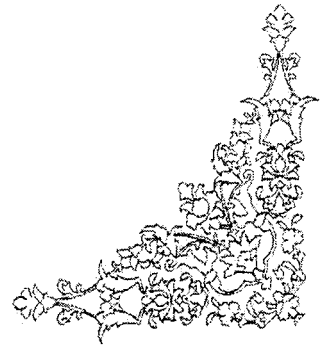




بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





دانشکده معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن

# بررسی ژئومکانیکی پی سد کارون ۴ و انتخاب مناسبترین روش برای آب بندی آن

گردآورنده:

محمد طلوع

استاد راهنما:

دکتر رضا کاکایی

استاد مشاور:

دکتر عبد الهادی قزوینیان

تابستان ۱۳۸۴

## تقدیر و تشکر

در ابتدا لازم است که از اساتید محترم دانشکده معدن و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود و استاد راهنمای خود آقای دکتر رضا کاکایی که در تدوین و جمع بندی مطالب زحمات بسیاری را متقبل شده اند و همچنین از استاد مشاور خود آقای دکتر عبدالهادی قزوینیان که طراح بسیاری از ایده های مورد استفاده بوده اند کمال تشکر را داشته باشم. مخصوصاً لازم است از آقای مهندس محمد مسعود جلیلی مدیر عامل محترم شرکت آب های تهران تشکر کنم .

از اساتید بزرگوار آقای دکتر محمد عطایی و آقای دکتر انصاری که با وجود مشغله فراوان زحمت ارزیابی این پایان نامه را پذیرفته و در جلسه دفاعیه با پیشنهادات خود مرا در تدوین بهتر پایان نامه یاری کرده اند. همچنین آقای دکتر حمید میرعابدینی که به من درس زندگی داده اند سپاسگزارم . از دوستان عزیزم که در این راه پر فراز و نشیب و در تلخی و شادی های بسیار این دوره از زندگی مشوق و یاور من بوده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم خصوصاً از آقایان مهندس محمد یعقوبی پور، مهندس آرش کریمی، مهندس عباس مسگری وش، مهندس انور کامکار ، مهندس جهانبخش بدری و همچنین آقای دکتر مهدی سیاهی، آقای دکتر محمد سلطانپور و آقای دکتر علیرضا سحاب که همواره راهگشای من بوده اند.

در پایان لازم است که از همه عزیزانی که در این راه مشوق و همراه من بوده اند تشکر نموده و برای آنها آرزوی موفقیت بیشتر را در تمامی مراحل زندگی داشته باشم .

محمد طلوع

تابستان ۱۳۸۴

تقدیم به :

وجود پر مهر پدر

نگاه منتظر و گرم مادر

که همیشه یاری بیدریغ خود را به من ارزانی کردند

و خوب ...

## چکیده

با توجه به روند روز افزون استفاده از منابع آب و نیاز شدید به داشتن منابع قابل اطمینان لزوم جلوگیری از هدر رفتن آب نمایان می گردد. یکی از راه های هدر رفتن آب تراوش از زیر پی و تکیه گاه های یک سد است. این موضوع می تواند علاوه بر به خطر انداختن اهداف احداث سد در مواقعی باعث شکست آن و تخریب تمامی تاسیسات و زمین های پایین دست گردد. تا کنون در تمامی ساختگاه هایی که از نظر طبیعی قابل اطمینان و مناسب بوده اند، سدهای بزرگ و کوچک احداث شده است. پس باید به طریقی ساختگاه ها را مناسب احداث کرد. با احداث پرده آب بند می توان تا حدودی مقابل فرار آب را گرفت.

در این پایان نامه طرح احداث پرده آب بند در ساختگاه سد کارون ۴ که با تکیه بر توانمندی متخصصین داخلی در حال اجرا است، مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار ابتدا زمین شناسی منطقه بررسی و همچنین ناپیوستگی های موجود در گالری های احداث شده به منظور اجرای عملیات تزریق شناسایی شدند. در ساختگاه سنگی سد کارون ۴ تعداد ناپیوستگی های اصلی شناسایی و مناطق تحت تاثیر هر یک با استفاده از نرم افزار استرونت مدل گردید. برای شناخت بیشتر وضعیت ساختگاه آزمایشات مکانیک سنگی و همچنین آزمایشات صحرایی برای اندازه گیری نفوذپذیری اطراف گمانه های اکتشافی انجام و محاسبه گردید. بررسی هماهنگ تکتونیک منطقه، آزمایشات نفوذپذیری، میزان تخلخل و آزمایشات مکانیک سنگی برای جهت یابی احداث پرده آب بند ضروری می باشد. این طراحی از تراز پی سد تا سازند پابده با نرم افزار FLUENT با روش CFD و حل عددی با استفاده از روش اجزای محدود، معادلات حاکم بر حرکت سیالات مورد تحلیل قرار گرفته است. این تحلیل در هنگام احداث می تواند تعیین کننده مناطق حساس و تحت تاثیر فشارهای ناشی از حرکت سیال باشد. نتایج این پایان نامه می تواند به هنگام اجرای عملیات تزریق مورد استفاده قرار گیرد تا مناطق ضعیف یا تحت تاثیر تقویت گردند.

## فهرست

### چکیده

#### فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه..... ۲
- ۲-۱- تاریخچه عملیات تزریق..... ۳
- ۳-۱- سابقه مطالعات انجام شده طرح کارون ۴..... ۴
- ۴-۱- دلایل لزوم آببندی پی و تکیه‌گاه‌های سد کارون ۴..... ۴
- ۵-۱- هدف از انجام پایان نامه..... ۵
- ۶-۱- سازماندهی پایان نامه..... ۷

#### فصل دوم: زمین شناسی محدوده طرح

- ۱-۲- مقدمه..... ۹
- ۲-۲- موقعیت جغرافیایی..... ۹
- ۳-۲- زمین شناسی محدوده طرح..... ۱۰
- ۱-۳-۲- کلیات..... ۱۰
- ۲-۳-۲- زمین شناسی ناحیه ای..... ۱۱
- ۳-۳-۲- زمین شناسی ساختمانی ساختگاه سد کارون ۴..... ۱۴
- ۴-۲- زمین شناسی محل سد..... ۲۱
- ۱-۴-۲- زمین شناسی عمومی..... ۲۱
- ۲-۴-۲- زمین شناسی ساختمانی..... ۲۴

## فصل سوم: شرایط ژئومکانیکی ساختگاه سد کارون ۴

- ۲۸-۳-۱- مقدمه..... ۲۸
- ۲۸-۳-۲- شرایط ژئومکانیکی..... ۲۸
- ۲۹-۳-۳- آزمایش های شاخص..... ۲۹
- ۲۹-۳-۳-۱- دانسیته..... ۲۹
- ۳۰-۳-۳-۲- تخلخل..... ۳۰
- ۳۱-۳-۳-۳- درصد رطوبت..... ۳۱
- ۳۳-۳-۳-۴- دوام به وارفتگی..... ۳۳
- ۳۵-۳-۴- آزمایش مقاومت فشاری..... ۳۵
- ۳۶-۳-۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری نامحصور..... ۳۶

## فصل چهارم: آزمایشات صحرائی

- ۴۱-۴-۱- مقدمه..... ۴۱
- ۴۱-۴-۲- روش انجام آزمایش نفوذپذیری برجای سنگ (آزمایش لوژن یا WPT)..... ۴۱
- ۴۴-۴-۳- نتایج آزمایش WPT و روش های تفسیر آن..... ۴۴
- ۴۵-۴-۳-۱- روش ارایه شده توسط هولسبی..... ۴۵
- ۴۶-۴-۳-۲- استفاده از نمودارهای P-Q..... ۴۶
- ۴۸-۴-۴- شرایط هیدروژئولوژی ساختگاه سد کارون ۴..... ۴۸
- ۵۰-۴-۵- رابطه آزمایش WPT با نفوذ پذیری..... ۵۰
- ۵۴-۴-۶- کارگاه آزمایشی تزریق..... ۵۴
- ۵۴-۴-۶-۱- شرایط زمین شناسی تزریق آزمایشی..... ۵۴
- ۵۴-۴-۶-۲- نتایج تزریق آزمایشی..... ۵۴

۴-۶-۳- خوردند در کارگاه آزمایشی..... ۵۷

## فصل پنجم: طرح پرده آب بند

۵-۱- مقدمه..... ۵۹

۵-۲- اهداف احداث پرده تزریق..... ۶۰

۵-۳- دلایل احداث پرده آب بند متصل..... ۶۱

۵-۴- انجام تزریق جهت کاهش نفوذپذیری یا ناتراوا کردن بستر..... ۶۱

۵-۵- زاویه و عمق حفاری..... ۶۳

۵-۵-۱- قسمت پی..... ۶۳

۵-۵-۲- تکیه گاه های راست و چپ..... ۶۳

۵-۵-۳- گسترش جانبی پرده آب بند..... ۶۴

۵-۵-۳-۱- گسترش جانبی پرده آب بند در ساحل چپ..... ۶۴

۵-۵-۳-۲- گسترش جانبی پرده آب بند در ساحل راست..... ۶۵

۵-۶- برآورد اولیه مصالح مورد نیاز..... ۶۶

۵-۶-۱- مقدار مصالح مورد نیاز در تکیه گاه ها..... ۶۷

۵-۶-۲- مقدار مصالح مورد نیاز در پی..... ۶۸

۵-۶-۳- مخلوط تزریق..... ۶۹

۵-۷- طراحی فشار..... ۷۰

۵-۷-۱- فشار در سازند آسماری..... ۷۰

۵-۷-۲- فشار در سازند پابده..... ۷۰



## فصل ششم: بررسی طرح پرده آب بند با نرم افزار FLUENT

۷۲-۱-۶- مقدمه..... ۷۲

۷۲-۲-۶- مدل سازی و بررسی نتایج با نرم افزار FLUENT..... ۷۲

۷۳-۳-۶- معرفی معادلات حاکم در نرم افزار FLUENT..... ۷۳

۷۳-۱-۳-۶- معادله بقای جرم (پیوستگی)..... ۷۳

۷۴-۲-۳-۶- معادلات بقای مومنتم..... ۷۴

۷۵-۴-۶- بررسی نتایج حاصل از مدل سازی با نرم افزار FLUENT..... ۷۵

۸۵- فصل هفتم : نتیجه گیری..... ۸۵

۹۰- منابع..... ۹۰

۹۴- پیوست الف..... ۹۴

۹۶- پیوست ب..... ۹۶

۱۱۲- پیوست ج..... ۱۱۲

۱۱۹- پیوست د..... ۱۱۹

## فهرست اشکال و نمودارها

- شکل شماره ۱-۲-۱- موقعیت احداث سد کارون ۱ تا کارون ۴..... ۱۰
- شکل شماره ۲-۲- نقشه زمین شناسی محدوده طرح و محل اجرای پروژه (محل تلاقی رودخانه منج و بازفت)..... ۱۲
- شکل شماره ۲-۳- نمودار رز دیاگرام گسل های موجود در تکیه گاه راست..... ۱۷
- شکل شماره ۲-۴- مناطق تحت تاثیر گسل های تکیه گاه راست با در نظر گرفتن قطب هریک..... ۱۸
- شکل شماره ۲-۵- نمودار رز دیاگرام گسل های موجود در تکیه گاه چپ..... ۱۹
- شکل شماره ۲-۶- مناطق تحت تاثیر گسل های تکیه گاه چپ با در نظر گرفتن قطب هریک.... ۲۰
- شکل شماره ۲-۷- موقعیت بدنه سد و سازندهای زمین شناسی در ساحل چپ..... ۲۲
- شکل شماره ۲-۸- موقعیت بدنه سد و سازندهای زمین شناسی در ساحل راست..... ۲۳
- شکل شماره ۲-۹- نمودار رز دیاگرام دسته درزه های موجود در گالری های اکتشافی..... ۲۵
- شکل شماره ۲-۱۰- مناطق تحت تاثیر دسته درزه های برداشت شده در گالری های اکتشافی با در نظر گرفتن قطب هریک..... ۲۶
- نمودار شماره ۳-۱- رابطه خطی تخلخل - جذب آب (نمونه اشباع)..... ۳۲
- نمودار شماره ۳-۲- رابطه خطی تخلخل - جذب آب (رطوبت طبیعی)..... ۳۳
- نمودار شماره ۳-۳- مقادیر تخلخل و شاخص دوام..... ۳۴
- نمودار شماره ۳-۴- رابطه خطی تخلخل و شاخص دوام (تخلخل ۷-۰ درصد)..... ۳۵
- نمودار شماره ۳-۵- رابطه خطی مقاومت فشاری نامحصور - مدول الاستیک (نمونه های خشک) ۳۷
- نمودار شماره ۳-۶- رابطه خطی مقاومت فشاری نامحصور - مدول الاستیک (نمونه های اشباع) ۳۸
- شکل شماره ۴-۱- سیستم انجام آزمایش فشار آب (wpt)..... ۴۲

- شکل شماره ۴-۲- تعیین فشار موثر در شرایطی زیر سطح آب زیرزمینی در آزمایش WPT ..... ۴۳
- شکل شماره ۴-۳- استفاده از نتایج آزمایش WPT برای تعیین وضعیت زمین ..... ۴۶
- شکل شماره ۴-۴- رفتارهای احتمالی سنگ های اطراف یک گمانه ..... ۴۷
- شکل شماره ۴-۵- رابطه بین عمق و آزمایش WPT ..... ۴۹
- شکل شماره ۴-۶- تاثیر مقیاس آزمایش بر خصوصیات هیدرولیک توده سنگ ..... ۵۱
- شکل شماره ۴-۷- نمودارهای رابطه تجربی بین آزمایش لوژن و نفوذپذیری ..... ۵۲
- شکل شماره ۴-۸- نمودارهای ارائه شده برای معادل سازی ضریب نفوذپذیری و بازشدگی ..... ۵۳
- شکل شماره ۵-۱- زون سنگی تزریق شده اطراف بدنه سد الکاهون در هندوراس (۱۹۸۸) ..... ۵۹
- شکل شماره ۵-۲- نمای کلی ایستگاه ها و گالری های تزریق ..... ۶۲
- شکل شماره ۶-۱- شبکه تشکیل شده برای تحلیل پرده آب بند ..... ۷۵
- شکل شماره ۶-۲- باقی مانده حاصل از تکرار حل معادلات ..... ۷۷
- شکل شماره ۶-۳- مناطق تحت تاثیر تنش برشی و مقادیر تنش وارده ..... ۷۸
- شکل شماره ۶-۴- مقادیر سرعت جریان آب زیرزمینی در پی و تکیه گاه ها ..... ۷۹
- شکل شماره ۶-۵- بردارهای سرعت جریان آب زیرزمینی در پی و تکیه گاه ها ..... ۸۰
- شکل شماره ۶-۶- مقادیر اغتشاش و انرژی جنبشی ..... ۸۱
- شکل شماره ۶-۷- مقادیر فشار استاتیکی (Pa) ..... ۸۲

## فهرست جداول

- جدول شماره ۱-۲ - سازندهای زمین‌شناسی در ناحیه طرح..... ۱۳
- جدول شماره ۲-۲- مشخصات گسل‌های فرعی محل احداث سد کارون ۴..... ۱۶
- جدول شماره ۳-۲- مشخصات سازند آسماری در ساختگاه سد کارون ۴..... ۲۱
- جدول شماره ۴-۲- دسته درزه های برداشت شده در گالری های اکتشافی..... ۲۴
- جدول شماره ۱-۳- نتایج آزمایشات تعیین دانسیته..... ۳۰
- جدول شماره ۲-۳- نتایج آزمایشات تعیین میزان تخلخل..... ۳۰
- جدول شماره ۳-۳- مقادیر درصد رطوبت نمونه ها..... ۳۲
- جدول شماره ۴-۳- نتایج آزمایش دوام به وارفتگی نمونه های سنگ..... ۳۴
- جدول شماره ۵-۳- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نامحصور در حالت خشک..... ۳۶
- جدول شماره ۷-۳- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نامحصور در حالت اشباع..... ۳۷
- جدول شماره ۸-۳- تقسیم بندی نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نامحصور در حالت اشباع..... ۳۹
- جدول شماره ۱-۴- تعداد آزمایش و رفتار توده سنگ در آزمایش WPT..... ۴۸
- جدول شماره ۲-۴- نفذپذیری معادل در سازندسنگی ساختگاه..... ۵۳
- جدول شماره ۳-۴- فراوانی درزه ها نسبت به محور مغزه..... ۵۴
- جدول شماره ۴-۴- فشار موثر تزریق در کارگاه آزمایشی..... ۵۶
- جدول شماره ۵-۴- ترکیب دوغاب مصرفی در کارگاه آزمایشی..... ۵۷
- جدول شماره ۱-۵- درصد مصالح در ترکیب دوغاب..... ۶۶
- جدول شماره ۲-۵- مقدار مصالح مورد نیاز هر گالری به تفکیک..... ۶۸

فصل اول :

کلیات

## فصل اول

### کلیات

#### ۱-۱- مقدمه

با نگرشی کلی به جغرافیای منطقه خاورمیانه اولین موضوع قابل بررسی مسئله آب می باشد. اهمیت آب با وجود دوره های طولانی خشک سالی در منطقه، به کنترل و جمع آوری آب های سطحی برای تولید برق، تهیه آب آشامیدنی برای جمعیت رو به رشد و تامین آب مورد نیاز کشاورزی نیاز مبرم می باشد. یکی از روش های مرسوم در جمع آوری و ذخیره آب های سطحی احداث سدهای مخزنی می باشد. در همین راستا و با توجه به تجارب بسیار گذشته در زمینه سدسازی طراحی و ساخت سد کارون ۴ با تکیه بر توانمندی متخصصین داخلی در حال اجرا می باشد.

مجموعه سد و نیروگاه کارون ۴ از نوع بتنی دو قوسی و با ارتفاع تاج ۲۳۰ متر، حجم مخزن در حدود ۲۱۹۰ میلیون متر مکعب و ظرفیت نیروگاه ۱۰۰۰ مگاوات برق به عنوان بلندترین سد منطقه با هدف کنترل جریانات سطحی و تولید متوسط سالیانه ۲۱۰۷ میلیون کیلووات ساعت برق طراحی و اجرا می گردد. تا کنون قسمت های مختلفی از قبیل فرازبند، نشیب بند، ترانشه آبگیر، تونل های آب بر<sup>۱</sup>، تونل های انحراف ۱ و ۲، گود نیروگاه، قسمت هایی از تکیه گاه و تعدادی از گالری های تزریق و زهکش در ساحل چپ و راست اجرا گردیده اند [4].

احداث سازه یک سد با توجه به اهداف ساخت و اهمیت ریالی آن با در نظر گرفتن کمبود منابع آب در بخش های وسیعی از کشورمان و جلوگیری از بروز خسارات احتمالی در اثر طغیان رودخانه

ها، باعث گردیده نیاز به مهندسی تزریق که دارای توانایی کنترل نشت آب و ایمن نگهداشتن سازه های مهندسی سد از هجوم آب های زیر زمینی می باشد بیش از پیش احساس گردد. در این میان اطلاعات مربوط به ساختار زمین شناسی ساختگاه، تحلیل مکانیکی نقاط ضعف، تحلیل هیدرولیکی ساختگاه و آشنایی با مقوله حفاری و تحکیم باعث گردیده که مهندسین معدن بتوانند در این بخش از علوم وارد گردند.

در این میان استفاده از اطلاعات پایه زمین شناسی، قابلیت طراحی گالری ها، آشنایی با ماشین آلات حفاری و ... بر لزوم استفاده از این رشته خاص افزوده است.

## ۱-۲- تاریخچه عملیات تزریق

پدیده تزریق برای اولین بار در حدود ۲۰۰ سال پیش توسط یک مهندس فرانسوی بنام چارلز برینی<sup>۲</sup> به کار برده شد. او عملیات تزریق را برای ترمیم و جلوگیری از فرسایش مصالح شنی تاسیسات بندر دیپ استفاده کرد. برای انجام این کار از رس پلاستیک یا ملات پزولانی برای پرکردن حفره های زیر زمینی استفاده نمود [1].

برای انجام آب بندی در سدسازی در سال ۱۸۳۸ کالین<sup>۳</sup> از روش تزریق استفاده نمود. به تدریج استفاده از این شاخه از علم مهندسی بیشتر گردید. در سال ۱۹۱۰ با تهیه فشار سنج های ثبات مشخصه های تزریق ثبت و مورد مطالعه قرار گرفت [1].

در ایران مطالعه بر روی آب بندی سدهای مختلف ساخته شده یا در دست احداث سابقه زیادی نداشته و پس از بروز مشکلات در سدهای لار، کرخه، ۱۵ خرداد و چند سد کوچک و بزرگ دیگر و به خطر افتادن یا تامین نشدن اهداف پروژه ها شروع گردید. انجام عملیات تزریق با توجه به خصوصیات هر ساختگاه سنگی و اهمیت مناطق مختلف آن متفاوت می باشد و صرف داشتن مشخصات کلی نمی توان در مورد نحوه انجام عملیات تزریق در آن تصمیم گیری نمود.

<sup>2</sup> - Charles Berigny

<sup>3</sup> - Kalin

تا کنون مطالعاتی در مورد سدهای گتوند، کارون ۳، آبشینه همدان، آزادی و کرخه توسط دانشجویان و برخی شرکت های مهندسی صورت گرفته است.

#### ۳-۱- سابقه مطالعات انجام شده طرح کارون ۴

مطالعات انجام شده در مورد طرح سد و نیروگاه کارون ۴ محدود به مطالعات مرحله امکان پذیری و مطالعات مرحله مقدماتی طرح که توسط شرکت مهندسی مشاوره ای مهتاب قدس انجام گردیده است می باشد. اطلاعات مورد استفاده در بررسی وضعیت منطقه از نظر مکانیک سنگی و هیدروژئولوژی از حفاری ها و آزمایشات برجای صورت گرفته توسط شرکت خاک و سنگ جهاد و انجام آزمایشات آزمایشگاهی که توسط آزمایشگاه فنی مکانیک سنگ و خاک وزارت راه و ترابری انجام شده، استفاده گردیده است. بررسی وضعیت ژئوتکنیکی ساختگاه و انجام مپینگ گالری های منطقه توسط شرکت آب پای تهران به عنوان پیمانکار احداث پرده تزریق و زهکش در حین احداث گالری های تزریق و زه کش در حال انجام می باشد. نقشه زمین شناسی منطقه و نقشه های بزرگ مقیاس  $\frac{1}{100}$  با توجه به گزارشات شرکت های پیمانکار از مناطق فعالیت هر یک و مطالعات مرحله میانکار در حال تهیه می باشند.

#### ۴-۱- دلایل لزوم آببندی پی و تکیه گاه های سد کارون ۴

بنا به دلایل زیر نیاز به اجرای پرده آببند در پی و تکیه گاه های سد کارون ۴ احساس می گردد :

۱- ارتفاع بسیار بلند سد (۲۳۰ متر) که با توجه به نوع بتنی و دو قوسی آن ارتفاع آب پشت سد باعث بوجود آمدن گرادیان هیدرولیکی بسیار شدیدی می گردد.



- ۲- کاهش فشار بالا آمدگی<sup>۴</sup>.
- ۳- جلوگیری از فرسایش مصالح در پی و تکیه‌گاه‌های سد.
- ۴- کنترل پایداری با توجه به اهمیت سد ( تولید برق و ذخیره سازی آب ).
- ۵- با توجه به اینکه ساختگاه سد (سازند آسماری) سازندی کارستیک و دارای دسته درزه‌های فراوان می‌باشد، تراوایی زیاد باعث ناپایداری در ساختگاه، بدنه سد و سازه‌های وابسته می‌گردد.
- ۶- نزدیکی تراز آب رودخانه به تراز آب‌های زیرزمینی می‌تواند باعث فرار آب از پشت مخزن گردد.
- ۷- وجود نیروگاه در پایین دست ساحل چپ با توجه به گسله بودن منطقه و فاصله زیاد تا زون پایده باید سازه آن و تاسیسات موجود از هجوم آب‌های زیرزمینی در امان باشد.

#### ۱-۵- هدف از انجام پایان نامه

پس از بررسی دلایل شکستن برخی از سدهای بزرگ و مهم دنیا مشاهده گردید که یکی از دلایل قابل توجه عدم رعایت برخی نکات فنی مهندسی در طراحی پرده آب‌بند می‌باشد که خود نشانگر اهمیت و حساسیت این موضوع می‌باشد.

تأثیر آب‌بندها در شالوده سدها باعث کاهش حرکت آب از زیر سد یا به عبارت بهتر طولانی‌تر کردن مسیر آب در این قسمت می‌باشد. به این ترتیب فشار زه در جهت تخریب سد و سازه‌های وابسته کاهش می‌یابد که در نهایت منجر به کاهش دبی خروجی زه می‌گردد.

با انجام یک مقایسه ساده اقتصادی بین هزینه های احداث یک سد و هزینه احداث یک حائل افزایش قابل ملاحظه ای دیده نمی شود. به عنوان مثال هزینه ساخت سد کارون ۳ در حدود ۱۰۰۰۰ میلیارد ریال که در حدود ۴۰۰ میلیارد آن صرف انجام آب بندی گردیده است. بنابراین مشاهده می گردد که به طور کلی هزینه آب بندی یک سد حدود ۴ تا ۵ درصد کل پروژه می باشد. از جمله مشکلات ناشی از افزایش هد پتانسیل آب در اثر آب گیری مخازن سدها و تغییرات بوجود آمده در جریان زه فرار آب در سد لار و هجوم آب های زیرزمینی به سمت نیروگاه سد کرخه به دلیل اجرای ناقص آب بندی می باشد. لازم به ذکر است که طرح های علاج بخشی سدهای مذکور تا کنون هزینه های گزافی در حد احداث یک سد در مقیاس کوچک تر برابری می کند.

نشت در پی و تکیه گاه های یک سد می تواند به کمک ایجاد یک دیوار حائل با نفوذپذیری کم مانند پرده تزریق یا دیوار آب بند یا سایر روش ها کنترل شود. تزریق اصولاً روشی است که طی آن ماده تزریق تحت فشار به داخل حفرات، خلل و فرج و شکاف های تشکیلات سنگی یا خاکی فرستاده می شود تا به این ترتیب میزان نفوذپذیری محیط کم و مقاومت آن افزایش یابد.

با توجه به این موارد می بایست وجود رابطه بین حفره ها و ناپیوستگی های موجود مورد بررسی قرار گیرد. همچنین بدست آوردن مقاومت سنگ و دوام آن در طراحی عمق و زاویه بسیار مهم می باشد. این روابط با استفاده از انجام آزمایشات متعدد در محدوده طرح و بررسی آماری داده ها مورد بحث قرار می گیرد. نتایج حاصله می تواند به عنوان راهنمایی مناسب در جهت ارائه الگوی تزریق و انتخاب دوغاب استفاده گردد.

هدف از انجام این پایان نامه طراحی عمق، گسترش جانبی و زاویه احداث پرده آب بند و پیشنهاد طرح اولیه جهت شروع عملیات تزریق می باشد.

## ۱-۶- سازماندهی پایان نامه

سایر فصول پایان نامه به شرح زیر می باشند:

در فصل دوم موقعیت جغرافیایی، زمین شناسی ساختگاه شامل زمین شناسی ناحیه ای، بررسی سازندهای موجود در ساختگاه، زمین شناسی ساختمانی محدوده، بررسی وضعیت گسل های منطقه و زمین شناسی محل احداث سد مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم شرایط ژئومکانیکی ساختگاه شامل آزمایشات شاخص برای تعیین دانسیته، تخلخل، درصد رطوبت و دوام به وارفتگی، آزمایشات تعیین مقاومت فشاری در حالت های خشک و اشباع و تعیین مدول الاستیسیته سنگ ها مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل چهارم اندازه گیری های صحرایی شامل بررسی نفوذپذیری سنگ های ساختگاه شامل اندازه گیری برجای نفوذپذیری، تفسیر نتایج حاصل از آزمایش، بررسی رابطه اعداد لوژن و ضریب نفوذپذیری، شرایط هیدروژئولوژی<sup>۵</sup> ساختگاه سد کارون ۴ و ارائه نتایج و نمودارهای مربوطه، بررسی موقعیت کارگاه تزریق آزمایشی، آزمایشات خوردند سیمان و کارگاه آزمایشی است.

در فصل پنجم پارامترهای طراحی و انجام طراحی پرده آب بند شامل معرفی عملیات تزریق سد کارون ۴، زاویه و عمق حفاری، گسترش جانبی پرده آب بند، ارائه روش تزریق، طراحی فشار تزریق و پرده تقلیل فشار (زهکش) مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل ششم تحلیل پرده طراحی شده با نرم افزار **FLUENT** ارائه شده است. در پایان فصل هفتم شامل نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات می باشد.

فصل دوم :

زمین شناسی محدوده طرح

## فصل دوم

### زمین شناسی

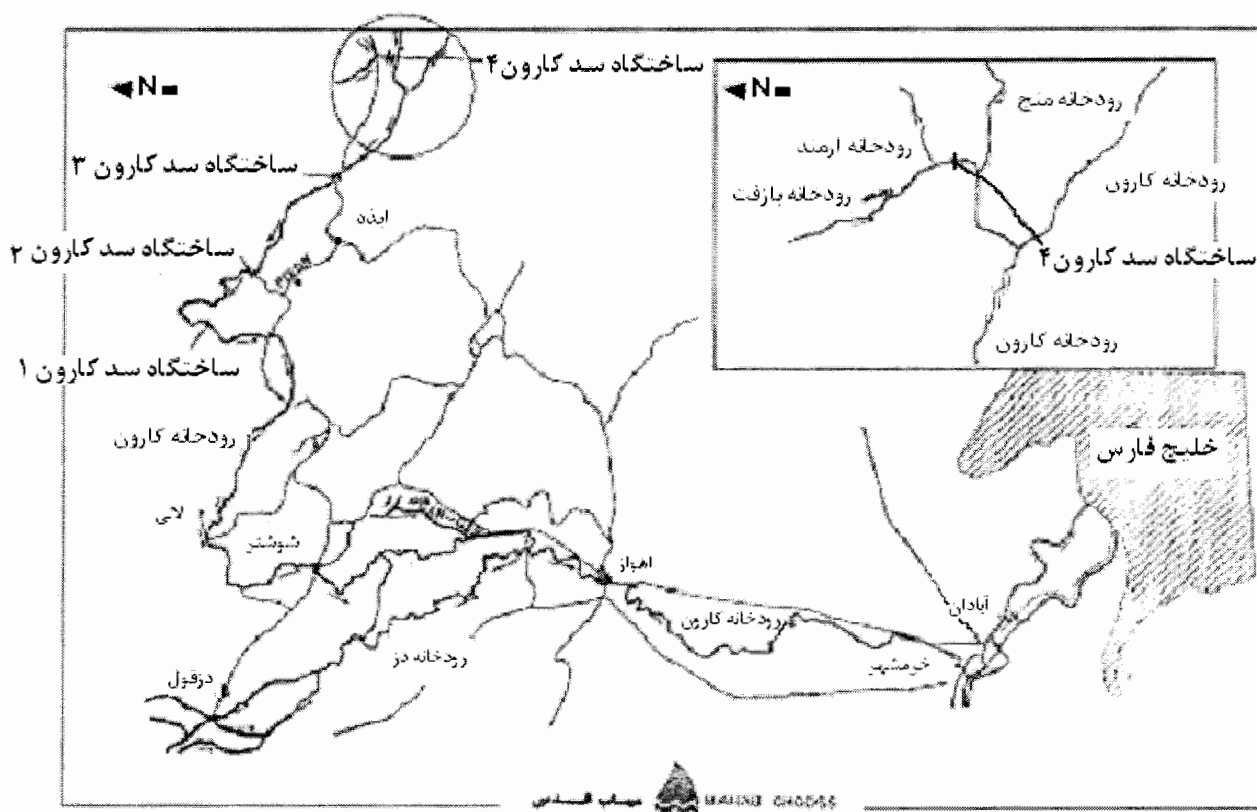
#### ۲-۱- مقدمه

برای انجام طراحی و ساخت هر نوع سازه گام نخست شناخت موقعیت و خصوصیات ساختار طبیعی زمین می باشد. اهمیت شناخت ساختگاه تا جایی است که باید با توجه به ضرورت، طرح های علاج بخشی، بهبود ساختگاه و حتی جابجایی محل یا محور احداث با در نظر گرفتن اهداف طرح و اولویت های اقتصادی انجام گردد. لذا در این فصل سعی می گردد تا اهم مطالب زمین شناسی، سنگ شناسی و چینه شناسی با توجه به نیاز پروژه مورد بررسی قرار گیرد.

