دانشکده علوم

گروه زمین شناسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد زمین شناسی

(گرایش مهندسی)

عنوان:

پیش بینی پارامترهای تزریق سیمان در پرده آب بند سد مخزنی آغ چای توسط شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه نتایج حاصل با روش های آماری

اساتید راهنما:

دکتر محمد غفوری

دکتر غلامرضا لشکری پور

استاد مشاور:

دکتر حسین صادقی

نگارش:

جواد احمدزاده

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس بی کران خاص درگاه حضرت حق تعالی راست که الطاف و مراحمش شامل حال همه بندگانش می باشد. اکنون که با اتمام دوره تحصیلی کارشناسی ارشد مواجه هستم و یکی از مراحل تحصیل را پشت سر می گذارم، سر تعظیم در برابر پروردگار فرود آورده، از ذات اقدسش توفیق علم اندوزی بیش از پیش و کسب مدارج بالاتر علمی و معرفتی را مسئلت دارم.

با عطف به کلام بلندپایه من لم یشکرالمخلوق لم یشکرالخالق برخود وظیفه می دانم از اعضای محترم هیأت علمی گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد علی الخصوص استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر محمد غفوری و استاد ارجمندم جناب آقای دکتر غلامرضا لشکری پور، به خاطر زحماتی که در راستای اعتلای سطح دانش بنده متحمل شده و همچنین بنده را جهت تهیه این پایان نامه، راهنمایی فرمودند، نهایت تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از استاد گرامیم جناب آقای دکتر حسین صادقی، به خاطر امر مشاوره در تهیه این پایان نامه و زحمات ایشان در طول دوران تحصیلی اینجانب، صمیمانه تشکر می نمایم.

ضمناً از جناب آقای دکتر مسعود همام مدیر گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، اساتید عزیز جناب آقایان دکتر سید رضا موسوی حرمی، دکتر مهدی نجفی، دکتر محمدرضا حیدریان شهری، دکتر محمد حسن کریم پور، دکتر سید احمد مظاهری، دکتر مرتضی رزم آرا، دکتر فرزین قائمی، دکتر حسن رحیمی، دکتر اسدا... محبوبی و سرکار خانم دکتر هادوی که در طول دوره تحصیلی اینجانب در مشهد مقدس، روشنایی بخش مسیر تحصیلی اینجانب بوده و تحصیل در کنار ایشان سبب خوشحالی، دلگرمی فراوان و پشتکار بنده بود، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از کلیه پرسنل و اعضای محترم بخش ژئوتکنیک مهندسین مشاور مهاب قدس مخصوصا" جناب آقای مهندس ایوب طریقتی تابش، مدیر پروژه سد مخزنی آغ چای، جناب آقای مهندس زریاب، سرپرست دستگاه نظارت مقیم سد آغ چای، جناب آقای مهندس ایرج قربانعلی نیا عمران، سرپرست عملیات

ژئوتکنیک سد آغ چای و جناب آقای مهندس مهدی بهرفتار، مشاور ژئوتکنیک سد آغ چای که بنده را در تهیه اطلاعات مورد نیاز خویش یاری فرمودند و دیگر بزرگان و دوستان عزیز در شرکت فوق کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دوستان و عزیزان هم دوره تحصیلی خویش جناب آقایان مهندس طاهر مرادی، مهندس محمد موسوی مداح، مهندس محمد رضا احمدی، مهندس مهدی دم شناس، سرکار خانم مهندس واحدی، مهندس حمید رضا رستمی بارانی، مهندس علی احمدی، مهندس احمد باقرپور، سرکار خانم مهندس طالبیان و سایر دوستان گرامی در گروه زمین شناسی که در طول دوران تحصیلات عالیه از دانسته هایشان بهره مند بودم، کمال تشکر و امتنان را دارم و از درگاه ایزد منان برای فرد فرد این عزیزان در تمامی مراحل زندگی صمیمانه آرزوی پیروزی و بهروزی را دارم.

همچنین لازم می دانم از زحمات کلیه پرسنل دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد علی الخصوص آقایان بهادری و مشیری تشکر نمایم.

