



دانشکده: معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: استخراج

پایان نامه کارشناسی ارشد

انتخاب و طراحی سیستم تحکیم و آب بندی گالری دسترسی زیر هسته رسی، مطالعه

موردی: سد خاکی رودبار لرستان

عاشر گلدی کلته

اساتید راهنما:

دکتر فرهنگ سرشکی

پروفسور محمد عطائی

تیرماه ۱۳۹۱

چکیده

اصلاح و بهسازی وضعیت پی سدها با ایجاد پرده‌های آب‌بند به منظور جلوگیری از حرکت کامل آب و یا طولانی کردن مسیر جریان آب، همواره یکی از اهداف مهندسان در پروژه‌های سدسازی بوده است. در این خصوص عملیات تزریق دوغاب سیمانی یکی از مرسوم‌ترین روش‌های رسیدن به این هدف می‌باشد. تزریق در توده‌های سنگی در ابتدا حدود ۲۰۰ سال پیش توسط یک مهندس فرانسوی به نام چارلز برینی با وسایل بسیار مقدماتی به کار گرفته شد. با گذشت زمان پیشرفت‌های علمی و عملی زیادی در زمینه تزریق به دست آمد و روش عدد شدت تزریق (G.I.N Grouting Intensity) (Number) در توده‌سنگ، برای اولین بار توسط Lombardi و Deere در سال ۱۹۹۳ ارائه شد. حاصل-ضرب فشار بیشینه جریان در خوردن بیشینه به ازای یک متر گمانه، عدد شدت تزریق نامیده می‌شود. هدف از ارائه این روش و کاربرد آن در سدها صرفه‌جویی در وقت و هزینه و افزایش کیفیت تزریق و پرده آب‌بند می‌باشد. در این تحقیق، لزوم طراحی پرده آب‌بند و تزریق آن، با حفاری سه گمانه آزمایشی بررسی شد. با انجام آزمایش‌های فشار آب لوژان، شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI)، مغزه-گیری و محاسبه RQD مغزه‌های به دست آمده از گمانه‌های آزمایشی، توده‌سنگ منطقه طبقه‌بندی شد. در نهایت این سه گمانه با روش جدید عدد شدت تزریق G.I.N تزریق شدند. با بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده و تزریق به روش G.I.N مشخص شد که طراحی و اجرای پرده آب-بند تک ردیفه ضروری می‌باشد. به منظور طراحی پرده آب‌بند ۶۵ گمانه در سری‌های P، S، T و Q و در یک ردیف در جناح چپ پی سد حفاری شدند. در پایان با توجه به نتایج بدست آمده از تزریق دوغاب سیمانی با روش G.I.N میزان خوردن گمانه‌ها از یک سری به سری دیگر کاهش یافته و این نشان دهنده صرفه‌جویی در هزینه و نیز آب‌بندی موفق منطقه تزریق شده و پرشدن درزه‌های موجود در آن ناحیه می‌باشد.

کلمات کلیدی: تزریق، روش عدد شدت تزریق، سد رودبار لرستان، پرده آب‌بند

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت تحقیق ۳

۱-۳- اهداف تحقیق ۳

۱-۴- محل تحقیق ۴

۱-۴-۱- موقعیت جغرافیایی سد رودبار لرستان ۴

۱-۴-۲- زمین‌شناسی محدوده سد ۶

۱-۴-۳- سنگ‌شناسی ناحیه ۷

۱-۴-۴- زمین‌شناسی مهندسی محل سد ۷

۱-۴-۵- سنگ بستر ۸

۱-۴-۶- بررسی درزه‌ها در گمانه‌های اکتشافی ۱۰

۱-۵- مطالعات انجام شده در دنیا ۱۰

۱-۶- ساختار پایان‌نامه ۱۱

فصل دوم ۱۳

۱-۲- مقدمه ۱۴

۲-۲- پرده آب‌بند ۱۵

۱۷	۱-۲-۲- عمق پرده آببند
۱۹	۳-۲- انواع پرده آببند در سدها
۱۹	۴-۲- آرایش گمانه‌های پرده آببند
۲۳	۵-۲- تزریق
۲۳	۱-۵-۲- انواع تزریق
۲۶	۲-۵-۲- مشخصات دوغاب تزریق
۲۹	۳-۵-۲- نقش آب
۳۰	۴-۵-۲- مخلوط‌های رقیق تا غلیظ
۳۶	۶-۲- نفوذ دوغاب به درون درزه‌ها
۳۹	فصل سوم
۴۰	۱-۳- مقدمه
۴۱	۲-۳- مبانی روش G.I.N
۴۲	۳-۳- مفهوم عدد شدت تزریق
۴۷	۴-۳- تعیین پارامترهای عدد شدت تزریق
۵۱	۵-۳- انتخاب مقدار G.I.N
۵۳	۶-۳- ویژگی‌های منحصربه‌فرد روش G.I.N
۵۵	۷-۳- اصول اجرایی روش G.I.N
۵۸	۸-۳- کنترل رایانه‌ای عملیات تزریق
۶۰	۹-۳- مقایسه روش G.I.N با روش سنتی

۶۰	..... ۱-۹-۳ مقدمه
۶۱	..... ۲-۹-۳ موارد بحث برانگیز روش G.I.N
۶۲	..... ۱-۲-۹-۳ تزریق با دوغاب‌های رقیق
۶۲	..... ۲-۲-۹-۳ پالایش دوغاب در اثر فشار
۶۳	..... ۳-۲-۹-۳ معیار امتناع
۶۴	..... ۴-۲-۹-۳ جک هیدرولیکی و شکست هیدرولیکی
۶۶	..... ۵-۲-۹-۳ خیز سطح زمین بر اثر تزریق
۶۹	..... ۶-۲-۹-۳ آزمون‌های فشار آب
۷۰	..... ۱۰-۳-۱۰-۳ رفع ابهامات روش G.I.N
۷۰	..... ۱-۱۰-۳ کنار گذاشتن آزمایش‌های فشار آب
۷۱	..... ۲-۱۰-۳ نمودار محدود کننده G.I.N
۷۴	..... ۱۱-۳-۱۱-۳ خطاهای عمده در روش G.I.N
۷۶	..... ۱۲-۳-۱۲-۳ شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI)
۸۰	..... فصل چهارم
۸۱	..... ۱-۴-۱ مقدمه
۸۲	..... ۲-۴-۲ طراحی پرده آب‌بند
۸۴	..... ۳-۴-۳ ماشین‌آلات و تجهیزات حفاری
۸۵	..... ۱-۳-۴-۱ دستگاه‌های حفاری
۸۶	..... ۲-۳-۴-۲ تجهیزات حفاری
۸۷	..... ۱-۲-۳-۴-۱ سرمته

۸۸	..... ۴-۳-۲-۲-میله حفاری
۸۹	..... ۴-۴-تجهیزات تزریق
۸۹	..... ۴-۴-۱-پمپ تزریق
۹۰	..... ۴-۴-۲-ثباته دیجیتالی
۹۱	..... ۴-۴-۳-پکر
۹۳	..... ۴-۴-۴-تجهیزات اختلاط دوغاب
۹۳	..... ۴-۵-حفاری و مغزه‌گیری
۹۵	..... ۴-۶-انحراف سنجی
۹۶	..... ۴-۷-آزمایش فشار آب لوژان
۱۰۰	..... ۴-۸-شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI)
۱۰۵	..... ۴-۹-تزریق گمانه‌های آزمایشی
۱۰۷	..... ۴-۱۰-مشخصات فنی تزریق و دوغاب
۱۱۴	..... ۴-۱۱-طراحی پرده آب‌بند جناح چپ
۱۱۸	..... ۴-۱۲-نتایج تزریق گمانه‌های پرده آب‌بند
۱۲۴	..... فصل پنجم
۱۲۵	..... ۵-۱-مقدمه
۱۲۶	..... ۵-۲-نتایج
۱۲۹	..... ۵-۳-پیشنهادات
۱۳۰	..... منابع

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی سد رودبار لرستان ۵
- شکل ۱-۲- عکس ماهواره‌ای محدوده طرح ۵
- شکل ۱-۳- نقشه شماتیک تقسیمات ساختمانی ایران ۶
- شکل ۱-۴- محور سد دید از پایین دست ۸
- شکل ۱-۵- خصوصیات لایه‌بندی و گسل‌های محل سد ۹
- شکل ۱-۶- فلوجارت پایان‌نامه ۱۲
- شکل ۲-۱- پرده آب‌بند سد کارون ۳ ۱۶
- شکل ۲-۲- فلوجارت هولسبی، طراحی پرده آب‌بند بر اساس نشت مجاز آب ۱۸
- شکل ۲-۳- نمونه‌ای از نتایج تزریق برای یک پرده تزریق ۲۱
- شکل ۲-۴- مقایسه جریان و تغییر شکل مخلوط سیمانی و آب ۲۷
- شکل ۲-۵- مقاومت ۲۸ روزه به ازای زمان جریان از قیف مارش ۲۸
- شکل ۲-۶- سرعت توزیع دوغاب در یک درزه ۳۲
- شکل ۲-۷- نفوذ دوغاب رقیق تحت فشار در یک درزه ۳۳
- شکل ۲-۸- تزریق آزمایشی در یک درزه با ضخامت ثابت ۳۴
- شکل ۲-۹- صفحه اندازه‌گیری چسبندگی ۳۵
- شکل ۲-۱۰- توزیع فشار و نیروها در یک سیستم دو درزه‌ای، حین تزریق ۳۷
- شکل ۲-۱۱- زون‌های اطراف مناطق تماس تزریق نشده یا با تزریق‌شدگی ضعیف ۳۸
- شکل ۳-۱- الگویی از افزایش فشار در طول مراحل تزریق ۴۳
- شکل ۳-۲- توقف تزریق در فشار معین ۴۴
- شکل ۳-۳- محدودیت فشار و حجم تزریق با توجه به منحنی‌های G.I.N ۴۹

- شکل ۳-۴- نمونه‌ای از منحنی‌های مسیر تزریق ۵۲
- شکل ۳-۵- حدود منحنی G.I.N ۵۳
- شکل ۳-۶- نمایش فرآیند تزریق یک مقطع ساده توسط نمودارهای رایانه‌ای ۵۹
- شکل ۳-۷- مقایسه روش‌های تزریق سنتی و G.I.N ۶۱
- شکل ۳-۸- تکرار شکل (۳-۲)، فرآیند تزریق ۶۴
- شکل ۳-۹- پدیده جک هیدرولیکی ۶۵
- شکل ۳-۱۰- بالآآمدگی غیرقابل اجتناب سطح زمین واقع در بالای زون تزریق شده ۶۷
- شکل ۳-۱۱- تزریق بین انواع سنگ‌ها ۶۹
- شکل ۳-۱۲- محدودیت‌های تزریق ۷۲
-
- شکل ۴-۱- مراحل بررسی ضرورت احداث و تزریق پرده آب‌بند ۸۲
- شکل ۴-۲- محل گمانه‌های آزمایشی و آزمون گالری ۸۳
- شکل ۴-۳- دستگاه حفاری XY۱ ۸۶
- شکل ۴-۴- نمایی از بغل تراش ۸۶
- شکل ۴-۵- سرمته دگمه‌ای با سطح مقطع تخت ۸۷
- شکل ۴-۶- سرمته‌های مغزه‌گیری و معمولی استفاده شده در طرح رودبار لرستان ۸۸
- شکل ۴-۷- پمپ تزریق مدل P-۱۸۰ شرکت ITP، استفاده شده در طرح ۸۹
- شکل ۴-۸- دستگاه فشار شکن ۹۰
- شکل ۴-۹- ثباته دیجیتالی مدل HIR-۰۰۱ ۹۱
- شکل ۴-۱۰- نمونه‌ای از پکر مکانیکی و پنوماتیکی ۹۲
- شکل ۴-۱۱- تجهیزات ساخت و انتقال دوغاب به گمانه ۹۳
- شکل ۴-۱۲- جعبه مغزه گمانه آزمایشی G1LP۱۴ ۹۳

- شکل ۴-۱۳- انحراف سنجی در گمانه G\LP۱۳ ۹۶
- شکل ۴-۱۴- دستگاه آزمایش فشار آب لوژان استفاده شده در طرح ۹۷
- شکل ۴-۱۵- مقایسه مقادیر SPI و RQD نسبت به عمق در گمانه G\LP۱۲ ۱۰۳
- شکل ۴-۱۶- مقایسه مقادیر SPI و RQD نسبت به عمق در گمانه G\LP۱۳ ۱۰۳
- شکل ۴-۱۷- مقایسه مقادیر SPI و RQD نسبت به عمق در گمانه G\LP۱۴ ۱۰۴
- شکل ۴-۱۸- خوردند و فشار در منحنی G.I.N ۱۰۷
- شکل ۴-۱۹- مقایسه پارامترهای خوردند و لوژان و RQD در گمانه G\LP۱۲ ۱۱۱
- شکل ۴-۲۰- مقایسه پارامترهای خوردند و لوژان و RQD در گمانه G\LP۱۳ ۱۱۱
- شکل ۴-۲۱- مقایسه پارامترهای خوردند و لوژان و RQD در گمانه G\LP۱۴ ۱۱۲
- شکل ۴-۲۲- منحنی عدد G.I.N و مسیر تزریق مربوط به گمانه G\LP۱۲ ۱۱۳
- شکل ۴-۲۳- منحنی عدد G.I.N و مسیر تزریق مربوط به گمانه G\LP۱۳ ۱۱۳
- شکل ۴-۲۴- آرایش گمانه‌ها به روش تقسیم فاصله میانی گالری چپ سد رودبار لرستان ۱۱۶
- شکل ۴-۲۵- گمانه‌های پرده آب‌بند ۱۱۷
- شکل ۴-۲۶- میزان خوردند دوغاب سیمانی سری‌های مختلف گمانه‌های پرده آب‌بند ۱۲۰
- شکل ۴-۲۷- تزریق سری‌های مختلف گمانه‌ها ۱۲۱
- شکل ۴-۲۸- پرده آب‌بند پس از تزریق ۱۲۳
- شکل ۵-۱- مراحل انجام تزریق ۱۲۸

- جدول ۱-۱- مطالعات انجام شده در دنیا ۱۱
- جدول ۱-۲- مخلوط‌های غلیظ استفاده شده در پرده آب‌بند برخی از سدهای مهم ۳۶
- جدول ۱-۳- قواعد اصلی روش G.I.N ۴۲
- جدول ۲-۳- رده‌بندی توده‌سنگ بر اساس SPI ۷۹
- جدول ۱-۴- مشخصات گمانه‌های آزمایشی ۸۳
- جدول ۲-۴- مقادیر RQD گمانه‌های آزمایشی ۹۴
- جدول ۳-۴- رده‌بندی مهندسی سنگ بر اساس کیفیت مغزه‌ها (RQD) ۹۵
- جدول ۴-۴- میزان انحراف گمانه‌های آزمایشی ۹۶
- جدول ۵-۴- فشارهای آزمایش لوژان برای عمق‌های مختلف ۹۷
- جدول ۶-۴- محاسبه عدد لوژان نهایی ۹۸
- جدول ۷-۴- مقادیر عدد لوژان نهایی گمانه‌های تزریق آزمایشی ۹۹
- جدول ۸-۴- مقایسه رده‌بندی SPI و RQD گمانه‌ها ۱۰۱
- جدول ۹-۴- درصد فراوانی نوع رده SPI در گمانه‌های مورد آزمایش ۱۰۴
- جدول ۱۰-۴- فشار حد برای عمق‌های مختلف ۱۰۷
- جدول ۱۱-۴- نتایج خوردند گمانه‌های آزمایشی ۱۰۹
- جدول ۱۲-۴- مقایسه خوردند سیمان در عمق‌های مختلف ۱۱۴
- جدول ۱۳-۴- خوردند گمانه‌های پرده آب‌بند در سری‌های اجرا شده ۱۱۸

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱ فصل اول

۱-۱- مقدمه

دست‌یافته‌های علمی نشان می‌دهد که تحقیقات، مطالعات و اصلاحات جدید تئوری و عملی، جهت متناسب کردن نیازهای صنعت ساختمان در حوزه‌های پی، پایدارسازی توده‌سنگ، تونل‌کاری و ساخت سازه‌های نگاهدارنده آب، هنوز هم لازم هستند. یکی از راهکارها برای ترمیم و بهسازی پی‌ها، احداث پرده آب‌بند^۱ است که هدف از اجرای آن، ایجاد حائلی با آب‌گذری کم و قابل کنترل و اقتصادی در مسیر محور و تکیه‌گاه‌های سد می‌باشد. یکی از مهمترین عوامل در اجرای موفق پرده آب‌بند، حفاری و تزریق دوغاب سیمانی با بررسی شرایط زمین‌شناسی و درزه‌های موجود در توده‌سنگ می‌باشد. عملیات تزریق روشی است که در آن مخلوط دوغاب با اعمال فشار به درون درزه و شکاف‌ها و ناپیوستگی‌های تشکیلات سنگی یا خاکی به منظور ایجاد پرده آب‌بند، تحکیم و تقویت تشکیلات زمین، پرکردن فضاهای خالی سازه و سنگ و ... وارد می‌شود. با پیشرفت‌های به دست آمده در زمینه تزریق، امروزه برای گرفتن نتایج بهتر از تزریق‌های پرده آب‌بند و تحکیمی از روش نوین عدد شدت

^۱ - Grout Curtain

تزریق^۱ (G.I.N) استفاده می‌شود که در این تحقیق نتایج و ویژگی‌های آن نسبت به روش‌های سنتی بیان خواهد شد.

۱-۲- ضرورت تحقیق

عملیات تزریق دوغاب سیمانی در جهت تحکیم پی سازه‌ها از جمله سدها، ساختمان‌ها، نیروگاه‌ها، معادن و سازه‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه حتی در بهسازی محیط‌زیست و تحکیم سازه‌های بتنی و ایجاد پرده آب‌بند سدها از این عملیات استفاده می‌شود. در سال‌های پیشین نحوه تزریق گمانه‌های حفاری شده برای ایجاد پرده آب‌بند به صورت سنتی و دستی بوده و در نتیجه اطمینان کاملی از تشکیل پرده آب‌بند یکنواخت و یکدست وجود نخواهد داشت. با پیشرفت‌های علمی و عملی در زمینه تزریق دوغاب سیمانی روش جدیدی معرفی شد که بسیاری از کاستی‌های روش سنتی را برطرف کرد. این روش که به روش عدد شدت تزریق معروف است از لحاظ فنی و اقتصادی و زمانی نسبت به روش سنتی مقرون به صرفه بوده و نتایج حاصل از آن از اطمینان بیشتری برخوردار است. در پروژه‌های بزرگ نظیر سدسازی صرفه‌جویی در هزینه و زمان و کسب نتیجه قابل قبول بسیار حائز اهمیت است، از این رو لازم است تا طراحی و اجرا همگام با علم پیشرفت کرده و از روش‌های جدیدتری استفاده گردد.

۱-۳- اهداف تحقیق

در این تحقیق، شرایط زمین‌شناسی و میزان درزه‌داری و ناپیوستگی‌های توده‌سنگ در جناح چپ ساختگاه سد رودبار لرستان مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. هدف از این مطالعات، شناخت کامل توده‌سنگ‌های تشکیل دهنده محدوده مورد مطالعه و ارزیابی نفوذپذیری آنها با روش رده‌بندی RQD، آزمایش نفوذپذیری لوژان^۲ و شاخص نفوذپذیری ثانویه^۳ می‌باشد. در نهایت با توجه به نتایج به

^۱ - Grouting Intensity Number

^۲ - Lugeon

^۳ - Secondary Permeability Index

دست آمده از ارزیابی‌ها، ضرورت طراحی، اجرا و تزریق پرده آب‌بند با روش عدد شدت تزریق مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نتایج حاصله از روش عدد شدت تزریق در پروژه‌ها از لحاظ اقتصادی و فنی قابل قبول بوده و تعمیم آن به سایر پروژه‌های در حال احداث در کشور بسیار مهم می‌باشد تا هم از نظر اقتصادی و هم از نظر قابلیت اطمینان باعث پیشرفت فزاینده‌ای گردد.

۱-۴- محل تحقیق

در عملیات احداث و تزریق پرده آب‌بند یکی از مهمترین عوامل شناخت دقیق مشخصات سنگ-شناسی و زمین‌شناسی محل می‌باشد که در ذیل به توضیح آنها پرداخته خواهد شد.

۱-۴-۱- موقعیت جغرافیایی سد رودبار لرستان

محل پروژه سد و نیروگاه رودبار لرستان در استان لرستان و در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهرستان الیگودرز قرار دارد، که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

مختصات جغرافیایی ساختگاه سد و نیروگاه به ترتیب عبارت است از:

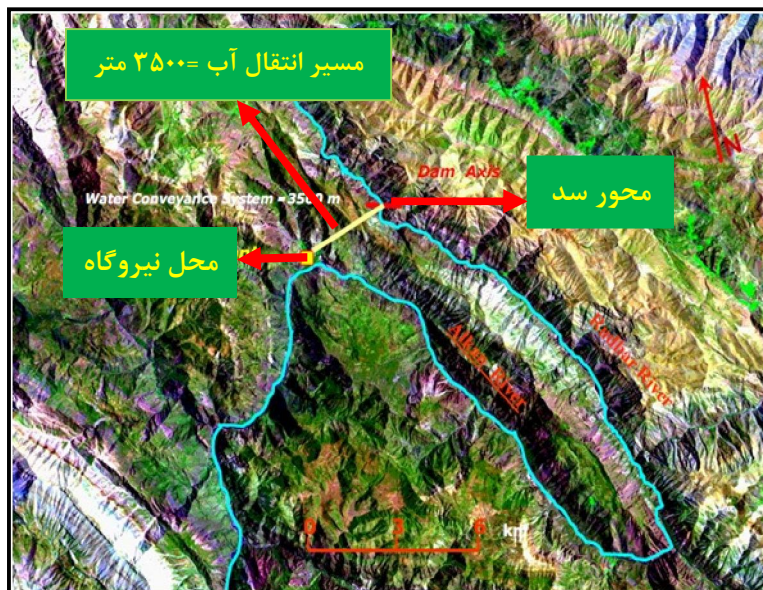
ساختگاه سد: عرض جغرافیایی $19''$ و $54'$ و 32° شمالی، طول جغرافیایی $05''$ و $41'$ و 49° شرقی.

ساختگاه نیروگاه: عرض جغرافیایی $55''$ و $52'$ و 32° شمالی، طول جغرافیایی $03''$ و $39'$ و 49° شرقی.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی سد رودبار لرستان (Google Map, 2012)

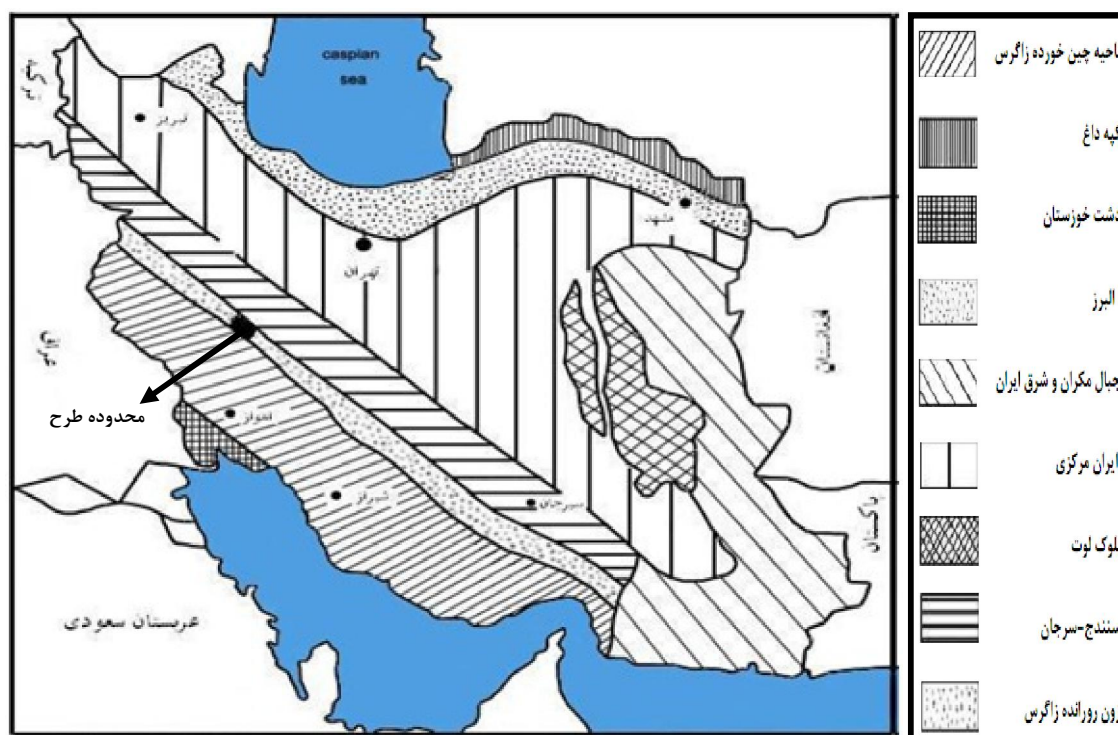
رودخانه رودبار پس از طی حدود ۳۳ کیلومتر در جهت جنوب شرقی، به محل ساختگاه سد رسیده و سپس به صورت یک چرخش U شکل (که از این پس رودخانه الکن شروع می‌شود) به محل پیشنهادی نیروگاه می‌رسد که تقریباً در فاصله ۳ کیلومتری پایین دست محور سد واقع شده است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- عکس ماهواره‌ای محدوده طرح (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶)

۱-۴-۲- زمین‌شناسی محدوده سد

گستره مورد بررسی در پهنه زاگرس شمالی یا زاگرس بلند واقع شده است که این زون در واقع یک نوار به شدت خردشده به پهنای بین ۷۰ تا ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد، که از جنوب‌غربی به نوارچین خورده زاگرس و از شمال‌شرقی به گسله واژگون زاگرس^۱ و پهنه سنندج-سیرجان محدود گردیده است (شکل ۳-۱). این زون دارای روند شمال‌غربی، جنوب‌شرقی ($N130^{\circ}$) بوده و تحت تأثیر حرکات کرتاسه پسین (فرورانش) و پلیوسن قرار گرفته است. در بخشی از زاگرس شمالی که گستره مورد بررسی در آن واقع است، مهمترین واحدهایی که رخنمون دارند شامل: سازندهای آهکی-دولومیتی نظیر دالان و سروک، سازندهای شکل‌پذیر نظیر شیل و مارن متشکل از سازندهای هرمز و میلا و سازندهای حد واسط نظیر سازند گرو می‌باشند (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶).