#### ۲-۲- موقعیت جغرافیایی

محدوده احداث سد کارون ۴ در  $31^{\circ} 35' 53''$  عرض شمالی و  $50^{\circ} 24' 50''$  طول خاوری در استان چهارمحال و بختیاری در  $85$  کیلومتری جنوب و جنوب غربی شهرکرد و  $35$  کیلومتری غرب و جنوب غربی لردگان (مرز استان های چهارمحال و بختیاری و خوزستان) قرار دارد. موقعیت ساختگاه سد در حدود  $12813$  کیلومتر مربع از منطقه مورد نظر را به خود اختصاص می دهد (شکل ۱-۱) [5].

سرچشمه رودخانه های ارمند و بازفت به عنوان منابع تامین کننده آب مخزن از کوه های بختیاری و غالباً از کوهستان کوهرنگ در جنوب شهرکرد می باشد. با توجه به بارش سنگین برف در نواحی فوقانی منطقه و گرم شدن ناگهانی هوا، در منطقه پتانسیل جاری شدن سیل آب وجود دارد که علاوه بر اهداف طرح احداث سد مخزنی کارون ۴ باعث کنترل سیلاب و تنظیم آب ورودی به مخزن سد کارون ۳ نیز می گردد.



شکل شماره ۲-۱- موقعیت احداث سد کارون ۱ تا کارون ۴ [7]

### ۲-۳- زمین شناسی محدوده طرح

#### ۲-۳-۱- کلیات

وجود رودخانه های مهم و دره های عمیق در کوه های زاگرس پتانسیل های متعددی را برای ساختگاه های سد بطور طبیعی فراهم نموده است.

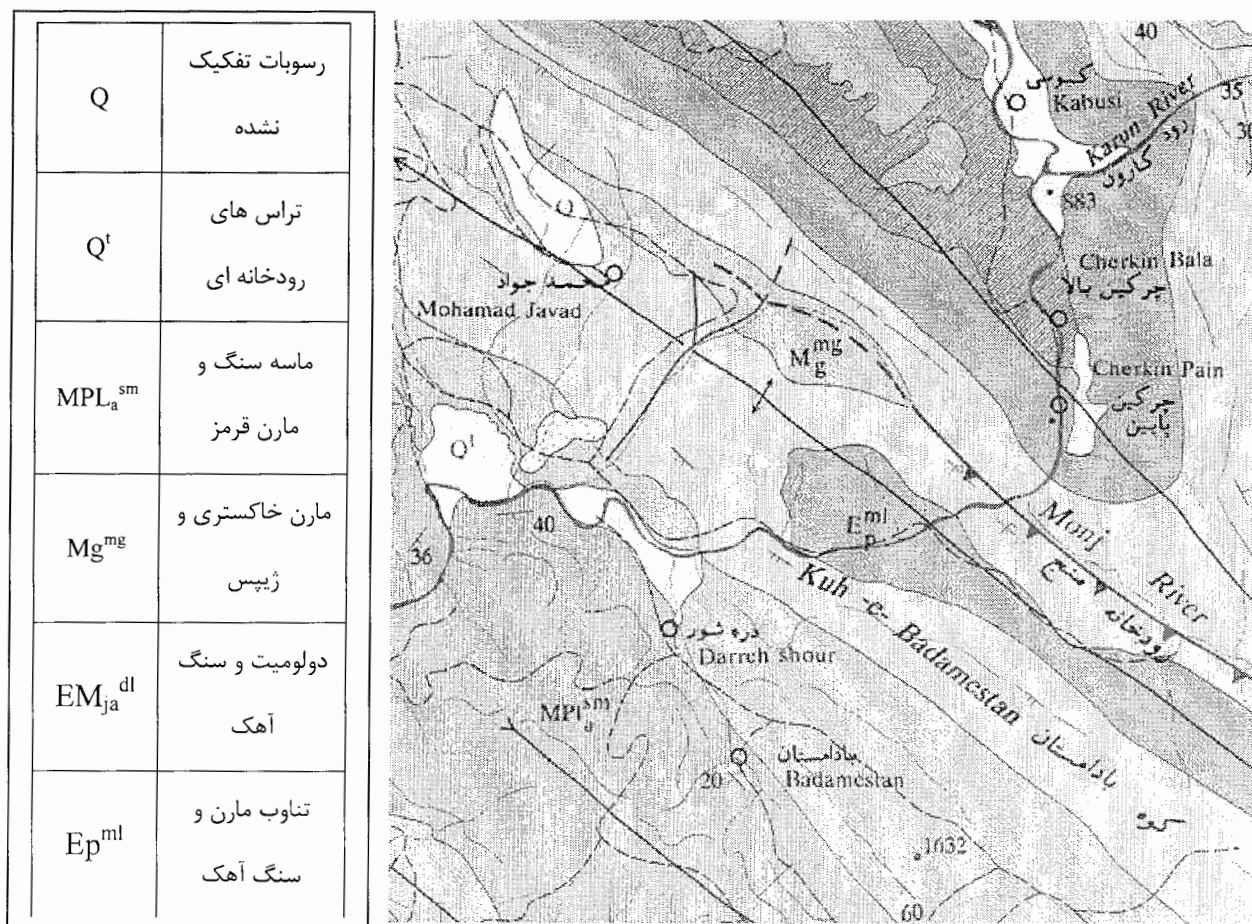
در نواحی فوقانی رودخانه کارون، ساختگاه سد کارون ۴ آخرین ساختگاهی است که هم اکنون در حال کار می باشد. با وجود گسل منج در محدوده پایین دست و نامشخص بودن وضعیت آبگذری (حرکت و نفوذ آب در زیر سطح زمین) از منطقه خرد شده این گسل می بایست شرایط آب بندی پی و تکیه گاه ها با توجه به اهمیت سازه مد نظر قرار گیرد [5].

محدوده احداث سد کارون ۴ در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که در نزدیکی محدوده فوق سدهای بازفت ۱ و ۲ در سرشاخه های رودخانه بازفت، سدهای خرسان ۱ و ۲ و ۳ در سرشاخه های رودخانه خرسان در حال انجام مطالعات اولیه می باشند.

### ۲-۳-۲- زمین شناسی ناحیه ای

رودخانه کارون از محل بهم پیوستن رودخانه های بازفت و ارمند شروع می شود و به طرف دشت خوزستان ادامه می یابد. منطقه مورد مطالعه دارای رسوباتی از دوره کرتاسه تا عهد حاضر می باشد. رسوبات عهد حاضر شامل آبرفت های دامنه ای، آبرفت های قدیم و جدید، خاک های برجا مانده و سنگ های ریزشی می باشد [8].

در ستون چینه شناسی منطقه در بیشتر موارد شاهد وجود مارن خاکستری تا ژئپس، انواع سنگ آهک نازک و متخلخل، مارن قرمز، تناوب مارن خاکستری و سنگ آهک همراه با شیل ارغوانی، تناوب مارن خاکستری متمایل به آبی و سنگ آهک و شیل و مارن خاکستری تیره دیده شده است [9].



شکل شماره ۲-۲- نقشه زمین شناسی محدوده طرح و محل اجرای پروژه (محل تلاقی رودخانه منج و بازفت) [9]

در محدوده طرح، سازندهای موجود به ترتیب عبارتند از: گروه خامی، گروه بنگستان، گروپی، پابده، آسماری، گچساران، آغاچاری و بختیاری که دارای سنگ های آهکی، آهکی مارنی، مارن، نهشته های تبخیری و کنگلومرا می باشند. سازندهای مذکور در جدول (۲-۱) نشان داده شده است.

با استفاده از نقشه زمین شناسی شکل (۲-۲) و برداشت های صحرائی انجام شده سازندهای موجود در منطقه ساختگاه به ترتیب قرارگیری از سطح زمین تا سنگ پی شماره گذاری گردیده اند [9].



جدول شماره ۱-۲ - سازندهای زمین شناسی در ناحیه طرح [9]

شماره سازند	نام گروه یا سازند	ویژگی های عمومی	سن
۷	بختیاری	کنگلومرای دارای قلوه های آهکی، سیلیسی و ماسه سنگی	پلیوسن پایانی
۶	آجاجاری	تناوبی از ماسه سنگ به رنگ خاکستری مایل به قهوه ای با سنگ مارن ولای قرمز	پلیوسن آغازی تا پایان میوسن
۵	گچساران	تناوبی از نمک، انیدریت و ژپس، مارن، آهک مارنی، ماسه سنگ و لای و شیل به رنگ قهوه ای مایل به قرمز و خاکستری	میوسن آغازی
۴	آسماری	تناوبی از سنگ آهک خاکستری مایل به قهوه ای روشن، سنگ آهک مارنی و مارن	میوسن آغازی تا الیگوسن
۳	پابده	تناوبی از سنگ آهک مارنی، مارن آهکی و سنگ مارن که بر روی شیل ارغوانی قرار دارد	ائوسن تا پالتوسن
۲	گورپی	سنگ آهک مارنی و مارن	کرتاسه پایانی
۱	گروه بنگستان	سنگ آهک و آهک مارنی ضخیم با میان لایه های شیلی که بر روی شیل های قیری سازند کژدمی قرار دارد	کرتاسه میانی
۰	گروه خامی	سنگ آهک ضخیم با لایه های فسیل دار قهوه ای مایل به خاکستری	کرتاسه آغازی

سازندهایی چون بختیاری دارای نفوذپذیری کم تا متوسط می باشند. سیمان رسی موجود در این سازند بر نفوذپذیری آن تاثیر مستقیم دارد به نحوی که باعث نفوذپذیری کم تا متوسط در این سازند شده است.

سازندهایی از قبیل سازند گورپی، پابده، گچساران و آغاچاری که دارای کمترین نفوذپذیری می باشند، و به ندرت چشمه‌ای در آنها دیده می‌شود. در سازند گچساران اگر چشمه‌ای مشاهده گردد املاح آن بسیار بالا است. [1]

### ۲-۳-۳- زمین‌شناسی ساختمانی ساختگاه سد کارون ۴

محل سد بر روی دره‌ای در یال جنوب غربی طاق‌دیس کوه سفید واقع گردیده است. در این محل سازند آسماری پی سنگ محل سد را تشکیل می‌دهد که شیب آن به طرف شمال شرق منطقه می‌باشد. بلافاصله در محل جنوب غربی محل سد، سازند نفوذناپذیر پابده مشاهده می‌گردد که دارای لایه‌های ضخیم مارنی می‌باشد. شیب این لایه‌ها به سمت پایین دست (شمال شرقی) می‌باشد.

در محدوده احداث طرح تعدادی گسل مهم و اصلی وجود دارد که عبارتند از :

۱- گسل منج

۲- گسل بازفت

۳- گسل خواجه انور

۴- گسل دوپلان

۵- گسل مافارون

از نظر هیدروژئولوژیکی در این ناحیه طیف وسیعی از سازندهای بسیار نفوذپذیر تا سازندهای تقریباً غیر قابل نفوذ گسترش دارند. سازندهای آسماری و ایلام به عنوان نفوذپذیرترین سازندهای ناحیه می‌باشند. این سازندها تحت تاثیر عوامل تکتونیکی قرار گرفته و چشمه‌هایی با دبی بسیار زیاد از این سازندها جاری می‌گردند. سازند آسماری کارستیک و حفره‌دار بوده و عمدتاً از نفوذپذیری نسبتاً بالایی برخوردار است. چشمه‌هایی با دبی درحد ۰/۱ تا ۳ متر مکعب در دقیقه از سازند آسماری در رودخانه بازفت به طرف مخزن کارون ۴ جریان دارند. [5]

در جدول شماره (۲-۲) مشخصات گسل های موجود در منطقه با در نظر گرفتن تکیه گاه و مشخصات قابل تشخیص مورد بررسی قرار گرفته اند.

جهت بررسی تاثیرگذاری آزیموت و شیب گسل ها در منطقه بر تکیه گاه ها و تعیین زاویه مناسب جهت احداث گالری های تزریق به ترتیب نمودارهای رز دیاگرام و کنتور قطب های گسل های موجود ترسیم گردیده است.

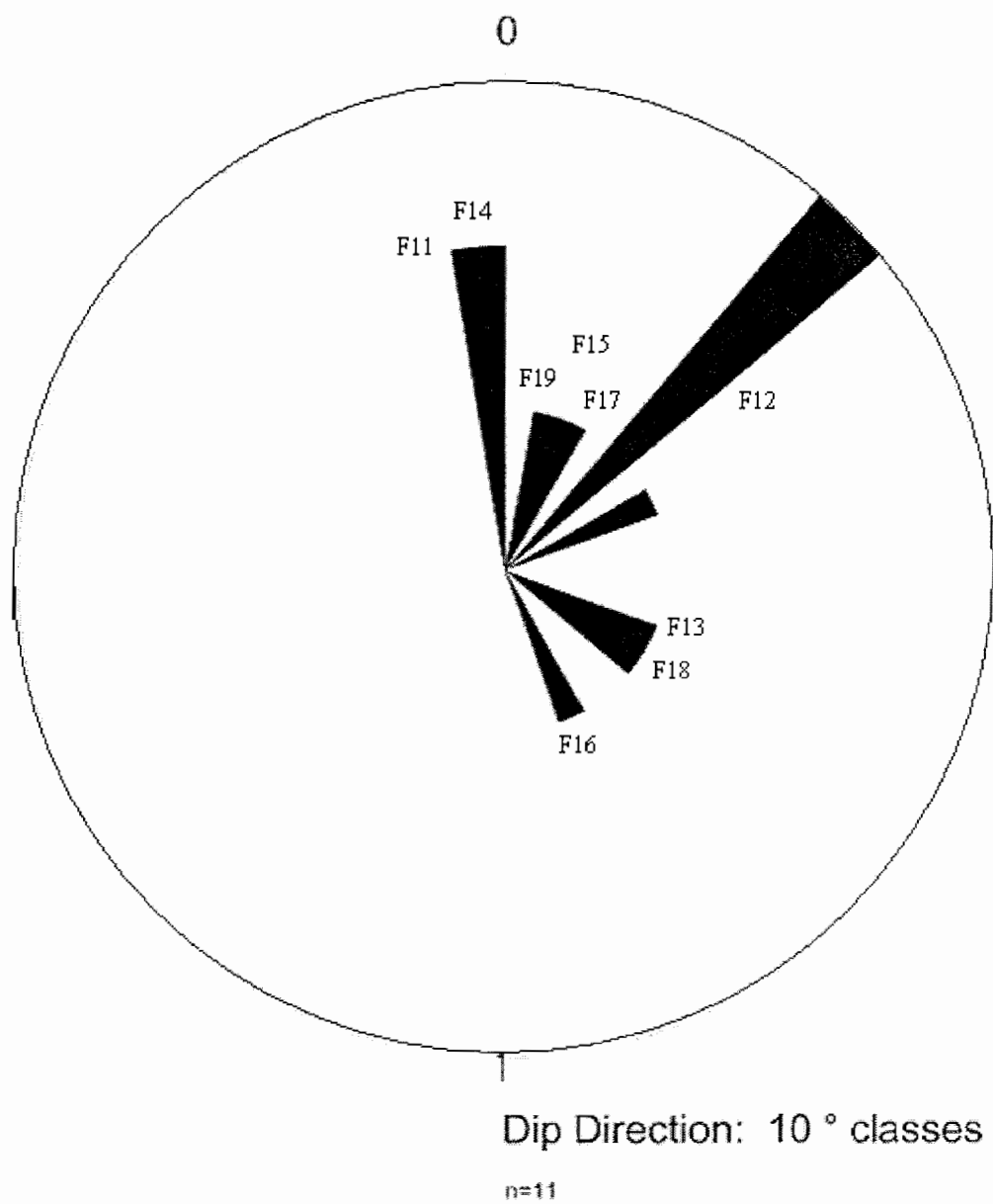
چنانچه از شکل (۳-۲) پیداست سمت شیب غالب گسل های موجود در تکیه گاه راست حدود ۴۰ درجه می باشد که دارای امتداد حدود ۱۳۰ درجه می باشند. بنابراین جهت احداث گالری های تزریق با در نظر گرفتن پایداری گالری ها و فراهم نمودن مناسب ترین شرایط تزریق در این تکیه گاه احداث گالری های تزریق با آزیموت ۴۰ درجه مناسب به نظر می رسد.

با توجه به شکل (۵-۲) سمت شیب غالب گسل ها در تکیه گاه چپ در محدوده ۸۰ الی ۹۰ درجه می باشد. پس از بررسی گسل F6 و F20 با جهت شیب ۱۴۷ و ۱۴۵ درجه و لزوم پایدار سازی محل تقاطع این گسل ها با گسل های با جهت شیب حدود ۸۰ درجه مناسب ترین آزیموت برای احداث گالری های تزریق در این تکیه گاه نیز آزیموت ۳۰۰ درجه در محل احداث بدنه سد می باشد.

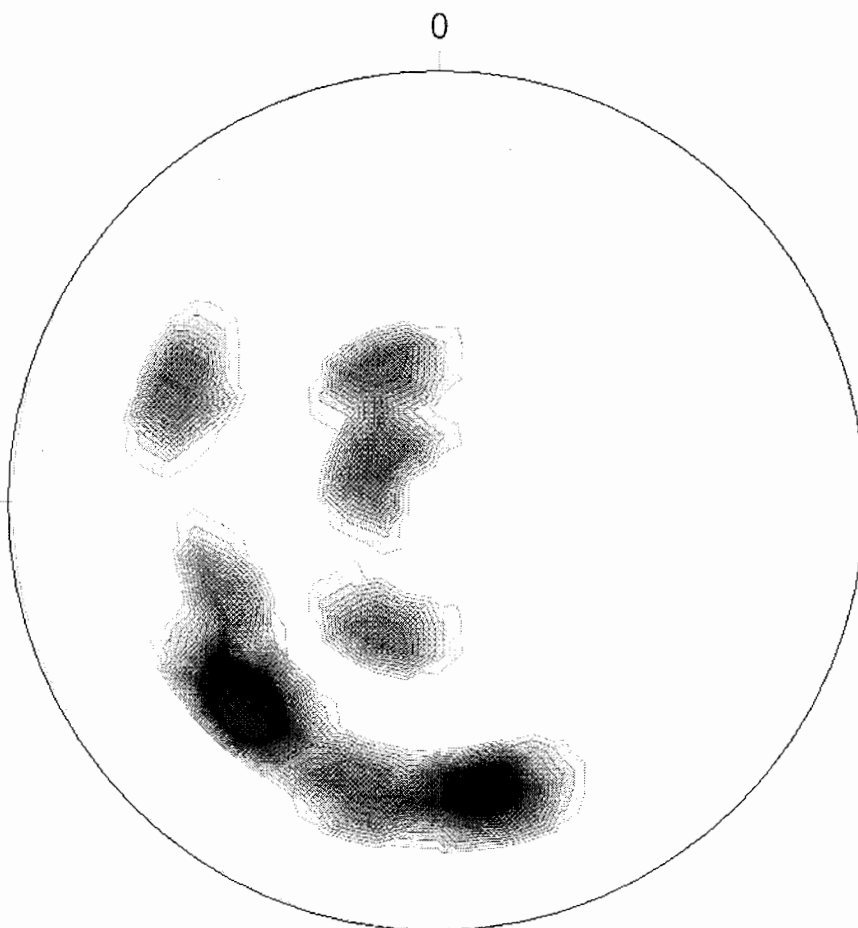
در اشکال شماره (۴-۲) و (۶-۲) به تفکیک نمودار کنتوری قطب های گسل های تکیه گاه راست و چپ و مناطق تحت تاثیر در هر یک از تکیه گاه ها ترسیم گردیده است. لازم به ذکر است که در صورت حفر گمانه های اکتشافی در موقعیت های تحت تاثیر می توان پیش بینی های لازم را در مورد لوازم و روش حفاری انجام داد. بررسی همزمان نتایج آزمایش های تکمیلی در این قبیل گمانه ها با این ترسیمات می تواند دیدگاه بهتری به طراح و مجری عملیات بدهد.

جدول شماره ۲-۲- مشخصات گسل‌های فرعی محل احداث سد کارون ۴ [8]

شماره گسل	نوع گسل	شیب (درجه)	آزیموت (درجه)	جابجایی (متر)	پهنای زون گسله	موقعیت
F <sub>1</sub>	راست‌گرد	-	-	۱۰-۱۵	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>2</sub>	راست‌گرد	-	-	۵-۷	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>3</sub>	راست‌گرد	۳۰-۴۵	۶۵-۸۵	۸-۱۰	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>4</sub>	راست‌گرد	۶۵-۸۰	۷۵-۸۰	۴-۵	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>5</sub>	راست‌گرد	۶۵-۸۰	۷۰-۸۰	۴-۵	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>6</sub>	چپ‌گرد	۳۰-۴۰	۱۳۵-۱۴۵	۴	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>7</sub>	راست‌گرد	۴۷	۳۴۰	۴-۵	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>8</sub>	چپ‌گرد	۳۵	۸۵	-	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>9</sub>	راست‌گرد	۳۰-۴۰	-	۰/۵-۱	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>10</sub>	راست‌گرد	-	-	۱	-	تکیه‌گاه چپ
F <sub>11</sub>	چپ‌گرد	۲۵-۴۰	۳۵۵-۴۵	۲-۳	۰/۵-۱	تکیه‌گاه راست
F <sub>12</sub>	-	۴۰-۵۰	۶۰-۷۰	-	۱-۲	تکیه‌گاه راست
F <sub>13</sub>	-	۶۵-۸۵	۱۱۰-۱۳۰	-	۴-۵	تکیه‌گاه راست
F <sub>14</sub>	راست‌گرد	۳۷-۴۲	۳۵۰-۱۵	۱۰-۱۲	۶-۸	تکیه‌گاه راست
F <sub>15</sub>	چپ‌گرد	۲۵-۵۰	۳۵-۴۵	۸-۱۰	-	تکیه‌گاه راست
F <sub>16</sub>	-	۶۰-۶۵	۱۵۰-۱۵۵	-	-	تکیه‌گاه راست
F <sub>17</sub>	چپ‌گرد	۳۵	۴۵	۱-۲	۰/۵-۱/۵	تکیه‌گاه راست
F <sub>18</sub>	-	۲۵-۴۵	۱۰۰-۱۲۵	-	-	تکیه‌گاه راست
F <sub>19</sub>	چپ‌گرد	۶۰-۶۵	۲۵-۳۰	۱۰۰-۱۵۰	-	تکیه‌گاه راست
F <sub>20</sub>	چپ‌گرد	۵۵	۱۴۷	۱/۵-۲	-	تکیه‌گاه چپ



شکل شماره ۲-۳- نمودار رز دیاگرام گسل های موجود در تکیه گاه راست

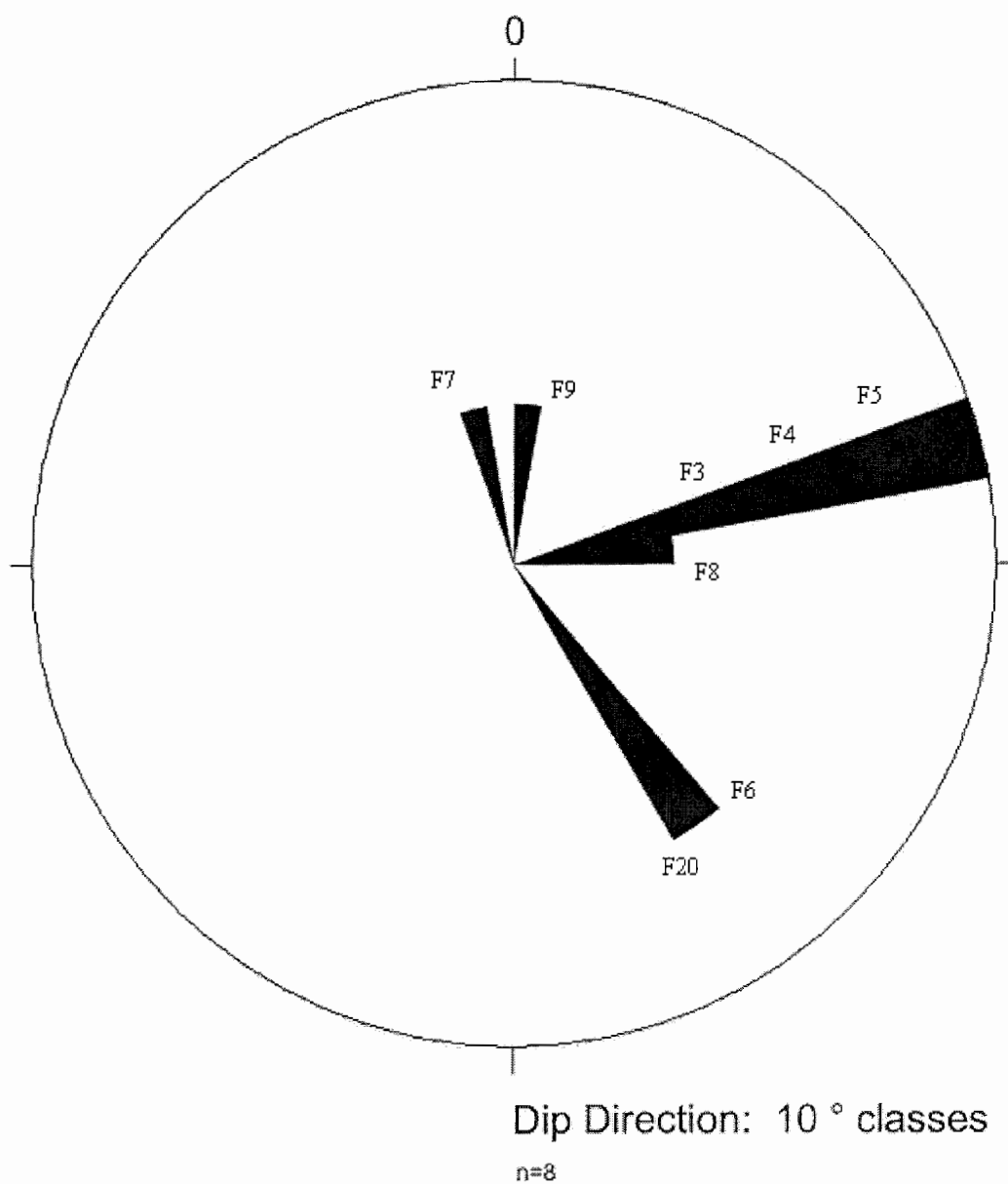


Equal area projection, upper hemisphere

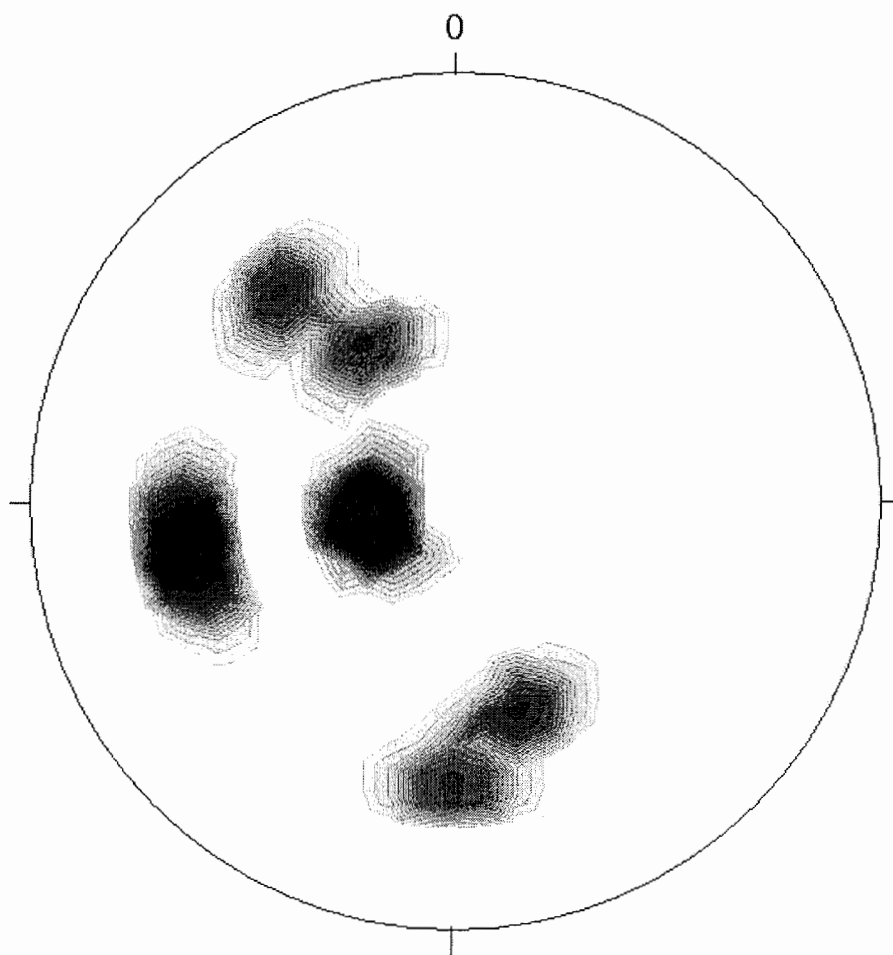
n=11  
max. dens.=26.36 (at 47/ 36)  
min. dens.=0.00  
Contours at:  
0.00,1.00,2.00,3.00,  
4.00,5.00,6.00,7.00,  
8.00,9.00,10.00,11.00,  
12.00,13.00,14.00,15.00,

(Multiples of random distribution)

شکل شماره ۲-۴- مناطق تحت تاثیر گسل های تکیه گاه راست با در نظر گرفتن قطب هریک



شکل شماره ۲-۵- نمودار رز دیاگرام گسل های موجود در تکیه گاه چپ



Equal area projection, upper hemisphere

n=8  
max. dens.=23.95 (at 80/ 72)  
min. dens.=0.00  
Contours at:  
0.00,1.00,2.00,3.00,  
4.00,5.00,6.00,7.00,  
8.00,9.00,10.00,11.00,  
12.00,13.00,14.00,15.00,  
(Multiplies of random distribution)

شکل شماره ۲-۶- مناطق تحت تاثیر گسل های تکیه گاه چپ با در نظر گرفتن قطب هریک



### ۳-۲- زمین شناسی محل سد

#### ۳-۲-۱- زمین شناسی عمومی

در محل سد سنگ بستر از سازند آسماری تشکیل گردیده است که به طور کلی با در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی و لیتولوژیکی، سازند آسماری در محل سد کارون ۴، به دو بخش بالایی و پایینی تقسیم می‌گردد. بخش پایینی به سه زیر شاخه به نام‌های  $As_1$ ،  $As_2$ ،  $As_3$  تقسیم می‌شود. [8]

جدول شماره ۳-۲- مشخصات سازند آسماری در ساختگاه سد کارون ۴ [8]

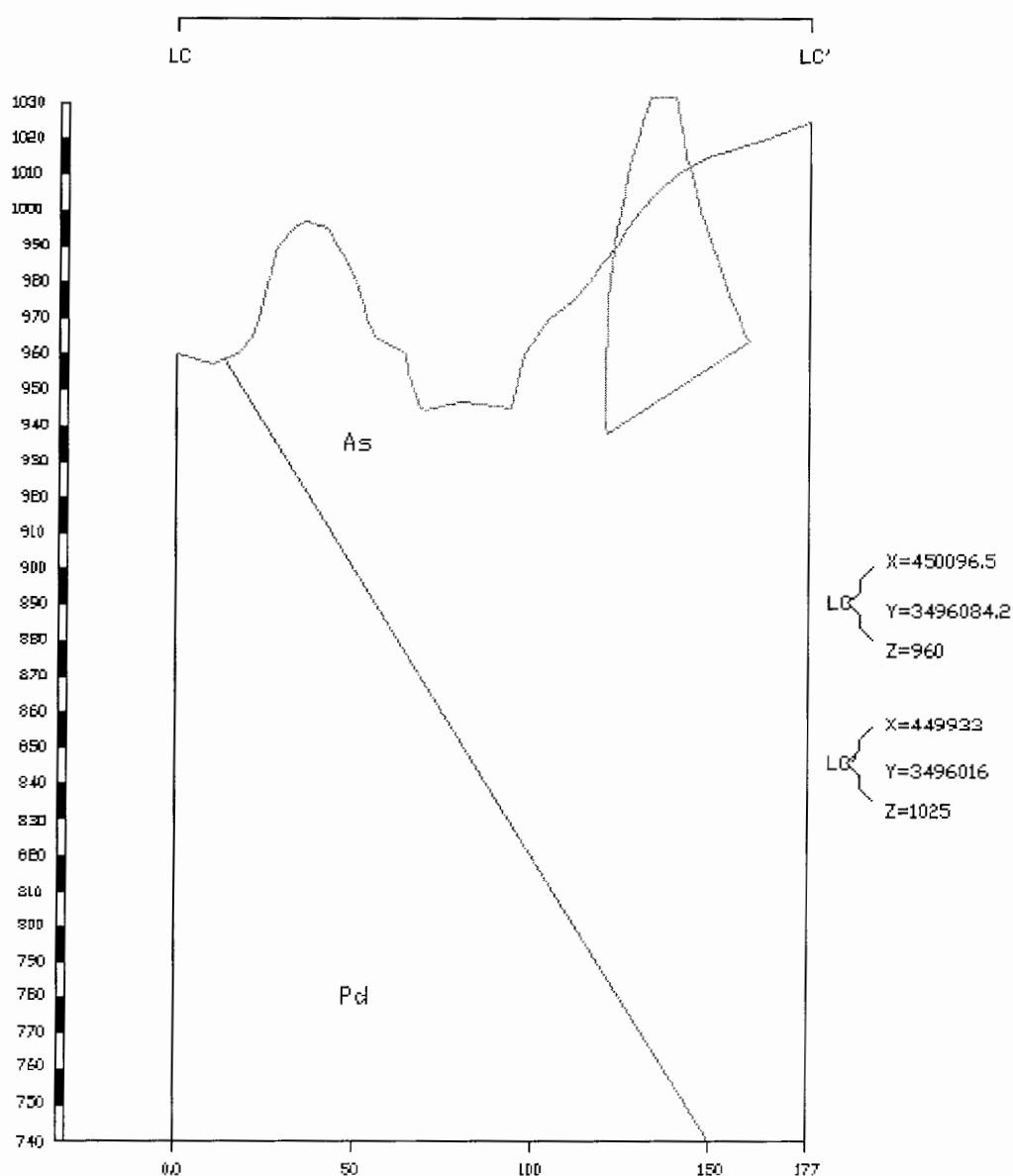
ضخامت واقعی (متر)	اثرات کارست	نوع سنگ	سازند آسماری	
			بخش‌ها	تقسیمات اصلی
۳۷	فاقد اثرات کارست	سنگ آهک مارنی با میان لایه‌های سنگ مارن و برخی لایه‌های سنگ مارن	$As_4$	آسماری فوقانی
۶۳	کمی کارستی	تناوب آهک با آهک مارنی با ضخامت متوسط تا زیاد و به صورت پراکنده و میان لایه‌های سنگ مارن	$As_3$	آسماری پایینی
۱۷۰	کمی کارستی	تناوب آهک، آهک مارنی و سنگ مارن با ضخامت متوسط تا زیاد	$As_2$	
۲۳۰	به شدت کارستی	آهک، آهک متخلخل، آهک مارنی با بخش کمی از سنگ مارن	$As_1$	

بخش بالایی  $As_4$  از سنگ آهک مارنی با میان لایه‌هایی از مارن و گاهی سنگ آهک تشکیل شده است. شایان ذکر است که سنگ پی سد کارون ۴ از  $As_1$  تشکیل شده است.