فصل اول:

کلیات

۱-۱- مقدمه

طی دو قرن اخیر و همزمان با پیشرفت دانش بشری در عرصه‌های گوناگون و بوجود آمدن نیازهای جدید، ایجاد و استفاده از سدهای جدید و بزرگ بویژه در کاربری‌های کشاورزی- آبیاری، انرژی، تفریحی، مهار سیلاب، انحراف سیلاب، انحراف مسیر آب رودخانه ها جهت استفاده بهینه از دبی پایه آب های جاری، تغذیه آب زیرزمینی، و ... رو به افزایش است. هم اکنون ۶۴۵ پروژه سدسازی در بخش امور آب کشور در جریان می باشدکه از این تعداد ۵۲۱ سد در دست مطالعه و ۱۲۴ سد در دست اجرا می باشد. ۵۷۲ سد نیز در حال بهره برداری می باشند که با احساب کل آن ها ۱۲۱۷ سد مخزنی موجود در کشورمان را تشکیل می دهند (سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران، معاونت طرح و توسعه).

۱-۲- اهداف طرح و اهمیت آن

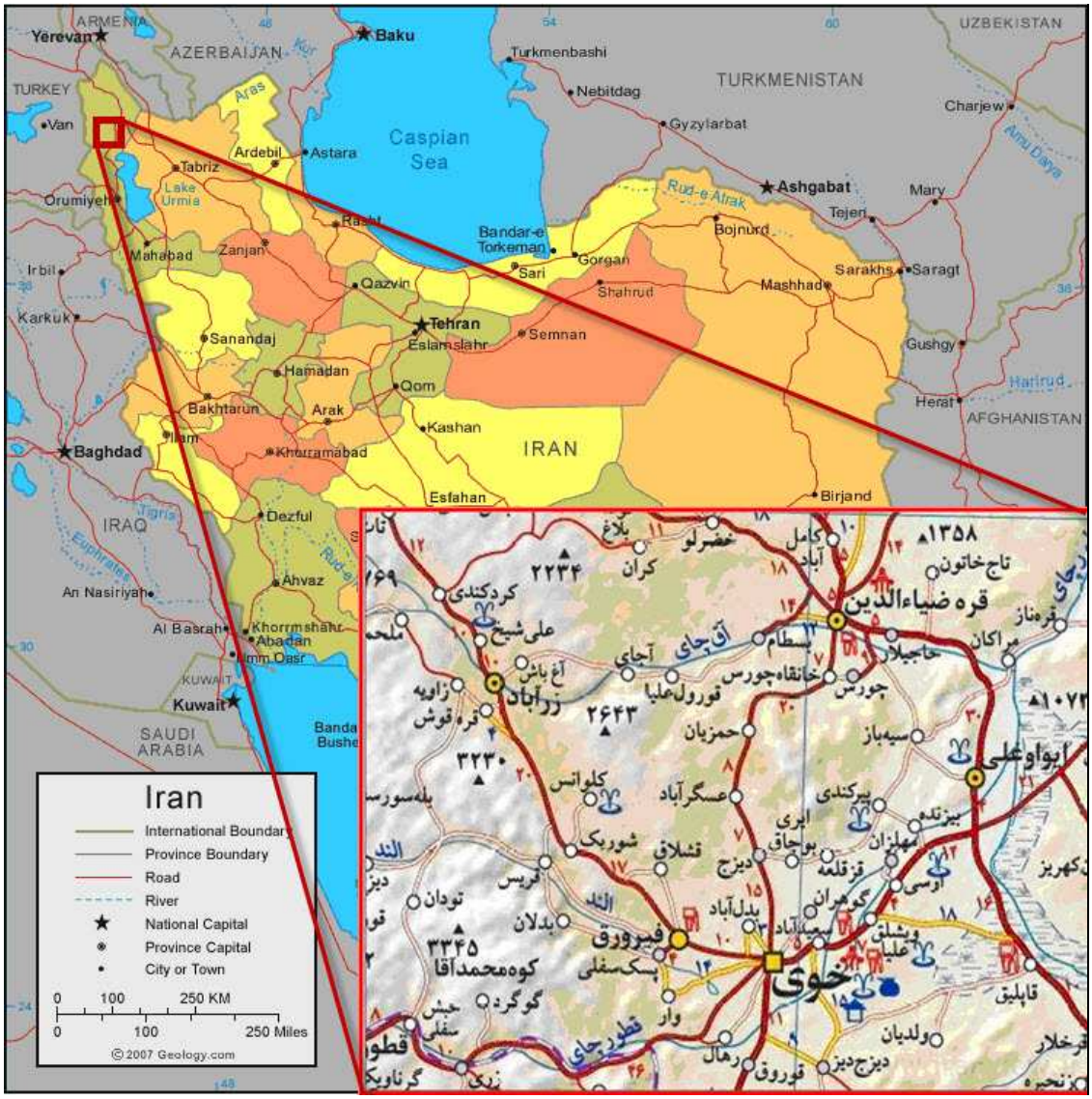
سد مخزنی آق چای یکی از مهمترین طرح های آبی در شمال غرب ایران دراستان آذربایجان غربی است. اهمیت این طرح از آن جهت می باشد که از خروج مقادیر زیادی سیلاب سالانه از طریق رودخانه آق چای که به رود ارس منتهی می گردد جلوگیری می کند. رودخانه آق چای از جمله رودهای مرزی ایران و ترکیه می باشد که از ارتفاعات مرزی غرب استان سرچشمه گرفته و با امتداد شرقی- غربی، ضمن عبور از لابه لای ارتفاعات شمال غرب و شمال شهرستان خوی، خود را به دشت شهرستان قره ضیاءالدین رسانده و سپس با تغییر امتداد به سمت شمال شرق ، راهی رودخانه مرزی ارس واقع در شمال شرق استان می شود. رودخانه ارس نیز یکی از رودهای پر آب منتهی شونده به دریاچه خزر می