شکل ۱-۳- نقشه شماتیک تقسیمات ساختمانی ایران (علوی‌نائینی، ۱۳۷۲)

^۱ - Zagros Reverse Fault

۱-۴-۳- سنگ‌شناسی ناحیه

ترکیب سنگ‌شناسی ناحیه به صورت زیر است (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶):

۱- دولومیت و آهک دولومیتی با تداخلی از برش‌ها و شیست‌های میکادار رنگارنگ خصوصاً ارغوانی.

۲- شیل‌های ارغوانی رنگ، میکادار همراه با دولومیت‌های بین لایه ای.

۳- ماسه‌سنگ‌های آركوزیک ارغوانی تا صورتی.

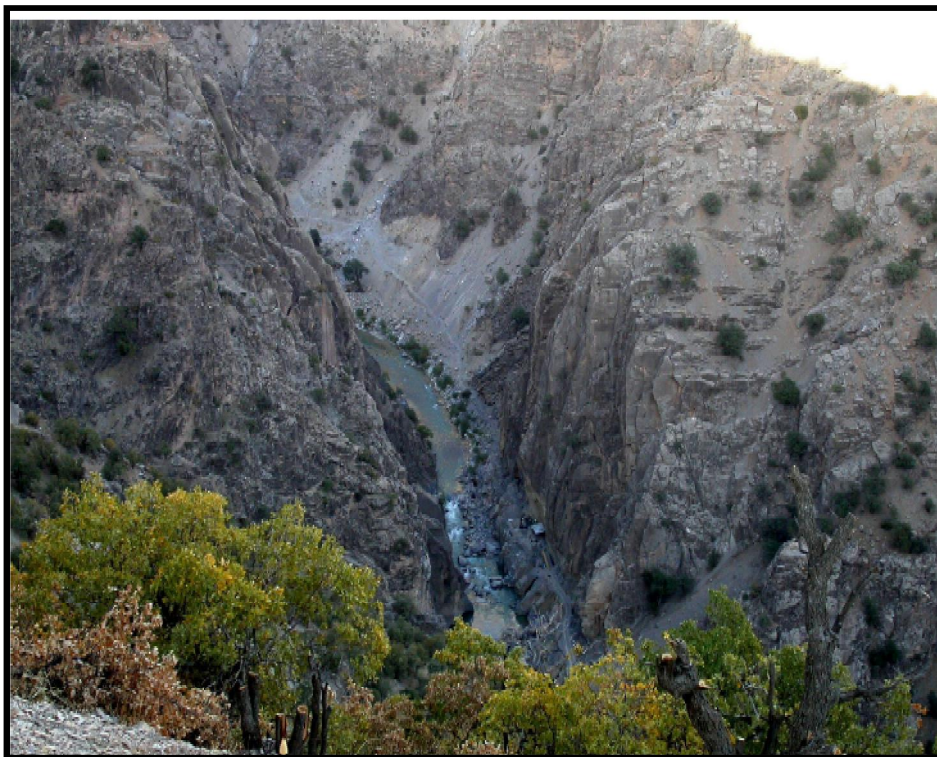
۴- ماسه‌سنگ‌های کوارتزیک صورتی تا سفید.

۵- دولومیت‌های سیلیسی تیره رنگ و آهک‌های سیاه یا آبی متمایل به سیاه در تناوب با شیل‌های زرد و سبز و صورتی رنگ.

۶- دولومیت و آهک در تناوب با شیل. با توجه به رخنمون سنگ‌ها در محدوده مجاور رودخانه الکن و نیز اطلاعات بدست آمده از گمانه‌های اکتشافی، وجود بخش اصلی از ستون سنگ‌شناسی فوق از جمله: دولومیت‌های تیره رنگ همراه با تداخل‌هایی از برش و شیست‌های میکادار رنگارنگ شیل و مارن‌های ارغوانی و صورتی رنگ و نیز ماسه سنگ‌های صورتی و دولومیت‌های تیره رنگ در محدوده مزبور قطعی می‌باشد.

۱-۴-۴- زمین‌شناسی مهندسی محل سد

محور سد در تنگه‌ای با دیواره‌های پرشیب و تقریباً عمود بر امتداد لایه‌بندی قرار دارد. رودخانه به صورت S شکل از میان لایه‌های بسیار سخت آهکی-دولومیتی و نزدیک به قائم عبور می‌نماید که این حالت تنگه باریک و کوتاهی را ایجاد نموده است. در تکیه‌گاه چپ از تراز ۱۷۵۰ (حدود ۱۵۰ متر بالاتر از رودخانه) شیب نسبتاً ملایم می‌شود، ولی در تکیه‌گاه راست شیب تند تا ترازهای بالاتر ادامه پیدا می‌کند. شکل ۱-۴ تنگه محور سد را با دید از پایین‌دست نشان می‌دهد.



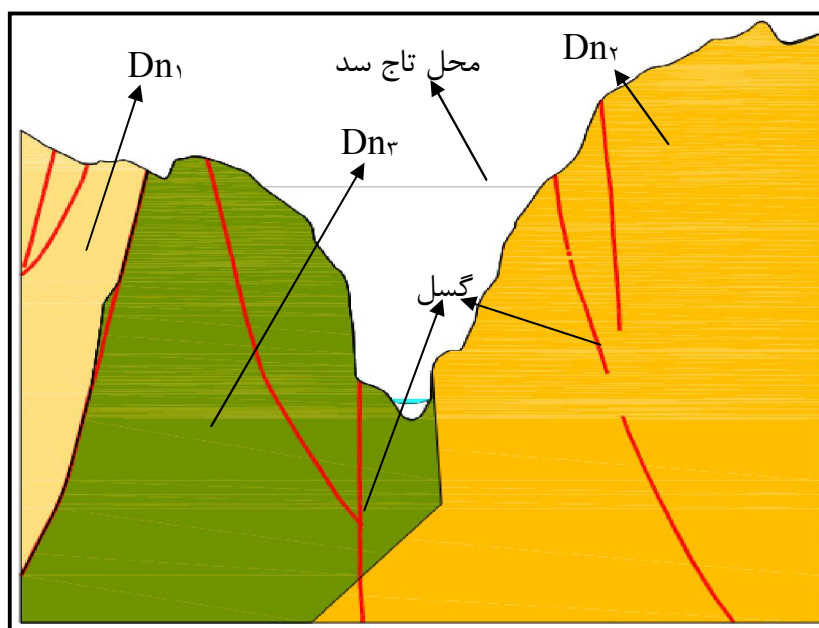
شکل ۱-۴- محور سد دید از پایین دست (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶)

۱-۴-۵- سنگ بستر

سنگ بستر محل سد را سنگ‌های آهکی-دولومیتی متعلق به سازند دالان (پرمین) تشکیل می‌دهند. از نظر سنگ‌شناسی سازند مزبور از آهک‌های دولومیتی و دولومیت تشکیل شده است که دارای لایه‌بندی منظم ضخیم لایه و توده‌ای تا متوسط لایه می‌باشد. رنگ سنگ‌های مزبور خاکستری تیره بوده و رنگ هوازده آنها خاکستری روشن تا نخودی رنگ تغییر می‌کند. بررسی میکروسکوپی تعدادی از نمونه‌های سنگی اخذ شده از محل محور سد نشان می‌دهد که ترکیب سنگ‌شناسی این نمونه‌ها عمدتاً آهکی تا آهکی دولومیتی و به ندرت دولومیت می‌باشند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و بر مبنای خصوصیات لایه‌بندی، سنگ‌های محل سد به سه واحد: Dn_1 و Dn_2 و Dn_3 تقسیم شده‌اند. این لایه‌بندی‌ها در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.

واحد Dn_1 : به رنگ خاکستری تیره، متوسط لایه و از تناوب لایه‌های آهکی و آهک دولومیتی تشکیل یافته است. این واحد در بالادست محور سد واقع گردیده است. واحد Dn_2 : به رنگ خاکستری بوده و از

لایه‌های آهکی و آهکی دولومیتی متوسط تا ضخیم لایه تشکیل یافته است. این واحد بیشتر محدوده محور سد را تشکیل می‌دهد. واحد Dn_r : به رنگ خاکستری و از لایه‌های ضخیم تا توده‌ای دولومیتی تشکیل شده و در پایین دست محور سد مشاهده می‌گردد. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که لایه‌های آهکی و آهکی دولومیتی متوسط تا ضخیم لایه سازند دالان، سنگ‌پی محل سد را تشکیل می‌دهد. یکی از ویژگی‌های شاخص ساختاری در محدوده مورد مطالعه، قرار گرفتن ساختگاه سد در حد فاصل دو گسل اصلی و جوان زاگرس (در پایین دست) و گسل اصلی و معکوس زاگرس (در بالادست)، می‌باشد. همین امر باعث گردیده است که در ساختگاه سد گسل‌های کوچک و بزرگ فراوان با ساز و کارهای متفاوت و همچنین زون‌های متعددی به لحاظ کیفیت توده‌سنگ به وجود آید. در محدوده محور سد علاوه بر درزه‌های متعددی که برداشت شده، حدود ۳۰ درزه اصلی نیز در هر دو تکیه‌گاه مورد شناسایی قرار گرفت که یک‌سوم آن در تکیه‌گاه راست و بقیه در تکیه‌گاه چپ واقع گردیده‌اند. حداقل طول این درزه‌ها حدود ۱۵ متر و حداکثر به ۱۲۰ متر می‌رسد، و شیب آنها بین ۶۰-۸۰ درجه می‌باشد (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶).



شکل ۱-۵- خصوصیات لایه‌بندی و گسل‌های محل سد

۱-۴-۶- بررسی درزه‌ها در گمانه‌های اکتشافی

با توجه به حفاری‌های انجام شده در محل محور سد، حدود ۵۵۶۰ درزه موجود بر روی مغزه‌های بدست آمده از گمانه‌های حفاری شده در تکیه‌گاه‌ها و بستر به لحاظ زاویه درزه، زبری، هوازگی و پرشدگی مورد مطالعه قرار گرفته است. در تکیه‌گاه چپ حدود ۱۷۴۶ درزه برداشت گردیده که اکثراً زاویه سطح درزه بین ۳۰-۶۰ درجه نسبت به افق می‌باشد. شکل سطح درزه عمدتاً صفحه‌ای و موج‌دار و سطح درزه‌ها اکثراً زیر و خش‌لغزش‌دار و از لحاظ هوازگی دارای سطحی سالم تا کمی هوازده و پرشدگی آنها عمدتاً کلسیت و بیتومین و یا ترکیب این دو می‌باشد. حدود ۴۰ درصد از درزه‌ها حاوی اکسید آهن و حدود ۴۱ درصد فاقد هرگونه اکسیداسیون می‌باشد. از حدود ۷۷۰ متر حفاری انجام شده در این تکیه‌گاه ۲۵ درصد مغزه آبشستگی^۱ و ۱۹ درصد از مغزه‌ها خردشده^۲ می‌باشند (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶).

۱-۵- مطالعات انجام شده در دنیا

برای بهبود پی سدها و نیز پیشرفت در تزریق به روش G.I.N در پرده‌های آب‌بند، تحقیقات گسترده-ای در نقاط مختلف دنیا انجام و در پروژه‌های عملی به کار بسته شده است. خلاصه‌ای از این مطالعات و تحقیقات در جدول ۱-۱ آورده شده است.

^۱ - Core Wash

^۲ - Fragmented

جدول ۱-۱ - ۱- مطالعات انجام شده بر روی تزریق دوغاب سیمانی به روش سنتی و G.I.N در سدها

ردیف	موضوع	ارائه دهنده و سال ارائه
۱	سدها و تأثیر زمین‌شناسی در تزریق	Lugeon, 1933
۲	نسبت بهینه آب به سیمان برای تزریق در سنگ‌ها	Houlsby, 1982
۳	مکانیک سنگ در طراحی معدن و تونل	Bieniawski, 1984
۴	نقش چسبندگی در تزریق دوغاب سیمانی به سنگ	Lombardi, 1985
۵	تزریق دوغاب سیمانی رقیق یا غلیظ	Deere & Lombardi, 1985
۶	نفوذپذیری و تزریق در توده‌سنگ‌های ترک خورده	Lombardi, 1990
۷	دستورالعمل و طراحی سیمان برای تزریق	Houlsby, 1990
۸	طراحی و کنترل تزریق با استفاده از اصل روش G.I.N	Lombardi & Deere, 1993
۹	استفاده از مخلوط تزریق پایدار و تکنیک G.I.N برای بازسازی سدها	Trucotte et al, 1994
۱۰	انتخاب عدد شدت تزریق (G.I.N)	Lombardi, 1996
۱۱	استفاده از روان‌کننده‌ها در تزریق سیمانی	Bremen, 1997
۱۲	تزریق توده‌های سنگی	Lombardi, 2003
۱۳	پیشنهاد شاخص نفوذپذیری ثانویه با آزمایش لوژان بدست آمده در سدها	Foyo et al, 2005

۱-۶- ساختار پایان‌نامه

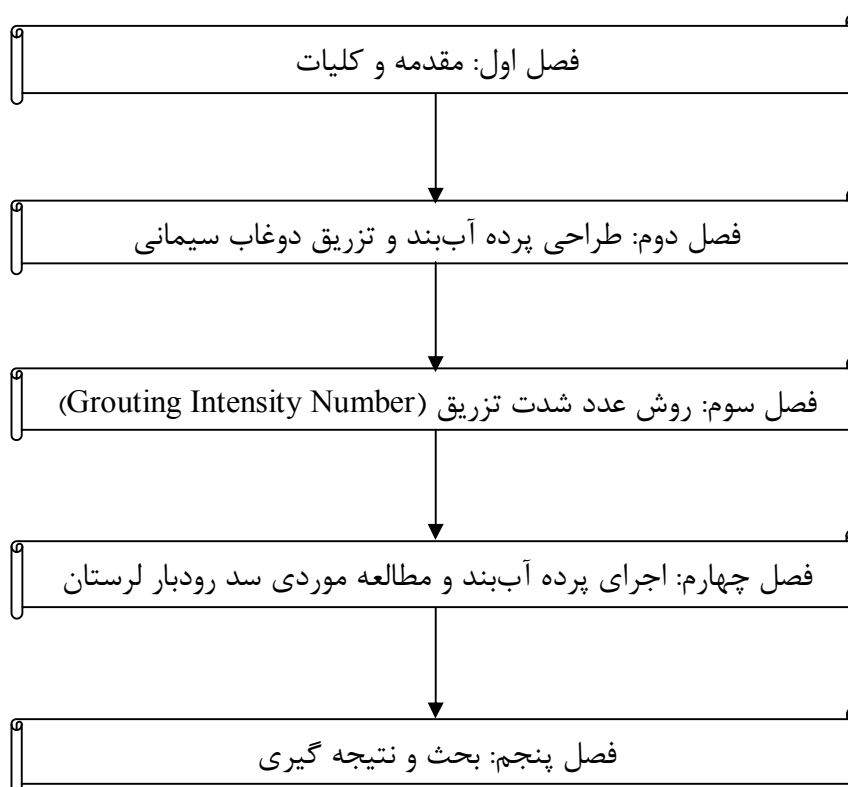
نتایج این تحقیق در ۵ فصل ارائه شده است.

- ۱- فصل اول: در این فصل که فصل پیش رو می‌باشد، کلیاتی در زمینه موضوع مورد تحقیق و موقعیت و سنگ‌شناسی محل مورد تحقیق مشاهده می‌شود. هدف از انجام تحقیق و ضرورت و روش انجام آن نیز به طور مختصر شرح داده شده است.
- ۲- فصل دوم: در این فصل، به بررسی طراحی پرده آب‌بند و عوامل مؤثر در طراحی و تزریق دوغاب سیمانی و انواع تزریق‌ها پرداخته شده است.
- ۳- فصل سوم: در این فصل، روش مورد استفاده برای تحقیق که عدد شدت تزریق نامیده می‌شود، ارائه شده است. همچنین برتری‌های این روش در مقایسه با روش‌های سنتی بیان شده و پارامترهای مؤثر در اجرای صحیح روش ذکر شده است.
- ۴- فصل چهارم: در این فصل، نحوه اجرای پرده آب‌بند با بررسی کیفیت توده‌سنگ به روش‌های RQD، آزمایش لوژان و شاخص نفوذپذیری ثانویه و تزریق دوغاب سیمانی در سد رودبار

لرستان ذکر شده است. همچنین نتایج بدست آمده از تزریق دوغاب سیمانی به روش G.I.N بیان شده است.

۵- فصل پنجم: در این فصل، که فصل پایانی است، نتایج حاصل از این تحقیق و پیشنهاداتی که در این زمینه ارائه شده است، آورده شده است.

فلوچارت پایان نامه در شکل ۱-۶ آورده شده است.



شکل ۱-۶- فلوچارت پایان نامه

فصل دوم

پرده آب‌بند و تزریق دوغاب سیمانی

۲ فصل دوم

۲-۱- مقدمه

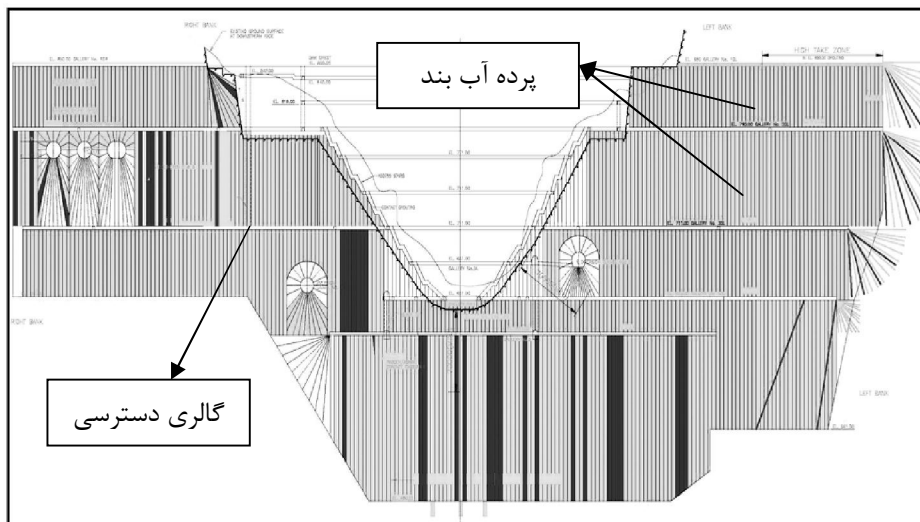
مطالعه، نقد و بررسی همه جانبه طراحی پرده آببند در یک پروژه، در جهت علت‌یابی نقاط ضعف و قوت آن می‌تواند راهگشایی برای طراحی‌های بهینه در آینده و کسب تجربه‌ای مفید و کاربردی برای کارشناسان باشد. در طراحی پرده آببند، باید تمام عوامل و پارامترهای دخیل از جمله زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و خصوصیات سازه‌ای در محدوده پروژه مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار گیرد. مطالعه محدوده طرح می‌تواند در تحلیل مسائل مختلفی از جمله: چگونگی تنش‌های برجا، تغییر شکل‌های موجود، خصوصیات ژئوتکنیکی و رفتار مکانیکی و دینامیکی لایه‌های زمین و در نهایت طراحی بهینه پرده آببند کمک نماید. در ادامه این فصل درباره پرده آببند و شرایط تزریق در توده‌سنگ‌ها از نظر خصوصیات مکانیکی و درزه‌داری بحث و بررسی خواهد شد.

۲-۲- پرده آببند

پرده آببند یک پرده بتنی است که از گمانه‌های متوالی در یک یا چند ردیف که عمل تزریق دوغاب سیمانی در آنها انجام می‌شود، تشکیل شده است و مانند دیوار راه نفوذ آب را می‌بندد. همچنین مانند یک سپر هیدرولیکی با نفوذپذیری کم و عموماً با شیب به طرف بالادست در برابر جریان آب در زیر بدنه و تکیه‌گاه‌های سد عمل می‌کند و با طولانی نمودن مسیر جریان باعث استهلاک انرژی جریان آب و کاهش قابل ملاحظه نشت خواهد شد، که این خود موجب ایمنی و پایداری سد و ذخیره مطلوب آب در مخزن سد و جلوگیری از فرسایش داخلی مصالح تشکیل دهنده پی خواهد شد. طراحی پرده آببند بر اساس مشخصات زمین‌شناسی توده‌سنگ منطقه و نیز اهداف تعیین شده برای احداث پرده آببند، انجام می‌گیرد. عمق، شیب، آزیموت، تعداد ردیف و سری گمانه‌های پرده آببند، همگی پارامترهای مؤثر در طراحی هستند. میزان درزه‌داری و مشخصات ناپیوستگی‌های تکیه‌گاه‌ها و پی سد از جمله عواملی هستند که در طراحی شیب و آزیموت گمانه‌های پرده آببند مؤثرند. پس از طراحی سدها، به منظور احداث پرده آببند در سد، تونل‌های دسترسی^۱ در جناح راست و چپ احداث می‌شوند (این تونل‌ها گالری نام دارند). در گالری‌های ذکر شده گمانه‌هایی بر اساس شرایط درزه‌ها و مقاومت سنگ-ها حفاری می‌شوند و با تزریق دوغاب سیمانی در این گمانه‌ها پرده بتنی ایجاد می‌گردد. این گمانه‌ها ممکن است بسته به نیاز در کف، کناره‌ها و سقف و در یک یا چند ردیف حفاری شوند. گمانه‌ها با زوایای مختلف حفاری می‌شوند، این زوایا با توجه به لایه‌بندی سنگ بستر انتخاب می‌شود و به شکلی است که گمانه در حال حفاری بیشترین تعداد لایه را قطع کند تا هم بتوان درزه‌های مختلف در لایه-های سنگ‌ها را تشخیص داد و هم پرده به گونه‌ای غیرقابل نفوذ باشد. پس از بررسی‌های اولیه درزه‌ها و شکاف‌ها، عملیات اصلی طراحی پرده آببند شروع می‌شود و تعداد گمانه‌ها و فاصله آنها از هم و اولویت حفاری مشخص می‌گردد. در طراحی پرده آببند مهمترین عامل این است که گمانه‌های

^۱ - Access Tunnel

حفاری شده همپوشانی داشته باشند تا بتوانند یک پرده یک دست و قابل اعتماد تشکیل دهند، عدم همپوشانی گمانه‌ها باعث بروز مشکلاتی می‌شود که عمده‌ی آنها ایجاد شکاف در پرده و نفوذ آب است. نمایی از پرده آب‌بند در جناح‌های چپ و راست سد کارون ۳ با گالری‌های دسترسی به آنها در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ - پرده آب‌بند سد کارون ۳ (خوش‌برش، ۱۳۸۳)

طول و عمق پرده آب‌بند به شرایط ژئوتکنیکی و مکانیک‌سنگی منطقه بستگی دارد. پارامترهای طراحی پرده آب‌بند عبارتند از: میزان نفوذپذیری توده‌سنگ تکیه‌گاه‌ها و پی سد و نیز مشخصات ژئوتکنیکی درزه و شکاف‌ها و ناپیوستگی‌های توده‌سنگ منطقه. هنگام مطالعات ویژگی‌های زمین-شناسی و ژئوتکنیکی توده‌سنگ منطقه در مرحله اکتشاف، لازم است اطلاعاتی در زمینه دامنه مقادیر نفوذپذیری هر یک از سازندهای تشکیل دهنده توده‌سنگ منطقه در طول پرده آب‌بند و نفوذپذیری در مناطق گسله یا دیگر اشکال تکتونیک، همچنین تراز آب زیرزمینی و نیز وضعیت و مشخصات ژئوتکنیکی منطقه جمع‌آوری و پردازش شود. به طور معمول، میزان نفوذپذیری سازندها در سطح بیش از عمق است و این به علت آزاد شدن تنش و نیز وجود تنش‌های ثقلی در عمق است. میزان نفوذپذیری طبیعی می‌تواند توسط عوامل دیگری از جمله پدیده‌های تکتونیک، انحلال و شکستگی توسط آب‌های نفوذی یا به وسیله فرآیندهای هیدروترمال تغییر کند. در مناطقی که سنگ‌های قابل

انحلال مانند سنگ‌آهک، دولومیت و انیدریت وجود داشته باشند، به دلیل ایجاد پدیده کارستیک، میزان نفوذپذیری در عمق ممکن است افزایش یافته و توزیع طبیعی نفوذپذیری نامنظم شود. پیدایش این گونه سنگ‌ها در انتخاب محل سد و موقعیت پرده آب‌بند بسیار تعیین کننده است (خوش‌برش، ۱۳۸۳).