در اشکال شماره (۲-۷) و (۲-۸) موقعیت کلی بدنه سد و سازندهای موجود با توجه برداشت‌های صورت گرفته از زاویه محل کنتاکت بین سازند‌های آسماری و پابده به ترتیب از نمای ساحل چپ و راست

مشاهده می گردد. مطابق برداشت های صورت گرفته زاویه کلی بین سازند آسماری و سازند پابده حدود ۷۰ درجه است.

با برداشت های نقشه برداری در ساحل چپ محدوده قابل مشاهده بر روی زمین از تراز ۱۰۲۵ الی ۹۶۰ می باشد. این تراز در حدود ۱۷۰ متر طول از بالا دست سد تا پایین دست را دربر می گیرد.

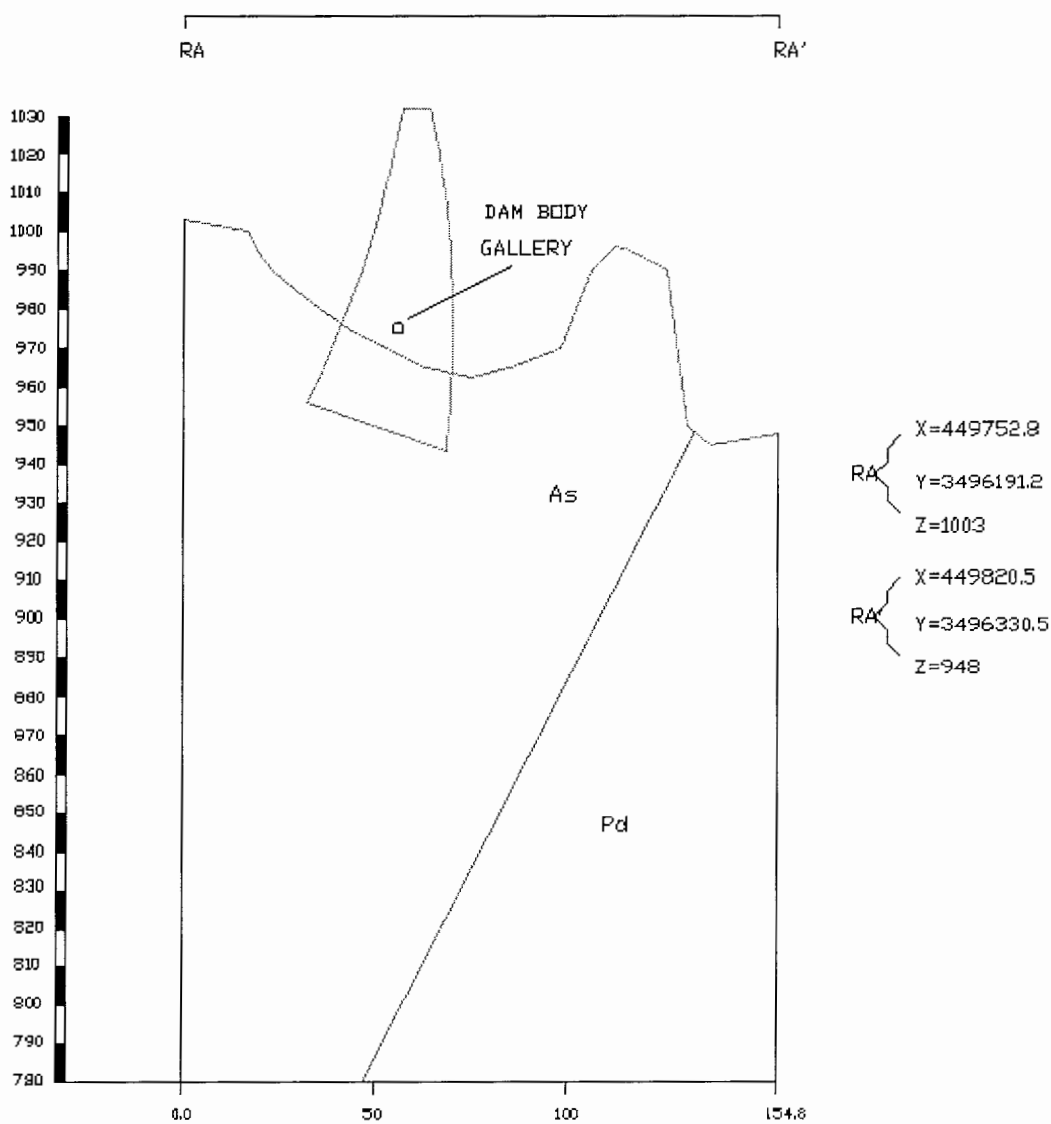


NOTE: FOR DESCRIPTION OF AS AND Pd FORMATION

شکل شماره ۲-۷- موقعیت بدنه سد و سازندهای زمین شناسی در ساحل چپ [5]

در ساحل راست محدوده قابل مشاهده بر روی زمین از تراز ۱۰۰۳ الی ۹۵۰ می باشد. این تراز در حدود

۱۵۵ متر طول از بالا دست سد تا پایین دست را دربر می گیرد.



NOTE FOR DESCRIPTION OF AS AND Pd FORMATION

شکل شماره ۲-۸- موقعیت بدنه سد و سازندهای زمین شناسی در ساحل راست [5]

### ۲-۴-۱- زمین شناسی ساختمانی

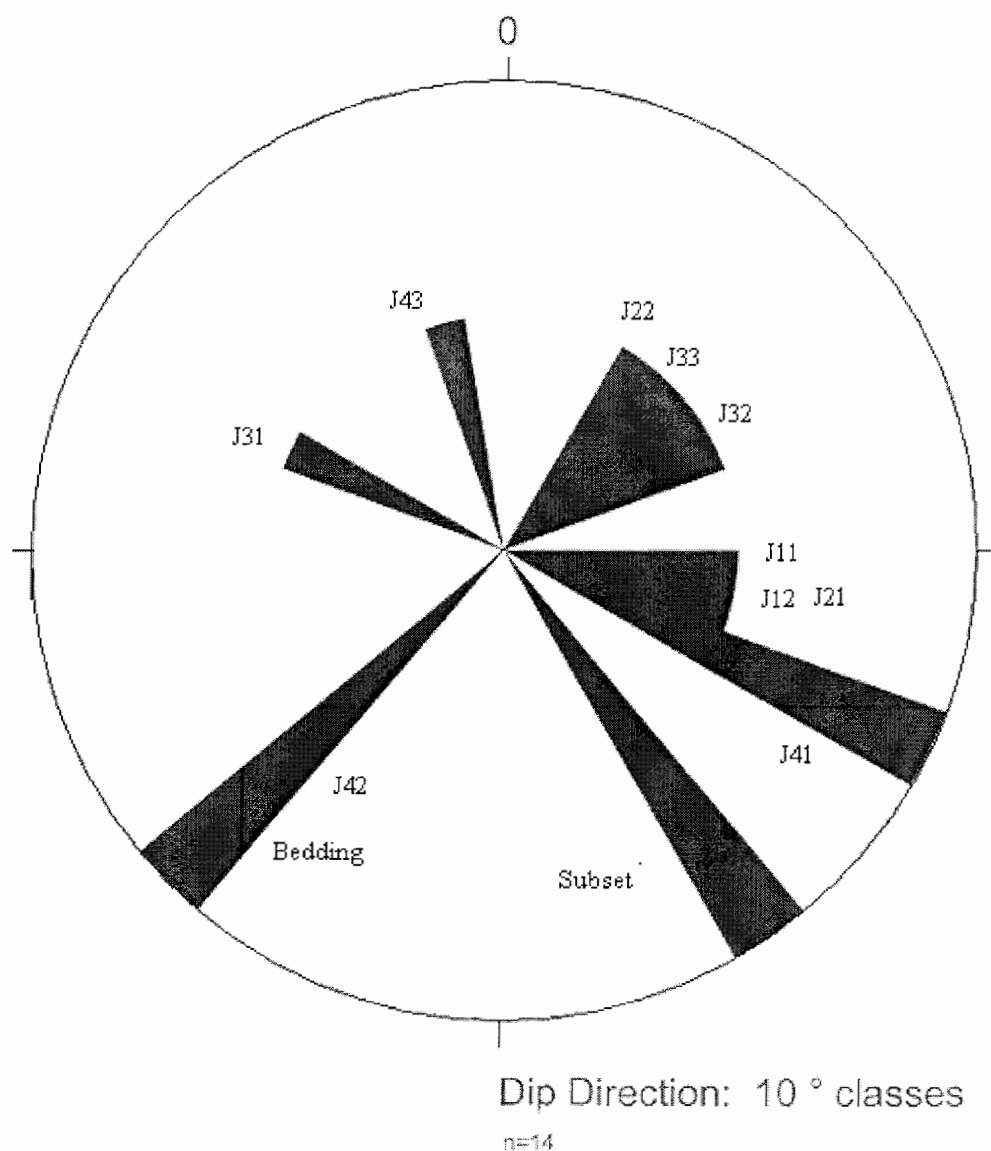
در محل احداث سد کارون ۴ دره دارای شکل U بوده و شیب بخش عمده تکیه گاه های آن تند و در حدود ۷۰ الی ۷۷ درجه می باشد. در ساختگاه سد وجود سازند مقاوم آسماری (بخش پایینی) وجود دارد که دره عمیقی ایجاد کرده است که در این قسمت میان لایه هایی از سازند پابده که دارای مقاومتی کمتر از سازند آسماری می باشند، دیده می شوند. در بررسی های صحرایی جنس سنگ تکیه گاه چپ و راست از میان لایه هایی از مارن آهکی تا آهک مارنی در سازند آسماری می باشد.

جدول شماره ۲-۴- دسته درزه های برداشت شده در گالری های اکتشافی [5]

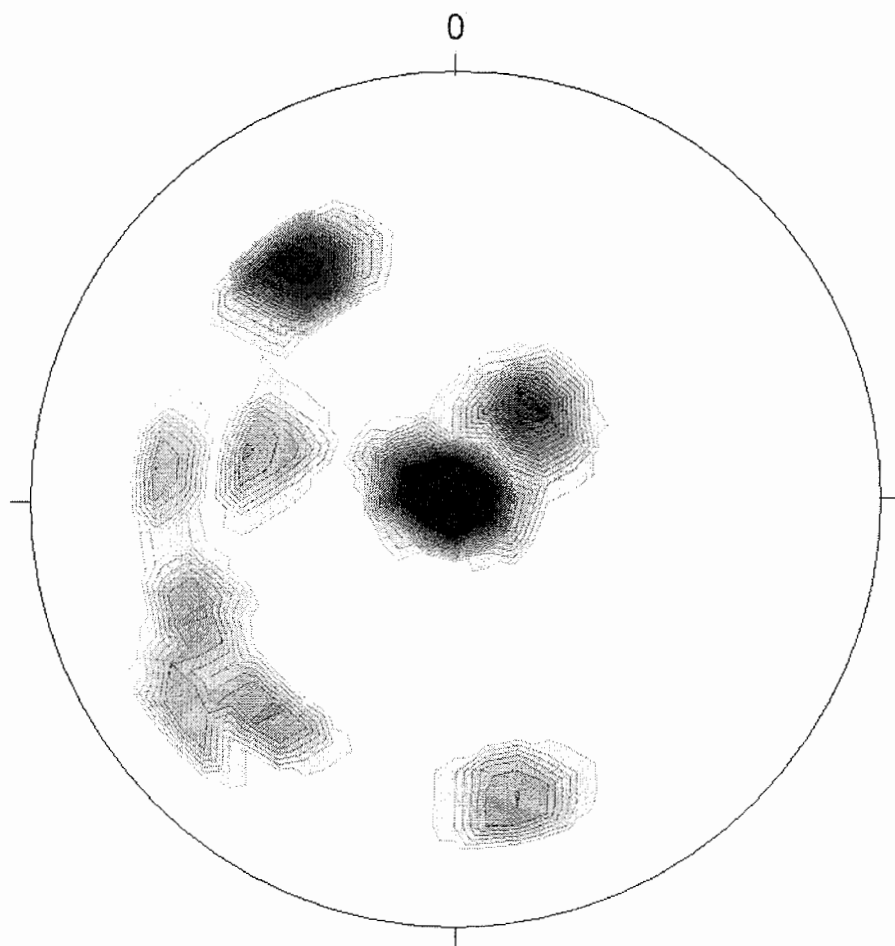
Gallery	Joint set	Dep (deg)	Dip-dir (deg)	Contin.(m)	Apert. (mm)
G1	J11	34	90	1-3	۰/۵-۱/۵
	J12	80	119	1-2	۰/۵-1
	Subset	35	145	۱/۵-۳/۵	1-3
G2	J21	32	96	1-4	1-3
	J22	33	40	1-3	1-3
	Subset	35	145	۱/۵-۳/۵	1-3
G3	J31	85	111-290	1-3	1-5
	J32	34	67	1-3	1-5
	J33	21	52	1-3	1-5
G4	J41	53	104	1-4	1-4
	J42	66	223	1-6	2-5
	J43	29	349	1-3	1-3
	Bedding	70	220	۱/۵-6	0-5

برای بررسی دسته درزه های موجود ۴ عدد گالری اکتشافی (پیوست پ) در راستای عمود بر محور سد حفر گردیده است. نتایج حاصل از تطابق برداشت های زمین شناسی در گالری های اکتشافی با برداشتهای سطح زمین وجود درزه های سیستماتیک را تایید می نمایند (جدول (۲-۴)).

در اشکال شماره (۲-۹) و (۲-۱۰) نمودارهای رز دیاگرام و کنتور قطب های دسته درزه های برداشت شده در گالری های اکتشافی ترسیم گردیده اند که این نمودار ها می توانند در تعیین شیب کلی پرده و شیب هر قسمت از پرده به تفکیک مورد استفاده قرار گیرند.



شکل شماره ۲-۹- نمودار رز دیاگرام دسته درزه های موجود در گالری های اکتشافی



### Equal area projection, upper hemisphere

n=14  
 max. dens.=24.30 (at 0/ 90)  
 min. dens.=0.00  
 Contours at:  
 0.00,1.00,2.00,3.00,  
 4.00,5.00,6.00,7.00,  
 8.00,9.00,10.00,11.00,  
 12.00,13.00,14.00,15.00,

(Multiples of random distribution)

شکل شماره ۲-۱۰- مناطق تحت تاثیر دسته درزه های برداشت شده در گالری های اکتشافی

با در نظر گرفتن قطب هریک

فصل سوم :

شرایط ژئومکانیکی ساختگاه سد

کارون ۴

## فصل سوم

### شرایط ژئومکانیکی ساختگاه سد کارون ۴

#### ۳-۱- مقدمه

بررسی وضعیت مکانیکی ساختگاه به دلیل تنش ها و بارهای وارده پس از آبدگیری مخزن امری لازم و ضروری است. اطلاع از مواردی از قبیل مقاومت، دوام، ناپیوستگی ها و ارتباط آنها با یکدیگر مانند چگونگی ارتباط میان حفره های موجود روشن کننده مقاومت لازم آمیزه تزریق برای تامین همسانی، یکپارچگی و تزریق پذیری ساختگاه می باشد.

#### ۳-۲- شرایط ژئومکانیکی

ساختگاه سد کارون ۴ در سازند آسماری و پابده واقع شده است که سازند پابده بیشتر شامل سنگ های مارن آهکی و مارن می باشد. سازند آسماری که بستر پی، تکیه گاه ها و همچنین بیشتر سازه های وابسته به سد را تشکیل می دهد در محل ساختگاه به دو بخش بالایی و پایینی تقسیم می گردد. به طور کلی پی سد در سنگ آهک، سنگ آهک متخلخل و آهک مارنی (آسماری پایین) قرار می گیرد.

در محدوده احداث بدنه سد در سازند آسماری لایه ای به ضخامت تقریبی ۱۵ متر از جنس مارن آهکی با میان لایه های آهک وجود دارد که به دلیل فرسایش زیاد در این نقطه منجر به تشکیل دره ای به موازات لایه بندی شده است که مسلما تاثیراتی بر بدنه سد خواهد گذاشت. وجود توده سنگ آهک متخلخل یکی از ویژگی های ژئوتکنیکی ساختگاه سد کارون ۴ است [9].



ساختگاه سد کارون ۴ دارای دسته درزه های بزرگ، بزرگ درزه ها و گسل های متعددی می باشد که دارای تاثیر فراوانی در رفتار سنگ آهک موجود خواهند داشت.

با توجه به اینکه پی و تکیه گاه ها می بایست در برابر نیروهای هیدرواستاتیک و فشارهای وارده از مخزن مقاومت نمایند، وجود پارامترهای ژئوتکنیکی یاد شده دارای تاثیرات منفی می باشند و باید با روش های خاصی یکپارچگی توده سنگ حفظ و تکمیل گردد. رسیدن به این هدف را می توان با احداث پرده تزریق بدست آورد. آمیزه تزریق مورد نیاز باید تامین کننده مقاومت مورد نیاز و همسان با سنگ ساختگاه باشد. بنابراین جهت بدست آوردن حداقل مقاومت مورد نیاز داشتن پارامترهای مکانیک سنگی مورد نیاز می باشد. با در نظر گرفتن مقاومت ذاتی سنگ آهک می توان به این نتیجه رسید که در صورت تامین همسانی در پی سنگ توسط آمیزه قابل تزریق، آب بندی سازه سد به درستی صورت پذیرفته است.

در راستای تعیین مقاومت مورد نیاز جهت آمیزه تزریق اطلاع از خصوصیات فیزیکی، نتایج آزمایش مقاومت فشاری و کششی، مدول الاستیک از ضروریات می باشند.

### ۳-۳-۳- آزمایش های شاخص

برای تعیین خصوصیات فیزیکی تعیین دانسیته خشک و اشباع، تخلخل، جذب آب و مقاومت در برابر وارفتگی صورت گرفته است که نتایج آن ها در ذیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت [7].

### ۳-۳-۱- دانسیته

برای تعیین دانسیته سنگ ساختگاه انجام آزمایشات بر روی نمونه هایی که بلافاصله مومیایی می گردند به دلیل جلوگیری از تغییر در میزان رطوبت طبیعی و هوازدگی انجام می پذیرد. این

آزمایش در نمونه های گرفته شده از گمانه های اکتشافی در سه حالت خشک، اشباع و رطوبت طبیعی انجام گرفت. در جدول (۳-۱) نتایج آزمایشات تعیین دانسیته آورده شده است. [7]

جدول شماره ۳-۱- نتایج آزمایشات تعیین دانسیته [7]

میانگین Ton/m <sup>3</sup>	حداکثر Ton/m <sup>3</sup>	حداقل Ton/m <sup>3</sup>	پارامترهای آماری
			شرایط آزمایش
۲/۴۴	۲/۶	۲/۳	خشک
۲/۵۶	۲/۶۸	۲/۳۳	اشباع
۲/۴۹	۲/۶۷	۲/۱۳	طبیعی

### ۳-۳-۲- تخلخل

در بررسی آزمایش های صورت گرفته بر روی نمونه های مختلف حاصل از حفر یک سری گمانه در محدوده احداث سد و انجام آزمایش های مربوطه طیف وسیعی از مقادیر از ۱ تا ۲۰ درصد جهت تخلخل نمونه ها بدست آمده است. پس از دسته بندی نتایج و بدست آوردن ضرایب وزنی، میانگین تخلخل سنگ منطقه برابر ۶/۰۴٪ تعیین شده است. نتایج حاصل از آزمایشات در جدول (۳-۲) نشان داده شده است [7].

جدول شماره ۳-۲- نتایج آزمایشات تعیین میزان تخلخل [7]

تعداد نمونه ها	درصد تغییرات	انحراف معیار	میانگین (%)	حداکثر (%)	حداقل (%)	پارامترهای آماری
						آزمایش
۸۲	۸۰/۳	۴/۷۹	۶/۰۴	۲۰	۱	تخلخل

در صورت اثبات ارتباط بین حفره های موجود در توده سنگ ساختگاه این موضوع بر اهمیت پرده تزریق در جلوگیری از فرار آب مخزن و کاهش مقاومت پی حائز اهمیت می باشد. با توجه به اهمیت تخلخل در توده سنگ به دلیل تاثیر در مقاومت سنگ بستر، تزریق پذیری، ارتباط مناطق مختلف با یکدیگر و فرار آب می باشد. از نظر تخلخل می توان سنگ ها را به دو دسته تقسیم نمود.

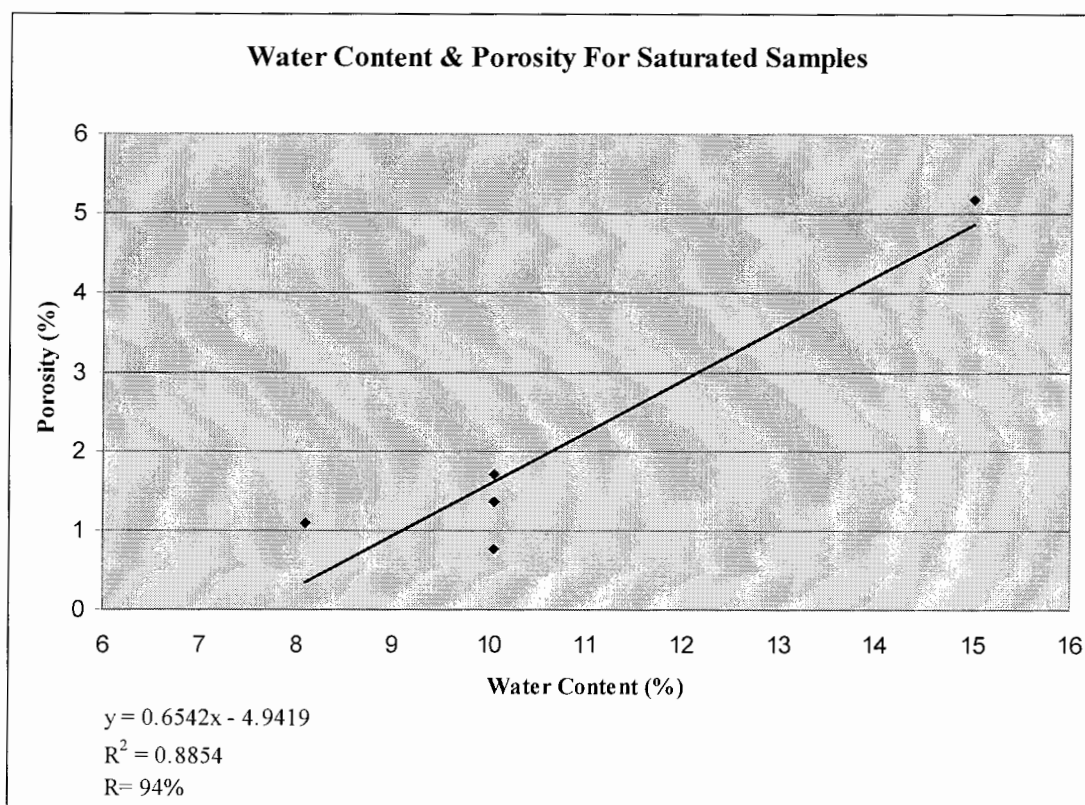
مقدار تخلخل به دست آمده بین ۸ تا ۲۰ درصد است که جنس سنگهای نمونه ها عمدتاً از جنس سنگ آهک متخلخل می باشند. پس از جدا کردن نمونه ها میانگین تخلخل نمونه هایی با جنس آهک مارنی و مارن آهکی برابر ۳/۹٪ و برای آهک متخلخل برابر ۱۱/۵ درصد به دست آمده است. [8]

### ۳-۳-۳- درصد رطوبت

مقادیر درصد رطوبت در دو حالت طبیعی و اشباع اندازه گیری شده که نتایج در جدول (۳-۳) مشاهده می گردد. آزمایش تعیین میزان رطوبت بر روی نمونه هایی که بلافاصله مومیایی شده اند برای حفظ رطوبت طبیعی انجام گرفته است. برای به دست آوردن رطوبت در حالت اشباع ابتدا نمونه را به مدت یک هفته در آب قرار داده و سپس رطوبت آن اندازه گیری گردید. برای کاهش میزان خطا در این حالت نسبت به تعیین رطوبت نمونه هایی که از مناطق اشباع به دست آمده اند نیز اقدام گردید. پس از بررسی این نتایج و ترسیم نمودار رطوبت-تخلخل می توان در خصوص وجود ارتباط حفره ها در ساختگاه تصمیم گیری نمود.

جدول شماره ۳-۳- مقادیر درصد رطوبت نمونه ها [8]

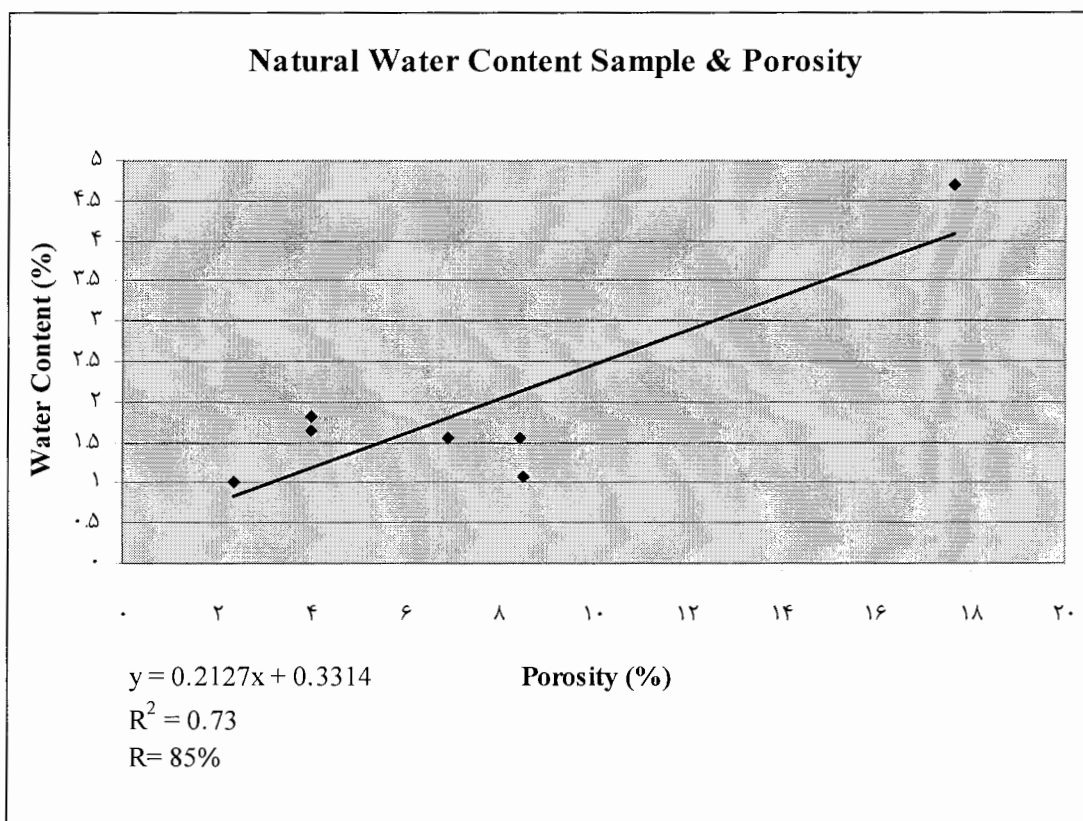
تعداد نمونه ها	درصد تغییرات	انحراف معیار	میانگین (%)	حداکثر (%)	حداقل (%)	پارامترهای آماری
						رطوبت
۱۷	۵۹	۱/۰۹	۱/۸۴	۴/۷	۰/۵	رطوبت طبیعی
۴	۸۴/۸۱	۲/۰۱	۲/۳۷	۵/۲	۰/۸	رطوبت اشباع



نمودار شماره ۳-۱- رابطه خطی تخلخل - جذب آب (نمونه اشباع)

لازم به ذکر است که آزمایشات مربوط به تعیین میزان تخلخل و رطوبت بر روی نمونه ها انجام گرفت تا بتوان بین نتایج حاصل و خصوصیات سنگ رابطه برقرار کرد.

