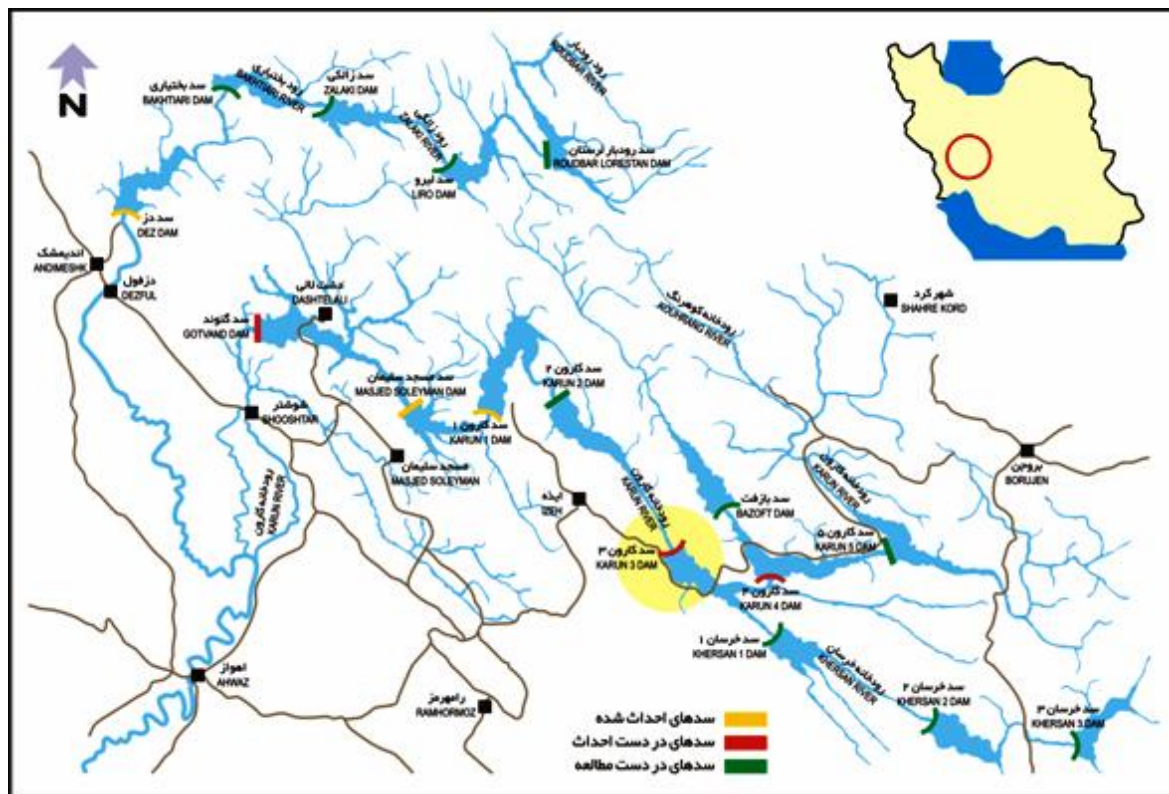
بند تنظیمی گتوند نیز طی سالهای ۱۳۵۳ تا ۱۳۵۴ توسط شرکت بین المللی هارزا در کیلومتر ۳۷۱/۶ رودخانه کارون و در سه کیلومتری بالا دست شهر گتوند برای آبیاری اراضی دشتهای پایین دست ساخته شد. در حد فاصل بین بند تنظیمی گتوند و سد شهید عباسپور حدود ۳۰۰ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد که جهت استفاده انرژی برق - آبی آن سد و نیروگاه آبی ۲۰۰۰ مگا وات مسجد سلیمان (گذار لندر) در دست اجرا می‌باشد. مطالعات این طرح توسط شرکت های مشاور (وابسته به وزارت نیرو) و کایتک (چین) در سال

۱۳۷۶ پایان و توسط شرکت لامایر (آلمان) مورد بازنگری قرار گرفت. مطالعات تکمیلی طرح توسط مشارکت شرکتهای مهتاب قدس و کویینه بلیه (فرانسه) در دست انجام می باشد [۲].

۱-۳- موقعیت و مشخصات رودخانه کارون

رودخانه کارون پر آب ترین و پس از کرخه، طولانی ترین رود ایران است. طول رودخانه کارون ۹۵۰ کیلومتر بوده و در حوضه آبریزی به مساحت ۶۰ هزار کیلومتر مربع در جریان است. کارون تنها رود ایران است که در بخشی از آن امکان کشتیرانی وجود دارد. سرچشمه اصلی این رودخانه از زرد کوه بختیاری و سلسله کوه های زاگرس است که از بهم پیوستن چندین رودخانه فرعی و مهمتر از همه آب ونگ، بهشت آباد، کوه رنگ، دوآب، بازفت، خرسان و منج تشکیل می شود. کارون پس از عبور از مناطق کوهستانی و طی مسیری طولانی در منطقه ای به نام گتوند وارد دشت خوزستان می شود. این رودخانه در شمال شوشتر به دو شاخه تقسیم شده که در جنوب شوشتر به یکدیگر متصل می شوند و در محل بند قیر با پیوستن به رودخانه دز، کارون بزرگ را تشکیل می دهند که پر آب ترین و مهمترین رودخانه ایران است. مهمترین شاخه کارون، رود دز است که در شمال اهواز به آن ملحق می شود. رود کارون در مرز ایران و عراق به اروند رود پیوسته و روانه خلیج فارس می شود.

رودخانه در محل محور در تراز ۸۰ متری از سطح دریا و با امتداد شرقی - غربی جریان دارد. متوسط آبدهی دراز مدت سالیانه رودخانه کارون در محل احداث سد گتوند، ۴۵۳ متر مکعب بر ثانیه و حجم آورد سالیانه آن بیش از ۱۴ میلیارد متر مکعب می باشد. این رودخانه یکی از منابع تأمین کننده انرژی برق - آبی در کشور می باشد. بر روی این رودخانه تا کنون سه سد (کارون ۱، ۳ و ۴) احداث گردیده است (شکل ۱-۲) و چهار سد دیگر در حال ساخت و یا در دست مطالعه می باشند [۲].



شکل ۱-۲: موقعیت سد های واقع در جنوب غربی ایران

۱-۴- اهداف و روش کار در مطالعه حاضر

نقش آب بندها در شالوده، جلوگیری از حرکت کامل آب از زیر هسته و پوسته سد و یا به نوعی طولانی تر کردن مسیر آب می باشد. با این روش از فشار تخریبی زه آب کاسته شده و از شسته شدگی مصالح زیر هسته سد جلوگیری می شود و در نهایت این عمل باعث کاهش دبی خروجی زه می شود.

آب بندی سد گتوند با توجه به شرایط خاص زمین شناسی یکی از مشکلات این پروژه ملی است. پی و تکیه گاه های سد گتوند متشکل از سازند بختیاری و آغا جاری می باشد که در آزمایشات نفوذ پذیری آب گذاری بالایی را نشان می دهند و به روش های متداول تزریق پذیری کمی دارند. هدف از این تحقیق ارائه روش مناسب برای تزریق و آب بندی پروژه می باشد. با توجه به شرایط پیچیده زمین شناسی شالوده سد گتوند و حجم زیاد این سد دو گزینه آب بندی معمول و مخصوص این نوع سدها مورد ارزیابی قرار می گیرد. در این

پایان نامه ابتدا به معرفی سایت گتوند و شرایط پی و تکیه گاههای سد از نظر زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و هیدروژئولوژی پرداخته شده است. سپس به انواع روشهای کنترل تراوش و معضلات ناشی از تراوش پی سدها اشاره شده است. بعد از آن ارزیابی و تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشات تراوش سنجی انجام شده و وضعیت تراوش در پی و تکیه گاههای این سد و تغییرات آن با فشار آب بررسی خواهد شد. همچنین نقش مواد پر کننده و وضعیت سطوح درزه‌ها در تراوش، رابطه بین تراوش سد و وضعیت ساختاری درزه‌های منطقه مورد نظر بررسی شده و در نهایت با مقایسه روشهای مختلف کاهش تراوش سعی به ارائه مناسب ترین روش در مورد کاهش تراوش سد گتوند خواهیم کرد.

۱-۵- نقش و اهمیت مطالعات انجام شده

داده های نفوذپذیری از یک سد باعث می‌شود که متخصصین درک بهتری از پیچیدگی رفتار سد قبل و بعد از آبگیری، و نیروهای متعددی که معمولاً به طور مستقل از یکدیگر به سد وارد می‌شوند داشته باشند. اینگونه بررسی ها اطلاعات قابل توصیفی را برای استفاده در طراحی ها آتی فراهم می‌سازند و باعث پیشرفت هایی در روشهای اجرایی و بهبود اصول طراحی گردیده است. پژوهشگران، به منظور کسب داده‌ها و عملکرد دراز مدت سد، تلاش وافر جت تهیه دستورالعمل‌های لازم و ارائه راهکارهای مناسب که کار کردن با آنها آسان بوده و علاوه بر قابل اطمینان بودن کارایی کافی داشته باشند را انجام داده اند. در مورد پی و تکیه‌گاههای سد گتوند اندازه گیری صحرایی بسیاری، از جمله آزمایشات نفوذپذیری انجام گرفته است. در مطالعات حاضر به بروز پدیده شکست هیدرولیکی و تأثیر آن در نفوذپذیری و تزریق ساختگاه توجه ویژه شده است.

۱-۶- وضعیت اقلیمی و هواشناسی

حوضه آبریز سد گتوند در سلسله جبال زاگرس واقع شده است. حوضه مذکور حد فاصل بین سد مسجد سلیمان (گدارلندر) و سد گتوند را شامل می‌شود. به لحاظ اقلیمی در یک منطقه گرم با تابستان خشک و زمستان های معتدل قرار گرفته است، که قسمت اعظم بارندگی در فصل زمستان رخ می‌دهد. بر

اساس بررسی‌هایی که توسط سازمان آب منطقه ای خوزستان، و در ایستگاه پل شالو (بالا دست سد گتوند) انجام گرفته است. آمار ۶۰ ساله جریان آب حوضه رودخانه کارون در قسمت یاد شده به طور میانگین، سالیانه، ۷۲۷ متر مکعب بر ثانیه بر آورد شده است. متوسط بارندگی سالیانه در حوضه آبریز سد گتوند ۶۲۰ میلی متر بوده است و ارتفاع برف گیر حوضه فوق ۲۰۰۰ متر از سطح تراز دریا می باشد. مساحت برف گیر حوضه آبریز ۱۶ هزار کیلومتر مربع است. حداکثر سیلاب محتمل در محل سد گتوند ۱۵/۳ هزار متر مکعب بر ثانیه بر آورد شده است.

بارندگی‌های این منطقه ناشی از سه نوع توده هوایی زیر است:

الف: توده هوای موسمی اقیانوس هند که در بارش حوضه آبریز کارون تأثیر زیادی ندارد.

ب: توده هوای بحری قطبی که معمولاً رطوبت اندکی در حوضه کارون ایجاد می‌کند.

ت: توده هوای بحری مدیترانه‌ای که باعث ایجاد رگبارهای دوره‌ای زیادی در حوضه کارون می‌شود.

فصل دوم

زمین شناسی و زمین ریخت شناسی محدوده سد گتوند هدف کلی
در این فصل آشنایی با:

- چینه شناسی سازند بختیاری و آغا جاری در محدوده مطالعاتی

فصل دوم: زمین شناسی و زمین ریخت شناسی

محدوده سد گتوند

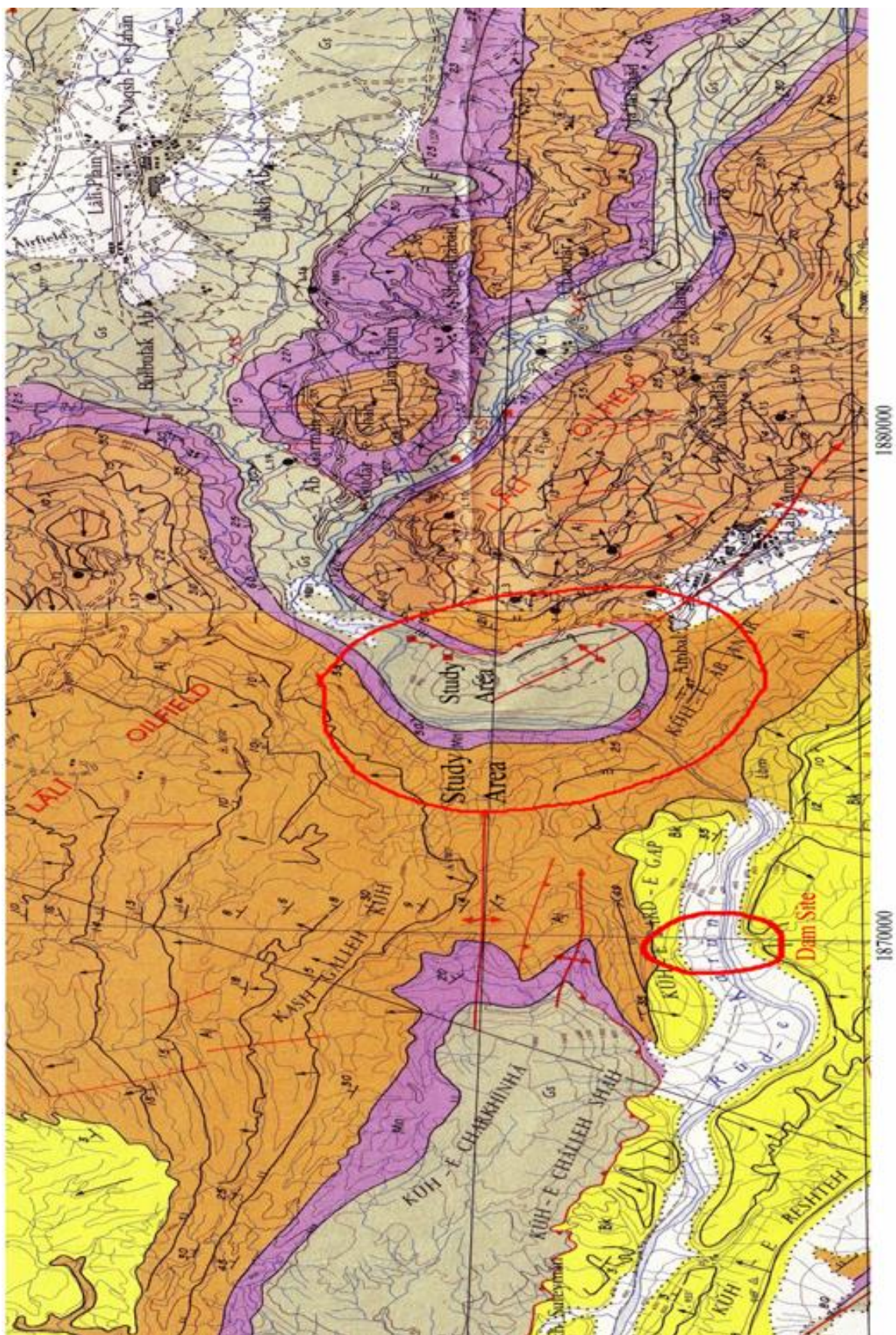
۲-۱- زمین شناسی عمومی منطقه

از نظر جایگاه زمین شناسی، منطقه مورد بررسی در پهنه ساختگاه زاگرس قرار دارد. دو سازند اصلی در محدوده مطالعاتی و ساختگاه سد گتوند، سازند آجاجاری و بختیاری متعلق به گروه فارس^۲ می باشند. قدیمی ترین واحد سنگی در شعاع ۲۰ کیلو متری محل سد، سازند آسماری می باشد. به طور کلی رسوبات بعد از سازند آسماری شامل سازندهای گروه فارس و رسوبات جوانتر می باشد. این واحدهای سنگ چینه ای در لرستان و پلاتفرم فارس دارای ضخامت تقریبی ۳۰۰۰ متر است ولی در فرو افتادگی دزفول دارای ضخامت ۶۰۰۰ متر می باشد.

اولین سازند پس از آسماری، سازند گچساران است که به وسیله سازند های رازک و سپس میشان پوشیده شده است. سازند میشان به وسیله سازند آجاجاری پوشیده می شود و در نهایت سازند بختیاری کلیه سازندهای قدیمی تر در تراسهای باقیمانده از آخرین فازهای کوهزایی زاگروسیین را می پوشاند. با توجه به جمیع خواص سازندهای بعد از آسماری، تمامی این ردیف مبین یک فاز پسروی عمومی به همراه یک فاز کوچکتر پیشروی هم زمان با تشکیل شدن سازند میشان است. همزمان با رسوبگذاری سازند میشان در فروافتادگی دزفول و نواحی جنوبی تر، رسوبات قاره ای آجاجاری در محیط هایی چون رودخانه های مئاندری دشت سیلابی و دلتایی در مناطق شمالی تر، چون لرستان و نواحی شمالی نسبت به آن فروافتادگی، رسوب گذاری شده اند.

سازند بختیاری که خود به نحوی به عنوان رسوبات مجاورتی بخش لهری و تا حدی سازند آغاچاری محسوب می‌شود، بر روی سازند آغاچاری نهشته می‌گردد. این سازند در امتداد سازند بختیاری، سنگ مادر مهم کلیه تراسه‌های رودخانه‌ای در خوزستان و شمال عراق بوده و در ساخت بافت و ترکیب رسوبات رودخانه ای و بادی آن مناطق نقش مؤثری ایفا می‌نماید.

با توجه به گسترش و انتشار سنگ رخساره‌ای این سازندها می‌توان نتیجه گرفت که سازندهای بعد از آسماری به طور کلی در حوضه‌ای با امتداد شمال غرب – جنوب شرق نهشته شده‌اند [۳].



۲-۲- چینه شناسی ساختگاه سد

همانطور که بیان شد پی و تکیه‌گاه سد گتوند از دو سازند آغاچاری و بختیاری تشکیل شده است. همچنین در کف کانال رودخانه نهشته‌های عهد حاضر وجود دارد. در این بخش خصوصیات دقیق تر واحدهای چینه‌ای فوق تشریح شده است.

• سازند آغاچاری

سازند آغاچاری در اثر فرسایش کوههای زاگرس حاصل شده است و به این علت برآورد ضخامت حقیقی آن در نواحی شمالی فروافتادگی دزفول امکان پذیر نیست. سازند آغاچاری متشکل از ماسه‌سنگهای آهکی قهوه‌ای تا خاکستری رنگ، رگه‌های ژئپسی و مارنهای قرمز و سیلتستون شده است. در بسیاری از برشهای اندازه گیری شده ردیف آغاچاری از پایین به بالا دانه درشت شده و در بخش رأسی حاوی قلوله سنگهای و یا کنگلومرا

می شود. سن ارائه شده این سازند به میوسن
میانی تا پلیوسن تغییر داده می شود. سازند
آغا جاری شامل تناوب تکراری سیکل هایی است
که به طرف بالا دانه ریز می شود. هر سیکل
معمولاً بین ۱۰ تا ۱۰۰ متر ضخامت دارد ولی به
طور کلی دارای ضخامت کمتر از ۵۰ متر می
باشد. یک ردیف معمولی شامل لایه های ماسه
سنگی به ضخامت ۲ تا ۵ متر و بر روی آن لایه
ضحیمی از مارن در تناوب با لایه های نازک
سیلتستون و ماسه سنگ ریز دانه می باشد. بعضی
از طبقات ماسه سنگی تا
صد ها متر به طور جانبی گسترش دارند و بعضی

دیگر به صورت عدسی بوده و بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر
درازا دارند.

در سطح رخنمون های ماسه سنگ هوازدگی
مکانیکی توسعه یافته و اشکال گوناگونی را بوجود
آورده است. به علاوه هوازدگی شیمیایی در اعماق
باعث تغییراتی در بافت سنگ شده است. ماسه
سنگها در منطقه به صورت لایه های ضخیم قرار
گرفته اند و در بعضی قسمتها با لایه های گل سنگ
و سیلتستون بسیار نازک با بافت ورقه ای متوالی
قرار می گیرند که ضخامت ماسه سنگها در این
توالی به بیش از ۵ متر می رسد. سیلتستونها دارای
مقادیر متفاوتی از آهک می باشند و بسته به مقدار

آهک و درصد رطوبت با درجات مختلف، هوازده شده و شکسته می‌شوند.

گل سنگها برنگ قرمز تیره تا قهوه ای تیره می‌باشند و به دلیل وجود هوازده‌گی و رطوبت دارای شکستگی‌های نامنظمی هستند. ژئوپس سطوح درزها و شکافها را پرکرده و ترکها در فرمهای کریستالی ریز تا رگه‌ای دیده می‌شود. در میان سنگهای سازند آغاچاری، کنگلومراهای درون سازندی متشکل از ماسه سنگها و گلسنگهای فرسایش یافته از جنس خود سازند آغاچاری می‌باشد که نشان‌دهنده فعالیت‌های تکتونیکی در سازند تا آخرین مرحله رسوبگذاری است [۴].

• سازند بختیاری

نام این سازه از اسم قبیله بختیاری گرفته شده است. این سازند شامل کنگلومرا و ماسه سنگ های آهکی چرت دار است که به صورت همساز و گاهی ناهم‌ساز بر روی سازند های قدیمی تر در مناطق مختلف قرار می‌گیرند.

پیل گریم^۳ (۱۹۰۸) و در بوسک^۴ (۱۹۱۷) سازند بختیاری را در حوالی مسجد سلیمان به سه بخش پایینی، میانی و بالایی تقسیم نموداند. بخش کنگلومرا شامل قطعات خوب گرد شده در ابعاد خرده سنگ، قلوه سنگ و ریگ می‌باشد که از مجموعه رخنمونهای زاگرس با شیب مختلف فرسایش یافته اند و می‌توان آنها را در رده class supported قرار داد. این قطعات به وسیله سیمان کلسیتی درشت دانه که معرف محیط آب شیرین است به هم سیمان شده‌اند. در کنگلومرای بختیاری ذرات چرت به فراوانی یافت می‌شوند ولی ترکیب اصلی را ذرات و قطعات آهکی تشکیل می‌دهند و بر اساس طبقه بندی فولک^۵ (۱۹۶۸) در حقیقت نوعی کالک لیتایت یا لیت آرنایت به حساب می‌آید و همچنین به صورت ماسه سنگ های موجود در این سازند می‌تواند به استناد همان طبقه بندی، چرت آرنایت خوانده شود. حد زیرین بختیاری با سازند آغاچاری در برش نمونه پوشیده است. در حقیقت ارتباط دقیق زمانی و مکانی این دو

۲- Pilgrim

۳- Busk

۴- Folk

سازند به دقت روشن نیست و منشأ مسایل از آنجا آغاز می‌شود که در فروافتادگی دزفول حداقل دو نوع ارتباط بین دو سازند یاد شده وجود دارد:

اول کنگلومرای بختیاری که با ناهمسازی زاویه دار بر روی آغاچاری و سازندهای قدیمی تر قرار می‌گیرد. دوم کنگلومرای بختیاری که در جنوب — جنوب غربی آن حوضه با سازند آغاچاری همساز است. استون^۶ (۱۹۷۵) معتقد است که این دو نوع بختیاری از نظر سنگ شناسی متفاوتند. نوع اول سیمان شدگی کامل‌تری داشته و رخنمون دیواره مانند دارد در حالی که نوع دوم کمتر سیمان شده است. از سوی دیگر احتمالاً همزمانی رسوب‌گذاری و شکل‌گیری تاق‌دیسها و بخصوص ناودیسها انتشار کنگلومرای بختیاری را کنترل کرده است. در ساختگاه سد گتوند علیا، سازند بختیاری متشکل از کنگلومرا با میان لایه‌های سنگ آهک‌های سیلتی و ماسه‌سنگ می‌باشد. کنگلومراها خاکستری رنگ و توده‌ای هستند. مواد آواری شامل قلوه‌های آهکی به علاوه مقدار کمی چرت و ماسه‌سنگ خوب گرد شده است. برخورد ماسه‌های فرسایش یافته در تماس با قلوه‌ها در بعضی از قسمت‌ها به وضوح دیده می‌شود. در بعضی از نواحی درصد زمینه با افزایش دانه‌های ریز بیشتر می‌شود و کنگلومرای گل سنگی را می‌سازد که نفوذپذیری کمتری نسبت به کنگلومرای معمولی از خود نشان می‌دهند. سیمان اساساً کلسیت و آهکی — آرژیلی و در بعضی مناطق منحصراً آهکی (که تاثیر مستقیمی بر مقاومت دارد) می‌باشد. زمینه کنگلومراها شامل آهک و ماسه‌سنگ سیلیسی است. در میان ذرات تشکیل دهنده کنگلومرا مواد دانه‌ریز با رنگهای قهوه‌ای روشن و قرمز تیره و جود دارد. ضخامت این مواد از ۱۰ سانتی‌متر تا ۲۰ متر می‌باشد.

بررسی نمونه‌های بدست آمده از گمانه‌ها نشان می‌دهد که تا عمق ۳۵-۳۰ متری گمانه‌ها، درزه‌ها عموماً فاقد پرشدگی^۷ می‌باشند. از این عمق به پائین، اکثر درزه‌ها بخصوص سطوح لایه‌بندی به وسیله انیدریت (ژیپس) متراکم کاملاً پرشده‌اند. ضخامت این پرشدگی‌ها متغیر و تا حداکثر چند سانتیمتر اندازه‌گیری شده است [۵].

سازند بختیاری به علت تخلخل کافی از نظر مخازن آب‌های زیر زمینی دارای اهمیت می‌باشد، میزان تخلخل آن نیز توسط عوامل سنگ‌شدگی مانند سیمانی شدن و انحلال طبیعی سیمان و دانه‌ها کنترل می‌شود. در نقاطی که این سازند در کنار بستر و یا در بستر رودخانه‌های دائم قرار

۵- Stoneley

۶- Filling

می‌گیرد، محیط مناسبی را در جهت احداث چاه های فلمنی به وجود می‌آورد. در صورتی که درصد چرت کنگلومرای بختیاری بالا باشد، از آن برای تولید سیمان های نوع ۵ استفاده می‌شود.

• رسوبات عهد حاضر

رسوبات دانه درشت آبرفتی امروزی رودخانه‌های جاری در فرو افتادگی دزفول دارای دو منشا می‌باشد. اولاً رودخانه‌ها در شرایط عادی در بالا دست منطقه دارای قدرت هیدرولیکی زیاد بوده و قادرند قطعات سنگی بزرگ تا ریگهایی مشابه بختیاری تولید کنند و در شرایط سیلابی این قطعات را تا فواصل دور نیز حمل کنند. ثانیاً تحت تاثیر انرژی مکانیکی و توان شیمیایی آب، سیمان کنگلومرای بختیاری موجود در مسیر رودخانه ها از بین رفته و قطعات کنگلومرای بختیاری به صورت دانه های منفک و یا به صورت قطعات سنگی بزرگ کنگلومرایی با انرژی هیدرولیکی کمتر حمل و به شکل رسوبات جوان تر دوباره رسوب نموده‌اند. مورد اخیر را می‌توان در یال شمال غربی تاقدیسی خویز، محل ورود رودخانه مارون به تنگ تکاب در شمال بهبهان ملاحظه کرد. از شواهد مهم تخریب سازند بختیاری دره دز (محل سد دز) و محصول این آب شویی رسوبات عهد حاضر در شهر دزفول و مناطق پائین تر است.

این نوع رسوبات خود دارای چند نوع منشا هستند:

الف) پس ماند آب شویی کنگلومراهای واقع در مسیر رودخانه که به عنوان مثال می‌توان به معادن شن و ماسه حاشیه رودخانه کرخه اشاره کرد. این معادن از اواسط بهار تا اواسط پاییز مورد بهره برداری قرار گرفته و تخلیه می‌شوند. در فصول بارانی رودخانه رخنمونهای بختیاری واقع در بالا دست را آب شویی کرده و معادن را دوباره بازسازی می‌نمایند [۵].

ب) از تخریب سازند بختیاری در محل لِه‌بری که در بستر رودخانه واقع شده است، به عنوان مثال؛ مطالعات انجام شده پیرامون جزایر رودخانه کارون نشان می‌دهد که این رودخانه دائماً در حال تخریب بستر خویش است و نتایج آزمایشها نیز مؤید آن است که ترکیب شیمیایی و کانی شناسی رسوبات عهد حاضر کارون شبیه رسوبات آجاجاری است و تنها تفاوت موجود در دانه بندی آن رسوبات است [۶].

ج) رسوبات حاصل از آب شویی سازند های یاد شده در هنگام بروز سیلاب ها می‌باشند که طی آن پهنه وسیعی از حوالی رودخانه ها دچار آب شویی می‌شوند. رسوبات ماسه ای با در نظر گرفتن رودخانه کارون تا نواحی واقع در جنوب اهواز دارای گسترش می‌باشند.

د) رسوبات ناشی از تخریب سازند های قدیمی تر چنان است که در بند اول تشریح شدند.

رسوبات دانه ریز مانند سیلت و رس بیشتر پس مانده‌هایی از تخریب سازند های قدیمی تر و سازندهای بختیاری و آغاچاری هستند که توسط رودخانه های کارون، مارون، هندیجان تا فواصل دور حمل شده و نهایتاً به خلیج فارس ریخته و این محصول تخریب قاره‌ای در کنار بقایای موجودات دریایی قرار می‌گیرند.

۲-۳- خصوصیات تکتونیکی

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی ایران در

پهنه زاگرس مرتفع قرار دارد. این زون به نامهای

دیگری چون زون خرد شده، زون راندگی هم

معروف است. مرز شمالی و غربی پهنه زاگرس

مرتفع گسله های راستگرد زاگرس و میناب

هستند که آنها را از دیگر واحدها جدا می‌کند. روند

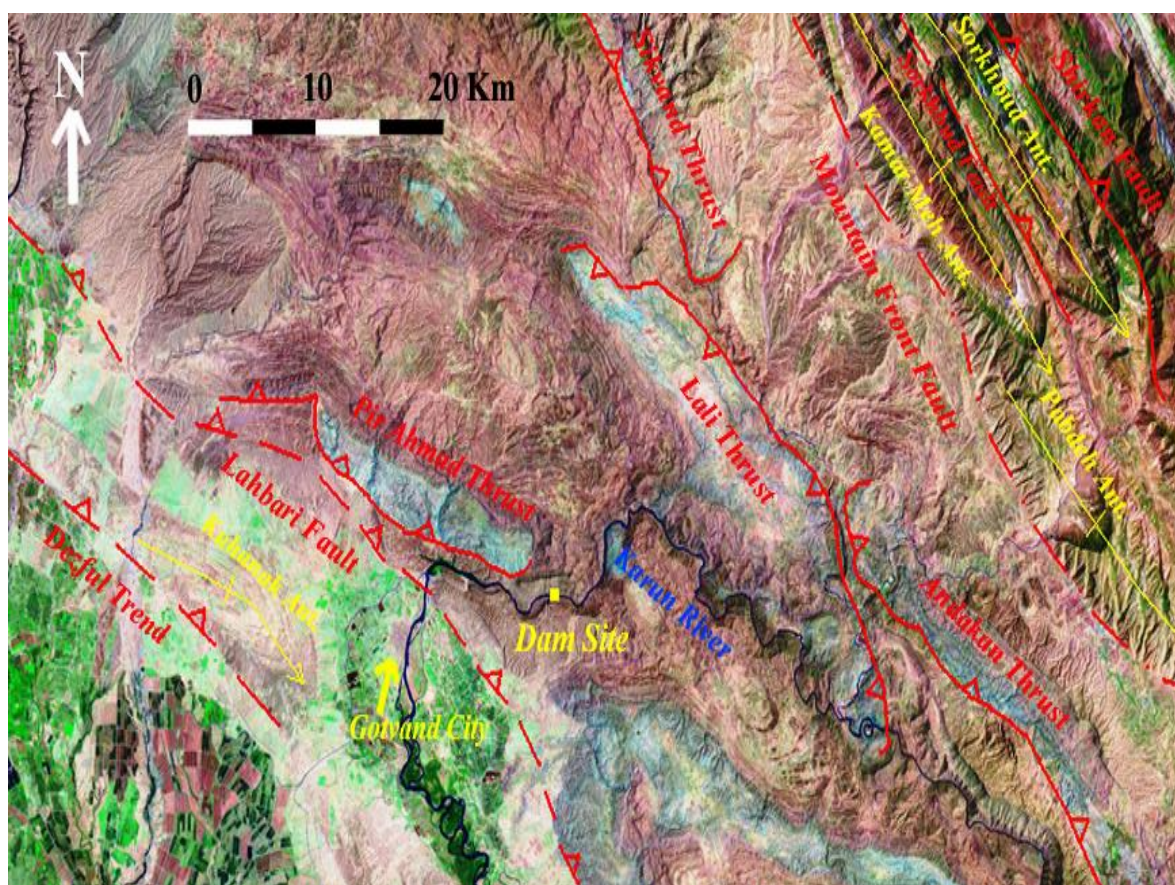
کوههای منطقه همانند روند کلی کوههای زاگرس

شمال غرب-جنوب شرقی می‌باشد. از جمله

ساختارهای منطقه تراست لالی در شمال شرقی
ساختگاه سد و تراست پیراحمد در شمال غربی و
گسل لهبری در جنوب این سد با امتداد موازی با
روند زاگرس واقع شده‌اند.

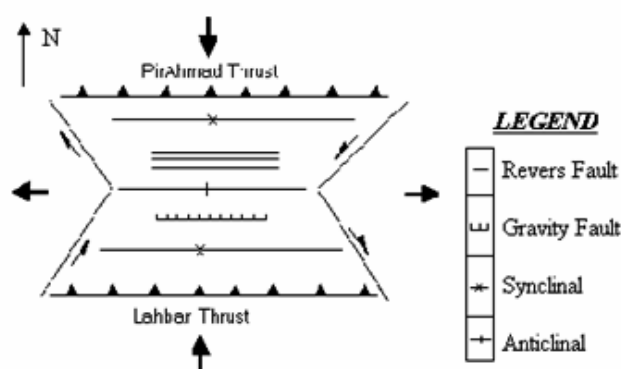
کنتاکت بین سازند بختیاری و آغاچاری در محل
ساختگاه سد در ارتفاع ۱۲۰ متری از سطح دریا
قرار دارد. در بیشتر نواحی سازند بختیاری به
صورت یک لایه پوششی در بالای سازند آغاچاری
قرار گرفته است. در محل محور سد یک تاقدیس
موج دار همراه با چین خوردگی های زاگرس
مشاهده می گردد. البته این وضعیت پیوسته نیست

و بیشتر در نواحی کوههای بردگپ و رشته^۸ وجود دارد (به عنوان تاقدیسی از شمال تا جنوب در محل ناودیس). برای درک بهتر از موقعیت محل، نقشه تکتونیکی سایت در شکل شماره (۲-۲) نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: عکس ماهواره‌ای (LANDSAT 7 TM) موقعیت گسل‌های موجود منطقه و تکتونیک سایت سد گتوند

امتداد تنش افقی اصلی (فشار محوری) شمالی - جنوبی می باشد. با توجه به دامنه کوه، محور چین خوردگی و گسل عادی با تنش محوری متوسط همخوانی دارد. نیروی σ_3 (تنش جزئی) در راستای محور بیشترین تغییر شکل پذیری قرار دارد. در دیاگرام شکل (۲-۳) وضعیت تنش های اصلی در محدوده ساختگاه نشان داده شده است.



شکل ۲-۳: دیاگرام تغییرات نکتونیکی در سایت [۷]

تاقدیس موجود در محور سد با محور شرقی -
غربی مهم‌ترین پدیده تکتونیکی منطقه است. این
تاقدیس نامتقارن، به طرفین زاویه دارد و تشکیل
آن ناشی از یک عملکرد تنش‌های تکتونیکی در
یک دوره طولانی در لایه‌های با خصوصیات
الاستیکی بارز می‌باشد. انحناء چین‌خوردگی قابل
ملاحظه می‌باشد و به دلیل سطح لغزشی باعث
حرکت لایه‌های فوقانی بر روی یکدیگر می‌باشد.
گسترش آن از بالا دست تا پائین دست سایت
است.

خم‌شدگی از محور چین شروع شده و در انتها
بطرف جناح چپ در پائین دست کشیده شده و به

آبراهه بزرگی (گالی) ختم می‌شود. از طرف دیگر به بالادست سد بطرف جناح راست کشیده می‌شود. صفحه محوری خم‌شدگی‌های متفاوتی دارد. در اعماق، صفحه محوری موج‌دار و چین‌خورده است و شکل و ضخامتهای مختلفی به دلیل خصوصیات مکانیکی لایه‌ها به خود گرفته است. لایه‌های قوی که متشکل از سیلتستون و گلستون هستند جابجایی کمی داشته‌اند و این به دلیل نرخ کم انتقال تنش در آنها می‌باشد. این جابجائی‌ها گسله‌های ریزی به موازات صفحه محوری چین‌خوردگی به وجود آورده است. شیب یال شمالی بسیار تند بوده و در جناح جنوبی با شیب

ملایم بطور یکنواخت می باشد. محور چین خوردگی در یال جنوبی، شیب خیلی تندی دارد و در مسافت های دور از محور، شیب ملایمی به خود می گیرد.

همچنین در پائین دست سایت، در مسیر رودخانه کارون یک تاقدیس با راستای محوری شمال غربی - جنوب شرقی گسترش یافته است. فرآیندهای داخلی سازگار با فعالیتهای تکتونیکی زاگرس در ساخت تاقدیس مؤثر بوده اند. در بالای این سازند ضخامتهای کوچک ناپیوسته از سازند بختیاری بصورت افقی قرار گرفته اند.

امتداد محور تاقدیس در زیر سازند گچساران به
طرف دره شور^۹ در شمال ناپدید می گردد (شکل ۲-
۴). با توجه به شواهد سطحی، تغییرات و پیچ و
تابهای لایه های موجود در پائین دست تاقدیس با
تاقدیس قبلی تلاقی کرده اند و بتدریج یک گودال
(تشتک) را بوجود آورده است. [۷].

۲-۴- ناپیوستگی ها

در سایت گتوند در سازند بختیاری دو دسته
ناپیوستگی عمده وجود دارد. یک دسته با امتداد
شرقی - غربی که نقش اصلی در توپوگرافی دره
سایت را دارد و دیگری دارای امتداد شمالی -

جنوبی

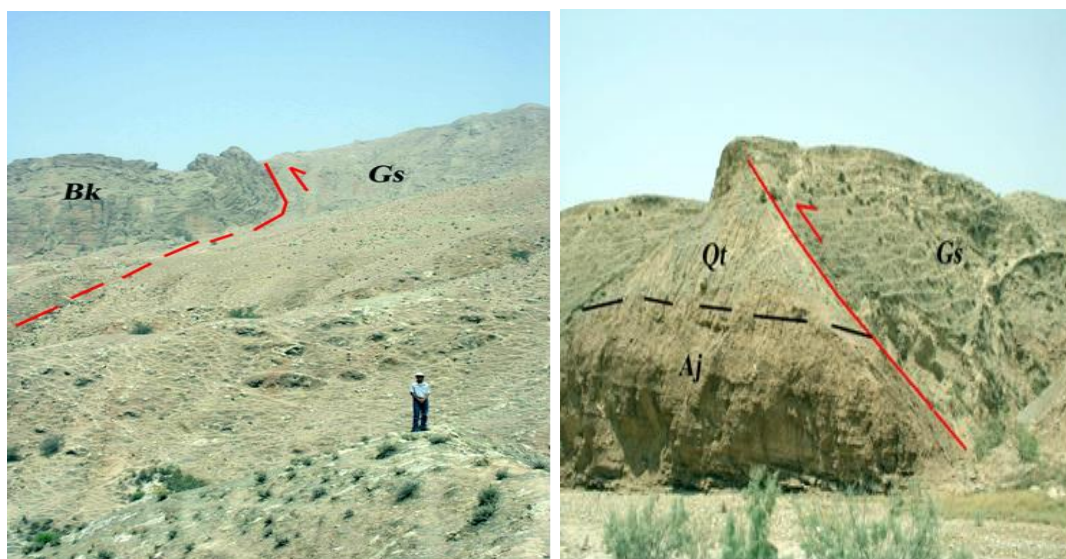
می باشد. ناپیوستگی های شرقی - غربی همراه با
گسله های شرقی - غربی می باشند. این
ناپیوستگی ها دارای شیب تند و فاصله بین آنها از
پهن تا خیلی پهن با مقاومت زیاد متغیر است.
سطوح آنها مژرس و هوازده می باشد. بازشدگی
خیلی عریض آنها با مواد غیر چسبنده از سازند
بختیاری که تحت عمل هوازدهی قرار گرفته اند، پر

شده است. ناپیوستگی‌های شمالی - جنوبی
گسله‌های لغزشی می‌باشند خصوصیات آنها شبیه
ناپیوستگی‌های شرقی - غربی هستند. وجود دو
دسته درزه مثل صفحات لایه‌بندی نقش بسیار
مهمی در سازند بختیاری بخصوص در شکل‌گیری
دیواره‌ها و نهشته‌های کلوویالی ایفا
می‌کنند. ناپیوستگی سطحی در هر دو دسته
بصورت موج‌دار و درگیر با هم و تغییرات جهت
شیب در آنها زیاد می‌باشند.
برای دستیابی به اطلاعات زیرزمینی، مجموعاً
۶۴۴۹ متر حفاری اکتشافی صورت گرفته است.
(شکل ۲-۹). همچنین تونل‌های اکتشافی، ترانشه‌ها

و آزمایشهای ژئوتکنیکی مورد نیاز در سایت انجام شده است. علاوه بر آن چهار گالری اکتشافی با ابعاد $2 \times 2/5$ متر با طول کلی ۹۴۵ متر در هر دو جناح حفر شده و همچنین پنج ترانشه با طول کلی ۸۴ متر که در جناح راست در منطقه بالایی توده نابرجا قرار دارند، حفاری شده‌اند.