۲-۱-۲- عمق پرده آب‌بند

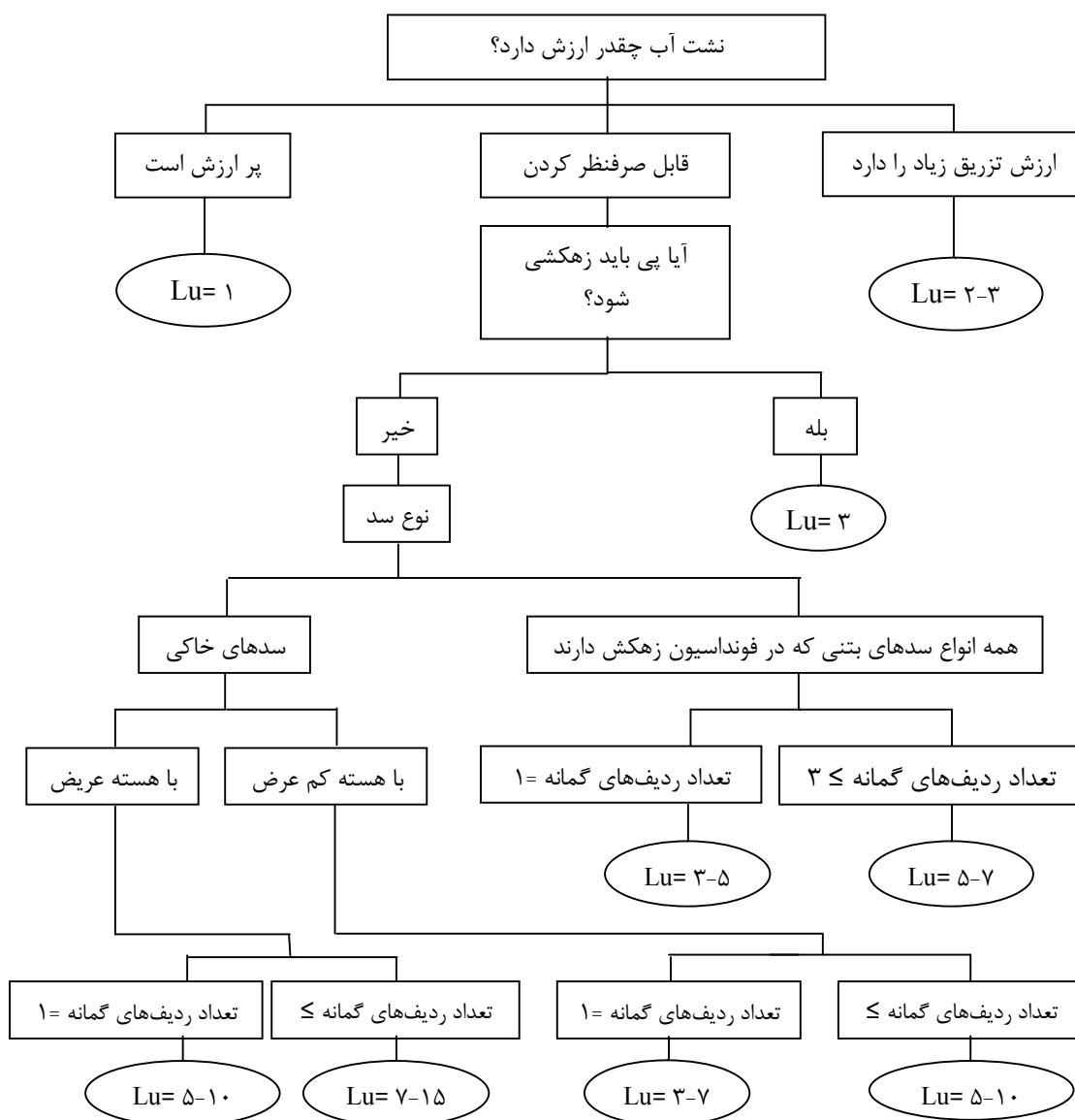
معیار تعیین عمق پرده آب‌بند برای نخستین بار توسط پروفسور Lugeon تعیین شد. وی پیشنهاد کرد که در سدهای با ارتفاع بیش از ۳۰ متر، عمق پرده تا جایی که به سنگ‌هایی با نفوذپذیری کمتر از یک لوژان^۱ و در سدهای با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر تا جایی که به سنگ‌هایی با نفوذپذیری کمتر از سه لوژان برسد، ادامه یابد (Lugeon, 1993).

تجربه‌های به دست آمده در سدهای ساخته شده طی سالیان متمادی نشان داده است که در اکثر موارد معیار لوژان بسیار محدود کننده بوده و در همه جا نمی‌توان به آن دست یافت و یا اینکه هزینه بسیار زیادی برای پروژه دربر خواهد داشت. هولسبی^۲ مطابق شکل ۲-۲ فلوجارتی ارائه کرد که می‌تواند به عنوان راهنمایی برای تصمیم‌گیری در مورد این که عملیات تزریق تا چه حدی از نفوذپذیری می‌بایستی ادامه یابد، مورد استفاده قرار گیرد. این فلوجارت نشان می‌دهد که هر بخشی از پی که نفوذپذیری بیشتری از حد استاندارد دارد نیاز به تزریق خواهد داشت. فلوجارت هولسبی با موضوع اقتصادی "آب از دست رفته توسط نشت چقدر ارزش دارد؟"، شروع می‌شود. در شرایطی که در منطقه‌ای میزان آب کم باشد هیچ نشتی قابل قبول نخواهد بود و با ایجاد پرده آب‌بند یکپارچه نفوذپذیری باید به ۱ لوژان رسانده شود. هنگامی که آب با هزینه قابل توجهی به درون مخازن پمپاژ

^۱ - یک لوژان نماینده مقدار نفوذپذیری است که بر طبق آن در یک دقیقه یک لیتر آب تحت فشار ۰/۹۸ مگاپاسکال از طریق یک گمانه یک متری در توده‌سنگ تزریق می‌گردد.

^۲ - Houlsby

می‌شود هدر رفتن آب پمپاژ شده به معنای از دست رفتن سرمایه می‌باشد. با محاسبه این میزان سرمایه در طول عمر سد و قرار دادن آن در برابر هزینه تزریق، در صورتی که هزینه تزریق کمتر باشد باید برای جلوگیری از نشت آب از تزریق استفاده کرد و نفوذپذیری آن را به ۲ تا ۳ لوژان رساند. در صورتی که میزان نشت آب قابل صرفنظر کردن باشد، پیشنهاد زهکشی پی مطرح می‌گردد که اگر به صرفه باشد باید پس از تزریق، نفوذپذیری به ۳ لوژان برسد و در غیر این صورت باید عملیات سدسازی آغاز گردد (Houlsby, 1990).



شکل ۲-۲- فلوچارت هولسبی، طراحی پرده آب‌بند بر اساس نشت مجاز آب، (Lu: عدد لوژان) (Houlsby, 1990)

۳-۲- انواع پرده آببند در سدها

پرده‌های آببند در سدها معمولاً به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از (کاشکی، ۱۳۷۹):

الف- پرده‌های متصل به قشرهای ناتراوا و آببند

این پرده‌ها بسته به شرایط زمین‌شناسی ساختگاه سد ممکن است در پی و تکیه‌گاه‌ها به لایه‌های با نفوذپذیری کم متصل گردند که این بخش‌ها ممکن است لایه‌ای با نفوذپذیری کم مثل لایه‌های رسی سنگ‌های شیلی و یا مارنی و یا یک سطح گسل با نفوذپذیری کم باشد.

ب- پرده تزریق معلق

در صورتی که زمین‌شناسی ساختگاه سد به نحوی باشد که امکان دسترسی به یک قشر نفوذناپذیر در عمق وجود نداشته باشد، طرح پرده آببند به صورت پرده معلق خواهد بود، در این حالت پرده آببند در پی و تکیه‌گاه‌ها به عمق و تراز طراحی و محدود می‌شود که امکان عبور آب از زیر و اطراف پرده آببند کم باشد.

۴-۲- آرایش گمانه‌های پرده آببند

آرایش گمانه‌های پرده، از قانون تقسیم فاصله میانی^۱ پیروی می‌کند، به این صورت که ابتدا گمانه‌های سری اول با فاصله معینی از هم حفاری می‌شوند و در مراحل بعدی گمانه‌های سری‌های بعدی بین این گمانه‌ها به اندازه نصف فاصله گمانه‌های سری قبلی حفاری می‌گردند، این تقسیم تا زمانی که برای طراحی پرده آببند مفید و لازم باشد انجام می‌گیرد. مراحل حفاری گمانه‌ها به شرح زیر است:

الف- گمانه‌های سری اول^۲، P: این گمانه‌ها معمولاً با فاصله ۸ تا ۱۲ متر از یکدیگر حفاری می‌شوند و اولین قدم در طراحی پرده آببند هستند.

^۱ - Split Spacing

^۲ - Primary Holes

ب- گمانه‌های سری دوم^۱، S: این گمانه‌ها بین گمانه‌های سری P و به اندازه نصف فاصله آنها از هم حفاری می‌شوند.

پ- گمانه‌های سری سوم^۲، T: این گمانه‌ها بین گمانه‌های سری S و به اندازه نصف فاصله آنها از هم حفاری می‌شوند.

ت- گمانه‌های سری چهارم^۳، Q: این گمانه‌ها بین گمانه‌های سری T و به اندازه نصف فاصله آنها از هم حفاری می‌شوند و در صورت نیاز گمانه‌های سری‌های بعد نیز طبق روش تقسیم فاصله میانی حفاری می‌گردند.

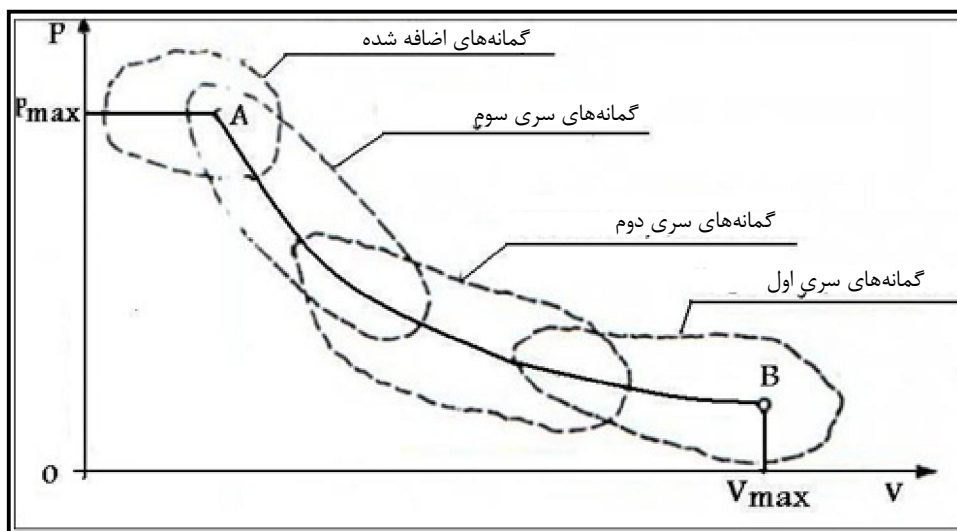
گمانه‌های سری P اول از همه تزریق می‌شوند به طوری که تزریق در اولین گمانه P تداخلی با بعدی ندارد. اغلب سومین یا چهارمین گمانه سری P قبل از دیگر گمانه‌های این سری حفاری و سپس تزریق می‌گردند تا به عنوان گمانه‌های اولیه اکتشافی، مفید واقع شوند. این گمانه‌ها از نوع نمونه‌گیری بوده و آزمایش فشار آب با عمق $0.75 H$ (ارتفاع مخزن پس از آبیگری در نقطه مورد تحقیق) در مورد آنها انجام خواهد شد. باقیمانده گمانه‌های سری P در عمق ممکن است بر طبق نتایج حاصل از گمانه‌های اولیه اکتشافی تنظیم گردند. سری‌های بعدی گمانه‌ها یا همان گمانه‌های سری S، در یک موقعیت با فاصله جدایش مناسبی بین گمانه‌های سری P تزریق می‌گردند و اغلب با سخت‌شدگی دوغاب در بعضی از شکاف‌های باز مواجه هستند و در مجموع، خوردندشان کمتر از سری‌های P خواهد بود. گمانه‌های سری سوم T، هم بهمین ترتیب با فاصله در بین گمانه‌های سری S قرار داشته، معمولاً خوردندهای کمتری هم دارند و نهایتاً، گمانه‌های سری چهارم Q، ممکن است میزان جذب نهایی و پایین دوغاب را داشته باشند که از نظر عملیات تزریق نتیجه قابل قبولی است. از آنجایی که با اجرای

^۱ - Secondary Holes

^۲ - Tertiary Holes

^۳ - Quaternary Holes

هر سری از گمانه‌ها، درزه‌های سنگ بسته و آببندتر می‌شود، شکاف‌های تزریق نشده‌ای که در گمانه‌های بعدی با آنها برخورد می‌شود بیشتر از نوع ریزتر بوده، در این صورت فشارهای بالاتر مفید بوده و سبب اجرای تزریق مؤثرتر می‌گردند. در شکل ۲-۳، جایگیری نهایی گمانه‌های P, S, T و گمانه-های اضافی (سری Q و گمانه‌های کنترلی) بر روی منحنی G.I.N رسم شده‌اند. با توجه به شکل، متوسط حجم دوغاب جذب شده از یک سری به سری بعدی کاهش پیدا می‌کند و در همین حال فشار نهایی دوغاب از یک سری به سری بعدی به طور کاملاً مشخصی افزایش پیدا می‌کند (Lombardi & Deere, 1993).



شکل ۲-۳- نمونه‌ای از نتایج تزریق برای یک پرده تزریق (Lombardi & Deere, 1993)

تعداد سری گمانه‌های پرده آببند در یک ردیف از گمانه‌های حفاری شده، به میزان نفوذپذیری مخلوط دوغاب تزریق شده و شعاع تأثیر آن بستگی دارد و بر اساس مشخصات توده‌سنگ منطقه و نیز آزمایش‌های تزریق انجام شده قبل از طراحی پرده آببند تعیین می‌شود. در گمانه‌هایی که بر اساس مشخصات فنی، امکان اعمال فشارهای بالاتر وجود دارد، افزایش فشار، میزان نفوذپذیری دوغاب و به تبع آن شعاع تأثیر تزریق گمانه را افزایش می‌دهد و در نتیجه تعداد سری گمانه‌های پرده آببند که ضرورتاً می‌بایست با یکدیگر همپوشانی داشته باشند کاهش می‌یابد. در صورتی که پس از اجرای گمانه‌های طراحی اولیه، میزان نفوذپذیری سنگ در محدوده تزریق شده، به قدر کافی کاهش نیافته و

به میزان مشخص شده در طراحی نرسیده باشد، بایستی تعداد سری گمانه‌ها افزایش یافته و گمانه‌های سری جدید که گمانه‌های اضافی نامیده می‌شوند، اجرا شوند.

تعداد ردیف گمانه‌های پرده آببند و به تبع آن ضخامت منطقه تزریق شده به عوامل بسیاری از جمله نوع سد، نوع و مشخصات سنگ پی، میزان نفوذپذیری توده‌سنگ، وضعیت درزه و شکاف‌ها و ناپیوستگی‌های منطقه، مواد پرکننده درزه‌ها، میزان فرسایش‌پذیری توده‌سنگ و در نهایت رسیدن به نفوذپذیری پیش‌بینی شده بستگی دارد. در صورتی که میزان نفوذپذیری توده‌سنگ در تکیه‌گاه‌ها یا در سنگ پی زیاد باشد، با توجه به این که یک ردیف گمانه، کارایی مطلوبی ندارد، لازم است چند ردیف گمانه اجرا شود. عملیات حفاری و تزریق در همه ردیف‌ها بایستی به شیوه یکسان و بر اساس روش استاندارد مشابهی انجام گیرد، به صورتی که در تمام نقاط پرده آببند، میزان نفوذپذیری به طور یکنواختی کاهش یابد. به طور کلی قانون و روش پذیرفته شده‌ای برای انتخاب تعداد ردیف‌های پرده آببند وجود ندارد و در واقع تعیین ضخامت مناسب پرده آببند به اهمیت سازه و اهداف پروژه و نیز قضاوت مهندس طراح بستگی خواهد داشت. در سدهای بتنی، در صورت سالم بودن توده‌سنگ منطقه و پایین بودن فرسایش‌پذیری و نفوذپذیری آن، می‌توان با یک ردیف حفاری گمانه، پرده آببند را ایجاد کرد، اما در سنگ‌هایی که میزان نفوذپذیری آنها بالا باشد یا حفظ آب مخزن اهمیت ویژه‌ای در پروژه داشته باشد، اجرای دو ردیف یا بیشتر ضروری است. در سدهای خاکی به ویژه در پی سد، ضخامت پرده آببند باید عریض‌تر باشد، به نحوی که گرادیان جریان خروجی از زیر پی سد، پایین باقی بماند (Lombardi & Deere, 1993).

مرحله بعدی پس از طراحی و جانمایی گمانه‌های پرده آببند، تزریق گمانه‌ها می‌باشد. این مرحله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا ضمانت نفوذ ناپذیری پرده آببند از تزریق صحیح و اصولی حاصل می‌شود. با توجه به این اهمیت، در ادامه انواع و ویژگی‌های تزریق آورده خواهد شد.

۲-۵- تزریق

تزریق عبارت است از راندن سیال به داخل شکستگی‌ها و منافذ سنگ به منظور تشکیل یک محیط پایدار و مقاوم از توده‌سنگ است. با این عمل پایداری توده‌سنگ افزایش و نفوذپذیری آن کاهش خواهد یافت. برای این منظور گمانه‌هایی در توده‌سنگ حفر شده و سیال تزریق با فشار به درون شکستگی‌های محیط رانده می‌شود. هدف از تزریق، کاهش نفوذپذیری توده‌سنگ، کاهش تغییر شکل-پذیری و افزایش مقاومت توده سنگ به ویژه در مقابل نیروی‌های برشی است (Lombardi, 2003).

۲-۵-۱- انواع تزریق

با توجه به اهداف تعیین شده در عملیات تزریق و نیز بر اساس مشخصات و روش اجرا، می‌توان انواع تزریق را به طور کلی به پنج دسته شامل تزریق‌های پرده آببند، تزریق‌های تحکیمی^۱، تزریق‌های تماسی^۲، تزریق‌های اتصالی^۳ و تزریق درزه‌های انقباضی^۴ (ژوئن) تقسیم کرد، که تعریف هر یک از آنها در ادامه آورده خواهد شد (خوش‌برش، ۱۳۸۳).

الف- تزریق‌های پرده آببند

تزریق‌های پرده آببند به منظور کاهش نفوذپذیری توده‌سنگ واقع در تکیه‌گاه‌ها و پی سازه‌های آبی به ویژه سدها برای کنترل تراوش آب و کاهش نشست آب مخزن به کار گرفته می‌شود. در این نوع از تزریق با حفر یک، دو یا چند ردیف گمانه در راستای محور سد و تزریق آن‌ها، یک پرده یکپارچه آب-بند احداث می‌شود. تعیین شیب و آزمون گمانه‌ها به گونه‌ای است که ضمن حفظ هندسه و معیار-های استاندارد اجرای پرده آببند، بیشترین تقاطع را با درزه و شکاف‌های توده‌سنگ داشته باشند. میزان خوردن دوغاب در تزریق پرده آببند به وضعیت سنگ و میزان نفوذپذیری طبیعی آن بستگی

^۱ - Consolidation Grouting

^۲ - Contact Grouting

^۳ - Connection Grouting

^۴ - Contraction Joint Grouting

دارد. هرچه سنگ سالم‌تر و میزان نفوذپذیری طبیعی آن کمتر باشد، میزان خوردن دوغاب نیز به همان نسبت کاهش می‌یابد.

ب- تزریق‌های تحکیمی

تزریق‌های تحکیمی عبارتند از حفاری و تزریق گمانه‌هایی با الگوی منظم در اطراف توده‌های سنگی یا سازه‌های بتنی به منظور افزایش مقاومت و تحکیم آنها و کاهش تغییر شکل‌پذیری سنگ که ممکن است به طور طبیعی یا در نتیجه روند کار (حفاری یا آتشیاری) تضعیف شده باشد. اگر در توده‌سنگ دربرگیرنده سازه، درزه و شکاف یا سایر ناپیوستگی‌های زمین‌شناسی وجود داشته باشد، می‌بایست در توده‌سنگ فوق تزریق‌های تحکیمی انجام گیرد. در صورتی که توده‌سنگ در شرایط خاص تحت فشار-های هیدرواستاتیک یا هیدرودینامیک قرار گیرد، اجرای تزریق‌های فوق ضرورت بیشتری می‌یابد. عمق گمانه‌های تحکیمی با توجه به وضعیت زمین‌شناسی منطقه و نیاز پروژه متفاوت است. به طور کلی عمق گمانه‌های تحکیمی برای گالری‌ها و تونل‌ها و نیز تکیه‌گاه‌ها و پی سد به طور متوسط بین ۵ تا ۳۰ متر متغیر است. فشار تزریق در تزریق‌های تحکیمی همانند عمق گمانه‌های تحکیمی به وضعیت زمین‌شناسی و سیستم ناپیوستگی‌های سنگ منطقه بستگی دارد. فشار تزریق می‌بایست تا حد امکان زیاد باشد، به این دلیل که دوغاب بتواند در درزه و شکاف‌های سنگ نفوذ کرده و موجب تحکیم توده‌سنگ گردد. البته فشار تزریق توسط عواملی همچون: امکان نشت دوغاب از سطح، تخریب سطح به علت شکست هیدرولیکی^۱ و ... محدود می‌شود.

^۱ - Hydro Fracture

شکست هیدرولیکی: تشکیل ترک‌های جدید به سبب فشار آب یا دوغاب (Trucotte et al, 1994).

پ- تزریق‌های تماسی

در عملیات ژئوتکنیک، تزریق تماسی عبارت است از فرایند پرکردن فضای خالی بین سنگ و بتن، بتن و بتن، بتن و فلز و نیز سنگ و فلز با هدف ایجاد تماس مناسب بین آنها. این فضای خالی می‌تواند فضای بین پوشش بتنی یک گالری یا تونل و سنگ‌های دربرگیرنده آن باشد. انجام این گونه تزریق‌ها در گالری‌ها و تونل‌ها، از نشت آب از طریق فضای خالی بین بتن و سنگ جلوگیری می‌کند. به طور کلی گمانه‌های تزریق تماسی، با عمق نیم تا یک متر در سنگ و در شبکه‌ای با فواصل ۱/۵ تا ۳ متر حفر می‌شود که البته فواصل صحیح گمانه‌ها با استفاده از آزمایش‌های تزریق تماسی و میزان خورندگی گمانه‌های نمونه در منطقه تعیین می‌شود.

ت- تزریق‌های اتصالی

تزریق اتصالی را در واقع می‌توان بخش تکمیلی تزریق‌های پرده آببند در نظر گرفت. از آنجا که پرده آببند در گالری‌های ترازهای مختلف اجرا شده و به صورت زاویه‌دار، به سمت بالادست معلق است، برای ایجاد یک پرده آببند یکپارچه می‌بایست با استفاده از تزریق‌های اتصالی، ابتدای پرده آببند اجرا شده در هر گالری را به انتهای پرده آببند اجرا شده در گالری تراز بالاتر متصل کرد. شیب و آزیموت گمانه‌های تزریق اتصالی در هر گالری با توجه به شیب و آزیموت پرده آببند اجرا شده در گالری تراز بالاتر متفاوت است. طول این گمانه‌ها نیز بسته به موقعیت انتهای پرده آببند تراز بالاتر تعیین می‌شود. پرده ایجاد شده توسط تزریق‌های اتصالی باید به طور کامل فضای خالی بین دو بخش از پرده آببند را پوشش داده و به طور کلی دارای مشخصات پرده آببند اصلی سد از نظر پایداری و نفوذپذیری باشد.

ث- تزریق درزه‌های انقباضی (ژوئن)

در عملیات اجرایی سدهای بتنی به دلایل فنی و اجرایی، بدنه سد به صورت چندین بلوک جداگانه بتن ریزی و ساخته می‌شود. در هر مرحله بتن‌ریزی با کاهش دمای بتن که پس از فعل و انفعالات

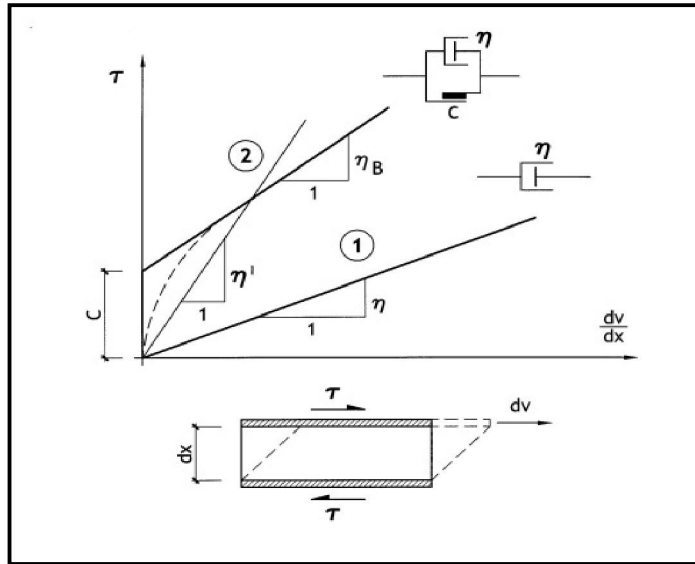
شیمیایی رخ می‌دهد، به دلیل انقباض بتن، درزه‌هایی قائم در بین دو بلوک مجاور به وجود می‌آید که باید برای جلوگیری از آسیب‌های بعدی تزریق شوند. تزریق درزه‌های انقباضی در سدهای بتنی به دلیل آب‌بندی سد، اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد.