پس از بررسی نمودارهای میزان رطوبت- تخلخل مطابق با نمودارهای (۱-۳) و (۲-۳) با توجه به رابطه خطی موجود یا ضریب همبستگی مناسب در این اشکال می توان دریافت که بین نمونه های آزمایش شده ارتباط وجود دارد. بنابراین حفره های موجود در نمونه های اخذ شده با یکدیگر در ارتباط می باشند که می توان این موضوع را به توده سنگ کل ساختگاه تعمیم داد.



نمودار شماره ۲-۳- رابطه خطی تخلخل - جذب آب ( رطوبت طبیعی )

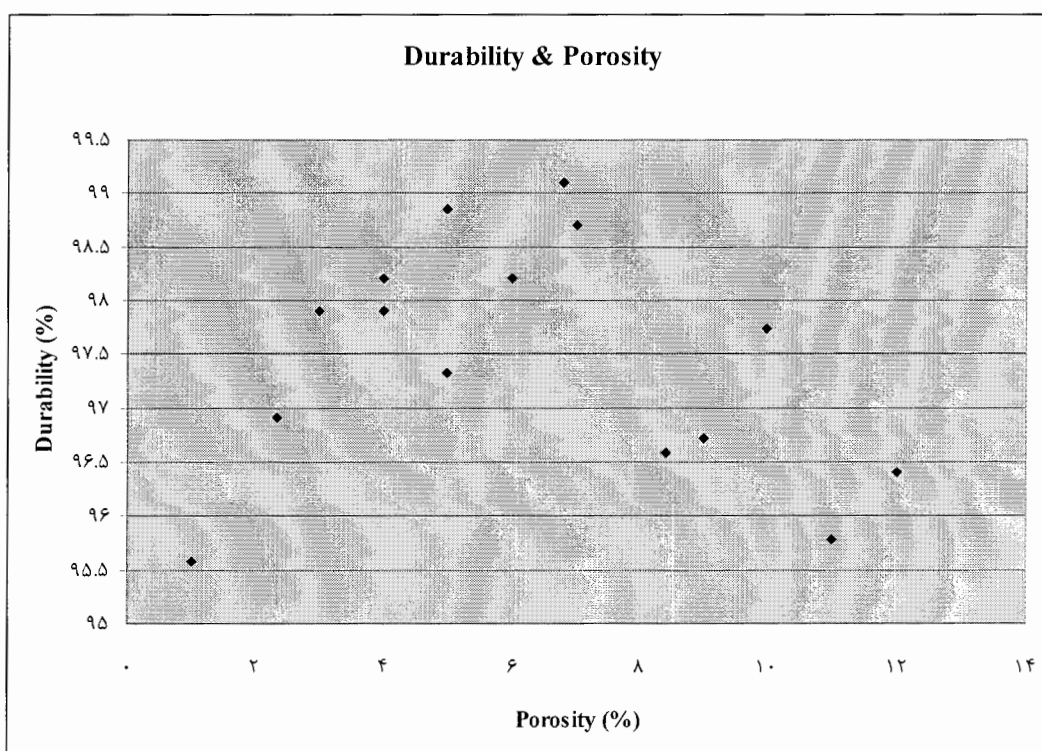
### ۳-۳-۴- دوام به وارفتگی

جهت انجام این آزمایش نمونه های اخذ شده از سنگ مارن (سازند پابده) در برابر سیکل های تر و خشک شدن متوالی مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج مقادیر بالایی را نشان می دادند. انجام

این آزمایش با میزان مقاومت سنگ رابطه مستقیم داشته که می تواند نگرانی بروز شکست هیدرولیکی در حین عملیات تزریق را کاهش دهد جدول (۳-۴).

جدول شماره ۳-۴- نتایج آزمایش دوام به وارفتگی نمونه های سنگ مارن [7]

تعداد نمونه ها	درصد تغییرات	انحراف معیار	میانگین (%)	حداکثر (%)	حداقل (%)	پارامترهای آماری
						آزمایش دوام
۲۰	۳/۱۷	۳/۰۶	۹۶/۵	۹۹/۱	۸۶/۴	شاخص دوام

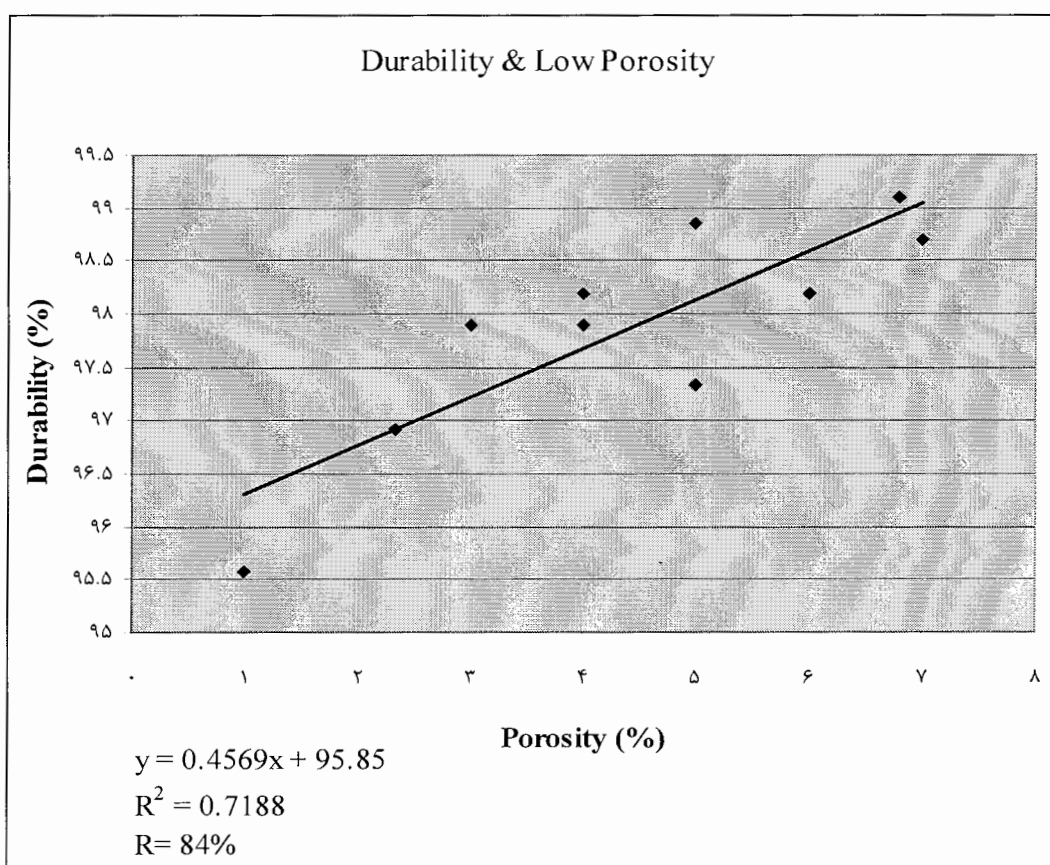


نمودار شماره ۳-۳- مقادیر تخلخل و شاخص دوام

نمودار (۳-۳) رابطه بین تخلخل و دوام را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود دو دسته کاملاً مجزا را می توان ترسیم نمود. دسته اول که تخلخل آن ها تا ۸٪ می رسد و برابر نمودار (۴-۳) پس از ترسیم نتایج می توان یک رابطه خطی با ضریب همبستگی حدود ۸۴٪ را در آن مشاهده نمود. در دسته دوم به دلیل پراکنده بودن در این قسمت مورد استفاده قرار نگرفت. شایان

ذکر است که با افزایش تخلخل و تغییر جنس سنگ ها به سمت آهک های مارنی مقاومت و دوام سنگ ها نیز بیشتر می شود.

از بررسی نمونه ها و با توجه به افزایش تخلخل می توان دریافت که سنگ های با تخلخل بیشتر دارای درصد سنگ آهک بیشتر و با توجه به مقاومت ذاتی سنگ آهک می توان کاهش دوام را به افزایش تخلخل نسبت داد.



نمودار شماره ۳-۴- رابطه خطی تخلخل و شاخص دوام (تخلخل ۰-۷ درصد)

### ۳-۴- آزمایش مقاومت فشاری

برای به دست آوردن مقاومت فشاری سنگ در آزمایشگاه نمونه های استوانه ای شکل با نسبت قطر به ارتفاع بیشتر از ۱ تهیه شده و آزمایشات مقاومت فشاری تک محوره بر روی نمونه مذکور انجام شده است [2].

## ۳-۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری نامحصور

آزمایش مقاومت فشاری نامحصور بر روی نمونه هایی که از دستگاه های حفاری مغزه گیر با قطر  $(99 \pm 2)$  (mm) در دو حالت خشک و اشباع انجام گرفته که نتایج آن به ترتیب در جداول (۳-۵) و (۳-۶) آمده است.

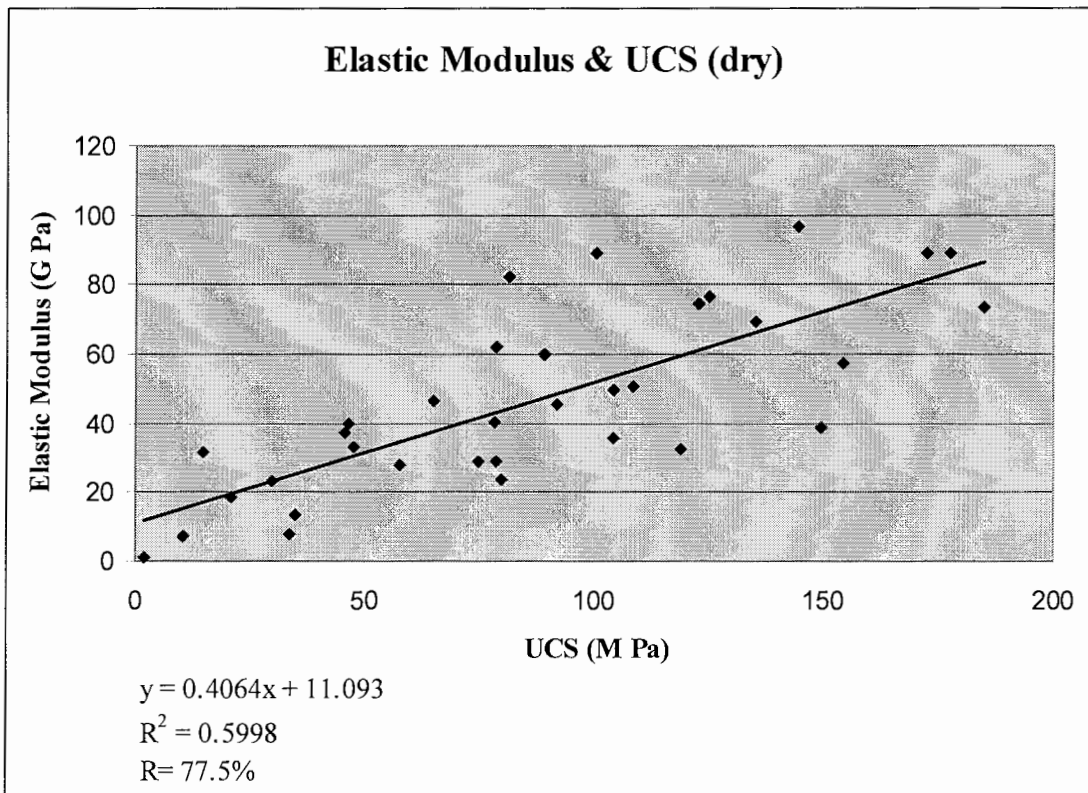
جدول شماره ۳-۵- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نامحصور در حالت خشک [5]

تعداد نمونه ها	درصد تغییرات	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	پارامترهای آماری
						پارامترهای رفتاری
۳۴	۵۷	۴۹/۸	۸۷/۳	۱۸۷	۲/۳۵	مقاومت فشاری نامحصور (Mpa)
۳۲	۵۶/۳	۲۷/۱	۴۸/۰۵	۹۷/۳	۰/۲۸	مدول الاستیک (Gpa)
۳۲	۲۵/۸	۰/۰۸	۰/۳۱	۰/۵	۰/۱۷	ضریب پواسون $\nu$

نمودار (۳-۵) رابطه خطی بین مدول الاستیک و مقاومت فشاری در حالت خشک را نشان می دهد. مشاهده می شود دامنه تغییرات مقادیر مقاومت فشاری خشک بسیار وسیع است. این دامنه وسیع به لحاظ تغییر نوع سنگ نمونه ها می باشد که از آهک خالص تا مارن آهکی و آهک متخلخل تغییر می نماید.

نمودار مقادیر مدول الاستیک و مقاومت فشاری در در شکل ۳-۶ نمایش داده شده است. همانطور که در نمودار (۳-۶) مشاهده می گردد ضریب همبستگی نمونه ها برابر  $r = 67.5\%$  می باشد. این مقدار کمتر از ضریب همبستگی در حالت خشک است و می توان آن را به تغییر رفتار نمونه به دلیل شرایط اشباع نسبت داد. در جدول (۳-۷) بررسی آماری نتایج آزمایشات مقومت فشاری، مدول الاستیک و ضریب پواسون انجام گردیده است.

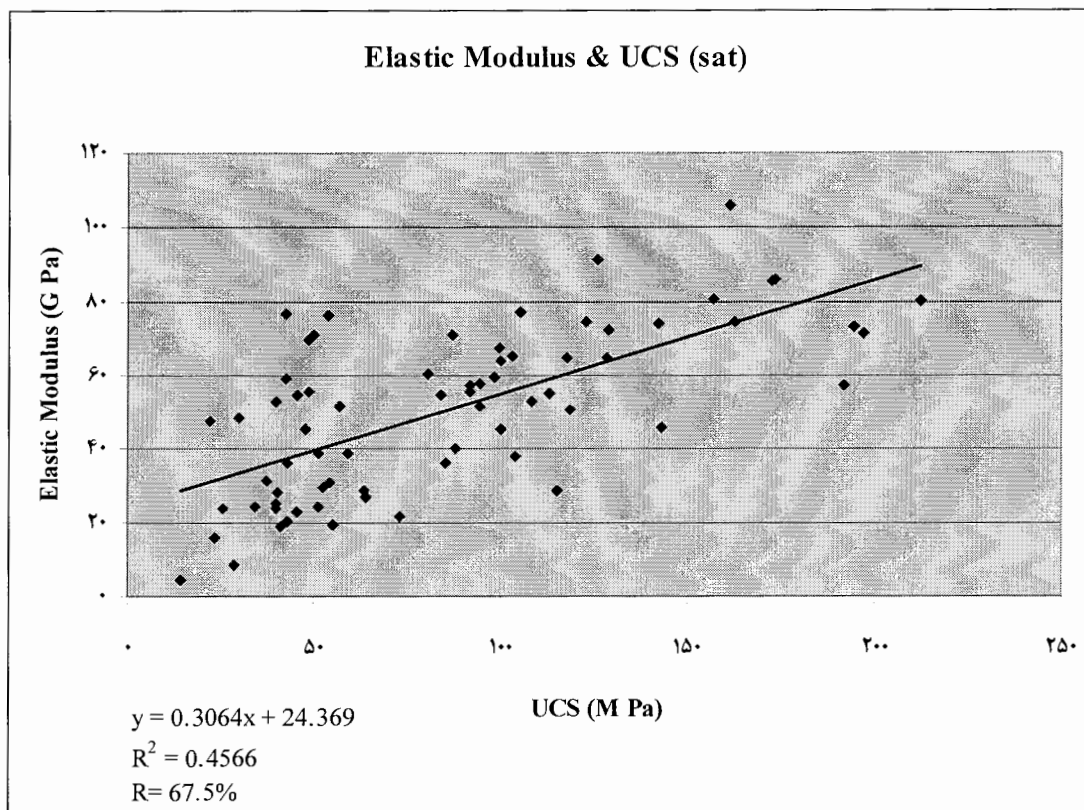




نمودار شماره ۳-۵- رابطه خطی مقاومت فشاری نامحصور - مدول الاستیک (نمونه های خشک)

جدول شماره ۳-۷- نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نامحصور در حالت اشباع [5]

تعداد نمونه ها	درصد تغییرات	انحراف معیار	میانگین	حداکثر	حداقل	پارامترهای آماری
						پارامترهای رفتاری
۷۲	۵۷/۶	۵۰/۴۳	۸۷/۵۶	۱۹۵	۱۳/۷	مقاومت فشاری نامحصور (Mpa)
۷۲	۵۱/۳	۲۲/۵۵	۴۳/۹۵	۱۰۵	۴	مدول الاستیک (Gpa)
۴۳	۱۱/۴۸	۰/۰۳	۰/۳	۰/۳۵	۰/۲۱	ضریب پواسون $\nu$



نمودار شماره ۳-۶- رابطه خطی مقاومت فشاری نامحصور - مدول الاستیک (نمونه های اشباع)

در بررسی نتایج آزمایشات در حالت اشباع نیز همانند حالت خشک دامنه تغییرات مقاومت فشاری نامحصور و مدول الاستیسیته بسیار گسترده است که در این شرایط برابر نمودار (۳-۶) می توان دسته بندی پیشنهادی زیر با توجه به تجمع نمونه ها را از نظر مقاومت در نظر گرفت.

۱- دسته اول با مقاومت کمتر از 80 (Mpa)

۲- دسته دوم با مقاومت بین 80 - 150 (Mpa)

۳- دسته سوم با مقاومت بیشتر از 150 (Mpa)

در جدول (۳-۸) نتایج آماری آزمایشات مقاومت فشاری نامحصور در حالت اشباع به تفکیک برای هر دسته ارائه گردیده است.

جدول شماره ۳-۸- تقسیم بندی نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نامحصور در حالت اشباع [5]

تعداد نمونه	درصد تغییرات (%)	میانگین (Mpa)	پارامترهای آماری
			دسته
۳۶	۲۸/۵	۴۳/۸	اول
۲۷	۲۴/۹	۱۰۶/۴	دوم
۹	۹	۱۷۹/۹	سوم

با توجه به مقادیر مقاومت سنگ های ساختگاه در صورت وجود غار و یا حفره باید مقاومت آمیزه تزریق به بالاترین میزان خود در حالت خشک یعنی حدود (MPa) ۱۸۷ برسد. در صورت تزریق درزه های با بازشدگی کمتر از ۰/۵ mm باید از دوغاب سیمان به همراه بنتونیت با حداکثر مقاومت به عنوان آمیزه استفاده گردد. برابر نتایج به دست آمده برای دوغاب سیمان ساخته شده در آزمایشگاه فنی مکانیک خاک وزارت راه مستقر در سایت کارون ۴ مقاومت نهایی دوغاب برابر (MPa) ۵ می باشد.

فصل چهارم :

آزمایشات صحرائی

## فصل چهارم

### آزمایشات صحرائی

#### ۴-۱- مقدمه

برای انجام مناسب آب بندی یک سد با توجه به تاثیر آن در امر حفظ و نگهداری بدنه و سازه های وابسته، شناخت رفتار سنگ ساختگاه و ناپیوستگی ها در برابر فشار و نوع حرکت آب بسیار مهم می باشد. هنگام اجرای تزریق اطلاعات نموداری و جداول تهیه شده در این فصل به مجری عملیات کمک می کند تا با شناخت کامل رفتار توده سنگ در برابر فشار لازم، انتخاب قطعات تزریق و پیش بینی رفتار هیدرولیکی ساختگاه را انجام دهد.

#### ۴-۲- روش انجام آزمایش نفوذپذیری برجای سنگ (آزمایش لوژن<sup>۱</sup> یا WPT)

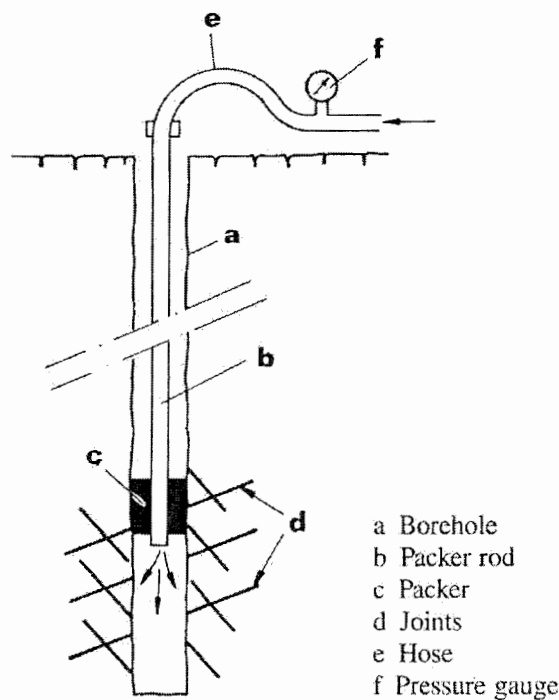
یکی از دلایل اصلی انجام آزمایش WPT تعیین نسبت آمیزه می باشد. نظر به اینکه آمیزه های این طراحی آمیزه های ثابتی می باشند می توان از انجام آزمایش WPT در گمانه های تزریق صرف نظر کرد. این آزمایش فقط بایستی در گمانه های کنترلی انجام شود.

معمولا تمامی آزمایشاتی که برای تعیین خصوصیات یک قطعه سنگی لازم است به وسیله آزمایشات برجا صورت می گیرد. در مورد تراوایی یک سنگ رایج ترین آزمایشی که انجام می شود آزمایش فشار آب<sup>۲</sup> یا WPT می باشد که در آن نفوذپذیری سنگ در مقطعی با طول مشخص از یک گمانه اندازه گیری می شود.

<sup>۱</sup> - Lugeon

<sup>۲</sup> - Water Pressure Test

به هنگام حفر گمانه مقاطعی که آزمایشات باید در آنها انجام شود کاملاً با آب شستشو شده و یک رشته لوله که به انتهای آن پکر نصب گردیده است در داخل گمانه قرار داده می‌شود. پکر به فاصله  $L$  از انتهای گمانه قرار می‌گیرد. این طول در سنگهایی که دارای شکستگی کم می‌باشد ۵ متر و در سنگهایی با شکستگی زیاد تا ۱ متر تغییر می‌کند. لوله درون گمانه به پمپ فشار آب که دارای یک پیزومتر است وصل می‌گردد (شکل ۴-۱) [14].



شکل شماره ۴-۱- سیستم انجام آزمایش فشار آب (wpt) [24]

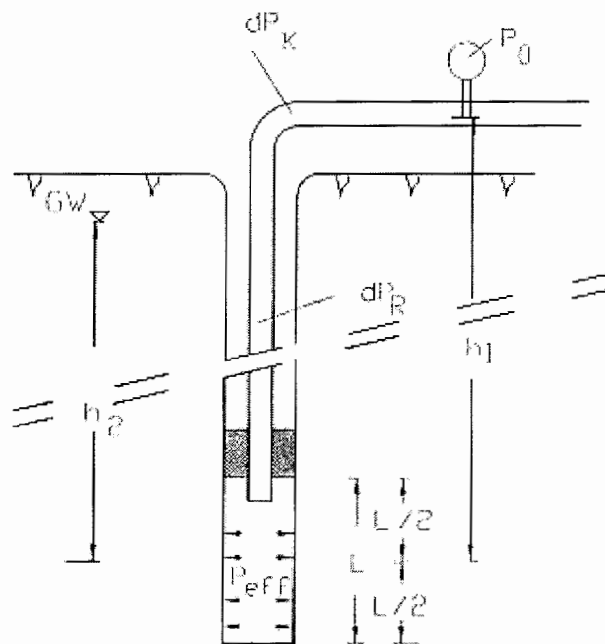
این آزمایش در مراحل متوالی انجام می‌گیرد. در مرحله اول فشار کم است. گمانه از آب پر شده تا به حالت اشباع درآید و میزان تراوش آب ثابت بماند. سپس شدت جریان در فاصله‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای اندازه‌گیری شده تا اختلاف بین دو اندازه‌گیری متوالی به کمتر از ۱۰٪ میزان جریان برسد. معمولاً این روند با افزایش فشار تا حد ۱۵ اتمسفر (atm) تکرار می‌گردد. این آزمایش به دو صورت

افزاینده و کاهنده انجام می گیرد. از نظر رعایت شرایط تدریجی مراحل اعمال فشار باید به صورت رابطه زیر باشد و مکان فشارسنج در بالای لوله قرار داشته باشد: [15]

$$P = 4 - 7 - 10 - 7 - 4 \quad \text{atm} \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

جهت ارزیابی نتایج آزمایش می بایست فشار واقعی در مرکز مقطع آزمایش (شکل ۴-۲) از رابطه

زیر محاسبه شود. [22]



شکل شماره ۴-۲- تعیین فشار موثر در شرایطی زیر سطح آب زیرزمینی در آزمایش WPT [15]

$$P = (P_H + \Delta H \cdot \frac{\gamma_w}{10}) - \Delta p(q) \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

که در آن :

P: فشار در مرکز مقطع آزمایش (atm)

P<sub>H</sub>: فشار قرائت شده در مانومتر (atm)

$\Delta H$ : اختلاف ارتفاع بین مانومتر و سطح آب زیرزمینی (یا مرکز مقطع در نقاطی که آب زیرزمینی وجود ندارد).

$\Delta p(q)$ : افت فشار هیدرولیکی در طول لوله‌ها و اتصالات از فشارسنج تا پکر.

افت فشار  $\Delta p(q)$  در امتداد طول لوله‌ها به صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. سپس نتایج بدست آمده بر روی نمودار نشان داده می‌شود. طبق تعریف واحد یک لوژن Lu ۱، برابر با خروج یک لیتر آب در دقیقه در یک متر طول از مقطع آزمایش تحت فشار یک مگاپاسکال است. نفوذپذیری سنگ مورد آزمایش بر حسب لوژن با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید [1].

$$N = \frac{10Q}{P.L.t} \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

که در آن :

L: طول قطعه آزمایش (متر)

Q: جریان آب در مقطع آزمایش ( $\frac{Lit}{Min}$ )

t: زمانی که طول آن Q جریان داشته است (دقیقه)

P: فشار آزمایش

### ۳-۴- نتایج آزمایش WPT و روش های تفسیر آن

آزمایش WPT جهت بررسی رفتار وابسته به فشار، نفوذپذیری و تغییر شکل سنگ به صورت افزایشی یا کاهش‌ی انجام می‌گیرد. در بیشتر موارد رابطه بین جذب آب و افزایش فشار به صورت خطی نیست.



### ۴-۳-۱- روش ارایه شده توسط هولسبی<sup>۳</sup>

معروفترین روش بررسی نتایج آزمایش WPT، روش ارائه شده توسط هولسبی می باشد. مطابق شکل (۴-۳) نتایج آزمایش به ۵ گروه تقسیم می شوند.

گروه A: در این نمودار اعداد لوژن بدست آمده در پنج پله مختلف دارای مقادیر یکسان و یا بسیار نزدیک به هم می باشند، در این حالت هر یک از اعداد را می توان به عنوان عدد لوژن انتخاب نمود.

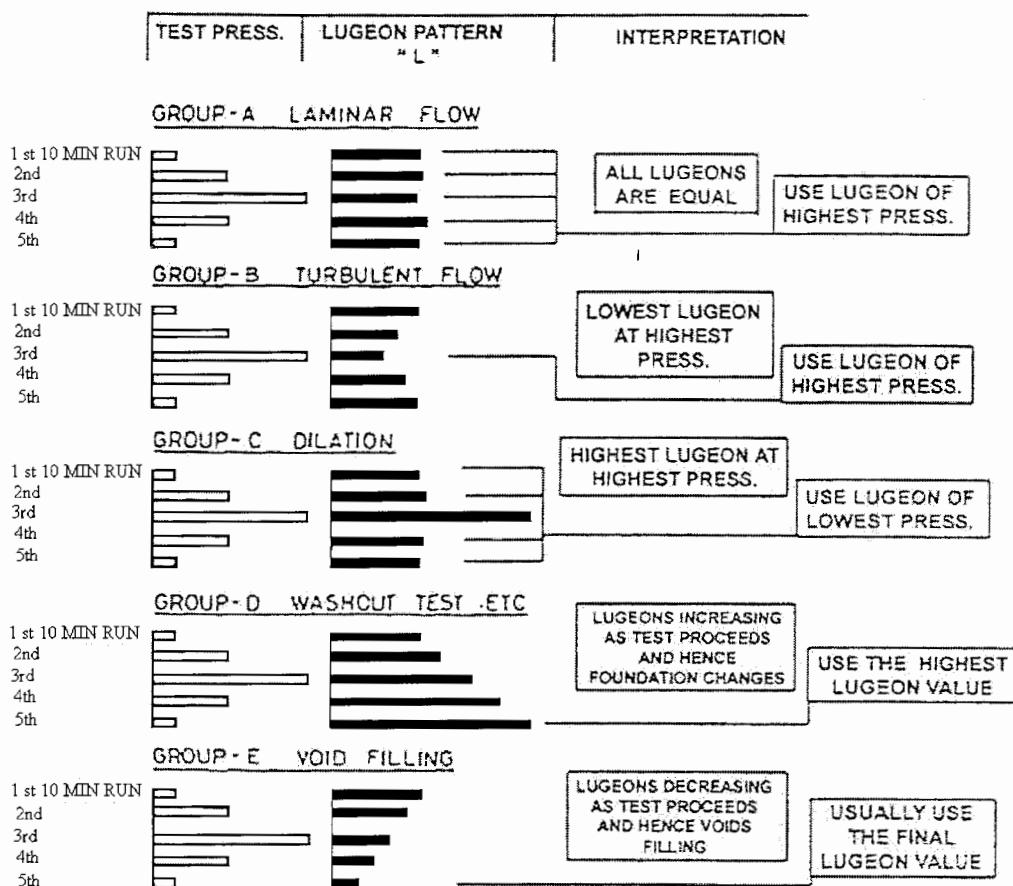
گروه B: در این نمودار مقادیر لوژن بدست آمده به فشار نسبت عکس دارد و در بیشترین فشار کمترین عدد لوژن بدست می آید در این حالت کمترین عدد به عنوان عدد لوژن منطقه انتخاب می شود.

گروه C: در این حالت تحت بیشترین فشار بیشترین عدد لوژن بدست می آید ولی لوژن مربوط به کمترین فشار انتخاب می گردد.

گروه D: در این حالت عدد لوژن در هر مرحله از آزمایش افزایش پیدا می کند و عدد مربوط به مرحله آخر را به عنوان عدد لوژن انتخاب می کنند.

گروه E: اعداد لوژن در هر مرحله مرتبا کاهش پیدا می کند و لوژن پله نهایی را به عنوان لوژن آزمایش انتخاب می کنند [22].

<sup>3</sup> - Holssby



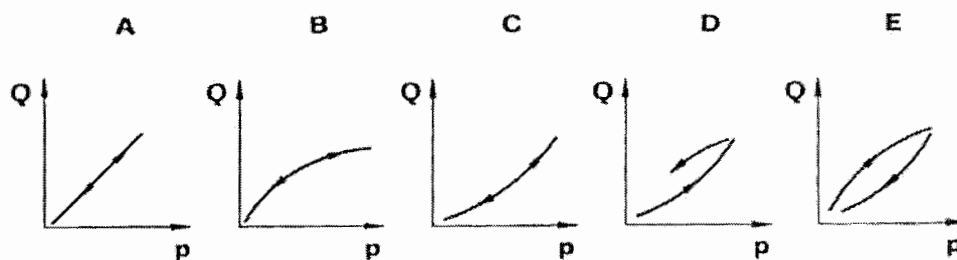
شکل شماره ۴-۳- استفاده از نتایج آزمایش WPT برای تعیین وضعیت زمین [28]

### ۴-۳-۲- استفاده از نمودارهای P-Q

روش دیگر استفاده از منحنی‌های P-Q جهت نشان دادن آزمایش لوژن است. دلیل ارجحیت این نمودارها نسبت به روش هولسبی توانایی بررسی رفتار نفوذپذیری و تغییر شکل توده سنگ است. مطابق شکل شماره (۴-۴) نمودارهای مختلف P-Q اساس رفتار متقابل آب و سنگ ارائه می‌دهند که شامل ۵ حالت می‌شود.