عملیات صحرایی از سیستم درزها بطور کامل انجام شده و اطلاعات دقیق از سطوح جمع‌آوری شده است. در شکل (۲-۹) مقطع زمین‌شناسی پی سد منطبق با محور سد همراه با مقادیر لوژان و RQD برخی از گمانه‌ها و گالریهای اکتشافی و ترانشه‌ها و... را نشان می‌دهد. در ادامه وضعیت

ناپیوستگی ها در دو جناح مورد بحث قرار گرفته است.



شکل ۲-۴: گسل پیر احمد در دره شور (دید به سمت NW)

رسوبات ته نشین شده عهد حاضر Qt سازند آغاچاری Aj سازند گچساران Gs

۲-۴-۱- توده نابرجای جناح راست

توده نابرجا در ساحل راست در تراز ۲۰۰ متر و حداکثر تا تراز ۴۱۰ متر قرار دارد. مرز پائینی توده بسیار پر شیب است در صورتیکه مرز بالائی

توده با شیب‌های نامنظم و متفاوت تا دیواره
پائینی گسترش می‌یابد. گسترش جانبی آن از
غرب حدود ۶۰۰ متر بوده که بدلیل پوشش
سنگهای ریزشی (حاصل از بهمن)، این مقدار به
حدود ۱۰۰۰ متر بطرف بالادست ادامه می‌یابد.
توده نابرجا متشکل از لایه‌های کنگلومرایی با میان
لایه‌های ماسه‌سنگی و گلستونی خاکستری رنگ
می‌باشند. قطعات موجود اکثراً در اندازه‌های
قلوه‌سنگ و شن با سیمان‌شدگی ضعیفی از رس -
آهکی و در بعضی مواقع مواد آهکی با زمینه آهکی
یا ماسه‌ای می‌باشند. زاویه شیب در این جناح
بخصوص در محور سد از ۲۵ درجه تا ۳۵ درجه

تغییر می‌کند و در پائین‌ترین قسمت زمین بسیار نامنظم و در هم می‌باشد.

بررسی و آنالیز درزه‌ها در گالری D (شکل ۲-۵)، در داخل توده سنگ در این جناح دو دسته درزه با امتداد و شیب ۵۵/۴۵ و ۱۷۷/۴۳ رانشان می‌دهد. دیاگرام قطبی ناپیوستگی‌ها در شکل‌های ۵ و ۶ در پیوست نمایش داده شده است. این درزه‌ها از نوع برشی بوده و فاصله آنها از عریض تا خیلی عریض و شکافها از باز تا خیلی باز تغییر می‌نماید. دیگر درزه‌ها از لایه‌بندیها تبعیت می‌کنند و در توده پراکنده هستند. این دسته درزه‌ها دارای مقاومت بالا و فاصله‌داری زیاد تا خیلی زیاد می‌باشند. در

مدخل گالری D در متراژ ۲۵۲⁰⁺، شکستگیها تقریباً

قائم با امتداد شرقی - غربی می باشند و شیب

لایه ها بطرف انتهای گالری

می باشد. حرکات لغزشی در پائین ترین قسمت

توده باعث تجمع شکستگیهای غیرهمگن شده

است. حفر ترانشه در این منطقه، وجود محل

تماسی بین توده برجا و نابرجا را نشان می دهد که

درون لایه گل سنگ و سیلتستونی در تراز تقریبی

۲۰۰ متر می باشند. در قسمتی از گل سنگ ها

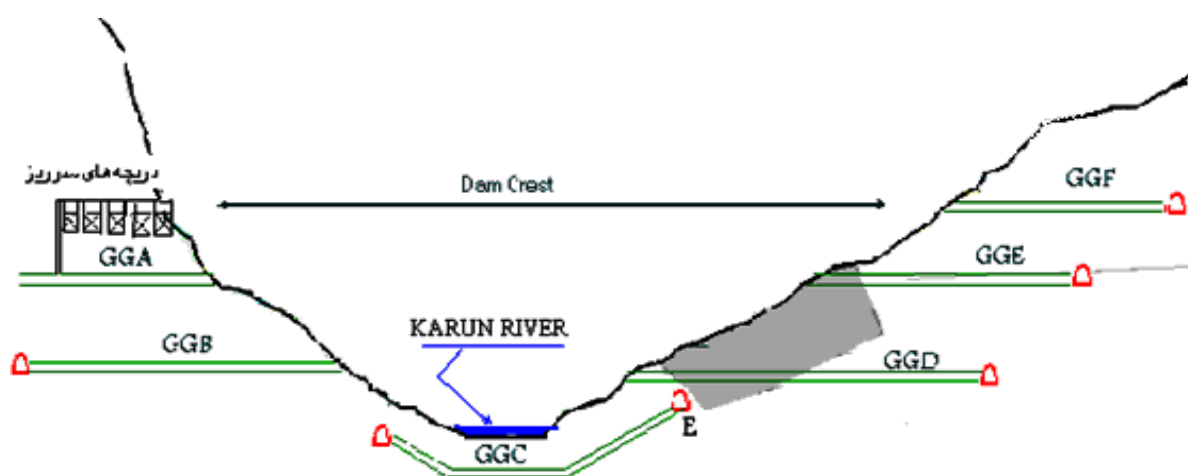
چندین لغزش مشاهده شده، که دلیل آن حرکت

لایه های گل سنگ روی هم به خاطر وجود

شکافهای کششی در انتهای توده می باشد.

مقدار RQD در گمانه‌های این جناح پائین بوده (بین صفر تا ۲۵) و میانگین لوژان به بیش از ۲۵ لوژان می‌رسد. توده برجا و نابرجا این جناح را به دو قسمت تقسیم کرده‌اند. بطرف پاشنه و متناسب با ازدیاد شیب بطرف پائین بی‌نظمی‌ها در ساختار توده افزایش یافته و نتیجتاً مقدار لوژان و اندیکس خردشدگی RQD بطرف پاشنه افزایش می‌یابد. همچنین حرکت بلوکها و دیگر خمیدگیها باعث کاهش تنش کششی در لایه آهکی شده است. از دیگر فاکتورهای ناپایداری، اشباع‌شدگی توده است. بر روی سطح توده حرکاتی به موازات شیب لایه‌ها دیده می‌شود. محل تماس توده برجا و

نابرجا در بعضی مناطق بالاتر از لایه آهکی قرار گرفته است. این مسئله بیشتر در منطقه پاشنه توده وجود دارد.



شکل ۲-۵: نمای شماتیک از گالری تزریق پی و گالری های اکتشافی [۸]

۲-۴-۲- بلوک گسل خورده ناودیسی شکل جناح راست

بلوک گسل خورده ناودیسی شکل بصورت دگر شیب بر روی سازند آغاچاری قرار دارد و دارای تراز تقریبی ۱۲۰ متر در شمال است. در تراز ۱۸۰ متری، این توده با سازند بختیاری با شیب لایه‌ای

کم و بیش افقی هم مرز می شود. گسترش آن از شرق و غرب شبیه توده نابرجای بالایی می باشد. این توده در اصل یک توده کنگلومرایی با میان لایه های ماسه سنگ و گل سنگی می باشد. رنگ خاکستری آنها به خاطر عمل گسل خوردگی سیمان شدگی ضعیف (اکثراً آرژیلیکی) با زمینه آهکی ماسه ای است. زاویه شیب آن حدود ۲۰ درجه است که در محل تماسها کمتر می شود. ساختار توده توسط فرایندهای گسل خوردگی ضعیف گشته و بلوک جداگانه ای را بوجود آورده است. در حقیقت این توده به شکل ناودیس است و بعلاوه گسلش زیاد، بلوکهای فرعی نیز بوجود

آمده است. این توده از سازند آغاچاری با شیب
لایه‌بندی ۲۵ درجه و جهت شیب شمالی آغاز
می‌گردد. در خیلی از مناطق، گسله‌ها شیب زیاد
پیدا کرده و جهت شیب لایه‌ها به طرف شرق
متمایل می‌شود. بیشتر شکستگی‌ها دارای شیب
ملایمی هستند. یال ناودیس از جنوب توسط
تاقدیس رودخانه‌ای متأثر شده و بعضی از
شکستگی‌ها را بوجود آورده است. مقدار RQD در
لایه‌های درشت‌دانه و ریزدانه کم بوده و میانگین
آن بین صفر تا ۲۵ درصد است. میانگین مقدار
لوژان بیش از ۲۰ تخمین زده می‌شود.

بررسی دسته درزه‌های سطحی و دسته درزه‌های اندازه‌گیری شده در گالریها، همسانی خوبی بین خصوصیات سطح و زیرزمین را نتیجه می‌دهد.

در بررسی‌های سطحی دو دسته درزه با امتداد و شیب، ۲۰۸/۲۱ و ۳۴۹/۶۱ مشخص شده‌است. در گالری A از متر ۹۳^{۰+} تا ۱۲۵^{۰+} (شکل ۲-۶) سه دسته درزه با امتداد و شیب، ۰۶۸/۱۵ و ۱۴۳/۲۶ و ۳۵۳/۸۴ و از متر ۱۲۵^{۰+} تا ۱۹۸/۵^{۰+} دو دسته درزه دیگر با امتداد و شیب، ۳۵۵/۶۸ و ۱۵۹/۳۰ وجود دارد.

نتایج مطالعه درزه‌ها در گالری C دو دسته درزه ۱۷۲/۷۱ و ۱۷۶/۴۷ را نشان داده است.

یک توده نابرجا در محور چپ وجود دارد که از تراز ۸۰ متری شروع شده و تا تراز ۲۵۰ متر ادامه دارد. گسترش آن بطرف شرق ۲۰۰ متر و بطرف غرب ۱۰۰ متر می باشد. زاویه شیب طبیعی از پائین گمانه شمالی UG212 ، ۴۰ درجه می باشد و در بالاترین نقطه دیواره برجا از سازند بختیاری با زاویه ای نزدیک ۳۰ درجه قرار گرفته است. برای مشخص شدن کامل توده مذکور، ۳ گمانه که در جدول (۱-۲) نشان داده شده است و یک گالری اکتشافی در تراز ۹۰ متری حفاری شده اند. این بلوک متشکل از کنگلومرا با میان لایه های سنگ آهک و سیلتستون است که بخاطر شکستگی و

صفحات لغزشی، تخریب شده است. مقدار RQD کم

است ولی مقدار لوژان میانگین بیش از ۴۰ می باشد.

پائین ترین مرز توده توسط گمانه های UG213, UG212, UGA8

مشخص شده است. شیب لایه ها در حدود ۲۵

درجه با امتداد جنوب - جنوب شرقی می باشد.

مجموعه شکستگیها با امتداد شمالی - جنوبی

هستند. در محل برخورد توده نابرجا و سازند

آغا جاری در متر از ۱۰⁺ در گالری B ، یک شکستگی

بزرگ با امتداد جنوبی رؤیت می شود. دو دسته

درزه در توده مذکور با جهت شیب و شیب،

۲۱۹/۲۰ و ۱۱/۲۵ وجود دارد. در مرز جنوبی توده

یک گسل با ضخامت ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتر توسط مواد سست پر شده است و دارای جهت شیب و امتداد، ۱۳/۶۵ می باشد.

جدول ۱-۲: مشخصات گمانه‌هایی که در توده نابر جای جناح چپ حفاری شده‌اند [۹]

شماره گمانه	N.(357-)	E.(30-)	ارتفاع (m)	عمق (m)	زاویه حفاری	لیتولوژی	عمق هوازدگی	میانگی RQD
UGA8	1897.36	5677.01	121.56	100	90	0-50.40m:D.BK >50.40m:AJ	50.40	10.46 66.94
UG212	1903.85	5588.60	121.47	103	90	0-42.40m:D.BK 42.40-46.97:INT >46.97m:AJ	42.40	25.32 52.84 67.82
UG213	1836.61	5596.10	168.94	106	90	0-75.15m:D.BK 75.15-88.80:INT >88.80m:AJ	75.15	5.05 87.32 85.87

BK = سازند بختیاری AJ = سازند آغاچاری INT = درون سازندی D = جابجاشده

FB = بلوک گسلی

۲-۵- زمین‌شناسی عمومی محدوده سد

رودخانه کارون در قسمت سد گتوند علیا دارای خصوصیات مورفولوژیک پیچیده‌ای است. مراحل تشکیل سازندهای موجود حکایت از تشکیل یک حوضه رسوبی وسیع منطقه ای سپس پرشدگی حوضه رسوبی توسط مواد آذرآواری و تحت فشار قرار گرفتن منطقه و تشکیل تاقدیس در هر دو طرف می‌باشد. مقطع عرضی رودخانه نشان دهنده اینست که دیواره‌ها بر روی شیب ملایمی از مواد سست با ضخامت بسیار کم قرار گرفته‌اند. فرسایش سنگ سخت و کنگلومرای سست بختیاری بر شکل‌گیری سطوح شیب تأثیر گذار بوده است. مراحل فرسایش دقیقاً در محل پی چه در دیواره جناح چپ و چه در ترازهای بالای جناح راست دیده می‌شود. شیب لایه‌های سنگهای سخت بخصوص در جاهائیکه رخنمون دارند بسیار زیاد است (شکل ۲-۶). دیواره‌ها در تمام سایت پروژه گسترش دارند [۳].



شکل ۲-۶: شکل دیواره‌ها در محل سد گتوند

نابرجائی مواد واقع شده در هر دو جناح باعث پدیده لغزش سنگها و ریزش ناگهانی آنهاست. ریزش سنگها بدلیل جدا شدن قطعات کوچکتر آنها از دیواره و وزن زیادشان می‌باشد. مواد جدا شده بر روی هم ریخته شده، و سطوح شیبدار را بوجود آورده و به شکل بادبزنهاي رسوبي در می‌آیند.

در جناح چپ و به ویژه در محدوده محور سد پائین افتادگی یکپارچه‌ای در طول دامنه ایجاد شده است. عناصر مورفولوژی جناح چپ عمدتاً نتیجه عملکرد فرآیندهای دینامیکی بیرونی می‌باشد. در تراز بالاتر از ۱۱۰ متر، سازند بختیاری شامل تعدادی واحد سنگی سخت است که ضخیم‌ترین آنها ۱۰۰ متر می‌باشد. انتقال مواد بر روی سطوح شیبدار مختلف بر اثر میزان حرکت و وزنشان بوده و به خاطر تغییرات شکل و کم

شدن شیب سطح شیبدار می‌باشد. در قسمتهای بالایی دیواره، لایه‌ها هیچ شباهتی با خصوصیات ساختاری حوضه رسوبی ندارند زیرا با سست شدن سنگها و اشباع شدگی آنها با آب واژگون شده و تشکیل شیب‌هایی با جهت‌های متفاوت می‌دهند، شیب لایه‌بندی دارای زاویه‌ای بین ۲۵ تا ۴۰ درجه می‌باشند.

در قسمت پائینی دیواره، توده حرکت کرده و تغییر مکان داده و گسترش قطعات خرد شده سطوح شیبدار با زوایای کمی را بوجود آورده است (در منطقه محور سد حدود ۲۰ درجه است). سیستم آبراهه‌های، کم عمق و فصلی بوده و در زمان ریزش باران آبراهه‌ها بعنوان زهکش عمل کرده و آنها را به آرامی بطرف قسمتهای مرکزی رودخانه کارون تخلیه می‌کنند. در محل ساختمان سد، آبراهه‌ها با جریان دائمی وجود دارد که بر روی یک لایه متشکل از مواد ریزدانه می‌باشد. این مواد تا تراز ۱۲۰ متری با زاویه‌ای حدود ۲۵ درجه گسترش یافته‌اند.

در منطقه محور، فرسایش رسوبات یک چین‌خوردگی را به وجود آورده که به طرف پائین دست دره خم شده است. جریان آب، مثل جریان آب رودخانه کارون یا الگوی زهکش در چین‌خوردگی‌ها و دره‌های تنگ، فرسایش و انتقال قطعات درشت و ریزدانه را مهیا می‌کند. عمل انتقال ذرات اشکال و فرمهای متنوعی از وضعیت دینامیکی را به وجود آورده‌اند. در بالا دست سد تغییر شکل‌پذیری تراسها کمتر اتفاق افتاده است [۳].

۲-۵-۱- محور سد

سنگ پی سد گتوند علیا شامل کنگلومرای سازند بختیاری در تکیه گاهها و تناوب ماسه سنگ و گل‌سنگ سازند آغاچاری در قسمت مرکزی می‌باشد. سازند آغاچاری در پی، تاقدیس نامتقارنی را شکل داده است که محور آن از روند عمومی زاگرس شمال غرب، جنوب شرق تبعیت می‌کند. لایه‌های یال شمال شرق تاقدیس شیبی بین ۳۰ تا ۶۰ درجه دارند. عمق هوازده سنگ در پی سد حداکثر ۱۰ متر برآورد گردیده است و سطح آب زیر زمینی هم تراز سطح رودخانه و در تراز ۸۰ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. بررسی درزه‌های سطحی، در سازند آغاچاری دسته درزه‌های با مشخصات ۲۳/۴۳ که مشخص کننده صفحه لایه-بندی می‌باشد، و درزه‌های ۱۱۰/۵۵ و ۲۲۳/۶۰ را نشان می‌دهند. باز شدگی این درزه‌ها کم تا بسیار کم^{۱۰}، سطح آنها صاف و مسطح^{۱۱} می‌باشند. در بسیاری از سطوح لایه بندی آثار لغزش به خوبی

۹. Tight to very Tight

۱۰. Smooth & Planar

دیده می‌شود. بررسی نمونه‌های به دست آمده از گمانه‌ها نشان می‌دهد که تا عمق حدود ۳۵-۳۰ متری گمانه‌ها، درزه‌ها عموماً فاقد پر شدگی می‌باشند. ولی از این عمق به پایین اکثر درزه‌ها بخصوص سطوح لایه بندی بوسیله انیدریت (ژیپس) متراکم کاملاً پر شده‌اند، ضخامت پرشدگی‌ها متغیر و تا حداکثر چند سانتیمتر اندازه‌گیری شده است. با توجه به آزمایشات لوژان انجام شده، سنگ پی در قسمت مرکزی در رده سنگهای با نفوذ پذیری کم یا نفوذ ناپذیر قرار می‌گیرد، و تنها تا عمق ۱۵ متری گمانه‌های حفاری شده سنگ دارای نفوذ پذیری متوسط تا زیاد می‌باشد که می‌تواند به دلیل خردشدگی سنگ در قسمت‌های سطحی زمین یا هوازدگی باشد.

۲-۵-۲- جناح راست

در محل احداث سد، به خاطر پوشش سازند
آجاجاری با مواد آبرفتی و دامنه‌ای و به خاطر
هوازدگی شدید سطحی بر روی لایه‌های
سیلتستونی و گلسنگ می‌توان فقط بر روی
لایه‌های ماسه‌سنگی تحقیق و تتبع داشته باشیم.
جهت شیب لایه‌ها معمولاً متأثر از امتداد و نوع
تغییرات تاقدیس شرقی - غربی در پائین دست
منطقه می‌باشد و همچنین از تاقدیس شمال غربی

- جنوب شرقی و گودالی که بین دو تاقدیس وجود دارد، تأثیرپذیر است.

در محور سد، جهت شیب لایه ها در یال شمالی تاقدیس نسبتاً زیاد بوده و جهت شیب در پائین دست لایه ها شمال - شمال شرقی و با جهت شیب شرقی ادامه می یابد. علاوه بر لایه بندی، سه دسته درزه با شیب بسیار تند وجود دارد. دو دسته از آنها با جهت شیب شمال شرقی - شرقی و

شمال غربی - غربی و دسته درزه دیگر جهت شیب بطرف جنوب دارد. فاصله بندی درزها معمولاً کم و سطح درزه ها کیپ است. پایداری این درزه ها متفاوت بوده از کم تا خیلی کم و بدون پرشدگی

می‌باشد. بر اثر دسته درزه‌های مذکور یک قطعه مکعب مستطیلی شکل از سازند آغاچاری جدا شده است. در محل برخورد سازند بختیاری و آغاچاری در تراز ۱۸۰ متری از سطح دریا یکسری گسله با شیب زیاد با امتداد شرقی - غربی وجود دارد. این گسله‌ها موازی با هم می‌باشد. پوشش بلوکها در یکطرف یا روی هر دو طرف بلوک گسله در جهت شیب لایه‌ها بطرف شمال و جنوب مؤثر بوده و باعث تشکیل حوضه به شکل ناودیس شده است (بلوک گسله ناودیسی). بزرگترین بلوکها بطرف پائین حرکت کرده توسط مکانیسمهای لغزشی گوناگون و قسمتی از این زون را پوشش

داده است. شکستگیهای بزرگی با امتداد شرقی-
غربی یک توده را از دیواره اصلی جدا کرده و
بطرف جلو رانده است که این عمل همراه با
تخریب مواد و از طرف دیگر فشردگی مواد ریزدانه
را بدنبال داشته است.

۲-۵-۳- جناح چپ

پوشش آبرفتی بر روی سازند آغاچاری در جناح
چپ باعث شده که مطالعات بر روی رخنمونها
متمرکز شود. در یال جنوبی تاقدیس مرکزی،
لایه‌ها با سرعت به حالت افقی نزدیک می‌شوند.
لایه‌ها با جهت شیب جنوبی تغییر شیبی بطرف

رودخانه کارون در پائین دست می دهند. دو دسته درزه در محور منطقه که یکی با جهت شیب تند و با امتداد شمال شرقی می باشد. دسته دیگر شیبی، بطرف غرب دارند که دارای زاویه بسیار تند و نزدیک به حالت قائم است. در پائین دست منطقه، در لایه های شرقی دو دسته درزه با شیبی به سمت شرق و شمال غربی وجود دارد. فاصله هر دو دسته درزه، بسیار کم تا بسته است و پایداری آنها کم و بدون پرشدگی می باشند. در جناح چپ، یک توده نابرجا در محور سد قرار دارد که باعث حرکات قسمتهای بالایی سازند بختیاری و صفحات شکستگی با شیبهای زیاد بر روی سازند

آغا جاری شده است. هیچگونه تغییراتی در جهت شیب وجود ندارد، اما شیب لایه‌ها زیادتر شده است (شکست چرخشی). آبراهه بزرگی در جناح چپ باعث بی‌نظمی ساختمان لایه‌ها شده است و تغییرات جهت شیب بطرف شرق و تحت تأثیر یال شمال غربی - جنوب شرقی تاقدیس می‌باشد.

۲-۶- هیدروژئولوژی

درمورد آبهای زیرزمینی منطقه باید یادآوری کرد که به علت کوهستانی بودن منطقه سفره آبی مشخص وجود ندارد، در قسمت تکیه‌گاهها احتمالاً آبهای موجود، از شکافها نفوذ کرده و پس از

برخورد با میان لایه های رسی و یا لایه هایی با نفوذپذیری کم به صورت چشمه کنتاکی ظاهر می شوند. مطالعه آبهای زیرزمینی و نفوذ آبهای سطحی بعنوان جزئی از سیستم هیدرولوژیکی کنترل شده توسط فرآیندهای زمین شناسی، موضوع بسیار مهم و قابل بررسی می باشد. برای مطالعه بیشتر مشخصات سفره های آب زیرزمینی در هر دو جناح و خطوط هم عمق، تعدادی گمانه اکتشافی حفر شده و در قسمتهای مختلف، پیزومتر نصب شده است [۱۰].

به منظور بررسی ویژگیهای هیدروژئولوژی ساختگاه، علاوه بر اندازه گیری دبی چشمه های

موجود در گستره سد و دبی آبهای خروجی از
گالریهای اکتشافی، تراز آب زیر زمینی گمانه‌های
اکتشافی نیز دو بار در ماه اندازه گیری شده است.
ترسیم منحنی های سطوح ایستابی نشان می‌دهد
که تغییرات سطح ایستابی در حاشیه رودخانه کم
و ملایم و برروی دامنه ها مشخص تر و متأثر از
نرخ بارش است. سطح ایستابی در توده های نابرجا
و گسله شده بدلیل ساختار توده و تغییر شیب
هیدرولیکی ناشی از حفر گالریهای اکتشافی،
تغییرات شدیدی را نشان می‌دهد. شیب حداکثر
جهت جریان سفره آب زیر زمینی با تراز ماکزیمم
حدود ۱۶۰ تا ۱۷۰ متر از سطح دریا به سوی رود

خانه کارون و پایاب می باشد (سطح تراز
پی ۱۷۰ متر است). میزان شیب هیدرولیکی در
توده نابر جا ۰/۴۵، در توده گسله شده ۰/۲۷ و در
سازند بر جا بسیار ملایم است.
به طور کلی سطح آب زیر زمینی با تغییرات کمی
از شکل سطح زمین تبعیت می نماید. شایان ذکر
است در سازند بختیاری به دلیل وجود بین لایه-
های گل‌سنگی نفوذ ناپذیر، سفره‌های آب محصور
نیز مشاهده می شود که چشمه‌های متعددی را در
ارتفاعات بوجود آورده است (شکل ۲-۷).



شکل ۲-۷: چشمه های فصلی در ساحل چپ

۲-۶-۱- سطح آب زیرزمینی

سطح آب زیرزمینی از روی اندازه گیریهای
پیزومترهای موجود در ناحیه سایت به دست آمده
است. تغییرات سطح آب زیرزمینی در طی چند
سال آمار برداری به سه گروه تقسیم می شود.
اولین گروه از گمانه های حفاری شده در جناح
مرکزی و در امتداد رودخانه می باشد که تغییرات
سطح آب زیرزمینی در آنها کم و ملایم بوده است.

دومین گروه پیزومترهایی هستند که در فاصله دورتری نسبت به رودخانه حفر شده‌اند و تغییرات سطح آب در این گروه متأثر از نفوذپذیری منطقه است. آخرین گروه، گمانه‌های حفاری شده در توده‌های نابرجا یا بلوک گسل خورده تاقدیسی شکل است که متأثر از تغییرات گرادیان هیدرولیکی می‌باشد.

• تغییرات سطح آب زیرزمینی در جناح چپ

بیشترین سطح آب زیرزمینی در فصلهای بارانی در این جناح به تراز ۱۷۰ متری سطح دریا می‌رسد و در فصول گرما مقدار آن ۱۰ متر کاهش یافته و به تراز ۱۶۰ متری می‌رسد. بیشترین شیب سفره‌های

آب زیرزمینی به طرف شمال و رودخانه کارون است. با مقایسه منحنی‌های تراز آب پیزومترها در جناح چپ و حفاری گالری اکتشافی (B) افت ناگهانی سطح آب مشاهده می‌شود. این کاهش در گمانه‌های اکتشافی حفر شده در محل (UG113.UG115) بین ۸ و ۱۱ متر مرتباً تغییر می‌کند. در گمانه UG205 همچنین، بی‌نظمی‌هایی در تراز آب زیرزمینی در فصول گرم و در فصول سرد مشاهده می‌شود که به صورت بالا آمدن در فصول سرد و پائین رفتن در فصول گرم می‌باشد.

• تغییرات سطح آب زیرزمینی در جناح راست

بالاترین سطح آب زیرزمینی در فصول بارانی ۱۶۰ متر و در فصول گرم و خشک در تراز ۱۵۰ متری از سطح دریا قرار می‌گیرد. شیب هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی به طرف جنوب یا به طرف رودخانه کارون است. با مقایسه منحنی‌های تراز آب در جناح راست و گالریهای حفر شده و تخلیه آب از نقاط مختلف در محل دو سازند (با آبدهی ۶۰۰ لیتر بر دقیقه) سطح آب زیر زمینی پائین آمده است.

۲-۶-۲- شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی

شیب هیدرولیکی در جناح چپ در مقاطع طولی و عرضی بصورت خطوط هم پتانسیل سطح آب

محاسبه شده است. گرادیان هیدرولیکی خیلی کم بوده و در مقاطع طولی، بین $0/0003$ تا $0/12$ متغیر است. در مقاطع عرضی بیشترین مقدار آن $0/87$ و کمترین مقدار آن $0/01$ بوده است.

میانگین شیب هیدرولیکی در توده‌های نابرجا در جناح راست $0/45$ و در توده نابرجای جناح چپ با کاهش زیاد، $0/27$ و متمایل به طرف دره می‌باشد.

بنابراین می‌توان گفت گرادیان هیدرولیکی در مقاطع عرضی و طولی، آهنگ بسیار ملایمی در سازندهای بختیاری و آغا جاری داشته است. با توجه به مقاطع عرضی و طولی، شیب هیدرولیکی در جناح راست، برای سازند بختیاری بر جا $0/1$ و

برای بلوک گسل خورده تاقدیسی ۰/۰۰۳۲ می باشد. در مقاطع طولی تغییراتی بیش تر از ۰/۱۳۵ مشاهده شده است [۹].

۳-۶-۲- آبدهی چشمه ها در جناحین

در جناح چپ ساختگاه سد، آبدهی ۱۲ چشمه اندازه گیری شده است. دبی سه چشمه به شماره های SP1 SP8 SP9 و اندازه گیری نشده است. چشمه SP14 در گالری B (دومین گالری حفر شده جهت عملیات اکتشافی در فاز مطالعاتی شکل ۲-۶) واقع شده و چشمه SP15 در محل تونل دسترسی به تونلهای آب بر نیروگاه قرار دارد. چشمه SP7 به دلیل حفاری تونل دسترسی و زهکشی آب و

چشمه SP4 بدلیل عملیات حفاری ورودی تونل‌های
انحرافی خشک گردیده‌اند. آبدهی چشمه SP6 با دبی
۱۵ لیتر بر دقیقه نیز بدلیل فرو ریزش سنگ‌ها از
سال ۱۳۷۵ قطع شده است. آبدهی چشمه‌های
واقع در بیرون تونل‌ها و گالری‌ها کم می‌باشد و در
حالت حداکثر بین ۳۰ تا ۵۰ لیتر در دقیقه و
حداقل ۰/۵ تا ۳/۵ لیتر بر دقیقه تغییر می‌نماید.
مقدار آبدهی چشمه SP14 در گالری B، محل تماس
کنگلو‌مرا با سازند آغا‌جاری حداکثر ۳۶۰ لیتر در
دقیقه و در کمترین حالت ۲۰۰ لیتر در دقیقه
است. اطلاعات چشمه‌ها در جدول‌های (۱-۱) و
(۲-۱) نشان داده شده است. چهار چشمه در

جناح راست گزارش شده است. موقعیت چشمه
SP13 در گالری اکتشافی A آبدهی زیادی داشته و
چشمه SP11 در گمانه UG105 کمترین مقدار آبدهی را
دارد.

چشمه SP13 با داشتن بیشترین مقدار آبدهی ۶۰۰
لیتر در دقیقه و کمترین مقدار ۲۴۰ لیتر در دقیقه
بعنوان یک چشمه دائمی، سفره آب زیرزمینی را
در محل تماس دو سازند تغذیه می کند. علاوه بر
این چشمه ها در جناح راست، چشمه های فصلی
(موقت) دیگری در این جناح گزارش شده اند.

جدول ۱-۱: مشخصات چشمه‌ها در جناح چپ [۹]

نام گمانه	کمترین دبی L/M	بیشینه دبی L/M	سازند	موقعیت	نوع
SP ₂	۰/۷	۳/۵	بختیاری	جناح چپ	دائمی
SP ₃	۲	۱۵	بختیاری	جناح چپ	دائمی
SP ₄	<۱	۷	بختیاری	جناح چپ	دائمی
SP ₅	۱	۵	بختیاری	جناح چپ	دائمی
SP ₆	۳	۱۵	بختیاری	جناح چپ	دائمی
SP ₇	خشک	۵۰	آغاجاری	جناح چپ	دائمی
SP ₁₄	۲۰۰	۳۶۰	سطح تماس	جناح چپ	دائمی

جدول ۲-۲: مشخصات چشمه‌ها در جناح راست [۹]

نام گمانه	کمترین دبی L/M	بیشینه دبی L/M	سازند	موقعیت	نوع
SP ₁₀	۵	۴۲	بختیاری	جناح راست	دائمی
SP ₁₁	خشک	۴	بختیاری	جناح راست	فصلی
SP ₁₂	۱	۴۵	آغاجاری	جناح راست	فصلی
SP ₁₃	۲۴۰	۶۰۰	سطح تماس	جناح راست	دائمی

کیفیت شیمیایی آب چشمه ها بطور مشخص اندازه گیری نشده است ولی با توجه به موقعیت های محلی دارای ترکیبات متفاوتی می باشند. کیفیت شیمیایی رود خانه کارون در محل سایت اندازه گیری شد که در

ترکیبات	نی (m ³ /s)	مواد حل نشده Mg/l	هدایت الکتریکی Ec×10 ⁶ 25°	PH	HCO ₃ ⁻ Mg/L	Cl Mg/L	SO ₄ ²⁻ Mg/L	Ca ²⁺ Mg/L	Mg ²⁺ Mg/L	Na ²⁺ Mg/L
متوسط	۲۸۹/۲	۳۵۳	۵۷۶	۷/۹	۲/۸	۲/۲	۰/۹	۲/۴	۱/۳	۲/۰
انحراف استاندارد	۱۰۰/۸	۱۱۹	۱۸۷	۰/۳	۰/۴	۱/۲	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۱/۱
ضریب تغییر	۳۴/۹	۳۳	۳۲	۲/۵	۱۴/۳	۵۴/۵	۶۶/۶	۲۰/۸	۳۸/۵	۵۵
کمینه	۱۴۶/۷	۱۱۶	۱۷۹	۷/۰	۱/۰	۰/۴۵	۰/۱	۱/۰	۰/۳	۰/۴
بیشینه	۵۲۴/۵	۷۸۰	۱۲۲۰	۸/۸	۵/۰	۵/۹	۴/۹	۴/۵	۳/۱	۵/۶

جدول (۲-۳) آورده شده است.

جدول ۲-۳: کیفیت شیمیایی آب رود خانه کارون [۹]

فصل سوم

تخلخل و نفوذ پذیری سنگها

در این فصل به اهمیت کنترل تراوش در سدها اشاره می شود و پارامترهای تأثیر گذار در آن بررسی می گردد مواردی نظیر:

- تخلخل و عوامل تأثیر گذار بر آن
- قوانین حاکم بر جریان آب زیرزمینی
- آزمایشهای لوفران و لوژان
- کاربردهای آزمایشات نفوذ پذیری

فصل سوم: تخلخل و نفوذ پذیری سنگها

۳-۱- منافذ موجود در سنگ

اغلب سنگ های نزدیک سطح زمین، کم و بیش دارای فضاهای خالی یا منافذی هستند که آب می تواند درون آنها جمع شده و به حرکت در آید. اختلافات موجود در شکل، اندازه، تعداد، نحوه ارتباط و ترتیب قرار گرفتن منافذ سنگ ها، نتیجه فرآیندهای زمین شناسی مختلف تشکیل دهنده و تغییرات بعدی در آنهاست. منافذ موجود در سنگ ها، اغلب کوچک و در ارتباط با هم اند. ولی گاهی نیز در بعضی سنگ ها فضاهای خالی بزرگ یافت می شود. منافذ موجود در سنگها را از نظر نحوه تشکیل می توان به دو گروه تقسیم کرد.

- منافذ اولیه: منافذی هستند که در زمان تشکیل سنگ در آن بوجود آمده اند، مثل فضاهای خالی بین دانه ها در یک رسوب یا سنگ رسوبی یا حفرات موجود در یک سنگ آتشفشانی.
- منافذ ثانویه: منافذی هستند که در نتیجه فرآیندهای زمین شناسی مختلف پس از تشکیل سنگ در آن به وجود آمده اند، از قبیل درزها، شکافها، گسلها، فضاهای خالی ناشی از انحلال سنگ ها و منافذی که بر اثر فعالیت گیاهان و جانوران در سنگ ها ایجاد می شود.

اغلب سنگ های سخت دارای درزه هایی هستند که سنگ را در چند جهت شکسته اند و تا اعماق مختلفی گسترش دارند. این منافذ ثانویه، که بر اثر چین خوردگی، فشار و تغییرات بعدی در سنگ ایجاد شده اند، از نظر اندازه و تعداد متفاوت اند. درزه ها غالباً یکدیگر را قطع می کنند و فاصله داری بین آنها به طرف عمق افزایش می یابد.

منافذ ثانویه بر اثر تجزیه شیمیایی سنگ ها، شسته شدن مواد قابل حل یا انحلال در سنگ ها نیز ایجاد می شوند. انحلال سیمان کلسیتی در یک ماسه سنگ یا انحلال مواد قابل حل دیگر، حفرات و منافذ ثانویه فراوانی در بعضی مناطق ایجاد می کند. عموماً با افزایش عمق منافذ موجود در سنگ ها کاهش پیدا می کند.

۳-۲- تخلخل

نسبت فضاهای خالی به حجم کلی توده سنگ یا خاک با واژه تخلخل بیان می شود. میزان تخلخل در سنگ ها و رسوبات مختلف متفاوت است (جدول ۳-۱) و از نزدیک به صفر تا بیش از ۷۰ درصد تغییر می کند. در سنگها معمولاً دو نوع تخلخل ماکروسکپی و میکروسکپی مشاهده می شود. در حالت تخلخل ماکروسکپی قطر منافذ بیشتر از ۸ میکرون است. در این منافذ، آب و سایر سیالات به آسانی جریان پیدا می کند و حرکت آن تابع نیروی ثقل است. این منافذ نتیجه انحلال مواد در نتیجه فشارهای تکنیکی و یا شکستگی ها در نتیجه خشک شدن سنگ هستند و در رسوبهای آبرفتی و سنگهایی با قابلیت انحلال زیاد (مثلاً آهک) فراوانند. در تخلخل میکروسکپی منافذ کوچکتر از ۸ میکرون است. در این منافذ، آب یا دیگر سیالات به آسانی حرکت نمی کند و در نتیجه نیروی ثقل در عبور و جریان مایعات در این منافذ مؤثر نیست و تابع قانون موئینه می باشند.

رس معمولاً غیر قابل نفوذ است. در شرایط عادی کلوئیدهای آن وضع یکسان و پخش شده^{۱۲} در همه جهات دارد و آب قادر نیست در آن نفوذ کند. در حالیکه افزایش نمک حالت خنثی کلوئیدها را از بین می برد و آنها را جمع یا منعقد می سازد و در نتیجه منافذی در بین ذرات ایجاد می شود و آب در آنها جریان پیدا می کند. چنین وضعی با ایجاد اگرکات^{۱۳} در خاک توام است. اگر به رس شور آب شیرین بدهیم ساختمان اگرکات از بین میرود و مجدداً غیر قابل نفوذ می شود.