۲-۵-۲- مشخصات دوغاب تزریق

دوغاب تزریقی بر دو گروه تقسیم‌بندی می‌شود. اولین گروه سوسپانسیون‌هایی از دانه‌های سیمان در آب بوده که از قانون جسم بینگهام^۱ تبعیت می‌کند حال آن که گروه دوم آب بوده که یک جسم نیوتنی^۲ می‌باشد. مشخصات اولین گروه شامل این موارد می‌باشد: چگالی، آب‌اندازی، گرانروی، چسبندگی (نقطه تسلیم)، زمان گیرش. مشخصات دومین گروه مربوط به دوغاب سفت شده بوده و عبارتند از: مقاومت مکانیکی، مقاومت در برابر عوامل شیمیایی، نفوذپذیری. مشخصات سیالیت-شناختی^۳ دوغاب که بیشتر مورد توجه و حتی برای عملیات تزریق واقعی، قطعی هستند، می‌توانند تحت تاثیر قرار گرفته، اصلاح گردیده یا حتی در استفاده تعدادی از ترکیب‌های در دسترس امروزی موجود در بازار تعیین گردند. در شکل ۲-۴ مقایسه جریان و تغییر شکل دوغاب سیمانی و آب نشان داده شده است، در این شکل، نمودار ۱ مربوط به یک سیال نیوتنی مانند آب است که تنها دارای گرانروی بوده و از مبدأ مختصات شروع می‌شود. نمودار ۲ مربوط به سیال غیرنیوتنی (بینگهام) مانند دوغاب سیمانی می‌باشد که علاوه بر گرانروی دارای چسبندگی (C) است، برای جریان یافتن این سیال باید به نیروی چسبندگی و مقاومت ارتجاعی آن در برابر برش غلبه کرد، به همین دلیل از مبدأ مختصات شروع نشده و دارای تنش برشی اولیه C می‌باشد (Lombardi, 2003).

^۱ - رفتار این جسم مانند جامدات تحت شرایط استاتیک است. مقدار مشخصی از نیرو باید به کار رود تا بر نیرویی به نام مقاومت تسلیم غلبه کرده و سیال شروع به حرکت کند زیرا این جسم علاوه بر گرانروی دارای چسبندگی و استحکام تسلیم نیز می‌باشد.
^۲ - سیالی است مانند آب که رابطه تنش و نرخ کرنش برشی آن خطی بوده و از مبدأ مختصات می‌گذرد، این سیال تنها دارای گرانروی می‌باشد.

^۳ - Rheological



شکل ۲-۴- مقایسه جریان و تغییر شکل مخلوط سیمانی و آب (Lombardi, 2003)

معادله تنش برشی مربوط به جسم نیوتنی و معادله تنش برشی مربوط به جسم بینگهام به ترتیب به صورت زیر می‌باشد:

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dx} \quad (1-2)$$

$$\tau = c + \eta_B \cdot \frac{dv}{dx} \quad (2-2)$$

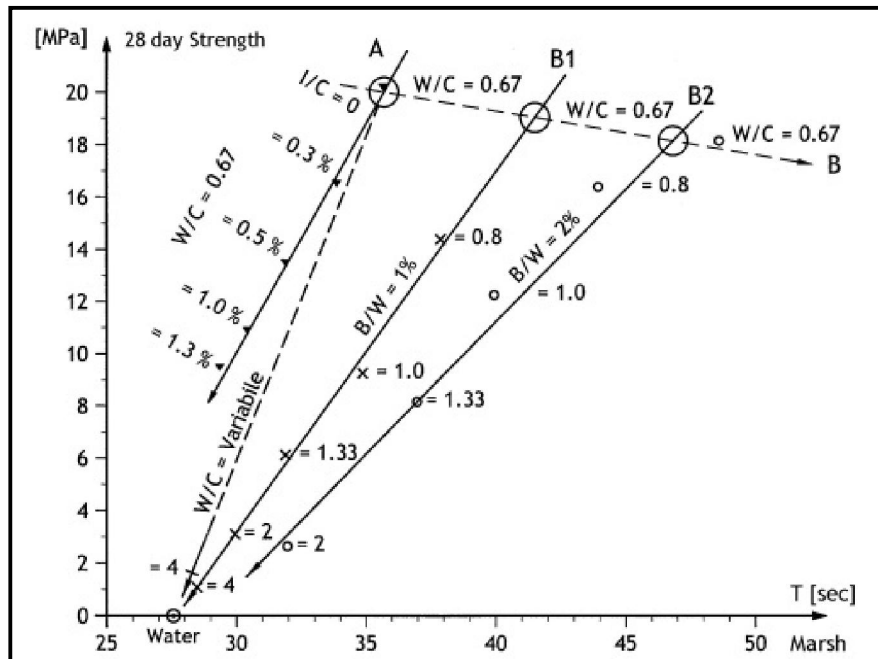
τ : تنش برشی، $\frac{dv}{dx}$: سرعت برشی، c : چسبندگی (نقطه تسلیم)، η : گرانروی دینامیکی، η_B : گرانروی شکل‌پذیر، η' : گرانروی ظاهری.

در شکل ۲-۵، تاثیر آب اضافه، بنتونیت یا یک ترکیب شیمیایی که ممکن است هم بر روی مقاومت مکانیکی نهایی و هم گرانروی ظاهری دوغاب تازه یا به گفته بهتر، زمان جریان دوغاب از یک قیف مارش^۱ را نشان می‌دهد.

^۱ - Marsh

آزمایش قیف مارش: آزمایشی است که توسط آن به گرانروی مخلوط دوغاب پی برده می‌شود به این صورت که، ۱ لیتر دوغاب را از قیف مخصوص مدرج عبور داده و زمان خروج دوغاب از قیف را به عنوان مارش که بر حسب ثانیه است، ثبت می‌کنند.

با شروع از یک نسبت W/C برابر 0.67 (نقطه A)؛ و اضافه نمودن روان‌کننده اینتراپلاست^۱ باعث می‌شود، نه تنها کاهش شدیدی در زمان جریان بوجود آید بلکه مقاومت مکانیکی نیز کاهش یابد.



W/C : نسبت وزنی آب به سیمان ، B/W : نسبت بنتونیت به آب ، I/C : نسبت روان‌کننده اینتراپلاست به سیمان

شکل ۲-۵- مقاومت ۲۸ روزه به ازای زمان جریان از قیف مارش (Bremen, 1997)

هنگام استفاده از بنتونیت ($B/W = 1\%$) و شروع دوباره از یک نسبت W/C معادل 0.67 (نقطه B_1)، افزایش این نسبت تاثیری مشابه آب خالص در قبال گرانروی و مقاومت دارد که صفر خواهد بود. اگر نسبت $B/W = 2\%$ استفاده شود (نقطه B_2)، کاهش مقاومت کاملاً مشابه حالت قبل خواهد بود اما مقدار مارش بیشتر می‌شود. در نتیجه، تاثیر بنتونیت اضافه شده تنها برخلاف آنچه اغلب فکر می‌شود، صرفاً چرب کردن دوغاب نیست (Bremen, 1997). در واقع، اضافه کردن بنتونیت به دوغاب سیمان یک روش غیرمستقیم جهت داشتن اضافه آب خارج از مخلوط می‌باشد. ممکن است هدف طراح صرفاً پرکردن تخلخل با یک دوغاب ارزان باشد و مقاومت فیزیکی و شیمیایی حاصله اهمیت زیادی نداشته باشد (Bremen, 2001).

^۱ - Intraplast

برای دستیابی به مقاومت نهایی مورد نیاز دوغاب سفت شده، کاهش بسیار زیادی در میزان گرانروی به واسطه افزودن یک روان‌کننده مناسب‌تر از بنتونیت حاصل می‌شود. به این ترتیب، هرچه مارش دوغاب بیشتر باشد (دوغاب غلیظ‌تر باشد) مقاومت نهایی دوغاب نیز بیشتر خواهد بود. در نتیجه، مشخصات مورد نیاز دوغاب تازه جهت نفوذ آسان که عمدتاً عبارتند از: چسبندگی، گرانروی و زمان گیرش، می‌توانند با استفاده از افزودنی‌های مناسب و افزایش نسبت W/C بدست آیند، بدون اینکه مشخصات نهایی دوغاب و همین‌طور کیفیت عملیات تزریق انجام شده به خطر افتد (Lombardi, 2003).

۲-۵-۳- نقش آب

اولین نقش آب، هیدراته کردن سیمان بوده و بدیهی است که بحثی در مورد لزوم این مقدار اولیه آب وجود ندارد. نقش دومی که حاصل مقدار اضافی آب است، تولید یک مخلوط سیال همراه با چسبندگی و گرانروی پایین می‌باشد، طوری که دوغاب بتواند به داخل درزه‌های توده‌سنگ نفوذ کند. منظور از این مقدار اضافی آب، برای پرهیز از تماس مستقیم بین ذرات سیمان بوده و همچنین ایجاد اصطکاک داخلی در دوغاب می‌باشد. این اصطکاک باعث افزایش فشار در طول درزه خواهد شد، به طوری که بلافاصله پیشروی دوغاب به داخل درزه را متوقف خواهد کرد (Lombardi, 1985).

سومین نقش آب در مخلوط، گرایش آن به جبران فرار آب احتمالی در طول عملیات تزریق می‌باشد، برای مثال جذب آب توسط سنگ خشک. تخمین و برآورد کمیت آب مورد نیاز برای این عملکرد ممکن نیست. نقش اضافی که آب در آن دخیل است، نقش بازکننده درزه جهت امکان نفوذ دوغاب به داخل ترک‌های ریز می‌باشد. اما این نقش می‌تواند توسط آب زیرزمینی موجود یا آب زون اشباع، خنثی شود (Lombardi, 1996).

علیرغم موارد یاد شده هنوز مفاهیم قدیمی وجود دارند که آب را تنها به عنوان وسیله‌ای برای انتقال سیمان و وارد کردن آن به درزه‌ها، تلقی می‌کنند. همچنین تصوراتی وجود دارد که با افزایش مقدار

آب، نفوذ دوغاب در درزه‌ها افزایش می‌یابد. با این وجود، باید بین نفوذ بی‌فایده آب در درزه‌ها و نفوذ ضروری دوغاب، تفاوت قائل شد.

۲-۵-۴- مخلوط‌های رقیق تا غلیظ

بحث بر روی دوغاب‌های تزریق غلیظ در مقابل نوع رقیق برای سالهاست که ادامه داشته و به طور حتم خواهد داشت. از سال ۱۹۸۵ تاکنون محققین همیشه در مقالات خود برای مخلوط‌های تزریق غلیظ اولویت قائل شده‌اند. در حال حاضر در آزمایش‌های عملی به جای اضافه کردن ۱ تا ۲٪ بنتونیت جهت پایدارسازی دوغاب و نیز کاهش رسوبگذاری، استفاده از مخلوط‌هایی با سیمان بیشتر همراه با افزودنی‌های فوق روان‌کننده، رواج یافتند. این مخلوط‌ها پایدار بوده و به خاطر اینکه دارای چسبندگی کمتری هستند، قابلیت نفوذ بیشتری داشته و همینطور به هنگام گیرش مقاومت بالاتری از خود نشان می‌دهند. دوغاب‌های غلیظ، هم در عملیات تزریق و هم در طول عمر توده‌سنگ تزریق شده بعد از سخت شدن برتری‌های زیادی دارند. طی تزریق، دوغاب پایدار با غلظت متوسط مزایایی را در مقایسه با دوغاب‌های رقیق دارد که عبارتند از (Lombardi & Deere, 1993):

- رسوبگذاری کمتر دانه‌های سیمان طی شرایط جریان کند.
- آب‌اندازی^۱ و انسداد پیش از موعد کمتر.
- پایداری بیشتر با گذشت زمان به عنوان یک سیال قابل پیش‌بینی (سیال بینگهام با یک چسبندگی و گرانیوی مشخص).
- خطر کمتر شکست هیدرولیکی و جک هیدرولیکی^۲ و بالآمدگی چینه‌های زمین‌شناسی به واسطه افت سریع فشار خارج از گمانه تزریق به سبب چسبندگی دوغاب.

^۱ - Bleed water

^۲ - Hydro Jacking

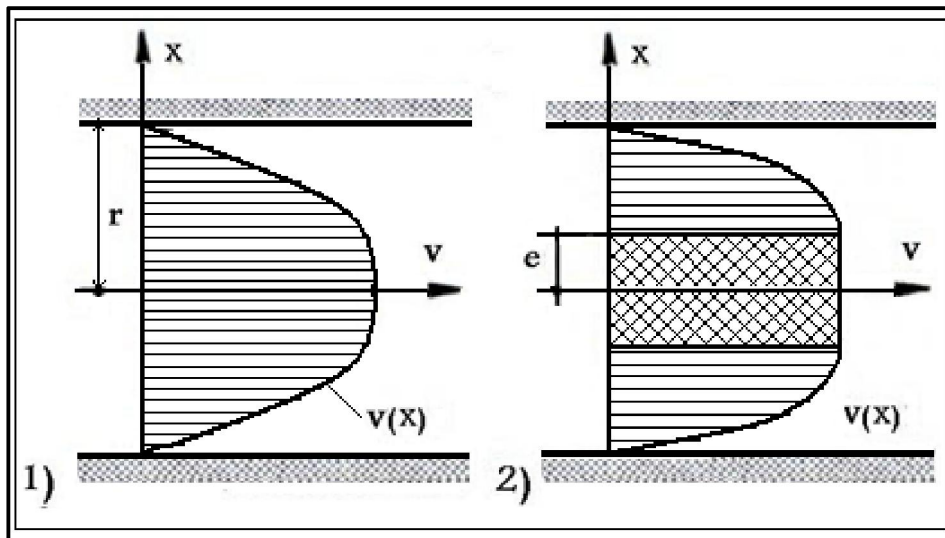
دوغاب غلیظ در مقایسه با دوغاب رقیق بعد از سفت شدن در شکستگی‌های سنگ، دارای مزایای زیر است (Lombardi & Deere, 1993):

- انقباض کمتر طی سفت‌شدگی و نیز چسبندگی و اتصال بیشتر در طول دیواره شکستگی‌های سنگ و خطر بازشدگی مجدد کمتر.
- چگالی بیشتر و مقاومت مکانیکی بالاتر به خاطر مقدار سیمان بیشتر و همینطور مقاومت بیشتر در برابر خوردگی فیزیکی.
- تخلخل کمتر، نفوذپذیری پایین‌تر، مقاومت چسبندگی بالاتر و همینطور مقاومت شیمیایی بیشتر در برابر شستگی و دوام^۱ بیشتر پرده تزریق با گذشت عمر سد.

همانگونه که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است، سرعت نفوذ دوغاب به داخل درزه به یک شکل صورت نمی‌پذیرد. این نفوذ در مرکز بیشتر و به تدریج در طول دیواره‌های درزه، حتی تا صفر کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه، در پایان عملیات تزریق دیواره‌های درزه توسط یک ماده کم و بیش سفیدرنگ با مقاومت ضعیفی منطبق با مشخصات دوغاب رقیق پوشانده شده، حال آن که بخش مرکزی درزه با توده سیمانی خاکستری مقاوم‌تر، حاصل از سخت شدن دوغاب غلیظ پر خواهد شد.

^۱ - Durability

^۱ - جک هیدرولیکی: به بازشدگی درزه‌های موجود (یا هر نوع ناپیوستگی) در توده‌سنگ اطلاق می‌شود.



۱- سیال نیوتنی (مثل آب)؛ ۲- جسم بینگهام (مثل دوغاب سیمان)، هسته خشک $2.e$

شکل ۲-۶- سرعت توزیع دوغاب در یک درزه (Lombardi, 2003)

توزیع غیر همشکل سرعت باعث می‌شود که دوغاب بر روی دیواره‌ها چسبیده و به دنبال آن به سمت مرکز پیشروی کند. ممکن است که اختلاط اضافی دوغاب‌های مختلف روی دهد، از این رو، وضعیت همیشه آن گونه که باید شفاف باشد نیست. همچنین حضور آب زیرزمینی یا آب اشباع ممکن است باعث ایجاد یک لایه‌بندی در گیرش دوغاب گردد. در موضوع نفوذ دوغاب به داخل درزه‌های ریز، با مشاهده شکل ۲-۷، شخص ممکن است بر این باور اشتباه باشد که دوغاب‌های رقیق نسبت به دوغاب‌های غلیظ بهتر وارد درزه‌ها می‌شوند. در واقع، قطر دانه‌ها و دسته‌بندی‌ها تعیین کننده هستند، نه میزان آبی که باید در پیرامون دانه‌ها جریان داشته و راه خود را در ورود به درزه‌ها ادامه دهند.

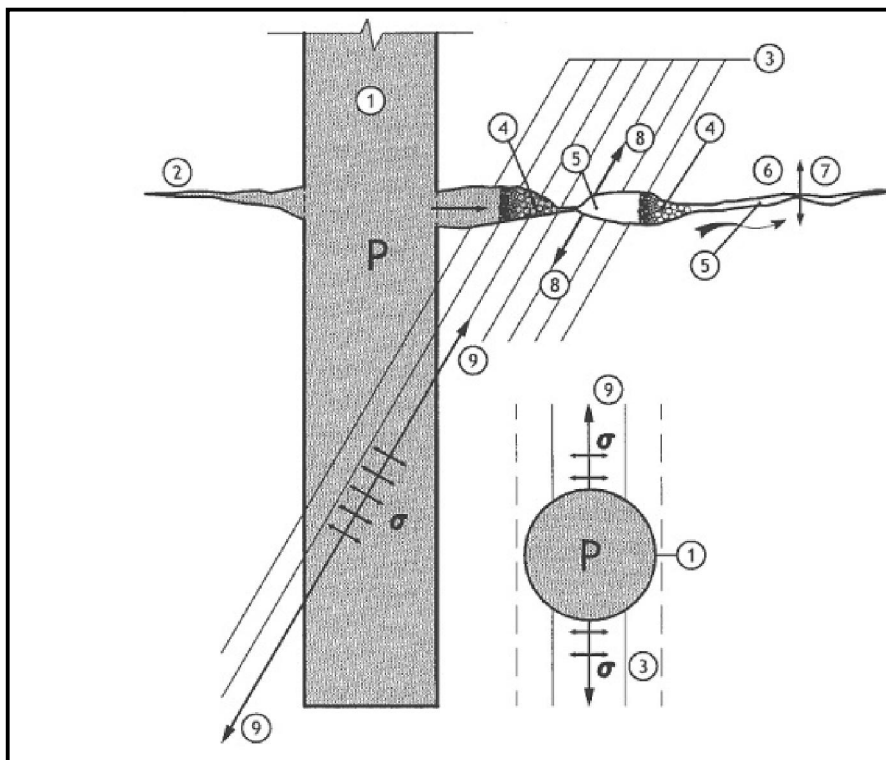
مهمترین راهکارهای تسهیل نفوذ دوغاب از گمانه به داخل درزه‌ها عبارتند از (Lombardi, 2003):

۱- اضافه نمودن فوق روان‌کننده به دوغاب جهت پرهیز از تشکیل توده‌هایی از دانه‌های سیمان به خاطر بار الکتریکی آن‌ها.

۲- استفاده از سیمان ریزدانه (اگر به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر باشد).

۳- استفاده از فشارهای تزریق بالاتر.

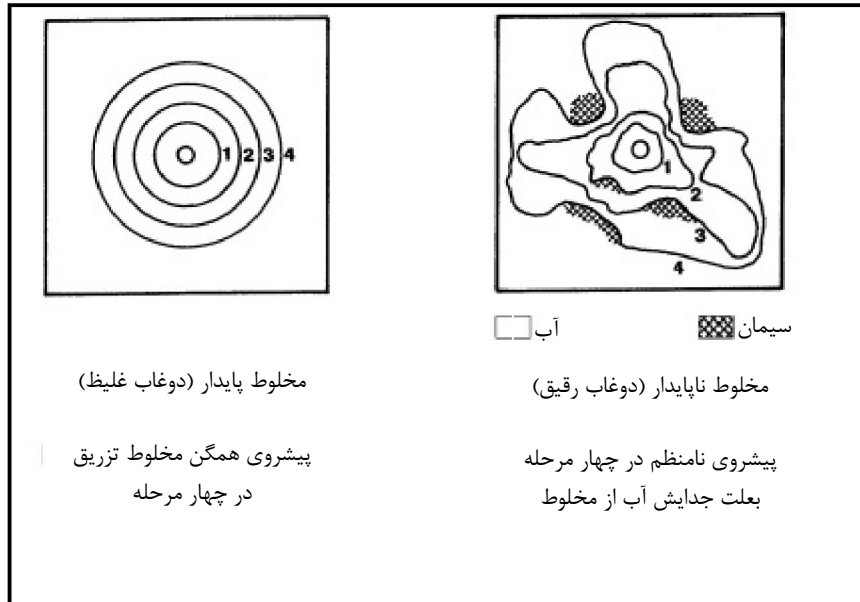
۴- شمارش درزه‌ها، جهت تنظیم فشار آب دوغاب غلیظ، بازکردن درزه‌ها و مسیر دانه‌های سیمان.



شکل ۲-۷- نفوذ دوغاب رقیق تحت فشار در یک درزه (Lombardi, 2003)

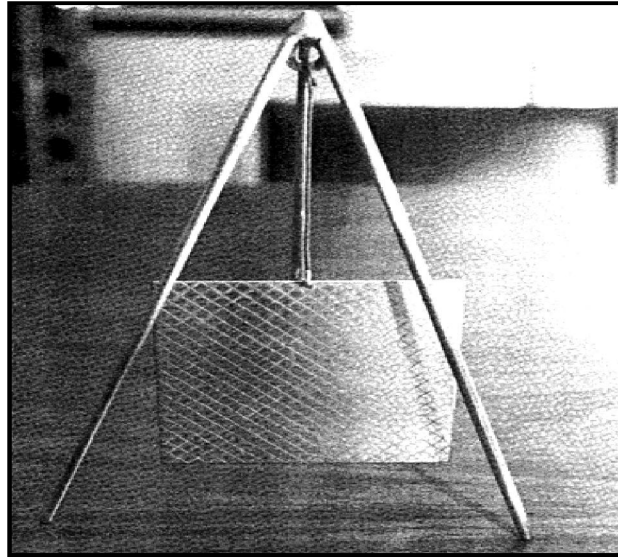
۱- گمانه تحت فشار P ، ۲- درزه حقیقی ، ۳- درزه‌های بالقوه ، ۴- صافی دانه‌های سیمان ، ۵- آب ، ۶- عبور از صافی ، ۷- جک هیدرولیکی ، ۸- امکان وقوع شکست هیدرولیکی در اثر فشار آب ، ۹- امکان وقوع شکست هیدرولیکی در اثر تنش‌های کششی σ .

یکی از موانع عمده همراه با دوغاب‌های رقیق که در شکل ۲-۸ نشان داده شده است عدم ناپایداری آن‌ها می‌باشد، در این حالت میزان پیشروی آن‌ها در درزه‌ها غیرقابل پیش‌بینی بوده و همچنین در زمان گیرش، نسبت به دوغاب‌های غلیظ، انقباض بیشتری از خود نشان می‌دهند (Deere, 1968).



شکل ۲-۸- تزریق آزمایشی در یک درزه با ضخامت ثابت (Deere, 1968)

دوغاب پایدار به خاطر خاصیت چسبندگی نیازمند فشارهای تزریق بالاتر جهت رسیدن به همان مسافت سیر در مقایسه با دوغاب رقیق می‌باشد، که با استفاده از مقدار اندکی فوق روان‌کننده، دو پارامتر چسبندگی و گرانروی را می‌توان کاهش داد. مقادیر گرانروی و چسبندگی را در آزمایشگاه می‌توان با استفاده از یک لزجت‌سنج چرخان با سیلندره‌های متحدالمرکز بدست آورد. ظرف ساده چسبندگی‌سنج هم ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. این ظرف، یک قطعه از صفحه فولادی در ابعاد 110×100 mm و ضخامت $1/5$ mm بوده که قبل و بعد از فرو بردن برای یک یا چند ثانیه به داخل دوغاب، وزن شده و تفاوت وزن حاصله بر دو طرف صفحه تقسیم و پارامتر چسبندگی را در واحدهای مقاومت برشی بدست می‌دهد. نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، پتانسیل فرار آب در تزریق سنگ خشک بالای سطح ایستایی می‌باشد که به همین دلیل، دوغاب، غلیظ شده (افزایش اصطکاک داخلی)، پیوستگی آن به سمت نقطه‌ای که دوغاب بیشتری تزریق گردد افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه قبل از تزریق، باید برای یک دوره زمانی و تا اشباع جزیی سنگ، باید آب را به داخل گمانه وارد نمود و یا از مخلوط‌های آب نگهدار استفاده کرد. شکل ۲-۹ صفحه فولادی جهت اندازه‌گیری چسبندگی دوغاب می‌باشد (Trucotte et al, 1994).