باشد. با اجرای این سد از حجم رسوبات وارد به رودخانه ارس کاسته شده و سبب کاهش بار رسوبی وارده به دریاچه سد مخزنی- نیروگاهی ارس خواهد شد که به نوبه خود منجر به افزایش عمر مفید سد ارس می گردد.

به منظور بهره برداری از سیلاب های مخرب رودخانه آق چای جهت توسعه کشاورزی اراضی دشت های شهر قره ضیاءالدین و توابع ایو اوغلی، یکانات و دشت های یکان کاریز و نازک در پائین دست، سد مخزنی آق چای بر روی همین رودخانه و در بالادست شهر قره ضیاءالدین اجرا گردیده است. با توجه به حاصل خیز بودن دشت های فوق الذکر، طرح انتقال آب از سد آق چای به این دشت ها مهمترین راه توسعه محصولات کشاورزی و دامداری در خطه شمالی استان می باشد. عمر مفید این سد حداکثر ۷۰ سال می باشد. در راستای اجرای این سد، بررسی پارامترهای تزریق سیمان در پرده آب بند، موضوع این تحقیق خواهد بود.

۱-۳- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی

مکانی که جهت اجرای سد مخزنی آق چای در نظر گرفته شده است در استان آذربایجان غربی و در فاصله ۴۵ کیلومتری شمال شهر خوی و۳۶ کیلومتری غرب شهر قره ضیاءالدین واقع می باشد. طول و عرض جغرافیائی محل به ترتیب "۲۸ '۵۲ °۴۴ درجه شرقی و "۵۰ '۵۱ ° ۳۸ درجه شمالی می باشد. دسترسی به محور سد از طریق جاده از طریق جاده قدیم خوی ـ قره ضیاء الدین معروف به جاده حمزیان امکان پذیر می باشد که جاده فرعی منشعب از جاده روستای حمزیان از ۱۵۰ متری پاسگاه حمزیان که ابتدای آن سه راهی قورول نام دارد، جاده حمزیان را به محل سد ارتباط میدهد. فاصله خوی تا سه راهی قرول ۳۲ کیلومتر ، فاصله قره ضیاءالدین تا سه راهی قرول ۲۶ کیلومتر و فاصله سه راهی قرول تا محور سد ۱۰ کیلومتر می باشد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ نقشه راه های دسترسی به منطقه

۱-۴- سیمای طرح

سیمای طرح در دو مقوله اهداف طرح و تاریخچه مطالعات و اجرای طرح بررسی می شود که در این مبحث به شرح تاریخچه مطالعات بسنده می شود.

مطالعات مرحله اول طرح سدمخزنی آغ چای در چارچوب مطالعات رودخانه مرزی ایران و ترکیه در سال ۱۳۵۹ به شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس واگذار گردید. مشاور فوق دراین مطالعات، حوزه های آبریز رودخانه های مرزی ایران و ترکیه را بررسی و چگونگی کاربرد منابع آب و خاک در هر کدام را

مشخص نمود. بر پایه مطالعات مرحله یک انجام شده تنظیم آب رودخانه آغ چای با احداث یک سدمخزنی امکان پذیر بود. آب تنظیم شده با ساختن یک بند انحرافی به دو کانال اصلی در سواحل رودخانه منتقل شده ودر نهرهای سنتی توزیع می شود. آب مازاد بر نیاز دشت قره ضیاء الدین نیز با یک تونل به دشت ایواوغلی و آب اضافی آن با پمپاژ به دشت یکانات منتقل می شود.