۱ - Disperse

۲ - Aggregat

جدول ۳-۱: حدود تغییرات تخلخل در برخی از مصالح طبیعی [۱۱]

درصد تخلخل	رسوب یا سنگ
۵۰-۶۰	لای و رس
۴۰-۵۰	ماسه دانه ریز
۳۵-۴۰	ماسه دانه متوسط
۲۵-۳۵	ماسه دانه درشت
۲۰-۳۰	گراول
۱۰-۳۰	مخلوط ماسه و گراول
<۱	سنگهای متراکم
۲-۱۰	سنگهای آذرین درز و شکافدار و هوازده
۲-۵	بازالت های جدید نفوذپذیر
۱۰-۵۰	گدازه های حفره دار
۲۵-۳۰	توفها
۵-۳۰	ماسه سنگ
۱۰-۴۰	سنگهای کربناته با منافذ اولیه و ثانویه

۳-۳- عوامل مؤثر در تخلخل

مقدار تخلخل به عوامل گوناگونی بستگی دارد. در رسوبات سخت نشده، تخلخل به شکل، درجه جور شدگی و آرایش دانه ها وابسته است. در سنگ های رسوبی آواری معمولاً تخلخل کمتر از رسوبات سخت نشده است. چون بخشی از منافذ توسط سیمان اشغال می شود. بعضی از سنگ ها ممکن است تخلخل نسبتاً زیادی داشته باشند ولی حفرات آنها به هم مرتبط نباشد. سطوح لایه بندی، درزها و گسلها نیز از دیگر عوامل مؤثر بر تخلخل اند. نحوه قرار گرفتن یا آرایش دانه های یک رسوب در کنار هم نیز در میزان تخلخل آن مؤثر است. اگر رسوبی را در نظر بگیریم که از دانه هایی کروی شکل کامل و هم اندازه تشکیل شده باشد، این دانه ها می توانند به صورت های مختلفی در کنار هم قرار گیرند. کمترین تراکم مربوط به آرایش مکعبی و بیشترین تراکم مربوط به آرایش رمبوندی است. البته در شرایط طبیعی دانه ها به صورت کره های کامل یک اندازه نیستند و کمتر به یکی از دو صورت منظم فوق قرار می گیرند و غالباً آرایش مشخص و منظم ندارند. ذرات تشکیل دهنده مواد رسوبی در زیر آب معمولاً از طرف پهن خود ته نشین می شوند. ذراتی که

در آبهای جاری ته نشین می‌شوند ممکن است کمی به طرف بالا در جهت جریان آب، کج شده و تا اندازه ای هم پوشانی داشته باشند.



شکل ۳-۱: ساخت فلسی در رسوبات آبرفتی

نوعی از این گونه آرایش رسوبات را که ساخت فلسی نامیده می‌شود در شکل (۳-۱) نشان داده شده است که غالباً در رسوبات دانه درشت دیده می‌شود. در رسوبات دارای ساخت فلسی، مسیر مولکول های آب در جهت قائم پر پیچ و خم تر از جهت های افقی است. در نتیجه ضریب نفوذ پذیری در جهت قائم (k_z) کمتر از جهت افقی (k_x) است. در مواردی مقدار k_z ممکن است یک پنجم یا حتی یک دهم k_x باشد. این پدیده در رسوبات آبرفتی بیشتر به صورت یک قاعده است تا استثنا. همانطور که در شکل (۳-۲) دیده می‌شود. لایه های شبیه به این ساخت در محل سد گتوند مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۲: ساخت فلسی در لایه های ساحل چپ تکیه گاه چپ

معمولاً در قلوه سنگها میتوان دو قطر کوچک و بزرگ را به راحتی تشخیص داد. ۶۰٪ سنگهایی که در حین رسوب قطر بزرگ آنها عمود بر جهت جریان است، نشانی از ساحل دریا و یا باد دارند و بالعکس ۶۰٪ سنگهایی که قطر بزرگ آنها موازی جهت جریان یا نیروی حرکت دهنده است دارای منشأ رودخانه‌ای یا یخچالی هستند [۲۲].

عامل دیگری که در تخلخل رسوبات طبیعی مؤثر است شیب قلوه سنگ ها می باشد شیب قلوه سنگ ها عبارت است از: زاویه صفحه اصلی سنگها و جهت طبقات و یا در حالت طبقات چین نخورده، زاویه ای که صفحه سنگ با سطح افق می سازد. معمولاً شیب قلوه سنگها از صفر تا ۴۵ درجه تغییر می کند. قلوه سنگهای ساحلی و جریانهای گل آلود دارای شیبی برابر صفر تا ۱۰ درجه اند. موادی که با رودخانه حمل می شوند دارای زاویه برابر ۱۵ تا ۲۵ درجه و واریزه های دامنه ای دارای زاویه ای بین ۲۰ تا ۴۵ درجه هستند (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳ طرز قرار گیری قلوه سنگها در جهت جریان

• تراکم رسوبات

یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در تخلخل تراکم رسوبات می باشد. تراکم رسوبات شاید یکی از ساده ترین تغییراتی است که بعد از رسوب گذاری اتفاق می افتد. وزن رسوبات فوقانی سبب می شود که ذرات کانی های مختلف به یکدیگر فشرده شوند و در نتیجه از مقدار فضاهای موجود در رسوبات کاسته شده و آب بین ذره ای خارج می شود. تغییرات حاصله از فرآیند تراکم در ماسه ها تقریباً ناچیز است زیرا که ذرات و دانه های ماسه از ابتدا با یکدیگر تماس مستقیم دارند، ولی رسوبات دانه ریز عهد حاضر از قبیل رسوبات گلی ممکن است حتی تا ۹۰ درصد یا بیشتر آب داشته باشد. به عبارت دیگر ذرات رسی به صورت آزاد در آب به حالت معلق می باشند. هنگامیکه گل مذکور به سنگ رسی یا شیل تبدیل می گردد، مقدار زیادی آب از بین ذرات آن خارج می شود و در نتیجه به مقدار قابل ملاحظه ای از حجم رسوب کاهش می یابد. بعلاوه هنگامی که ذرات رسی به شدت به یکدیگر فشرده شوند ابتدا یک حالت چسبندگی حاصل می شود و سپس مواد رسوبی تبدیل به یک سنگ حقیقی می گردند.

رس از جمله کانی هایی است که کمتر به صورت سیمان در سنگ ها دیده می شود. در مواردی که کانی های رس در داخل گل سنگ ها و اغلب سنگ های سیلتی و در بعضی ماسه سنگ ها وجود داشته-

باشد بین ذرات آواری را به صورت خمیره پر می‌کند و پس از تراکم، ماده چسبان مؤثری را تشکیل می‌دهد. ولی ماسه های خالص بدون اینکه به هم بچسبند، آزاد و سست باقی می‌مانند مگر اینکه فواصل بین ماسه ها به وسیله سیمان پر شود و در نتیجه آن ذرات به یکدیگر متصل گردند.

• سیمانی شدن رسوبات

سیمان در سنگ های رسوبی رسوبات شیمیایی است که پس از رسوب دانه های اصلی و ماتریکس ته نشین شده و فضای خالی بین آنها را پر می‌نماید. جنس سیمان سنگها خیلی مختلف است و مهمترین آنها عبارت است از: کلسیت، سیلیس، دولومیت، اکسید آهن و ژئپس و به ندرت سیمان های دیگری نیز دیده می‌شود. اهمیت سیمان مخصوصاً در مورد ماسه سنگ ها خیلی زیاد است. درسنگ های رسی به علت خاصیت چسبندگی ذرات رسی ممکن است بدون وجود سیمان فقط در نتیجه تراکم به هم چسبیده و به سنگ تبدیل شود ولی در رسوبات ماسه ای وجود سیمان برای تشکیل شدن ماسه سنگ ضروری است.

۳-۴- تراوش آب زیرزمینی و نفوذپذیری شالوده سدها

روش تحلیلی لاپلاس از معادله دیفرانسیل جریان آب در محیط متخلخل با شرایط حدی معین، مبنای محاسبات هد فشار آب تراوشی در مصالح همگن، غیر همگن یا ناهمسان است. برای حل معادله مزبور از مدل‌های فیزیکی نظیر مدل‌های هیدرولیکی، الکتریکی، عددی یا روش اجزای محدود با استفاده از نرم افزار، استفاده می‌شود. کاربرد مدل محیط متخلخل در مورد سنگهای شکافدار، تقریب زیادی را نسبت به شرایط واقعی نشان می‌دهد. هر چند این مدل برای مطالعه تراوش در سنگها جالب می‌باشد زیرا استفاده از مدل‌های ساده ریاضی منتج به یک شبیه سازی اجمالی از توزیع فضایی حقیقی پتانسیل آبی، گرادیان فشار نقاط بحرانی و حجم جریان تراوش شده است. نفوذپذیری سیستم سطوح لایه بندی و درز و شکافها بسیار بیش از نفوذپذیری سنگهای واقع در بین آنها است. از اینرو بدون خطا می‌توان تصور کرد که تراوش آب تنها از میان ناچ

۳-۵- اندازه گیری صحرائی نفوذ پذیری سنگها

در مطالعات صحرایی اندازه گیری تراوش آب در مقطع مورد نظر از یک گمانه در سنگهای درز و شکافدار تحت فشاری که به نحوه توزیع درزه‌ها و قطع شدن درزه‌ها به وسیله لایه بندی در مقطع مورد نظر بستگی دارد انجام می‌شود. دو روش متداول تعیین نفوذپذیری صحرایی سنگها، آزمایش لوفران و لوژان می‌باشد که در ادامه به اختصار تشریح شده‌است.

۳-۵-۱- آزمایش لوفران

این آزمایش جهت اندازه گیری نفوذپذیری در رسوبات دانه‌ای و در مقاطعی از گمانه های اکتشافی است که به دو صورت زیر اجرا می‌شود:

- در کف مقطع گمانه لوله گذاری شده؛

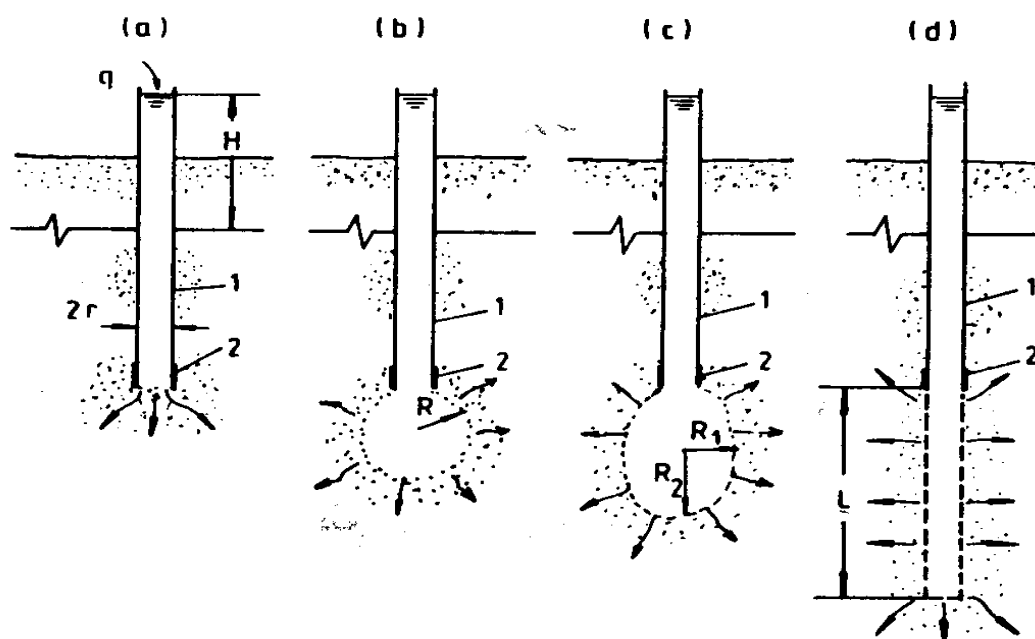
- در طول L مقطعی از گمانه بدون لوله جدار.

در رسوبات با نفوذپذیری بالا، فشار، ثابت نگه داشته می‌شود، و دبی q بر حسب لیتر در ثانیه یا سانتیمتر مکعب در ثانیه اندازه گیری می‌شود. ضریب نفوذ پذیری K با در اختیار بودن فشار h ، دبی q و شکل و اندازه مقطع آزمایش محاسبه می‌گردد. مصالح اطراف مقطع آزمایش، همگن فرض شده و جریان، آرام در نظر گرفته می‌شود. گرادیان فشار از میدان هیدرودینامیک اطراف گمانه و شرایط حدی آن ارزیابی می‌گردد. اگر سنگ (رسوبات) دارای نفوذپذیری کمی باشد، می‌توان از آزمایش بار افتان^{۱۴} یا خیزان^{۱۵} استفاده کرد. گمانه را باید با دقت برای آزمایش آماده کرد. عملیات حفاری باید به نحوی انجام شود که حداقل دستخوردگی در مصالح جدار گمانه ایجاد شود. عملیات حفاری باید ملایم و آهسته صورت گیرد، به ویژه هنگام بیرون کشیدن لوازم حفاری از گمانه، تا از شکست هیدرولیکی در کف گمانه که موجب سست شدن مصالح جدار و کف و افزایش نفوذپذیری آن می‌شود اجتناب گردد. همچنین لازم است که جریان ملایم آب و تمیز برای حفاری به کار برده شود تا از سست شدن مصالح جدار و کف گمانه جلوگیری شود. دقت آزمایش تا حد زیادی به آب بند کردن بالای مقطع آزمایش بستگی دارد. باید از گردش و جریان آب از این مقطع به سطح زمین جلوگیری شود. شکل های مختلفی از مقطع آزمایش در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. در عمل، آزمایشها از کف گمانه مانند حالت a یا از طریق یک مقطع استوانه‌ای مانند حالت d اجرا می‌شود. در حالت اول تراوش عمدتاً قائم است و در حالت دوم افقی است. از آن رو K حاصل، در حالت اول با

۳. Falling

۴. Rising

نفوذپذیری قائم و در حالت دوم با نفوذپذیری افقی منطبق است. بدین لحاظ نتیجه نفوذپذیری می تواند غیر یکنواخت باشد. ذیلاً توضیحات مختصری درباره محاسبات مربوطه ارائه می گردد.



شکل ۳-۴: اشکال مختلف قطعه آزمایش در آزمایش لوفران [۲۳] (a) آزمایش در کف گمانه (b) قطعه کروی (c) قطعه بیضوی (d) قطعه استوانه ای ۱- لوله جدار ۲- آب بند نمودن انتهای لوله جدار با رس

• محاسبه ضریب نفوذپذیری

محاسبه K مبتنی است بر میدان پتانسیل تئوری در اطراف مقطع مورد آزمایش در یک محیط متخلخل همگن که طبق قانون دارسی عبارت است از:

$$v = KI \quad (۱-۳)$$

و دبی جریان برابر است با:

$$q = vA \quad (۲-۳)$$

که در آن A سطح مقطع آزمایش است.

و گرادیان فشار به صورت

$$i = c/h \quad (۳-۳)$$

بیان می شود.

C ثابت شبکه جریان است و به شکل مقطع آزمایش بستگی دارد.

ضریب نفوذپذیری در آزمایش بار ثابت از فرمول زیر به دست می‌آید.

$$K = cq / hA \quad (۴-۳)$$

در حالت آزمایش بار ثابت از کف گمانه:

$$K = q / 0.55rh \quad (۵-۳)$$

در آزمایش بار افتان

$$K = (1.31r / \Delta t) \log h_o / h_t \quad (۶-۳)$$

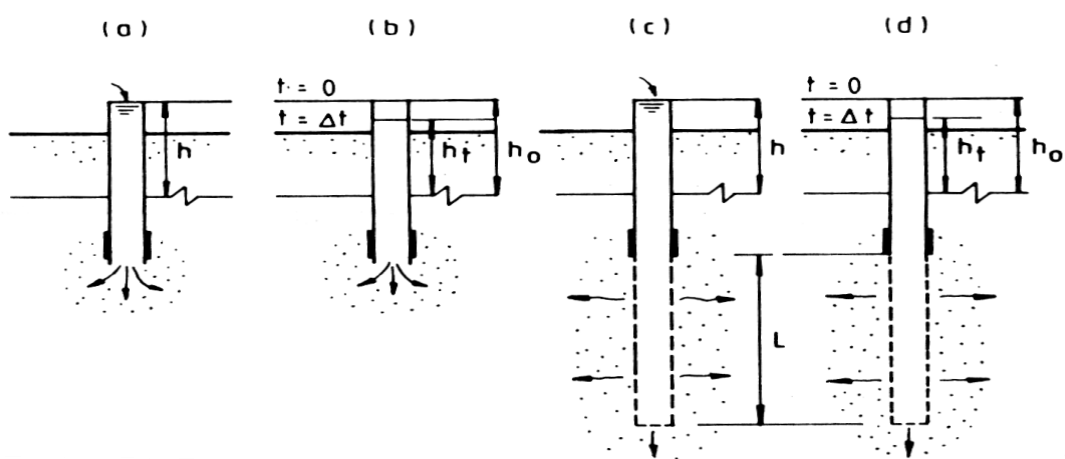
در آزمایش بار ثابت با مقطع استوانه ای به طول L و شعاع r

$$K = (0.37q / Lh) \log L / r \quad (۷-۳)$$

و برای آزمایش با بار متغیر

$$K = (2.64r^2 / L\Delta t) (\log L / r) \log h_o / h_t \quad (۸-۳)$$

برای توضیحات بیشتر به شکل (۵-۳) دقت نمایید [۲۳].



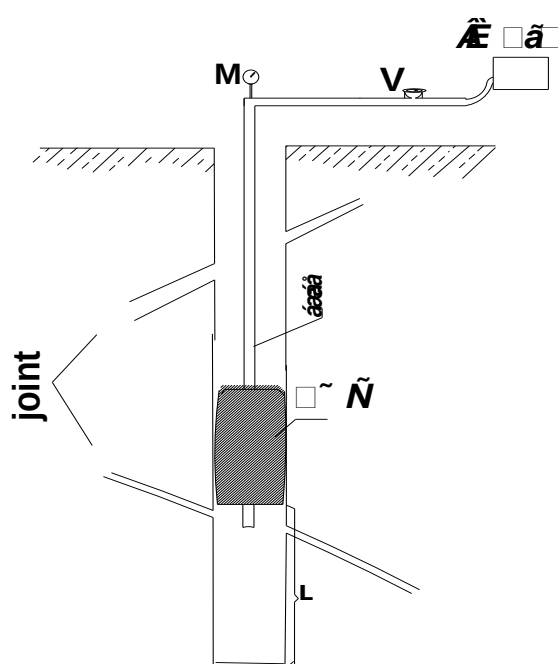
شکل ۵-۳: مراحل مختلف و علائم به کار رفته در معادلات ۳-۱ تا ۳-۸ آزمایش لوفران

(a) اندازه گیری در کف گمانه با فشار ثابت (b) در کف گمانه با فشار متغیر (c) قطعه آزمایش استوانه ای با بار ثابت (d) قطعه استوانه‌ای با فشار متغیر

۳-۵-۲- نفوذپذیری لوژان

مائوریس لوژان (۱۸۸۵-۱۹۴۵) اولین کسی بود که اندازه گیری نفوذپذیری سنگها را در مطالعه شالوده سد معرفی نمود. نفوذپذیری تشکیلات سنگی که آب در درز و شکاف‌های آن جریان دارد و این درز و شکافها به صورت باز و بسته یا پر شده با مواد دانه‌ای یا چسبنده باشد، بر حسب واحد لوژان (lu) بیان می‌شود. یک لوژان برابر یک دقیقه نشست آب از مقطعی به طول یک متر از گمانه مورد آزمایش و تحت فشار ۱۰ اتمسفر می‌باشد.

نفوذپذیری در گمانه های اکتشافی و در فاصله های تعیین شده اندازه گیری می‌شود. موقعی که عمق گمانه به مقدار دلخواه رسید، حفاری متوقف شده و لوله ها بیرون کشیده می‌شود. سپس به انتهای لوله ها، پکر متصل شده و به داخل چاه فرستاده می‌شود تا به فاصله L از کف قرار گیرد، به صورتی که در شکل (۳-۶) نشان داده شده است.



شکل ۳-۶: نحوه انجام آزمایش لوژان

V کنتور آب، M فشار سنج

طول L مقطع آزمایش، متغیر بوده و بسته به میزان درز و شکاف لایه ها از حداکثر ۵ متر در سنگهای کمتر درز و شکافدار تا حداقل یک متر در سنگهای خرد شده تغییر می کند. لوله داخلی به پمپ آب وصل می شود که در بالای آن کنتور و فشارسنج متصل شده است.

آزمایش نفوذپذیری در مراحل متوالی انجام می شود. مقطع اول، با فشار کم به حالت اشباع در می آید تا اینکه میزان تراوش آب ثابت بماند. سپس میزان جریان در طی فاصله های زمانی ۵ دقیقه ای اندازه گیری می شود. سپس این روش با افزایش فشار تدریجی، تکرار می شود و مراحل کاهش فشار مشابه حالت اول (افزایش فشار) نیز اندازه گیری می شود.

هولسیبی^{۱۶} پیشنهاد کرد که توالی مراحل فشار به صورت ۴، ۷، ۱۰، ۷، ۴ P= اتمسفر باشد و فشارسنج در بالای لوله ها قرار داده شود. در آزمایش لوژان میزان فشار کل برابر است با:

$$P = (PM + \Delta H \cdot \gamma \omega / 10) - \Delta p(q) \quad (9-3)$$

که در این فرمول :

P: فشار در مرکز مقطع آزمایش برحسب اتمسفر؛

PM: فشار قرائت شده در مانومتر برحسب اتمسفر؛

ΔH : اختلاف بین ارتفاع مانومتر و سطح آب زیرزمینی (یا مرکز مقطع آزمایش در نقاطی که آب زیرزمینی وجود نداشته باشد)؛

$\Delta P(q)$: افت فشار هیدرولیکی در طول لوله ها و اتصالات از فشار سنج تا پکر؛

افت فشار $\Delta P(q)$ در امتداد طول لوله ها به صورت مستقیم اندازه گیری می شود و سپس روی نموداری خاص محاسبه و در رابطه قرار داده می شود.

عدد N واحد لوژان با استفاده از معادله زیر بدست می آید:

$$N = 10Q / PLt \quad (10-3)$$

در این رابطه:

Q : جریان آب در مقطع آزمایش برحسب لیتر در دقیقه؛

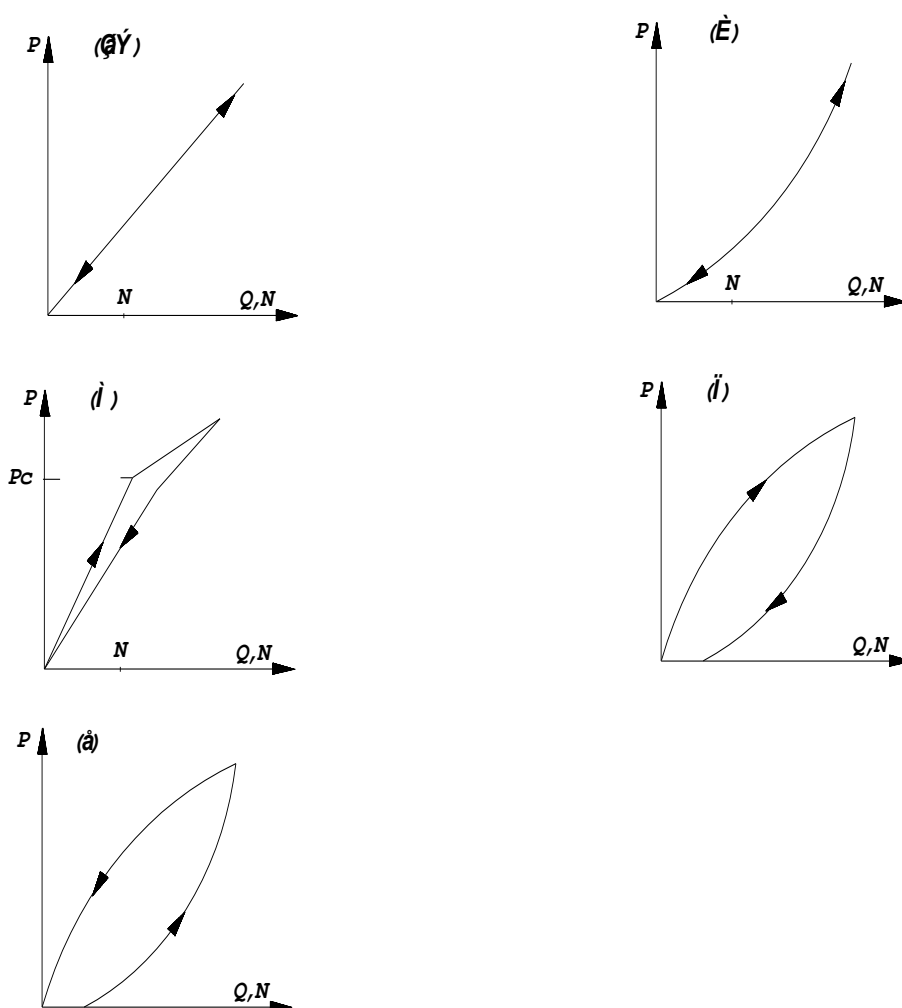
L : طول قطعه آزمایش به متر؛

t : زمانی که در طی آن دبی Q جریان داشته است، برحسب دقیقه؛

P : فشار آزمایش به حسب اتمسفر است.

ت و تفسیر پیچیده تر نتایج آزمایش لوژان مبتنی بر پتانسیل هیدرودینامیک اطراف مقطع آزمایش است. موقعیت مقطع آزمایش نسبت به تراز آب زیرزمینی قابل ملاحظه است. فشار P که در آزمایش لوژان اعمال می شود در اطراف گمانه تغییرات تنش به وجود می آورد که بر روی نفوذپذیری مؤثر است. این تغییرات باید در محاسبه منظور شود تا نتایج واقعی به دست آید. نتایج آزمایش فشار آب در نمودارهای شکل (۷-۳) بر حسب فشار p و دبی q روی محور مختصات نشان داده شده است.

شکل (۷-۳-الف) مربوط به حالتی است که جریان در شکاف های اطراف مقطع به صورت آرام است و مصالح آن فرسایش نمی یابد و رابطه بین p و q خطی است. مقدار N در این حالت برای تمام فشارهای اعمال شده در آزمایش ثابت است. در مورد حالت (۷-۳-ب) جریان آب در شکافها احتمالاً آشفته است و مقدار جریان q به تدریج با اعمال فشار کاهش می یابد در حالت شکل (۷-۳-ج) شکافهای موجود باز می شود و یا شکافهای جدیدی تشکیل شده و نفوذپذیری ناگهان افزایش می یابد. شکل (۷-۳-د) حالتی را نشان می دهد که مواد پر کننده درز و شکافها در ضمن آزمایش فرسایش یافته و نفوذپذیری در سطح بالایی پایدار است. حالتی که در آن مواد پر کننده شکافها در ضمن آزمایش از آنها خارج شده و در فاصله کمی از محل آزمایش رسوب نموده در شکل (۷-۳-ه) نشان داده شده است. در چنین حالتی ممکن است نفوذپذیری تشکیلات، بعد از انجام آزمایش کاهش یابد.



شکل ۳-۸: انواع مختلف نمودار های p/q آزمایش لوژان، [۲۳]

(الف) جریان خطی، (ب) جریان آشفته (ج) شکست هیدرولیکی، (د) شسته شدن پر شدگی شکافها، (ه) انسداد درزه ها

نفوذپذیری اندازه گیری شده در آزمایش فشار آب که به صورت لوژان بیان می شود، مقدار ثابتی نیست و به عواملی مانند فشار آزمایش، مقاومت و الاستیسیته سنگ بستگی دارد. مقدار آن باید تحلیل شده و برای دو گروه از موارد زیر به طور متفاوت، انتخاب گردد:

- تحلیل تراوش آب از میان شالوده سد؛
- تحلیل تزریق؛

۳-۵-۳- کاربرد آزمایش لوژان در ارزیابی تزریق پذیری

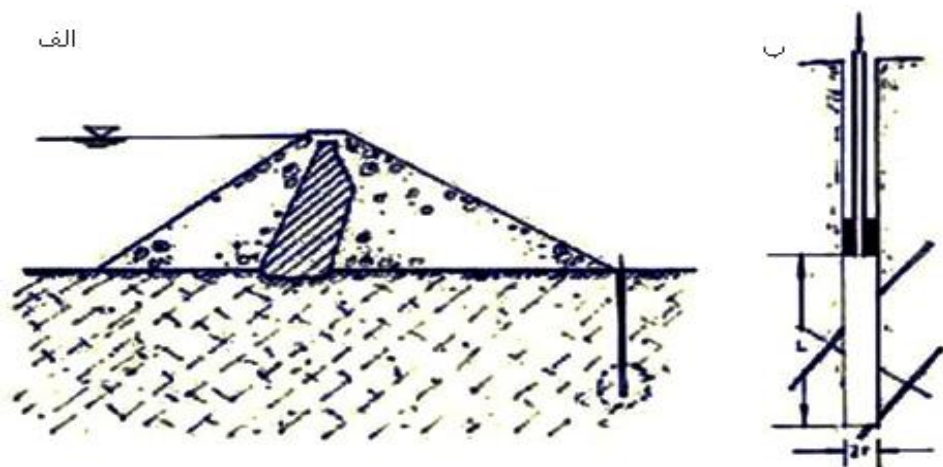
لوژان معیاری را پیشنهاد کرد که براساس آن نیاز به تزریق در شالوده سازه های آبی به صورت زیر می باشد:

- برای سدهای کوتاه تر از ۳۰ متر در جایی که $N \geq 3Lu$ باشد و برای سدهای بزرگتر از ۳۰ متر برای $N \geq 1Lu$ شالوده باید تزریق گردد.

برای تصمیم گیری در مورد نیاز به تزریق و وسعت کار در زیر سدهای مرتفع که در شرایط زمین شناسی نامناسب قرار دارند، این چنین قانون ساده ای رضایت بخش نیست در چنین حالت هایی پیامدهای ناشی از آبگیری باید با در نظر گرفتن موارد زیر ارزیابی شود:

- زیر فشار روی سطح شالوده سازه؛
- اثر جریان آب بر پایداری شالوده و امکان فرسایش درز و شکاف های پر شده؛
- مجموع فرار آب در سنگ های شالوده و اهمیت اقتصادی آن، ضریب نفوذپذیری k برای این مطالعات ضروری است؛

نفوذ آب در سنگ ها موجب تغییراتی در حالت تنش می شود که از این نظر اطراف مقطع مورد آزمایش در گمانه با سنگ های شالوده زیر سد مشابه نمی باشد، همان طور که در شکل ۳-۹ دیده می شود. در مقطع آزمایش، فشار آب در محیط آن موجب تنش های کششی می شود که تنش های محیط را کاهش داده، سنگ را متورم و نفوذپذیری را افزایش می دهد.



شکل ۳-۹: نفوذ پذیری سنگ های درز و شکاف دار (الف) در محدوده شالوده سد (ب) شرایط محلی اطراف قطعه آزمایش نفوذپذیری [۱۳]

حالت مخالف آن در شالوده سد اتفاق می افتد که در آنجا وزن سازه، تنشها را افزایش، شکافها را تنگ (کم عرض) و نفوذپذیری را کاهش می دهد. با اطمینان می توان فرض نمود که نفوذپذیری واقعی سنگها در منطقه زیر سازه کمتر از آن مقداری است که منطبق با تانژانت خط p/q شکلهای (۳-۸) می باشد. نتایج آزمایشهای فشار آب مبنایی برای تکمیل نمودن مدل ژئوتکنیکی برای محاسبه میدان هیدرودینامیک در شالوده سد در اختیار می گذارد. نتایج چنین محاسباتی برآوردی از شرایط واقعی را به دست خواهد داد. تعبیر و تفسیر نادرست آزمایشگاهی نفوذپذیری، ما را به یک نتیجه گیری اشتباه سوق می دهد.

۳-۵-۴- تفسیرهای خطا در آزمایش های فشار آب

در بررسی های آزمایشات صورت گرفته شده بنظر میرسد احتمال تفسیر خطا در آزمایش های فشار آب وجود دارد که می توان برخی از آنها را این گونه بر شمرد:

در حالتی که مقطعی از گمانه فقط با یک بازشدگی خیلی باریک برخورد کرده باشد. منجر به یک دیاگرام P/Q خواهد شد. این منحنی، خطی و فاصله آن از محور P نسبتاً زیاد است، که گویای میزان نفوذ پذیری کم در فشار زیاد است. اگر در هنگام آزمایش، مقطع گمانه به یک درزه به عرض کم برخورد کرده باشد که این درزه در طول مسیر کوتاهی به یک دسته درزه با مسیرهای خیلی باریک تر ولی تعداد زیاد برخورد کرده باشد، مقدار جذب کم هر یک از آنها جمع شده و یک مقدار کلی بزرگتر، با روند منحنی تندتر ارائه می دهد. روند منحنی P نزدیک به محور قرار می گیرد و گویا این مطلب است که نفوذ پذیری بالا در فشار کم اتفاق افتاده است. عدد لوژان بالا این مقطع انتظار خوردن بالا سیمان را در بر دارد که در عمل اینگونه نخواهد بود. در نتیجه انحنای منحنی به تنهایی نشان دهنده دلیل واقعی نیست.

اگر عدد لوژان متوسط تا بالا باشد به تنهایی دلیل کافی برای لزوم تزریق نیست و لزوماً به این معنی نیست که سنگ باید تزریق شود و یا حتی تزریق پذیر باشد. در اینگونه موارد بهتر است به مغزه های حفاری روند هیدرولیک، تفسیر همه جانبه کلی از محدوده و نیز مبحث چینه شناسی و لیتولوژی منطقه نیز پرداخته شود. یکی دیگر از راهکارهای پیشنهادی این تخمین به وسیله تزریق آزمایشی تقویت می شود. زیرا مقایسه مقادیر آب و سوسپانسیون در مورد روند هیدرولیک حاصل اطلاعات بهتری خواهد داد. اینگونه به نظر میرسد آزمایشات فقط مواقعی دارای ارزش هستند که دارای عدد لوژان پائین باشند (به عبارت دیگر سنگ آب بند است).

فصل چهارم

روش آب بندی و کنترل تراوش

هدف کلی از این فصل آشنایی با تراوش و کنترل آن در سدها بخصوص سدهای خاکی و مشکلات ایجاد شده در سدهای می باشد. همچنین مروری بر مواردی همچون:

- خرابی حاصل از زه
- راههای کنترل تراوش
- دیوار و پرده آب بند
- رابط بین تراوایی و تزریق پذیری

فصل چهارم: روش آب بندی و کنترل تراوش

۴-۱- اهمیت کنترل تراوش و آب بندی

یکی از مشکلاتی که در انجام عملیات سد سازی و همچنین پس از اتمام ساخت سد بروز می کند، تراوش آب به درون پی می باشد. نفوذ آب به کارگاه در حین عملیات باعث از کار افتادن دستگاهها و ایجاد وقفه در روند اجرایی پروژه می شود. البته این پدیده در صورتیکه کنترل شده باشد همیشه منفی نخواهد بود مثلاً در محیطهای خشک برای حفاری و گودبرداری شرایطی فراهم می شود که باعث بالا رفتن کارایی و سرعت پیشرفت عملیات می شود. همچنین پایداری دیواره حفاریها افزایش یافته و قابلیت نگه داری مواد سازنده پی را بهبود می بخشد. نفوذ آب از زیر بدنه و هسته سدهای خاکی منجر به افزایش نیرو بالا آورنده، گسیختگی ناشی از رگ آبی^{۱۷}، شسته شدگی و سست شدن پی شده و موجب کاهش راندمان آب بندی می شود. چنین مشکلاتی می تواند بدلیل درست انتخاب نکردن نوع آب بندی با توجه به جنس لایه های زمین شناسی، عدم

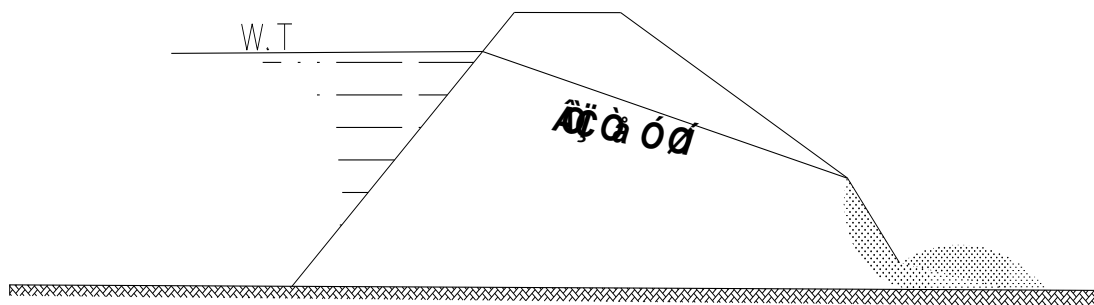
اجرای صحیح آب بندی، اثرات نیروهای تکتونیکی منطقه بر آب بندی (زلزله) و یا وجود گسلهای سراسری و حفره (کاوک) در شالوده سد باشد که در فاز مطالعاتی به آن توجهی نشده باشد.

۴-۲- خرابی حاصل از زه

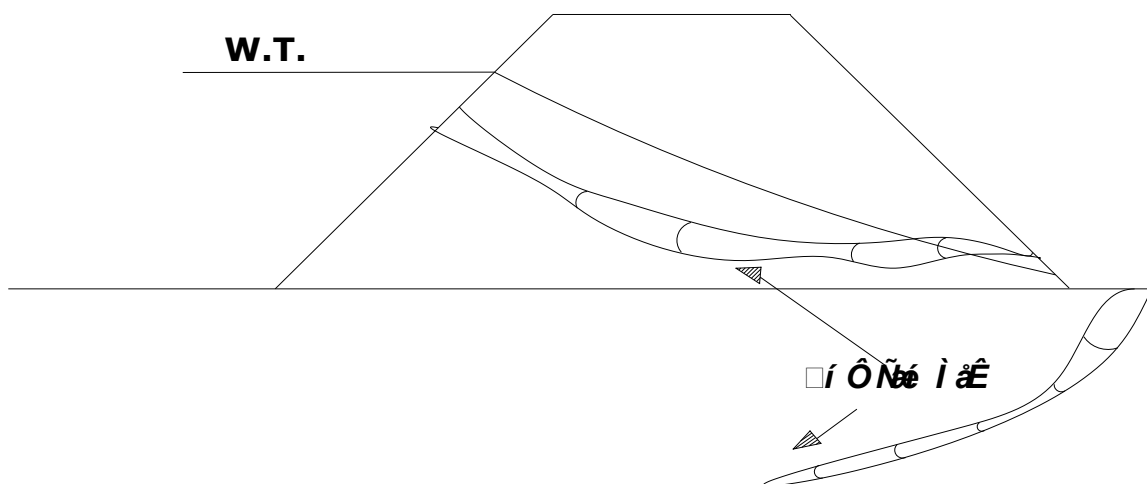
جریان زه در شالوده و بدنه در بسیاری از موارد (حدود ۳۰٪) خرابی های سد های خاکی را موجب شده است. در سدهای خاکی وجود زه غیر قابل اجتناب است و معمولاً خسارتی را موجب نمی شود، اما اگر شرایط مناسبی برای فرسایش خاک وجود داشته باشد موجب شسته شدن آن در نقاط مساعد شده و چنانچه در ابتدای بروز فرسایش جلوگیری نگردد، به تخریب سد منجر می شود. به طور کلی دو نوع خرابی را می توان در اثر زه در نظر گرفت که عبارتند از: خرابی حاصل از پوسته ای شدن^{۱۸} و خرابی حاصل از رگ آبی.

۴-۲-۱- خرابی پوسته ای شدن

چنانچه زه کش مناسب در دامنه پایین دست پیش بینی نشده باشد، یا زه کش های درون سد کارایی خود را از دست بدهند، یا به علت وجود لایه های بسیار نفوذ پذیر، و گاهی به علت تراکم ناقص، بخش وسیعی از دامنه پایین دست در اثر زه اشباع شده و به طور پیش بینی نشده ای خروج زه از این بخش صورت گیرد، در این صورت در اثر اشباع خاک و فشار زه بخش اندکی از پنجه دامنه همراه حرکت آب رها شده و از سد جدا می شود و در تعقیب آن (که در همین حال شیب دامنه در این بخش افزایش یافته) باریکه دیگری شسته می شود و با پیشروی این پدیده باریکه های متعدد شسته شده و شیب دامنه افزایش می یابد، تا اینکه پایداری دامنه به طور کلی از بین می رود و سد تخریب می شود. احتمال وقوع این پدیده در سدهای همگن بیشتر است.



شکل ۴-۱: خرابی حاصل از پوسته شدن به علت زه



شکل ۴-۲: خرابی حاصل از حرکت آب در سد خاکی عمل رگ آبی به علت زه

۴-۲-۲- خرابی حاصل از رگ آبی

پدیده رگ آبی یک فرآیند فرسایش پیشرونده است که امکان وقوع آن هم در بدنه و هم در شالوده وجود دارد. شروع رگ آبی از نقطه ای است که زه در آنجا متمرکز شده و برای شستن خاک مناسب است، یعنی در آن نقطه نیروی مقاوم خاک در برابر فرسایش (نیروی چسبندگی دانه‌ها، اثرات قفل شدگی دانه‌ها، وزن آنها و تأثیر فیلتر حفاظتی خاک) کمتر از تأثیر نیروی مخرب زه در آن نقطه می‌باشد. در نتیجه ذرات می‌توانند جدا شده و همراه زه جابجا شوند و حفره یا مجرای بوجود آورند که به تدریج در امتداد جریان و در جهت هیدرولیک بزرگتر گسترش می‌یابد (شکل ۴-۲). هنگامی که این مجرا به نزدیکی‌های مخزن برسد، جریان شدید آب با سرعت زیاد ایجاد شده و فرصت هرگونه تصمیم‌گیری را صلب می‌کند و در زمان کوتاهی این مجرا بزرگتر شده و به تخریب سد منجر می‌شود.