شکل ۲-۹- صفحه اندازه‌گیری چسبندگی (Trucotte et al, 1994)

در تزریق شکاف‌های ریز داخل سنگ، باید به خاطر داشت که نفوذ دوغاب، بیشتر به اندازه دانه‌های سیمان و تعداد آنها بستگی دارد تا رقیق‌شدگی دوغاب با آب زیاد، بنابراین به جای تلاش جهت دستیابی به قابلیت نفوذ بالاتر با رقیق کردن دوغاب، باید سیمان ریزتر با فوق روان‌کننده‌ها همراه با فشارهای تزریق بالاتر مورد استفاده قرار گیرد (Lombardi & Deere, 1993). جدول ۱-۲- سد-هایی را نشان می‌دهد که در آنها از مخلوط‌های غلیظ همراه با افزودنی‌ها استفاده شده است.

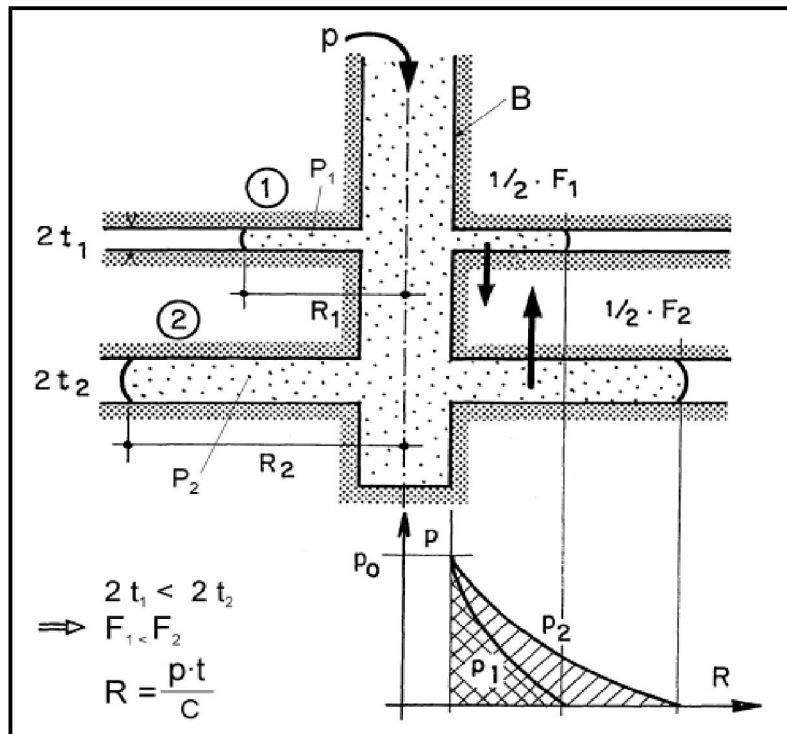
همانطور که بارها ثابت شده است، مقاومت نهایی و مقاومت شیمیایی (دوام) دوغاب سفت شده در درزه‌ها با افزایش میزان آب به دوغاب کاهش پیدا می‌کند. همچنین این مطلب که دوغاب جدید غلیظ‌تر انواع رقیق‌تر را به بیرون خواهد شست و جایگزین آنها خواهد گردید، حقیقت ندارد (Houlsby, 1982).

جدول ۲-۱- مخلوط‌های غلیظ استفاده شده در پرده آب‌بند برخی از سدهای مهم (Lombardi, 1996)

افزودنی‌ها (%)	نسبت آب به سیمان W/C	سدها و تونل‌ها
۱/۴ - Intraplast	۰/۶	Paute - اکوادور
۱/۲ - Intraplast	۰/۶۷	Alicura - آرژانتین
۰/۲ - Bentonite	۰/۷	Elicajon - هندوراس
۱ - Intraplast	۰/۶	Clyde dam - نیوزیلند
۰/۵ - Bentonite	۱	El Chocon - آرژانتین
۱ - Pozolanic Cement, Mistre	۱ یا ۰/۷	Sir - ترکیه
۱/۲ - Bentonite		
۱/۵ - Cement+ash. Conplast	۰/۵۹	Katze - لسوتو
Various	۰/۷	Pich Picun Leufu - آرژانتین
۰/۸ تا ۰/۷ - Rheobuild / Visccrete	۰/۷	Poterillos - آرژانتین
۲ - Bentonite	۱	Ait Hamou - موروکو

۲-۶- نفوذ دوغاب به درون درزه‌ها

عملیات نفوذ دوغاب تحت فشار به داخل درزه‌های سنگ به عواملی بستگی دارد که اولین آنها ژئومتری دیواره‌های درزه یعنی شکل و تنوع آنها در بازشدگی‌شان، گستردگی آنها و ارتباطات درونی بین آنها می‌باشد. مطابق شکل ۲-۱۰ مهمترین جنبه‌های عملیات تزریق را می‌توان با یک روش ساده اما کاملاً قابل اعتماد بر پایه مدل‌های بسیار ساده نظیر درزه‌های تخت باز با ضخامت ثابت مطالعه نمود. این شکل، مدل تئوری روابط بین فشار تزریق، بازشدگی درزه‌ها، چسبندگی دوغاب و حداکثر منطقه تأثیر دوغاب را نشان می‌دهد. بنابراین، بالاتر بودن فشار، بازتر بودن درزه و پایین‌تر بودن میزان چسبندگی، منجر به افزایش شعاع تأثیر خواهد گردید. علاوه بر این، هر گونه مدلی با واقعیت تفاوت دارد و همچنین مشخصات از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر در یک توده سنگ متفاوت است (Lombardi, 2003).

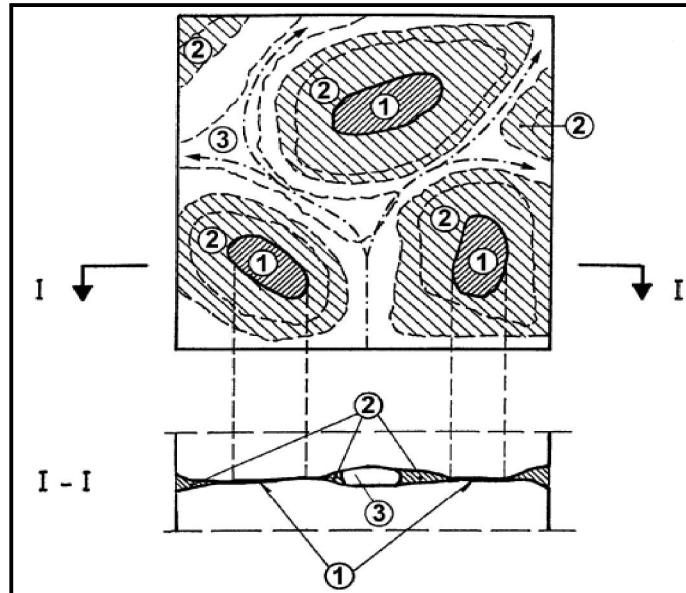


شکل ۲-۱۰- توزیع فشار و نیروها در یک سیستم دو دره‌ای، حین تزریق (Lombardi, 1985)

(B گمانه تحت فشار، ۱) درزه با بازشدگی کم، ۲) درزه با بازشدگی زیاد، (P فشار، C چسبندگی، ۲t بازشدگی، R شعاع تاثیر، F_1 و F_2 نیروهای جدایشی).

میزان بازشدگی هر درزه با سایر درزه‌ها متفاوت است، به گونه‌ای که در بعضی از آن‌ها دوغاب با سهولت بیشتری نفوذ نموده و در بعضی دیگر به گونه‌ای دشوارتر نفوذ می‌کند. از نقطه نظر اجرایی، این بدان معناست که هر مقطع تزریق تا حد زیادی، تنها در درزه‌های بزرگ‌تر و بازتر و نه درزه‌هایی که پیشتر تزریق شده‌اند، تا مسافتی پر خواهند شد، حال آن که درزه‌های ریزتر مجبورند در ادامه عملیات تزریق شوند. این مسئله با اجرا به روش کلاسیک حاصل خواهد شد که در آن، گمانه‌ها به صورت سری‌های مختلف پی‌درپی و با فواصل جدایش مشخص اجرا شده و تزریق به صورت پله پله با افزایش فشار از یک سری به سری بعدی صورت می‌پذیرد. بسته شدن احتمالی درزه‌های ریزتر به سبب انبساط درزه‌های اصلی، ممکن است رخ دهد. همچنین رابطه بین اندازه دانه و بازشدگی درزه باید در محاسبات لحاظ گردد. به دلیل همین واقعیت، نه تنها باید بین درزه‌های بازتر و ریزتر بلکه بین نقاط مختلفی از یک درزه هم تفاوت قائل شد که به طور مشخصی، یک بازشدگی ثابت در طول

سطحش را نشان نمی‌دهد. در باریک‌ترین بخش یک درزه، تنها آب می‌تواند وارد گردد در حالی که سیمان همراه آن در نقاط بازتر توقف کرده و ترجیحاً کانال‌ها را در امتداد درزه دنبال می‌کند، شکل ۱۱-۲ این مدعا را نشان می‌دهد (Lombardi, 2003).



شکل ۱۱-۲- زون‌های اطراف مناطق تماس تزریق نشده یا با تزریق‌شدگی ضعیف (Lombardi, 2003)

بازشدگی موضعی در مقایسه با اندازه دانه‌های سیمان، بیش از حد کوچک است. (۱) مناطق تماس، (۲) نقاط با تزریق-شدگی ضعیف یا تزریق نشده، (۳) زون‌های خوب تزریق شده و خط‌چین‌ها خطوط جریان دوغاب هستند.

با توجه به مطالب این فصل و اهمیت تزریق گمانه‌های پرده آب‌بند، در فصل بعد درباره روش عدد شدت تزریق و برتری‌های آن نسبت به روش‌های قدیمی و پارامترها و ویژگی‌های آن بحث و بررسی خواهد شد.

فصل سوم

روش عدد شدت تزریق

Grouting Intensity Number

۳ فصل سوم

۳-۱- مقدمه

عملیات تزریق یکی از پر کاربردترین روش‌های بهسازی زمین در توده‌سنگ‌های درزه‌دار و ایجاد پرده آب‌بند است که با این عمل، پایداری توده‌سنگ افزایش یافته و نفوذپذیری آن کاهش خواهد یافت. بدین منظور آزمایش‌های مختلفی در نقاط مختلف دنیا انجام شده است تا بتوان با تزریق مناسب، دوام پرده آب‌بند را تضمین نمود. تزریق در حدود ۲۰۰ سال پیش توسط یک مهندس فرانسوی به نام چارلز برینی^۱ با وسایل بسیار مقدماتی به کار گرفته شد. از آن زمان تاکنون تکنیک‌های تزریق توسعه بسیاری یافته، به طوری که امروزه به عنوان یک روش علمی و کاربردی در بسیاری از فعالیت‌های عمرانی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. با به کارگیری زیاد عملیات تزریق، طراحان و

^۱ - Charles Berigny

مهندسين به توسعه و بهبود آن پرداختند و برای جبران کاستی‌های روش‌های قدیمی از نقطه نظر فنی و اقتصادی به روش جدید به نام عدد شدت تزریق (G.I.N) دست یافتند که در ادامه به تشریح مبانی و مفاهیم این روش خواهیم پرداخت.

۲-۲- مبانی روش G.I.N

روش G.I.N، روشی برای انتخاب تنها مقدار بهینه شدت تزریق نیست، بلکه به عنوان روشی برای بهبود استحکام توده‌سنگ و کاهش تراوایی و تغییر شکل‌پذیری آن و یا ترکیبی از این اهداف از طریق تزریق به داخل درزه و شکاف‌های موجود در آن محسوب می‌شود. در این روش برای تزریق یک زون سنگی، نیاز به صرف انرژی می‌باشد، انرژی صرف شده تقریباً با تولید فشار تزریق نهائی (P) و حجم دوغاب تزریق شده (V) متناسب بوده، حاصل P.V بدست می‌دهد که عدد حاصل از P.V عدد شدت تزریق یا G.I.N نامیده می‌شود. حجم دوغاب تزریق شده ممکن است به صورت طول مقطع تزریق m Lit/ بیان شود (از آنجا که مخلوط‌های با غلظت متوسط به لحاظ مقادیر عددی ۵ تا ۱۰٪ مشابه هم هستند، فرم تبدیل شده وزن سیمان تزریق شده به صورت kg/m بیان می‌شود). فشار، به طور سنتی به صورت bar مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نهایت حاصل P.V یا واحدهای G.I.N به صورت bar.Lit/m و یا bar.kg/m بیان می‌شوند (Lombardi & Deere, 1993).

در مجموع، این روش در دنیای حرفه‌ای جای خود را به خوبی باز نموده و هم اکنون در تعدادی از پروژه‌ها، مهمتر از همه برای تحکیم‌ها و پرده تزریق پذیرفته شده است. مانند هر روش اجرایی دیگر، روش G.I.N هم محدودیت‌های خاص خود را دارد، این روش، نه در مورد عملیات تزریق خاکی کاربرد دارد و نه گزینه مناسبی برای استفاده در تزریق تشکیلات کارستی می‌باشد. در این روش تمایل بر استفاده از دوغاب‌هایی است که چسبندگی یا حد روانی خاصی را نشان می‌دهند، مانند: سوسپانسیون‌های آب-سیمان که سیال بینگهام هستند. هدف این روش، گرفتن بهترین نتیجه ممکن و جلوگیری از تخریب توده‌سنگ و سازه نه تنها در کوتاه مدت بعد از اتمام عملیات تزریق، بلکه در

طول عمر پروژه، یعنی برای دهه‌های بسیار می‌باشد و همه این موارد باید در پایین‌ترین هزینه و آسان‌ترین راه ممکن حاصل شوند (Lombardi, 1996).

روش G.I.N بر ۱۲ قاعده استوار است که در جدول ۱-۳ نشان داده شده است (Lombardi, 2003):

جدول ۱-۳ - قواعد اصلی روش G.I.N (Lombardi, 2003)

۱	مشخص کردن محدوده تزریق
۲	طراحی عملیات تزریق
۳	بدست آوردن بهترین مخلوط تزریق برای محل تزریق
۴	استفاده از تنها یک مخلوط (بهترین آن که در مرحله قبل بدست آمد)
۵	تعیین حدود G.I.N
۶	تأیید حدود بدست آمده به وسیله آزمایش
۷	کنار گذاشتن آزمایش فشار آب
۸	استفاده از روش تقسیم فاصله میانی به منظور عملیات خودتنظیم برای گمانه‌ها
۹	تغییر طول مقطع
۱۰	اشباع سنگ‌های خشک
۱۱	طراحی گمانه‌های جدید بر اساس خوردن دوغاب سیمانی گمانه‌های قبلی
۱۲	کنترل زمان واقعی تزریق

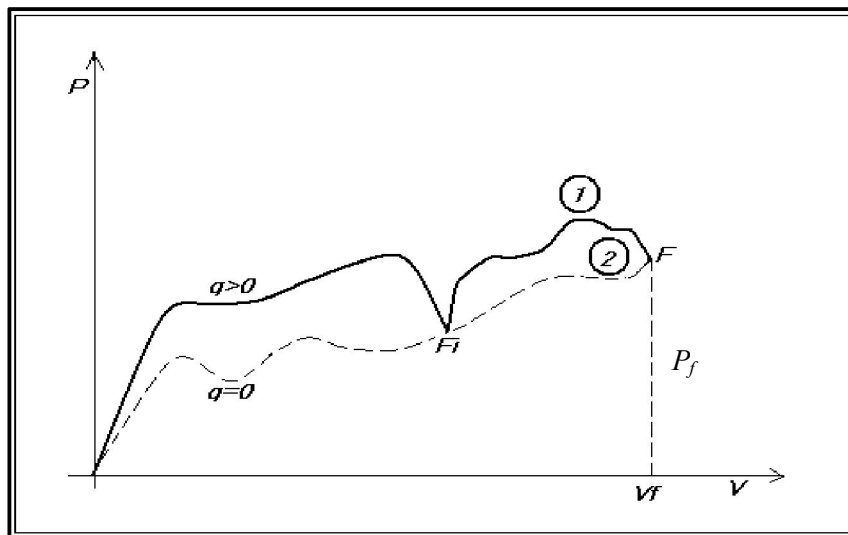
۳-۳- مفهوم عدد شدت تزریق

عدد شدت تزریق، محصول نهایی تزریق تحت فشار در هر متر از طول گمانه است و در انتهای عملیات تزریق یک مرحله‌ای، تعریف می‌شود. عدد شدت تزریق به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$G.I.N = P_f \cdot V_f \quad (1-3)$$

به طوری که P_f فشار نهایی و V_f حداکثر حجم دوغابی است که در هر متر از گمانه تزریق می‌شود. در شکل ۱-۳ تغییرات احتمالی فشار تزریق نسبت به حجم دوغاب تزریق نشان داده شده است. عموماً

فشار در طول عملیات تزریق افزایش می‌یابد ولی این افزایش از روند خاصی پیروی نمی‌کند، این در شرایطی است که حجم تزریق همیشه در حال افزایش است. سقوط ناگهانی فشار در نقطه توقف میانه (F_i) در منحنی ۱ تغییرات فشار تزریق بر حسب حجم دوغاب تزریق شده، ممکن است به علت باز شدن مسیر تازه‌ای علاوه بر مسیر قبلی دوغاب یا جک هیدرولیکی باشد. به محض پایان یافتن عملیات تزریق، همانطور که در منحنی ۲ نشان داده شده است، دبی جریان به صفر می‌رسد و فشار سکون^۱ تنها تابعی از چسبندگی دوغاب و خصوصیات سنگ بستر خواهد بود. بنابراین توقف عملیات موجب افت ناگهانی در فشار شده و شدت تزریق بر پایه این فشار نهایی (فشار سکون) تعیین می‌شود، زیرا تزریق تحت فشار تا حدود زیادی به متصدی دستگاه تزریق و روش هدایت عملیات تزریق بستگی دارد (Lombardi, 1996).



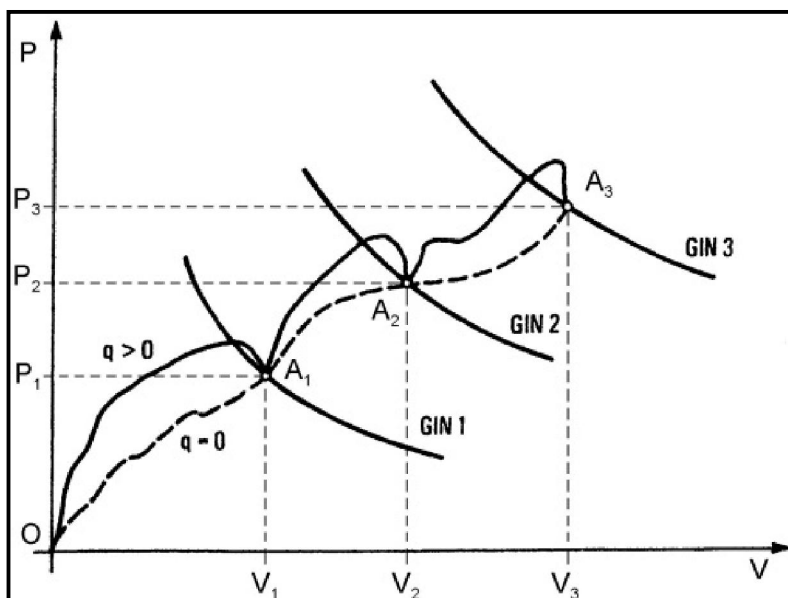
شکل ۳-۱- الگویی از افزایش فشار در طول مراحل تزریق با توجه به حجم دوغاب جذب شده در طول مسیر حرکت دوغاب (Lombardi, 1996). ۱- فشار واقعی در دهانه گمانه هنگامی که نرخ جریان بزرگتر از صفر باشد، ۲- فشار در

حالت سکون که در نرخ جریان صفر اتفاق می‌افتد، F_i : توقف میانه، F : توقف نهایی عملیات تزریق در $V=V_f$ و

$$P=P_f$$

^۱ - Pressure at rest

به عنوان یک قانون، عملیات تزریق به طور نامحدودی می‌تواند با افزایش فشار و حجم تزریق دوغاب ادامه یابد. اما اجرای این قانون در عمل امکان‌پذیر نیست، چرا که نمی‌توان فشار و حجم تزریق را بی‌نهایت کرد، به عبارت دیگر جریان دوغاب در فشار معینی ثابت می‌شود و با افزایش فشار در مراحل بعدی تغییر نمی‌کند. با توجه به شکل ۲-۳ عملیات تزریق در هر فشار و هر حجم تزریق می‌تواند متوقف گردد، زیرا محدود کردن شدت تزریق به معنای محدود کردن انرژی تزریق بوده و در نتیجه، خطر آسیب به توده‌سنگ کاهش پیدا می‌کند. در واقع، از ترکیب خطرناک عملکرد فشار بالا بر روی حجم زیادی از دوغاب که هنوز سفت نشده است به طور خودکار ممانعت به عمل می‌آید. با توجه به شکل توده‌سنگ‌ها از لحاظ میزان درزه‌داری، بازشدگی و مقاومت کششی و فشاری دارای شرایط مختلفی هستند، در نتیجه میزان فشار و خوردن اعمالی و در نهایت عدد G.I.N در آنها متفاوت خواهد بود. بنابراین با توجه به شرایط سنگ، هر کدام از اعداد G.I.N، فشار و خوردن که مناسب‌تر است انتخاب می‌گردد.



شکل ۲-۳- توقف تزریق در فشار معین (در هر فشاری که منحنی مربوط به G.I.N را قطع کند) (Lombardi,)

(1996)

با این وجود طبق معادله‌های زیر، مفهوم شدت تزریق معنای دیگری هم دارد. در این معادله‌ها فشار P تابعی از چسبندگی دوغاب (c)، R فاصله تأثیر دوغاب و e معادل بازشدگی درزه‌ها می‌باشد (Lombardi, 1996):

$$P \equiv \frac{R \cdot c}{e} \quad (2-3)$$

و حجم تزریق در هر متر به طور تقریب برابر است با:

$$V \equiv R^2 \cdot e \quad (3-3)$$

بنابراین شدت تزریق به صورت معادله زیر قابل تعریف است؛

$$G.I.N = P \cdot V \equiv R^3 \cdot c \quad (4-3)$$

به استناد معادله فوق، شدت تزریق، دیگر به بازشدگی درزه‌ها (e) بستگی ندارد (که در واقع مشکل-ترین پارامتر جهت تعیین و برقرای معادله می‌باشد). نکته مهم و قابل توجه این است که، برای مقدار معین $G.I.N$ و دوغاب مشخص با چسبندگی c ، دوغاب بدون لحاظ میزان بازشدگی واقعی درزه‌ها، تقریباً به فاصله R از گمانه دور می‌شود. بدیهی است که برای به دست آوردن فاصله حقیقی تأثیر گمانه (R) به عنوان تابعی از مقدار $G.I.N$ ، تعداد زیادی از عوامل باید مورد توجه قرار گیرند، مانند: الف- هندسه سیستم درزه‌های مختلف.

ب- تعداد درزه‌ها در هر متر و تناوب آن‌ها (به کمک RQD).

پ- طبیعت سطوح داخلی و بیرونی درزه.

ت- بی‌نظمی‌های سطح درزه همچون درجه زبری و عوامل مشابه.

ج- بازشدگی واقعی درزه‌ها.

د- مشخصات سیالیت‌شناختی و تغییر شکل مخلوط دوغاب.

محاسبه عوامل به دست آوردن فاصله واقعی تأثیر دوغاب در عمل بسیار سخت می‌باشد، بنابراین این پارامترها را می‌توان تحت عنوان فاکتور کلی تزریق^۱ (K^3) بیان کرد، که در این صورت عدد G.I.N برابر است با (Lombardi, 1996):

$$G.I.N = P \cdot V = \frac{R^3 \cdot c}{K^3} \quad (5-3)$$

که در آن:

$$K = R \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{G.I.N}} \quad (6-3)$$

و یا:

$$R = K \cdot \sqrt[3]{\frac{G.I.N}{c}} \quad (7-3)$$

رابطه اخیر برای ساختار معینی از سنگ که در آن K (تزریق‌پذیری^۲) می‌تواند ثابت فرض شود، صادق است. فاصله تأثیر دوغاب (R) متناسب با افزایش $\sqrt{G.I.N}$ افزایش یافته و با افزایش $\sqrt[3]{c}$ کاهش پیدا می‌کند، بنابراین ضرورت استفاده از افزودنی‌های فوق روان‌کننده در دوغاب را توجیه می‌سازد. در نهایت، مقدار G.I.N معیاری برای نیروی جدایشی اعمال شده توسط تزریق دوغاب به حساب می‌آید، که این نیرو تابعی از فشار و سطح درزه است.