۱-۵- آب و هوای منطقه و شرایط اقلیمی

ناحیه مورد مطالعه در بخش کوهستانی شمال غرب ایران واقع شده است. توپوگرافی منطقه مرتفع بوده و دره ها غالبا عمیق می باشند. مرتفع ترین نقطه ناحیه قله اورین با ارتفاع ۳۳۰۰ متر و گود ترین نقطه، مرکز شهرستان خوی با ارتفاع ۱۰۸۰ متر از سطح دریا می باشد که از تراز دریاچه ارومیه ۲۰۰ متر پائین تر است. ارتفاع قلل به سمت غرب ثابت بوده و بدون تغییر می باشند. منطقه در فصل های پائیز و زمستان دارای آب و هوای سرد کوهستانی و در فصول بهار و تابستان آب و هوای متغیر گاهی معتدل مدیترانه ای و گاهی گرم می باشد. میانگین دمای هوا در خوی ۱۱/۸ درجه سانتی گراد و میانگین نوسان دمای سالانه آن بیش از ۲۵ درجه سانتی گراد می باشد لذا اغلب اوقات دمای هوا در ماه های زمستان به زیر صفر می رسد.متوسط میزان بارندگی سالانه ۳۳۴ میلی متر و رطوبت نسبی حدود ۶۲% می باشد. آب مورد نیاز کشاورزی منطقه از رودخانه ها، چشمه ها و آب های زیرزمینی تامین می شود. رودخانه های آق چای، الند، قطور و قره سو مهمترین سیستم های آبی منطقه می باشند. رودخانه آق چای از ارتفاعات شمال غربی و غربی استان سرچشمه گرفته و پس از طی مسیری از حوالی روستاهای زورآباد(زر آباد)، آچای و بسطام با امتداد غربی – شرقی به سمت رودخانه ارس جریان می یابد. مهمترین راه های ارتباطی منطقه شامل بخشی از جاده های خوی- مرند، خوی- سلماس، خوی- زورآباد و خوی- قره ضیاءالدین است که توسط راه های فرعی خاکی اکثر راه های منطقه را پوشش می دهند.

۱-۶- مشخصات طرح

طرح سد آق چای در قالب دو پروژه عمرانی مهم در حال اجرا می باشد که یکی از آن ها سد مخزنی و دیگری سد انحرافی در پایین دست سد مخزنی می باشد.هدف از احداث سد انحرافی، انحراف مسیر سیلاب به منظور ممانعت از وارد آمدن خسارت به اراضی روستاهای پایین دست در طول دوران ساخت سد مخزنی می باشد:

مساحت حوضه آبریز: ۱۳۹۴ کیلومتر مربع

طول رودخانه: ۱۱۶ کیلومتر

متوسط آورد سالانه: ۲۱۲ میلیون مترمکعب

حداکثر سیل لحظه ای محتمل: ۳۷۰۰ مترمکعب بر ثانیه

نوع سد: خاکی با هسته رسی

تراز تاج سد و بستر رودخانه: ۱۳۰۵ و ۵/۱۲۱۶ متر از سطح دریا

طول و عرض تاج سد: ۸۲۶ و ۱۲ متر

حجم مصالح بدنه: نه میلیون و هشتصد هزار مترمکعب

ارتفاع سد از پی و بستر رودخانه: ۱۰۸ و ۸۶/۵ متر

طول پرده آب بند: ۹۸۸/۰۴ متر

عمق گمانه های پرده آب بند: ۳۵ الی ۷۵ متر

تعداد گمانه های پرده آب بند: ۱۳۰۴ گمانه

عمق کل گمانه های اکتشافی و پرده آب بند: ۶۸۸۸۰ متر

تعداد گمانه های تزریق تحکیمی پی سد: ۷۴۰۴ گمانه

عمق گمانه های تزریق تحکیمی پی سد: ۵ الی ۱۲ متر

عمق کل گمانه های تزریق تحکیمی پی سد: ۵۶۷۱۶ متر

حجم مخزن سد: ۲۱۰ میلیون مترمکعب

حجم آب تنظیمی: ۲۰۲ میلیون مترمکعب

طول دریاچه: ۹/۵ کیلومتر

نوع سرریز: اوجی آزاد

طول سرریز: ۳۸۴/۳۱ متر

عرض سرریز: ۸۰ متر

۱-۷- مراحل و روش های تحقیق

۱-۷-۱- مطالعات دفتری

به منظور نیل به اهداف فوق بررسی ها ابتدا با مطالعات دفتری صورت گرفته است. بدین صورت که با اولویت بندی در جهت دستیابی به داده های لازم و مناسب، عمل جمع آوری نقشه های زمین شناسی و گزارشات مطالعاتی و ژئوفیزیکی محور ساختگاه مربوط به فازهای اول، دوم و سوم تکمیلی مطالعات زمین شناسی مهندسی آغاز شده و سپس با جمع آوری و مرتب کردن صفحات و صورت وضعیت های کاری و اجرائی به ترتیب زمانی اجرائی ادامه یافت. ضمنا" به طور همزمان مطالعه مقالات و پایان نامه های تدوین یافته در مورد ساختگاه و تاسیسات وابسته سد انجام گردید.