۴-۳- روشهای کاهش تراوش پی سدها

نقش آب بندی در شالوده، جلوگیری از حرکت کامل آب و یا دست کم طولانی کردن مسیر آب می باشد که در این مورد از فشار تخریبی زه کاسته می شود و به هر حال دبی کل زه کاهش می یابد. روشهای کاهش تراوش پی سد شامل: پرده تزریق، دیوار آب بند، ترانشه آب بند، آب بند ناقص و آب بند سپری می باشد.

۴-۳-۱- ترانشه آب بند

ترانشه آب بند، در شالوده سد حفر شده و از مواد رسی و نفوذناپذیر کاملاً متراکم پر می شود. شیب کناره های آن حدود ۴۵ درجه و اندازه و عمق آن بستگی به شرایط دارد و محل محور آن ممکن است منطبق با محور سد و یا در سمت بالادست جلوتر از محور سد قرار گیرد. اگر لایه نفوذپذیر شالوده بیش از ۱۵ متر ضخامت نداشته باشد، می توان این ترانشه را تا سنگ بستر و یا تا لایه نفوذناپذیر زیرین ادامه داد.

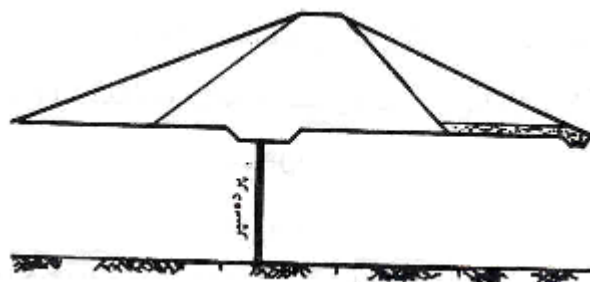
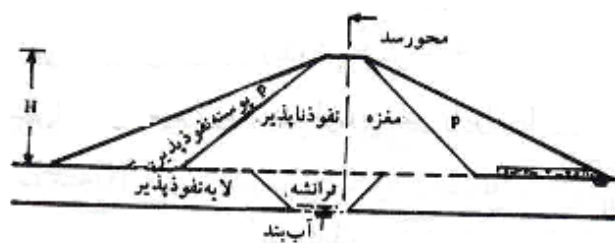
۴-۳-۲- آب بند ناقص

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 کردن آن و در افزایش طول مسیر مؤثر است. آب بندهای ناقص در شالوده هایی که در افق های عمیق تر نفوذپذیری کمتر دارند بسیار مؤثرند. 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 راندمان کاهش زه از آن فقط تا ۵۰٪ می رسد. از اینرو هنگامی می توان از آب بند ناقص نتیجه رضایت بخش گرفت که همراه با آب بند ناقص از پوشش بالادست نیز استفاده شود.

۴-۳-۳- آب بند سپری

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

الف



ب.

شکل ۴-۳: (الف) ترانشه رسی آب بند (ب) آب

بند پرده سپری [۱۷]

۴-۳-۴- پرده تزریق

تزریق یک روش عملیاتی است که توسط آن آمیزه ای از سیمان و مواد دیگر افزودنی به درزه و شکافها و یا حفرات تشکیلات توده سنگی و خاکی تزریق می شود. عملیات تزریق موجب بهبود خصوصیات مکانیکی و هیدرولیکی سنگ و خاک می شود، بطوریکه در اثر آن نفوذپذیری لایه ها کاهش و مقاومت برشی آنها افزایش و تغییر شکل پذیری کاهش می یابد. برای این منظور گمانه هایی حفر و سپس ماده تزریق (آمیزه) با فشار در توده مورد نظر تزریق می گردد تا اینکه درزه و شکافهای اطراف گمانه پر و شرایط مورد نیاز را فراهم شود. عملیات تزریق پی در پی با افزایش فشار انجام می شود و هنگامی که فشار پایین می آید، آمیزه بیشتری (با نسبت آب کمتر) تزریق می شود و هرگاه که فشار افزایش می یابد، آمیزه کمتری تزریق می گردد و آمیزه رقیق تر (با نسبت آب بیشتر) می شود. این عمل تا زمانی که جذب آمیزه تزریق نزدیک به صفر برسد ادامه می یابد.

انتخاب آمیزه تزریق به اهداف تزریق و مشخصات خواص مصالح تشکیلات سنگی و خاکی که تزریق در آن صورت می گیرد بستگی دارد و از دوغاب رقیق و غلیظ سیمان همراه با افزودنیهای لازم، ملات، مواد پرکننده، محلولهای کلوئیدی و شیمیایی، رزین ها، کف های مصنوعی تا قیر داغ و آسفالت تغییر می کند. تزریق آمیزه در مقطعی از گمانه که قبلاً حفاری شده است، تحت فشار انجام می شود و تا آنجا ادامه می یابد که حجم مطلوبی از مواد تزریق، اطراف گمانه را پر کند و در حداکثر فشار تعیین شده به حداقل خورند ماده تزریق برسد که به آن معیار اشباع گویند [۱۲].

عناصر اصلی پرده تزریق به شرح زیر می باشد [۱۲]:

- تعداد ردیف گمانه ها (تعداد ردیف های پرده آب بند)
- فاصله بین ردیف گمانه ها (فاصله بین ردیف های پرده آب بند)
- فاصله بین گمانه ها در هر ردیف گمانه (ردیف پرده آب بند)

- جهت و شیب پرده آب بند (موقعیت فضایی)
- ایجاد پرده آب بند از نظر گسترش افقی و عمودی
- قطر گمانه‌ها
- ترکیب دوغاب تزریق (طرح اختلاط)
- فشار تزریق
- روش تزریق (روش‌های صعودی یا نزولی)
- موقعیت پرده آب بند در ارتباط با سازه‌های مشخص

۴-۳-۵- دیوار آب بند^{۱۹}

مفهوم کلی دیوار آب بند عبارتست از جایگزینی مصالح نامناسب و دارای نفوذپذیری بالا با مصالح انتخاب شده که شرایط طراحی را برآورده نماید. برخی از پروژه‌هایی که در آنها از دیوار آب بند می‌توان استفاده نمود عبارتند از:

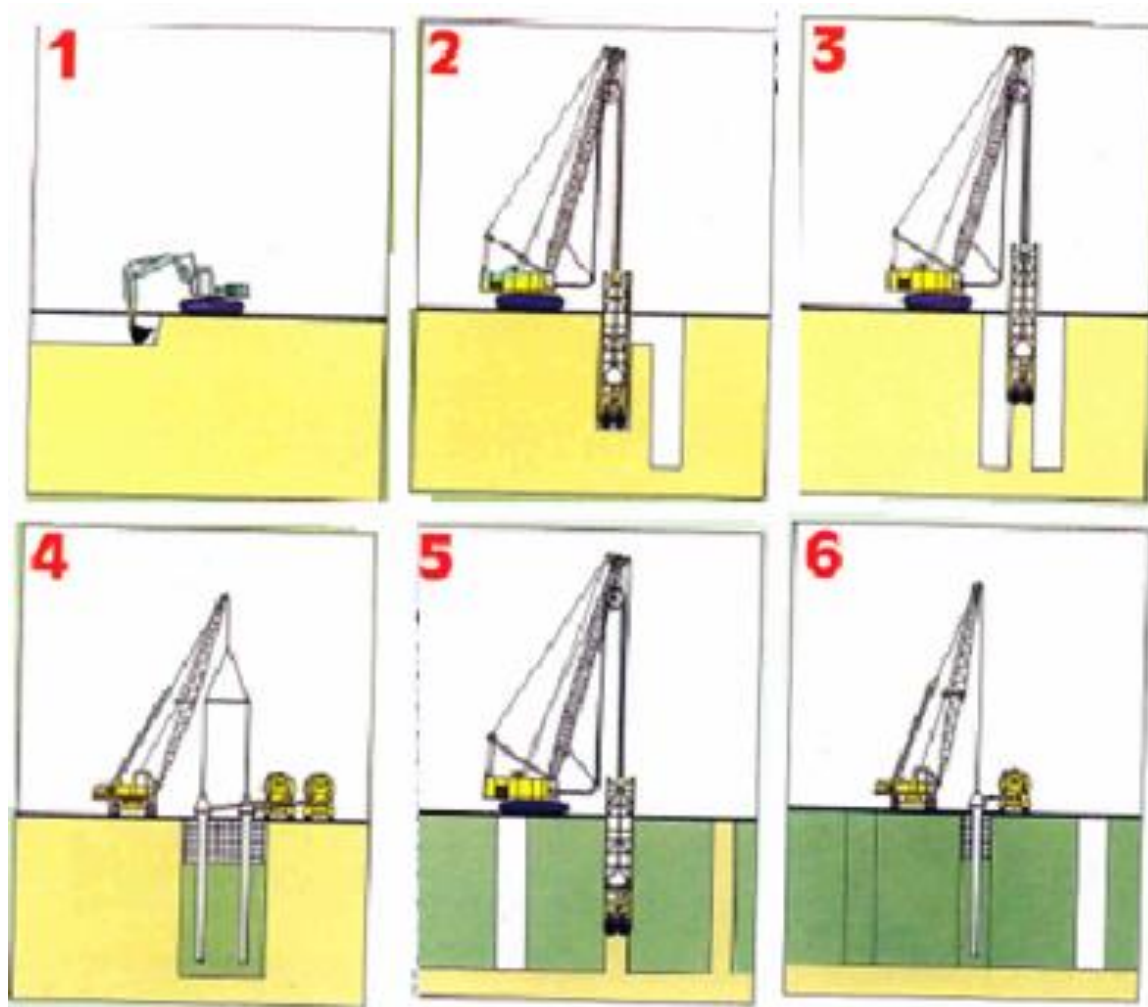
- آب بندی پی سدهای خاکی برای کنترل تراوشات از پی.
 - آب بندی محوطه خاکبرداری زیر تراز آب در پروژه‌های بزرگ از قبیل سدهای خاکی و بتنی، نیروگاهها و ...
 - احداث پارکینگ طبقاتی زیرزمینی.
 - آب بندی محدوده دفن زباله‌ها، مواد شیمیایی برای جلوگیری از آلودگی آبهای زیرزمینی.
 - احداث پی تأسیسات و سازه‌های ساحلی.
 - دیوارهای نگهدارنده و پایداری شیب‌ها (با استفاده از شبکه آرماتور و انکراژ).
 - سدهای زیرزمینی به منظور بالا نگهداشتن تراز آب زیرزمینی در مناطق آبرفتی و تراوا.
 - جلوگیری از اختلاط آب شور و شیرین در سواحل.
- در ایران تجربه چندانی از اجرای عملیات دیوار آب بند وجود ندارد. اولین و در عین حال بزرگترین دیوار آب بند ساخته شده در ایران (با توجه به دیوار آب بندهای اجرا شده در دنیا) اجرای دیوار آب بند پی سد کرخه می‌باشد.

¹⁹. Cut Off

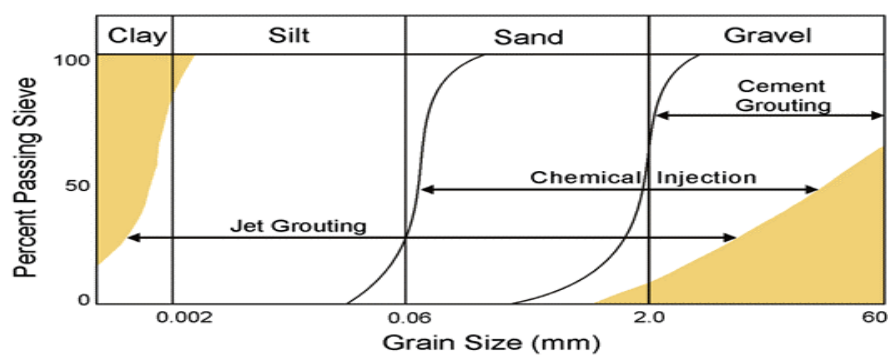
طرح دیوار آب بند با بتن پلاستیک در صورت درست اجرا شدن، درجه اطمینان بالاتری از حیث کاهش تراوش آب و افزایش باربری پی سد نسبت به پرده تزریق دارد. به همین دلیل اجرای دیوار آب بند نیز بعنوان یک راه حل مناسب آب بندی پی سد گتوند مورد بررسی قرار گرفت. دیوار آب بند را می توان در دو مرحله کلی، برداشتن مصالح نامناسب تا بستر نفوذناپذیر یا حفاری (Excavation) و جایگزینی مصالح انتخاب شده با بتن ریزی (Concreting) خلاصه کرد (شکل ۴-۴). دیوار آب بند زیر پی سدها از بالا به طول مورد نیاز در هسته رسی قفل می شود.

یکی از روشهای ایجاد دیواره آب بند استفاده از روش جدید جت گروتینگ^{۲۰} می باشد. این روش که تلفیقی از حفاری و تزریق همزمان می باشد، در نهایت موجب تشکیل یک پرده یا دیواره تزریقی خواهد شد. این روش در ایران کاربرد وسیعی نیافته ولی یکی از روشهای مؤثر تشکیل پرده آب بند در زمینهای سست و آبرفتی می باشد. که حفاری و تزریق در آنها بسیار مشکل است. نمودار (۴-۱) و شکل (۴-۵).

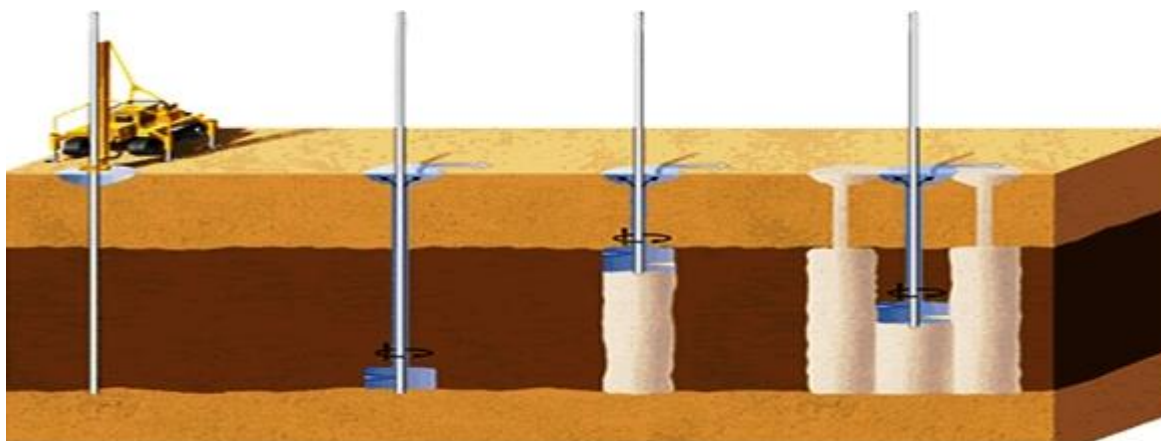
²⁰ - Jet grouting



شکل ۴-۴: مراحل حفاری و ساخت دیواره آب بند [۱۸]



نمودار ۴-۱: دامنه کاربرد جت گروتینگ [۲۸]



شکل ۴-۵: مراحل مختلف روش حفاری جت گروتینگ [۲۸]

۴-۴- مزایا و معایب آب بندها

به این نکته باید اشاره کرد که همواره آب بندی مطلق مد نظر نیست و در بعضی پروژه‌های بزرگ آب بندی در حد میانگین نفوذپذیری رعایت می‌شود. ممانعت بیش از حد، از حرکت آب باعث می‌شود که در بالادست پرده تزریق یا دیوار آب بند (با نفوذپذیری خیلی کم)، فشار منفذی زیاد شده و نیروهای بالادهنده (Uplift) در زیر سد افزایش یابند. این نیروها به خصوص در هنگام وقوع زلزله بسیار خطرناک خواهند بود. پس با عبور کمی آب از این ناحیه، خطرات ناشی از نیروهای فشار آب منفذی و از بین رفتن پرده تزریق و یا دیوار آب بند کاهش می‌یابد. لذا منظور از آب بندی پی سد، کاهش نشت آب در حد دلخواه می‌باشد.

آب بندی به روش بتن پلاستیک دارای نفوذپذیری بسیار کمی بوده و سطح ایستایی آبهای زیرزمینی را پائین می‌برد. مقدار نفوذپذیری دیوار آب بند حدود ۲-۱۰ متر بر ثانیه کمتر از نفوذپذیری پرده تزریق است [۱۹].

۴-۵- روشهای کنترل تراوش

۴-۵-۱- زهکش

زهکش در بدنه سد به منظور جمع آوری و هدایت زه عبور کرده در بدنه یا شالوده می‌باشد و هدف آن خشک نگه داشتن دامنه پایین دست و نیز جلوگیری از ایجاد هر گونه اضافه فشار آب منفذی در مناطق مختلف سد می‌باشد. از آنجا که زهکش‌ها دارای نفوذپذیری زیاد می‌باشند، لازم است ارتباط آنها با بدنه (بخصوص با مغزه سد) به صورت تدریجی باشد، یعنی الزاماً منطقه‌ای به نام فیلتر بین زهکش و خاک بدنه

تعبیه شود. فیلتر ممکن است از یک یا چند لایه تشکیل شده باشد که هر لایه ای برای لایه زیرین نقش فیلتر را دارد. وجود زهکش ها همراه با منطقه فیلتر نه تنها موجب هدایت زه و گرد آوری و تخلیه آب به مجاری پیش بینی شده می شود، بلکه در مواردی که منطقه های ضعیف احتمالی در اثر شیب هیدرولیک آب برای شسته شدن و پوک شدن مستعد هستند وجود یک فیلتر مناسب از این پدیده جلوگیری می کند و اصطلاحاً از پیدایش عمل رگ آبی ممانعت می کند، همچنین در مواردی که تکان های حاصل از زلزله یا نشست های نامساوی موجب ایجاد شکاف هایی در حجم سد گردد و آب بتواند با سرعت و دبی زیاد و پیش بینی نشده ای از آن ترک ها جریان یابد وجود فیلتر امکان ادامه این شکاف ها را تا پایین دست متوقف کرده و از تخریب سد جلوگیری می کند.

نقش اصلی فیلتر که معمولاً از جنس خاک (و گاهگاهی به صورت شبکه های فیلتری و یا الیاف و بافته های از جنس پلیمرهای مصنوعی) می باشد، جلوگیری از شسته شدن و حرکت مواد ریز دانه سازه خاکی است. بدیهی است که مورد کاربرد آن در مکان هایی می باشد که تحت تاثیر جریان زه قرار دارند. به علت وجود زه (یعنی بر اثر شیب هیدرولیک) دانه های ریز می توانند از محیط خود جدا شده و به همراه حرکت آب به نقاط دیگری منتقل شوند به طوری که استمرار این پدیده موجب پوک شدن بخشی از خاک می شود که خود موجب عدم پایداری می شود. به علاوه پیشروی پوک شدن به طرف شیب هیدرولیک بزرگتر (مخزن) موجب تسریع در تخریب می گردد که سرانجام منجر به تخریب کامل سد خاکی می شود.

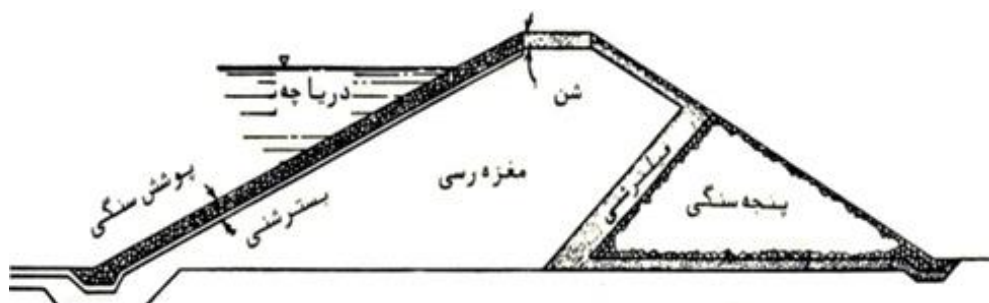
۴-۵-۲- پنجه سنگی

پنجه سنگی یا فیلتر وزنی برای جلوگیری از آب شستگی و متورم شدن لایه های خاک استفاده می شود. این فیلترها بایستی طوری طراحی شوند که از آب شستگی و جوشش جلوگیری کنند. در واقع بخشهای حساس پائین دست سد، خاک موجود با فیلترهای سنگین تر جایگزین می شوند تا وزن بیشتری را به زمین وارد کند و مانع از تورم خاک شود. ضریب اطمینان از متورم شدن خاک به وسیله رابطه زیر محاسبه می شود.

$$G_s = V/U \quad (4-1)$$

در اینجا G_s ضریب اطمینان و V جمع تنشهای عمودی در هر ستون خاک و U میزان فشار حفره ای (فشار آب)، در همان نقطه می باشد. همانگونه که در شکل (۴-۶) مشاهده می شود فیلتر وزنی از

سنگ‌هایی با قطعات درشت تشکیل می‌شود و می‌تواند بدون وجود زهکش افقی و یا توام با زهکش افقی مورد استفاده قرار گیرد. اندازه قطعات سنگ‌های تشکیل دهنده پنجه سنگی معمولاً حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر است. پنجه سنگی نیز باید با لایه‌های فیلتر به بدنه و یا شالوده متصل شود.

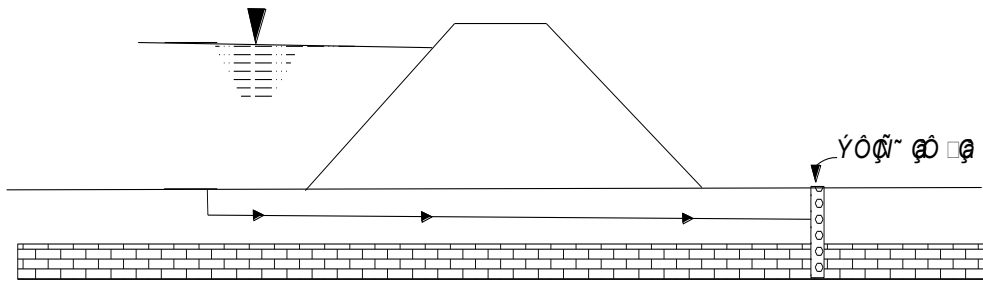


شکل ۴-۶: پنجه سنگی یا فیلتر وزنی در بدنه سدهای خاکی [۱۷]

۴-۵-۳- چاه‌های کاهش فشار

آبی که به صورت زه از لایه‌های زیر سطحی یا از شکاف‌های آب‌بندها درون شالوده یا از عدسی‌های نفوذپذیر درون شالوده عبور می‌کند و به طرف جلوی سد جریان دارد ممکن است در شرایطی موجب پدیده رگ‌آبی شود. در مواردی این آب به صورت چشمه‌هایی در بستر جلوی دامنه پایین دست ظاهر می‌شود. در این صورت ممکن است با ایجاد لایه‌هایی از فیلتر مطابق از بروز فرسایش خاک جلوگیری نمود. در مواردی با اندازه‌گیری فشار آب در لایه‌ها می‌توان از وجود فشار آب اضافی در زیر لایه‌ها مطلع گردید و قبل از ایجاد خرابی به علاج آن اقدام نمود. ولی به هر حال قبل از پر شدن مخزن معمولاً نمی‌توان از محل پیدایش چشمه‌ها، و یا از مقدار واقعی فشار آب در نقاط مختلف بستر پیش‌بینی دقیقی انجام داد. هدف اصلی چاه‌های کاهش فشار، کاهش فشار آرتزین آب است که ممکن است موجب بالا راندن لایه نفوذناپذیر بالایی و یا سرانجام موجب پیدایش رگ‌آبی گردد.

این چاه‌ها در حقیقت فشار هیدرواستاتیک اضافی آب را که از سمت پایین به بالا و زیر بستر پایین دست است، کاهش می‌دهد و نیز خروجی زه را کنترل کرده تا قسمت‌های کم ارتفاع دامنه پایین دست و بخشی از بستر جلوی آن خشک نگه داشته شود (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷: موقعیت نسبی چاه کاهش فشار در شالوده سد

۴-۶- رابطه نفوذ پذیری و تزریق پذیری

در این ارتباط تفسیرهای مختلفی از محققین این علم عنوان شده که در این جا به چند نمونه بسنده می شود:

هولسبی (۱۹۸۶) بر اساس عوامل زمین شناسی و با در نظر گرفتن امکان شکست هیدرولیکی سنگ رابطه کیفی نفوذپذیری- تزریق پذیری را به صورت لوژان- خورند به صورت زیر دسته بندی کرد:

گروه الف) مقادیر لوژان پایین و خورند کم ($f < 40 \text{ kg/m}^3$, $Lu < 5$).

مربوط به سنگ های با میزان نفوذ پذیری پایین که بر سالم بودن سنگ دلالت می کند. تزریق در این گونه مقاطع لازم نمی باشد.

گروه ب) مقادیر لوژان بالا و خورند کم ($f < 40 \text{ kg/m}^3$, $Lu < 20$).

در این گروه آبخوری قابل ملاحظه ناشی از درزه های باریک است. سنگ هایی را که در گروه (ب) جای می گیرند نمی توان به صورت عادی تزریق کرد و حتی سیمان ریز دانه هم نتیجه چندان مطلوبی نمی دهد. اگر وضعیت آب زمین شناسی، آب بندی را لازم کند، باید از راه هایی به جز تزریق بهره- جست. از آن جا که تراوایی از مسیرهای بسیار ریز ناشی می شود، تراوایی کل توده سنگ معمولاً چندان بالا نیست و به احتمال زیاد عملیات بهسازی ضروری نخواهد بود.

گروه پ) مقادیر لوژان بالا و خورند متوسط تا بسیار زیاد دوغاب ($f > 50-1000 \text{ kg/m}^3$, $Lu > 30$).

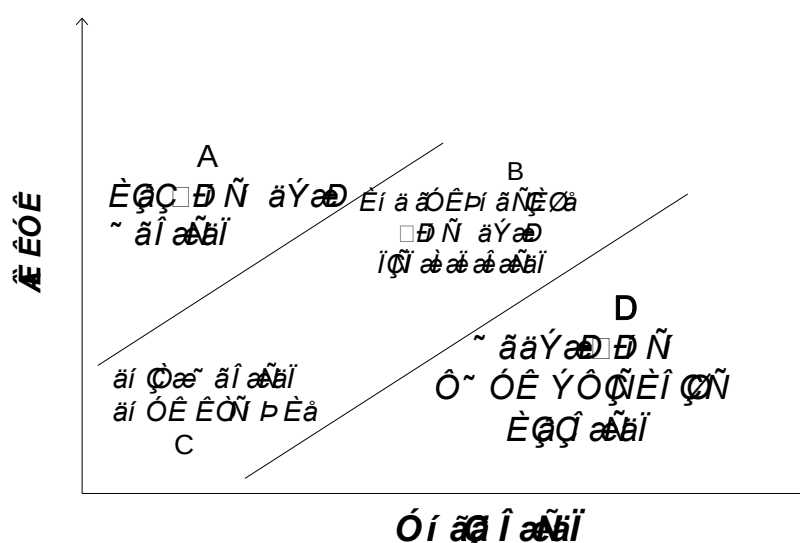
وجود باز شدگی‌های متوسط تا بزرگ اجازه جذب مقادیر زیاد دوغاب را می‌دهد. اجرای تزریق، لازم و ممکن است.

گروه (ت) / اعداد لوژان پایین و خورند زیاد دوغاب (حدود $Lu < 5$, $f > 1000 \text{ kg/m}$ و حتی بیشتر)

مواردی که در این گروه قرار دارند، نشان دهنده سنگ‌های به اندازه کافی نفوذ پذیر هستند که خورند بالای دوغاب در آنها از شکست بوسیله آب ناشی می‌شود.

اورت^{۲۱} (۱۹۹۲) بیان داشته که رابطه مستقیمی بین آزمایش فشار آب و سیمان خوری وجود دارد که تحت تأثیر درزه داری و عوامل زمین شناسی است. در شکل (۴-۸) این رابطه نمایش داده شده است. بر پایه این شکل سنگها را میتوان به چهار گروه متمایز طبقه‌بندی نمود:

- گروه A: سنگهای با نفوذپذیری زیاد و سیمان خوری کم که این امر بدلیل وجود تعداد زیادی درزه باریک است که دوغاب به راحتی نمی‌تواند از آنها عبور نماید. این درزه‌ها با روشهای معمول تزریق می‌شوند.



شکل ۴-۸: رابطه بین مقدار لوژان و خورند سیمان (Ewert, 1992)

- گروه B: در این گروه رابطه مستقیمی بین سیمان خوری و نفوذپذیری وجود دارد که بدلیل وجود درزه‌های باز و عریضی است که آب و دوغاب به راحتی در آنها حرکت می‌کند. این درزه‌ها تزریق پذیر بوده و میزان سیمان خوری با تغییر درزه‌ها متناسب است.
 - گروه C: تزریق پذیر نبوده و نیازی به تزریق ندارد.
 - گروه D: سنگهایی هستند که آبخوری کم و سیمان خوری زیاد دارند. این امر بدلیل بالا بودن فشار تزریق و شکسته شدن سنگها و یا شسته شدن مصالح پر کننده درزه‌ها رخ می‌دهد. برای جلوگیری از شکسته شدن سنگ بایستی بیشینه فشار قابل پذیرش سنگ مشخص گردد.
- نان وایلر^{۲۲} (۱۹۸۸) بر اساس نتایج آزمایش لوژان معیارهایی را جهت تزریق پذیری بشرح زیر ارائه کرد.
- در تزریق جریان خطی شکل (۳-۷-الف) بهتر است با نسبت کم شروع و با افزایش غلظت ادامه یابد. در صورتی که افزایش غلظت باعث افزایش ناگهانی فشار شد احتمال مسدود شدن مسیرها می‌باشد که با افزودن فوق روان کننده یا کاهش غلظت می‌توان در مورد فوق اطمینان حاصل نمود. بهترین فشاری که در این حالت می‌توان اعمال کرد فشاری ما بین حداقل فشار جهت فائق شدن بر مقاوتهایی در برابر جریان که از طرف سنگ وارد می‌شود و حداکثر فشار که باعث شکسته شدن سنگ می‌شود (فشار بحرانی) فشار زیاد است در این حالت علاوه بر حرکت دوغاب در مسافت طولانی، جریان آشفته در مجاری و رسوب گذاری در ابتدای مسیر جریان ایجاد می‌گردد که این امر باعث مسدود شدن ابتدای مسیر و نرسیدن دوغاب به انتهای کانال می‌شود. پس بهتر است با افزایش پله‌ای فشار بهترین حالت را بدست آورد و به این نکته توجه داشت که بهترین فشار حد اقل فشار است.
 - در مورد حالت جریان آشفته شکل (۳-۷-ب) معمولاً این مسیرها دارای سطوح مضرس در طول مسیر مقاطع با سطح مختلف می‌باشد. همانگونه که قبلاً ذکر شد افزایش فشار باعث آشفته شدن جریان می‌گردد. تزریق در این حالت با نسبت کم سیمان به آب شروع و با افزایش غلظت ادامه می‌یابد. افزودن فوق‌روان کننده جهت سهولت حرکت در سطوح پیشنهاد می‌گردد. تعیین حداکثر فشار بروی منحنی تست که بیشترین آشفتنگی را بوجود می‌آورد، ملاکی برای فشار تزریق میتواند باشد.

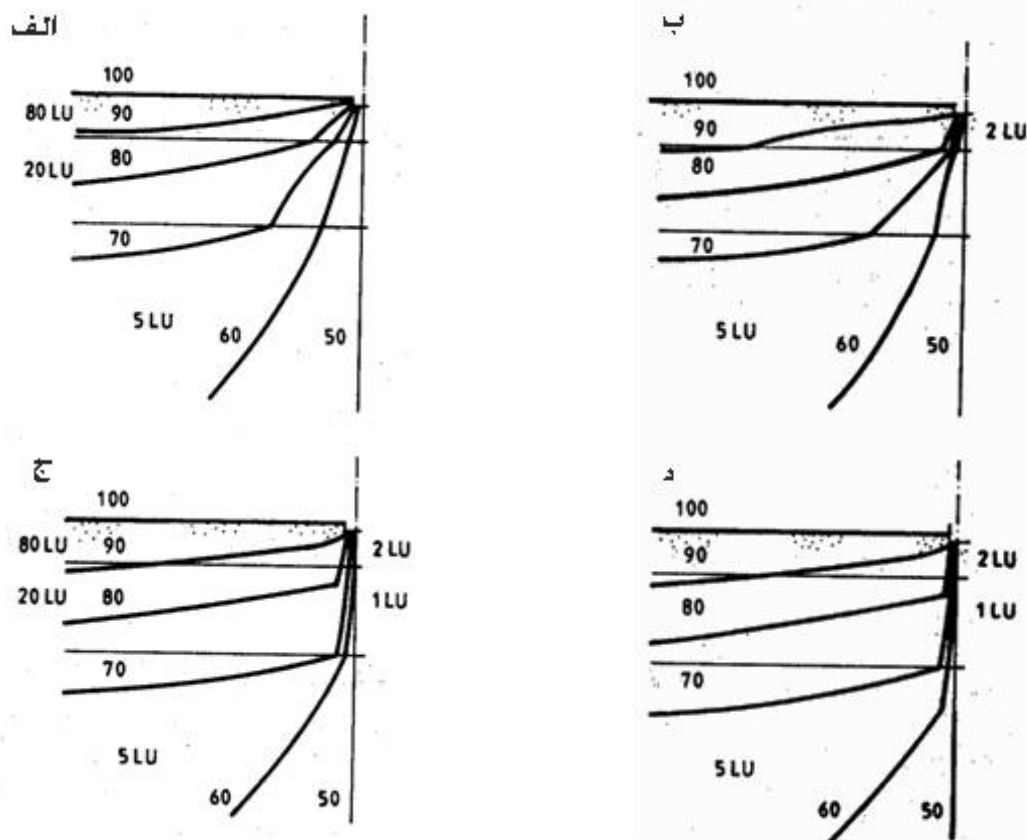
- در حالت شکست هیدرولیکی شکل (۳-۷-ج) در این حالت شکافهای موجود در سنگ تقریباً بسته^{۲۳} بوده و منفرد می‌باشند. در اثر فشار های اعمال شده که از فشار شکست^{۲۴} بیشتر می‌باشد شکافهای موجود باز می‌شود و یا شکاف های جدیدی تشکیل می‌شود. این امر باعث افزایش خوردن ناگهانی در ورای فشار شکست خواهد شد. در خوردن بعضی از گمانه ها که در تست لوژان خوردن داشته ولی به خاطر قطر ذرات سیمان عبور ذرات از مسیر موثر نمی‌باشد. افزایش فشار باعث باز شدن درزها و مرتبط نمودن آنها با یکدیگر و افزایش دوغاب پذیری می‌شود. به هر صورت در رابطه با اعمال فشار در سنگ باید به نکات زیر توجه داشت:

 ۱. افزایش فشار در سنگهای سخت قابل اجرا می‌باشد.
 ۲. در سطوح فوقانی گمانه ها بخاطر شکست سنگ و ارتباط با سطح خارجی این عمل انجام نمی‌شود.
 ۳. حداقل فشار، فشار شکست سنگ بعلاوه یک بار فشار اضافی مقاومت تزریق سیمان می‌باشد. در ادامه تزریق باید سعی شود که این فشار رعایت و آرام، آرام افزایش یابد.
 ۴. استفاده از فوق روان کننده در نسبتهای اختلاطی کمک شایانی به تزریق می‌کند.
 ۵. فشار زیاد باعث ایجاد جریان آشفته و ایجاد فشار هیدرواستاتیک (لیتواستاتیک- الاستیسیته) در سیستم و کاهش میزان تزریق خواهد شد.

- در حالت شسته شدن و پرتلاطمی شکافها شکل (۳-۷-د) از آنجایی که مواد پر کننده در این حالت سست می‌باشند بهتر است قبل از تزریق گمانه های مورد بحث با آب پرتلاطم و زیاد ابتدا شسته شود تا مواد سست خارج و بعد بوسیله جریان دوغاب پر گردد. عکس العمل گمانه ها در برابر فشار متفاوت است در بعضی از حالات با افزایش فشار ذرات در مسیر حرکت باعث فشرده شدن و انسداد کانال و بعضاً با افزایش فشار باعث کنار زدن و باز شدن مسیر جدید می‌شود.

۷- Tighty

۸- Critical pressure



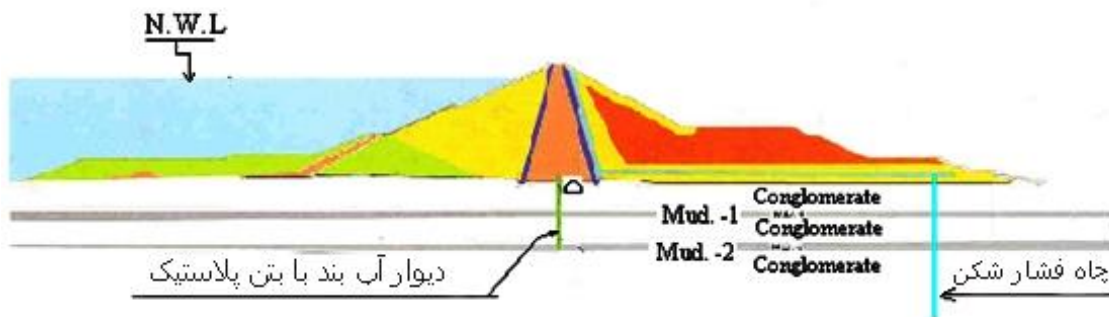
شکل ۴-۹: شبکه جریان زیر یک سد که بر روی خاکهای افقی لایه لایه واقع شده است. [۲۲]

(الف) بدون پرده تزریق (ب) با پرده تزریق در اولین لایه (ج) با پرده تزریق در لایه اول و دوم (د) با پرده تزریق تا عمق ۲۵ متری لایه سوم

- حالت /نسد/د درزه ها در شکل (۳-۷-ه) نشان داده شده است. در چنین حالتی ممکن است نفوذپذیری توده، بعد از انجام آزمایش کاهش یابد. تزریق در این توده نیاز به حوصله و بازی با فشار تزریق دارد ولی بهتر است با فشار کم و جریان آب ابتدا مسیر ها را کاملاً شستشو دهیم.
- در شکل (۴-۹) شبکه جریان در یک شالوده لایه‌ای غیرهمگن یک سد با یک پرده تزریق نشان داده شده است.

۷-۴-۱- سد کرخه

پس از احداث سد و آبرگیری مخزن، آب از جناح چپ سد با دبی بالا شروع به تراوش کرد. تراوش آب در ترانشه نیروگاه که در پائین دست و در ترازهای کمتر قرار گرفته بود خطر ساز شده بود. مطالعات بیشتر در این خصوص نشان داد که از طول 0+00 تا 0+98 متر دیوار آب بند تا اعماق ۱۵ و ۱۸ متری انجام شده است. این امر به دو دلیل بود. یکی اینکه در این جناح آب کمی درون مخزن جمع آوری می‌شود و فشار هیدروستاتیکی کم می‌باشد، دوم یک لایه گل سنگ با نفوذپذیری کم در جناح چپ قرار داشت که هسته رسی سد به این لایه سنگی دوخته شده است اما در زیر این لایه، لایه کنگلومرایی با نفوذپذیری بالا وجود داشت که توجه چندانی به آن نشده بود. جهت حل این مشکل یک دیوار آب بند بصورت عمود بر دیوار آب بند اصلی اجرا شد به طوریکه دیوار آب بند جدید مانع تراوش آب نفوذی از جناح چپ به درون ترانشه نیروگاه شد [۱۸].