^۱ - Overall grout ability factor

^۲ - Groutability

۳-۴- تعیین پارامترهای عدد شدت تزریق

واضح است که انتخاب مقدار صحیح G.I.N نیازمند اطلاع از پارامتر تزریق پذیری K بوده که در معادله (۳-۵) وارد شده است، همچنین باید مقدار G.I.N برای هر منطقه از پروژه با توجه به همگنی توده-سنگ، میزان تزریق پذیری آن و اهداف مورد نظر در هنگام طراحی عملیات تزریق، از قبل تعیین شود. سه روش نظری برای تعیین پارامتر تزریق پذیری (K) وجود دارند که در زیر به بررسی آنها پرداخته می‌شود: اولین روش، روشی مبتنی بر علوم ریاضی^۱ و محاسباتی است، که با تشریح مختصر و ساده و کاملی از سیستم درزه‌های موجود در سنگ بستر و کوشش برای شبیه‌سازی عملیات تزریق آغاز می‌شود. باید گفت که این شیوه تنها برای آرایش درزه‌ها که به لحاظ تئوری بسیار ساده هستند کاربرد دارد، به گونه‌ای که نتایج حاصل تنها به عنوان یک تخمین پردازش نشده اولیه برای تحقیقات بیشتر به کار برده می‌شود. از این گذشته، هیچگاه الگوی دقیق همه درزه‌های حقیقی در هر نقطه از توده-سنگ با دقت کافی شناسایی نخواهند شد. این روش ممکن است تنها در موارد ساده‌ای، مثلاً وقتی که تزریق ترک‌های منفرد در یک توده بتنی مدنظر باشد، مورد استفاده قرار گیرد (Trucotte et al, 1994).

روش دوم، یک روش تجربی^۲ است که شامل آزمایش‌ها در حین اجرا و محاسبه فاصله تأثیر دوغاب در طول عملیات تزریق به عنوان تابعی از مقادیر مختلف G.I.N می‌باشد. چنین آزمایش‌هایی باید برای هر منطقه همجنس توده‌سنگ چندین بار تکرار گردد. توصیه بر آن است که آزمایش در محل پروژه انجام شود، اما در تمامی شرایط چنین کاری امکان‌پذیر نیست، زیرا تعداد اندازه‌گیری‌های مورد نیاز به خاطر پراکندگی نقاط اندازه‌گیری در ترازهای مختلف و همچنین برای فشارهای گوناگون تزریق بسیار زیاد است. اندازه‌گیری‌ها باید در تعدادی از گمانه‌های کنترلی که در فواصل مختلف از محل آزمایش

^۱ - Mathematical method

^۲ - Experimental method

حفاری شده‌اند، انجام شوند. در ضمن به منظور شناسایی خاستگاه دوغاب در هر مرحله از تزریق رنگ‌های متفاوتی از مخلوط دوغاب مورد نیاز است. لازم به ذکر است در صورتی که پارامتر زمان نیز در معادله‌های روش G.I.N در نظر گرفته شود، رابطه کلی برای انتخاب مقدار G.I.N به صورت زیر تصحیح خواهد شد (Lombardi, 1996):

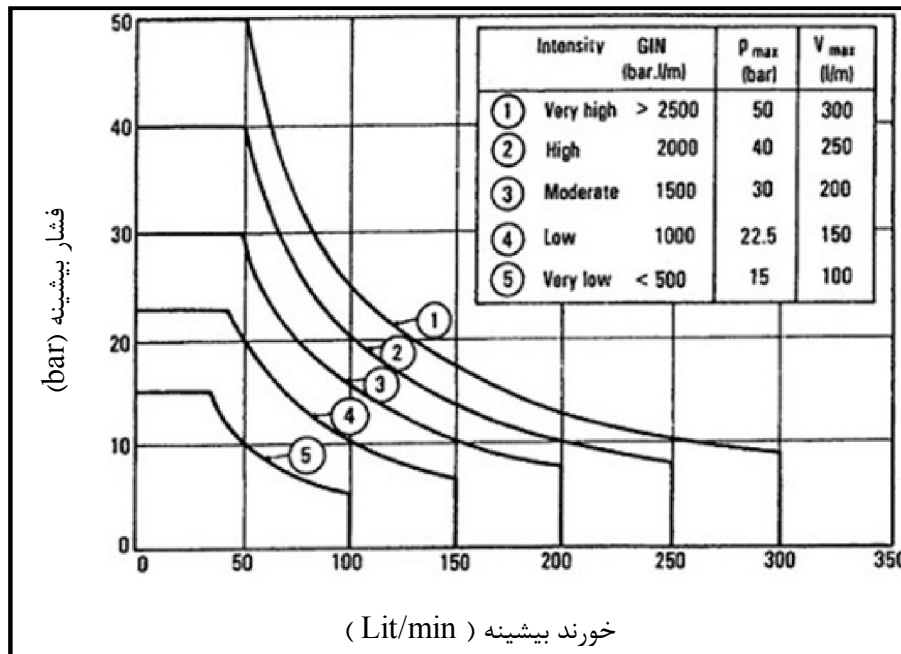
$$K = R_t \cdot \sqrt[3]{\frac{c_t}{G.I.N_t}} \quad (8-3)$$

اندیس t بیانگر مقدار آزمایشگاهی هر پارامتر است، اگر R فاصله تأثیر و c چسبندگی واقعی مخلوط تزریق مورد نیاز باشد، عدد G.I.N به صورت رابطه ۳-۹ انتخاب خواهد شد.

$$G.I.N = \frac{c \cdot R^3}{K^3} = \frac{c \cdot R^3}{c_t \cdot R_t^3} \cdot G.I.N_t \quad (9-3)$$

روش سوم روشی وابسته به مشاهده^۱ است. در این روش همانطور که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است، عملیات تزریق با انتخاب یک مقدار موقت برای G.I.N با توجه به تجربه‌ها و یا داده‌های ثبت شده قبلی، آغاز می‌شود.

^۱ -Observational method



شکل ۳-۳- محدودیت فشار و حجم تزریق با توجه به منحنی‌های G.I.N (Lombardi, 1996)

لازم به ذکر است که در طول عملیات تزریق می‌توان این مقدار انتخابی اولیه را همگام با نتایج حاصله تعدیل و اصلاح نمود. به عنوان یک مثال برای استفاده از این روش در عملیات تزریق، می‌توان به عملیات تزریق پرده آب‌بند در سدها اشاره کرد که به روش نصف کردن فاصله انجام می‌شود. در آغاز کار با مقدار معین G.I.N، گمانه‌های اولیه در فواصل از قبل انتخاب شده حفاری و گمانه‌های مرحله دوم در فواصل میانی آنها حفاری می‌شوند و این عمل برای گمانه‌های مرحله سوم و بعد از آن گمانه‌های مرحله چهارم و ... نیز تکرار می‌شود. از یک سری گمانه تا سری بعدی، دوغاب‌پذیری کاهش می‌یابد، حال آن که با توجه به نتایج حاصل از مفهوم روش G.I.N، فشار نهایی به طور تصاعدی در حال افزایش است و در نهایت به فشار حداکثر می‌رسد. افزایش فشار از یک سری گمانه تا سری بعدی گمانه‌ها، نشانه آن است که درزه‌های عریض‌تر در سری اول گمانه‌ها کاملاً توسط تزریق دوغاب درزگیری شده و متعاقب آن تزریق دوغاب در سری‌های بعدی سایر درزه‌های موجود که بازشدگی کمتری دارند، را پوشش می‌دهد. نرخ کاهش خوردن از یک سری به سری بعدی می‌تواند به عنوان معیاری مستدل برای هدایت عملیات اجرایی تزریق مورد استفاده قرار گیرد. تجربه نشان می‌دهد که به طور متوسط اگر در این روند، کاهش دوغاب‌پذیری در هر مرحله نصف شود، نتایج حاصل از

عملیات تزریق عالی خواهد بود. اگر نرخ کاهش خورند مشاهده شده بسیار پایین باشد، به این معناست که مقدار G.I.N مورد استفاده هم برای فواصل انتخابی بسیار کم می‌باشد. در این مورد، مقدار G.I.N باید افزایش یابد یا فاصله از گمانه به گمانه باید کاهش داده شود. اگر این نرخ کاهش بسیار بالا باشد، لازم است تا مقدار G.I.N انتخابی را کاهش داده و با این کار نتایج حاصل از عملیات تزریق را تعدیل کرد.

هدف، برقراری توازن بین هزینه‌های مربوط به دوغاب و گمانه‌ها و دستیابی به بهترین ترکیب اقتصادی ممکن از آنها است. برای دستیابی به هدف مورد نظر لازم است همواره به یاد داشت که در هر مرحله از تزریق دوغاب (یعنی در هر فشار معین تزریق) درزه و شکاف‌های با دهانه عریض‌تر باید از فواصل بیشتری نسبت به شکاف‌های با بازشدگی کمتر مورد تزریق قرار گیرند. تنها در این صورت با تزریق کمترین تعداد از سری گمانه‌های موجود با استفاده از روش نصف کردن فاصله، می‌توان به ضخامت کافی پرده تزریق دست یافت و نیازی به تزریق همه سری‌ها نیست. منطقی است که پیامد این کار افزایش فشار تزریق از یک سری گمانه به سری بعدی است (Lombardi, 1996).

با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، رابطه زیر را می‌توان به کار برد (Lombardi, 1996):

$$V_{lim} = 0.5 \frac{G.I.N}{P_{max}} \quad (10-3)$$

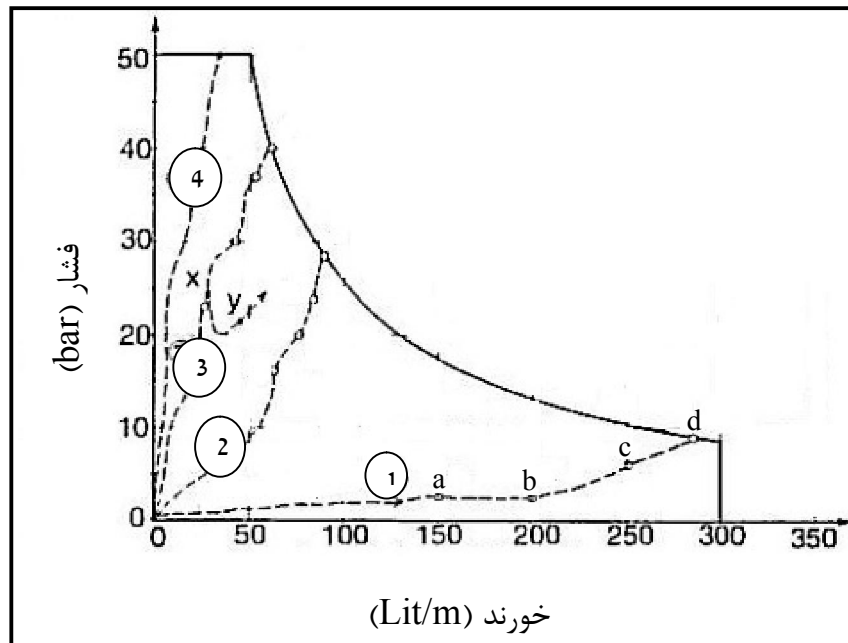
بنا به تجربه‌های به دست آمده، فشار تزریق را باید محدود کرد، تعیین فشار حداکثر به مقدار انتخابی G.I.N و اهداف تزریق وابسته است. حداکثر مقدار تعیین شده باید به عنوان تابعی از شرایط محلی، به عنوان مثال خطر هدر رفتن دوغاب به علت نشت سطحی و یا نفوذ به داخل حفرات موجود، تعیین شود. از گفته‌های اخیر می‌توان نتیجه گرفت که حتی در شرایط زمینی مشابه در شکاف‌های مختلف از یک پروژه در دست اجرا و با یک نوع دوغاب، مقادیر مختلفی از G.I.N می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۵- انتخاب مقدار G.I.N

در حالی که مؤلفین مقدار G.I.N متوسط را حدوداً ۱۵۰۰ bar.lit/m برای شروع توصیه می‌کنند، طراح سد و تیم ژئوتکنیک و تزریق باید مقدار G.I.N را برای پرده تزریق طراحی شده انتخاب کنند. شرایط زمین‌شناسی، مقدار فرار آب^۱ و فشارهای بالارونده^۲ پس از آگیری، نکاتی هستند که باید مدنظر قرار گیرند. روش G.I.N نیازمند آن است که ابتدا یک سطح شدت تزریق انتخاب و این مقدار باید هم برای ترک‌ها و شکاف‌های با قابلیت تزریق آسان با خورند بالا در فشارهای پایین و هم برای شکاف‌های ریز با خورند پایین اما با فشارهای بالاتر، کارایی داشته باشد، به این ترتیب مقدار ثابت G.I.N حفظ می‌گردد. با حفظ میزان ثابت G.I.N طی عملیات تزریق برای تمام مقاطع، یک تزریق با ثبات حاصل خواهد شد و حجم خورند در یک شکاف باز، تقریباً خودبخود محدود می‌گردد اما به مقادیر فشار اجازه می‌دهد تا در زون‌های بسته‌تر و ترک‌ها و شکاف‌های ریزتر، قابلیت تزریق افزایش یابد. همچنین، ترکیب‌های فشار بالا و حجم بالا یعنی وضعیتی که به بروز فشارهای بالارونده یا نیروهای جدایش هیدرولیکی منجر می‌شوند، حذف گردیده، به همین صورت، ترکیب‌های فشار پایین با حجم پایین که به شیوه نامناسبی شکاف‌های ریز را تزریق می‌نمایند نیز حذف می‌شوند. در شکل ۳-۴، مسیرهای P-V چهار نوع درزه نشان داده شده‌اند. درزه با بازشدگی زیاد توسط منحنی (۱) نشان داده شده که حاکی از افزایش حجم دوغاب تزریق شده در حالتی است که تنها افزایش جزئی در فشار بوجود می‌آید. منحنی (۲) یک شکاف در حد متوسط را نشان می‌دهد که فشار به تدریج افزایش یافته و به همین ترتیب حجم دوغاب تزریقی نیز افزایش پیدا کرده است، همچنین مقاومت در برابر نفوذ دوغاب به طور غیرمتجانسی افزایش پیدا می‌کند. منحنی (۳) یک شکاف بسته را نشان می‌دهد که فشار تزریق به سرعت و تنها با مقدار اندکی خورند دوغاب افزایش پیدا می‌کند و در نهایت، منحنی (۴) یک درز بسیار بسته را با میزان خورند بسیار اندک نشان می‌دهد.

^۱ - Water Loss

^۲ - Uplift Pressure

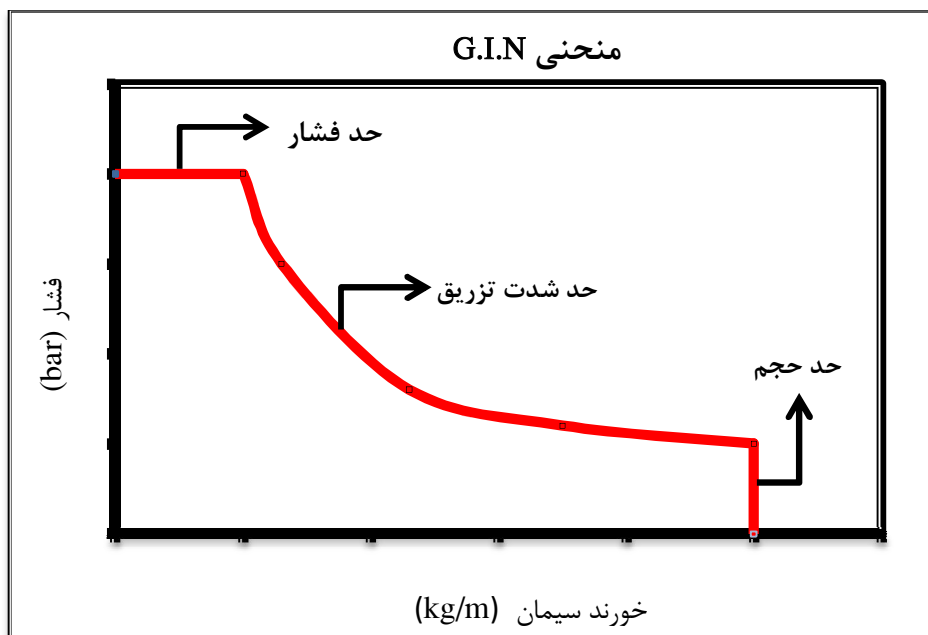


شکل ۳-۴- نمونه‌ای از منحنی‌های مسیر تزریق (Lombardi & Deere, 1993)

در نقطه a برای شدت پایین به خاطر حد حجمی ۱۵۰ lit/m و فشار به دست آمده ۳ bar، تزریق خاتمه پیدا خواهد کرد. اگر شدت تزریق متوسط انتخاب شده بود، تزریق تا نقطه b ادامه پیدا می‌کرد و حد حجمی ۳۰۰ lit/m و فشار نهایی حدود ۳ bar به دست می‌آمد. اگر شدت تزریق بالا انتخاب شده بود، تزریق تا نقطه c ادامه پیدا می‌کرد، حد حجمی ۲۵۰ lit/m و فشار نهایی حدود ۶ bar به دست می‌آمد. در پایان، اگر شدت بسیار بالا انتخاب شده بود، تزریق تا نقطه d ادامه پیدا می‌کرد. مسیر تزریق توسط حد حجمی خاتمه داده نشده است ولی با قطع منحنی G.I.N حدود ۲۵۰۰ این کار صورت می‌گرفت. در این نقطه حجم کل تزریق شده ۲۸۵ lit/m بوده و فشار تزریق نهایی هم ۹ bar می‌باشد. قسمت X-Y یک نمونه از وقوع شکست هیدرولیکی یا جدایش هیدرولیکی را نشان می‌دهد. جایی که سطح یک درزه یا لایه‌بندی به طور ناگهانی تحت تاثیر نیروی وارده باز شده، نتیجه آن نیز یک افت فشار و افزایش در نرخ جذب دوغاب خواهد بود (Lombardi & Deere, 1993).

۳-۶- ویژگی‌های منحصربه‌فرد روش G.I.N

- استفاده از مخلوط سیمان پایدار و ساده برای کل عملیات تزریق (نسبت وزنی W/C از ۰/۶ تا ۰/۸۰) همراه با فوق روان‌کننده جهت افزایش قابلیت نفوذ و کاستن از دو پارامتر: گرانروی و مقاومت ارتجاعی دوغاب، به طوری که بتوان با اعمال فشارهای تزریق پایین‌تر، به همان فاصله تزریق دست یافت.
- سرعت کم تا متوسط پمپ تزریق که با گذشت زمان منجر به افزایش تدریجی فشار و نهایتاً نفوذ بیشتر دوغاب به داخل شکستگی‌های سنگ می‌شود.
- بازبینی فشار، نرخ جریان، حجم تزریق‌شده و قابلیت نفوذ به ازای زمان واقعی به وسیله نمودارهای رایانه‌ای.
- با توجه به شکل ۳-۵، خاتمه عملیات تزریق هنگامی که مسیر تزریق بر اساس نمودار فشار-حجم کل (در هر متر از تزریق) یکی از منحنی‌های حد حجم، حد فشار و یا حد شدت تزریق، همانگونه که در منحنی G.I.N انتخاب شده است را قطع کند (Lombardi, 1993).



شکل ۳-۵- حدود منحنی G.I.N (Lombardi, 1993)

- تعیین دقیق مشخصات توده‌سنگ‌های هدف، به طوری که عملیات تزریق به صورت درست طراحی گردد و تشخیص‌های صورت گرفته قدیمی مربوط به دهه‌های قبل را که در شرایط محیطی مختلفی بکار گرفته شده‌اند، بدون تعدیل مناسب در پروژه‌های جدید استفاده نشوند (Lombardi, 1990).
- باید اهداف پروژه تا حد امکان و به صراحت تعریف گردد، تا از تزریق جایی که دیگر روش‌ها نظیر زهکش، مناسب‌تر و ارزان‌تر باشند از روش G.I.N استفاده نشود، همچنین از تزریق زیاد یا شدیدتر از حد نیاز پرهیز می‌کند.
- در این روش از یک مخلوط با کیفیت خوب استفاده می‌گردد، به طوری که خواص بلند مدت نظیر مقاومت مکانیکی و مقاومت در برابر شستگی به واسطه تراوش آب را تضمین کند.
- تنها یک مخلوط واحد (بهترین نوع از لحاظ سازگاری با محیط توده‌سنگی) و بدون تغییر برای تمام عملیات تزریق مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این کار، عملیات تزریق ساده‌سازی شده و از وقوع اشتباهات متعدد در محل کار پرهیز می‌شود.
- از آن جایی که سیمان متداول‌ترین و ارزان‌ترین ماده تزریق می‌باشد، تزریق با مخلوط‌های آب-سیمان (سیمان معمولی یا با نرمی بالا^۱، بسته به بازشدگی درزه‌ها) انجام شده و باید برای تمام موارد تزریق، مقدار و نوع آن در نظر گرفته شود.
- در انتخاب یک مخلوط تزریق پایدار، تنها راه جهت بدست آوردن دوغاب با کیفیت بالا، پس از گیرش، مخلوط آب و سیمان بدون آب اضافه می‌باشد. علاوه بر این، تنها رفتار دوغاب‌های پایدار قابل پیش‌بینی بوده، و خطرات جک هیدرولیکی تا حد زیادی کاهش داده می‌شوند (Deere & Lombardi, 1985).

^۱ - High Blaine

- از آزمایش‌های فشار آب در گمانه‌ها، در طول عملیات تزریق پرهیز می‌شود، چرا که این آزمایش‌ها امری بی‌فایده، هزینه‌بر و زمان‌بر هستند (ازسوی دیگر، آزمایش‌های فشار آب، بعد از تزریق جهت کنترل کردن نتایج حاصله با ارزش هستند).
- توده‌سنگ بالای سطح آب زیرزمینی، فقط باید قبل از تزریق اشباع شود تا بدین وسیله از مکش آب دوغاب به بیرون توسط توده‌سنگ خشک جلوگیری شود، زیرا فرار آب می‌تواند منجر به انسداد^۱ سریع عملیات گردد.
- طول مقاطع تزریق باید با شرایط سنگ (عمدتاً تکرار ناپیوستگی‌ها یا درزه‌ها) مطابق باشد. در عمل، این بدان معناست که مقاطع بلندتر برای اعماق بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. (Lombardi, 1996).

۳-۷- اصول اجرایی روش G.I.N

مفاهیم و رویه‌های مختلفی در کاربرد روش G.I.N مهم هستند که به طور خلاصه در ۴ عنوان ذیل آورده شده‌اند (Lombardi & Deere, 1993):

الف- مفاهیم پایه

- استفاده صرف از دوغاب‌های با غلظت متوسط و پایدار جهت کاهش رسوبگذاری و انسداد پیش از موعد و رسیدن به یک دوغاب غلیظ، مقاوم و سخت شده.
- استفاده تا حد ممکن از تنها یک دوغاب ساده برای تمام عملیات تزریق؛ جهت آماده سازی یک سیال بینگهام با ویژگی‌های مشخص و ساده‌سازی عملیات تزریق که به موجب آن کارایی و تاثیرگذاری آن ارتقاء یافته و خطاها کاهش یابد.

^۱ - Blockage

- استفاده از منحنی G.I.N جهت نظارت بر فشار تزریق؛ تا به فشار اجازه داده شود تا هر جا که نیاز باشد، افزایش یابد و جلوگیری از افزایش بی‌مورد فشار، هر جا که مضر بوده یا اتلاف وقت و هزینه را در پی داشته باشد.
- کنترل عملیات تزریق با رایانه در محیط کار؛ جهت بررسی زمان فشار و دبی و ترسیم مسیر تزریق P-V بر روی منحنی G.I.N، استفاده از منحنی مسیر تزریق و منحنی نفوذپذیری-حجم جهت نمایش پایان تزریق.

ب- طرح اختلاط دوغاب

- استفاده از افزودنی‌ها برای دستیابی به ویژگی‌های مورد نظر: (۱) فوق روان‌کننده برای کاهش چسبندگی و گرانروی مخلوط و افزایش نفوذپذیری دوغاب. (۲) اضافه نمودن یک واسطه آبرگیر برای جلوگیری از هدر رفتن آب موجود در دوغاب در طول عملیات تزریق.
- انجام مجموعه آزمون‌های آزمایشگاهی مفصل از عملیات تزریق بر روی ترکیب دوغاب با نسبت آب به سیمان (نسبت وزنی) ۰/۶:۱ تا ۱:۱، به عبارت دیگر: (۱) آزمایش سیمان‌های مختلف در دسترس با دانه‌بندی‌های مختلف، آزمایش مخلوط‌های مختلف با درصد‌های متفاوتی از افزودنی‌ها، (۲) آزمایش به منظور دستیابی به وزن واحد دوغاب سیمان، گرانروی ظاهری توسط قیف مارش، چسبندگی، زمان گیرش اولیه و نهایی دوغاب، مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه و همچنین میزان آب‌اندازی دوغاب پس از دو ساعت.

پ- جانمایی گمانه‌های تزریق

- انتخاب روش تقسیم فواصل برای گمانه‌های اولیه تا سری سوم و یا چهارم: (۱) به منظور ارائه یک پوشش یکنواخت، (۲) جانمایی گمانه‌های تزریق باید به صورتی باشد که امکان بازبینی و تغییر آن در صورت برخورد با شرایط بد زمین‌شناسی وجود داشته باشد.

- انجام آزمایش میدانی در طول فاز طراحی نهایی سد یا در طول اولین بخش از فاز اجرایی: (۱)
- برای آزمایش قسمت‌های مختلف منطقه که دارای شرایط مختلف زمین‌شناسی و یا توپوگرافی هستند (برای مثال کف دره)، (۲) برای انتخاب فاصله‌گذاری بهینه گمانه‌های اولیه، که در نتیجه آن کاهش مداوم ۲۵ تا ۷۵ درصد در هر سری مشاهده شود، لازم است فاصله-گذاری گمانه‌های اولیه ۱۰ تا ۱۲ متر در نظر گرفته شود. (۳) در نظر گرفتن منحنی‌های مختلف G.I.N برای آزمایش.