جهت تفسیر نتایج حاصل از انجام آزمایش و پیش بینی رفتار توده سنگ می‌بایست مطالب زیر

مد نظر قرار گیرد [24]:



Q Discharge ( $l \text{ min}^{-1}$ ) or ( $l \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$ )

P Pressure

A Laminar flow

B Turbulent flow

C Elastic deformation

D Hydraulic cracking or erosion of joint fillings

E Reverse flow due to lack of drainage or void filling

شکل شماره ۴-۴- رفتارهای احتمالی سنگ های اطراف یک گمانه [24]

در جریانهای آرام و خطی<sup>۴</sup> نمودار A شکل (۴-۴) و در جریان های مغشوش<sup>۵</sup> نمودار B شکل (۴-۴) سنگ دچار تغییر نمی شود و میزان جذب آب در مراحل کاهش فشار معادل با جذب آب در افزایش فشار است.

در نمودار C شکل (۴-۴) شسته شدن مواد درون حفره ها و درزه ها<sup>۶</sup> نشان داده می شود که از نظر هولسبی و کوتزner<sup>۷</sup> بین این پدیده و شکست هیدرولیکی تفاوتی وجود ندارد.

در حالتی که شکست هیدرولیکی<sup>۸</sup> نمودار D شکل (۴-۴) رخ می دهد، در فشار بحرانی  $P_c$  درزه های موجود پهن تر و بازتر می گردند و هنگامی که تنش ها کمتر می شوند درزه های پنهان باز می شود و افزایش ناگهانی در نفوذپذیری قطعه مورد آزمایش ایجاد می کنند.

در نمودار E شکل (۴-۴) تفاوت میان اتساع و شکست هیدرولیکی نشان داده شده است. اتساع مسیر عبور آب می تواند ناشی از دو عامل، بالا رفتن سنگ روباره و یا تغییر شکل باشد [24].

<sup>۴</sup> - Laminar

<sup>۵</sup> - Turbulent

<sup>۶</sup> - Washout (Void Filling)

<sup>۷</sup> - Kutzner

<sup>۸</sup> - Hydraulic Fracturing (Hydraulic Cracking)

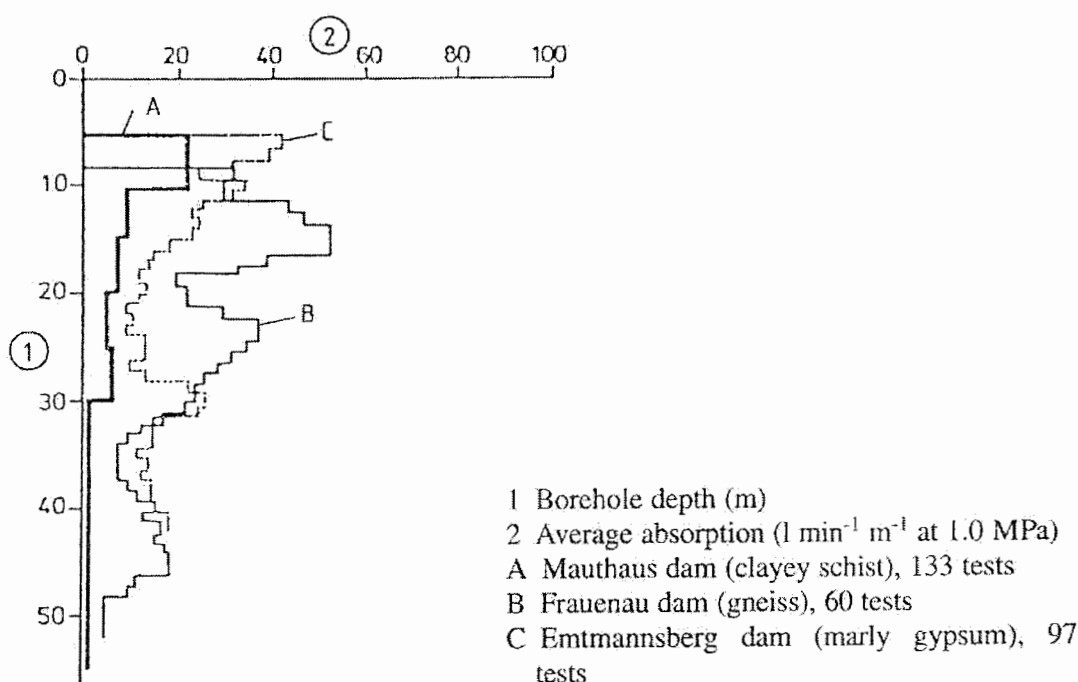
#### ۴-۴- شرایط هیدروژئولوژی ساختگاه سد کارون ۴

ضمن انجام آزمایش WPT تنها می‌توان نفوذپذیری سنگ‌های اطراف یک گمانه را تعیین کرد که در بسیاری از موارد نقش بسزایی در تعیین عرض پرده آب‌بند خواهند داشت [18]. در ساختگاه سد کارون ۴ تعداد ۳۰ گمانه حفر شده و آزمایش WPT در آنها انجام شده است. نتایج حاصل از انجام آزمایشات و تعداد آزمایشات انجام گرفته در جدول (۴-۱) آورده شده است. پس از بررسی نتایج حاصل در قطعات گمانه‌های حفر شده و اعمال ضرایب وزنی مربوط به طول قطعات رفتار توده سنگ در برابر جریان آب به صورت‌های زیر تقسیم بندی شده است که نتایج به دست آمده به شرح ذیل است.

- ۱- پس از بررسی نتایج آزمایش مشاهده می‌شود که رفتار غالب، شستشوی مواد پرکننده درزه‌ها می‌باشد که این رفتار ۴۱٪ از نتایج را دربر می‌گیرد. در این حالت باید چنین تصور نمود که پس از احداث سد سنگ‌ها در معرض شستشوی دائمی قرار دارند.
- ۲- در ۳۲٪ از قطعات گمانه‌های مورد آزمایش جریان بصورت آشفته می‌باشد.
- ۳- در ۱۵٪ از قطعات گمانه‌های مورد آزمایش جریان بصورت آرام می‌باشد.
- ۴- در ۸٪ از قطعات گمانه‌های مورد آزمایش انسداد درزه‌ها بوجود می‌آید.
- ۵- در ۴٪ از قطعات گمانه‌های مورد آزمایش شکست هیدرولیکی مشاهده گردیده است.

جدول شماره ۴-۱- تعداد آزمایش و رفتار توده سنگ در آزمایش WPT [8]

موقعیت	تعداد آزمایش	جریان آرام	جریان آشفته	شکست هیدرولیکی	جریان شستشو	انسداد درزه‌ها
تکیه‌گاه راست	۷۱	۱۴	۱۷	۳	۲۷	۱۰
بستر رودخانه	۲۳	۰	۸	۰	۱۵	۰
تکیه‌گاه چپ	۱۱۰	۱۷	۳۹	۶	۴۲	۶



شکل شماره ۴-۵- رابطه بین عمق و آزمایش WPT [24]

برای توضیح تاثیر عمق گمانه ها در نتایج آزمایش همانطور که در شکل (۴-۵) مشاهده میگردد روند طبیعی کاهش میزان Lu با افزایش عمق در انواع سنگ ها می باشد.

در پیوست (ب) خلاصه نتایج آزمایش WPT سه گمانه به تفکیک قطعات در تکیه گاه چپ، تکیه گاه راست و تونلهای آب بر بالادست نیروگاه آورده شده است.

با بررسی قطعات مختلف گمانه BH-206 مطلب قابل انتظار کاهش اعداد Lu به دلیل افزایش وزن روباره و عبور از آهک آسماری به سمت زون پایده (مارن های آهکی و مارن) می باشد. تاثیر این تغییر جنس در کاهش تخلخل قطعات سنگی ساختگاه است. از قطعه شماره ۶۹ در تراز ۸۰۴/۲ شاهد افزایش ناگهانی قابلیت عبور آب و نفوذپذیری در سازند مربوطه هستیم. این مورد را به دلیل کاهش اعداد مربوط به RQD می توان به تاثیر عوامل تکتونیکی نسبت داد. بررسی مغزه های به دست آمده موید این موضوع می باشد.

در بررسی قطعات مختلف گمانه BH-207 می توان وجود یک رابطه معکوس را میان Lu و RQD تعریف نمود این موضوع نشان دهنده هماهنگی بین نتایج حاصل از هر دو آزمایش است.

در گمانه BH-219 روند کلی در جهت کاهش نفوذپذیری با افزایش عمق می باشد. در برخی مناطق به دلیل تاثیر عوامل تکتونیکی شاهد کاهش میزان RQD و افزایش شدید مقادیر Lu می باشیم. به عنوان مثال در تراز ۸۹۴ الی ۸۵۶ این تغییرات شدید است که لازم است هنگام اجرای عملیات تزریق قطعات کوچک تر تا ۱ متر حفاری گردد.

در صورت وجود افزایش در مقدار Lu و سالم بودن سنگ و عدم وجود کاهش در میزان RQD می توان این موضوع را با جنس سنگ و افزایش تخلخل در ساختگاه مرتبط دانست.

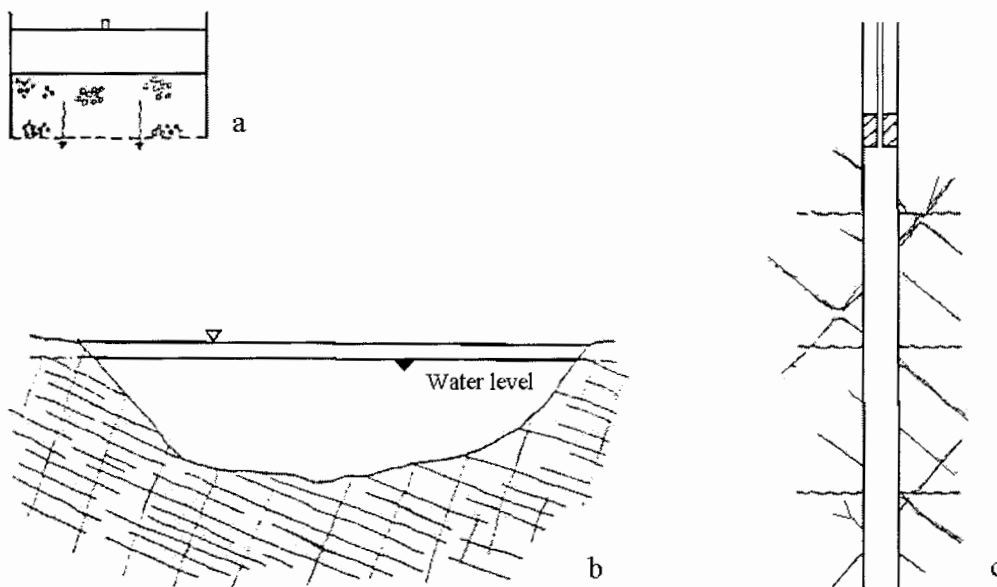
#### ۴-۵- رابطه آزمایش WPT با نفوذ پذیری

در محیط‌های متخلخل داشتن ضریب نفوذپذیری K جهت تخمین مقدار نشت لازم است. با توجه به مشکلات موجود در بررسی خصوصیات هیدرولیک محیط‌های درزه‌دار و ناپیوسته، از محیط‌های پیوسته معادل استفاده می‌گردد که دارای نفوذپذیری معادل محیط درزه‌دار است.

به دلیل تفاوت بین شبکه جریان و خطوط هم پتانسیل در مقطع آزمایش و شرایط جریان خطی آزمایشگاه تبدیل مقادیر لوژن به ضریب نفوذپذیری K دارای معایبی است. همانطور که در شکل شماره (۴-۶) مشاهده می‌گردد در تعیین ضریب نفوذپذیری فضاهای خالی موجود در قطعه آزمایش در مقایسه با ابعاد نمونه به اندازه‌ای کوچک می‌باشند که می‌توان از آنها صرف‌نظر و محیط ناهمگن<sup>۹</sup> زمین را به صورت همگن<sup>۱۰</sup> فرض نمود [24].

<sup>۹</sup> - Unisotropic

<sup>۱۰</sup> - Isotropic



(a) نمونه ای کوچک از محیط متخلخل  
 (b) فرض محیط همگن در مقیاس بزرگ  
 (c) ناهمگنی در شرایط آزمایش لوزن

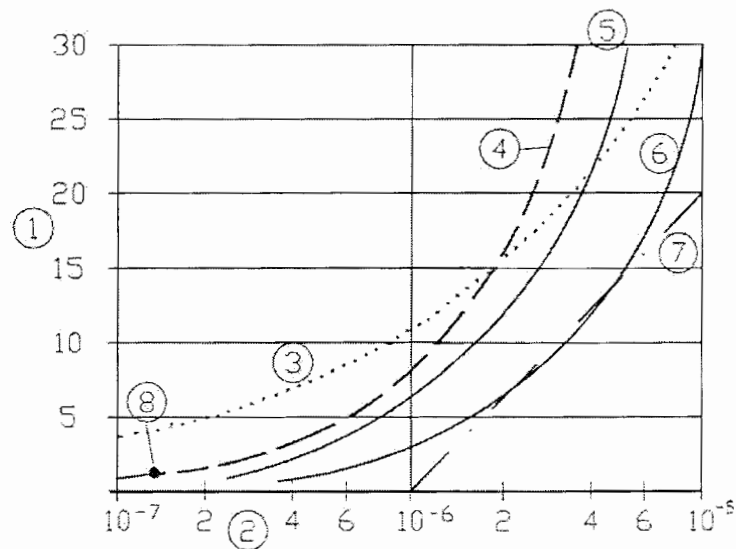
شکل شماره ۴-۶- تاثیر مقیاس آزمایش بر خصوصیات هیدرولیک توده سنگ [24]

در آزمایش WPT درزه‌ها و مسیرهای هیدرولیک در مقایسه با قطعه مورد آزمایش به اندازه‌ای بزرگ هستند که بی‌نظمی‌های آنها بر نتایج آزمایش اثر می‌گذارد.

تفاوت دیگر بین آزمایش داری و WPT در این است که در آزمایش داری افت هد ناشی از اصطکاک لحاظ شده، در حالی که در آزمایش WPT از حجم آبی که به داخل درزه‌ها نفوذ می‌کند بدست می‌آید و اصطکاک آب در داخل درزه‌ها تاثیری در نتیجه آزمایش ندارد، زیرا مقدار جریان قبل از ورود به درزه‌ها اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین در یک محیط سنگی درزه‌دار فقط می‌توان در یک حالت یک ضریب نفوذپذیری در نظر گرفت که مقطع نسبتاً بزرگی از محیط با توجه به درزه‌ها و فاصله‌داری آنها مورد مطالعه قرار گیرد [17] و [24].

در پیوست (ج) برای ۳ گمانه در تکیه گاه چپ، تکیه گاه راست و تونل‌های آب بر بالادست نیروگاه ضرایب نفوذپذیری معادل نتایج آزمایش WPT با استفاده از نمودار تجربی ارائه شده توسط

کوتزنر در شکل شماره (۷-۴) محاسبه گردیده است. در نمودارهای ارائه شده نفوذپذیری حداکثر تا  $30 \cdot Lu$  را می توان به دست آورد که در صورت وجود مقادیر بیش از آن ضریب نفوذپذیری معادل  $30 \cdot Lu$  قرار داده شده است. در جدول شماره (۲-۴) نتایج حاصل از محاسبات با اعمال ضرایب وزنی هر قطعه آورده شده است.



- 1 LU-values ( $l \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-1}$  at 1.0 MPa)
- 2  $k$ -values (m/s)
- 3 Observations from reservoirs in Germany
- 4 Equation 4.2
- 5 Calculation of flow in joints of anisotropic rock
- 6 Calculation of flow in joints of isotropic rock
- 7 Oscillation tests
- 8 After Nonveiller (1968)

شکل شماره ۷-۴- نمودارهای رابطه تجربی بین آزمایش لوژن و نفوذپذیری [24]

با استفاده از نمودار تجربی کوتزنر در شکل شماره (۸-۴) می توان نتایج زیر را بدست آورد:

۱- در  $Lu > 30$  نفوذپذیری  $\frac{m}{Sec} > 10^{-5}$  است.

۲- در  $10 < Lu < 30$  نفوذپذیری  $\frac{m}{Sec} < 10^{-5}$  و  $10^{-6} < K < 10^{-5}$  است.

۳- در  $5 < Lu < 10$  نفوذپذیری  $\frac{m}{Sec} < 3 \times 10^{-6}$  و  $3 \times 10^{-7} < K < 3 \times 10^{-6}$  است.

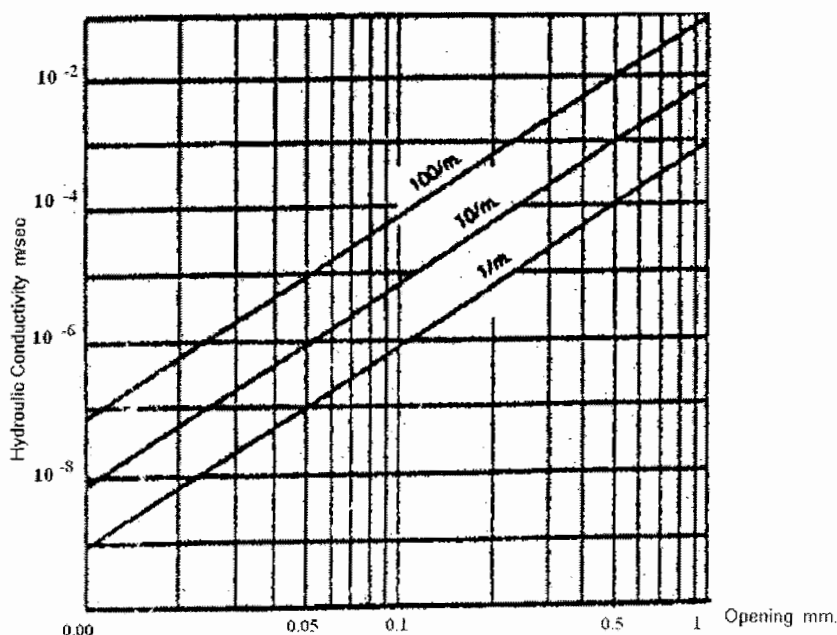


۴- در  $Lu < 5$  نفوذپذیری  $\frac{m}{Sec} < 10^{-7} < K < 5 \times 10^{-7}$  می باشد. [24]

جدول شماره ۴-۲- نفوذپذیری معادل در سازندسنگی ساختگاه

ردیف	منطقه	سازند	عمق حفاری	نفوذپذیری (cm/sec)
۱	تکیه گاه چپ	آسماری	۰/۰۰-۲۰۰	$4 \times 10^{-4}$
۲	تکیه گاه راست	آسماری	۰/۰۰-۲۰۰	$2/6 \times 10^{-4}$
۳	تونل های آب بر	آسماری	۰/۰۰-۱۰۰	$3 \times 10^{-4}$

تعیین نفوذپذیری قطعات هر گمانه برای تخمین حدودی بازشدگی در قطعه مورد نظر و تعیین ترکیب آمیزه تزریق و نسبت W:C آن برای کنترل آمیزه و جلوگیری از هدر روی آن ضروری است. این ضریب می تواند در تعیین شعاع نفوذ مقطعی و ترسیم حدودی بدنه پرده تزریق مورد استفاده قرار گیرد. در شکل (۴-۸) نمودار هایی برای تخمین بازشدگی معادل ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده میگردد با نفوذپذیری پایین نیاز به بازشدگی بالا برای افزایش شعاع تزریق است.



شکل شماره ۴-۸- نمودارهای ارائه شده برای معادل سازی ضریب نفوذپذیری و بازشدگی [29]

#### ۴-۶- کارگاه آزمایشی تزریق

##### ۴-۶-۱- شرایط زمین‌شناسی تزریق آزمایشی

محل گمانه تزریق بر روی سازند آسماری که سنگ پی محور سد می‌باشد قرار گرفته است. این سازند در محل پی سد از سنگ آهک و سنگ آهک متخلخل می‌باشد.

در این سازند حفره‌های متعدد انحلالی و کارستی دیده می‌شود که دارای ابعاد متوسط ۲ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌باشند. این ساختار همانند ساختار کلی است که محور سد بر روی آن قرار گرفته و در گالری‌های تزریق حفر شده نیز مشاهده می‌گردد.

سازند آسماری دارای لایه‌های آهکی با آزیموت ۱۳۰ درجه و شیب بین ۶۰ تا ۷۰ درجه می‌باشند.

لازم به ذکر است که در مغزه‌های حاصل از حفاری قائم در کارگاه تزریق آزمایشی زاویه دسته درزه‌های موجود برابر با جدول (۴-۳) است.

جدول شماره ۴-۳- فراوانی درزه‌ها نسبت به محور مغزه [5]

زاویه نسبت به محور مغزه ها (درجه)	۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۹۰
فراوانی (%)	۳۸	۴۰	۲۲

##### ۴-۶-۲- نتایج تزریق آزمایشی

با توجه به اینکه برای طراحی پرده آب‌بند صرفاً نمی‌توان به اعداد لوژون اکتفا نمود، بهتر است که تزریق آزمایشی انجام گیرد. این تزریق باید در محلی اجرا شود که قسمتی از پرده آب‌بند باشد.

با انجام این تزریق آزمایشی می‌توان بهترین اطلاعات را در موارد زیر کسب نمود: [28]

۱- بهترین جهت‌یابی گمانه‌ها در ارتباط با جهت‌یابی ناپیوستگی‌ها

- ۲- میزان میل به انحراف گمانه‌ها
- ۳- نسبت آب به سیمان مناسب برای آمیزه
- ۴- فشار تزریق مناسب در ارتباط با گسیختگی هیدرولیکی و تزریق‌پذیری
- ۵- فاصله گمانه‌ها
- ۶- تعداد سریها
- ۷- روش تزریق مقطعی مناسب
- ۸- نوع و گستره گمانه‌های کنترلی
- ۹- تاثیر تزریق روش کاهش تراوش
- ۱۰- تزریق‌پذیری

برای به دست آوردن اطلاعات مشابه با بیشتر مناطقی که در آنها تزریق انجام می‌گردد تزریق آزمایشی در تکیه‌گاه راست محور سد کارون ۴ در تراز ۱۰۳۲ و در گالری اکتشافی G<sub>۱</sub> انجام گرفته است. علت انتخاب این تراز وجود دسترسی مناسب و حفر یک گالری اکتشافی در مسیر احداث پرده می‌باشد. (پیوست ج)

در مرحله اول آزمایش حفر گمانه‌ها با فواصل اولیه برابر ۳ متر از یکدیگر و در رئوس مثلث متساوی الاضلاع انجام گردید که در مراحل بعد با حفر گمانه‌های کنترلی فواصل گمانه‌ها ۰/۸۵ متر گردید. نتایج فشار طراحی و موثر حاصل از تزریق آزمایشی برای استفاده در طراحی پرده آب بند در جدول (۴-۴) آورده شده است.

جدول شماره ۴-۴- فشار موثر تزریق در کارگاه آزمایشی [8]

عمق	فشار طراحی (WPT)	فشار موثر تزریق
۵-۱۰	۲	۲
۱۰-۱۵	۳	۴
۱۵-۲۰	۵	۶/۵
۲۰-۲۵	۶/۵	۹
۲۵-۳۰	۸	۱۱
۳۰-۳۵	۱۰	۱۳
۳۵-۴۰	۱۱/۵	۱۵
۴۰-۴۵	۱۳	۱۸
۴۵-۵۰	۱۵	۲۰
۵۰-۵۵	۱۷	۲۲
۵۵-۶۰	۱۸	۲۴
۶۰-۶۵	۲۰	۲۷
۶۵-۷۰	۲۲	۲۹
۷۰-۷۵	۲۳	۳۱
۷۵-۸۰	۲۵	۳۳
۸۰-۸۵	۲۷	۳۵
۸۵-۹۰	۲۸	۳۷
۹۰-۹۵	۳۰	۴۰
۹۵-۱۰۰	۳۲	۴۲
۱۰۰-۱۰۵	۳۳	۴۴
۱۰۵-۱۱۰	۳۵	۴۶
۱۱۰-۱۱۵	۳۷	۴۸
۱۱۵-۱۲۰	۳۸	۵۱

۴-۶-۳- خوردن در کارگاه آزمایشی

برابر جدول شماره (۴-۴) نتایج خوردن دوغاب در کارگاه آزمایشی عبارت است از :

جدول شماره ۴-۵- ترکیب دوغاب مصرفی در کارگاه آزمایشی [8]

شماره دوغاب	نسبت آب به مصالح خشک	سیمان مصرفی (kg)	بنتونیت (%)
۱	۱ : ۳	۵۰	۶
۲	۱ : ۲	۷۵	۴
۳	۱ : ۱,۵	۱۰۰	۳
۴	۱ : ۱	۱۵۰	۲
۵	۰,۷۵ : ۱	۲۰۰	۱,۵
۶	۰,۶ : ۱	۲۵۰	۱
۷	۰,۵ : ۱	۳۰۰	۱

فصل پنجم :

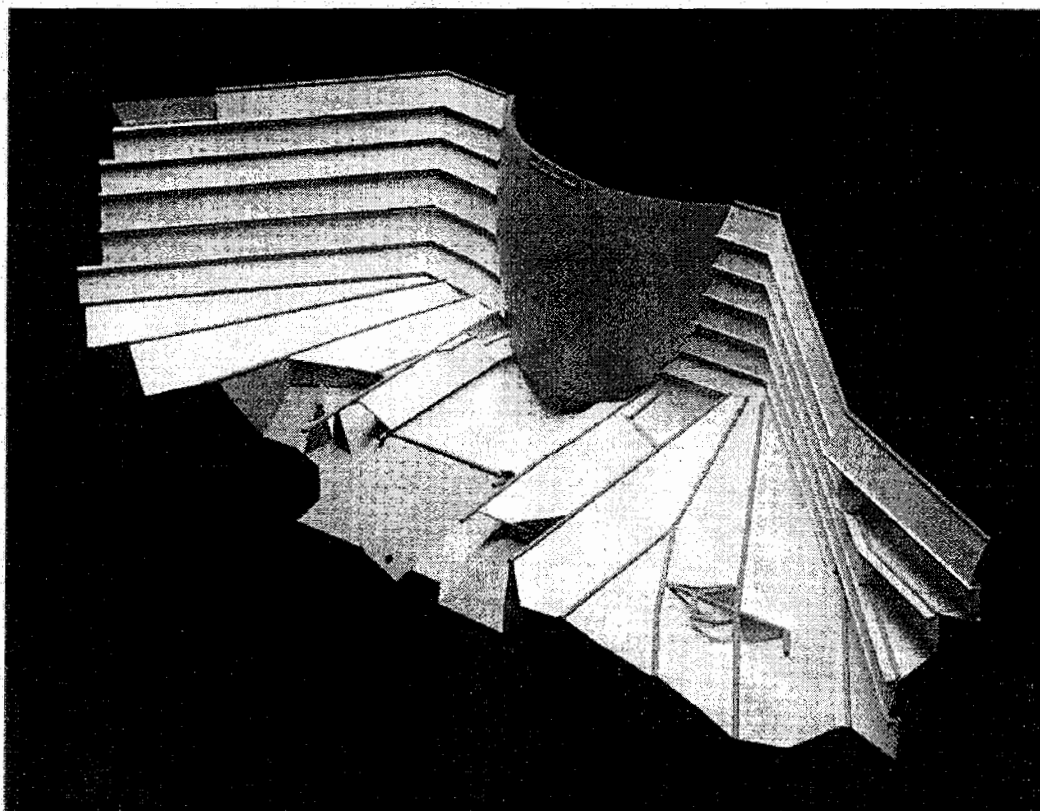
طرح پرده آب بند

## فصل پنجم

## طرح پرده آب بند

## ۵-۱- مقدمه

مهمترین کاربرد تزریق در ناتراوا کردن بستر در پی ساختگاه سد (پرده تزریق) می باشد. در بیشتر موارد پرده تزریق تا سنگ بستر ادامه یافته ولی در برخی طرح ها نیز احداث پرده تا رسیدن به یک لایه نفوذناپذیر اجرا می گردد. شرط احداث در این حالت وجود لایه نفوذناپذیر به سمت بالا دست سد می باشد. برای آشنایی بیشتر نمای کلی یک پرده آب بند پس از احداث به صورت شماتیک در شکل (۵-۱) آورده شده است.



شکل شماره ۵-۱- زون سنگی تزریق شده اطراف بدنه سد الکاهون در هندوراس (۱۹۸۸) [24]

## ۵-۲- اهداف احداث پرده تزریق

اجرای پرده تزریق برای قسمت‌های مختلف ساختگاه شامل سنگ پی زیر بدنه سد، تکیه‌گاه‌ها و سرریز مورد نیاز است. پرده تزریق شامل حفاری و تزریق حداقل دو ردیف گمانه می‌باشد. این نوع تزریق، منطقه پرده مانندی با شیب تند و با قابلیت نفوذ ناپذیری را تشکیل می‌دهد. این پرده جهت دستیابی به اهداف زیر احداث می‌گردد [22]:

- ۱- کاهش نشت آب.
  - ۲- کاهش فشار بالا زدگی.
  - ۳- اطمینان از اینکه فشار بالازدگی زیاد نمی‌گردد.
  - ۴- شناسایی مناطق ضعیف پی و اصلاح و ترمیم آنها طی برنامه تزریق.
  - ۵- حفظ سازه های وابسته به سد در پایین دست در مقابل خطر هجوم آب.
- در حین احداث و پس از اتمام پرده تزریق در قسمت پی سد، تکیه‌گاه‌ها و سرریز، یک سری گمانه‌های تکمیلی با توجه به دلایل زیر نیز احداث و عمل تزریق در آنها انجام می‌پذیرد [23]:
- ۱- جلوگیری از نشت آب در پی و تکیه‌گاه‌های سد که بصورت ناحیه‌ای و دارای گرادیان هیدرولیکی بالایی می‌باشد. در صورت وجود مناطقی که عملیات تزریق در آنها به خوبی انجام نشده باشد تمرکز فشارهای وارده از طرف مخزن در این نقاط خواهد بود.
  - ۲- جهت حصول اطمینان از اینکه ضریب تغییر شکل و مقاومت برشی بستر پی سنگ در سرتاسر سنگ پی بصورت یکنواخت باشد.



### ۵-۳- دلایل احداث پرده آب بند متصل

پرده احداث شده در پی یک سد باید نفوذپذیری را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد. برای اینکه پرده تزریق بتواند بر روی جریان زه موثر باشد باید به اندازه کافی عریض و ترجیحا کف آن به لایه هایی با نفوذپذیری پایین برسد تا بتواند جریان و شیب زه خروجی را تا حد قابل قبولی کاهش دهد. به طور متوسط حداقل نفوذپذیری در یک سنگ پس از انجام عملیات تزریق در حدود  $0/3$  تا  $0/6$  لوژن است. اما نفوذپذیری متوسط بین ۱ تا ۳ لوژن نیز رضایت بخش تلقی می گردد. [29]

در ساختگاه سد کارون ۴ با توجه به وجود سازند آسماری و قابل دسترس بودن زون پاینده در فاصله ۱۵۰ متری مرکز بدنه سد باید نسبت به احداث پرده تزریق اقدام گردد. دلایل انتخاب احداث پرده تزریق در مقایسه با دیوار آب بند در این ساختگاه عبارتند از :

۱- در صورت احداث دیوار آب بند به دلیل تداخل کاری با سایر قسمتها، زمان و هزینه حفاری افزایش می یابد.

۲- برای اجرای دیوار آب بند استفاده از ماشین آلات خاص حفاری (هیدروفرز) در سازندهای سنگی لازم است.