شکل ۴-۱۰: مقطع عرضی بدنه سد کرخه [۱۹]

۷-۴-۲- سد لار

سد خاکی لار واقع در شمال شرقی تهران (۱۰ کیلومتری پلور) در محل تلاقی دو رودخانه لار و دلیچای در پای کوه دماوند احداث شده است. حوضه آبریز سد لار ۷۲۵ کیلومتر مربع وسعت دارد. کار تزریق در سال ۱۳۶۳ توسط شرکت یوگسلاویایی ژئوتکنیک انجام شد و پس از گذشت پنج سال و تزریق ۱۲۰ هزار تن شن، ماسه و سیمان از هرز روی آن کاسته نشد. بعداً معلوم شد که روش اجرای تزریق به درستی انجام نشده است. زیرا اولاً فشار آب دریاچه، سیمان تزریق شده را شسته و به طرف چشمه‌ها حمل

می‌کند. ثانیاً در حالیکه نتایج حاصل از آزمایشهای تزریق در سنگ آهک نشان داده بود که گمانه های عمیقتر از ۵۰-۶۰ متری کارساز نمی‌باشد تزریق در گمانه های تا عمق ۲۲۰-۲۴۰ متری انجام می‌یافت. تکیه‌گاه چپ بر روی آبرفت رودخانه‌ای لار قرار گرفته است. به علت ریزدانه بودن خاکستر آتشفشانی تزریق به خوبی انجام نشد و درحال حاضر آن ناحیه آب گذر است چون آب که تا رقوم ۲۵۰۰ متر بالا می‌آید پیژومترهای دو طرف یک ارتفاع را نشان می‌دهد. یعنی بالادست و پایین دست در ارتباط هیدرولیکی هستند. پس اگر آب به رقوم طراحی شده (۲۵۳۳ متری) برسد، بطرف پائین دست جریان می‌یابد. درجناح راست دریاچه لار سنگ آهک کارستی رخنمون دارند که متأسفانه در طرح سد به آن اهمیت داده نشده است. بر اثر آتشفشانی بودن کوه دماوند و وجود بارانهای اسیدی آتشفشانی، حفره‌سازی و کارستی شدن بوجود آمده است. به هنگام تزریق‌های عمیق در عمق ۱۰۲ تا ۱۲۰ متری به غار بزرگی برخورد می‌شود که در امتداد محور طولی گالری (گالری تحتانی در تراز ۲۳۶۰) است. این غار دارای ابعاد طولی معادل ۶۸ متر و حداکثر ارتفاع فضای خالی ۲۷/۵ متر می‌باشد. همانطور که گفته شد پرده تزریق اجرا شده بهنگام ساختمان سد بسیار جزئی و بهیچوجه جوابگوی نیازهای آب بندی حتی در رابطه با مسائل پایداری آن در تراز نهایی نمی‌باشد. در عملیات تزریق اصلاحی و تکمیلی تصمیم گرفته شد که در مناطق خردشده و شدیداً تکتونیزه حداقل از دو ردیف پرده به نحوی که فواصل گمانه‌ها از هم کم باشد، با تزریق مناسب سیمان احداث گردد. در این عملیات به درون غار مذکور شن ریخته شده و به‌مراه آن ملات سیمان به حجم ۳۰۰۰ متر مکعب اضافه شد و در قسمتی از غار عملیات تزریق بداخل شن انجام شد. در نهایت عملیات انجام گرفته شده تاکنون مثمر ثمر واقع نشده است.

سدهای دیگری نظیر: پانزده خرداد، سد مخزنی آبشینه در استان همدان و سد سلمان فارسی در استان فارس دارای مشکلات تراوش از پی می‌باشند.

با مقایسه هزینه تزریق با هزینه اجرای سد و نقش اساسی که به لحاظ توجیه اقتصادی در این پروژه ها ایفا می‌کند اهمیت مطالعات بیشتر بر روی شالوده و نیز چگونگی آب بندی را می‌طلبد [۲۱].

۴-۸- نتیجه گیری فصل

به منظور جلوگیری از خرابی های حاصل از زه، مقدار جریان آب در بدنه سد و شالوده آن نباید تا آن حد زیاد باشد که تأمین هدف از ساخت آن سد را خدشه دار سازد، و نیز فشار زه در هر نقطه در حدی باشد که موجب تخریب نگردد و بنابراین:

الف - مقدار جریان زه در بدنه و شالوده باید به میزان پیش بینی شده محدود گردد.

ب - خطوط جریان زه (یا به عبارت دیگر خط زه آزاد) دامنه پایین دست حتی الا امکان از سطح خارجی دامنه پایین دست دور نگه داشته شود تا موجب خرابی پوسته ای شدن نگردد.

ج - فشار زه در هر نقطه و نیز شرایط دانه بندی و یکنواختی خاک و نوع تراکم، بویژه در حد فاصل لایه ها و در حد فاصل تغییر دانه بندی مواد، چنان باشد که امکان ایجاد پدیده رگ آبی وجود نداشته باشد.

د - امکان ایجاد نشست آب (به جز از مسیر های معمولی و پیش بینی شده) در هر جایی باید حتی الامکان به صفر برسد تا از بروز رگ آبی جلوگیری شود.

فصل پنجم

روشهای آب بندی در سد گتوند

در این فصل عمده فعالیتهای انجام گرفته شده در محل سد گتوند جهت بررسی مباحث صورت گرفته شده در فصول گذشته را انجام داده و سعی شده باجمع آوری اطلاعات لازم جهت بررسی دادهای مورد نیاز راهکارهای مناسب جهت کاهش نفوذپذیری در پی سد ارائه گردد.

فعالیت و نتایج حاصل از بررسی های انجام شده شامل:

- آزمایشات برای تعیین فشار شکست سنگ
- آزمایشات لوژان و بررسی نتایج به دست آمده برای تعیین بهترین نمودار
- تعیین نوع و روش تزریق
- تعیین نوع دوغاب تزریقی
- ارزیابی میزان نفوذپذیری بعد از تزریق

فصل پنجم: روشهای آب بندی در سد گتوند

۵-۱- مقدمه

در پی سد گتوند پاره ای مشکلات در زمینه آب بندی وجود دارد که به برخی از آنها به شرح ذیل می توان اشاره کرد:

یکی از مسائل در سازند کنگلومرا وجود عدسی های درشت دانه بدون سیمان^{۲۵} می باشد. این ساختارهای معمولاً عدسی شکل در بین لایه های سازند کنگلومرا، مشاهده می شوند و دارای نفوذپذیری بالایی هستند. این لایه ها دارای دانه بندی تقریباً یکنواخت و در حد گراول بوده، فاقد ریز دانه و سیمان می باشند. عمده مشکلات آبگذری و تزریق در این عدسی ها می باشد. در پی بررسی های صورت گرفته شده در مورد چگونگی تشکیل این نوع ساخت، که شباهت زیادی به ساخت فلسی دارد می توان اینگونه بیان داشت:

پس از ته نشینی یک لایه ماسه ای با دانه بندی یکنواخت که با زاویه بر روی هم قرار گرفته اند با کاهش ناگهانی سرعت جریان سیلابی ماسه های دانه درشت توسط ماسه های دانه ریز فرا گرفته می شوند. این عمل باعث می شود آبهای حاوی املاح و ریز دانه ها به درون ماسه های درشت نفوذ نکرده و عمل سیمانی شدن در بین آنها صورت نگیرد. در نتیجه میزان نفوذ در راستای عمودی (Kz) کاهش می یابد. مسئله مهمتر وجود اختلاف زیاد در اندازه دانه ها بین دو نوع ماسه می باشد (شکل ۵-۱). در هنگام آبیگری سد در صورت مسدود

نشدن این عدسی ها به خاطر نفوذ پذیری بالا که دارا می باشند مانند لوله عمل کرده و همراه با افزایش سطح مخزن افزایش آبگذری را خواهند داشت (در سد کرخه این مورد تجربه شده است).

مسئله بسیار مهم دیگر در سد گتوند، وضعیت ساختاری پی (وجود تاقدیس تقریباً به موازات رودخانه در سازند آغاچاری) و وجود پر شدگی های انیدریت (ژیپس) در امتداد ناپیوستگی ها می باشد.

بررسی

نمونه های باز یافتی (مغزهای گمانه های اکتشافی) نشان می دهد که ضخامت پر شدگی انیدریت (ژیپس) در درزه ها از چند میلیمتر تا چند سانتی متر است و بیشتر از عمق ۳۰ متری پی به پائین قرار دارند.



شکل ۵-۱: عدسی های گراول بدون سیمان (Open gravel) در بین لایه های کنگلومرا

بعد از آگیری تمام قسمتهای پی و تکیه گاهها و به ویژه مرکز پی به حالت اشباع خواهند بود. تماس آب با ژئوپس باعث واکنشهای شیمیایی شده و طی این واکنشها ژئوپس به انیدریت تبدیل می شود. این عمل اول اینکه باعث افزایش حجم گچ موجود می شود و دوم باعث تغییر ترکیب شیمیایی در شالوده سد می شود که در هر دو صورت ایمنی سازه را در مدت زمان طولانی با خطر مواجه می سازد. به علاوه خطر انحلال ژئوپس و افزایش آبگذری در پی وجود دارد.

از موارد دیگر می توان به توده نابر جای گسل خورده در جناح راست پی سد و وجود درزه های حاصل از گسلها و لایه بندی، با پر شدگی، لایه های رسی با تراکم بالا و نسبتاً نرم (شکل ۵-۲) اشاره کرد. این مورد نیز پس از آگیری یکی دیگر از مشکلات آبگذری را در پی خواهد داشت.



شکل ۵-۲: رس بین لایه ای موجود در بین لایه های کنگلومرا

۵-۲- انواع آب بندها در سد گتوند

در بررسی راههای مختلف جهت آب بندی سد گتوند، شرکت مهتاب قدس بعنوان مشاور دو روش استفاده از پرده و دیوار آب بند را پیشنهاد کرد. در جدول (۵-۱) مقایسه مقدار هدر روی آب در هر سال با استفاده از نرم افزارهای مربوطه توسط این شرکت با توجه به حجم کل مخزن سد گتوند که برابر ۴۵۰۰ میلیون متر مکعب می باشد، محاسبه شده است.

جدول ۵-۱: هدر روی سالیانه آب از پی سد گتوند [۱۰].

گزینه آب بندی	هدر روی سالیانه (m ³ /year)	درصد هدر روی سالیانه آب از مخزن
بدون آب بندی	۷۲۵۳۳	۰/۰۰۱۶
به وسیله پرده تزریق دوخته شده	۴۸۶۰۰	۰/۰۰۱۰
به وسیله دیوار آب بند دوخته شده	۳۷۸۴۳	۰/۰۰۰۸

همانطور که در جدول (۵-۱) ملاحظه می گردد درصد هدر روی سالیانه آب از حجم کل مخزن در صورت آب بندی با پرده تزریق ۰/۰۰۱ و در صورت آب بندی به وسیله دیوار آب بند ۰/۰۰۰۸ خواهد بود.

برای اجرای بهتر و دقیقتر آب بندی به منظور کاهش نفوذپذیری در مرکز و تکیه گاههای پی سد گتوند، چهار راهکار آب بندی مطرح شد:

- آب بندی به وسیله پرده تزریق از داخل گالری بازرسی،
- پرده تزریق از داخل گالریهای تزریق،
- طرح ترکیبی به صورت دیوار آب بند در جناح راست و مرکز پی و پرده تزریق در جناح چپ پی سد،
- در نهایت آب بندی بوسیله طرح ترکیبی به صورت پرده تزریق سراسری در پی بجز محدوده ای از جناح راست پی که عملیات دیوار آب بند انجام می گردد.

۵-۳- برنامه کاری تزریق آزمایشی

جهت اجرای پرده تزریق با هدف کاهش نفوذپذیری در پی و تکیه گاههای سد گتوند علیا، عملیات تزریق آزمایشی در جناح راست و مرکز پی انجام شد. در طی انجام آزمایشات رابطه عناصری همچون فاصله بین گمانه ها، زاویه بهینه جهت حفاری، ترکیب دوغاب تزریقی، روش تزریق و فشار بهینه جهت تزریق، بررسی خواهد شد. موقعیت انجام تزریقات آزمایشی فوق الذکر دقیقاً بر روی محور سد می باشد.

۵-۴- آرایش گمانه های تزریق

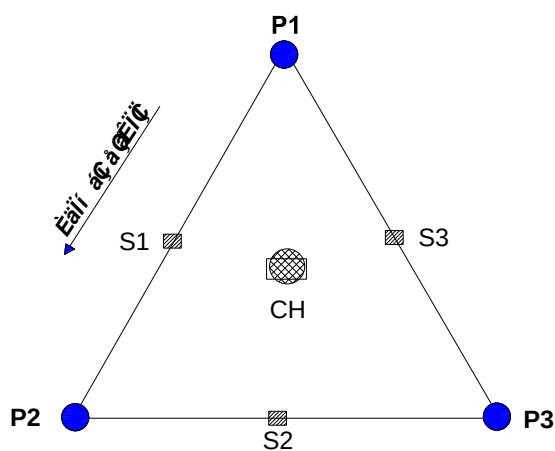
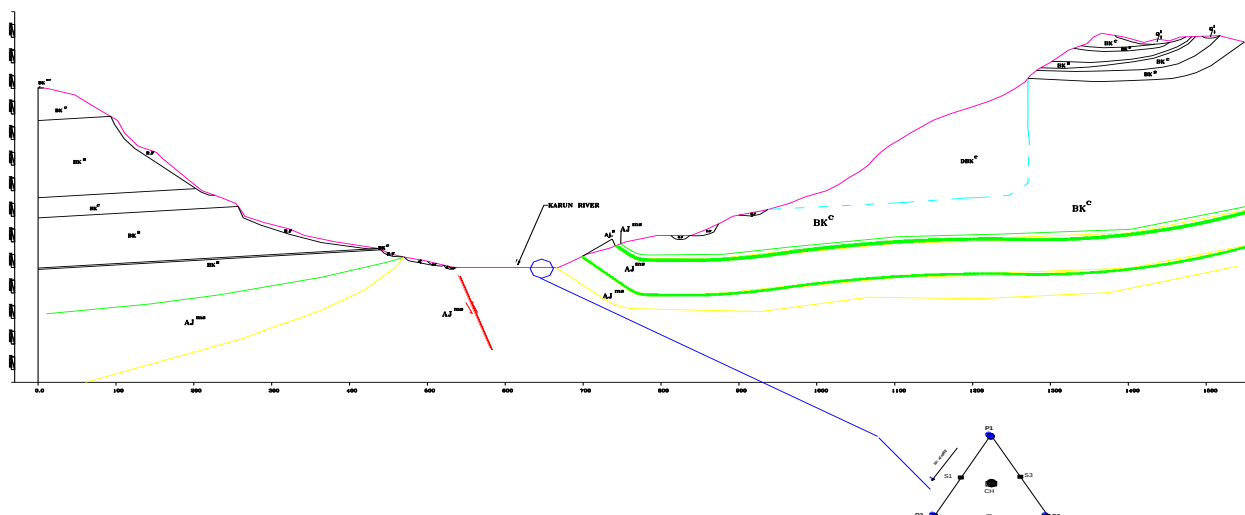
از جمله آرایش های مختلف در اجرای تزریق آزمایشی می توان به روشهای خطی و مثلثی اشاره کرد. در روش خطی آرایش گمانه ها بر روی یک خط مستقیم و به فواصل مشخص که توسط طراح در ابتدای کار پیشنهاد می شود و در حین آزمایش قابل تغییر می باشد اجرا می شود. این روش معمولاً برای زمانی استفاده می شود که بخواهند میزان شعاع تأثیر پذیری در یک ردیف از گمانه بررسی شود. در تزریق آزمایشی به روش مثلثی شعاع تزریق در ردیف های همجوار نیز قابل بررسی می باشد، این روش حساسیت بالایی در زمان اجرا را می طلبد. به خاطر محدودیت محل آزمایش و بررسی هر چه بهتر تأثیر فشار بر روی درزه های منطقه مورد مطالعه، و نیز بحث فواصل گمانه، و بررسی بر روی تعداد ردیف گمانه ها از هم، بین روش آزمایش خطی و مثلثی روش دوم تأیید شد. این روش بدین صورت است که ابتدا گمانه های اولیه تزریق (گمانه های P) در روی رئوس این مثلث به فواصل ۳ متر از یکدیگر حفاری و

تزریق می‌شوند و سپس گمانه‌های ثانویه (گمانه‌های S) در حد فواصل گمانه‌های اولیه به عنوان گمانه‌های کنترل خطی حفاری می‌شوند. پس از حفاری هر مقطع از گمانه نمونه‌های بازیافتی بررسی و تأثیر تزریق گمانه‌های اولیه ثبت می‌شوند و پس از آن، مقطع تزریق خواهد شد. در پایان گمانه شاهد^{۲۶} در مرکز گمانه‌های ثانویه حفاری خواهد شد. موقعیت اجرای تزریق آزمایشی در شکل (۳-۵) نشان داده شده است. با توجه به وضعیت دسته درزه‌های موجود در سنگ، زاویه بهینه گمانه‌های تزریق به منظور عبور از حداکثر درزه‌ها، قائم در نظر گرفته شد و در رابطه با تعیین عمق گمانه، عمقی در نظر گرفته شد که طول گمانه مورد نظر به یک لایه ناتراوا برسد و تا ۵ متر در آن نیز نفوذ نمایند. با توجه به این مطلب و با توجه به اطلاعات قبلی از محل، عمق گمانه‌های تزریق ۵۵ متر و گمانه کنترل ۶۰ متر تعیین گردید. با توجه به این که ناپیوستگی اصلی در پی از نظر موقعیت، میزان باز شدگی و مواد پرکننده سطوح لایه بندی می‌باشند، آرایش گمانه‌ها به نحوی انتخاب گردید تا دو گمانه اولیه (P1, P2) و گمانه ثانویه (S1) در امتداد لایه بندی حفاری و تزریق گردید (شکل ۳-۵).

۵-۵- نسبت های اختلاط دوغاب

با توجه به نقش و اهمیت دوغاب پایدار در تزریق سیمان، آزمایشات متعدد صحرایی در محل عملیات تزریق آزمایشی انجام گرفت برای تهیه دوغاب پایدار از مواد افزودنی از جمله بنتونیت استفاده می‌شود. افزودن بنتونیت علاوه بر اینک موجب کاهش گرانروی دوغاب می‌شود، باعث پایداری سوسپانسیون سیمان و آب و طولانی تر شدن جدایش این دو از هم می‌شود. سعی بر این است تا بتوان با افزودن حداقل مقدار بنتونیت، به دوغاب‌های پایدار در نسبت‌های مختلف آب : سیمان (W/C) دست یافت. متأسفانه به علت تغییرات متوالی نوع سیمان این امر با مشکلات فراوانی همراه شد و نهایتاً سعی شد که از یک دوغاب پایدار تا نسبتاً پایدار در تزریق استفاده گردد.

مشخصات ترکیب دوغاب‌های به دست آمده جهت تزریق در جدول (۲-۵) ارائه شده است:



شکل ۵-۳: موقعیت مکان حفاری در محور سد و نمای حفاری گمانه های آزمایشی

۵-۶- روش تزریق

در عملیات حفاری و تزریق آزمایشی که با آرایش مثلی انجام شد، ابتدا گمانه تا عمق تعیین شده حفاری شد و سپس از پایین به بالا در قطعات ۵ متری تزریق انجام شده است. در صورتی که در هنگام حفاری دیواره گمانه ریزش می کرد و یا مقطع حفاری به فرار آب می خورد، گمانه در آن مقطع تزریق و پس از گیرش سیمان مجدداً حفاری ادامه می یافت. تزریق هر قطعه تا رسیدن به فشار طراحی و معیار پایان تزریق (۵ لیتر در دقیقه) ادامه یافته است.

جدول ۵-۲: مشخصات دوغاب مورد استفاده در تزریق آزمایشی

نسبت سیمان : آب	بنتونیت %	فوق روان کننده %	ویسکوزیتی ثانیه	آب اندازی %
۲:۱	۲	۱	۲۸	۱۱
۱/۵:۱	۱	۱	۲۸	۸
۱:۱	۰/۵	۱/۵	۲۹	۶
۱:۱/۵	-	-	۳۰	۰/۵
۱:۲	-	-	۴۰	-

۵-۷- فشارهای تزریق

با توجه به جنس سنگ مورد آزمایش یعنی تناوب لایه‌های ماسه سنگ، گل‌سنگ و اینکه این نوع سنگ‌ها به طور کلی در ردیف سنگ‌های سست^{۲۷} قرار دارند، تعیین فشار مؤثر تزریق در آنها از اهمیت زیادی برخوردار است، به این معنی که فشار تزریق باید همواره از فشاری که باعث شکستن سنگ شود (Hydro fracturing Pressure) کمتر باشد ولی در عین حال حداقل فشار مؤثری نیز باشد که بتواند دوغاب تزریق را وارد درزه‌های تقریباً بسته نماید (منظور از درزه‌های بسته، درزه‌هایی می‌باشد که باز شدگی آنها بین صفر تا ۰/۵ میلیمتر می‌باشد).

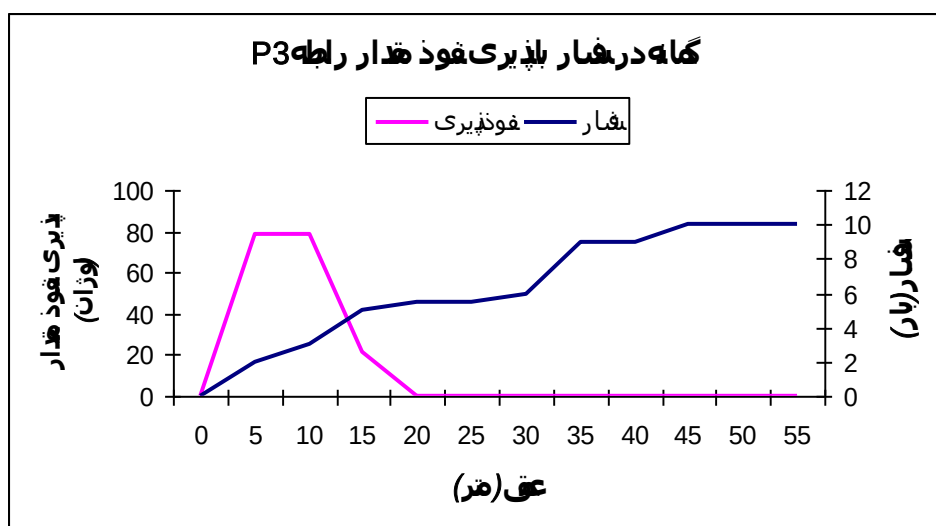
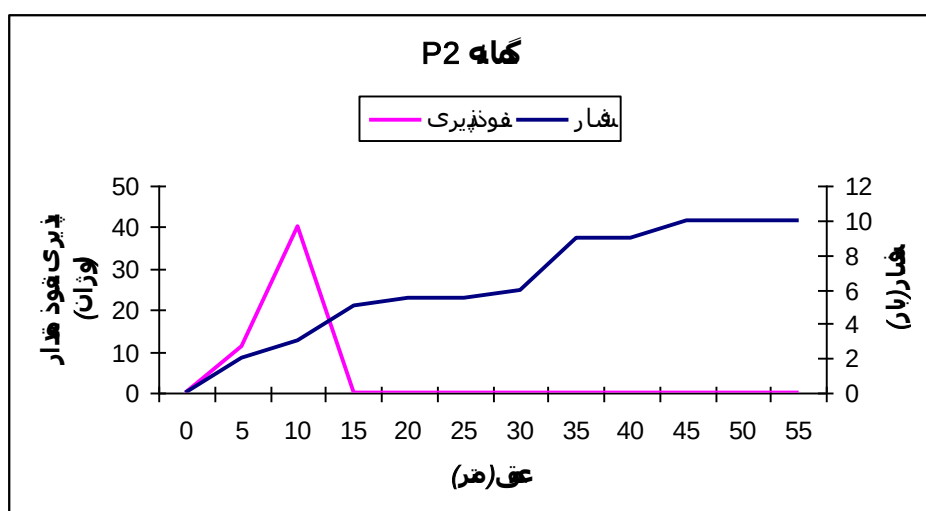
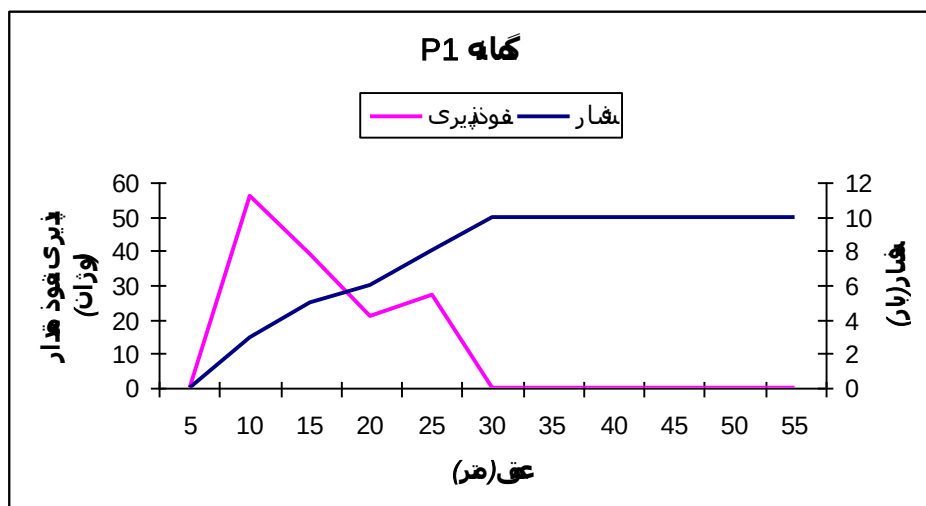
بدین منظور ابتدا در گمانه P1، از سری گمانه‌های اولیه به منظور تعیین فشار شکست سنگ، تمام قطعات با فشارهای بالا تزریق گردیدند و سپس با توجه به نتایج حاصل از تزریق گمانه P1 فشارهای تزریق در گمانه P2 کاهش یافت. مجدداً پس از بررسی نتایج حاصل از تزریق گمانه P2، فشارهای بهینه تزریق برای گمانه‌های سری اول^{۲۸} در گمانه P3 تعیین شد (نمودار ۵-۱).

فشارهای تزریق در گمانه‌های ثانویه^{۲۹} با توجه به تأثیرات تزریق گمانه‌های اولیه بیشتر از فشار تزریق گمانه‌های مذکور انتخاب و اعمال گردید (جدول ۵-۳).

۳- Soft Rocks

۴- Primary holes

۵- Secondary holes



نمودار ۵-۱: نفوذپذیری سنگ در گمانه های اولیه متناسب با فشارهای اعمال شده

رابطه بین فشار آزمایش (P) و مقدار جذب آب (Q) در گمانه P1 (اولین گمانه) نشان میدهد که به هنگام آزمایشات حالات مختلف ذیل اتفاق افتاده است.

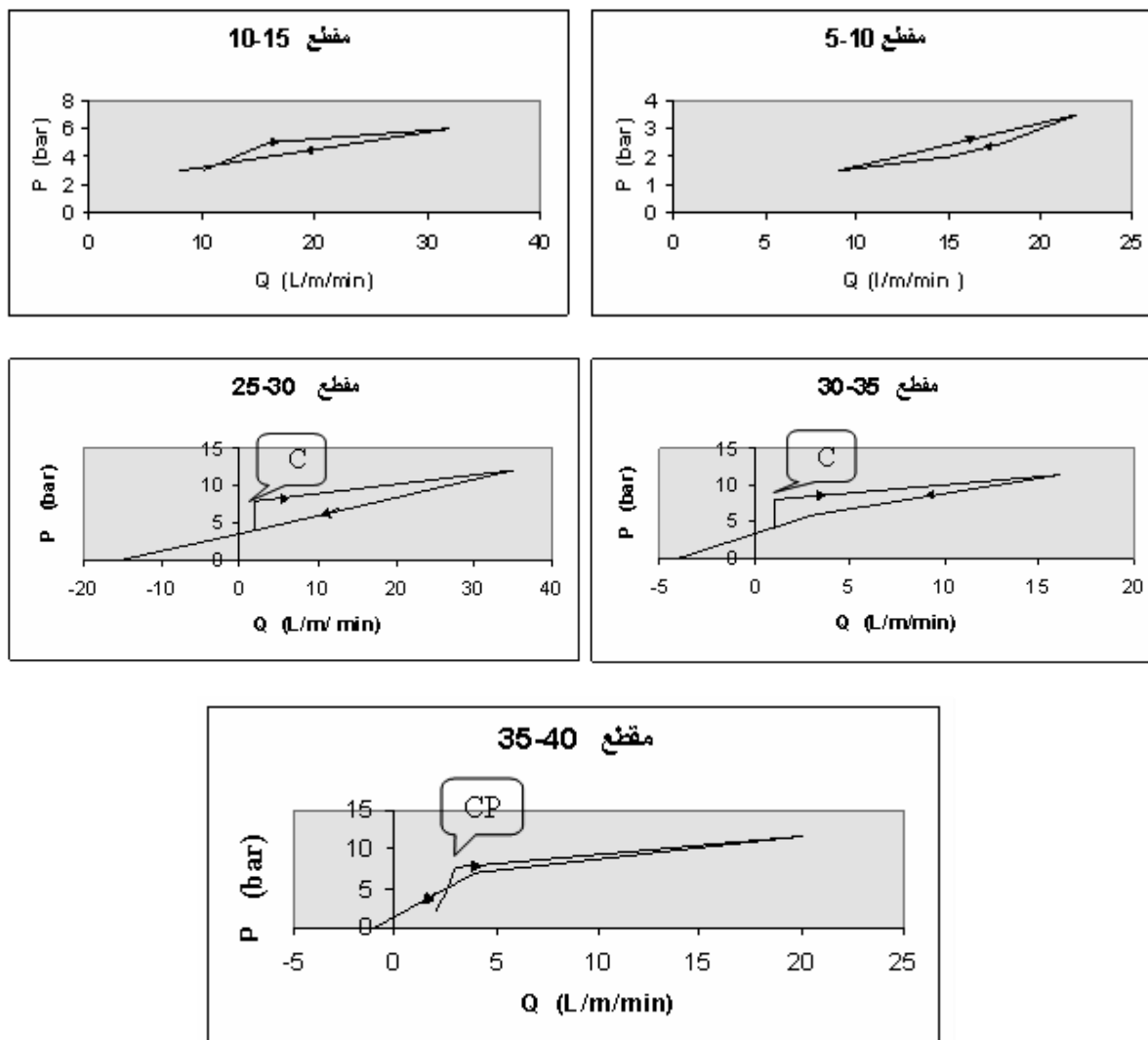
- ۱- مقدار جذب آب (Q) در فشارهای پائین کم می باشد.
- ۲- مقدار جذب آب (Q) متناسب با افزایش فشار (P) افزایش دارد ولی پس از اینکه مقدار فشار آزمایش از حد فشار شکست سنگ^{۳۰} عبور کند، مقدار جذب آب افزایش ناگهانی می یابد (نمودار ۵-۲).

جدول ۵-۳: فشارهای اعمال شده در آزمایش تزریق

عمق گمانه متر	P1 بار	P2 بار	P3 بار	S و C.H بار
۰-۵	۲	۲	۲	۲
۵-۱۰	۵	۵	۵	۵
۱۰-۱۵	۱۵	۶	۶	۷/۲۵
۱۵-۲۰	۱۵	۷	۸	۱۰/۲۵
۲۰-۲۵	۱۵	۹	۹	۱۲
۲۵-۳۰	۱۶	۱۰	۱۰	۱۳
۳۰-۳۵	۱۷	۱۰	۱۱	۱۶/۲۵
۳۵-۴۰	۱۸	۱۱	۱۴	۱۷
۴۰-۴۵	۱۹	۱۲	۱۴	۱۷/۲۵
۴۵-۵۰	۲۰	۱۲	۱۴	۱۷/۵۰
۵۰-۵۵	۲۰	۱۳	۱۴	۱۷/۵۰

همچنین نتایج آزمایشات انجام شده در گمانه P1 نشان می دهد که پدیده مذکور در گلسنگ ها و ماسه - سنگهای محل آزمایش، به دلیل باز شدگی درزه های موجود در سنگ می باشد. زیرا در هنگام آزمایشات فشار آب در پله فشارهای مرحله برگشت آزمایشات مقدار جذب آب کاهش می یابد و در بسیاری از آزمایشات باعث برگشت آب از داخل گمانه و حرکت عکس عقربه های کنتور آب که در سیستم تست قرار داده شده می شود،

این عمل بیانگر برگشت درزه‌های باز شده به وضعیت قبلی خود می‌باشد (نمودار ۲-۵).



نمودار ۲-۵: نمودارهای فشار - نفوذپذیری و شکست سنگ در گمانه P1 در عمقهای مختلف

نتایج آزمایشات همچنین نشان می‌دهد که فشار شکست با عمق رابطه مستقیم دارد و با افزایش عمق گمانه مقدار فشار شکست سنگ نیز افزایش می‌یابد (جدول شماره ۴-۵).

جدول ۵-۴: رابطه فشار شکست با عمق

عمق (متر)	فشار شکست سنگ (بار)
۱۵-۲۵	۷/۲۵
۲۵-۴۰	۷/۵
۴۰-۵۰	۱۵
>۵۰	۱۶/۷۵

فشار شکست سنگ در اعماق ۱۵ تا ۲۵ متر، ۷/۲۵ بار و در اعماق ۲۵ تا ۴۵ متر ۷/۵ بار است. در اعماق پایین‌تر از ۵۰ متر، این فشار به حدود ۱۷ بار رسیده است.

در رابطه با انجام آزمایشات انجام گرفته شده می‌توان گفت: که رابطه نفوذپذیری و فشار آب بصورت خطی نبوده و پدیده شکست هیدرولیکی که منجر به افزایش نفوذپذیری می‌شود در فشارهای مختلف ممکن است صورت پذیرد و این رابطه با افزایش عمق متغیر است، ولی رابطه مستقیمی ندارد. با توجه به تعیین دقیق فشار شکست در سنگ و مشخص شدن مقدار آن می‌توان به انواع درزه‌های موجود و اولیه یا ثانویه بودن درزه‌ها و نیز رفتارهای آنها در مقابل اعمال فشار پس از ساخت سد و آبگیری و واکنش آتی آنها پی‌برد و راهکارهای مناسب را اندیشید و همچنین با تغییراتی که در آن راستا اعمال می‌شود، می‌توان برخی از درزه‌های موجود را که باعث نفوذ پذیری در آینده خواهند شد با شرایط آزمایشات تست آب تشخیص و نسبت به ترمیم آنها اقدام کرد. با توجه به انجام آزمایشات تزریق آزمایشی پارامترهای تزریق نظیر، فاصله بهینه گمانه‌ها از هم و نسبت اختلاط دوغاب سیمان و تعیین فشار شکست تعیین گردید.

۵-۸- نتایج تزریق

چنانکه گفته شد به منظور رسیدن به فشار تزریق بهینه جهت تزریق سنگ، گمانه‌های اولیه با فشارهای متفاوت تزریق شد. در گمانه P1 (اولین گمانه از سری گمانه‌های اولیه) فشارهای تزریق قطعات تزریق تا مرحله شکست سنگ یا تا مرحله باز شدن شدید ناپیوستگی در اثر فشار (Dilation of existing joint) بالا برده شد. در این گمانه جذب سیمان بطور متوسط ۷۸۸ کیلوگرم در متر بوده است، شکسته شدن سنگ نیز همواره با افت فشار و یا افزایش ناگهانی جذب سیمان و یا نشت دوغاب از گمانه همراه بوده است. به منظور

تعیین نقش فشار در مقدار جذب سیمان در گمانه (P1)، در دومین گمانه اولیه (P2) فشارهای تزریق کمتر از فشار شکست انتخاب گردید. که در نتیجه مقدار جذب سیمان ۸۱٪ کاهش و به ۱۵۰ کیلو گرم در متر رسید. در عین حال از عمق ۴۰ متر به پائین سنگ هیچگونه جذب سیمان نداشته است. بنابراین برای آگاهی از این موضوع که این کاهش زیاد جذب سیمان در گمانه P2 به علت کاهش فشارهای تزریق می‌باشد و یا تحت تأثیر تزریق گمانه P1 بوقوع پیوسته است. فشارهای تزریق در گمانه P3 در اعماق پائینتر از ۳۵ متر حداکثر ۲۰٪ نسبت به فشارهای تزریق گمانه P2 افزایش یافت در نتیجه مقدار جذب به ۳۱۷ کیلوگرم در متر افزایش یافت. که نسبت به گمانه P1 کاهش ۶۰٪ و نسبت به گمانه P2 افزایش بیشتر از دو برابر را نشان داده است به جدول شماره (۵-۵) دقت نمایید. در گمانه‌های ثانویه (گمانه های S) مقدار جذب سیمان از گمانه S1 تا گمانه S3 سیر نزولی نشان می‌دهد. بطوریکه مقدار جذب سیمان از ۱۷۰ کیلوگرم در متر در گمانه S1 به ۱۰۹ کیلوگرم در متر در گمانه S2 و ۹۴ کیلوگرم در متر، در گمانه S3 کاهش یافته است.

بررسی مقدار جذب سیمان در گمانه‌های اولیه و گمانه‌های ثانویه و همچنین گمانه کنترلی در جدول شماره (۵-۶) آورده شده است. گمانه کنترلی که در مرکز گمانه‌های ثانویه حفاری شده است، بخوبی تزریق پذیری سنگ را نشان می‌دهد بطوریکه مقدار جذب سیمان از ۴۱۰ کیلوگرم در متر در گمانه‌های اولیه به ۱۲۴ کیلو گرم در متر در گمانه‌های ثانویه تقلیل یافته است، که کاهش معادل ۷۰٪ را نشان می‌دهد. در گمانه کنترلی این مقدار به ۱۵ کیلو گرم در متر رسیده است که ۹۶٪ کاهش را نسبت به گمانه‌های اولیه نشان می‌دهد.

جدول ۵-۵: مقدار متوسط جذب سیمان در گمانه‌های اولیه

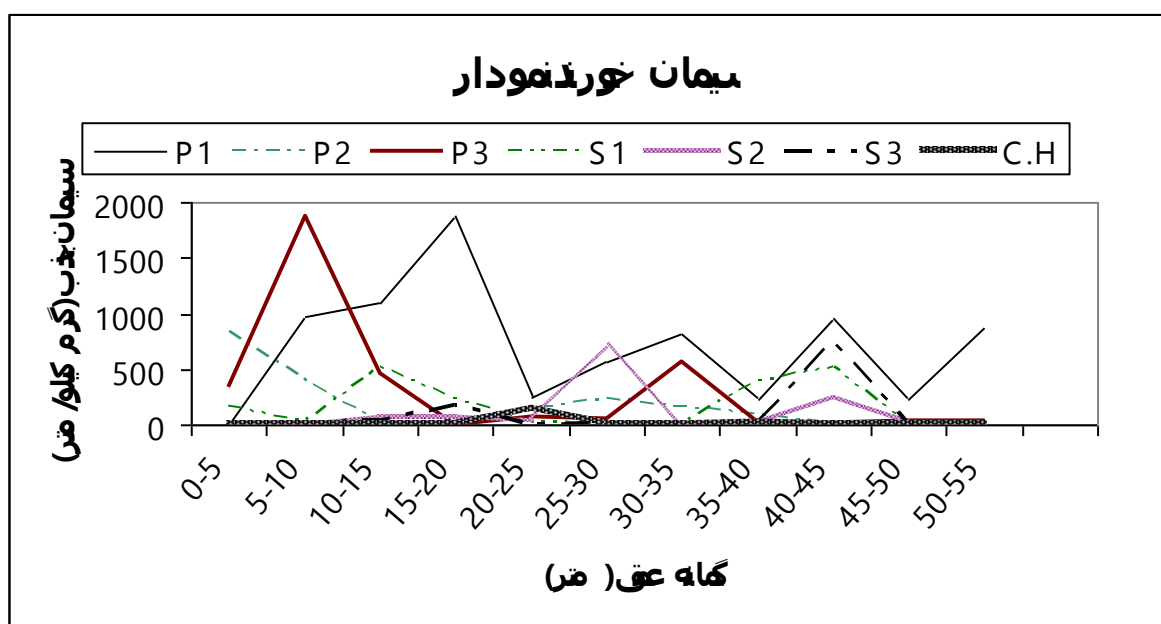
عمق گمانه متر	P1 Kg/m	P2 Kg/m	P3 Kg/m
۵-۱۰	۹۷۲	۳۹۲	۱۸۸۰
۱۰-۱۵	۱۰۹۶	۱۱	۴۶۴
۱۵-۲۰	۱۸۷۹	۱۰	۰
۲۰-۲۵	۲۵۳	۱۳۶	۶۶
۲۵-۳۰	۵۶۱	۲۲۳	۵۶
۳۰-۳۵	۸۱۸	۱۵۸	۵۷۳
۳۵-۴۰	۲۳۶	۸۷	۲۰
۴۰-۴۵	۹۴۸	۰	۲۴
۵۰-۴۵	۲۲۶	۰	۳۸
۵۰-۵۵	۱۹۰	۰	۴۳

جدول ۵-۶: مقدار جذب سیمان در گمانه‌های ثانویه و کنترلی

عمق گمانه متر	S1 Kg/m	S2 Kg/m	S3 Kg/m	C.H Kg/m
۰-۵	۱۵۱	۱۴	۱۳	۲
۵-۱۰	۲۵	۰	۹	۳
۱۰-۱۵	۵۲۱	۷۴	۳۸	۶
۱۵-۲۰	۲۲۳	۷۵	۱۷۳	۶
۲۰-۲۵	۲۰	۳۴	۷	۱۴۷
۲۵-۳۰	۰	۶۸۷	۱۱	۰
۳۰-۳۵	۴	۶	۶	۲
۳۵-۴۰	۳۵۹	۱۲	۳	۱۲
۴۰-۴۵	۵۱۴	۲۵۵	۷۴۴	۰
۴۵-۵۰	۰	۱۲	-	۰
۵۰-۵۵	۱۴	۰	۰	۰

بررسی آماری سیمان موجود در درزه‌های سنگ نشان می‌دهد که شعاع مؤثر تزریق حدود یک متر می‌باشد، زیرا به هنگام تزریق گمانه‌های اولیه آثار سیمان تزریق شده در گمانه‌های مجاور خیلی کم بوده است، اما در گمانه‌های ثانویه (بفاصله ۱/۵ متر از گمانه P) سیمان تزریق شده در درزه‌ها بخوبی نفوذ کرده و در گمانه کنترلی تقریباً تمامی درزه‌های باز دارای پر شدگی سیمان بوده است.