۱-۷-۲- مطالعات و بازدیدهای صحرائی

با توجه به اینکه انجام مطالعات دقیق و حتی محاسباتی در زمین شناسی مهندسی بدون داشتن دید و تصوری درست از وضعیت زمین شناسی منطقه امکان پذیر نمی باشد، لذا بازدیدها و بررسی های صحرائی و بررسی دقیق وضعیت زمین شناسی به عنوان یکی از مهمترین مراحل مطالعه، در اولویت اول کار عملی قرار گرفت. بررسی‌ها و مطالعات صحرایی در این تحقیق به دو صورت بازدید ضمن پیمایش

محلی و مطالعات و بازدیدهای کارگاهی انجام شده است:

الف- بازدید و پیمایش محلی

در راستای بازدید از ساختارها و واحدهای زمین شناسی محل و بررسی همه جانبه آن ها، پیمایش های صحرائی به همراه نقشه های زمین شناسی ۱/۱۰۰،۰۰۰، توپوگرافی ۱/۵۰،۰۰۰ منطقه و نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰ ساختگاه و مخزن به منظور مطالعات دقیق تر در منطقه صورت گرفت. با مشخص کردن امتداد دسته درزه ها در روی نقشه پیمایش هائی عمود بر امتداد درزه ها به منظور تعیین شیب و جهت شیب آن ها صورت گرفت. همچنین با بازدید از موقعیت گسل ها و تعقیب خط اثر آن ها در تکیه گاه ها و نقاط مختلف مخزن، مشخصاتی از آن ها از قبیل نوع مواد پرکننده و نفوذپذیری نسبی آن ها، چگونگی شروع و اتمام رخنمون گسل و جانمائی آن نسبت به طبقات و سنگ های اطراف که در نقشه های تهیه شده موجود نبود برداشت شده و به عنوان پارامترهای مکمل نقشه ها، ثبت گردید.

ب- مطالعات و بازدیدهای کارگاهی

در این مرحله از بازدیدها، بررسی ها در محدوده ساختگاه ادامه یافت. با بازدید از رخنمون های مصنوعی سنگی و ترانشه هائی که در مراحل اجرائی جدیدترحفاری شده بودند(از قبیل حوض چه فیلیپ باگت در انتهای سرریز و ترانشه ایستگاه سنگ شکن موجود در محدوده مخزن)، درزه ها و ناپیوستگی های بیشتری برداشت و ثبت گردیدند. با توجه به اینکه درزه های برداشت شده از محل فیلیپ باگت به سنگ بستر تعلق داشته و در بررسی های مربوط به آب بندی سنگ پی اهمیت بیشتری دارند لذا با حساسیت برداشت گردیدند.

در ادامه بررسی های کارگاهی، از روال انجام آزمایشات فشار آب در توده سنگ پی و تکیه گاه ها که در داخل گالری تزریق انجام می شود نیز بازدید به عمل آمده و داده های مکمل داده های آزمون های لوژن در گمانه های اکتشافی جدید، به طور مستقیم در محل قرائت و ثبت شده و به مجموعه داده ها اضافه گردیدند.

۱-۷-۳- مطالعات آزمایشگاهی و جمع آوری داده ها

مطالعات آزمایشگاهی انجام شده در این تحقیق در ارتباط با سه مبحث زیر می باشد:

الف- بررسی های مربوط به آخرین و جدیدترین آزمایشات انجام شده در زمینه خواص مهندسی دوغاب های سیمان تزریق تحکیمی و دوغاب های سیمان تزریق آب بندی و جمع آوری داده های حاصل.

ب- بررسی های ماکروسکوپی مغزه های حفاری شده از گمانه های اکتشافی(که اطلاع از مشخصات آن ها بدون بررسی مستقیم مغزه ها مقدور نبود).

ج- بررسی های ماکروسکوپی سطوح درزه ها در مغزه های حفاری شده از گمانه های کنترلی مراحل اولیه پرده آب بند.

با اتمام بازدیدها و بررسی های آزمایشگاهی، داده های مربوط به آن به مجموعه کل داده های موجود اضافه گردید.