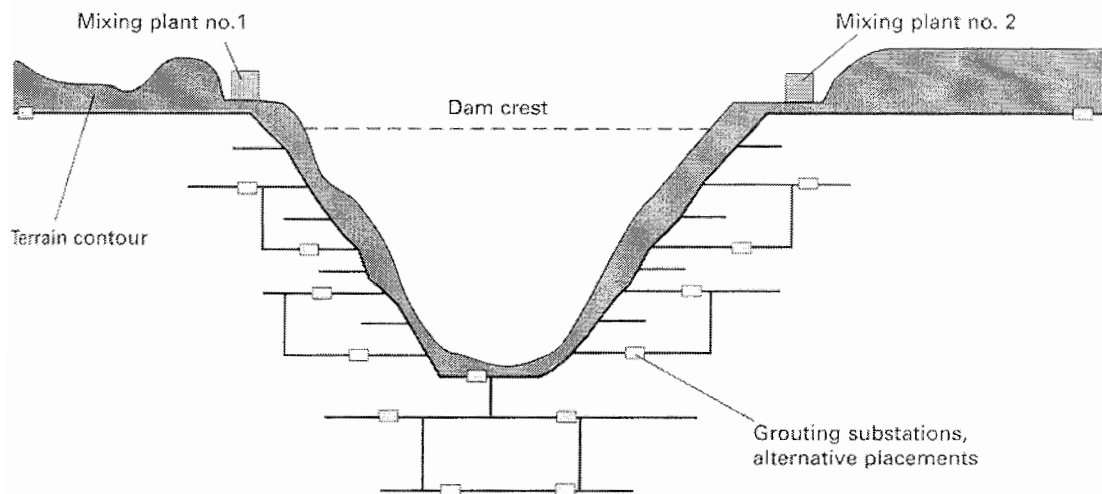
۳- کوتاه بودن طول مسیر حفاری و از بین رفتن توجه اقتصادی آن نسبت به بازده و سرمایه اولیه مورد نیاز در صورت انتخاب طرح احداث دیوار آب بند.

۴- قابل دسترس نبودن زون پاینده یا زون با نفوذپذیری پایین در صورت احداث دیوار آب بند.

۵- به هم خوردن برنامه زمان بندی و از میان رفتن ارزش زمانی پول برای کل طرح در صورت انتخاب طرح احداث دیوار آب بند.

#### ۵-۴- انجام تزریق جهت کاهش نفوذپذیری یا ناتراوا کردن بستر

به هنگام اجرای عملیات تزریق بایستی دقت نمود که ضخامت پرده تزریق در نزدیک سطح زمین بیشتر از ضخامت آن در عمق باشد. زیرا اولاً در نزدیک سطح زمین گرا دیان هیدرولیکی بسیار بالا است و لازم است تا آب بندی کامل بین بدنه سد و پرده تزریق انجام گیرد. ثانیاً به دلیل عدم وجود روباره کافی در سطح نسبت به اعماق زمین تزریق در این بخش بازدهی کافی ندارد. همچنین به دلیل وجود روزنه و شکاف های سطحی امکان اعمال فشارهای زیاد مقدور نیست. ثالثاً کنترل تراوش در سطح زمین مهمتر و مشکل تر است. در شکل شماره (۵-۲) نمای کلی ایستگاه ها و گالری های تزریق به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل شماره ۵-۲- نمای کلی ایستگاه ها و گالری های تزریق [25]

همچنین ضخامت پرده تزریق باید به گونه ای باشد تا در مقابل خطر شکستگی تحت فشار روباره و بارگذاری پس از احداث بدنه و آب گیری مخزن مقاومت نماید و با لایه های مجاور اتصال مناسبی داشته باشد زیرا نواحی اتصال معمولاً نقاط ضعیفی را تشکیل می دهند. نتایج حاصل از تزریق در کارگاه آزمایشی حاکی از این است که در مثلث آخر شعاع تزریق ۰/۸۵ متر است. با حفر

یک گمانه کنترلی دیگر در فاصله ۱ متری از گمانه تزریق حداقل شعاع تزریق برابر ۱ متر تایید شده است. به دلیل مقاومت فشاری سنگ ساختمانی و مقاومت (M Pa) ۵ دوغاب تزریق بر خلاف نظر مشاور احداث پرده دو ردیفه پیشنهاد می گردد.

## ۵-۵-۵- زاویه و عمق حفاری

### ۵-۵-۱- قسمت پی

موقعیت ابتدایی دهانه گالری های تزریق تابع موقعیت مکانی بدنه سد می باشد. زاویه استقرار سازندهای پایده و آسماری در ساختمانی سد کارون ۴ در قسمت پی ۷۰ درجه است. با توجه به نتایج جدول شماره (۳-۴) بیشتر درزه های برداشت شده از مغزه های گمانه های کارگاه آزمایشی و کنترلی نزدیک به ۳۰ درجه می باشند. این پرده برای عبور از تعداد بسیار زیادی از بزرگ درزه ها و دسته درزه ها که آن ها را با شیب ۹۰ درجه یا نزدیک به قائم قطع نماید باید دارای شیب کلی ۳۰ درجه نسبت به قائم و به طرف بالادست باشد. این زاویه علاوه بر انجام هدف فوق با توجه به فاصله بین سازند آسماری و سازند پایده باعث اتصال قسمت پی و زون ناتراوا می گردد. با توجه به زاویه احداث پرده تزریق مستلزم حفر یکسری گمانه تا عمق ۱۵۰ متر می باشد.

### ۵-۵-۲- تکیه گاه های راست و چپ

در قسمت تکیه گاه ها نیز همانند پی موقعیت ابتدایی دهانه گالری های تزریق تابع موقعیت مکانی بدنه سد می باشد. پرده آب بند برای انجام بهتر آب بندی از تراز تاج سد ( $el = 1032 \text{ m}$ ) و در ۵ طبقه در ۱۰ گالری در سمت راست و چپ سد احداث می گردد. دلیل انتخاب این تراز اجتناب از مشکلات ناشی از انجام عملیات حفاری به دلیل احتمال بوجود آمدن انحراف در گمانه که ناشی از افزایش وزن لوازم حفاری است می باشد. انجام این کار باعث اجتناب از به کار بردن دستگاه های

خاص و افزایش ضریب اطمینان می گردد. عمق پرده در تکیه گاه ها ۳۸۰ متر می باشد که تا زمان رسیدن به سازند پابده و نفوذ حداقل ۱۰ متر در داخل این سازند ادامه می یابد ( ۲۳۰ متر از تراز تاج سد و ۱۵۰ متر از تراز پی ).

### ۵-۵-۳- گسترش جانبی پرده آب بند

پرده آب بند بایستی در تکیه گاه های سد کارون ۴ در ساحل چپ در گالری های تزریق LG1 ، LG2 ، LG3 ، LG4 ، LG5 و در ساحل راست در گالری های تزریق RG1 ، RG2 ، RG3 ، RG4 ، RG5 احداث گردد.

### ۵-۵-۳-۱- گسترش جانبی پرده آب بند در ساحل چپ

پرده آب بند باید تا سازند پابده ادامه پیدا کند. در صورتی که پرده به سازند پابده نرسد به دلایل زیر موجب فرار آب از مخزن می گردد:

۱- فشارهای هیدرو استاتیک پس از آب گیری مخزن

۲- وجود دسته درزه های اصلی و فرعی قابل مشاهده در گالری ها

۳- وجود مجموعه نیروگاه در پایین دست ساحل چپ

بنابراین احداث پرده آب بند باید تا سازند پابده ادامه پیدا کند و به میزان ۱۰ متر وارد آن گردد.

### ۵-۳-۲- گسترش جانبی پرده آب بند در ساحل راست

به دلایل زیر باید پرده تزریق در قسمت ساحل راست تا سازند پابده ادامه پیدا کند و وارد آن گردد.

۱- وجود تونل های انحراف شماره ۱ و ۲ در ساحل راست که به دلیل مقاومت بالای سنگ آهک در برخی از قسمت ها انحراف شماره ۲ دارای پوشش بتنی محافظ نمی باشد. در صورت صحیح نبودن آب بندی این موضوع ممکن است در دراز مدت باعث بالا رفتن فشار منفذی در این قسمت ها و احتمالاً خرابی سقف تونل انحراف شماره ۲ گردد.

۲- وجود سازه سرریز در قسمت بالا دست ساحل راست.

از جمله مشکلات موجود در طرح احداث گالری های تزریق و زهکش سد کارون ۴ لزوم انجام مطالعات بیشتر در زمان مطالعات اولیه طرح از موقعیت و نوع گسل های موجود در منطقه و عملکرد این گسل ها می باشد. این موضوع باعث گردیده که در زمان اجرای پروژه عملاً به دلیل کمبود اطلاعات و اشتباه در اندازه گیری فواصل تکیه گاه در دره محل احداث بدنه سد و زون پابده چندین مرحله در حین اجرای عملیات حفاری طول گالری ها افزایش یابد.

گمانه ها بایستی در یک خط و در صفحه پرده قرار گرفته باشند. با توجه به فراوانی درزه ها در مغزه های بدست آمده از گمانه ها و وجود زاویه نزدیک به ۳۰ درجه در بیشتر آن ها شیب پرده نسبت به قائم به ترتیب در گالری های  $LG_1$  و  $RG_1$  حدود ۵ درجه و در گالری های  $LG_2$  و  $RG_2$  حدود ۱۰ درجه و در گالری های  $LG_3$  و  $RG_3$  حدود ۱۵ درجه و در گالری های  $LG_4$  و  $RG_4$  حدود ۲۰ درجه و در گالری های  $LG_5$  و  $RG_5$  حدود ۳۰ درجه باشد. دلیل انجام این کار کم بودن فشار در طبقات بالا و سرعت بخشیدن به کار است.

طی عملیات حفاری می بایست امتداد و شیب گمانه ها بطور دایم کنترل گردند. علت کنترل مداوم احتمال بروز انحراف به دلیل وجود دسته درزه های مختلف و متخلخل بودن سنگ و وزن

فصل پنجم \_\_\_\_\_ طرح پرده آب بند

لوازم حفاری می‌باشد. در صورت وجود انحراف بیش از ۲ تا ۳ درجه باید گمانه مجددا حفاری گردد. با توجه به متخلخل بودن سنگ ساختگاه عملیات حفاری تا بدست آوردن موقعیت مناسب جهت نصب پکر انجام می‌گیرد. انجام شستشوی گمانه جهت اجرای تزریق تا زمانی که آب برگشتی کاملا صاف باشد ادامه پیدا می‌کند.

#### ۵-۶- برآورد اولیه مصالح مورد نیاز

با توجه به نتایج مربوط به خوردند کارگاه آزمایشی مطابق جدول (۴-۴) و میانگین گیری از نسبت های مصالح استفاده شده مقدار مصالح مورد نیاز برای انجام تزریقات در یک گمانه برابر است با :

$$۱/۸ : ۱ = \text{میانگین نسبت آب مصرفی به مصالح خشک}$$

$$۱۱۲۵ \text{ Kg} = \text{میانگین وزن سیمان مصرفی}$$

$$۲۰۸ \text{ Kg} = \text{میانگین وزن بنتونیت مصرفی}$$

$$۶۲۵ \text{ Lit} = \text{میانگین مقدار آب مورد نیاز}$$

بنابراین مقدار درصد مصالح در ترکیب دوغاب برابر جدول (۵-۱) است.

جدول شماره ۵-۱- درصد مصالح در ترکیب دوغاب

مصالح مورد نیاز	آب	سیمان	بنتونیت
مقدار (%)	۳۲	۵۷	۱۱

### ۵-۶-۱- مقدار مصالح مورد نیاز در تکیه گاه ها

برابر طرح اولیه که در پیوست (د) تحلیل گردیده است، مجموع طول گالری های تزریق برابر ۳۲۸۵ متر برآورد شده است. در احداث پرده تزریق با دو ردیف گمانه حداقل ضخامت آن برابر با ۴ m می باشد. بنابراین حجم اولیه مصالح مورد نیاز در تکیه گاه ها برابر است با :

$$\text{حجم دوغاب مورد نیاز} = ۳۲۸۵ * ۳۸۰ * ۴ * ۶/۰۴ = ۳۰۱۵۸۹ \text{ m}^3$$

$$\text{وزن سیمان مورد نیاز} = ۳۰۱۵۸۹ * ۱/۳ * ۱/۵۷ = ۲۲۳۴۷۷ \text{ ton}$$

$$\text{وزن بنتونیت مورد نیاز} = ۳۰۱۵۸۹ * ۱/۱۱ * ۱/۱ = ۳۶۴۹۲ \text{ ton}$$

$$\text{حجم آب مورد نیاز} = ۳۰۱۵۸۹ * ۰/۳۲ = ۹۶۵۰۸ \text{ m}^3$$

به دلیل آب اندازی و خارج شدن آب مصرفی از ترکیب دوغاب باید برابر حجم آب محاسبه شده

مصالح خشک به مقادیر اولیه اضافه شود. بنابراین مقدار مصالح مورد نیاز برابر خواهد بود با :

$$\text{وزن نهایی سیمان مورد نیاز} = ۳۸۲۳۰۹ * ۱/۵۷ = ۳۲۰۴۶۵ \text{ ton}$$

$$\text{وزن نهایی بنتونیت مورد نیاز} = ۳۸۲۳۰۹ * ۱/۱۱ = ۶۱۸۴۴ \text{ ton}$$

$$\text{حجم نهایی آب مورد نیاز بر اساس مقدار مصالح خشک مورد نیاز} = ۱۷۹۹۱۰ \text{ m}^3$$

مقدار مصالح مورد نیاز برای اجرای عملیات تزریق براساس حجم کارکرد پرده به تفکیک گالری

ها در جدول (۵-۲) آورده شده است. محاسبات مربوط به حجم کارکرد در هر گالری در (پیوست د)

آورده شده است.

جدول شماره ۵-۲- مقدار مصالح مورد نیاز هر گالری به تفکیک

ردیف	نام گالری	درصد از کل پرده تزریق	مقدار مصالح مورد نیاز			مقدار مصالح مورد نیاز		
			سیمان (ton)	بتونیت (ton)	آب (m3)	سیمان (ton)	بتونیت (ton)	آب (m3)
1	LG1	10.60%	320465	61844	179910	33969	6555	19070
2	LG2	7.50%				24035	4638	13493
3	LG3	8.20%				26278	5071	14753
4	LG4	7.60%				24355	4700	13673
5	LG5	17.30%				55440	10699	31124
6	RG1	8.60%				27560	5319	15472
7	RG2	8.70%				27880	5380	15652
8	RG3	9.00%				28842	5566	16192
9	RG4	10.00%				32047	6184	17991
10	RG5	12.50%				40058	7731	22489

۵-۶-۲- مقدار مصالح مورد نیاز در پی

در قسمت پی طول مورد تزریق برابر ۱۴۰ متر است. بنابراین تعداد گمانه های تزریق با فاصله ۱

متر در دو ردیف برابر با ۲۸۰ حلقه است. مقدار مصالح مورد نیاز عبارت است از :

$$\text{حجم اولیه دوغاب مورد نیاز} = ۴ * ۱۵۰ * ۱۴۰ * ۶/۰۴ = ۵۰۷۴ \text{ m}^3$$

$$\text{وزن اولیه سیمان مورد نیاز} = ۵۰۷۴ * ۱/۳ * ۱۵۷\% = ۳۷۶۰ \text{ ton}$$

$$\text{وزن اولیه بتونیت مورد نیاز} = ۵۰۷۴ * ۱/۱ * ۱۱\% = ۶۱۴ \text{ ton}$$

$$\text{حجم اولیه آب مورد نیاز} = ۵۰۷۴ * ۳۲\% = ۱۶۲۴ \text{ m}^3$$



مانند قسمت تکیه گاه باید در قسمت پی نیز به مقدار آب مصرفی دوغاب به مقدار مصالح خشک افزوده گردد.

$$\text{وزن نهایی سیمان مورد نیاز} = ۱۷۶۹ + ۳۷۶۰ = ۴۲۵۲ \text{ ton}$$

$$\text{وزن نهایی بنتونیت مورد نیاز} = ۶۱۴ + ۲۸۹ = ۸۲۰ \text{ ton}$$

$$\text{حجم نهایی آب مورد نیاز بر اساس مقدار مصالح خشک مورد نیاز} = ۳۰۲۶ \text{ m}^3$$

### ۵-۶-۳- مخلوط تزریق

جهت انجام تزریق در پی معمولاً از مخلوط آب و سیمان با نسبت‌های متفاوت و افزودنی‌های مختلف نظیر سوسپانسیون‌ها، رس، کف‌ها، مونتموریلونیت، بنتونیت، ماسه و ... به مقدار بسیار اندک استفاده می‌گردد. با توجه به عدد بلین سیمان پرتلند تجارتي  $3400 \text{ cm}^2/\text{g}$  می‌توان آنرا بدون محدودیت برای انجام تزریقات در شکاف‌های بسیار باریک به کار برد. ضمناً این نوع سیمان پس از گیرش دچار تورم می‌شود که می‌تواند به خوبی فضای داخل درز و شکاف‌ها را پر کند. از ماسه در صورت برخورد با غار‌ها و یا کارست‌هایی با حجم زیاد استفاده می‌گردد و به روش پری پاکت تزریق انجام می‌شود [10].

چنانچه از نتایج حاصل از کارگاه آزمایشی پیداست (فصل چهارم) غلظت اولیه دوغاب بر اساس وزن با نسبت‌های مختلف و از یک مخلوط رقیق با نسبت وزنی (W:C = ۱ : ۳) تا مخلوط غلیظ با نسبت وزنی (W:C = ۰/۶ : ۱) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

علت این امر این است که هم مقاومت مورد نیاز پرده تامین گردد و هم درزه‌هایی با بازشدگی متفاوت را مسدود نماید. ضمن اینکه در انتخاب مخلوط اولیه قابلیت هدایت هیدرولیکی توده سنگ نیز تاثیر بسزایی دارد. مطابق برداشت‌های زمین‌شناسی که در فصل دوم آمده است به دلیل بازشدگی متوسط درزه‌ها (۲/۲۵ mm)، سیمان پرتلند به همراه بنتونیت قابلیت نفوذ در آنها را داشته و نیازی به استفاده از کف‌ها و یا محلول‌های شیمیایی فوق‌روان‌کننده نیست.

## ۵-۷- طراحی فشار

فشارهای تزریق تابع مقاومت سنگ می‌باشد. به این دلیل باید برای سازندهای آسماری و پابده جداگانه طراحی گردد.

### ۵-۷-۱- فشار در سازند آسماری

فشار تزریق در سازند آسماری باید به حدی باشد که باعث رانده شدن پرشدگیها از داخل درزه‌ها گردد. همچنین فشار بالا می‌تواند با ایجاد گسیختگی هیدرولیکی در رس و فشرده کردن توسط آمیزه باعث بالا رفتن مقاومت رس در مقابل فشار آب گردد [11].

سنگهای این سازند مقاوم و تراوا می‌باشند. اورت معتقد است چون در این نوع سنگها شکستگی هیدرولیکی ایجاد نمی‌گردد، می‌توان با افزایش فشار تزریق و اتساع درزه‌ها شعاع نفوذ آمیزه را افزایش داد [17] [16].

در پرده دو ردیفه مورد نیاز فشار موثر تزریق حاصل از نتایج کارگاه آزمایشی برابر فشار آزمایش WPT در نظر گرفته شود و در صورت لزوم و عدم دستیابی به معیار اشباع افزایش یابد. در نزدیکی دره فشار تزریق باید به نصف فشارهای آزمایش کاهش یابد تا باعث ناپایداری دیواره دره نشود.

### ۵-۷-۲- فشار در سازند پابده

با توجه به شرایط ژئو مکانیکی ساختگاه و نتایج آزمایشات مکانیک سنگی منطقه سنگهای این سازند ضعیف‌تر از سنگهای سازند آسماری می‌باشد. بنابراین فشار تزریق باید به صورتی باشد تا گسیختگی هیدرولیکی در سنگهای مارن آهکی و مارن ایجاد نکند.

## فصل ششم :

بررسی طرح پرده آب بند با

نرم افزار FLUENT

## فصل ششم

### بررسی طرح پرده آب بند با نرم افزار FLUENT

#### ۶-۱- مقدمه

در سال های اخیر نرم افزارهای متعددی برای انجام مدل سازی فعالیت های مهندسی طراحی شده و کارآمدی هریک نیز به اثبات رسیده است. شبیه سازی با استفاده از این قبیل نرم افزارها با توجه زمان و هزینه اندک در مقایسه با ساخت مدل های طبیعی توصیه شده است.

در همین راستا برای بررسی تاثیر برخی پارامترها در پرده آب بند سد کارون ۴ از نرم افزار FLUENT استفاده شده است.

#### ۶-۲- مدل سازی و بررسی نتایج با نرم افزار FLUENT

این نرم افزار با قابلیت بررسی جریانات سیال اعم از مایعات نیوتنی، بینگهامین، و جریان هوا، در انواع مختلف و یا سایر ترکیبات مشابه با خواص مربوط به خود است. کاربرد این نرم افزار در مهندسی مکانیک به اثبات رسیده است و میتواند مفروضات زیر را در مورد اجسام در نظر بگیرد.

۱- وجود تخلخل در اجسام

۲- سنجش ابعاد مختلف با یکدیگر

۳- تحلیل ارتباط بین ورودی و خروجی معرفی شده به نرم افزار

۴- بررسی و حذف فضاهای منفی احتمالی

جریان آب در زیر پی و تکیه گاه های یک سد را می توان مشابه حرکت یک سیال در یک فیلتر در نظر گرفت. این موضوع به عنوان ایده اولیه استفاده از نرم افزار FLUENT بوده است. در همین

راستا ضریب نفوذپذیری در بدنه یک سد بتنی را می توان به دلیل ناچیز بودن برابر صفر در نظر گرفت و فقط محیط پی را مورد بررسی قرار داد. این نرم افزار با استفاده از روش  $CFD^1$  نسبت به حل معادلات حاکم بر سیالات با شبیه سازی کامپیوتری اقدام می کند.

### ۳-۶- معرفی معادلات حاکم در نرم افزار FLUENT

معادلات اصلی در نرم افزار FLUENT شامل معادلات بقای جرم و مومنتم می باشند. سایر موارد از جمله سرعت، اینرسی، اغتشاش و ... با استفاده از این معادلات قابل بررسی می باشند. معادلات انتقال اضافی نیز به هنگام وجود جریان مغشوش حل می گردند.

#### ۳-۶-۱- معادله بقای جرم (پیوستگی)

رابطه (۱-۶) شکل کلی معادله بقای جرم است. از معادلات بقای جرم پیوستگی، سرعت در جهت  $x$  و  $y$  مورد محاسبه قرار می گیرد.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = S_m \quad \text{رابطه (۱-۶)}$$

که در آن:

$S_m$ : جرم اضافه شده

$X$ : مختصات محوری

$\rho$ : جرم ماده

$U$ : سرعت محوری

<sup>۱</sup> - دینامیک سیالات محاسباتی

### ۶-۳-۲- معادلات بقای مومنتم

معادلا بقای مومنتم در جهت  $i$  به صورت زیر است:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad \text{رابطه (۲-۶)}$$

که در آن :

$P$  : فشار هیدرو استاتیک

$\tau_{ij}$  : تانسور تنش

$\rho g_i$  : نیروهای جسمی گرانشی

$F_i$  : نیروهای جسمی خارجی یا ترم هایی نظیر تخلخل

در بررسی جریان در یک صفحه هنگامی که عدد رینولدز کوچکتر از  $5 \times 10^5$  باشد جریان به صورت مغشوش و در صورتیکه بیشتر از این مقدار باشد جریان آرام است. در بسیاری از کتاب ها و مقالات جریان آرام به اشتباه خطی منظور شده که باید بین این موارد تفاوت قایل شد. عدد رینولدز را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$Re = \frac{\rho V_x}{\mu} \quad \text{رابطه (۳-۶)}$$

که در آن :

$\rho$  : چگالی سیال

$V$  : سرعت متوسط سیال در جهت  $x$

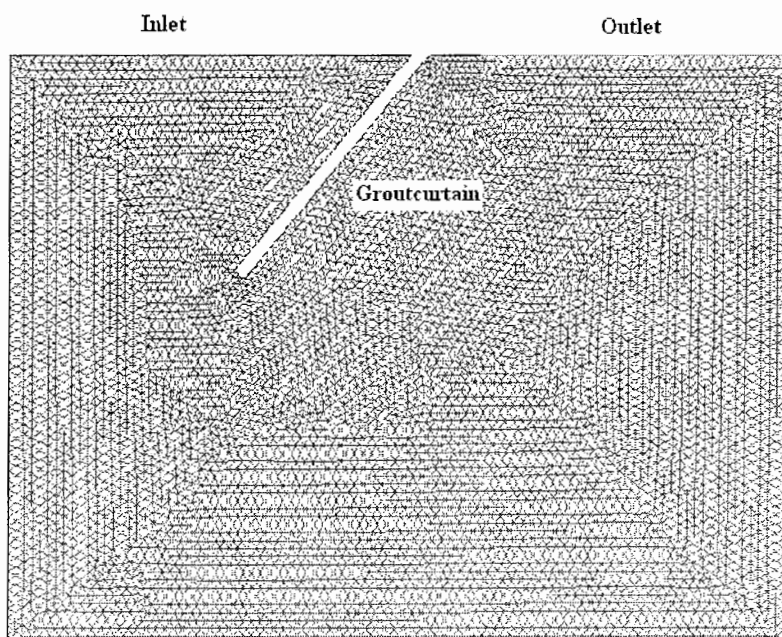
$X$  : طول مورد مطالعه

$\mu$  : ویسکوزیته دینامیکی

**Re** : عدد رینولدز

#### ۴-۶- بررسی نتایج حاصل از مدل سازی با نرم افزار FLUENT

برای معرفی محیط مورد مطالعه ابتدا توسط مجموعه نرم افزارهای Exeed و Gambit مشخصات فیزیکی محیط و شرایط مرزی را ترسیم می نماییم. خروجی این نرم افزارها برابر شکل (۶-۱) به صورت محیطی مشبک برای تحلیل مناطق مختلف زیر سد است. برای تحلیل پرده آب بند این قسمت به صورت یک منطقه با خاصیت مجزا از سایر مناطق جدا می شود. با توجه به مبحث تاثیر فاکتور مقیاس در آزمایشگاه و زمین طبیعی می توان کل محیط را به صورت همگن و با تخلخل واحد در نظر گرفت. مقدار تخلخل با ضریب وزنی مربوط به قطعات گمانه ها برابر  $0.4/0.6$  تعیین گردیده است. پس می توان در تحلیل با نرم افزار کل محیط مورد مطالعه را از یک جنس و جدایش محیط ها را در نتایج قائل شد.



Grid

Sep 11, 2005  
FLUENT 6.0 (2d, segregated, ske)

شکل شماره ۶-۱- شبکه تشکیل شده برای تحلیل پرده آب بند

پس از تشکیل شبکه با نرم افزار FLUENT سایر مشخصات به شرح ذیل تعریف شده است.

۱- حداکثر فشار در قسمت ورودی با توجه به حداکثر ارتفاع آب پس از آبیگری مخزن برابر  $2/300/000$  پاسکال است.

۲- فشار در قسمت خروجی برابر با صفر است

۳- سیال در محیط آب مایع است.

۴- حداکثر اغتشاش در قسمت ورودی و خروجی برابر با  $5\%$  است.

۵- میانگین تخلخل موجود در محیط به استناد گمانه های حفر شده برابر  $6/04\%$  است.

۶- میانگین ضریب نفوذپذیری در تکیه گاه راست، تکیه گاه چپ و تونل های آب بر نیروگاه برابر  $3/2 \times 10^{-7}$  است.

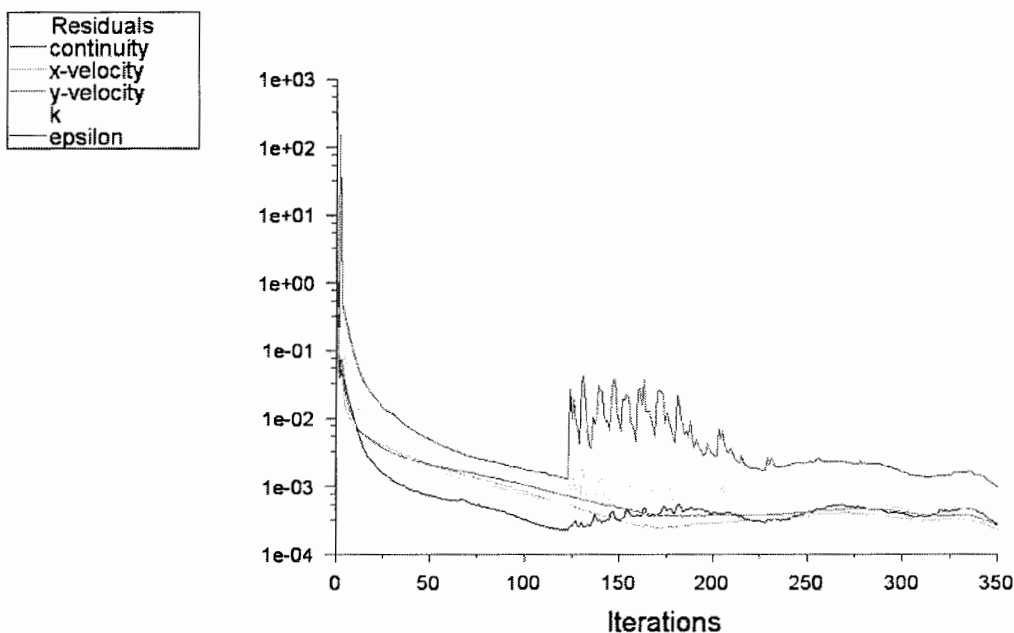
۷- در تراز پی طول پرده آب بند برابر با  $150$  متر و با زاویه  $60$  درجه به سمت بالا دست بدنه سد ترسیم شده است.

۸- به دلیل اهمیت لبه ها به هنگام مش بندی در مناطق حساس تقسیمات بیشتری انجام گیرد.

۹- مقیاس در اندازه صحیح انتخاب گردد.

برابر نتایج آزمایشات صحرایی  $41\%$  از نتایج حاصل از آزمایش WPT نشان دهنده وجود جریان مغشوش هستند. در بررسی حرکت سیالات عدد رینولدز در تعیین حد اغتشاش موثر است بنابراین در جریان مورد مطالعه برای حل، مدل دارای ویسکوزیته انتخاب گردید. در تمامی نرم افزارهایی که به روش عددی به حل مسائل می پردازند اگر باقی مانده معادلات کمتر از  $1 \times 10^{-3}$  شود اصطلاحاً نمودارها همگرا و جواب قابل قبول است. در شکل شماره (۶-۲) باقی مانده حاصل از حل پنج دسته از معادلات نشان داده شده است. پس از  $350$  تکرار جواب قابل قبول به دست آمده و دسته معادلات همگرا شده اند.