بررسی مقدار جذب سیمان نسبت به عمق نیز نشان می‌دهد که سنگ تا عمق ۳۰ متری دارای خورند بالا می‌باشد. از این عمق به پائین مقدار خورند سیمان بسیار کم می‌شود. که دلیل این امر می‌تواند پرشدگی درزه‌ها با ژئوپس (انیدریت) باشد. این پر شدگی ژئوپس حتی به هنگام تزریق با فشارهای بالا در گمانه P1 و گمانه‌های S نیز شسته نشده است و تنها در مواردی سیمان در باز شدگی درزه و یا در حاشیه رگه‌ای گچ نفوذ کرده و رسوب کرده است.



نمودار ۳-۵: میزان خورند در گمانه‌های تزریق آزمایشی در عمقهای مختلف

در تفسیر نمودار (۳-۵) می‌توان عنوان کرد، میزان نفوذپذیری و در نتیجه میزان جذب دوغاب در سری‌های بعد از گمانه‌های اولیه کاهش می‌یابد تا در گمانه‌های سری دوم و گمانه شاهد میزان خورند به پایین‌ترین حد خود می‌رسد. میزان خورند دوغاب در گمانه P1، P2 و S1 به علت قرار گیری در امتداد لایه بندی بیشترین نفوذپذیری و جذب سیمان را از خود نشان می‌دهند. البته گمانه P3 صفر تا عمق ۱۵ متری خورند زیادی را از خود نشان می‌دهد که این مطلب به خاطر شکستگی‌های سطحی در این گمانه

می‌باشد. گمانه S2 که در جهت عمود بر لایه بندی قرار گرفته دارای جذب کمتری نسبت به گمانه S1 می‌باشد. میزان جذب هیچ گمانه‌ای از مقدار جذب گمانه اولیه تزریق شده (P1) بیشتر نبوده که خود دلالت بر تأثیر گذاری این گمانه بر دیگر گمانه‌های اطراف می‌باشد.

همانگونه که در شکل (۴-۵) مشاهده می‌شود بیشترین مقاطع خوردند مربوط به محل کنتاکت بین لایه‌ای و سازند کنگلومرا می‌باشد. میزان خوردند با عدد لوژان برداشت شده در گمانه‌های اولیه مطابقت دارد. تأثیر تزریق در روند تزریق مشهود است. لایه رسی که در عمق ۴۴ متری قرار گرفته با توجه به عدد لوژان پایین و ضخامت خوب، لایه مناسبی جهت اتصال پرده تزریق به این لایه می‌تواند باشد.

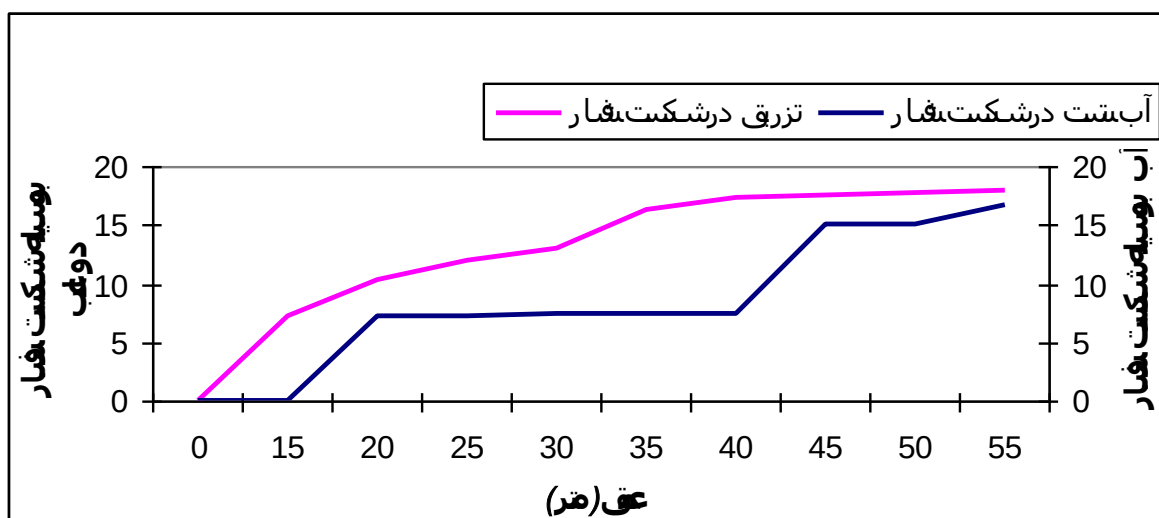
۵-۹- مقایسه فشار شکست سنگ در آزمایش آب و تزریق سنگ

بررسیهای تئوریک و نتایج تجربی نشان داده است که در سنگ‌های درزه‌دار هموار فشار شکست به هنگام تزریق بیشتر از فشار شکست به هنگام آزمایش آب می‌باشد. نتایج بدست آمده از آزمایش فشار آب و تزریق گمانه P1 این امر را نشان می‌دهد. این عدم یکسانی فشار شکست می‌تواند به دو عامل زیر بستگی داشته باشد.

۱- تفاوت روان گرایی آب و دوغاب.

۲- چگونگی وضعیت درزه موجود در سنگ^{۲۱}.

به هنگام تزریق دوغاب سیمان، بخاطر عبور ذرات سیمان و نیز اصطکاک بیشتر ذرات داخل دوغاب با دیواره درزه‌ها، میزان باز شدگی باید بیشتر باشد و این امر فشار بیشتری را نسبت به حرکت آب می‌طلبد.



نمودار ۵-۴: مقایسه فشارهای شکست سنگ بوسیله آب و دوغاب

۵-۱۰- رفتار توده سنگ سد گتوند در برابر آزمایش فشار آب

در جدول (۵-۷) در صد رفتارهای متفاوت توده سنگ سد گتوند در آزمایش‌های لوژان در گمانه‌های تزریق تعیین و ارائه شده است (پیوست نمودارهای شماره ۵ و ۴). در انتخاب گمانه‌های بررسی شده سعی بر آن شد که بیشترین فشار اعمال شده حدود ۱۷ بار باشد تا رفتار سنگ به طور طبیعی و قبل از شکسته شدن بررسی گردد. در یک تقسیم بندی ساده می‌توان این درصدها را به سه گروه دسته بندی کرد.

گروه اول که بیشترین درصد را دارد شامل رفتارهای خطی و شسته شدگی می‌باشد؛
گروه دوم شامل رفتار بازشدگی درزه ها (شکست هیدرولیکی) و توده نفوذناپذیر (عدد لوژان زیر ۱)؛
گروه سوم که در رده پایین ترین درصد قرار دارد، شامل پر شدن درزه ها و جریان های متلاطم می‌باشد.

در صورتی که ساختار سنگ را مد نظر قرار دهیم این مطلب مشخص می‌شود که سنگ پی در بیشترین نقاط دارای درزه‌هایی با بازشدگی کم یا پر شدگی نسبتاً ضعیف بوده که بعضاً ارتباط با یکدیگر دارند. البته این مطلب باید خاطر نشان شود که عدسی‌های نباید فراموش شود که آنها را از میزان نفوذپذیری بالا (خورند بالا) از درزه های فوق می‌توان تشخیص داد. گروه دوم نیز با بررسی نمونه‌های گرفته شده از گمانه‌ها و نیز ساختار زمین شناسی منطقه مطابقت دارد.

از مطالب فوق می‌توان اینگونه برداشت کرد، در تجسم توده سنگ ساختگاه سد گتوند با درزه‌هایی با باز شدگی کم ولی مرتبط به هم و یا عدسی‌های با نفوذپذیری بالا که دارای مواد سست می باشند برخورد خواهیم کرد و اساس حفاری و تزریق را باید جهت برخورد با اینگونه رفتار برنامه ریزی کرد.

جدول ۵-۷: رفتار توده سنگ در برابر آزمایش فشار آب

نوع رفتار	تعداد	درصد
شسته شدگی	۴۰	۳۴
خطی	۳۷	۳۱
بازشدگی درزه‌ها	۱۷	۱۴/۵
نفوذناپذیر	۱۶	۱۳/۵
پر شدن درزه‌ها	۴	۳
متلاطم	۴	۳
جمع	۱۱۸	۱۰۰

۵-۱۱- نقش فشار در رفتار توده سنگ گتوند

آزمایشهای فشار آب معمولاً از قانون دارسی تبعیت نمی‌کنند و افزایش مقادیر جذب وابسته به پله‌های فشار به ندرت دارای روند خطی است. با بررسی انجام شده در نتایج آزمایشات فشار در حین تزریق در سد گتوند تنها ۳۱ درصد از آزمایشات فشار آب نشان دهنده روند خطی بوده و اکثراً نشان دهنده روند برگشت پذیر و یا برگشت ناپذیر با افزایش شدید یا کاهش مقادیر جذب آب بوده‌اند. غالباً فرض می‌شود که شکست سنگ حاصل فشار بحرانی پتانسیل آب بوده و تنها یک مرتبه به وقوع می‌پیوندد. در حالیکه مطالعات انجام شده توسط اورت (۲۰۰۶) نشان داده‌اند که شکست سنگ تابع عوامل مختلفی است که در انواع سنگ با خواص مقاومتی مختلف متفاوت بوده و به روشهای زیر می‌باشد.

الف): یک مسیر آب قطع شده توسط گمانه که به طور جزئی باز است و سپس در اثر فشار آب بازتر می‌شود. این عمل باعث ایجاد جریان دو بعدی (صفحه ای) در سنگ می‌شود. در این درزه‌ها که بصورت V شکل می‌باشند در انتهای مسیر درزه‌ها تنگ تر یا مسدود شده‌اند و یا بوسیله همین شکل به درزه‌های دیگری ارتباط برقرار می‌سازند. در ابتدا معمولاً تنها به صورت جزئی باز می‌باشند و به دلیل اندازه متفاوت آنها تولید کانال‌هایی با پهنای متفاوت می‌کند. فشار بیشتر می‌تواند باعث ترک خوردن و تخریب انتهای درزه‌ها گردیده و با این فرآیند کانالها گسترش می‌یابند. اینکه در چه اندازه و تحت چه فشاری این موضوع اتفاق می‌افتد تابع مقاومت سنگ و مدول الاستیسته می‌باشد. در بعضی از مواقع انتهای درزه‌ها بوسیله مواد ثانویه یا کانی‌زایی پر شده‌اند، که در اثر فشار این ساختمان تغییر می‌کند.

ب): این حالت مسیر آب به طور طبیعی و به صورت یک مسیر باریک باز است و سپس در اثر فشار عریض‌تر می‌شود. این نوع درزه‌ها با برداشتن فشار، به حالت اولیه باز می‌گردند. (البته تا مرز الاستیک) بیشتر این حالت در ساختارهایی که دارای سطح کلیواژ، تغییر لایه‌بندی و موارد مشابه صورت می‌گیرد.

ج): درزه‌ها بسته نظیر ترک‌های مویی وقتی که مقاومت سنگ پایین است ایجاد شده و با فشار کم آب باز می‌شوند. این نوع درزه‌ها بیشتر در ساختارهای اولیه و یا ثانویه تشکیل شده و در اثر فشار کم آبگذری بهتری دارند تا هنگامی که افزایش فشار بر آنها اعمال شود.

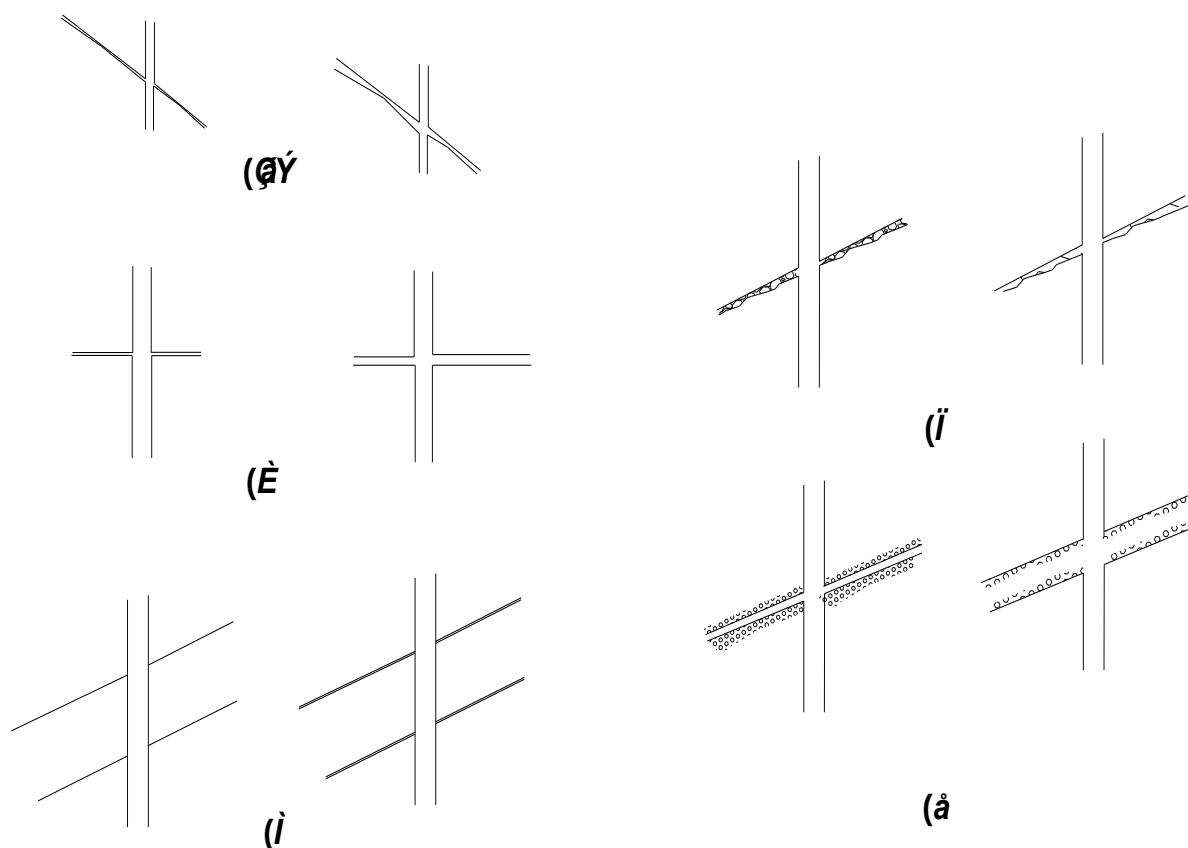
د): یک مسیر آب به طور کامل و یا جزئی به وسیله موادی نرم و غیر متراکم شبیه خاک پر شده‌اند (به طور مثال میلونیت) پر شدگی دارای تراوا بوده و بوسیله آب بیشتر شسته می‌شوند عمل فشار باعث باز شدن مسیر عبور آب و کنده شدن بیشتر مواد می‌شود و یا هنگامی که مواد سست نمی‌توانند تحت تأثیر

فیلتر و انتقال مکانیکی قرار گیرند، جریان آب با فشار باعث فرسایش می‌شود. این شسته شدن و خالی شدن از میلونیت در اثر وجود کانالهای باز صورت می‌گیرد که این کانالها می‌تواند در خود توده میلونیتی وجود داشته باشد و جریان آب با فشار باعث توسعه می‌شود. این حالت اکثراً مربوط به نواحی گسل خورده و یا محلهایی که سنگ به طور کم و بیش میلونتی شده اند می‌باشد.

ه): بافت سنگ از اتصال دانه به دانه ضعیفی است. که فشار آب تراوشی باعث جدایی دانه ها و یا دانه‌های اتصال نیافته شده و در نتیجه موجب حمل آنها می‌گردد. سنگهای ریز تا متوسط دانه که اتصال دانه‌های آنها به وسیله فرسایش و یا اثر سنگ شدگی سست، تضعیف شده و به وسیله مسیرهای کاملاً باز قطع گردیده‌اند می‌توانند تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته و دانه ها از یکدیگر جدا شوند.

بنابراین شکست سنگ از طریق مختلف می‌تواند وقوع یابد و انتظار می‌رود تا این نتایج در آزمایش فشار آب منعکس شود دلایل شکست می‌تواند دارای دو منشأ زیر باشد.

- خواص مقاومتی سنگ (حالت الف، ب، ج)
- فرسایش تحت فشار (حالت د، ه).



شکل ۵-۵: شکست هیدرولیک به دلایل مختلف: الف) باز شدگی بیشتر ناپیوستگی که در حالت اصلی تنها

قسمتی باز شده بود. ب) باز شدن درزه‌ها به دلیل فشرده شدن سنگ ج) ترک خوردن درزه‌های پنهان
د) فرسایش مواد خاک مانند پرکننده درزه‌ها ه) جدا شدن دانه‌ها

بنابراین سنگ می‌تواند به هر یک از دلایل بالا و یا هر دو آنها شکسته شود.

در بررسی‌های انجام شده در آزمایشات صورت گرفته در پی سد (نمودار ۵-۲) برگشت کنتور آب نشان دهنده برگشت آب به داخل گمانه و در نتیجه رفتار سنگ را مانند قسمت ب مشخص می‌کند و در برخی از آزمایشات رفتاری مانند حالت ه و د را از خود نشان می‌دهند. در جدول (۵-۸) رفتار سنگ تقسیم بندی شده است.

جدول ۵-۸: رفتار سنگ پی سد گتوند

درصد	تعداد	نوع رفتار
۴۸	۲۷	باز شدن درزه‌ها به دلیل فشرده شدن سنگ
۳۵	۲۰	فرسایش مواد خاک مانند پرکننده درزه‌ها و جدا شدن دانه‌ها
۱۷	۹	باز شدگی بیشتر ناپیوستگی و ترک خوردن درزه‌های پنهان
۱۰۰	۵۶	جمع

شایان ذکر است تغییرات یاد شده تنها در تعداد معدودی از آزمایش‌ها سبب افزایش نفوذپذیری و سیمان — خوری شده است. در بیشتر موارد افزایش فشار سبب باز شدن درزه‌ها یا خرد شدگی گردیده، اما چون ارتباط هیدرولیکی مؤثری بین درزه‌ها ایجاد نشده، نفوذپذیری افزایش چندانی نداشته است.

در آزمایشاتی که جهت تعیین نقطه شکست سنگ انجام گرفت فشارهای مختلفی بدست آمد. به عنوان مثال در آزمایش مقطع ۲۲ تا ۲۳ متری که در محل گالری D در مورخ ۸۶/۳/۱۹ صورت گرفت چهار بار بارگذاری تا فشار ۱۵، ۱۷، ۱۴ و ۱۳ بار انجام شد که میزان کل جریان عبوری ۸۹۵ لیتر بوده و مدت کل انجام آزمایش ۵۵ دقیقه طول کشید.

در دومین بارگذاری فشار تا ۱۷ بار رسیده و به طور ناگهانی افت نموده که می‌تواند نشانه شکست باشد. در بارگذاریهای بعدی فشار هیچگاه به بالاتر از ۱۵ بار نرسیده است.

لازم به ذکر است مقطع انجام آزمایش با کنتاکت لایه کنگلومرا و میان لایه ماسه سنگی رسی ۲۰ سانتیمتر فاصله داشته است.

۵-۱۲- ناهمخوانی نتایج لوژان و خوردند سیمان

در ساختگاه سد و نیروگاه گتوند موارد تناقض میان اعداد لوژان و خوردند بسیار زیاد است که بیشتر دلایل فنی و اجرایی دارند تا علت زمین شناسی که در زیر به چند نمونه اشاره شده است:

- یکی از علتها، محل تماس بتن آستر بندی^{۳۲} و سنگ در گالری های تزریق که دارای باز شدگی اندک و امتداد زیاد هستند، به عنوان یک عامل می تواند در نظر گرفته شود.

- علت دیگر نحوه محاسبه لوژان است که در نتیجه بالا بودن فشار آزمایش در مقاطع نزدیک به سطح عدد بالاتر از واقعیت را نشان می دهند.

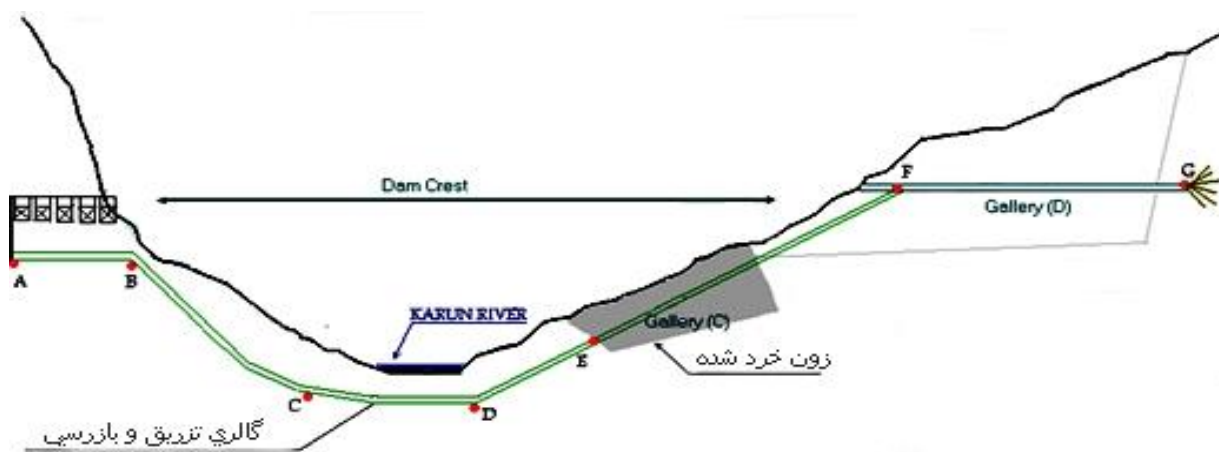
- در بسیاری از مواقع نفوذ پذیری با آزمایش فشار آب تک پله ای شده و فشار اعمال شده در این آزمایش با عمق از بالای گمانه تغییر کرده است، در صورتی که فشار آزمایش تک پله ای نباید بیش از ۱ تا ۲ بار باشد. در چنین شرایطی چون در زمان اندک فشار زیادی به توده سنگ وارد می آید، توده سنگ دچار دگر شکلی برگشت ناپذیر شده، در نتیجه عدد لوژان بیش از اندازه واقعی به دست می آید و تناسبی با خوردند ندارند.

- روش معمول اجرای آزمایش لوژان و تزریق در ساختگاه پیش گفته بدین صورت است که با پیشرفت حفاری در هر مقطع آزمایش فشار آب صورت می گیرد و پس از رسیدن ژرفای نهایی گمانه، تزریق به روش پایین به بالا (به جز در برخورد با پدیده فرار آب) انجام می شود، بنابراین همواره امکان دارد با پیشرفت چالزنی، تراشه های حفاری وارد درز و شکاف های مقاطع بالاتر شوند و آنها را ببندند و خوردند را به هنگام تزریق کاهش دهند، در حالی که این مقاطع پیش تر آزمایش شده بودند و در نتیجه تراوایی بیش از تزریق پذیری برآورد خواهد شد.

- علت دیگری که می‌تواند باعث این ناهمخوانی‌ها گردد گشاد شدن گمانه در هنگام حفاری به علل مختلف از جمله تغییر در نوع سنگ، تاب داشتن وسایل حفاری و... می‌باشد که باعث می‌شود پکر در محل تعیین شده خوب پک نشده و در هنگام تست آب از اطراف آن خارج شده و موجب گردد میزان خوردند در قرائت افزایش یابد.

۱۳-۵- طرح پیشنهادی پرده تزریق از داخل گالری بازرسی

در این بخش با توجه به سازه‌های طراحی شده توسط مشاور و نیز امکانات موجود، و استفاده از اطلاعات زمین شناسی که در فصل‌های قبلی عنوان گردید، به طرح پیشنهادی تزریق در قسمت‌های مختلف جهت اجرای پرده تزریق از داخل گالری بازرسی^{۳۳} که در زیر محور سد در نظر گرفته شده است، می‌پردازیم. گالری بازرسی به عرض ۳ متر و ارتفاع ۳/۵ متر با مقطع نعلی شکل در امتداد محور سد قرار دارد. ابتدای آن در جناح چپ زیر دریچه‌های سر ریز تراز ۱۸۷ متری واقع شده و انتهای آن در جناح راست به گالری D در تراز ۲۴۵ متری ختم می‌شود در (شکل ۵-۶) نمایی از این طرح نمایش داده شده است.



شکل ۵-۶: نمای شماتیک از گالری تزریق و تقسیم جهت فاز بندی در پی سد

۱۳-۵-۱- پرده آب‌بند جناح چپ

جهت کسب اطلاعات زمین‌شناسی، در این جناح از اطلاعات حاصل از سه گمانه G217, UG115, G102 که در محور احداث سد (بالادست، پایین‌دست و مرکزی) به عمق ۱۵۰ متر حفاری شده بود و همچنین یک گالری اکتشافی (گالری B) در تراز ۹۰/۶ متری بطول ۱۵۹/۷ متر حفر شده است، استفاده شد. تزریق این ناحیه در سازند بختیاری می‌باشد. یک توده نابر جای نفوذپذیر در این قسمت وجود دارد که به دلیل کمی حجم آن در محل اتصال بدنه سد، برداشته می‌شود. در اطلاعات حاصله، بخاطر برخی از مشکلات اجرایی در این ناحیه عملیات تزریق آزمایشی انجام نشده است و مقادیر فشار تزریق، خوردند دوغاب و دیگر پارامترهای مورد نیاز از اطلاعات مراحل مقدماتی عملیات تزریق معین شده و مطمئناً در ادامه کار این مقادیر دستخوش تغییرات می‌شوند چرا که با پیشرفت عملیات اطلاعات دقیق تری از زمین بدست می‌آید. همانطور که در (شکل ۵-۶) مشاهده می‌گردد، بدلیل تغییرات شدید منطقه، و با توجه به اطلاعات به دست آمده در سایت طرح پیشنهادی تزریق در این محل به دو فاز تقسیم می‌شود.

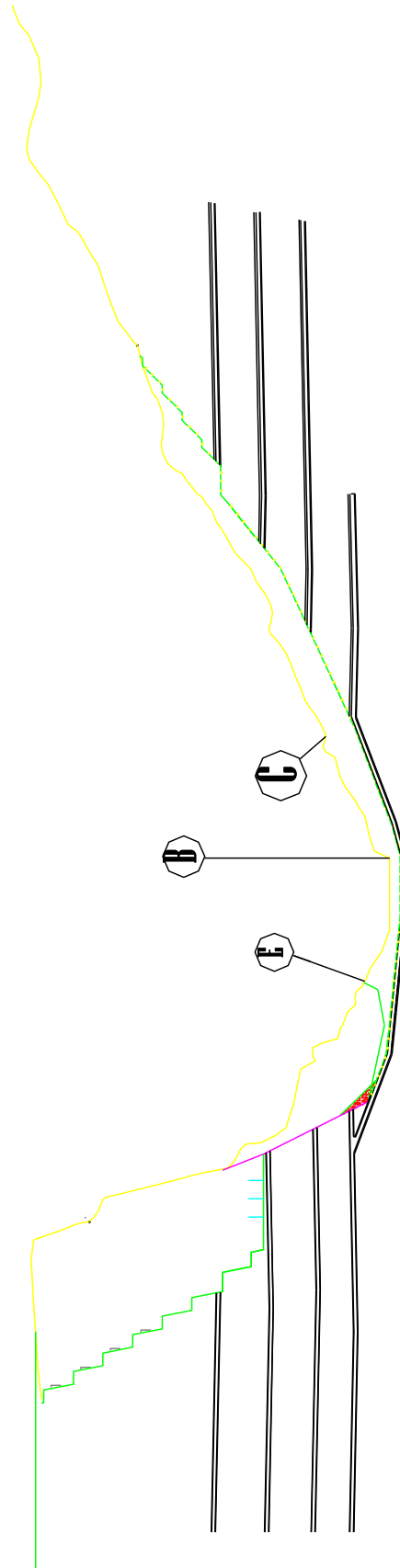
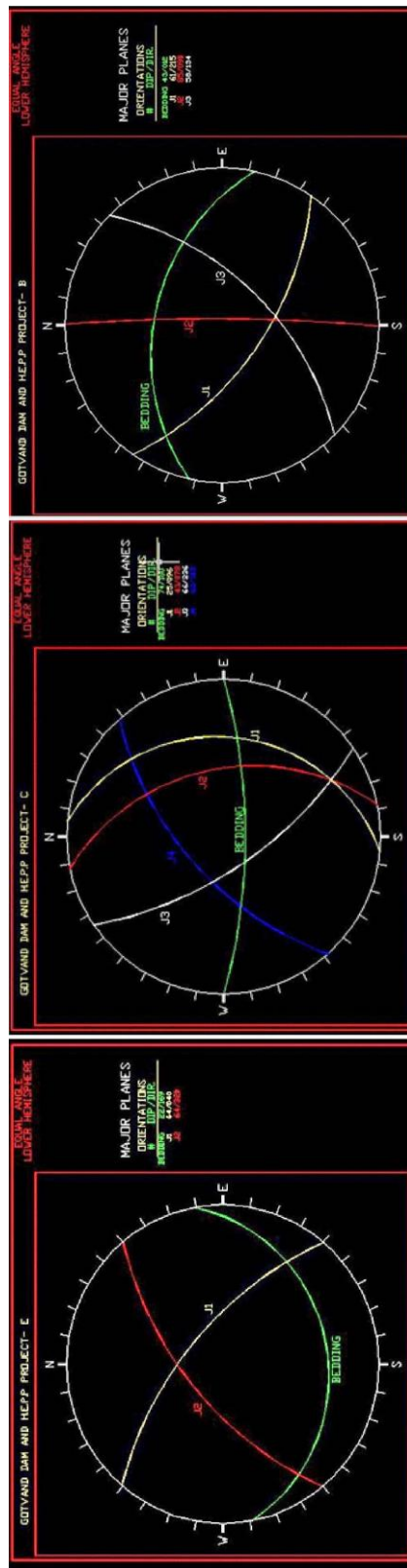
(۱) - فاز AB: این فاز در تراز ۱۸۷ متری در زیر دریچه‌های سر ریز قرار می‌گیرد جنس آن لایه‌های بختیاری، توده‌ای ضخیم با سیمان شدگی خوب در زمینه‌ای از دانه‌های سیلتی می‌باشد. شاخص کیفی سنگ، خوب ارزیابی می‌شود. با توجه به برداشت‌های انجام شده، امتداد لایه‌بندیها با شیب ۷ درجه و میانگین شیب دسته درزه‌ها ۸۰ درجه نسبت به افق می‌باشد (پیوست‌های شکل شماره ۳ تا ۵). تعداد لایه بندیها در این قسمت ناچیز است بنابراین در هر نقطه یک گمانه مورب با زاویه ۸۰ درجه نسبت به قائم حفاری می‌گردد در این صورت بیشترین قطع شدگی درزه و شکاف و در نتیجه پر شدگی آنها را توسط دوغاب خواهیم داشت. ترکیب دوغاب باید دارای ویژگی گرانروی کم باشد چرا که فاصله درزه و شکافها در این ناحیه بسته می‌باشد^{۳۴}. عملیات تزریق به روش از پایین به بالا اجرا می‌شود بدین صورت که گمانه تا انتها حفاری شده و سپس دوغاب در قطعات مورد نظر از انتها بطرف بالا، تزریق می‌گردد.

(۲) - فاز BC: ویژگیهای زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در این فاز همانند فاز قبلی (AB) می‌باشد. شیب لایه‌ها در این قسمت متفاوت از شیب درزه و شکافها است. همچنین تمامی تأسیسات سد از جمله تونلهای آب‌بر، ترانشه نیروگاه، تجهیزات سر ریز و تونلهای انحرافی در این قسمت قرار دارد بهمین دلیل جهت اطمینان بیشتر در این منطقه به حفاری ۲ تا ۳ ردیف گمانه نیاز است.

۱۰- درزه و شکاف بسته منظور باز شدگی آن حداکثر ۵/ میلیمتر باشد.

حفاری گمانه‌ها با شیب ۸۰ درجه نسبت به قائم حفر می‌گردد. تعداد گمانه‌های ردیف گمانه‌های بیشتر و نسبت فشار در خط دوم تزریق بیشتر از خط اول می‌باشد (جدول شماره ۵-۱۲).

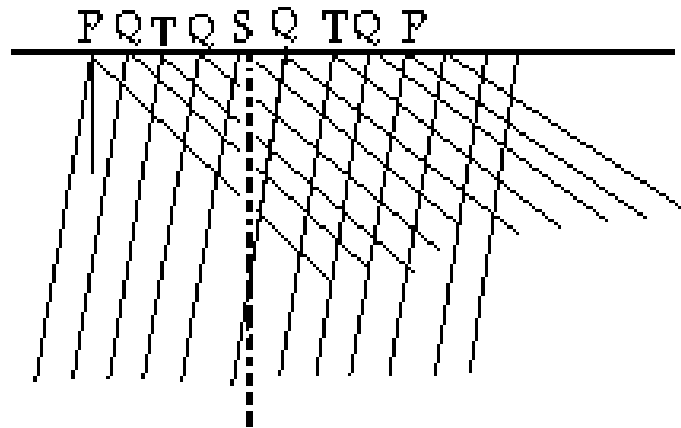
جهت در اختیار داشتن اطلاعات بیشتر و بهتر در مسیر محور سد برداشتهای درزه‌های این قسمت انجام شد که بر روی شبکه اسمیت پیاده گردید (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷ وضعیت دسته درزه‌های اصلی در محور سد
۵-۱۳-۲- پرده آب بند مرکزی (جناح مرکزی)

مرکز پی سدگتوند علیا تناوبی از لایه‌های ماسه‌سنگ و گلسنگ، سازند آغا‌جاری می‌باشد. در سازند آغا‌جاری، سمت راست مرکز پی، تاقدیس نامتقارنی وجود دارد. لایه‌های یال شمال شرقی تاقدیس شیبی بین ۳۰ تا ۶۰ درجه دارند. شیب لایه‌ها در یال جنوب غربی تاقدیس، نزدیک به قائم بوده که بطرف جناح چپ، شیب آنها ملایم‌تر می‌گردد. سه دسته درزه سطحی در سازند آغا‌جاری دیده می‌شود میانگین شیب آنها، ۵۲ درجه می‌باشد پرده تزریق در این جناح داخل گالری بازرسی که در زیر محور سد قرار گرفته و از روی خط پروفیل CD اجرا می‌گردد (شکل ۵-۶). جهت رسیدن به شرایط مناسب آب‌بندی، سه ردیف گمانه (C,B,A) در نظر می‌گیریم. با طراحی پرده آب‌بند دو ردیفه در این فاز می‌توان نفوذپذیری را تا حد دلخواه کاهش داد ولی فشار جریان تراوش (ناشی از هد آب مخزنی) میان سطوح ناپیوستگی لایه‌های تاقدیس از ضریب اطمینان آب‌بندی پی می‌کاهد. با توجه به نتایج رضایت بخش تزریق آزمایشی گمانه‌های P و S نیز مشکلات وجود ژئیس و میان لایه‌های ماسه سنگی، پیشنهاد می‌گردد که از سه ردیف گمانه (سه ردیف پرده آب‌بند) استفاده کرد. ابتدا ردیف‌های بیرونی گمانه‌های سری A و C تا عمق ۳۵ متری حفاری و تزریق می‌شود. سپس گمانه‌های ردیف میانی B تا عمق ۵۵ متری حفاری و تزریق می‌گردد.

بیشترین نفوذپذیری در سازند آغا‌جاری ناشی از ناپیوستگی لایه‌های تاقدیس می‌باشد و مرز این لایه‌بندی‌ها بموازات رودخانه است. از طرفی با توجه به نتایج در تزریق آزمایشی، فاصله ردیف‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله گمانه در امتداد پرده آب‌بند نیز یک متر پیشنهاد می‌شود. برای قطع کردن بیشتر درزه، شکاف و ناپیوستگی‌ها، و با توجه به اینکه متوسط شیب لایه‌ها ۳۰ درجه و متوسط شیب درزه و شکافها ۵۵ درجه نسبت به افق می‌باشد. گمانه‌های تزریق در این جناح در هر نقطه مورد نظر به حالت عمود بر این شیبها با زاویه انحراف از قائم ۳۰ درجه و ۵۵ درجه حفر می‌گردد. امتداد ردیف‌ها منطبق با محور سد است. در شکل (۵-۸) نمای پرده تزریق نمایش داده شده است. با این عمل حداکثر هم‌پوشانی و در نتیجه پرده قابل اطمینان‌تری را خواهیم داشت.



شکل ۵-۸: نمایی شماتیک از اجرای پرده تزریق

بازشدگی درزه‌ها در سازند آغاچاری بجز درزه و شکافهایی که پرشدگی گچ (ژیپس) دارند، کم می‌باشد. ضخامت رگه‌های ژیپسی به چند سانتیمتر می‌رسد. بهمین دلیل برای آب‌بندی کامل به دوغابی با ویژگیهای گرانروی بالا (ویسکوزیته کم) و پایداری مناسب، نیاز است. مقدار گرانروی دوغاب باید در اعماق کاهش یابد. طرح اختلاط دوغاب در جدول (۵-۹) آمده است.

جدول ۵-۹: مشخصات ترکیب دوغاب تزریق

آب اندازی %	ویسکوزیته (Sec)	فوق روان کننده %	بنتونیت %	W/C
۶	۲۹	۱/۵	۰/۵	۱:۱
۰/۵	۳۰	-	-	۱:۱/۵

در ترکیب دوغاب باید از سیمان با بلین (میزان نرمی، gr/cm^2) بیش از ۵۰۰۰ استفاده شود تا بتوان علاوه بر مزایای دیگر مدت زمان رسوبگذاری را کاهش داد. جهت تعیین فشار مؤثر تزریق باید به فشاری که باعث شکسته شدن سنگ می شود، توجه کرد از طرفی حداقل فشار مؤثری وجود داشته باشد که بتواند دوغاب تزریق را به درون درزه های تقریباً بسته وارد نماید. بدین ترتیب گمانه های واقع در ردیف های بیرونی با فشار کمتر

و ردیف گمانه‌های میانی با فشار بیشتری تزریق می‌گردد. فشار مؤثر در گمانه‌ها با توجه به شکست سنگ در اعماق مختلف در جداول (۵-۱۰) و (۵-۱۱) آورده شده است.

جدول ۵-۱۰: فشار مؤثر تزریق در گمانه ردیف‌های بیرونی (C,A)

توالی فشارها (مانومتر) (بار)	عمق گمانه‌ها (متر)
۲	۰-۵
۵	۵-۱۰
۶	۱۰-۱۵
۸	۱۵-۲۰
۹	۲۰-۲۵
۱۰	۲۵-۳۰
۱۱	۳۰-۳۵

داده‌های موجود در جداول حالت تئوری دارند و صرفاً جهت محاسبات اولیه می‌باشد. در عمل این

مقادیر دستخوش تغییرات زیادی خواهند شد چرا
که با پیشرفت عملیات، اطلاعات بیشتری از زمین
بدست می‌آید و در تصمیم‌گیری مراحل بعدی
مؤثر خواهد بود. روش تزریق از پایین به بالا
پیش‌بینی شده است. بدین معنی که ابتدا گمانه‌ها
تا عمق مورد نظر حفاری می‌شود و سپس عملیات
تزریق از پائین به بالا در قطعات پنج متری انجام
می‌گردد. این روش در تزریق آزمایشی بدون هیچ
مشکلی (ریزش دیواره گمانه) جواب داده است.

تکیه‌گاه راست پی بدلیل تغییرات زمین‌ساختی و شرایط ژئوتکنیکی پیچیده آن، به چند فاز جداگانه تزیق با مشخصات فنی متفاوت اجرا می‌گردد. نحوه فازبندی پی و تکیه‌گاهها در شکل (۵-۶) نشان داده شده است.

(۱) - فاز DE: بدلیل یکسان بودن شرایط زمین‌شناسی در این ناحیه با مرکز پی و ادامه یالهای شمالی تاقدیس، مشخصات فنی پرده آببند با همان مشخصات ذکر شده در پرده آببند گفته شده در مرکز پی دنبال می‌شود.