۱-۷-۴- بازنگری داده ها

اطلاعاتی که برای انجام فعالیت های مدل سازی جمع آوری می شود، معمولا" بایستی حتما" بازنگری درآن ها به عمل آید. در غیر این صورت نقصان و بی نظمی های احتمالی موجود در داده ها مشکلاتی را در اثنای کار به وجود خواهند آورد. در مورد مطالعاتی حاضر مشخص شد که گمانه ها در نقاط معدودی با کمبود داده یا احتمالا" گم شدگی مواجه می باشند که با بررسی های بیشتر و جمع آوری شواهد دقیق تر، در برطرف نمودن آن ها تلاش هائی صورت گرفت.

۱-۸- طراحی و تدارک شبکه عصبی مصنوعی

به منظور دستیابی به تخمین های قابل اعتماد و صحیحی از ارزش لوژن و مصرف سیمان در مقاطع گمانه های اکتشافی و گمانه های تزریق، شبکه های عصبی پرسپترون چند لایه از نوع پس

انتشار خطا طراحی و با بخشی از داده ها آموزش داده شده است. شبکه های طراحی شده با بخشی از داده ها تست شده و در صورت عدم ارائه همبستگی مناسب، ساختارهای جدید با توابع محرک جدید طراحی، آموزش و تست گردیده است. در نهایت سعی شده است تا الگوی کلی زمین شناسی و ژئوتکنیکی حاکم بر ساختگاه در شبکه ای جامع، گنجانده شده و در حفاری های اکتشافی و مقاطع تزریق جدید جهت تخمین لوژن و خورند به کار گرفته شود.

فصل دوم:

مروری بر متون گذشته

۲-۱- مقدمه

در یک تعریف ساده و بسیارکلی می توان گفت: 'تزریق روشی است که به واسطه آن خواص مقاومتی سنگ های زیرزمین افزایش یافته و باعث کاهش تراوائی آن نیز می گردد'.

عملیات تزریق سیمان برای اولین بار در سال ۱۸۰۲ توسط مهندس فرانسوی با نام 'چارلز برینی' ابداع و با وسایلی بسیار ساده و مقدماتی انجام شد. در قرن حاضر ایده ای پدید آمدکه براساس آن می توان به واسطه پرکردن حفره ها و شکاف ها با موادی همچون مصالح طبیعی ریزدانه، سیمان، رزین، در بعضی موارد قیر و.. می توان سبب بهبود خواص مقاومتی و آب بندی خاک ها و یا سنگ های زمین گردید. به منظور افزایش استحکام خاک، تزریق پی در پی محلول سیلیکات سدیم و کلرید سدیم بود نیز قابل اجرا می باشد. این روش هنوز هم مورد استفاده است ولی در پروژه های بزرگ بهسازی، اجرای آن به هیچ وجه مقرون به صرفه نبوده و لذا بایستی به دنبال روش های دیگری بود.

مهمترین هدف از اجرای عملیات حفاری و تزریق سیمان، ایجاد یک زون غیر قابل نفوذ در توده سنگ موجود در محدوده اجرای پروژه به منظور ممانعت از تاثیر منفی آب بر پی و زیربنای سازه، بهبود خواص مقاومتی زمین وکاستن از نشت آب می باشد. البته بسته به نوع و هدف پروژه، اهداف عملیات تزریق نیز متفاوت خواهند بود. در جدول ۱-۲ روش های کنترل آب زیرزمینی، نشت آن و مقایسه عمومی انواع روش ها بر حسب کاربرد مهندسی آن ها ذکر گردیده است (معماریان، ۱۳۸۱).

جدول ۲-۱- روش های کنترل جریان آب زیرزمینی و کاربردهای مهندسی رایج آن ها (معماریان، ۱۳۸۱)

روش ها		کاربرد	کاربرد مهندسی						
			توده سنگ ساختگاه سد	خاکریزهای خاکی و خرده سنگی	حفاری های روباز	حفاری ها و فضاهای زیرزمینی	زیرزمین ساختمان ها	بار اضافی بر ساختگاه	راه ها	سیستم های کنترل آلودگی
آب بندها	آسترها	الف		*						*
	دیوارهای خاکی	الف		*						*
	دیوارهای گل روان	الف ب ج	*		*	*	*			*
	دیوارهای یخی	ب			*	*				
	دیوارهای بتونی	الف	*		*	*	*			*
	دیوارهای شمع های صفحه ای	ب			*					
	پرده های آب بند	**الف** **ج**	*		*	*				