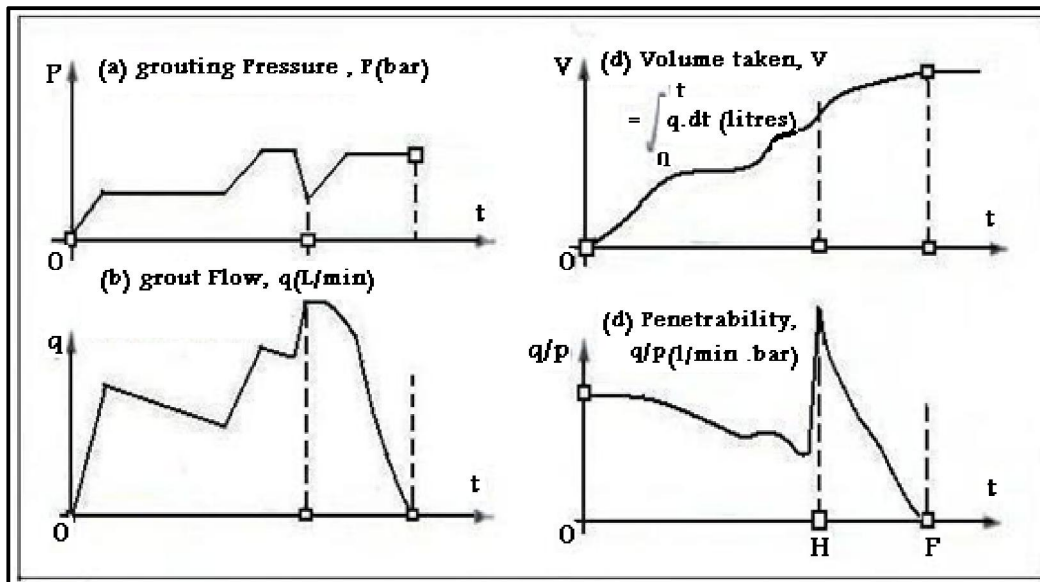
ت- کنترل میدانی

- تعریف عوامل کنترل منحنی G.I.N و نتایج برنامه آزمایش تزریق دوغاب و همچنین هرگونه ملاحظات مهندسی ویژه مکانیک‌سنگی یا ملاحظات زمین‌شناسی: (۱) برای اطمینان از این که حدود حجم و فشار برای ویژگی‌های زمین‌شناسی موجود متناسب است، (۲) ارزیابی نیاز به مقادیر مختلف G.I.N در موقعیت‌های مختلف منطقه.
- تزریق چهار گمانه اصلی در ابتدای عملیات، به عنوان گمانه‌های اکتشافی: (۱) به منظور در نظر گرفتن شرایط واقعی زمین‌شناسی و آب زیرزمینی، (۲) امکان انتخاب عمق نهایی گمانه-های اولیه، (۳) اطمینان از مناسب بودن منحنی G.I.N انتخابی.
- کنترل رایانه‌ای فرآیند تزریق با استفاده از منحنی G.I.N و منحنی نفوذپذیری: (۱) به منظور کنترل به موقع مسیر حرکت دوغاب، (۲) پیش‌بینی عملیات تزریق با استفاده از منحنی نفوذپذیری، نمودار P-V و منحنی کنترل G.I.N.
- تزریق آب قبل از عملیات تزریق دوغاب در هر مرحله در بالای سفره آب زیرزمینی، به منظور اشباع نسبی منطقه و کاهش خطر هدر رفتن آب دوغاب و در نتیجه گیرش زود هنگام.
- استفاده از آزمایش لوژان فقط در گمانه‌های اکتشافی اولیه.

- خلاصه کردن نتایج حاصل از عملیات تزریق با روش‌های معمولی آماری و به کمک نمودار، به منظور تحقق پر شدن تدریجی شکاف‌های موجود و با تراوایی پسماند حاصله، تا حد مطلوب پایین.

۳-۸- کنترل رایانه‌ای عملیات تزریق

از آنجایی که امروزه رایانه‌ها به راحتی قابل کاربرد بوده و در محل تزریق مورد استفاده قرار می‌گیرند، امکان کنترل مستمر عملیات تزریق با یک زمان واقعی وجود دارد. تنها دو مقدار فشار واقعی تزریق P و نرخ جریان q ، لازم است که به طور مستمر توسط رایانه قرائت شوند، در صورت نیاز حجم دوغاب (V) تزریق شده را می‌توان به طور مستقیم اندازه گرفت و نرخ جریان q را با مشتق‌گیری بدست آورد. با شروع کار، از دو مقدار اندازه‌گیری شده P و q ، تعدادی از نمودارهای لحظه‌ای می‌توانند بر روی صفحه رایانه نشان داده شده و ترسیم گردند. (برای مثال: فشار، دبی، حجم تجمعی و قابلیت نفوذ بر حسب زمان). نمونه‌های نمودارهای مذکور در شکل ۳-۶ نشان داده شده‌اند. در این شکل، (a): فشار تزریق، (b): دبی مخلوط دوغاب، (c): حجم خورند، (d): جریان ویژه (q/p) یا قابلیت نفوذ (که در آن دبی بر فشار تقسیم می‌گردد) بر حسب زمان را نشان می‌دهد. (O): شروع تزریق، (H): جک هیدرولیکی، (F): نهایی شده تزریق.



شکل ۳-۶- نمایش فرآیند تزریق یک مقطع ساده توسط نمودارهای رایانه‌ای (Lombardi & Deere, 1993)

این منحنی موضوع پرشدگی پیشرونده، تخلخل‌ها و شکاف‌ها و بالارفتن مقاومت دوغاب را که در مرحله اول با افزایش نیروی چسبندگی کل که همزمان با جریان دوغاب در محدوده بیشتری از ترک‌های داخل سنگ حاصل می‌شود را نشان می‌دهد. شکست هیدرولیکی یا جک هیدرولیکی را به سهولت از وجود یک روند صعودی تند در نمودارهای $V-t$ ، $q-t$ ، $q/p-t$ و روند نزولی در نمودار $P-t$ می‌توان مشاهده نمود (Lombardi & Deere, 1993).

برخی از عوامل عملیات تزریق از اهمیت بالایی برخوردار بوده و تجهیزات لازم جهت ثبت آنها در هر مقطع تزریق باید در دسترس باشند. مهمترین عواملی که در محل باید بررسی و ترسیم شوند عبارتند از؛ ۱- فشار بر حسب زمان، ۲- نرخ جریان بر حسب زمان، ۳- خوردند بر حسب زمان، ۴- فشار بر حسب خوردند، ۵- قابلیت نفوذ بر حسب خوردند؛ دو مورد آخر، مهمترین مواردی هستند که باید لحاظ گردند. تفسیر زمان واقعی ترسیم این توابع این اجازه را به ما می‌دهد تا عملیات تزریق را توصیف نموده و زمان ابتدای وقوع هرگونه جک هیدرولیکی و شکست هیدرولیکی را کشف و بنابراین، عملیات تزریق را با شرایط واقعی توده‌سنگ وفق دهیم (Trucotte et al, 1994).

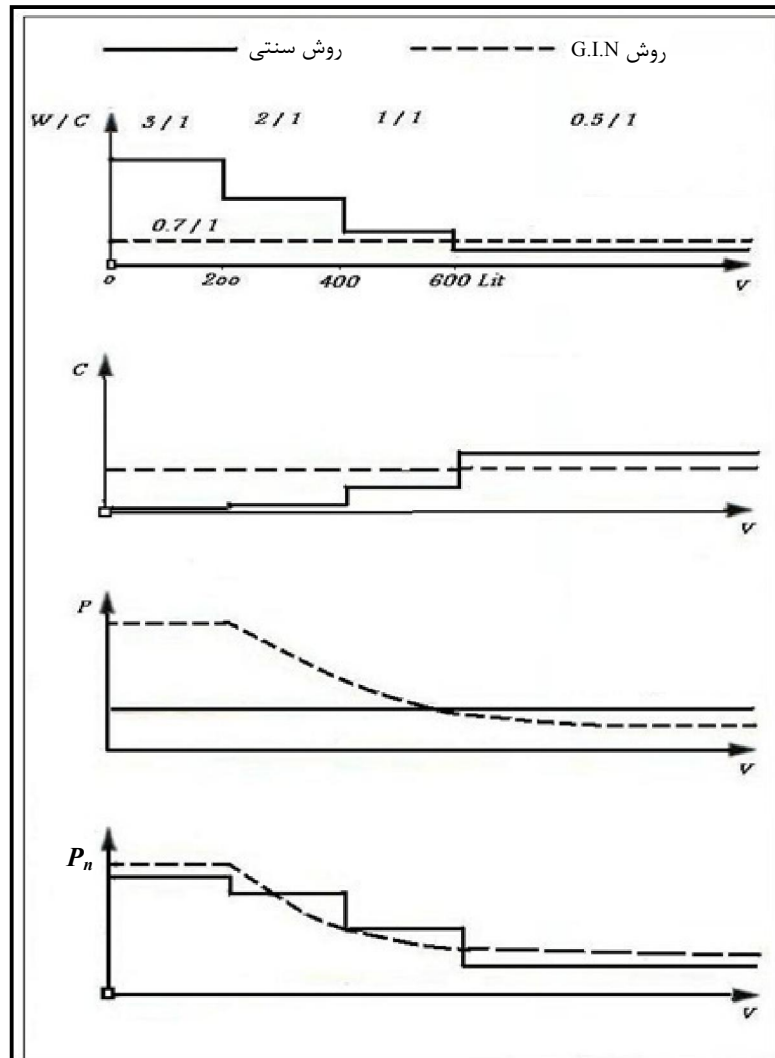
۳-۹- مقایسه روش G.I.N با روش سنتی

۳-۹-۱- مقدمه

عملیات تزریق سنتی شامل تعیین فشار تزریق و استفاده از انواع مختلف دوغاب می‌باشد. مثلاً؛ دوغاب‌هایی با نسبت‌های متغیر W/C (۴:۱ و ۳:۱ و ۲:۱ و ۱:۱ و...) تغییر اختلاط در حجم معینی از دوغاب مصرفی در گمانه صورت می‌گیرد و این مشخص است که پیوستگی این دوغاب‌ها از یکی به سمت دیگری افزایش می‌یابد و اینکه در نقطه‌ای، مقاومت حاصل از چسبندگی ذرات دوغاب به حدی بالا رفته و در برابر جریان و میزان نفوذ دوغاب مقاومت می‌کند که باعث توقف عملیات تزریق می‌گردد. در روش G.I.N، تنها یک مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه چسبندگی آن هم ثابت است. همچنان که دوغاب در طول شکستگی‌ها گسترش پیدا می‌کند، تماس آن با دیواره‌های شکستگی افزایش یافته و به گونه‌ای باعث ایجاد یک مقاومت ناشی از چسبندگی کلی در برابر جریان می‌شود. در نتیجه فشارهای پمپاژ بزرگتری باید جهت غلبه بر مقاومت ایجاد شده در مقابل جریان، مورد استفاده قرار گیرند. در این روش برخلاف روش سنتی از تزریق حجم زیاد دوغاب پرهیز می‌شود، استفاده از دوغاب پایدار باعث اجتناب از خطر تخریب سنگ به واسطه شکست هیدرولیکی یا کاهش عمده‌ای در میزان آن می‌شود. خطاهای عملیات تزریق تا حد زیادی کاهش یافته و تزریق ساده‌تر و سریع‌تر صورت می‌گیرد، به طوری که هیچ هدر رفت زمانی به خاطر تغییر در نوع مخلوط وجود نخواهد داشت (Lombardi, 1996).

مقایسه روش G.I.N با روش سنتی از دیدگاه فشار تزریق و چسبندگی و نسبت مخلوط‌ها، در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل، در روش G.I.N نسبت مخلوط انتخاب شده از ابتدا تا انتهای عملیات تزریق ثابت می‌باشد، اما در روش سنتی این نسبت بسته به میزان نفوذ دوغاب به درون درزه‌ها تغییر می‌کند. در هر دو روش سنتی و G.I.N، فشار نرمال شده، گرایش به کم شدن همگام با پیشرفت تزریق دارد. اختلاف بین این دو روش به این صورت است که، در روش سنتی، این

کاهش ناشی از تغییر پله به پله دوغاب‌های غلیظ‌تر به همراه افزایش چسبندگی می‌باشد. از سوی دیگر با پیروی از قاعده G.I.N در استفاده از یک دوغاب پایدار (بهترین حالت دوغاب)، فشار به تدریج کاهش یافته، حال آن که چسبندگی ثابت است (Lombardi, 1996).



شکل ۳-۷- مقایسه روش‌های تزریق سنتی و G.I.N (Lombardi, 1996)

P: فشار تزریق حقیقی (bar)، P_n : فشار تزریق نرمال شده، C: چسبندگی، $P_n = P/c$

۳-۹-۲- موارد بحث برانگیز روش G.I.N

موارد ذکر شده در این بخش می‌تواند انگیزه‌ای برای بحث در مورد قوانین، روش‌ها و تئوری‌هایی باشد که بر سر راه پیشرفت تکنیک تزریق قرار گرفته‌اند و متأسفانه هنوز هم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۹-۲-۱- تزریق با دوغاب‌های رقیق

یکی از روش‌های عجیب که هنوز مورد استفاده است، استفاده از مخلوط‌هایی است که همانند روش سنتی، غلظت آنها از کم به زیاد تغییر می‌کند. واضح است که مخلوط رقیق یک سیمان بسیار ضعیف تولید می‌کند که به سادگی با آب شسته شده و پس از چند سال پرده آب‌بند از بین می‌رود. یکی از دلایل توجیه کننده این روش این است که، خطر جدا شدن آب دوغاب توسط سنگ خشک کاهش می‌یابد. اولاً، این توجیه برای تزریق توده‌سنگ زیر سطح آب زیرزمینی اعتبار ندارد و ثانیاً، اشباع سنگ با تزریق آب درست قبل از عملیات تزریق با دوغاب پایدار با کیفیت، بسیار مفیدتر از استفاده از دوغاب رقیق بی کیفیت است. دلیل استفاده از دوغاب رقیق در روش قدیمی این است که تأکید، بیشتر بر روی خود فرآیند تزریق است و تقریباً هیچ توجهی به کیفیت دوغاب سخت شده در سنگ پس از انجام فرآیند نمی‌شود. احتمالاً به این دلیل که کار آسانی نیست. در صورتی که برای به دست آوردن یک نتیجه خوب باید از هر گونه آب اضافی خودداری شود. در واقع، تنها مخلوط‌های پایدار غلیظ سیمان می‌توانند مقاومت مکانیکی و مقاومت در مقابل شسته شدن را تضمین کنند. همچنین از روان‌کننده‌ها به منظور افزایش قدرت نفوذ دوغاب می‌توان استفاده کرد. بنابراین، تنها باید بهترین دوغاب ممکن از نظر نتیجه نهایی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین بعضی افراد، درباره موفقیت تزریق، فقط با توجه به مقدار خوردن مقطع قضاوت می‌کنند، در حالی که در مورد موفقیت تزریق، باید با توجه به بهبود مشخصات سنگ قضاوت شود (Lombardi, 1999).

۳-۹-۲-۲- پالایش دوغاب در اثر فشار

تئوری که در بدو تزریق بوجود آمده و هنوز مورد استفاده است، این است که هنگامی که مخلوط رقیق به گمانه پمپاژ می‌شود، آب اضافه دوغاب در اثر فشار به درون درزه‌های خیلی ریز سنگ وارد شده و سیمان در داخل درزه‌های تزریق شده باقی می‌ماند که منجر به تشکیل یک دوغاب بهبود یافته خواهد شد. این عبارت، حداقل به سه دلیل کاملاً اشتباه است (Lombardi, 1999):

الف- آب فقط وسیله حمل سیمان به درون درزه است و به این نکته توجه نشده است که آب چه از نظر فیزیکی و چه از نظر شیمیایی، یک جزء ضروری دوغاب است.

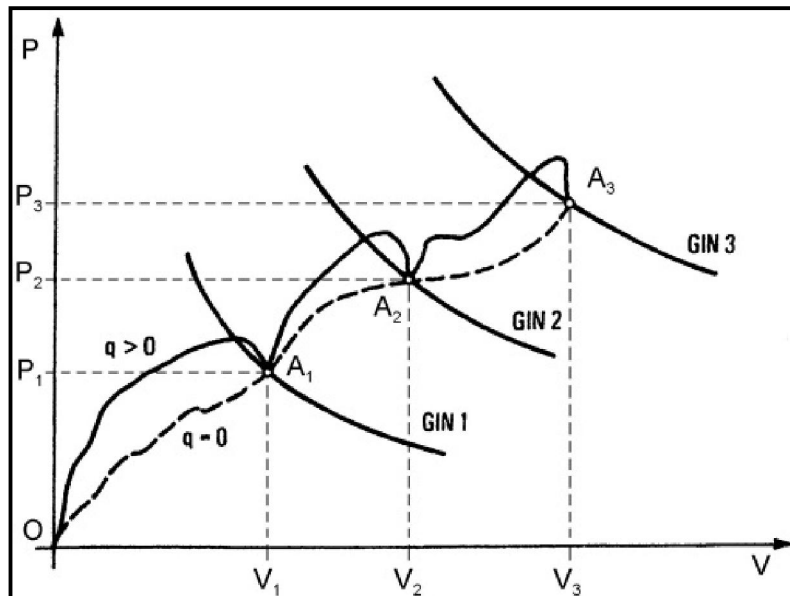
ب- پدیده پالایش بر اثر فشار، به سرعت باعث ایجاد مانع در ترک شده و اجازه نمی‌دهد آب از دوغاب داخل گمانه جدا شود.

پ- این پدیده کاملاً نامنظم و غیرقابل پیش‌بینی است.

۳-۹-۲-۳- معیار امتناع^۱

یک مفهوم عجیب دیگر که همیشه شنیده می‌شود، امتناع و فشار امتناع است. در حالت عادی باید بدانیم که همیشه یک مانع یا حد بر سر راه فرآیند تزریق وجود دارد که در نتیجه آن، توده‌سنگ از جذب دوغاب خودداری می‌کند. در واقع تجربه و نظریه‌های تئوری نشان می‌دهند که فرآیند تزریق، تا زمانی که پمپ قادر به افزایش فشار باشد می‌تواند ادامه پیدا کند و برعکس، هر زمان که فشار تزریق کاهش یابد فرآیند تزریق متوقف می‌شود. حجم خورند تابع پیچیده‌ای از فرآیند تزریق است، بنابراین باید در مورد حداکثر فشار در دبی صفر که توسط متصدی تزریق تعیین می‌شود، اظهار نظر کرد نه در مورد فشار امتناع که توسط توده‌سنگ تعیین می‌شود و نمی‌توان برای آن حدی در نظر گرفت. با توجه به شکل ۳-۸ که تکرار شکل ۳-۲ است، مقادیر فشار و خورند هر مقداری را می‌توانند داشته باشند، زیرا توده‌سنگ حالت امتناع نخواهد داشت. اما باید توجه کرد، در صورتی که میزان فشار و خورند بیشتر از ظرفیت سنگ اعمال شود پدیده جک یا شکست هیدرولیکی رخ خواهد داد. (Lombardi, 2003).

^۱ - Refusal



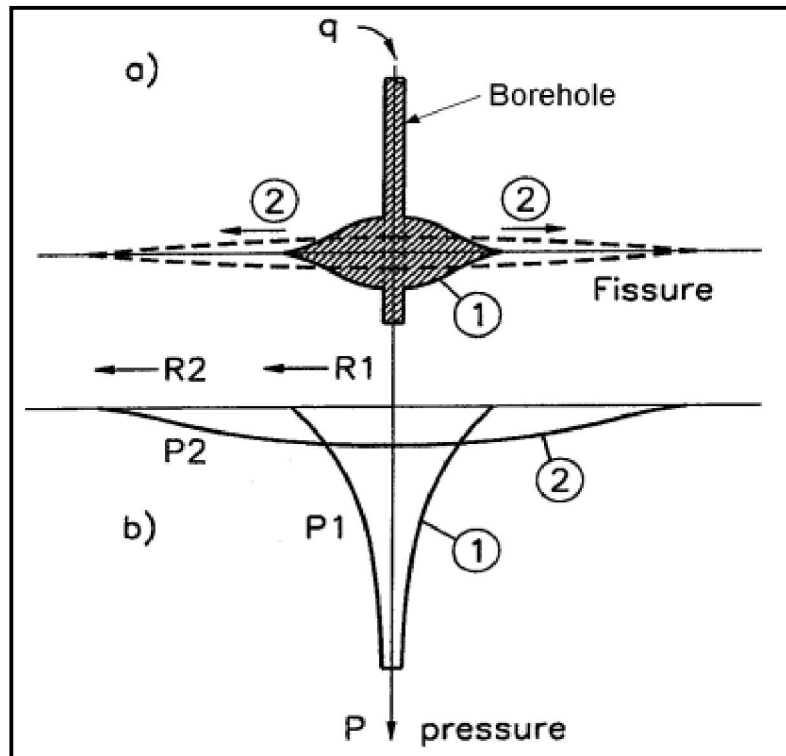
شکل ۳-۸- تکرار شکل (۳-۲)، فرآیند تزریق می‌تواند تا هر فشار مورد نیازی و هر حجم خوردنی و تا رسیدن به هر مقدار G.I.N ادامه یابد و حالتی به نام امتناع توسط سنگ وجود ندارد. P : فشار تزریق، V : حجم تزریق، $G.I.N = P.V$ ، q : نرخ جریان دوغاب (Lombardi, 2003)

۳-۹-۲-۴- جک هیدرولیکی و شکست هیدرولیکی

دو مفهومی که اغلب برداشت اشتباهی از آنها می‌شود، جک هیدرولیکی و شکست هیدرولیکی هستند. این سردرگمی ممکن است منجر به اتخاذ تصمیم‌های نادرست در محل تزریق شود. جک هیدرولیکی به علت باز شدن درزه‌های موجود در توده‌سنگ در اثر فشار تزریق است ولی شکست هیدرولیکی به علت ایجاد یک درزه یا ترک جدید در توده‌سنگ به علت فشار بیش از حد آب یا دوغاب است. در واقع، شکست هیدرولیکی یک رویداد نسبتاً نادر در کارهای عمرانی تزریق است. الزاماً هرگونه افت فشاری در حین عملیات تزریق را نمی‌توان به عنوان یک پدیده جک هیدرولیکی تفسیر نمود. در واقع، درزه‌های از پیش موجود نیز ممکن است به طور ناگهانی باز شوند و مطابق شکل ۳-۹ نوعی ناپایداری الاستیک رخ می‌دهد. در حین عملیات تزریق، شکست هیدرولیکی عمدتاً به درزه‌های بالقوه^۱ نظیر

^۱ - Potential joints

سطوح لایه‌بندی و بین چینه‌ای ضعیف، بستگی دارد. بازشدگی چنین سطوحی به سبب تنش‌های کششی القایی به توده‌سنگ در اثر فشار آب یا دوغاب است.



شکل ۳-۹- پدیده جک هیدرولیکی به عنوان نوعی ناپایداری الاستیک یا دوشاخه شدن (Lombardi, 1999)

(a) انبساط ناگهانی امتداد یک درزه باز حین تزریق، (b) توزیع فشار، در شکل، ۱- قبل از جک هیدرولیکی، ۲- بعد از

جک هیدرولیکی، (q) سرعت جریان دوغاب، (P) فشار، (R) شعاع تأثیر گمانه

پدیده شکست هیدرولیکی بیشتر زمانی رخ می‌دهد که گمانه به موازات سطوح ضعیف حفاری شده باشد در حالی که جک هیدرولیکی بدون ملاحظه زاویه بین گمانه و درزه رخ می‌دهد، ترکیب‌هایی از شکست هیدرولیکی و جک هیدرولیکی هم ممکن است بوجود آیند. به هر ترتیب، خطر این پدیده‌ها، هنگام استفاده از دوغاب رقیق یا آب خیلی بیشتر از هنگام استفاده از دوغاب غلیظ و پایدار است که دلیل آن را می‌توان در چسبندگی دوغاب پایدار دانست. اگر از یک دوغاب قوی با مشخصات سیالیت خوب جهت تزریق در سنگ استفاده شود، شکست هیدرولیکی از نقطه نظر فنی به ندرت زیان‌آور محسوب می‌شود، مگر اینکه باعث ایجاد یک بالآمدگی در عمق کم گردد. اما، اتلاف بی‌فایده دوغاب و

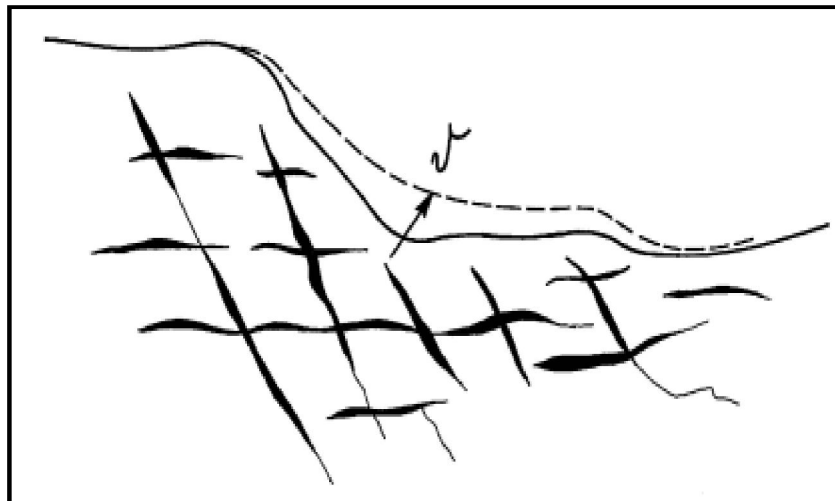
همچنین هزینه‌های مرتبط با آن به سبب وقوع پدیده شکست هیدرولیکی باعث می‌شود تا عواقب اقتصادی ناپسندی دربرداشته باشد. هم شکست هیدرولیکی و هم جک هیدرولیکی، هر دو در ارتباط با نیروهای جدایشی متمرکز در دو سوی درزه هستند. بدیهی است که این نیروها تابعی از فشارهای اعمالی بر روی هر المان مجزای سطح درزه هستند و نه تنها تابعی از فشار اعمالی در گمانه تزریق بوده، بلکه تابعی از گستردگی سطحی هم هستند که تسلیم فشار شده‌اند. می‌توان گفت که سطح مورد اشاره از طرفی هم، بستگی به حجم دوغاب تحت فشار در گمانه داشته که تا آن لحظه گیرش پیدا نکرده است (Lombardi, 1999).