(2) - فاز EF: در این قسمت وارد توده ناهنجاری از جنس سازند بختیاری می‌شویم. توده ناهنجاری فوق‌الذکر بطور دگرشیب بر روی سازند آغاچاری قرار دارد. تراز آن در حدود ۱۲۰ متری از سطح دریا واقع است و بسیار گسل خورده است. جنس آن مجموعه‌ای از کنگلومرا با میان لایه‌های ماسه‌سنگ و لای سنگ در زمینه‌ای از ماسه رسی می‌باشد. شاخص کیفی سنگ در آن بسیار کم است. شیب درز و شکافها زیاد است. سه ردیف

گمانه (C, B, A) در امتداد ردیف گمانه‌های مرکز پی در نظر گرفته می‌شود. فاصله بین ردیف گمانه‌ها یک متر است. فاصله بین گمانه‌ها در هر ردیف نیز یک متر می‌باشد. جهت دوخته شدن این توده به سازند آغاچاری ناتراوا، عمق گمانه‌های میانی ۵۵ متر در نظر گرفته می‌شود. در بررسی‌های زمین شناسی مشخص شد دو دسته درزه با شیب‌های ۲۰ درجه و ۶۰ درجه نسبت به افق وجود دارد. برای اینکه بیشترین قطع‌شدگی درز و شکاف را داشته باشیم، گمانه‌ها با شیب ۲۰ درجه و ۶۰ درجه نسبت به قائم حفاری می‌گردند. ترکیب رقیق (گرانروی کم) دوغاب در این قسمت توصیه نمی‌شود و استفاده از دوغاب غلیظ در فشارهای کم در پرشدگی درزه و شکاف ردیف‌های بیرونی بسیار کارساز است. در تمامی طول گمانه وضعیت توده تغییر چندانی ندارد. دوغاب پیشنهادی برای اعماق بالا بهتر است از نسبت آب به سیمان ۰/۵:۱ (W/C) استفاده می‌شود.

در اعماق زیاد بهتر است از دوغاب با نسبت آب به سیمان ۱:۱ استفاده شود. با افزودن ۱٪ سیلیکات سدیم بعنوان زود گیر و افزودن ۲٪ بنتونیت، دوغاب پایداری خواهیم داشت. فشار مؤثر تزریق در اعماق مختلف، مطابق تزریق آزمایشی در گمانه‌های P₁ و P₂ در جناح راست می‌باشد. در جدول (۵-۱۲) ترتیب فشار تزریق آمده است.

به علت ریزشی بودن و نابرجا بودن گمانه‌های حفاری شده در صورت لزوم از روش اجرای تزریق، به صورت از بالا به پایین می‌توان استفاده کرد. بدین صورت که ابتدا گمانه‌ها به میزان ۳ تا ۵ متر حفر شده، ابزار حفاری بیرون کشیده می‌شوند و سپس عملیات تزریق سیمان در قطعه صورت می‌پذیرد، به همین ترتیب توالی حفاری و تزریق ادامه می‌یابد.

جدول ۵-۱۱: فشار مؤثر تزریق در گمانه‌های ردیف میانی

توالی فشارها (فشار سنج) (بار)	عمق گمانه‌ها (متر)
۲	۰-۵
۵	۵-۱۰
۱۲	۱۰-۱۵
۱۲	۱۵-۲۰
۱۲	۲۰-۲۵
۱۵	۲۵-۳۰
۱۵	۳۰-۳۵
۱۵	۳۵-۴۰
۱۶	۴۰-۴۵
۱۷	۴۵-۵۰
۱۸	۵۰-۵۵

۳- تزریق گالری D: تزریق این فاز از درون گالری (D) صورت می‌پذیرد. این گالری در تراز ۲۵۵ متری سطح دریا واقع شده است. گالری (D) درون یک توده نایرجا از سازند بختیاری قرار دارد. در این توده نایرجا گسل خوردگی زیادی مشاهده نمی‌گردد. در عمق ۵۰ متری از گالری (D) جنس لایه‌های بختیاری تغییر می‌کند. در محل برخورد سازند بختیاری و آغاجاری جنس لایه‌ها، توده‌ایی ضخیم و برج می‌باشد. شاخص کیفی سنگ در این لایه، خوب ارزیابی می‌گردد. جنس لایه‌ها کنگلومرای با قطعات سیلتستونی و ماسه‌سنگی می‌باشد. دو ردیف گمانه تزریق درون گالری (D) در نظر گرفته می‌شود. فاصله بین ردیف گمانه‌های تزریق ۱ متر و فاصله بین گمانه‌ها در هر ردیف یک متر می‌باشد. جهت دوخته شدن کامل پرده آب‌بند از گالری به سازند آغاجاری، عمق گمانه‌ها ۱۲۰ متر در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به شیب اکثریت درزه‌ها در این منطقه، گمانه‌ها با حالت قائم حفر می‌شوند. روش تزریق نیز بصورت از پایین به بالا اجرا می‌گردد.

جدول ۵-۱۲: فشار مؤثر تزریق در گمانه‌های ردیف فاز EF

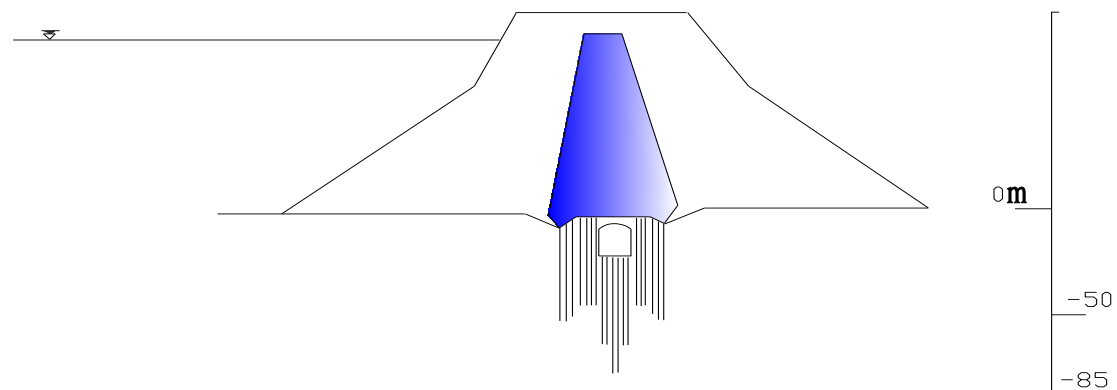
توالی فشارها (فشار سنج) (بار)	عمق گمانه‌ها (متر)
۲	۵-۱۰
۴	۱۰-۱۵
۶	۱۵-۲۰
۷	۲۰-۲۵
۷/۵	۲۵-۳۰
۸	۳۰-۳۵
۸/۵	۳۵-۴۰
۱۰	۴۰-۴۵
۱۰/۵	۴۵-۵۰
۱۲	۵۰-۵۵
۱۴	۵۵-۶۰
۱۶	۶۰-۶۵
۱۶/۵	۶۵-۷۰

تزریق نشیمنگاه هسته سد، یکنوع تزریق تحکیمی است. در این نوع تزریق فقط مقاومت زیاد مد نظر است و البته هدف آب بندی نیز بخودی خود تأمین می‌گردد. در تزریق تحکیمی از مواد پلاستیسیته دوغاب بخصوص بنتونیت که باعث کاهش مقاومت آن می‌شود، استفاده نمی‌شود. مقاومت حاصل از تزریق نشیمنگاه باید به گونه‌ای باشد که تحمل مقاومت فشاری وارده از طرف وزن سازه‌ای سد و فشار هیدروستاتیک آب مخزن، را داشته باشد. برای بوجود آوردن چنین شرایطی، ملات غلیظ بدرون گمانه‌ها تزریق می‌شود. عمق این گمانه‌ها به ۱۰ تا ۱۵ متر می‌رسد (شکل ۵-۸). یکی از مزایای مهم تزریق نشیمنگاه، کاهش گرادیان هیدرولیکی در زیر و اطراف محل اتصال هسته رسی سد و پرده آب بند می‌باشد.

پیشنهاد می‌گردد در پی سد و بعد از اجرای گالری

بازرسی (ایجاد وزن سازه ای) پی در ردیفهای

متعدد و موازی تا عمق حداقل ۵۰ متری تزریق
شود مانند شکل زیر:



شکل ۵-۹: ایجاد پرده آب بند موازی و عمقهای مختلف در پی سد

فصل ششم

جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در فصل آخر جمع‌بندی در موارد عنوان شده صورت گرفته و نیز با توجه به کارهای انجام شده و نتایج حاصله راهکارهای اجرایی و پیشنهاداتی در موارد ذیل ارائه شده است:

- بررسی نتایج آزمایشات فشار آب
- مقایسه فشارهای مؤثر تزریق و ارائه فشارهای پیشنهادی
- بررسی مشکلات پی‌سد و راهکارهای پیشنهادی
- ارائه روش تزریق و نسبت دوغاب سیمان در سازندهای موجود

فصل ششم: جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

● با توجه به اینکه بخش هوازده سنگ در پی سد گتوند برداشته خواهد شد و پی سد بر روی سنگ سالم و غیر هوازده احداث خواهد گردید، بالا بودن نفوذ پذیری این بخش از سنگ پی دارای اهمیت زیادی نمی‌باشد. با در نظر داشتن این نکته که سازند آغاچاری به عنوان یک سازند زمین شناسی با توجه به تناوب لایه های گلسنگی دارای نفوذ پذیری بسیار جزئی تا غیر قابل نفوذ است، شاید بتوان آب بندی این سازند را در پی سد گتوند از طریق احداث پرده یا دیوار آب بند دارای اهمیت زیادی ارزیابی نکرد و با تمهیدات دیگر نظیر احداث گالری بازرسی و گمانه های زهکش در دوران بهره برداری تمرکز جزئی نشد را ردیابی و در مورد لزوم اقدام به تزریق نمود. اما مسئله بسیار با اهمیت در پی سد گتوند که ریسک پذیری را نا ممکن می سازد وضعیت ساختاری پی (وجود تاق‌دیس تقریباً به موازات رودخانه در سازند آغاچاری) و وجود پر شدگی های انیدریت (ژیپس) در امتداد ناپیوستگی ها می‌باشد که ضرورت طراحی دیوار آب بند را تا عمق قابل قبولی در پی سد گتوند قطعی می‌سازد. بررسی نمونه های باز یافتی (نمونه های گمانه های اکتشافی) نشان می دهد که ضخامت پر شدگی انیدریت (ژیپس) در درزه ها از چند میلیمتر تا چند سانتی متر است و بیشتر از عمق ۳۰ متری پی به پائین قرار دارند. موقعیت و جهت درزه های دارای پر شدگی ژيپس باید با دقت زیاد مورد بررسی قرار گرفته و در زمینه طراحی پرده آب بند مد نظر باشند.

● دو دسته درزه اصلی بخصوص با امتداد شرقی — غربی، در دره گتوند علیا موجود می‌باشد. در جناح راست، یک توده نابرجا در بالا قرار گرفته است که شکستگی آن از نوع لغزشی می‌باشد و همچنین

پائین‌تر از آن یک بلوک گسل خورده تاقدیسی شکل وجود دارد که دلیل آن پیچیدگی در سیستم گسل خوردگی توده مذکور می‌باشد.

- نتایج آزمایش‌های فشار آب در گمانه‌های اولیه (قبل از هر گونه تزریق) مبین این است که سنگ پی در بخش میانی سد گتوند (سازند آغاچاری) در رده سنگ‌های با نفوذ پذیری کم تا خیلی کم و در بخشی از اعماق در رده غیر قابل نفوذ قرار می‌گیرد. رفتار سنگ در نتیجه اعمال فشار در پله‌های رفت و برگشت عمدتاً از نوع انبساط (**Dilation**) بوده و به ندرت در سنگ آب شکستگی اتفاق افتاده است. نفوذ پذیری سنگ در بخش‌های سطحی پی (۱۰ تا ۱۵ متری) به دلیل تأثیر هوازدگی بسیار بیشتر است. بستر رودخانه توسط نهشته‌های آبرفتی (**Alluvial**) پوشیده شده است. ضخامت این نهشته‌ها بیش از ۷ متر است.

- در بین لایه‌های سازند کنگلومرا، لایه‌های عدسی شکل مشاهده می‌شوند که دارای نفوذپذیری بالایی هستند. این لایه‌ها دارای دانه بندی تقریباً یکنواخت و در حد گراول بوده و فاقد ریز دانه و سیمان می‌باشند و عمده مشکلات آبگذری و تزریق در این عدسی‌ها می‌باشد که در اصطلاح رایج سایت به آن Open gravel اتلاق می‌شود.

جداول ارائه شده در گزارش مقدار جذب سیمان را در گمانه‌های اولیه (P) ۴۱۰ کیلوگرم به ازاء هر متر نشان می‌دهد این مقدار برای گمانه‌های ثانویه به ۱۲۴ کیلوگرم به ازاء هر متر کاهش یافته است. درصد کاهش جذب سیمان در گمانه‌های ثانویه نسبت به گمانه‌های اولیه معادل ۷۰ درصد است. در گمانه کنترل متوسط جذب سیمان به حدود ۱۵ کیلوگرم در متر رسیده است و کاهشی معادل ۹۶ درصد نسبت به گمانه‌های اولیه و حدود ۸۸ درصد نسبت به گمانه‌های ثانویه را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه فشار تزریق در گمانه‌های ثانویه و گمانه کنترل از فشار تزریق گمانه‌های اولیه بیشتر بوده است می‌توان نتیجه گیری نمود که عملیات تزریق آزمایشی موفقیت آمیز بوده است.

- در جریان انجام عملیات تزریق آزمایشی پرشدگی‌های انیدریت (ژپس) در برخی از درزه‌ها به وسیله سیمان کاملاً جایگزین نشده و نمونه‌هایی مشاهده می‌شود که سیمان بدون ایجاد تغییری در پر شدگی گچی درزه در کنار آن در سطح درزه‌ها رسوب نموده است (گمانه S2 و گمانه CH). با در نظر داشتن اینکه گمانه S2 در حد فاصل گمانه‌های P2 و P1 حفاری و تزریق شده و فشار تزریق در گمانه P1 خیلی بیشتر از فشار شکست سنگ بوده است. می‌توان استنباط نمود که حتی در فشارهای زیاد نیز که

احتمال آب شکستگی بوده است (نشت آب و دوغاب به سطح زمین). پر شدگی انیدریت در بسیاری از درزه ها شسته نشده و دوغاب سیمان تنها توانسته است در باز شدگی درزه و در حاشیه رگه گچی نفوذ کرده و رسوب نماید.

- نقش آب بندها در شالوده، جلوگیری از حرکت کامل آب و یا دست کم طولانی کردن 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. روشهای آب بندی شامل پرده تزریق، دیوار آب بند، ترانشه آب بند، آب بند ناقص و آب بند سپری می باشد.

آب بندی مطلق در شالوده سد گتوند مد نظر نیست و در بعضی پروژه های بزرگ آب بندی در حد میانگین نفوذپذیری رعایت می گردد. ممانعت بیش از حد آب باعث می شود که در بالادست پرده تزریق یا دیوار آب بند (با نفوذپذیری خیلی کم)، فشار منفذی زیاد شده و همچنین نیروهای بالادهی در زیر سد افزایش یابند. این نیروها بخصوص در هنگام وقوع زلزله بسیار خطر ساز خواهند بود. پس با عبور آب از این ناحیه، موجب کاهش خطرات ناشی از نیروهای فشار آب منفذی و از بین رفتن پرده تزریق و یا دیوار آب بند می شود. بنابراین منظور از آب بندی پی سد، کاهش نشت آب در حد دلخواه می باشد

- با جمع بندی نتایج آزمایش تزریق در سد گتوند تزریق پذیری سنگ کف تائید می گردد. فشارهای مناسب تزریق برای گمانه های اولیه فشارهای اعمال شده در گمانه P3 و در گمانه های ثانویه نیز فشارهای گمانه های S می باشد.

- بررسی نتایج آزمایش تزریق سیمان در گمانه های آزمایشی مبین این است که می توان با انتخاب روش مناسب تزریق (اختلاط دوغاب - فشار مناسب و استفاده از برخی افزودنی ها) سنگ پی سد گتوند را تزریق نموده و ضریب ایمنی را در ارتباط با فرار آب از پی تا حدود زیادی افزایش داد.

- براساس نتایج حاصله حداقل فاصله گمانه های تزریق در امتداد پرده آب بند یک متر پیشنهاد می شود. روش تزریق نیز بجز در مواردی که با پدیده فرار آب و یا ریزشی بودن گمانه برخورد می گردد، روش تزریق از پایین به بالا می باشد.

- تجربه تزریق درسد گتوند نشان داده است که در تزریق سنگ های نرم (Soft rock) توجه به نکات ذیل ضروری می باشد:

● فشارهای آزمایش با دقت و صحیح انتخاب گردند. این فشارها نباید از فشار مجاز خیلی بیشتر تعیین شوند.

● به هنگام تزریق، فشارهای تعیین شده کاملاً کنترل شده اعمال گردند.

● بر اساس نتایج آزمایش آب، فشار هیدروفراکچر در محل تزریق آزمایشی تکیه گاه راست معادل $P_c = 0.1908.h$ است (h عمق مورد نظر) که کم و بیش معادل فشار روباره ناشی از وزن طبقات زمین بر روی نقطه تزریق می باشد (با فرض اینکه وزن مخصوص توده سنگ t/m محاسبه می گردد). این میزان فشار در نمودار فشار مجاز هولسبی بیانگر یک فشار محافظه کارانه و سازگار با طبیعت نابر جای سنگ است.

● پیشنهاد می گردد به منظور افزایش ضریب ایمنی در صورت انتخاب روش حفاری و تزریق به منظور آب بندی پی سد گتوند و جهت حل مشکل پر شدگی های ژئوپس در درزه ها که می تواند در دراز مدت و دوران بهره برداری معضلاتی را سبب شود، پس از بررسی های فنی و اقتصادی امکان احداث یک پوشش رسی^{۳۵} را در بالا دست بدنه سد تا طول معینی در مخزن مد نظر داشته باشند.

● راه حل پیشنهادی در تزریق توده گسل خورده جناح راست این است که از دو مرحله دوغاب سیمانی با نسبت سیمان به آب متفاوت استفاده کنیم. در مرحله اول دوغاب سیمانی غلیظ با نسبت آب به سیمان (W/C) ۱:۲ استفاده کنیم و در مرحله بعد و با گذشت مدت زمان لازم جهت گیرش دوغاب سیمانی، دوغاب رقیق تر با نسبت آب به سیمان ۱:۱ با روان کننده تزریق شود.

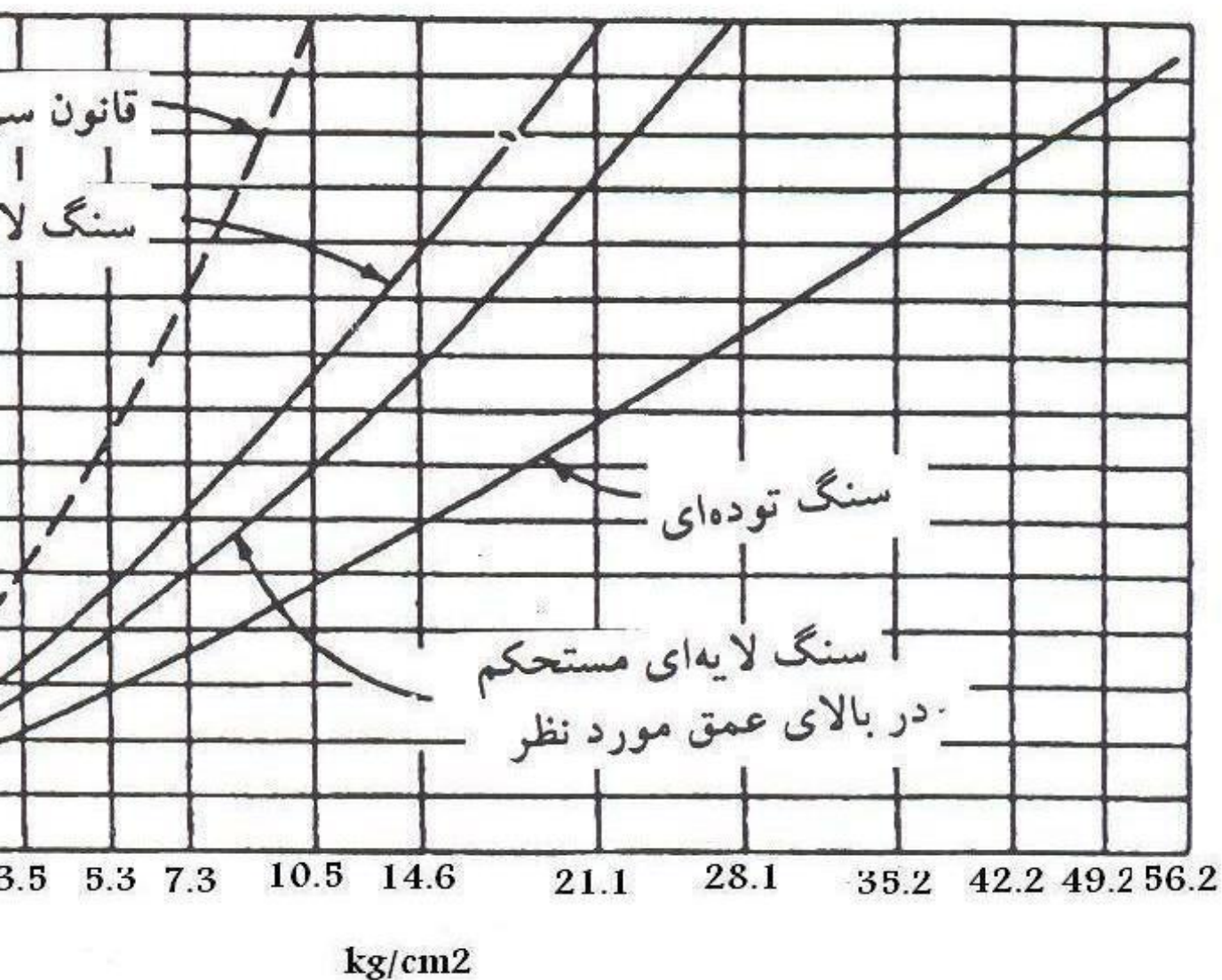
● در بین درزه های حاصل از گسل ها و لایه بندی، لایه های رسی با تراکم بالا و نسبتاً نرم یافت می شود که این مورد نیز پس از آگیری یکی دیگر از مشکلات آبگذری را در پی خواهد داشت. پیشنهاد می گردد در هنگام حفاری از روی آب برگشتی از داخل گمانه که در هنگام بر خورد با این لایه ها تغییر رنگ، افزایش سرعت حفاری و وجود رس ریزدانه کاملاً مشهود می باشد عمق مورد نظر یادداشت و هنگام تزریق محل مورد نظر کاملاً با آب و هوا شستشو و سپس تزریق شود.

فهرست منابع و مراجع

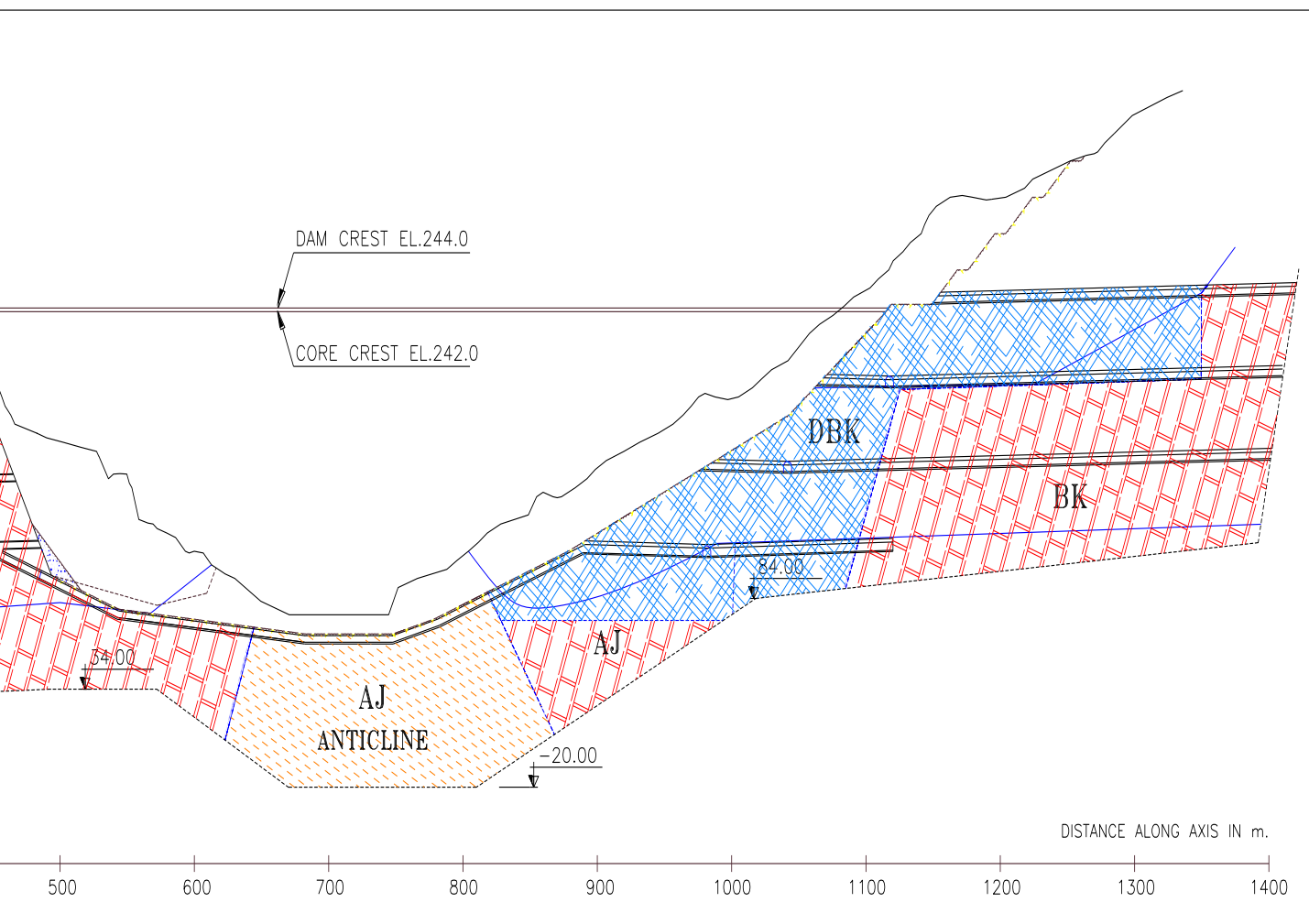
۱. گزارشات شرکت مشانیر - کایتک، (۱۳۷۹) مطالعات توجیهی پروژه سد و نیروگاه آبی گتوند علیا، پیوست شماره ۱۶.
۲. معاونت بخش تخصصی و زمین‌شناسی و ژئوتکنیک، (۱۳۷۹) گزارش تزریق آزمایشی سد گتوند علیا، شرکت سهامی خدمات مهندسی برق (مشانیر).
۳. معماریان - حسین، (۱۳۷۴) زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران.
۴. مطیعی - همایون، (۱۳۶۷) بررسی علل فروریختگیهای غرب روستای بنه گرگی، سازمان زمین‌شناسی کشور مدیریت باختری - اهواز.
۵. صداقت - م.الف، (۱۳۶۴) گزارش منابع شن و ماسه در حاشیه رودخانه کرخه، سازمان زمین‌شناسی کشور مدیریت غربی - اهواز.
۶. زهره بخش - مطیعی - صداقت، (۱۳۶۴) گزارش بررسی و مطالعات رسوبات کارون در اهواز، سازمان زمین‌شناسی کشور مدیریت غربی - اهواز.
۷. شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان، (۱۳۷۵) گزارش زمین‌شناسی مهندسی طرح سد گتوند، مرحله دوم مطالعات سد انحرافی
۸. جمشیدی کهساری - ابراهیم، (۱۳۸۰) روش اجرای دیوار آب بند سد گتوند علیا، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی دیوار آب بند، کمیته فنی آب‌بندی سد و مخزن - کمیته ملی سدهای بزرگ ایران - وزارت نیرو.
۹. شرکت مهندسی سپاسد، (۱۳۸۶) دفتر فنی و نظارت دیوار آب‌بند، کارگاه مقیم شرکت سپاسد در سایت گتوند (خلاصه برداشت از گزارشات).
۱۰. گزارشات شرکت مهندسی سپاسد، (۱۳۸۱) گزارشات و کاتالوگهای سد مخزنی گتوند، دفتر معاونت فنی و ژئوتکنیک.
۱۱. خلاصه گزارش فاز توجیهی سد و نیروگاه گتوند علیا، (۱۳۷۹) شرکت خدمات مهندسی برق مشانیر، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
۱۲. ای - نان وایلر، (۱۳۷۵) عملیات مهندسی تزریق، مهندسین مشاور زاینده آب با همکاری انتشارات صنعت سرا (علم و صنعت اصفهان).
۱۳. وفائیان - محمود، (۱۳۷۷) سدهای خاکی، مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

۱۴. کیوانی _ عبد...، (۱۳۶۹) *اصول و تکنولوژی تزریق*، انتشارات رودکی ارومیه.
۱۵. سازمان برنامه و بودجه، (۱۳۷۸) *راهنمای تزریق در سازه های آبی*، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، نشریه شماره ۱۸۶.
۱۶. مریدی - محمدعلی، (۱۳۸۱) *تکنولوژی تزریق و تجارب آن در برخی از سدها*، سمینار کارشناسی ارشد - دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده معدن و ژئوفیزیک.
۱۷. کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، (۱۳۷۵) *تراوش در پی سد و شیوه های کنترلی آن*، نشریه شماره ۶، دفتر فنی آب - وزارت نیرو.
۱۸. مجموعه مقالات کارگاه تخصصی دیوار آبنند سد کرخه، (۱۳۸۰) کمیته فنی آبنندی سد و مخزن، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
۱۹. سروش - محمد، (۱۳۷۸) *بررسی مسائل و مشکلات اجرایی دیوار آبنند بتن پلاستیک* (مطالعه موردی سد کرخه)، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده عمران.
۲۰. گزارش ماهانه شماره (۴) *سد انحرافی - تنظیمی پای پل کرخه*، (۱۳۸۱) شرکت مهندسی د و تونل جهان کوثر.
۲۱. جوکار - اسماعیل، سعیدی - سعید، مسیبی - علی، (۱۳۷۹) *نخستین تجارب تزریق در پی آبرفتی سدهای حنا و سیوند*.
22. Fergusson, F.F., Lancaster - Jones, P.F.F., (1964) *Testing the efficiency of grouting operations at dam sites*, Trans. VIII the IRCOLD.
23. Non Viler , E , (1989) *Grouting in theory and practice* , Elsevier
24. Cundall P., (1992), *Flac (Lagrangian Analysis Of Continua)*, Version 3-0, Itasca Consulting Group Inc.
25. Houlsby, A.C., (1986) *CONSTRUCTION AND DESIGN OF CEMENT GROUTING*, A WILEY-INTERSCIENCE.
26. Deere, D.V., (1976) *Dams on rock foundations-some design questions*, Rock Engineering for foundations and Slopes Conference II, Boulder, colo., pp.55-86 .
27. Nonveiller, E., (1956) *Strength of grout suspensions* (in serbo - Croatian) , Gradevinar , Zagreb , VIII , No 3 .

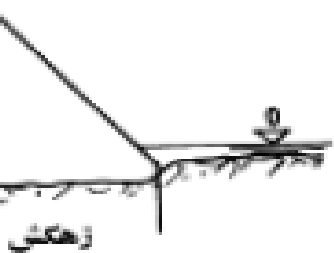
28. Monagemi (2000) *REPORT ONGEOLOGY & GEOTECHNICS UPPER GOTVANDPROJECT* – APPENDIX 16, MOSHANIR POWER ENGINEERING CONSULTANTS.
29. Whitlow R., (1999) *Basic Soil Mechanics, Produced through Long man Malaysia*, PP, Third Edition.
30. Ronald B. ,(2006) *Hatch is in a steep mountain catchments remote...a small, relatively deep, primarily seepage lake with moderate flushing*, Journal of Pale limnology Volume 35, Number 4



شکل ۱ پیوست: راهنمای کلی فشارهای تزریق (گروه مهندسين ارتش آمريکا ۱۹۸۴)



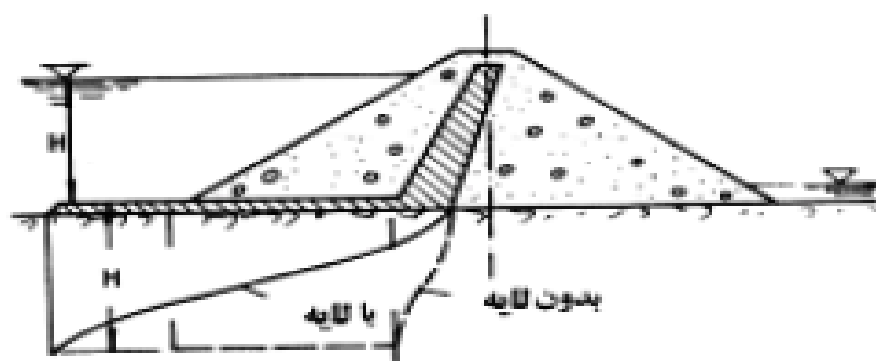
شکل ۲ پیوست: برش عرضی از محور سد گتوند و موقعیت سازند ها و گالری های تزریق



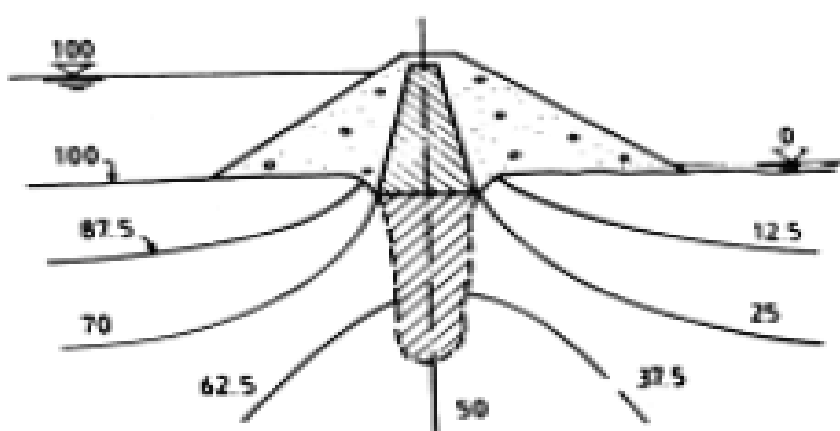
پرده آب



الف- سد وزنی یا زه

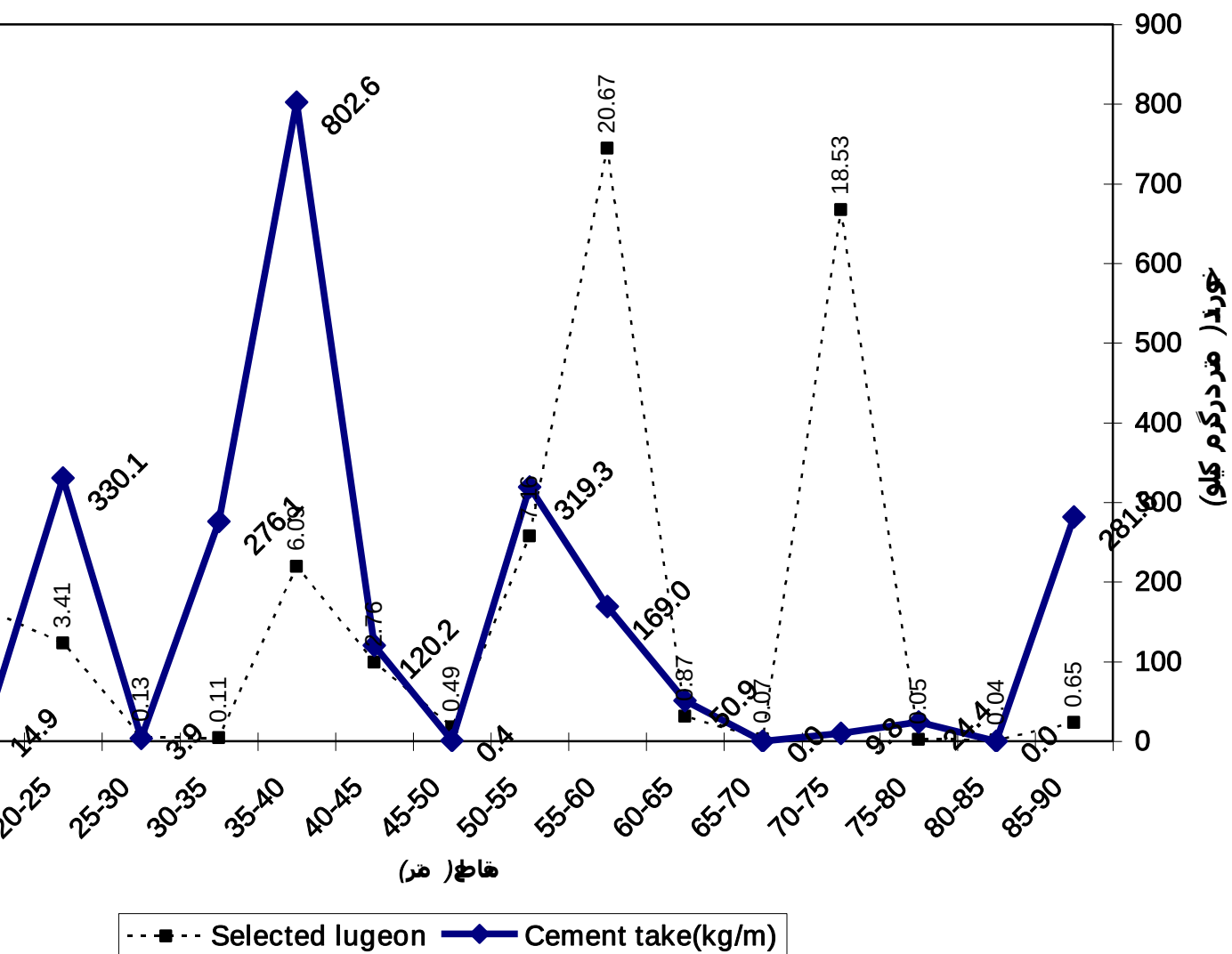


ب- سد خاکی یا لایه نفوذناپذیر و بدون لایه نفوذناپذیر

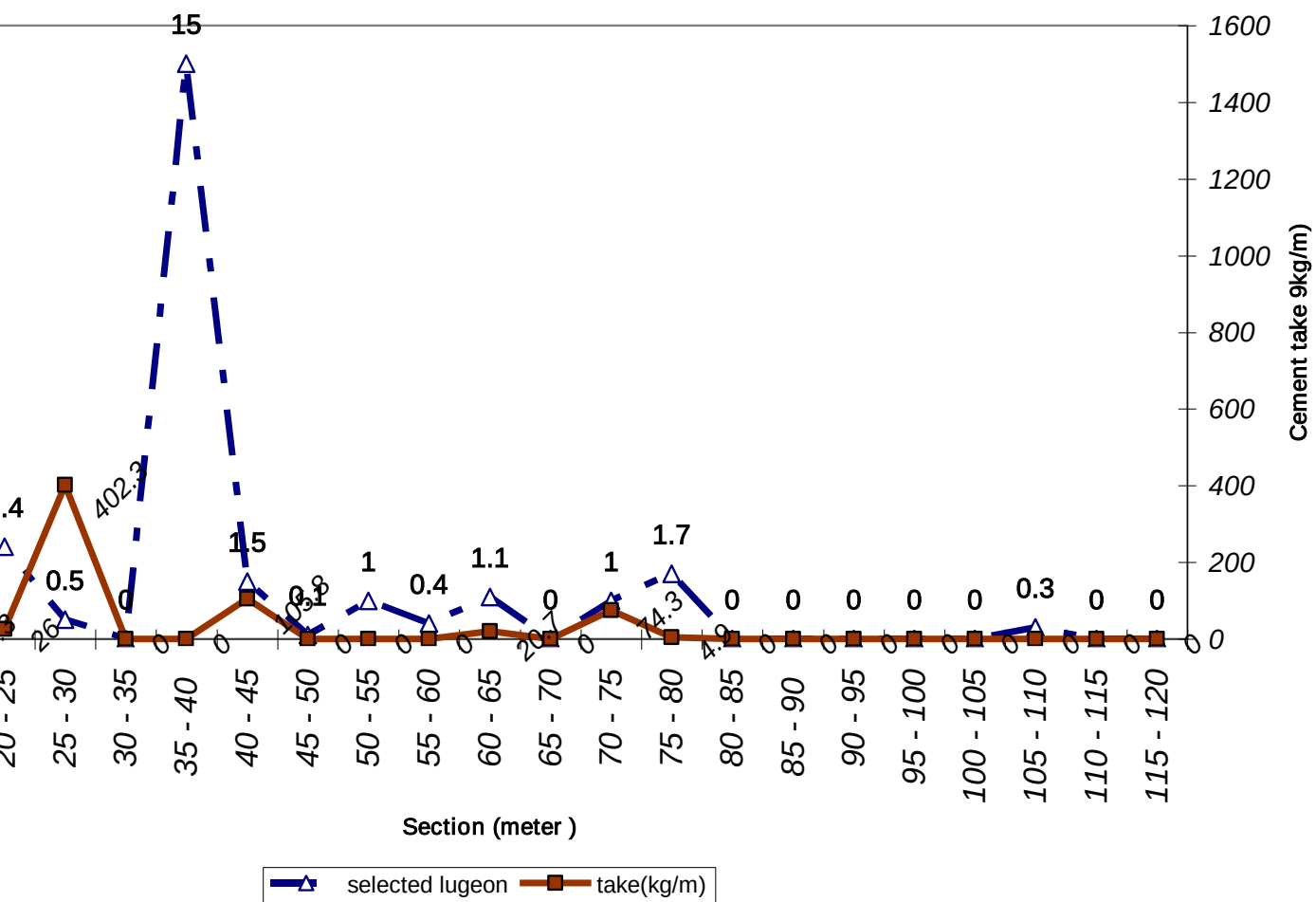


ج- خطوط هم پتانسیل پی سد یا پرده آب بند

شکل ۳ پیوست: اثر زهکش لایه غیر قابل نفوذ در بالا دست و پرده آب بند بر جریان زه و میدان پتانسیل هیدرودینامیک