الف: با هدف کاربرد دائمی **ب**: با هدف کنترل در دوره ساخت **ج**: با هدف اصلاحات بعد ساخت

۲-۱- مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه تعیین تراوائی

۲-۲-۱- آزمایش فشار آب (W.P.T)

هنگامی که از تراوائی در مورد توده های خاک بحث می گردد اولین موردی که به ذهن خطور می کند، قانون دارسی است که به عنوان ضریب نفوذپذیری خاک مشهور است. در تئوری دارسی توده خاک هموژن فرض می شود و لذا ضریب به دست آمده، به نقاط مختلف توده خاک قابل تعمیم می باشد. اما قدر مسلم این است که در مورد یک توده سنگ درزه دار و دارای سطوح ناپیوستگی متعدد ناشی از لایه

بندی و وجود گسل و دارای اعوجاجات ناشی از تاثیر تنش های زمین، نمی توان از قانون دارسی استفاده نمود.

درحال حاضرآزمایش فشارآب به دو صورت آزمایش لوژن (Lugeon Test) وآزمایش لوفران (Lophrane Test) انجام می پذیرد. آزمایش لوژن در مورد سنگها و آزمایش لوفران در مورد خاک ها و آبرفت ها انحام می گیرد. لازم به ذکر است که در مطالعات صحرائی توده سنگ، ناهمگنی به مقیاس بررسی بستگی نداشته و در هر حالت این ناهمگنی بایستی در نظر گرفته شود (Houlsby, 1976).

۲-۲-۲- شاخص نفوذپذیری ثانوی

مطالعات بعدی محققین در مورد تراوائی و روند هیدرولیک در توده سنگ با پیشنهاد پارامتر یا شاخصی به نام شاخص نفوذپذیری ثانوی(Secondary Permibility Index)ادامه می یابد (Foyo et al, 2005). مزیت مهم محاسبه این شاخص بر محاسبات ارزش لوژن، کلاسیک و ساده بودن پارامترهای زیربنای محاسباتی آن، یعنی فشار آب و میزان جذب آن و عدم نیاز این شاخص برای تبدیل به پارامترهای دیگر می باشد(بر خلاف لوژن که نیازمند تبدیل به ضریب نفوذپذیری می باشد). محاسبه این شاخص توسط رابطه ذیل صورت می گیرد:

$$SPI = C.\frac{Ln(\frac{2Le}{r}+1)}{2\pi.Le}.\frac{Q}{H.t}$$

در رابطه فوق:

C: ضریب ثابتی که به گرانروی سیالی با دمای ۱۰ درجه در توده سنگ بستگی دارد و مقدار آن برابر با $۱/۴۹\times۱۰^{-۱۰}$ می باشد.(Snow, 1968).

Q: میزان آب جذب شده توسط ناپیوستگی های توده سنگ بر حسب لیتر می باشد(عدد قرائت شده توسط کنتور).

Le: طول مقطع آزمایشی بر حسب متر

r: شعاع گمانه اکتشافی بر حسب متر

t: مدت زمان اعمال هر پله فشار بر حسب ثانیه

H: فشار کل آب تا وسط مقطع آزمایشی با احتساب ستون آب بر حسب متر

یکای شاخص فوق $L/s.m^2$ (لیتر بر ثانیه در هر متر مربع از مساحت جانبی جدار گمانه) می باشد. شاخص فوق الذکر در طبقه بندی کیفی توده سنگ نیز به عنوان یک معیار مطرح شده است. (Foyo, 2002 & Ewert, 1997).

آن چه که اهمیت شاخص SPI را خاطر نشان می سازد، استفاده از آن به عنوان معیاری برای درک کیفیت توده سنگ وتراوائی درآن ومتعاقب آن تلفیق نتایج آن باشاخص RQD، جهت دستیابی به طراحی مناسبی برای بهسازی زمین به لحاظ آبگذری و مکانیکی می باشد (Foyo, 2005).

۲-۳- طراحی تزریق سیمان

عملیات تزریق اصولا" از مجموعه فعالیت های حفاری و تزریق سیمان تشکیل می شودکه طراحی آن بسته به نوع و اهمیت پروژه می باشد. یک طراحی مناسب و اقتصادی و مهمتر از آن برپایه اصول مهندسی، مستلزم شناخت کافی و نسبتاً کامل از وضعیت زمین شناسی و ژئوتکنیکی مصالح زمین و رفتار هیدرولیکی و مکانیکی آن ها بوده و به طور کامل در حیطه دانش زمین شناسی مهندسی قرار می گیرد.