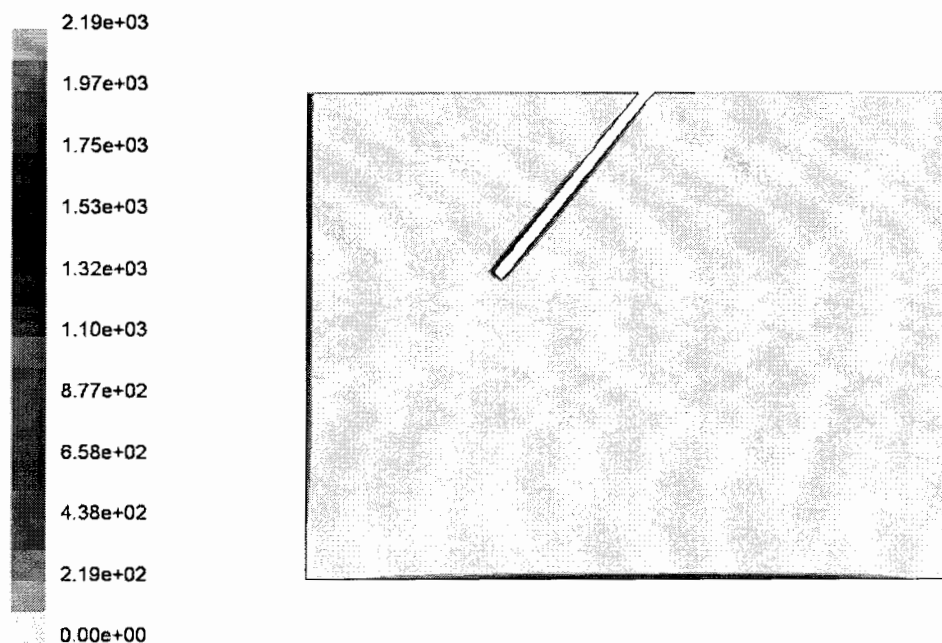


Scaled Residuals Sep 11, 2005  
FLUENT 6.0 (2d, segregated, ske)

شکل شماره ۶-۲- باقی مانده حاصل از تکرار حل معادلات

همانطور که در شکل شماره (۶-۳) مشاهده می شود با توجه به شکل و مشخصات تعریف شده میزان تنش برشی در دیواره ها بر حسب پاسکال محاسبه شده است. وجود تنش در اطراف پرده آب بند نشان دهنده لزوم دقت به هنگام احداث برای جلوگیری از فرسایش و یا تخریب موضعی پرده است. همانطور که مشاهده می شود این مقدار کمتر از نتیجه آزمایش مقاومت فشاری دوغاب ساخته شده (۵ Mpa) می باشد ولی به دلیل تداوم فشار در صورت بروز مشکل به تدریج تمامی پرده تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. نتایج حاصل از آزمایشات تداوم نیز از مقاومت کافی توده سنگ ساختمانی در برابر این تنش حکایت می کند. حداکثر میزان تنش برشی وارده بر لبه های پرده تزریق برابر  $10^{+2} \times 8/77$  پاسکال می باشد. در بالادست و پایین پرده وجود این تنش به دلیل تغییر جهت جریان سیال است. وجود این تنش در پایین دست دیوار آب بند به دلیل وجود جریان گردابی در نزدیکی این منطقه است. در عین حال مقدار این تنش در حد مجاز و بسیار کمتر از مقاومت

پرده است. مقاومت توده سنگ تشکیل دهنده ساختگاه (M Pa) ۱۹۵ نیز در برابر نیروی وزن مخزن و تنش های وارده در حد مطلوب است.



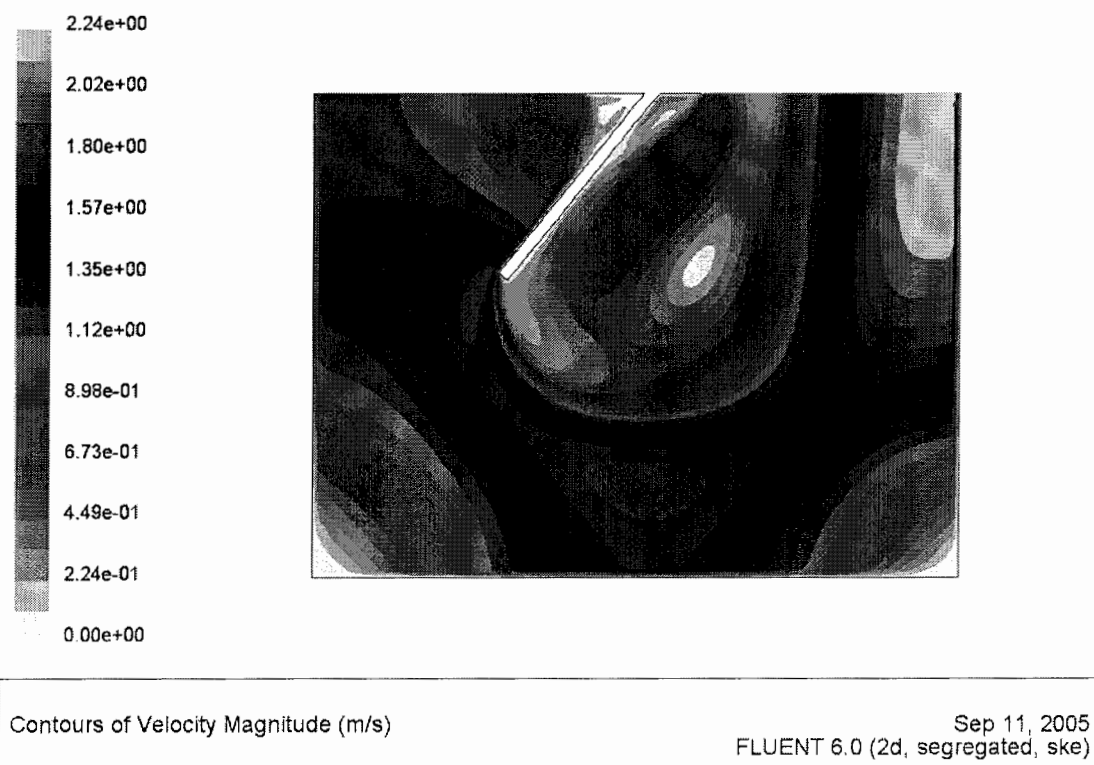
Contours of Wall Shear Stress (pascal)

Sep 10, 2005  
FLUENT 6.0 (2d, segregated, ske)

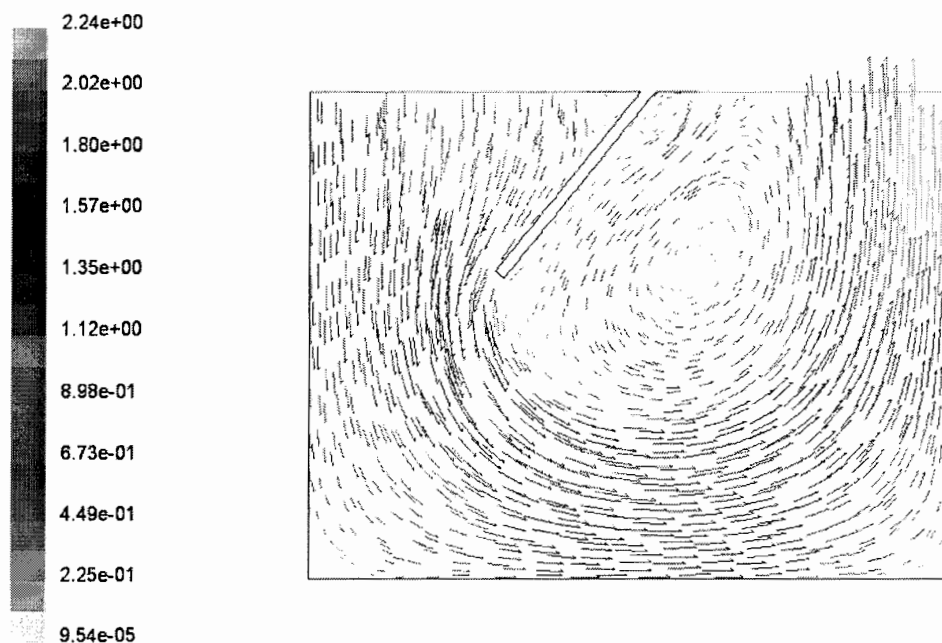
شکل شماره ۶-۳- مناطق تحت تاثیر تنش برشی و مقادیر تنش وارده

در شکل شماره (۶-۴) میزان سرعت جریان در زیر پی سد نشان داده شده است. مورد قابل ملاحظه کاهش شدید سرعت جریان در اطراف پرده آب بند است. در محدوده احداث بدنه سد یعنی در حدفاصل ۲۰ متر بالا دست به تدریج مقدار سرعت کم می شود و در پایین دست سد مقدار سرعت از صفر تا حداکثر ۲/۲۴ متر بر ثانیه در خارج از محدوده احداث بدنه تغییر می کند. چنانچه ملاحظه می شود در زیر و پایین دست پرده آب بند منطقه ای گردابی دیده می شود. این منطقه نشان دهنده تاثیر سرعت بر قسمت پایینی پرده آب بند در زون پابده است. زون پابده با زاویه میل ۷۰ درجه نسبت به قائم در پایین پرده تزریق قرار گرفته است. از این قسمت تا پایین دست پرده تزریق سازند آسماری به ترتیب از مارن های آهکی تا آهک متخلخل قرار گرفته است.

افزایش طبیعی تخلخل در این قسمت ها باعث کشیده شدن جریان به این مناطق و به دلیل بروز اغتشاش جریان به صورت گردابی و با سرعت کم نمایان می شود. در اطراف هر گردابه منطقه ای با سکون نسبی وجود خواهد داشت که از تاثیر بر سازه های اطراف جلوگیری می کند. در بخشی از پی که این گردابه کامل است خود در جهت پایداری عمل می کند و مانع از تاثیر بر مناطق سطحی پی و بروز فشار برخواست یا شکست هیدرولیکی می گردد. مناطق سطحی تحت تاثیر سرعت آب، در حدود ۱۰۰ متری پایین دست بدنه سد می باشند. دلیل این موضوع اختلاف تراز بین هد آب بعد از آگیری مخزن با محیط پایین دست می باشد. به این ترتیب از هجوم آب های زیرزمینی به سمت سازه های پایین دست جلوگیری می شود. برای کمک به عملکرد مطلوب پرده آب بند در قسمت پایین دست سد نشیب بند نیز اجرا می گردد. برای درک بهتر از جهت جریان در شکل شماره (۵-۶) بردارهای جریان سرعت نشان داده شده است.



شکل شماره ۴-۶- مقادیر سرعت جریان آب زیرزمینی در پی و تکیه گاه ها

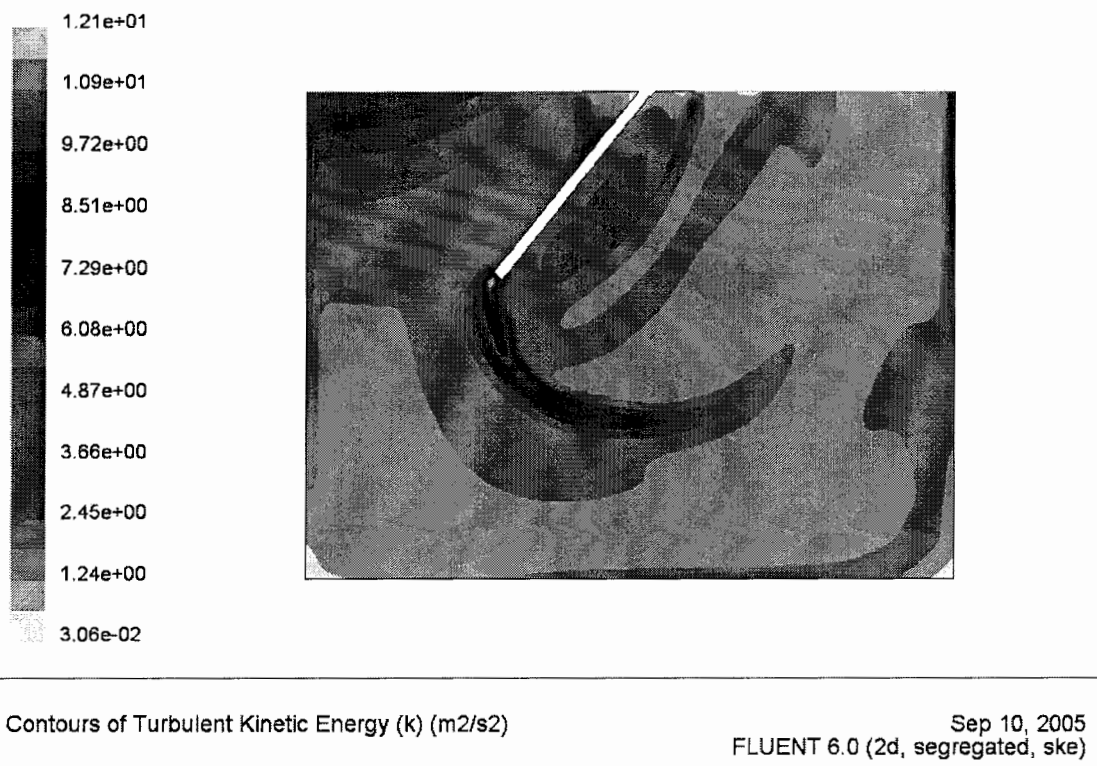


Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Sep 11, 2005  
FLUENT 6.0 (2d, segregated, ske)

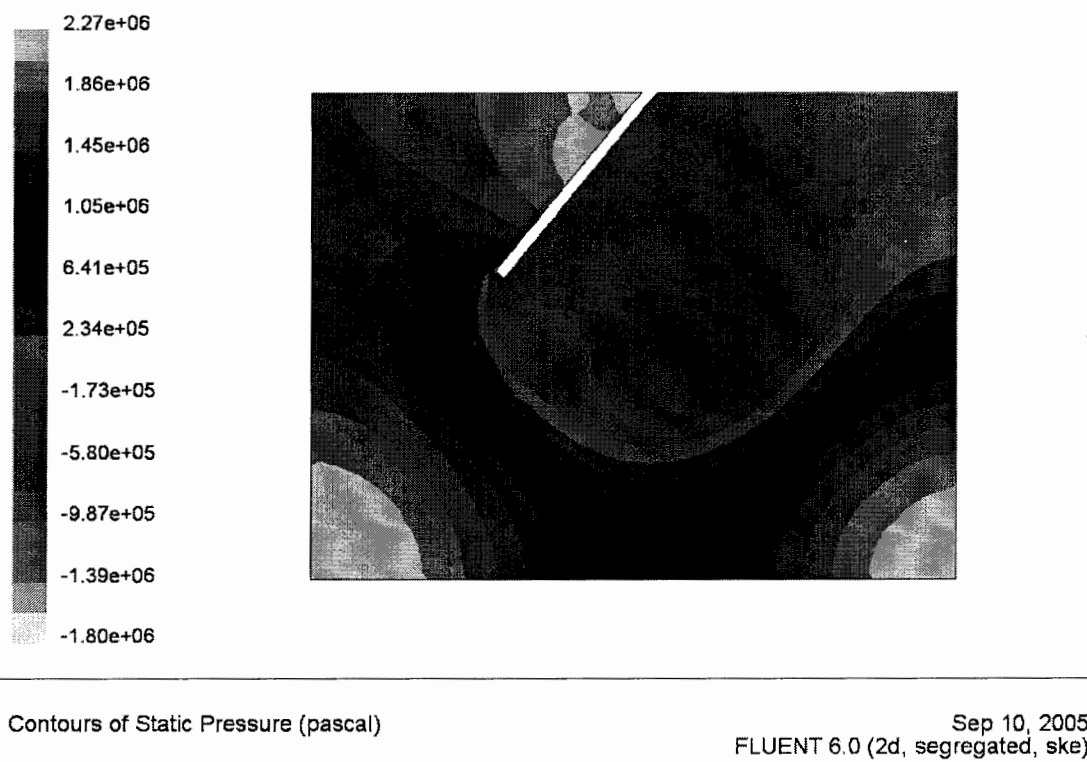
شکل شماره ۶-۵- بردارهای سرعت جریان آب زیرزمینی در پی و تکیه گاه ها

اغتشاش در زیر بدنه سد یکی از عوامل اساسی در برهم خوردن تعادل هیدرولیکی و بروز تخریب در مناطق اتصال پرده آب بند با بدنه سد و تکیه گاه ها است. وجود اغتشاش در یک محیط با سرعت جریان سیال در آن نقطه رابطه خطی و مستقیم دارد. چنانچه در شکل (۶-۶) مشاهده می شود مناطق تحت تاثیر اغتشاش درست در زیر بدنه سد در بالا دست پرده و در محل اتصال با زون پایده است. برای کنترل اغتشاش در محل اتصال با زون پایده می توان عمق نفوذ در این قسمت را بیشتر در نظر گرفت. این موضوع به دلیل پایین بودن نفوذپذیری در این زون و در نتیجه کاهش طبیعی سرعت، فشار و اغتشاش است. در زیر بدنه سد نیز باید نسبت به تقویت مناطق اتصال و افزایش تقریبی ضخامت در مناطق سطحی بالادست اقدام کرد.



شکل شماره ۶-۶- مقادیر اغتشاش و انرژی جنبشی

در شکل شماره (۶-۷) مناطق تحت تاثیر فشار استاتیکی نشان داده شده است. فشار استاتیکی با توان دوم سرعت حرکت سیال رابطه مستقیم دارد. بنابراین تغییرات جزئی در سرعت باعث بوجود آمدن تغییرات اساسی در فشار استاتیکی محیط می گردد. با بررسی بیشتر می توان به این نتیجه رسید که تغییر موضعی سرعت حرکت سیال در یک منطقه باعث تغییرات اساسی در فشار استاتیکی می گردد. در نتیجه افزایش فشار و سرعت حرکت سیال اغتشاش در آن منطقه افزایش می یابد و ممکن است از نظر مقداری بر مقاومت پرده آب بند غلبه کرده و باعث تخریب آن گردد. در نتیجه ثابت ماندن این فشار در جهت پایداری سیستم عمل می کند. این عامل در گوشه های تیز بسیار حائز اهمیت است. از جمله مناطقی که از این رابطه کلی تبعیت نمی کند گوشه بین پرده آب بند و بالادست سد می باشد. دلیل این موضوع گیر افتادن سیال و بالا رفتن سرعت و اغتشاش به صورت موضعی می باشد. کنترل جریان در این منطقه بسیار مهم بوده و لازم است در حین اجرای عملیات تزریق توجه خاصی به آن انجام گیرد.



شکل شماره ۶-۷- مقادیر فشار استاتیکی (Pa)

در صورت بروز مشکل حین احداث پرده تزریق به یکی از دلایل زیر:

۱- انحراف پرده از حد استاندارد

۲- یا عدم دستیابی به معیار اشباع و بروز نشت در یک قسمت

سرعت حرکت سیال در آن قسمت افزایش می یابد. فشار استاتیکی با توان دوم سرعت زیاد شده و عامل بروز تخریب می گردد. در این صورت خطوط جریان فواصل کوتاه تری را می پیمایند و باعث تخریب بدنه و سایر سازه های وابسته می گردند.

با احداث پرده تزریق نمی توان از جریان آب در زیر یک سد جلوگیری نمود. احداث این پرده باعث طولانی شدن مسیر حرکت آب و در نتیجه کاهش گرادیان هیدرولیکی و کاهش فشار برخواست در پی و تکیه گاه ها میشود. به استناد آزمایشات شاخص صورت گرفته (فصل سوم) مقاومت توده سنگ و تخلخل سنگ آهک نسبت به زون پابده بیشتر است. به دلیل تخلخل بیشتر

جریان زه آب در این سازند از سرعت و مقدار بیشتری برخوردار می گردد. برای کاهش سرعت آب در این منطقه و کاهش خطر باید هنگام اجرای پرده دقت کافی را انجام داد.

فصل هفتم :

نتیجه گیری



## فصل هفتم

### نتیجه گیری

#### نتایج :

- ۱- در دیدگاه کلی به مقوله آب می توان مهمترین دلیل احداث سد در کشور را برای تامین آب مصرفی ساکنین دانست. در این راستا کنترل آب و جلوگیری از هدر روی آن بسیار مهم می باشد. هدر رفتن آب می تواند مهمترین دلیل احداث سدهای بزرگ را که ذخیره سازی آب و تولید برق است را از بین ببرد. برای جلوگیری از هدر رفتن آب و محافظت سد و سازه های وابسته در مقابل خطر هجوم آب های زیرزمینی انجام عملیات آب بندی درسد کارون ۴ امری لازم است.
- ۲- افزایش ارتفاع در سدها باعث بوجود آمدن گرادیان و شیب هیدرولیکی بسیار تندی در قسمت پی و زیر تکیه گاه ها می گردد. این شیب و گرادیان بسته به اهمیت سازه های پایین دست در تعیین نوع آب بندی موثر است.
- ۳- برای کاهش تاثیر زاویه میل ناپیوستگی ها بر پایداری پرده آب بند لازم است که آب بندی ساحل راست با آزیموت حدود ۴۰ درجه و در ساحل چپ با آزیموت حدود ۳۰۰ درجه انجام گیرد.
- ۴- اجرای عملیات آب بندی در ساختگاه سد کارون ۴ به دلیل موقعیت سازندهای آسماری و پابده بسیار مهم است. به طوری که شکل قرار گیری باعث هجوم آب به سازند آسماری می گردد.
- ۵- به دلیل تاثیر مقیاس در تشخیص مناطقی از سازند آسماری که دارای تخلخل زیاد هستند به هنگام اجرای پرده آب بند باید از پیوسته بودن آن و عدم وجود پنجره اطمینان حاصل

نمود. لازم است پس از پایان احداث پرده با انجام آزمایشات ژئوفیزیک از عدم وجود شکستگی یا پنجره در پرده آب بند اطمینان حاصل نمود.

۶- انجام آزمایشات شاخص برای تعیین مقاومت مورد نیاز پرده و مقاومت مورد نیاز در پرکردن غارها یا حفره های احتمالی لازم است. با استفاده از نتایج آزمایشات شاخص و صحرایی و مقایسه با نتایج مدل سازی با نرم افزار می توان نسبت به کارآمدی طرح اطمینان حاصل کرد. پس از تکمیل طرح و آبگیری مخزن پیژومترها تنها نشان دهنده کار آمدی پرده آب بند با توجه به تراز آب زیر زمینی در قبل و بعد از احداث می باشند.

۷- نتایج آزمایشات صحرایی WPT و به دست آوردن ضرایب نفوذپذیری معادل نشاندهنده مقادیر پایینی برای ساختگاه سد کارون ۴ است. پس از آب گیری مخزن و افزایش فشار تا  $2/300/000$  پاسکال احتمال بازشدن درزه های مویین، رگاب، شکست هیدرولیکی و افزایش فشار برخواست وجود خواهد داشت. نقش پرده تزریق در کاهش و کنترل تاثیرات فوق احداث آنرا توجیه پذیر می کند.

۸- مقدار اولیه مصالح مورد نیاز بر مبنای تخلخل میانگین کل محدوده ساختگاه قابل محاسبه است. به دلیل احتمال فرار دوغاب تزریق در اثر وجود یک زون خرد شده، شکستگی و یا وجود یک درزه باز مقدار نهایی مصالح مورد نیاز اجرای عملیات قابل محاسبه نیست. در این مورد تنها می توان به محاسبه مقادیر اولیه و تعیین نوع مصالح احتمالی مورد نیاز پرداخت.

۹- در ترکیب دوغاب مصرفی با توجه به عدد بلین سیمان، زمان گیرش اولیه و بازشدگی متوسط درزه ها  $2/25$  میلیمتر نیازی به استفاده از فوق روان کننده احساس نمی گردد. برای تسهیل در امر نفوذ دوغاب استفاده از بنتونیت کافی است.

۱۰- در صورت برخورد با غار یا حفره های بزرگ انجام تزریق به روش پری پاکت انجام می گردد. در این صورت ماسه نیز به ترکیب دوغاب افزوده می گردد. دلیل استفاده از ماسه

افزایش مقاومت ترکیب دوغاب مصرفی در برابر فشارهای وارده از طرف مخزن می باشد. وجود ضعف در این مناطق باعث برهم خوردن تعادل هیدرولیکی و تخریب موضعی به مرور زمان می گردد. وجود تخریب های موضعی باعث تغییر در خطوط هم پتانسیل و تغییر جهت جریان آب به داخل این مناطق می گردد. در صورت عبور آب از مناطق ضعیف پرده آب بند تعادل هیدرولیکی در طرفین آن از میان می رود و باعث کاهش کارایی پرده می گردد. در صورتیکه وجود مناطق ضعیف و عبور آب زیاد شود کارایی پرده به دلیل تمرکز فشار در این نقاط و افزایش تخریب از میان می رود.

۱۱- به دلیل لزوم پرشدن درز و شکاف ها و برای نفوذ بهتر دوغاب نسبت وزنی اولیه شروع تزریق  $C:W$  برابر ۳ : ۱ انتخاب می گردد. به مرور زمان و تغییرات فشار در زمان های استاندارد ۵ دقیقه ای غلظت دوغاب باید تغییر کند. در صورت عدم تغییر یا کاهش فشار غلظت افزایش می یابد. اگر فشار تزریق افزایش یابد و خورند نیز مناسب باشد تزریق ادامه پیدا می کند. اگر با افزایش فشار دوغاب خورند نیز کاهش یابد عملیات تزریق متوقف می گردد.

۱۲- تصمیم گیری در مورد فشار تزریق، غلظت و ترکیب نهایی دوغاب طی انجام مراحل عملی تزریق میسر می باشد. با نتایج حاصل از کارگاه آزمایشی تنها می توان به پیش بینی پرداخت.

۱۳- در مدل سازی حرکت سیال از زیر یک سد بتنی تحلیل با استفاده از نرم افزار **Mseep** به دلیل عدم توانایی در درک قوس میسر نیست. استفاده از نرم افزار **SEEPW** نیز برای استفاده در تحلیل سدهای خاکی توصیه شده است. به دلیل ناچیز بودن نفوذپذیری بدنه سدهای بتنی می توان از حرکت سیال در آن صرفنظر کرد. نرم افزار **FLUENT** قابلیت بررسی حرکت سیال در یک محیط متخلخل بدون نیاز به ترسیم تاسیسات سطحی یا جانبی را داراست. این قابلیت کمک کننده در امر تحلیل تاثیر پرده پس از احداث است. در مدل سازی به کمک این نرم افزار داشتن اطلاعات دقیق در مورد معرفی کامل خصوصیات محیط و سیال ضروری است. بسیاری از اطلاعات و تحلیل ها با استفاده از نتایج آزمایشات شاخص یا صحرایی انجام می گردد.

### پیشنهادات:

- ۱- بررسی اجرای صحیح پرده آب بند با استفاده از آزمایشات مقاومت الکتریکی با حفر یک سری گمانه انجام گیرد.
- ۲- برای اطمینان از مقاومت پرده در برابر فشارهای پس از آبگیری مخزن با استفاده از شعاع تزریق به دست آمده و عمق و گسترش جانبی پرده مدل سازی بارگذاری مکانیکی برروی آن انجام گردد.
- ۳- برای شناخت بیشتر منطقه و اندازه گیری گسترش جانبی پرده لازم است تا گسل های موجود در تکیه گاه ها مورد بررسی بیشتر قرار گرفته تا وجود لایه های مارنی برای اتصال به زون ناتراوا یا با نفوذ پذیری پایین ثابت گردد.
- ۴- برای جلوگیری از انحراف گمانه ها به هنگام انجام تزریق پیشنهاد می گردد که پرده آب بند در پی سد با حفر یک گالری در دو تراز انجام گیرد. این موضوع برای کنترل انحراف از شیب طراحی نیز مفید است.
- ۵- با توجه به قابلیت نرم افزار **FLUENT** در مدل سازی جریان سیالات پیشنهاد می گردد تا کاربرد آن در سایر شاخه های مهندسی معدن بررسی گردد.

## فهرست منابع

## منابع و مراجع :

- ۱- ای - نانوایلر، ۱۳۷۵ "عملیات مهندسی تزریق" ، ترجمه و انتشار توسط مهندسين مشاور زاینده آب
- ۲- آزمایشگاه وزارت راه و ترابری "نتایج آزمایشات مکانیک سنگ" ۱۳۷۵
- ۳- آزمایشگاه زلزله راه و ترابری "نتایج آزمایشات مقاومت بتن و دوغاب" ۱۳۸۳
- ۴- برارام . داس ، ترجمه و تدوین : شاهپور طاهونی ، " اصول مهندسی ژئوتکنیک ؛ جلد ۱ : مکانیک خاک " ، چاپ چهارم ۱۳۷۶ ، انتشارات پارس آئین
- ۵- رضا ابن جلال ، محمود شفاعی بجستان ، " اصول نظری و عملی مکانیک خاک " ، ۱۳۷۰ ، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۶- سازمان زمین شناسی کشور "گزارشات و نقشه ۱:۱۰۰/۰۰۰ منطقه دهدز" ۱۳۸۲
- ۷- شرکت آب و نیروی ایران "راهنمای سدهای در دست ساخت" ۱۳۸۳
- ۸- شرکت مهندسی مشاوره ای مهتاب قدس "مطالعات مرحله میانکار" ۱۳۷۶
- ۹- شرکت مهندسی مشاوره ای مهتاب قدس "سمینار آب بندی سدهای بتنی" ۱۳۸۳ ، سایت کارون ۴
- ۱۰- دینامیک سیالات محاسباتی به کمک نرم افزار FLUENT، ۱۳۸۲ ، "نشر طراح"

[11]- Barton, N., DE Quadros, E.F., 1997, "perture and roughness in the predication of flow and groutability of rock masses", Int. J. of Rock Mech. And Min.Sci., 34, 3-4, pp. 700-710

[12]- Bolton, A.J.,2000, "Some measurements of permeability and effective stress on a heterogeneous soil mixture : implications for recovery of inelastic strain", Eng. Geo., 57, ppp.95-104

[13]- Bulut, F. Boynukalm, S., Tarhan, F. Dilek, R.,1995, "A new approach to the evaluation of water pressure test results obtained in

bedrock by the U.S. Bureau of Reclamation method", Eng. Geo., 44, pp. 235-243

[14]- Deere, D. V., 1982, "Cement-Bentonite grouting for dams", Conference of Grouting in Geotechnical engineering, ASCE, pp 279-300

[15]- EM 1110-2-1901, 1986, "Seepage Control in Earth Foundations", Chapter 9, USBR Reports

[16]- Ewert, F.K., 1997 "permeability & groutability and grouting of rocks related to dam sites ; Vol. VIII, Issue 3, pp. 215-248

[17]- Ewert, F.K., 1997, "Permeability & groutability and grouting of rocks related to dam sites ; Part I : grouting example and groundwater flow in rock", Dam Engineering, Vol. VIII, Issue 1, pp. 31-76

[18]- Gustafson, G. Stille, H., 1996, " Prediction of groutability from grout properties and hydro geological data ", Tunneling and underground space Technology, 11, 3, pp 325- 332

[19]- Hakami, E., Einstein, H.H., Gentire S., Jwano, M., 1995, " characterization of fracture-aperture methods and parameters" , Int . Cong on Rock Mech., ISRM, 2, pp. 751-754, Balkema, Rotterdam

[20]- Harr, M.E, 1962, " Groundwater and space ", Mac Graw Hill, New York

[21]- Housby, A.C, 1990, " Construction and design of cement Grouting :, John Wiley & sons

[22]- Housby, A.C, 1976, " Routine interpretation of Lugeon water test ", Q .J.Eng.Geo, London, 9 pp . 303-313

[23]- Housby, A.C, 1982, " Cement Grouting for Dams" Conference on Grouting in Geotechnical Engineering, ASCE, pp . 1-34

[24]- Kutzner, C., 1996, "Grouting of Rock and soil ", published by A.A Balkema, Rotterdam

[25]- Millavonic, A.C., 2000, "Karst Hydrology", 2nd edition, Elsevire, Amesterdam

[26]- Najar, y,m, Nasouss., W, A ., 1997, " seepage desing chart for dams on heterogeneous media " Numerical Models in Geomechanics, A.A Balkema, Rotterdam

[27]- Selroos J.O, Walker D.D., Andres Strom, Bjorn Gylling, Seven Follin, 2002, "Comparison of alternative modeling approaches for groundwater flow in fractural rock" , J. of Hydrology , 257 , pp.174-188

[28]- Shroff, Av., Shah D.L., 1993, "Grouting Technology in Tunnelling and Dam Construction", A.A. Balkema, Rotterdam

[29]- Widmann, R., 1996, "Commission on rock grouting ", Int. J. of Rock Meach. And Min. Sci. & Geomech. Abs ., 33, 8, pp.803-847



پیوست الف :

موقعیت گالریهای اکتشافی

00

10

0

—

پیوست ب :