نمودار ۱ پیوست: تناقض بین مقادیر لوزان و خوردند در گمانه (SG1) واقع در پی سد

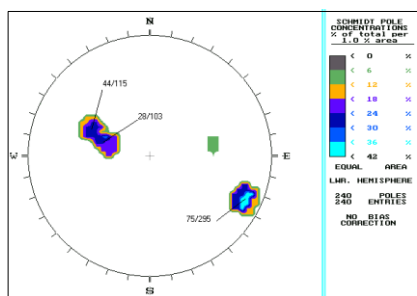


نمودار ۲ پیوست: تناقض بین مقادیر لوژان و خورند در گمانه (SG3-A) واقع در پی سد

Borehole PG6 (Q)				Borehole PG4 (T)				Borehole PG7 (Q)				Borehole PG3 (S)						
Cement absorption in Kg/m	P	LU	Depth	LOG	Cement absorption in Kg/m	P	LU	Depth	LOG	Cement absorption in Kg/m	P	LU	Depth	LOG	Cement absorption in Kg/m	P	LU	
Not to be Tested & Grouted			5	Non Coring	Not to be Tested & Grouted			5	Non Coring	Not to be Tested & Grouted			5	Non Coring	Not to be Tested & Grouted			
			10					10					10					
			15					15					15					
			20					20					20					
	10	<1	20					20					20					
	12	31	25		55		10	11		1		10	4		359		10	32
	13	44	30		143		12	3		120		12	28		3		12	31
	14	1	35		105		14	33		25		14	22		90		13	13
	15	<1	40		64		15	<1		5		15	1		15		15	3
End of Borehole				40 m . End of Borehole				40 m . End of Borehole				40 m . End of Borehole						

Borehole PG5 (T)				Borehole PG10 (QU)				Borehole PG9 (Q)				Borehole PG2 (P)							
Cement absorption in Kg/m	P	LU	Depth	LOG	Cement absorption in Kg/m	P	LU	Depth	LOG	Cement absorption in Kg/m	P	LU	Depth	LOG	Cement absorption in Kg/m	P	LU		
Not to be Tested & Grouted			5	Non Coring	Not to be Tested & Grouted			5	Non Coring	Not to be Tested & Grouted			5	Non Coring	Not to be Tested & Grouted				
			10					10					10						
			15					15					15						
			20					20					20						
			25					25					25						
	10	5			1		10	14		545		10	15			1117		10	T.L
	12	20			1		12	1.6		2		13	25			274		12	T.L
		30					30					30							
	13	29			0		13	<1		10		14	13			35		732	
		35				35													
	15	<1		15		15	<1	0		15	2.5		40	2		15	0		
		40				40													
End of Borehole				40 m . End of Borehole				40 m . End of Borehole				40 m . End of Borehole							

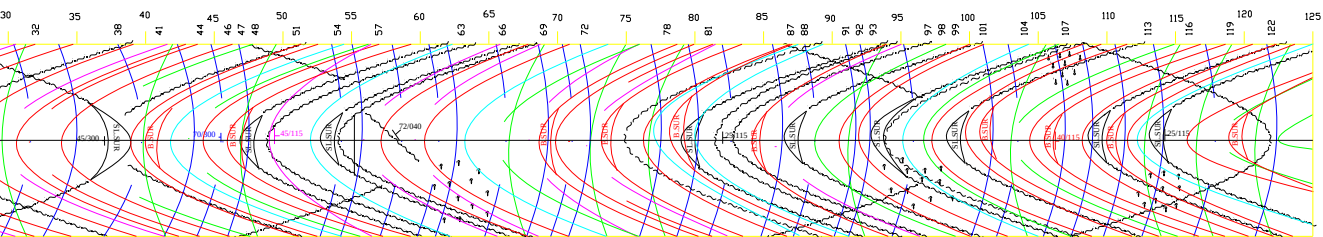
نمودار های ۳ پیوست: حفاری ، تست لوژان و تزریق در گمانه های پی سد گتوند



LEGEND	
Slickensided Clay Filled Joint	
Clay Filled Joint	
Tight Joint	
Dripping	
Dip and Dip Direction	
Gypsum Filled Joint	
Slackensided (Tight)	
Slackensided Surface	
Joint Surface	
Bedding Surface	

Scale=1/100

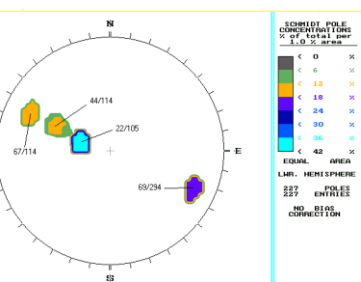
شکل شماره ۳ پیوست: برداشت درزه و تصویر شبکه اسمیت در تونل شماره ۳ آب پر چنانح راست



Siltstone & sandy Siltstone
Strength: Medium
Weathering: Medium



Siltstone & Clay Sandstone
Strength: Medium
Weathering: Medium



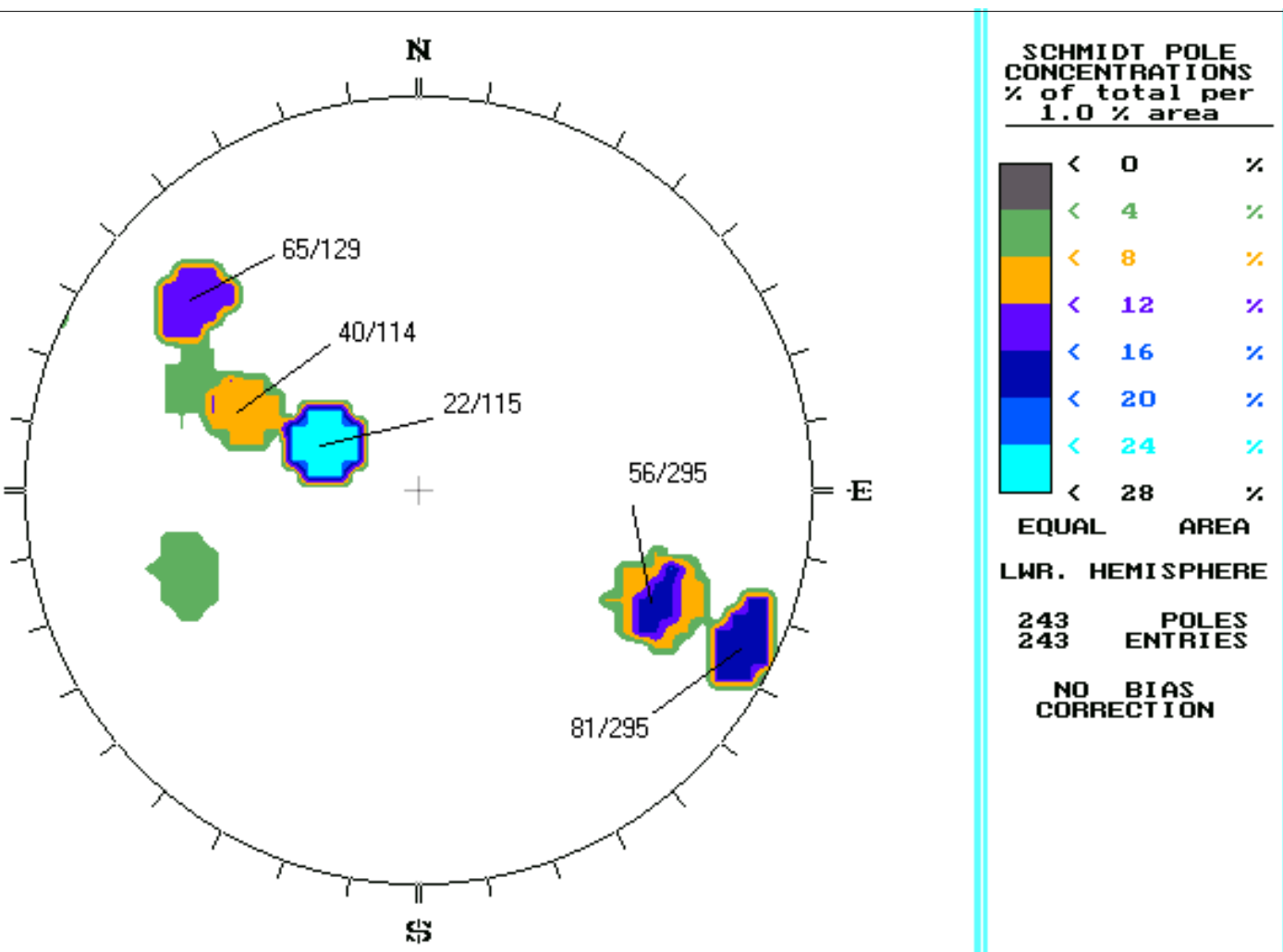
1 114 44 22 69

LEGEND

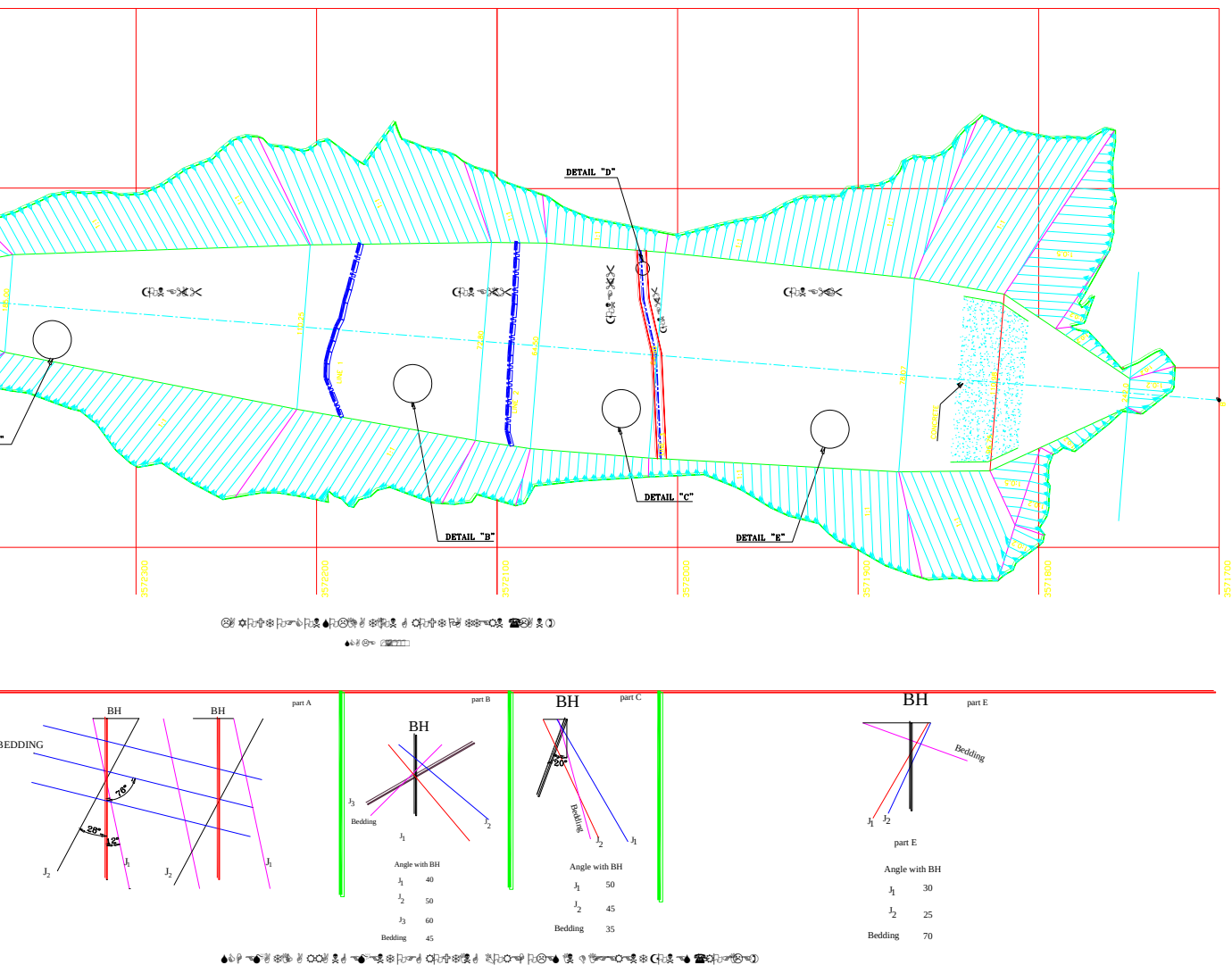
Slickensided Clay Filled Joint	
Clay Filled Joint	
Tight Joint	
Dripping	
Dip and Dip Direction	
Gypsum Filled Joint	
Slickensided (Tight)	
Slickensided Surface	
Joint Surface	
Bedding	

Scale=1/100

شکل شماره ۴ پیوست: برداشت درزه و تصویر شبکه اسمیت در تونل شماره ۱ آب بر چناج راست



شکل شماره ۵ پیوست: تصویر شبکه اسمیت در تونل آب بر شماره ۲ جناح راست



شکل پیوست ۶: پلان محور سد گتوند و زاویه های برداشت شده از روی گمانه ها

Depth(m)	q			P							LU			
	l/5min	l/min	l/min/m	bar	H _{water}	H(CWT or middle of stage)	H _{manometer}	rod loss(m)	poker loss(m)	P _e	for each stage	proposed	group	
5- 10	با دبی ۱۷۰ لیتر در دقیقه (حداکثر دبی پمپ) فشار از صفر بالا نرفت													
10- 15	با دبی بیش از ۱۲۰ لیتر در دقیقه (حداکثر دبی پمپ) فشار از صفر بالا نرفت													
15- 20	541.0 740.5	108 148	21.6 29.6	0.0 1.0	0.0 9.7	17.5 17.5	1.2 1.2			18.7 28.4	116 104	>100 High Permeable		
با دبی بیش از ۱۴۰ لیتر در دقیقه (حداکثر دبی پمپ) فشار از ۱ بار بالا نرفت														
20- 25	با دبی بیش از ۱۴۸ لیتر در دقیقه (حداکثر دبی پمپ) فشار از ۱ بار بالا نرفت													
25- 30	825.0	165	55	2.0	19.4	4.1	1.1			24.6	223	High Permeable		
با دبی ۱۶۵ لیتر در دقیقه (حداکثر دبی پمپ) فشار از ۲ بار بالا نرفت														
30-35	7.0 20.5 31.0 20.5 10.5	1.4 4.1 6.2 4.1 2.1	0.28 0.82 1.24 0.82 0.42	2.5 5.0 7.0 5.0 2.5	24.2 48.4 67.8 48.4 24.2	32.5 32.5 32.5 32.5 32.5	1.4 1.4 1.4 1.4 1.4			5.8 8.2 10.2 8.2 5.8	0.5 1.0 1.2 1.0 0.7	0.7 Dilation		
35-40	4.0 9.5 10.0 9.5 2.0	0.8 1.9 2 1.9 0.4	0.16 0.38 0.4 0.38 0.08	3.0 6.0 8.0 6.0 3.0	29.1 58.1 77.5 58.1 29.1	37.5 37.5 37.5 37.5 37.5	1.2 1.2 1.2 1.2 1.2			6.8 9.7 11.6 9.7 6.8	0.2 0.4 0.3 0.4 0.1			
	24.0 659.0 869.0 832.0 672.0	4.8 132 174 166 134	0.96 26.4 34.8 33.3 26.9	3.5 7.0 8.5 6.0 3.5	33.9 67.8 82.3 58.1 33.9	42.5 42.5 42.5 42.5 42.5	1.4 1.4 1.4 1.4 1.4			7.8 11.2 12.6 10.2 7.8	1.2 23.6 27.5 32.6 34.6			
	40-45	24.0 659.0 869.0 832.0 672.0	4.8 132 174 166 134	0.96 26.4 34.8 33.3 26.9	3.5 7.0 8.5 6.0 3.5	33.9 67.8 82.3 58.1 33.9	42.5 42.5 42.5 42.5 42.5	1.4 1.4 1.4 1.4 1.4			7.8 11.2 12.6 10.2 7.8			1.2 23.6 27.5 32.6 34.6
	45-50	95.0 145.0 116.0	19 29 23	6.33 9.67 7.73	3.5 7.0 3.5	33.9 67.8 33.9	47.50 47.50 47.50	1.3 1.3 1.3			82.7 116.6 82.7			7.7 8.3 9.4

SGI-B (p-q) graph for lugeon test

pressure: lugeon value

1	0.5	6.8
2	1.0	8.2
3	1.2	10.2
4	1.0	8.2
5	0.7	5.8

SGI-B (p-q) graph for lugeon test

pressure: lugeon value

1	0.2	6.8
2	0.4	9.7
3	0.3	11.6
4	0.4	9.7
5	0.1	6.8

SGI-B (p-q) graph for lugeon test

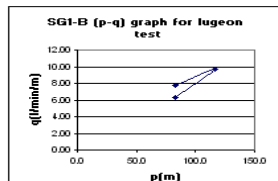
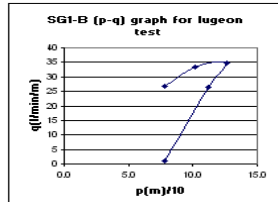
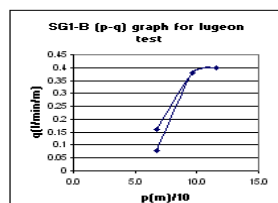
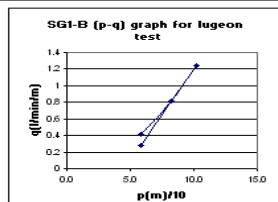
pressure: lugeon value

1	1.2	7.8
2	2.75	23.6
3	3.46	32.6
4	2.75	10.2
5	1.2	7.8

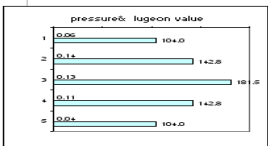
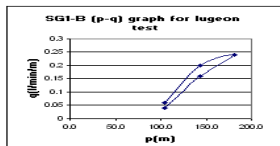
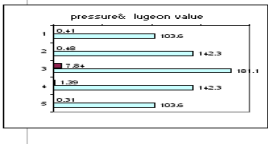
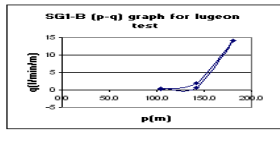
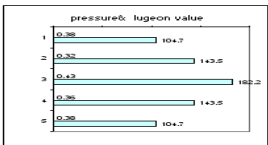
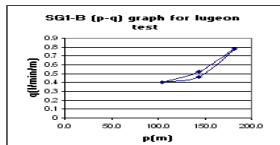
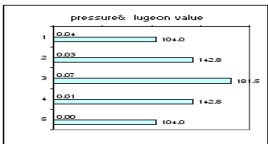
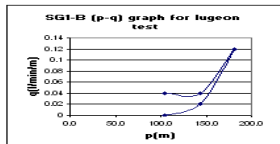
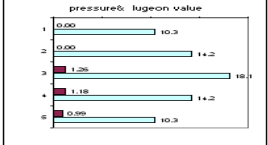
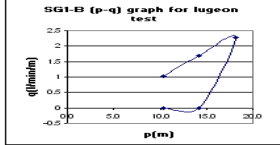
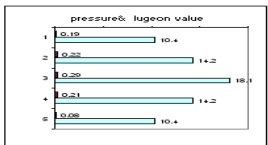
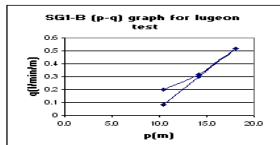
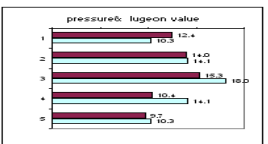
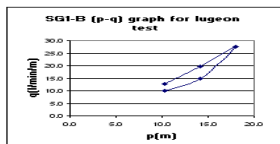
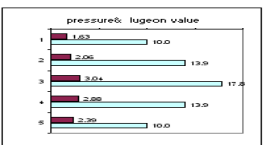
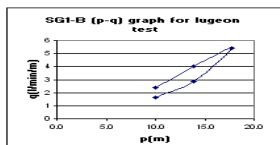
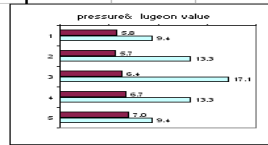
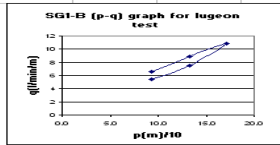
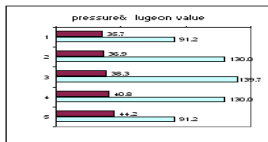
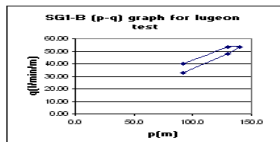
SGI-B (p-q) graph for lugeon test

pressure: lugeon value

1	7.7	82.7
2	8.3	116.6
3	9.4	82.7

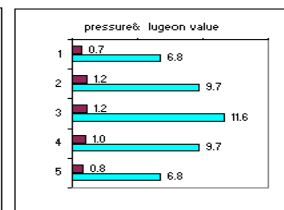
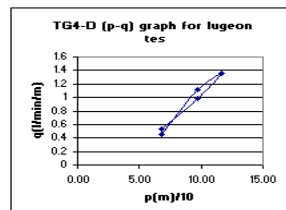
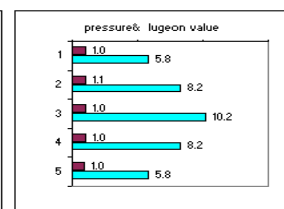
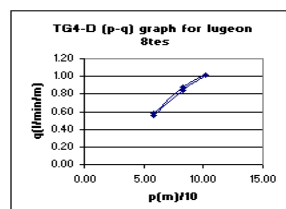
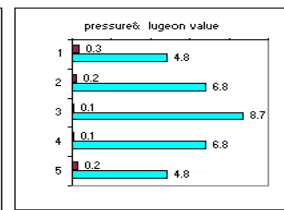
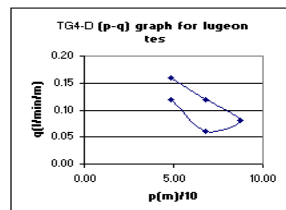
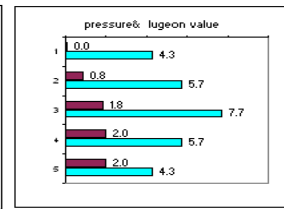
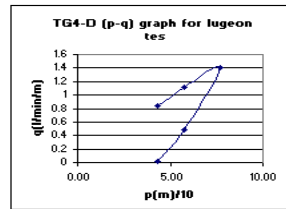
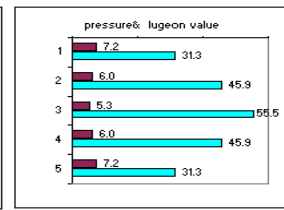
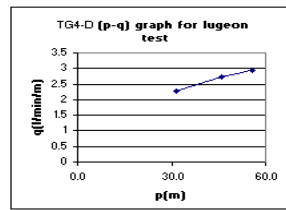
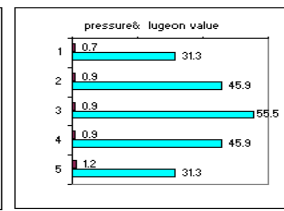
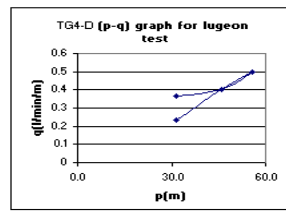
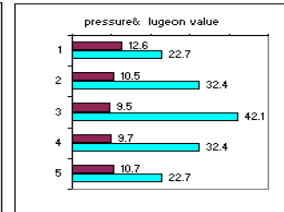
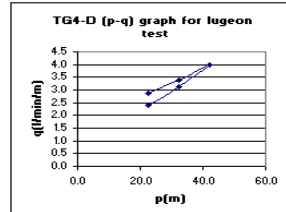
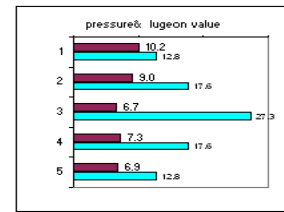
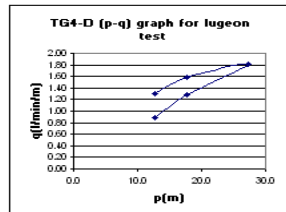


Depth(m)	q			bar	P					LU		
	1/5min	1/min	1min		H _{water}	H(CWT or middle of stage)	H _{water}	rod log(m)	poker log(m)	P _e	for each stage	proposed
50-53												group
	489.0	98	32.60	4.0	38.7	51.50	1.0			91.2	35.7	44
	719.0	144	47.93	8.0	77.5	51.50	1.0			130.0	36.9	
	803.0	161	53.53	9.0	87.2	51.50	1.0			139.7	38.3	
	796.0	159	53.07	8.0	77.5	51.50	1.0			130.0	40.8	
	604.5	121	40.30	4.0	38.7	51.50	1.0			91.2	44.2	
53-55.5												group
	67.5	14	5.4	4	38.7	54.25	0.80			9.4	5.8	7.0
	94.0	19	7.52	8	77.5	54.25	0.80			13.3	5.7	
	136.0	27	10.9	12	116.2	54.25	0.80			17.1	6.4	
	111.5	22	8.92	8	77.5	54.25	0.80			13.3	6.7	
	82.5	17	6.6	4	38.7	54.25	0.80			9.4	7.0	
55.5-59												group
	762.5	153	43.6	3	29.1	57.25	1.80			88	49.5	
یادگیری پس از ۱۲۰ لیتر در دقیقه (حد اکثر دبی بمب) فشار از ۷ بار بالا نرفت												
59-62												group
	24.5	4.9	1.63	4	38.7	60.50	1.10			10.0	1.6	2.4
	43.0	8.6	2.87	8	77.5	60.50	1.10			13.9	2.1	
	81.0	16	5.4	12	116.2	60.50	1.10			17.8	3.0	
	60.0	12	4.0	8	77.5	60.50	1.10			13.9	2.9	
	36.0	7.2	2.4	4	38.7	60.50	1.10			10.0	2.4	
62-64.7												group
	172.0	34	12.7	4	38.7	63.0	1.0			10.3	12.4	9.7
	267.0	53	19.8	8	77.5	63.0	1.0			14.1	14.0	
	372.0	74	27.6	12	116.2	63.0	1.0			18.0	15.3	
	198.5	40	14.7	8	77.5	63.0	1.0			14.1	10.4	
	134.5	27	10.0	4	38.7	63.0	1.0			10.3	9.7	
65-70												group
	15min	1min	1min									0.2
	5.0	1	0.2	4	38.7	64.00	0.85			10.4	0.2	
	8.0	1.6	0.32	8	77.5	64.00	0.85			14.2	0.2	
	13.0	2.6	0.52	12	116.2	64.00	0.85			18.1	0.3	
	7.5	1.5	0.3	8	77.5	64.00	0.85			14.2	0.2	
	2.0	0.4	0.08	4	38.7	64.00	0.85			10.4	0.1	
70-75												group
	15min	1min	1min									1.0
	0.0	0	0	4	38.7	64.00	0.70			10.3	0.0	
	0.0	0	0	8	77.5	64.00	0.70			14.2	0.0	
	57.0	11	2.28	12	116.2	64.00	0.70			18.1	1.3	
	42.0	8.4	1.68	8	77.5	64.00	0.70			14.2	1.2	
	25.5	5.1	1.02	4	38.7	64.00	0.70			10.3	1.0	
75-80												group
	15min	1min	1min									0.0
	1.0	0.2	0.04	4	38.7	64.00	1.30			104.0	0.0	
	1.0	0.2	0.04	8	77.5	64.00	1.30			142.8	0.0	
	3.0	0.6	0.12	12	116.2	64.00	1.30			181.5	0.1	
	0.5	0.1	0.02	8	77.5	64.00	1.30			142.8	0.0	
	0.0	0	0	4	38.7	64.00	1.30			104.0	0.0	
80-85												group
	15min	1min	1min									0.4
	10.0	2.0	0.4	4	38.7	64.0	2.0			104.7	0.4	
	11.5	2.3	0.46	8	77.5	64.0	2.0			143.5	0.3	
	19.5	3.9	0.78	12	116.2	64.0	2.0			182.2	0.4	
	13.0	2.6	0.52	8	77.5	64.0	2.0			143.5	0.4	
	10.0	2.0	0.4	4	38.7	64.0	2.0			104.7	0.4	
85-90												group
	15min	1min	1min									0.3
	10.5	2.1	0.42	4	38.7	64.0	0.9			103.6	0.4	
	17.0	3.4	0.68	8	77.5	64.0	0.9			142.3	0.5	
	355.0	71	14.2	12	116.2	64.0	0.9			181.1	7.8	
	49.5	9.9	1.98	8	77.5	64.0	0.9			142.3	1.4	
	8.0	1.6	0.32	4	38.7	64.0	0.9			103.6	0.3	
90-95												group
	15min	1min	1min									0.1
	1.5	0.3	0.06	4	38.7	64.0	1.3			104.0	0.1	
	5.0	1	0.2	8	77.5	64.0	1.3			142.8	0.1	
	6.0	1.2	0.24	12	116.2	64.0	1.3			181.5	0.1	
	4.0	0.8	0.16	8	77.5	64.0	1.3			142.8	0.1	
	1.0	0.2	0.04	4	38.7	64.0	1.3			104.0	0.0	
95-100												group
	15min	1min	1min									
	817.0	163	32.7	4	38.7	64.0	1.0			103.7	31.5	32
یادگیری پس از ۱۶۰ لیتر در دقیقه (حد اکثر دبی بمب) فشار از ۴ بار بالا نرفت												

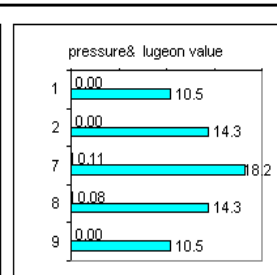
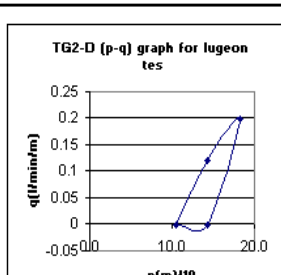
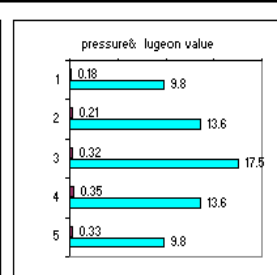
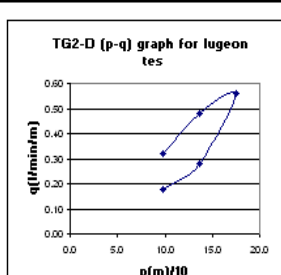
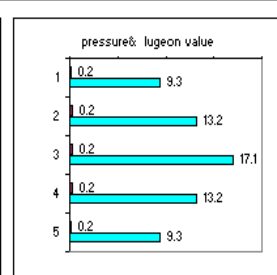
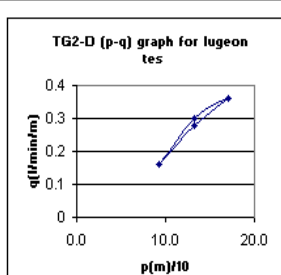
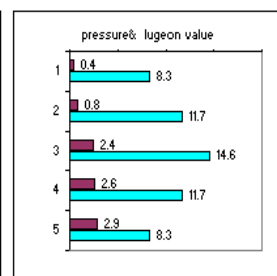
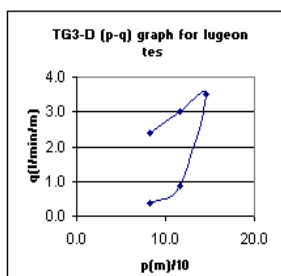
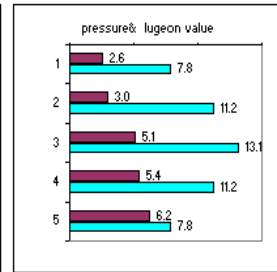
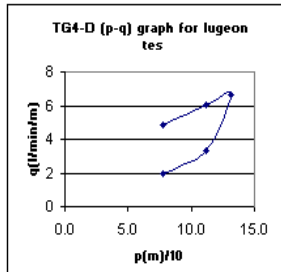


نمودار ۴ پیوست: اطلاعات حفاری و تزریق و تست لوزان مربوط به گمانه SG1 واقع در پی سد گتوند

Depth(m)	q			P						LU		
	1/5min	1/min	1/min/m	bar	H _{water} (m)	H(CWT or middle of stage)	H _{manometer}	rod loss(m)	poker loss(m)	P _e (m)	for each stage	proposed group
5-10	32.5	6.5	1.30	0.5	4.8	7.5	0.5			12.8	10.2	6.9 Wash out
	39.5	7.9	1.58	1.0	9.7	7.5	0.5			17.6	9.0	
	45.5	9.1	1.82	2.0	19.4	7.5	0.5			27.3	6.7	
	32.0	6.4	1.28	1.0	9.7	7.5	0.5			17.6	7.3	
	22.0	4.4	0.88	0.5	4.8	7.5	0.5			12.8	6.9	
10-15	71.5	14.3	2.9	1.0	9.7	12.5	0.5			22.7	12.6	9.5 Turbulent
	85.0	17	3.4	2.0	19.4	12.5	0.5			32.4	10.5	
	100.0	20	4.0	3.0	29.1	12.5	0.5			42.1	9.5	
	78.5	15.7	3.1	2.0	19.4	12.5	0.5			32.4	9.7	
	60.5	12.1	2.4	1.0	9.7	12.5	0.5			22.7	10.7	
15-18	3.5	0.7	0.23	1.5	14.5	16.5	0.30			31.3	0.7	0.9 Laminar
	6.0	1.2	0.4	3.0	29.1	16.5	0.30			45.9	0.9	
	7.5	1.5	0.5	4.0	38.7	16.5	0.30			55.5	0.9	
	6.0	1.2	0.4	3.0	29.1	16.5	0.30			45.9	0.9	
	5.5	1.1	0.37	1.5	14.5	16.5	0.30			31.3	1.2	
18-21	34.0	6.8	2.27	1.5	14.5	16.5	0.30			31.3	7.2	5.3 Turbulent
	41.0	8.2	2.73	3.0	29.1	16.5	0.30			45.9	6.0	
	44.0	8.8	2.93	4.0	38.7	16.5	0.30			55.5	5.3	
	41.0	8.2	2.73	3.0	29.1	16.5	0.30			45.9	6.0	
	34.0	6.8	2.27	1.5	14.5	16.5	0.30			31.3	7.2	
21-28	0.5	0.1	0.02	1.5	14.5	27.3	1.10			4.29	0.0	2.0 Wash out
	12.0	2.4	0.48	3.0	29.1	27.3	1.10			5.74	0.8	
	35.0	7	1.4	5.0	48.4	27.3	1.10			7.68	1.8	
	28.0	5.6	1.12	3.0	29.1	27.3	1.10			5.74	2.0	
	21.0	4.2	0.84	1.5	14.5	27.3	1.10			4.29	2.0	
26-31	4.0	0.8	0.16	2	19.4	28.5	0.5			4.84	0.3	0.2 Laminar
	3.0	0.6	0.12	4	38.7	28.5	0.5			6.77	0.2	
	2.0	0.4	0.08	6	58.1	28.5	0.5			8.71	0.1	
	1.5	0.3	0.06	4	38.7	28.5	0.5			6.77	0.1	
	3.0	0.6	0.12	2	19.4	28.5	0.5			4.84	0.2	
31-36	14.5	2.9	0.58	2.5	24.2	33.5	0.40			5.81	1.0	1.0 Laminar
	22.0	4.4	0.88	5.0	48.4	33.5	0.40			8.23	1.1	
	25.5	5.1	1.02	7.0	67.8	33.5	0.40			10.17	1.0	
	21.0	4.2	0.84	5.0	48.4	33.5	0.40			8.23	1.0	
	14.0	2.8	0.56	2.5	24.2	33.5	0.40			5.81	1.0	
36-41	11.5	2.3	0.46	3.0	29.1	38.5	0.30			6.79	0.7	0.7 Dilation
	28.0	5.6	1.12	6.0	58.1	38.5	0.30			9.69	1.2	
	34.0	6.8	1.36	8	77.5	38.5	0.30			11.63	1.2	
	24.5	4.9	0.98	6.0	58.1	38.5	0.30			9.69	1.0	
	13.5	2.7	0.54	3.0	29.1	38.5	0.30			6.79	0.8	



Depth(m)	q			P						LU		
	1/5min	1/min	1/min/m	bar	H _{water} (m)	H(GWT or middle of stage)	H manometer	rod loss(m)	paker loss(m)	P _e /10(m)	for each stage	proposed group
41-46	50.0	10.0	2	3.5	33.9	43.5	0.7			7.8	2.6	6.2 Wash out
	83.5	16.7	3.34	7.0	67.8	43.5	0.7			11.2	3.0	
	167.0	33.4	6.68	9	87	43.5	0.7			13.1	5.1	
	151.0	30.2	6.04	7.0	67.8	43.5	0.7			11.2	5.4	
	122.0	24.4	4.88	3.5	33.9	43.5	0.7			7.8	6.2	
46-51	9.0	1.8	0.4	3.5	33.9	48.5	0.3			8.3	0.4	2.9 Wash out
	22.0	4.4	0.9	7.0	67.8	48.5	0.3			11.7	0.8	
	88.0	17.6	3.5	10	97	48.5	0.3			14.6	2.4	
	75.0	15	3.0	7.0	67.8	48.5	0.3			11.7	2.6	
	60.0	12	2.4	3.5	33.9	48.5	0.3			8.3	2.9	
51-56	4.0	0.8	0.16	4.0	38.7	53.5	1.0			9.3	0.2	0.2
	7.5	1.5	0.3	8.0	77.5	53.5	1.0			13.2	0.2	
	9.0	1.8	0.36	12	116	53.5	1.0			17.1	0.2	
	7.0	1.4	0.28	8.0	77.5	53.5	1.0			13.2	0.2	
	4.0	0.8	0.16	4.0	38.7	53.5	1.0			9.3	0.2	
56-60	4.5	0.9	0.18	4.0	38.7	58.0	1.0			9.8	0.18	0.3 Laminar
	7.0	1.4	0.28	8.0	77.5	58.0	1.0			13.6	0.21	
	14.0	2.8	0.56	12	116	58.0	1.0			17.5	0.32	
	12.0	2.4	0.48	8.0	77.5	58.0	1.0			13.6	0.35	
	8.0	1.6	0.32	4.0	38.7	58.0	1.0			9.8	0.33	
63-68	0.0	0	0	4.0	38.7	65.5	0.30			10.5	0.00	0.0 Impermeable
	0.0	0	0	8	77.5	65.5	0.30			14.3	0.00	
	5.0	1	0.2	12	116	65.5	0.30			18.2	0.11	
	3.0	0.6	0.12	8.0	77.5	65.5	0.30			14.3	0.08	
	0.0	0	0	4.0	38.7	65.5	0.30			10.5	0.00	



نمودار ۵ پیوست: اطلاعات حفاری، تست لوژان و تزریق مربوط به گمانه TG4 واقع در پی سد گتوند

ضمائم