در مورد ساختگاه سدهای بزرگ مخزنی، توده سنگ ساختگاه در درجه اول با اهمیت بوده و آب بندی توده سنگ بستر و تکیه گاه ها در اولویت عملیات تزریق سیمان قرار دارد. در مرحله بعد نیز طراحی تزریقات تحکیمی توده سنگ ساختگاه(در این مورد فقط توده سنگ بستر) در صورت لزوم مورد توجه قرار می گیرد.

در حال حاضر تزریق در ساختگاه یک سد به دلایل عمده زیر صورت می گیرد:

- افزایش خواص مقاومتی زمین(تزریق تحکیمی)
- کاهش تراوائی در سنگ ساختگاه(تزریق آب بندی)
- کاهش فرسایش پذیری سنگ بستر سد(تزریق آب بندی)
- کاهش فشار برکنش بالابرنده در سنگ بستر سد(تزریق آب بندی)

در حالی که تزریقات تحکیمی معمولا" باعث بهبودی در مقاومت نسبی زمین و افزایش مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ ساختگاه در یک محدوده وسیع سه بعدی می شود، پرده آب بند بیشتر در آب بند کردن سنگ بستر و گاهی جناحین در یک صفحه تئوری فرض شده را دارد.

۲-۴- روش های تحلیل تزریق سیمان

با وجود بررسی ها هنوز با قاطعیت نمی توان گفت که آیا یک نوع توده سنگ در یک ساختگاه خاص، با چه تکنولوژی و تا چه اندازه می تواند آب بند گردد یا تا چه اندازه عوامل و فاکتورهای زمین شناسی در عملیات تأثیر دارد.

اما در مورد این موضوع که عملیات تزریق به چه صورت اجرا شده و داده های حاصل از بررسی های اکتشافی و داده های مراحل اجرائی مختلف چگونه تحلیل می شوند و یا بررسی اینکه عملیات تا چه حد موفقیت آمیز بوده است، روش های متعددی توسط محققین مختلف مطالعه و بررسی شده اند. اکثر تحقیقات متفق القول اند که مشکلات در زمینه تحلیل های تزریق به مباحثی چون تعیین تراوائی زمین، فشار تزریق، ترکیب دوغاب، جمع آوری داده های تزریق و نهایتا" پیچیدگی بیش از حد متغیرها و پارامترهای زمین شناسی می باشند (Ewert, 1985). در حال حاضر ایده محققین در مورد موفقیت تزریق این است که فقط مقادیری معمولی و منطقی از سوسپانسیون سیمان، جذب زمین شده و در میزان جذب در مراحل (گمانه های) بعدی حفاری و تزریق، روند نزولی حاصل شود و همچنین میزان

نشت بعد از آبگیری مجاز بوده و مخاطره آمیز نباشد. دراین رابطه، یافته ها درحین تزریق وبعد از آن از اهمیت بالائی برخوردار می باشند.

۲-۴-۱- روش های عملی

در ارتباط با روش های عملی و تجربی مطالعه تزریق سیمان و بررسی پرده آب بند به جز حفر گمانه های کنترلی، هیچ راه تضمین کننده و اطمینان بخشی وجود ندارد. روش دیگر مطالعه وضعیت پرده آب بند وکم و کیف تزریق سیمان، حفاری گمانه های پیزومتری به منظور نصب ابزار دقیق می باشد. هر دو روش فوق با آن که هینه های گزافی را در راستای انجام یک پروژه در بر دارد اما به دلیل فقدان یک روش قابل اطمینان، جامع و فراگیر، در تقریبا" تمام پروژه های تزریق سیمان و پرده آب بند انجام می شوند.

۲-۴-۲- روش های تئوری

در حال حاضر مطالعات تئوری در مورد کم و کیف تزریق سیمان و پرده آب بند به صورت مدل ها یا آنالیزهای عددی انجام می شود و مسلماً هزینه این گونه مطالعات در مقایسه با هزینه های مطالعات عملی که بر مبنای تجربیات طراحان صورت می گیرد، بسیار ناچیز و نزدیک به صفر می باشد.

۲-۴-۲-۱- مدل های عددی

در یک مطالعه موردی که در کشور تایوان بر روی عملیات تزریق سیمان، در ساختگاه سد Li-Yu-Tan صورت گرفته، مهمترین پارامتر تزریق سیمان یعنی میزان مصرف سیمان برحسب کیلوگرم بر متر در هر مقطع از گمانه های اکتشافی، در مقایسه با مقادیر آزمایش فشار آب درسایرگمانه های اکتشافی محور و تکیه گاه های سد، مورد بررسی و تحلیل تئوری(عددی) واقع شده است. در سد مذکور