نتایج آزمایشات WPT برخی از

گمانه های اکتشافی

جدول ب-۱- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-206

نام گمانه : ۲۰۶BH

مکان : Power Tunnel Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
1	927.2	0	-	-	-
2	926/7	0/5	0	-	100
3	926/2	1	0	-	100
4	925/8	1/4	0	-	100
5	924/6	2/6	57	-	100
6	923/2	4	57	92	100
7	922/2	5	57	53	100
8	920/2	7	100	94	100
9	917/2	10	100	96	100
10	915/2	12	100	98	100
11	912/7	14/5	100	100	100
12	912/2	15	0	86	100
13	910/2	17	0	86	100
14	907/5	19/7	10	79	100
15	906/8	20/4	10	29	100
16	905	22/2	55	50	100
17	904/4	22/8	55	50	83
18	901/8	25/4	55	82	100
19	900/2	27	45	81	100
20	897/2	30	0	98	100

ادامه جدول ب-۱- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-206

نام گمانه : - ۲۰۶BH

مکان : Power Tunnel Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
21	895/2	32	100	95	100
22	892/2	35	100	98	100
23	890/2	37	100	95	100
24	887/5	39/7	26	71	100
25	885/2	42	26	82	100
26	882/2	45	0	80	100
27	880/2	47	7	90	100
28	877/2	50	7	98	100
29	875/2	52	2	95	100
30	872/2	55	2	91	100
31	870/2	57	19	100	95
32	867/55	59/65	19	98	100
33	867/2	60	19	82	100
34	865/2	62	13	82	100
35	864/4	62/8	13	10	100
36	862/9	64/3	13	10	100
37	862/2	65	8	51	100
38	860/4	66/8	8	27	100
39	859/9	67/3	8	48	100
40	859/2	68	11	41	100

ادامه جدول ب-۱- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-206

نام گمانه : ۲۰۶BH

مکان : Power Tunnel Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
41	857/7	69/5	11	48	100
42	857	70/2	11	24	100
43	855/9	71/3	11	45	100
44	854/2	73	0	85	100
45	852/2	75	0	93	100
46	851/2	76	0	93	100
47	849/2	78	50	86	100
48	847/1	80/1	50	92	100
49	844/2	83	3	81	100
50	842/9	84/3	3	80	100
51	840	87/2	3	96	100
52	839/2	88	15	100	97
53	837/2	90	15	93	100
54	836/2	91	15	93	100
55	834/2	93	5	100	97
56	831/2	96	5	92	100
57	829/2	98	2	97	100
58	826/2	101	2	100	100
59	824/2	103	1	95	100
60	822/2	105	1	100	97

ادامه جدول ب-۱- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-206

نام گمانه : ۲۰۶BH -

مکان : Power Tunnel Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
61	821/2	106	1	100	100
62	819/2	108	2	100	100
63	817/2	110	2	80	100
64	814/2	113	4	96	100
65	811/2	116	4	93	100
66	809/2	118	0	97	100
67	807/2	120	0	55	100
68	806/3	120/9	0	55	100
69	804/2	123	6	98	100
70	801/4	125/8	6	95	100
71	799/2	128	100	84	100
72	796/4	130/8	100	85	100
73	794/2	133	45	88	100
74	792/2	135	45	72	97
75	791/3	135/9	45	82	100
76	789/2	138	8	0	100
77	788/7	138/5	8	58	100
78	786/55	140/65	8	83	100
79	783/7	143/5	1	75	100
80	780/9	146/3	1	86	89

ادامه جدول ب-۱- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-206

نام گمانه : ۲۰۶BH -

مکان : Power Tunnel Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
81	778/7	148/5	1	93	100
82	777/2	150	6	88	100
83	776/6	150/6	6	88	100
84	773/7	153/5	6	87	100
85	772/6	154/6	11	50	100
86	771/5	155/7	11	80	100



جدول ب-۲- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-207

نام گمانه : ۲۰۷BH -

مکان : Power Tunnels Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
1	1012/7	0	0	-	-
2	1012/2	0/5	0	-	100
3	1011/7	1	0	-	100
4	1011/2	1/5	0	-	100
5	1010/7	2	0	-	100
6	1010/2	2/5	0	-	100
7	1009/7	3	0	-	100
8	1008/7	4	0	100	100
9	1005/7	7	100	95	100
10	1003/7	9	100	70	100
11	1002/7	10	100	50	100
12	999/7	13	100	95	100
13	997/7	15	78	85	100
14	996/9	15/8	78	90	100
15	994/4	18/3	78	23	60
16	992/7	20	100	50	100
17	991/1	21/6	100	75	100
18	988/15	24/55	100	85	100
19	987/7	25	17	100	100
20	984/7	28	17	95	100

ادامه جدول ب-۲- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-207

نام گمانه : ۲۰۷BH -

مکان : Power Tunnels Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
21	982/7	30	48	70	60
22	980/3	32/4	48	85	100
23	977/7	35	27	75	100
24	974/7	38	27	80	100
25	972/7	40	2	72	100
26	969/7	43	2	95	100
27	967/7	45	87	90	100
28	964/45	48/25	87	90	93
29	962/7	50	43	60	94
30	961/65	51/05	43	100	100
31	960/35	52/35	43	30	86
32	959/1	53/6	43	0	84
33	957/7	55	33	0	68
34	955/9	56/8	33	30	83
35	954/3	58/4	33	53	100
36	952/7	60	62	75	100
37	952/6	60/1	62	75	100
38	949/55	63/15	62	82	100
39	947/65	65/05	46	85	100
40	946/35	66/35	46	35	100

ادامه جدول ب-۲- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-207

نام گمانه : ۲۰۷BH -

مکان : Power Tunnels Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
41	943/3	69/4	46	70	100
42	942/65	70/05	19	95	100
43	939/7	73	19	75	100
44	937/7	75	11	95	100
45	934/7	78	11	70	100
46	932/7	80	41	70	100
47	930/9	81/8	41	15	65
48	927/7	85	34	75	95
49	925/2	87/5	34	90	100
50	922/7	90	22	70	100
51	919/7	93	22	75	100
52	917/7	95	32	80	100
53	914/65	98/05	32	80	100
54	912/65	100/05	28	40	100
55	910/25	102/45	28	55	100
56	907/7	105	28	75	100
57	904/7	108	28	85	100
58	902/35	110/35	28	40	100
59	899/45	113/25	28	75	100
60	897/7	115	23	40	100

ادامه جدول ب-۲- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-207

نام گمانه : ۲۰۷BH

مکان : Power Tunnels Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
61	896/2	116/5	23	30	95
62	895	117/7	23	65	95
63	892/7	120	17	85	100
64	890	122/7	17	93	100
65	887/7	125	29	90	100
66	884/8	127/9	29	75	100
67	883/5	129/2	29	50	100
68	882/7	130	28	0	100
69	881/7	131	28	35	100
70	879	133/7	28	70	100
71	878/55	134/15	28	0	100
72	877/7	135	28	65	100
73	875/85	136/85	28	30	40
74	874/65	138/05	28	38	100
75	872/7	140	23	83	100
76	869/7	143	23	85	100
77	867/7	145	20	70	100
78	864/6	148/1	20	66	97
79	862/7	150	24	90	100
80	859/85	152/85	24	80	100

ادامه جدول ب-۲- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-207

نام گمانه : ۲۰۷BH -

مکان : Power Tunnels Line

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
81	857/7	155	15	42	100
82	857/25	155/45	15	33	100
83	854/4	158/3	15	76	100
84	852/7	160	15	69	100

جدول ب-۳- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-219

نام گمانه : ۲۱۹BH -

مکان : Right Abutment

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
1	949/2	0	-	-	-
2	948/2	1	-	40	100
3	947/2	2	-	55	100
4	946/2	3	-	30	100
5	945/2	4	-	80	100
6	944/2	5	-	80	100
7	943/2	6	10	90	100
8	942/2	7	10	95	100
9	939/2	10	100	92	100
10	937/2	12	100	72	100
11	934/2	15	100	45	100
12	931/3	17/9	100	82	100
13	929/2	20	2	77	100
14	926/2	23	2	70	100
15	924/2	25	9	85	100
16	921/2	28	9	40	100
17	920/35	28/85	9	100	100
18	919/2	30	1	100	100
19	918/77	30/43	1	100	100
20	916/35	32/85	1	100	100

ادامه جدول ب-۳- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-219

نام گمانه : - ۲۱۹BH

مکان : Right Abutment

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
21	914/2	35	2	100	100
22	911/1	38/1	2	93	100
23	909/2	40	9	97	100
24	906/7	42/5	9	97	100
25	904/2	45	1	88	100
26	901/2	48	1	85	100
27	899/2	50	0	95	100
28	896/2	53	0	96	100
29	894/2	55	28	85	100
30	891/2	58	28	50	100
31	889/2	60	18	60	100
32	886/2	63	18	45	100
33	884/2	65	18	80	100
34	881/5	67/7	100	80	100
35	879/2	70	100	75	100
36	876/2	73	2	95	100
37	874/2	75	12	85	100
38	871/2	78	12	5	100
39	869/2	80	100	90	100
40	866/2	83	100	77	100

ادامه جدول ب-۳- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-219

نام گمانه : - ۲۱۹BH

مکان : Right Abutment

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
41	864/2	85	100	40	100
42	861/2	88	100	78	100
43	859/2	90	39	72	100
44	856/8	92/4	39	55	100
45	854/2	95	9	75	100
46	851/2	98	9	80	100
47	849/2	100	1	100	100
48	847/8	101/4	1	100	100
49	844/8	104/4	1	93	100
50	844/2	105	11	100	100
51	841/2	108	11	90	100
52	839/2	110	11	93	100
53	837	112/2	11	90	100
54	836	113/2	11	100	100
55	834/2	115	34	96	100
56	832/2	117	34	80	100
57	829/2	120	17	65	100
58	827/2	122	17	90	100
59	825/6	123/6	17	92	100
60	824/2	125	12	100	100



ادامه جدول ب-۳- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-219

نام گمانه : - ۲۱۹BH

مکان : Right Abutment

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازبایی
61	821/5	127/7	12	100	100
62	819/2	130	10	95	100
63	816/9	132/3	10	86	100
64	814/2	135	10	96	100
65	811/4	137/8	10	92	100
66	810/4	138/8	10	70	100
67	809/2	140	22	82	100
68	806/2	143	22	90	100
69	804/2	145	13	80	100
70	801/6	147/6	13	84	100
71	799/2	150	1	94	100
72	796/2	153	1	95	100
73	794/2	155	8	100	100
74	791/4	157/8	8	98	100
75	789/2	160	6	97	100
76	788/8	160/4	6	100	100
77	785/8	163/4	6	70	100
78	784/2	165	15	95	100
79	781/2	168	15	90	100
80	779/2	170	15	100	100

ادامه جدول ب-۳- نتایج آزمایشات WPT در گمانه BH-219

نام گمانه : ۲۱۹BH

مکان : Right Abutment

شماره قطعه	تراز	عمق	Lu	RQD	درصد بازیابی
81	776/4	172/8	15	96	100
82	774/2	175	1	95	100
83	773/2	176	1	100	100
84	771/4	177/8	1	100	100
85	769/2	180	1	100	100
86	766/2	183	1	92	100
87	766	183/2	1	100	100
88	764/2	185	1	98	100
89	762/5	186/7	1	96	100
90	761/05	188/15	1	100	100
91	759/2	190	1	100	100
92	756/2	193	1	100	100
93	754/35	194/85	1	100	100
94	754/2	195	1	100	100

پیوست ج :

معادل سازی نتایج WPT با

نفوذپذیری

جدول ج-۱- نتایج آزمایشات WPT و ضریب نفوذپذیری معادل در گمانه BH-206

نام گمانه : - ۲۰۶BH

مکان : Power Tunnel Line

<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>
1	-	-	31	19	$3/63 \cdot 10^{-6}$	61	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
2	0	0	32	19	$3/63 \cdot 10^{-6}$	62	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$
3	0	0	33	19	$3/63 \cdot 10^{-6}$	63	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$
4	0	0	34	13	$2/31 \cdot 10^{-6}$	64	4	$6/57 \cdot 10^{-6}$
5	57	$5/25 \cdot 10^{-6}$	35	13	$2/31 \cdot 10^{-6}$	65	4	$6/57 \cdot 10^{-6}$
6	57	$5/25 \cdot 10^{-6}$	36	13	$2/31 \cdot 10^{-6}$	66	0	$6/57 \cdot 10^{-6}$
7	57	$5/25 \cdot 10^{-6}$	37	8	$1/35 \cdot 10^{-6}$	67	0	$6/57 \cdot 10^{-6}$
8	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	38	8	$1/35 \cdot 10^{-6}$	68	0	$6/57 \cdot 10^{-6}$
9	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	39	8	$1/35 \cdot 10^{-6}$	69	6	$1 \cdot 10^{-6}$
10	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	40	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	70	6	$1 \cdot 10^{-6}$
11	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	41	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	71	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$
12	0	0	42	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	72	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$
13	0	0	43	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	73	45	$5/25 \cdot 10^{-6}$
14	10	$1/7 \cdot 10^{-6}$	44	0	0	74	45	$5/25 \cdot 10^{-6}$
15	10	$1/7 \cdot 10^{-6}$	45	0	0	75	45	$5/25 \cdot 10^{-6}$
16	55	$5/25 \cdot 10^{-6}$	46	0	0	76	8	$1/35 \cdot 10^{-6}$
17	55	$5/25 \cdot 10^{-6}$	47	50	$5/25 \cdot 10^{-6}$	77	8	$1/35 \cdot 10^{-6}$
18	55	$5/25 \cdot 10^{-6}$	48	50	$5/25 \cdot 10^{-6}$	78	8	$1/35 \cdot 10^{-6}$
19	45	$5/25 \cdot 10^{-6}$	49	3	$5 \cdot 10^{-7}$	79	1	$2/8 \cdot 10^{-6}$
20	0	0	50	3	$5 \cdot 10^{-7}$	80	1	$2/8 \cdot 10^{-6}$

ادامه جدول ج-۱- نتایج آزمایشات WPT و ضریب نفوذپذیری معادل در گمانه BH-206

نام گمانه : ۲۰۶BH

مکان : Power Tunnel Line

<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>
21	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	51	3	$5 \cdot 10^{-7}$	81	1	$2/8 \cdot 10^{-6}$
22	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	52	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$	82	6	$1 \cdot 10^{-6}$
23	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	53	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$	83	6	$1 \cdot 10^{-6}$
24	26	$4/83 \cdot 10^{-6}$	54	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$	84	6	$1 \cdot 10^{-6}$
25	26	$4/83 \cdot 10^{-6}$	55	5	$8/28 \cdot 10^{-7}$	85	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$
26	0	0	56	5	$8/28 \cdot 10^{-7}$	86	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$
27	7	$1/15 \cdot 10^{-6}$	57	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$			
28	7	$1/15 \cdot 10^{-6}$	58	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$			
29	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$	59	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$			
30	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$	60	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$			

جدول ج-۲- نتایج آزمایشات WPT و ضریب نفوذپذیری معادل در گمانه BH-207

نام گمانه : ۲۰۷BH

مکان : Power Tunnels Line

<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>
1	0	0	31	43	$5/25 \cdot 10^{-6}$	61	23	$4/16 \cdot 10^{-6}$
2	0	0	32	43	$5/25 \cdot 10^{-6}$	62	23	$4/16 \cdot 10^{-6}$
3	0	0	33	43	$5/25 \cdot 10^{-6}$	63	17	$3/26 \cdot 10^{-6}$
4	0	0	34	33	$5/25 \cdot 10^{-6}$	64	17	$3/26 \cdot 10^{-6}$
5	0	0	35	33	$5/25 \cdot 10^{-6}$	65	29	$5/16 \cdot 10^{-6}$
6	0	0	36	33	$5/25 \cdot 10^{-6}$	66	29	$5/16 \cdot 10^{-6}$
7	0	0	37	62	$5/25 \cdot 10^{-6}$	67	29	$5/16 \cdot 10^{-6}$
8	0	0	38	62	$5/25 \cdot 10^{-6}$	68	28	$5 \cdot 10^{-6}$
9	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	39	62	$5/25 \cdot 10^{-6}$	69	28	$5 \cdot 10^{-6}$
10	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	40	46	$5/25 \cdot 10^{-6}$	70	28	$5 \cdot 10^{-6}$
11	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	41	46	$5/25 \cdot 10^{-6}$	71	28	$5 \cdot 10^{-6}$
12	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	42	19	$3/63 \cdot 10^{-6}$	72	28	$5 \cdot 10^{-6}$
13	78	$5/25 \cdot 10^{-6}$	43	19	$3/63 \cdot 10^{-6}$	73	28	$5 \cdot 10^{-6}$
14	78	$5/25 \cdot 10^{-6}$	44	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	74	28	$5 \cdot 10^{-6}$
15	78	$5/25 \cdot 10^{-6}$	45	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	75	23	$4/16 \cdot 10^{-6}$
16	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	46	41	$5/25 \cdot 10^{-6}$	76	23	$4/16 \cdot 10^{-6}$
17	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	47	41	$5/25 \cdot 10^{-6}$	77	20	$3/73 \cdot 10^{-6}$
18	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	48	34	$5/25 \cdot 10^{-6}$	78	20	$3/73 \cdot 10^{-6}$
19	17	$3/26 \cdot 10^{-6}$	49	34	$5/25 \cdot 10^{-6}$	79	24	$4/33 \cdot 10^{-6}$
20	17	$3/26 \cdot 10^{-6}$	50	22	$4 \cdot 10^{-6}$	80	24	$4/33 \cdot 10^{-6}$

ادامه جدول ج-۲- نتایج آزمایشات WPT و ضریب نفوذپذیری معادل در گمانه BH-207

نام گمانه : ۲۰۷BH

مکان : Tunnels Line Power

<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>
21	48	$5/25 \cdot 10^{-6}$	51	22	$4 \cdot 10^{-6}$	81	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$
22	48	$5/25 \cdot 10^{-6}$	52	32	$5/25 \cdot 10^{-6}$	82	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$
23	27	$4/84 \cdot 10^{-6}$	53	32	$5/25 \cdot 10^{-6}$	83	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$
24	27	$4/84 \cdot 10^{-6}$	54	28	$5 \cdot 10^{-6}$	84	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$
25	2	$3/8 \cdot 10^{-6}$	55	28	$5 \cdot 10^{-6}$			
26	2	$3/8 \cdot 10^{-6}$	56	28	$5 \cdot 10^{-6}$			
27	87	$5/25 \cdot 10^{-6}$	57	28	$5 \cdot 10^{-6}$			
28	87	$5/25 \cdot 10^{-6}$	58	28	$5 \cdot 10^{-6}$			
29	43	$5/25 \cdot 10^{-6}$	59	28	$5 \cdot 10^{-6}$			
30	43	$5/25 \cdot 10^{-6}$	60	23	$4/16 \cdot 10^{-6}$			

جدول ج-۳- نتایج آزمایشات WPT و ضریب نفوذپذیری معادل در گمانه BH-219

نام گمانه : ۲۱۹BH -

مکان : Right Abutment

<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>
1	0	0	32	18	$3/47 \cdot 10^{-6}$	63	10	$1/7 \cdot 10^{-6}$
2	0	0	33	18	$3/47 \cdot 10^{-6}$	64	10	$1/7 \cdot 10^{-6}$
3	0	0	34	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	65	10	$1/7 \cdot 10^{-6}$
4	0	0	35	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	66	10	$1/7 \cdot 10^{-6}$
5	0	0	36	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$	67	22	$4 \cdot 10^{-6}$
6	0	0	37	12	$2 \cdot 10^{-6}$	68	22	$4 \cdot 10^{-6}$
7	10	$1/7 \cdot 10^{-6}$	38	12	$2 \cdot 10^{-6}$	69	13	$2/31 \cdot 10^{-6}$
8	10	$1/7 \cdot 10^{-6}$	39	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	70	13	$2/31 \cdot 10^{-6}$
9	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	40	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	71	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
10	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	41	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	72	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
11	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	42	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	73	8	$1/35 \cdot 10^{-6}$
12	100	$5/25 \cdot 10^{-6}$	43	39	$5/25 \cdot 10^{-6}$	74	8	$1/35 \cdot 10^{-6}$
13	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$	44	39	$5/25 \cdot 10^{-6}$	75	6	$1 \cdot 10^{-6}$
14	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$	45	9	$1/5 \cdot 10^{-6}$	76	6	$1 \cdot 10^{-6}$
15	9	$1/5 \cdot 10^{-6}$	46	9	$1/5 \cdot 10^{-6}$	77	6	$1 \cdot 10^{-6}$
16	9	$1/5 \cdot 10^{-6}$	47	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$	78	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$
17	9	$1/5 \cdot 10^{-6}$	48	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$	79	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$
18	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$	49	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$	80	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$
19	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$	50	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	81	15	$2/78 \cdot 10^{-6}$
20	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$	51	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	82	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$



ادامه جدول ج-۳- نتایج آزمایشات WPT و ضریب نفوذپذیری معادل در گمانه BH-219

نام گمانه : - ۲۱۹BH

مکان : Right Abutment

<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>	<i>no</i>	<i>lu</i>	<i>k</i>
21	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$	52	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	83	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
22	2	$3/8 \cdot 10^{-7}$	53	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	84	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
23	9	$1/5 \cdot 10^{-6}$	54	11	$1/85 \cdot 10^{-6}$	85	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
24	9	$1/5 \cdot 10^{-6}$	55	34	$5/25 \cdot 10^{-6}$	86	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
25	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$	56	34	$5/25 \cdot 10^{-6}$	87	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
26	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$	57	17	$3/26 \cdot 10^{-6}$	88	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
27	0	0	58	17	$3/26 \cdot 10^{-6}$	89	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
28	0	0	59	17	$3/26 \cdot 10^{-6}$	90	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
29	28	$5 \cdot 10^{-6}$	60	12	$2 \cdot 10^{-6}$	91	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
30	28	$5 \cdot 10^{-6}$	61	12	$2 \cdot 10^{-6}$	92	1	$2/8 \cdot 10^{-7}$
31	18	$3/47 \cdot 10^{-6}$	62	10	$1/7 \cdot 10^{-6}$			

پیوست د :

تحلیل مقادیر و تعداد گمانه های

تزریق مورد نیاز بر اساس طرح

اولیه

**Gallery**

	LG1		LG2			LG3			LG4			LG5			RG1			RG2			RG3			RG4			RG5			Sum				
	L1-L2	L2-L3	L1-L2	L2-L3	L3-L4	L1-L2	L2-L3	L3-L4	L1-L2	L2-L3	L3-L4	L1-L2	L2-L3	L3-L4	R1-R2	R2-R3	R3-R4	R1-R2	R2-R3	R3-R4	R1-R2	R2-R3	R3-R4	R1-R2	R2-R3	R3-R4	R1-R2	R2-R3	R3-R4					
General specification	Elevation (m a.m.s.l)	1032	1032	974	974	974	974	974	932	932	932	932	932	890	890	890	848	848	848	1032	1032	1032	974	974	974	932	932	932	890	890	848	848	848	
	Length (m)	80,2	235,6	49,8	82,2	163,4	75,9	166,4	83,3	83,3	166,4	75,9	166,4	83,3	166,4	83,3	166,4	134,9	85,65	109,2	31,82	221,8	130,8	211,7	173,4	178,5	219,9	170,9	13,84	252,6	111		3285	
	Gallery trend Azimut (d)	136,3	70,07	184,7	136,3	70,07	164,7	136,3	70,07	164,7	136,3	70,07	164,7	136,3	70,07	164,7	136,3	70,07	164,7	136,3	70,07	136,3	70,07	136,3	70,07	136,3	70,07	136,3	70,07	136,3	70,07	136,3	70,07	
	Hole Inclination (d)	8	5	8	8	5	8	8	5	8	8	5	8	8	5	8	8	5	8	8	5	8	8	5	8	8	5	8	8	5	8	8	5	
	Hole Depth (m)	63,4	63	47,4	47,5	47	47,4	47,5	47	47,4	47,5	47	47,4	47,5	47	47,4	47,5	47	64,5	63	63	64,5	63	63	48,5	47	48,5	47	48,5	47	48,5	47	60	65
	Hole Azimut (d)	46,3	341	74,65	46,29	341	74,65	46,29	341	74,65	46,29	341	74,65	46,29	341	74,65	46,29	341	23,73	100	23,73	100	23,73	100	23,73	100	23,73	100	23,73	100	23,73	100	23,73	100
Exploratory Drilling	Hole spacing (m)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
	Number of holes (n)	5	15	3	5	10	5	5	10	5	5	10	5	5	10	5	5	7	2	14	2	14	8	13	11	11	14	11	14	11	16	7	205	
	Total drilling (m)	318	928	148	244	480	225	247	489	304	251	340	304	251	340	304	251	340	128	873	397	622	526	622	526	524	667	502	62	947	451	11691		
	Percentage (%)	0,2%	0,5%	0,1%	0,1%	0,3%	0,1%	0,1%	0,3%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	0,1%	0,5%	0,2%	0,3%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%	0,4%	0,3%	0,0%	0,5%	0,2%	6,3%		
	Hole naming (example)	LG1BH5	LG1BH5	LG2BH5	LG2BH5	LG3BH5	LG3BH5	LG3BH5	LG3BH5	LG4BH5	LG4BH5	LG4BH5	LG4BH5	LG4BH5	LG4BH5	LG4BH5	LG4BH5	LG4BH5	RG1BH5	RG1BH5	RG2BH5	RG2BH5	RG2BH5	RG2BH5	RG2BH5	RG2BH5	RG3BH5	RG3BH5	RG4BH5	RG4BH5	RG5BH5	RG5BH5		
		16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
Seri A	Hole spacing (m)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
	Number of holes (n)	10	29	6	10	20	9	10	21	13	11	14	13	11	14	13	11	14	4	28	16	26	22	22	22	22	27	21	2	32	14	411		
	Total drilling (m)	636	1855	295	488	960	450	495	978	607	501	679	607	501	679	607	501	679	257	1746	793	1244	1051	1049	1051	1049	1333	1004	125	1894	902	23383		
	Percentage (%)	0,3%	1,0%	0,2%	0,3%	0,5%	0,2%	0,3%	0,5%	0,3%	0,3%	0,4%	0,3%	0,3%	0,4%	0,3%	0,3%	0,4%	0,1%	0,9%	0,4%	0,7%	0,6%	0,6%	0,6%	0,7%	0,5%	0,1%	1,0%	0,5%	12,5%			
	Hole naming (example)	LG1A5	LG1A5	LG2A5	LG2A5	LG3A5	LG3A5	LG3A5	LG3A5	LG4A5	LG4A5	LG4A5	LG4A5	LG4A5	LG4A5	LG4A5	LG4A5	LG4A5	RG1A5	RG1A5	RG2A5	RG2A5	RG2A5	RG2A5	RG2A5	RG2A5	RG3A5	RG3A5	RG4A5	RG4A5	RG5A5	RG5A5		
		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Seri B	Hole spacing (m)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	Number of holes (n)	20	59	12	21	41	19	21	42	26	21	29	26	21	29	26	21	29	8	55	33	53	43	45	45	45	55	43	3	63	28	821		
	Total drilling (m)	1271	3711	590	976	1920	899	989	1955	1215	1003	1359	1215	1003	1359	1215	1003	1359	513	3493	1586	2488	2102	2097	2102	2666	2008	249	3789	1804	46765			
	Percentage (%)	0,7%	2,0%	0,3%	0,5%	1,0%	0,5%	0,5%	1,0%	0,6%	0,5%	0,7%	0,6%	0,5%	0,7%	0,6%	0,5%	0,7%	0,3%	1,9%	0,8%	1,3%	1,1%	1,1%	1,1%	1,4%	1,1%	0,1%	2,0%	1,0%	25,0%			
	Hole naming (example)	LG1C5	LG1C5	LG2C5	LG2C5	LG3C5	LG3C5	LG3C5	LG3C5	LG4C5	LG4C5	LG4C5	LG4C5	LG4C5	LG4C5	LG4C5	LG4C5	LG4C5	RG1C5	RG1C5	RG2C5	RG2C5	RG2C5	RG2C5	RG2C5	RG2C5	RG3C5	RG3C5	RG4C5	RG4C5	RG5C5	RG5C5		
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Seri C	Hole spacing (m)	40	118	25	41	82	38	42	83	51	42	58	51	42	58	51	42	58	16	111	65	106	87	89	89	110	85	7	126	56	1643			
	Number of holes (n)	2642	7421	1180	1952	3840	1799	1978	3910	2429	2005	2717	2429	2005	2717	2429	2005	2717	1026	6985	3172	4976	4205	4195	4205	5332	4016	498	7577	3608	93530			
	Total drilling (m)	1,4%	4,0%	0,6%	1,0%	2,1%	1,0%	1,1%	2,1%	1,3%	1,1%	1,5%	1,3%	1,1%	1,5%	1,3%	1,1%	1,5%	0,5%	3,7%	1,7%	2,7%	2,2%	2,2%	2,2%	2,9%	2,1%	0,3%	4,1%	1,9%	50,0%			
	Percentage (%)	1,4%	4,0%	0,6%	1,0%	2,1%	1,0%	1,1%	2,1%	1,3%	1,1%	1,5%	1,3%	1,1%	1,5%	1,3%	1,1%	1,5%	0,5%	3,7%	1,7%	2,7%	2,2%	2,2%	2,2%	2,9%	2,1%	0,3%	4,1%	1,9%	50,0%			
	Hole naming (example)	LG1D5	LG1D5	LG2D5	LG2D5	LG3D5	LG3D5	LG3D5	LG3D5	LG4D5	LG4D5	LG4D5	LG4D5	LG4D5	LG4D5	LG4D5	LG4D5	LG4D5	RG1D5	RG1D5	RG2D5	RG2D5	RG2D5	RG2D5	RG2D5	RG2D5	RG3D5	RG3D5	RG4D5	RG4D5	RG5D5	RG5D5		
		318	928	148	244	480	225	247	489	304	251	340	304	251	340	304	251	340	128	873	397	622	526	622	526	524	667	502	62	947	451	11691		
Seri D	Total exploratory drilling (m)	4767	13915	2213	3660	7200	3373	3709	7332	4555	3760	5095	4555	3760	5095	4555	3760	5095	1924	13097	5948	9330	7884	7865	7884	9998	7531	934	14208	6765	175369			
	Total nonexploratory drilling (m)	5085	14843	2361	3905	7680	3598	3957	7821	4859	4010	5435	4859	4010	5435	4859	4010	5435	2052	13970	6344	9952	8410	8390	8410	10665	8033	996	15155	7216	187061			
	Total drilling (m)	2,7%	7,9%	1,3%	2,1%	4,1%	1,9%	2,1%	4,2%	2,6%	2,1%	2,9%	2,6%	2,1%	2,9%	2,6%	2,1%	2,9%	1,1%	7,5%	3,4%	5,3%	4,5%	4,5%	4,5%	5,7%	4,3%	0,5%	8,1%	3,9%	100%			
	Percentage (%)	2,7%	7,9%	1,3%	2,1%	4,1%	1,9%	2,1%	4,2%	2,6%	2,1%	2,9%	2,6%	2,1%	2,9%	2,6%	2,1%	2,9%	1,1%	7,5%	3,4%	5,3%	4,5%	4,5%	4,5%	5,7%	4,3%	0,5%	8,1%	3,9%	100%			
	Hole naming (example)	10,7%		7,5%		8,2%		8,2%		7,6%		7,6%		7,6%		7,6%		7,6%	8,6%		8,7%		9,0%		9,0%		10,0%		12,5%		12,5%			
		10,7%		7,5%		8,2%		8,2%		7,6%		7,6%		7,6%		7,6%		7,6%	8,6%		8,7%		9,0%		9,0%		10,0%		12,5%		12,5%		12,5%	



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Mining Engineering and Geophysics**

**Geomechanical Investigation of the Base of Karun4 Dam  
and Selection of the Appropriate Method for  
Seepage Control**

**This thesis submitted in part fulfillment of the degree of  
Master of Engineering in mining Exploitation**

**By:**

M. Tolou

**Supervisors :**

Dr. R. Kakaee

**Consultant:**

Dr. A. Ghazvinean

September 2005