می‌توان اشاره کرد که، تاثیر مثبت جک هیدرولیکی این است که درزه را باز نموده و پس از آن سیمان می‌تواند وارد هر نقطه از درزه گردیده و این گونه نسبت سطح تماس سیمان با دیواره درزه افزایش یابد. با فاصله‌گیری از گمانه، فشار تزریق هم کاهش پیدا می‌کند همینطور وسعت سطح تحت فشار محدود شده و فشار متوسط فعال بر روی آن می‌تواند تنها یک سوم فشار تزریق اعمال شده برآورد گردد. به این ترتیب ترس از بالآمدگی سطح سنگ به شدت کاهش پیدا می‌کند (حداقل تا سه برابر). اگر افت فشار تندتر باشد بدین معناست که شعاع تأثیر کوچکتر و چسبندگی دوغاب بیشتر خواهد بود. در نتیجه می‌توان در اعماق کم از فشارهای بالاتری استفاده کرد. لازمه محدود کردن میزان بالا-آمدگی که کاهش فشار و افزایش چسبندگی می‌باشد، با لازمه یک نفوذ خوب یعنی فشارهای تزریق بالا و همینطور گرانبوی و چسبندگی پایین دوغاب در تعارض است (Lombaardi, 2003).

۳-۹-۲-۵- خیز سطح زمین بر اثر تزریق

در بعضی از پروژه‌ها این احتمال وجود دارد که در اثر تزریق، در سطح زمین خیز ایجاد شود. در این مورد نیز ارزیابی‌هایی مانند مورد جک هیدرولیکی وجود دارد. خیز زمین اجتناب‌ناپذیر است، اما باید توجه داشت که مقدار آن خصوصاً برای جلوگیری از هزینه حجم بسیار زیاد دوغابی که هدر می‌رود، باید محدود شود. عجیب‌ترین کار برای جلوگیری از خیز زمین، در قوانین و کشورهای مختلف، محدود

کردن فشار تزریق بر اساس عمق گمانه، یا فاصله مقاطع تزریق است. این قوانین هیچ توجهی به خواص سیالیت دوغاب تزریق و مشخصات زمین‌شناسی توده‌سنگ ندارند و هیچ تفاوتی بین آب و غلیظ‌ترین دوغاب قائل نشده‌اند، در حالی که به سادگی می‌توان فهمید که شعاع نفوذ، توزیع فشار و نیروهای شکننده شدیداً به خواص سیالیت‌شناختی دوغاب و خواص زمین‌شناسی سنگ وابسته است. همچنین در قوانین قدیمی هیچ توجهی به نوع ارتباط دسته‌درزه‌ها با یکدیگر نشده است. خطر خیز بیش از حد برای هر مورد متفاوت از موارد دیگر است، از طرف دیگر حداکثر فشار مجاز به خواص سیالیت‌شناختی دوغاب و شرایط زمین‌شناسی محل پروژه نیز مرتبط است و نباید فقط تابعی از عمق مقطع به حساب آورده شود. از آنجا که تزریق، تحت فشار انجام می‌شود و در آن باید درزه‌های توده-سنگ باز شوند، توده‌سنگ هنگام تزریق به طور اجتناب‌ناپذیری دچار انبساط می‌شود. این انبساط اغلب باعث تورم زمین شده که از بعضی نظرها باید محدود شود، اما برای عملیات تزریق ضروری است (شکل ۳-۱۰). بنابراین هیچ راهی برای جلوگیری کامل از تورم وجود ندارد و تنها می‌توان از تورم بیش از اندازه مجاز جلوگیری کرد (Lombardi, 1999).



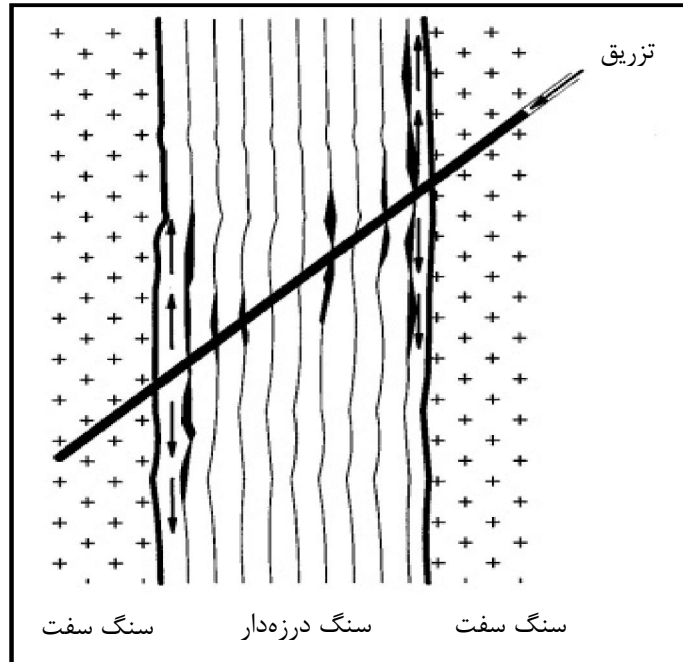
شکل ۳-۱۰- بالآمدگی غیرقابل اجتناب سطح زمین واقع در بالای زون تزریق شده (Lombardi, 1996)

در بعضی موارد که امکان انبساط وجود ندارد، عملیات تزریق موفقیت‌آمیزی انجام نخواهد شد که در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. در این شکل، یک ناحیه ضعیف با شکستگی زیاد در یک توده‌سنگ

بسیار قوی محدود شده است که در هنگام تزریق امکان انبساط آن وجود ندارد. اگر در هر متر از ناحیه ضعیف ۱۰ درزه نازک و ریز تصور کنیم، با استفاده از یک اندازه مشخص از دانه‌های سیمان، درزه‌ها برای تزریق و کاملاً پر شدن باید $0/3 \text{ mm}$ باز شوند. این عمل باعث انبساط $3/0 \text{ m}$ در هر متر از گمانه در جهت عمود بر درزه می‌شود. اگر مدول تغییر شکل‌پذیری توده سنگ 20 Gpa باشد، برای رسیدن به یک بازشدگی یکسان درزه‌ها، تنش فشاری 40 Mpa یا حتی بیشتر باید توسط فشار تزریق تأمین شود. از آنجا که چنین فشاری در تزریق عملاً قابل دستیابی نیست، فقط تعداد کمی از درزه‌ها باز شده و تزریق می‌شوند. به عنوان مثال اگر فشار تزریق 4 Mpa باشد، فقط یک درزه از ده درزه (از نظر تئوری) تزریق خواهد شد (Lombardi, 2003).

وضعیت حقیقی حتی بدتر از این است، به این دلیل که درزه‌ها کاملاً مثل هم نیستند، از این رو یکی از آنها بازتر از حد نیاز بوده و اول باز می‌شود در حالی که بقیه تمایل دارند که بسته باقی مانده و نمی‌توانند تزریق گردند (Lugeon, 1933).

بنابراین همیشه اهداف اصلی تزریق قابل دسترسی نیستند و برای عملیات تزریق محدودیت‌هایی باید در نظر گرفته شود. برای حل این مشکل، باید از سیمان ریزدانه‌تر یا محصولات شیمیایی (روان‌کننده-ها) به جای سیمان معمولی استفاده شود (Lombardi, 2003).



شکل ۳-۱۱- تزریق بین انواع سنگها (Lombardi, 2003)

۳-۹-۲-۶- آزمون‌های فشار آب

از یک قرن پیش تاکنون، استفاده از آزمایش‌های فشار آب جهت برآورد میزان نفوذپذیری توده‌سنگ قبل و بعد از عملیات تزریق مرسوم بوده است. از میان این آزمایش‌ها، آزمایش لوژان کاملاً شناخته شده و مورد استفاده است (Lugeon, 1933).

اگرچه این آزمایش‌ها ساده و مفید هستند، اما بعضی فرضیه‌های سطحی مرتبط با این آزمایش‌ها مانند عادت‌های قدیمی تزریق، شک در این آزمایش‌ها را توجیه می‌کند. به عنوان مثال، یک قاعده و قانون رایج در این آزمایش‌ها وجود دارد که بر اساس آن، هنگامی که مقدار آزمایش لوژان در پی سد از مقدار خاصی بالاتر باشد برای آن سد باید پرده تزریق اجرا شود، حال آن که این آزمایش بدون توجه به نوع سد، ارتفاع آن، نوع شالوده و ارتفاع آب زیرزمینی انجام می‌شود. تفسیر کاملاً گمراه کننده دیگری از این آزمایش‌ها، تلاش برای برقراری یک رابطه آماری بین مقادیر لوژان و حجم خوردند مورد انتظار در مقطع تزریق می‌باشد. در واقع در این تلاش سرعت جریان آب با سرعت جریان دوغاب در ارتباط قرار می‌گیرند، بدون توجه به اینکه آب یک جسم نیوتنی است در حالی که دوغاب

سوسپانسیون از سیمان با دانه‌بندی مختلف در آب است که تقریباً از قوانین اجسام بینگهام پیروی می‌کند. به عنوان مثال، یک مقطع با تعداد زیادی درزه‌های ریز ممکن است همان لوژانی را نشان دهد که یک مقطع با تنها یک ترک باز نشان می‌دهد. در مورد اخیر خوردن دوغاب بسیار بالا بوده حال آن که در مورد اول سیمان هیچگاه نمی‌تواند درون درزه‌های ریز وارد شود. در چنین تلاش‌های تئوری در به دست آوردن روابط آماری، شرایط واقعی تزریق معمولاً در نظر گرفته نمی‌شوند. آزمایش‌های فشار آب در بهترین حالت ممکن است یک شناخت تقریبی از کاهش نفوذپذیری حاصل از عملیات تزریق را ارائه کند، اما عملاً جهت تخمین و برآورد میزان خوردن دوغابی که باید انتظار آن را داشت بی‌فایده بوده و حتی شناخت درستی از خود قابلیت تزریق در توده‌سنگ را ارائه نمی‌کند. درجه تزریق‌پذیری تنها می‌تواند از طریق آزمایش‌های تزریق حاصل شود. انجام آزمایش‌های فشار آب در هر مقطع تزریق، بدون تأثیر مفیدی بر روی خود عملیات تزریق، اتلاف هزینه می‌باشد. حتی بیشتر آنها ممکن است تأثیر نامطلوبی هم داشته باشند، چرا که ممکن است باعث بازشدگی مجدد درزه‌هایی شود که تزریق شده‌اند (Lombardi, 2003).

۳-۱۰-۱- رفع ابهامات روش G.I.N

دستیابی به نتایج بهینه تئوری در هر مقطعی از عملیات تزریق غیرممکن است. بنابراین هدف روش G.I.N، رساندن فرآیند تزریق به یک راه ساده و مفید از نظر اقتصادی است. این روش تلاش می‌کند مشکلاتی را که اغلب با آنها مواجه هستیم حل کند، که در ادامه به بحث در مورد آنها پرداخته خواهد شد.

۳-۱۰-۱-۱- کنار گذاشتن آزمایش‌های فشار آب

یکی از ایده‌های اساسی روش G.I.N حذف آزمایش‌های فشار آب معمول و همینطور تعیین قابلیت تزریق واقعی با انجام آزمایش‌های تزریق حین ساخت است. آزمایش‌های تزریق در بردارنده بررسی ساده نمودارهای ترسیم شده توسط رایانه می‌باشد. بنابراین، گمانه‌های مجاور سری‌های تزریق شده

مورد نیاز نبوده، باعث صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود. به عبارت دیگر، عملیات تزریق مستقیماً بر اساس خورندهای دوغاب مدیریت می‌شوند و نه آزمایش‌های فشار آب ناقص و هزینه‌بر. دلایل عمده مطابق نبودن نتایج آزمایش‌های فشار آب با تزریق:

- آب، یک سیال نیوتنی بوده، اما دوغاب با پایه سیمان، یک جسم بینگهام است.
- آب مولکولی است، در حالی که دوغاب یک سوسپانسیون از آب و دانه‌های سیمان با اندازه معین است.
- آب وارد درزه‌های ریز می‌شود، ولی دوغاب این گونه نیست.
- آزمایش‌های فشار آب یک مدت معین داشته، ولی تزریق می‌تواند تا هر مدتی ادامه داشته باشد.
- فشارهایی که برای آزمایش‌های فشار آب و تزریق مورد استفاده قرار می‌گیرند، متفاوت هستند.

از این رو، همبستگی مهمی بین تزریق‌پذیری (حجم دوغاب جذب شده توسط توده‌سنگ) و آزمایش لوژان نمی‌توان انتظار داشت (Lombardi, 1997).

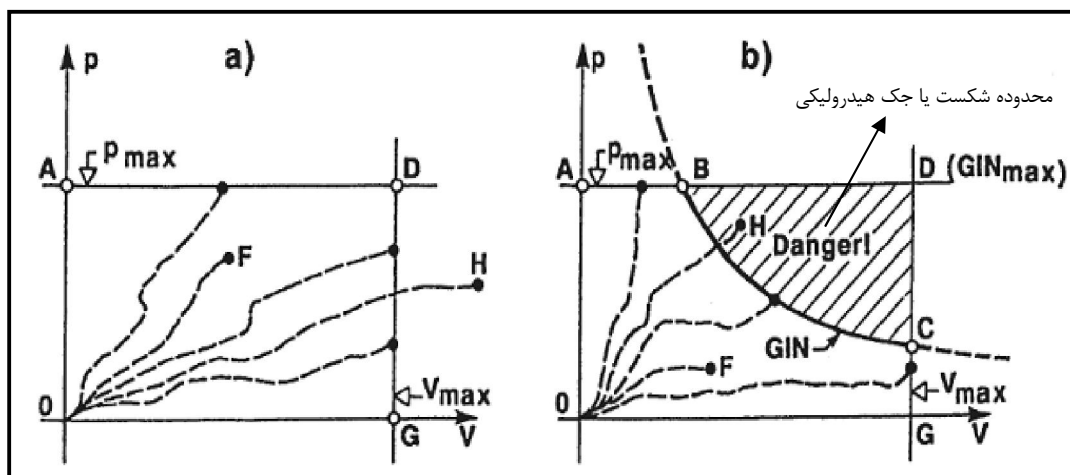
۲-۱۰-۳- نمودار محدود کننده G.I.N

نکته مبهم دیگر، نمودار محدود کننده G.I.N است. اولاً باید توجه داشت که امتناع توده‌سنگ در حین عملیات تزریق، هیچ وقت در طبیعت اتفاق نمی‌افتد. با بالا بردن فشار تزریق، حجم خورند به طور نامحدودی قابل افزایش است، در واقع فرآیند تزریق در یک فشار از پیش تعیین شده و یک حجم غیرقابل پیش‌بینی متوقف می‌شود. بنابراین، تعیین یک معیار مشخص برای توقف فرآیند تزریق در یک زمان و شرایط مشخص اجتناب‌ناپذیر است (Lombardi, 1997).

در روش سنتی، یک حد فشار تعیین و تزریق به محض رسیدن به آستانه آن قطع می‌گردد (شکل ۳-۱۲). به همین ترتیب یک حجم حداکثر نیز برای یک متر یا یک مقطع از گمانه تعیین می‌شود که با

رسیدن حجم خورند به این مقدار، عملیات تزریق متوقف می‌شود. بدون توجه به اینکه، این حدود به صورت علمی تعیین شده‌اند یا به صورت دلخواه و سلیقه‌ای، مسیر تزریق هر مقطع باید به یکی از نقاط محیط چهار ضلعی OADG شکل ۳-۱۲-ا برسد. هیچ مسیر تزریقی نباید از این محدوده خارج شود (مسیر H) و همچنین هیچ فرآیندی نباید داخل این محدوده به اتمام برسد (مسیر F) مگر در موردی که متصدی تزریق اشتباه کرده باشد. هیچ دلیلی برای توقف تزریق قبل از اینکه یکی از این دو حد به ضلع مستطیل رسانده شوند وجود ندارد مگر به خاطر یک تصمیم اختیاری که دلالت بر این دارد که طراحی حدود انتخاب شده اشتباه بوده است. با تعریف مفهوم عدد شدت تزریق به صورت $G.I.N = P.V$ (انرژی تزریق)، به راحتی قابل فهم است که این مقدار در نقاط A و G برابر صفر بوده و در نقطه D به حداکثر مقدار خود می‌رسد و می‌توان آن را طبق معادله زیر نشان داد (Lombardi, 1997):

$$G.I.N_{max} = P_{max} \times V_{max} \quad (3-11)$$



شکل ۳-۱۲- محدودیت‌های تزریق، a: روش سنتی، b: روش جدید (G.I.N) (Lombardi, 1997)

در روش سنتی:

ADG: محدوده تزریق؛

P_{max} : فشار بیشینه؛

V_{max} : خوردند بیشینه؛

ثابت $G.I.N = P \times V$ ؛

در روش G.I.N در گوشه فوقانی خطر شکست هیدرولیکی وجود دارد و مسیرهای تزریق شبیه F و H مجاز نیستند.

ABCG: محدوده تزریق؛

P_{max} : فشار بیشینه؛

V_{max} : خوردند بیشینه؛

روش سنتی یک مورد خاص از روش G.I.N می‌باشد زمانی که رابطه (۱۲-۳) در آن برقرار باشد.

$$G.I.N \geq P_{max} \times V_{max} \quad (12-3)$$

جایی که شدت تزریق در بالاترین حد خود قرار دارد، خطر جک یا شکست هیدرولیکی نیز در بالاترین حد خود می‌باشد. به همین دلیل یکی از اصول روش G.I.N، پرهیز از حد شدت‌های بالای تزریق بوده که عملاً از ترکیب فشارهای بالا با حجم‌های بالا حاصل می‌شوند. با استفاده از منحنی حد G.I.N، سطح هاشورخورده در شکل ۱۲-۳-۱۲ منطقه ممنوعه بوده و خطر جک هیدرولیکی تا حد چشمگیری کاهش داده می‌شود. برای پرهیز از چنین اتفاقاتی، مقدار G.I.N طراحی شده^۱ ($G.I.N_{des}$)، الزاماً باید کمتر از مقدار بحرانی^۲ ($G.I.N_{crit}$) باشد.

$$G.I.N_{des} < G.I.N_{crit} \quad (13-3)$$

^۱ - G.I.N Design

^۲ - G.I.N Critical

$$G.I.N_{des} < P_{max} \times V_{max} \quad (14-3)$$

مقدار بحرانی G.I.N مقداری است که در آن، در هر شرایط زمین‌شناسی و ژئومکانیکی شکست هیدرولیکی رخ می‌دهد. مورد سنتی شکل ۳-۱۲-a تنها یک مورد ویژه از شکل ۳-۱۲-b بوده که شرایط معادله ذیل در آن فرض شده‌اند (Lombardi, 1997):

$$G.I.N_{des} > P_{max} \times V_{max} \quad (15-3)$$

یعنی مقدار طراحی شده بیشتر از مقدار بیشینه عدد G.I.N است.

۳-۱۱- خطاهای عمده در روش G.I.N

در اجرای تزریق به روش G.I.N، وضعیت‌هایی وجود دارد که ممکن است در استفاده از آن اشتباهاتی صورت پذیرد این وضعیت‌ها به شرح زیر است (Lombardi, 2003):

الف- تصمیم‌گیری برای عملیات تزریق صرفاً جهت قبول بعضی سنت‌های قدیمی و نه جهت نیازهای واقعی پروژه.

ب- مشخص کردن یک عدد G.I.N در ابتدای کار و فراموش کردن این مطلب که مقدار G.I.N باید با آزمایش‌های تزریق مورد تایید قرار گیرد. مقدار انتخابی ممکن است مناسب شرایط ژئومکانیکی و نیازهای واقعی پروژه نباشد.

پ- مشخص کردن فاصله بین گمانه‌ها و فراموش کردن تایید آن توسط آزمایش‌های تزریق.

ت- جایگزین کردن دوغاب ثانویه با چسبندگی و گرانروی بالاتر با مشخصات منطبق با فشارهای تزریق. هدف از عملیات تزریق، تزریق حجم معینی از دوغاب و رسیدن به یک برد مشخص می‌باشد، نه رسیدن به یک فشار معین در هر مقطع تزریق.

ث- اصرار در تعیین پرده تزریق یک، دو یا سه ردیفه با عمق‌های یکسان به سمت پایین. در صورتی که پرده، نیازمند کاهش در میزان این عمق‌ها و همینطور تعداد ردیف‌هایی که باید اجرا شوند، می‌باشد.

ج- تعیین طول مقطع ثابت، حال آن که نیازی نیست که طول مقاطع تزریق در همه اعماق ثابت باشد.

چ- عقیده بر این که بین آزمایش‌های فشار آب و قابلیت تزریق رابطه‌ای می‌تواند وجود داشته باشد و ادامه اجرای آزمایش‌های بی‌فایده لوژان در هر مقطع تزریق.

ح- ادامه پمپاژ دوغاب به داخل گمانه پس از شکست هیدرولیکی که بر روی نمایشگر دیده می‌شود یا پس از اینکه عدد G.I.N حاصل شده باشد.

خ- تعیین طول گمانه‌ها در ابتدای کار برای پرده تزریق و اصرار بر آن بدون به حساب آوردن شرایط واقعی سنگ، گمانه به گمانه و مقطع به مقطع. اگر در پایان کار، گمانه‌های سری T به اقتضای شرایط محلی سنگ عمیق‌تر از سری S و حتی سری P اجرا شوند، مشکلی پیش نخواهد آمد.

د- داده‌ها ثبت شوند اما تجزیه و تحلیل آنها بلافاصله انجام نگیرد. داده‌های ثبت شده باید عملیات تزریق را راهبری کنند و بنابراین باید بلافاصله در محل کار بررسی شوند. باید در هر مورد، قواعد اجرایی ساده تنظیم شوند تا متصدی تزریق بتواند به آسانی آنها را دنبال کند.

ذ- تفکر به این که روش G.I.N دلالت بر فشارهای تزریق بالا دارد که ممکن است خطر شکست هیدرولیکی را بالا ببرد در حالی که در فشار بیشینه، سنگ ممکن است مقابل اندک خطری از خود پایداری نشان دهد.

ر- غفلت از تعدیل شدت تزریق G.I.N با افزایش یا کاهش آن. هرگاه شرایط توده‌سنگ مطابق با آنچه که انتظار می‌رفت نباشد و یا تغییر مستمر مقدار G.I.N به گونه‌ای باشد که هیچکس قادر به فهم

اینکه واقعاً چه کاری انجام شده نباشد، به خاطر این است که تفسیر درست از داده‌های ثبت شده امکان‌پذیر نبوده است.

۳-۱۲- شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI)

نفوذپذیری توده‌سنگ درزه‌دار، به ویژگی‌های درزه‌ها از جمله: درجه درزه‌داری، بازشدگی، تداوم و وجود هوازگی پرشده بستگی دارد. بررسی جعبه نمونه‌های مغزه‌گیری شده، برآوردی از میزان درزه‌داری و بازشدگی را در اختیار می‌گذارد، در حالی که تداوم و هوازگی‌های پر شده قابل تشخیص نیستند. برای درک مفهوم کیفیت توده‌سنگ از شاخص نفوذپذیری ثانویه استفاده می‌شود. در این روش، توده‌سنگ را می‌توان به کلاس‌های متفاوت از کیفیت تقسیم‌بندی کرد که رفتار جداگانه‌ای نسبت به همدیگر دارند. روش پیشنهادی نیاز به تفسیر نتایج حاصل از تأثیر آزمایش فشار آب (لوژان) در مقاطع مختلف آزمایش و معیار طبقه‌بندی تأیید شده توده‌سنگ دارد. در اینجا، شکست هیدرولیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کیفیت توده‌سنگ در بخش آزمایشی بدست آمده از SPI، با میزان درزه‌داری حاصل از مغزه‌ها تکمیل شده و نتایج خوبی برای بهبود طراحی تزریق در اختیار می‌گذارد. آزمایش فشار آب (آزمایش نفوذپذیری لوژان)، رایج‌ترین و مناسب‌ترین روش به منظور تعیین نفوذپذیری توده‌سنگ با توجه به وجود صفحات ضعیف مانند: گسل‌ها، صفحات لایه‌بندی، درزه‌ها، شکاف‌ها و غیره است. نتایج بدست آمده از آزمایش برجا به شدت به خصوصیات هندسی و میزان هوازگی مسیرهای عبور آب بستگی دارد. به وسیله حفاری همراه با مغزه‌گیری می‌توان درزه‌های باز که از طریق آن آب جریان می‌یابد را ارزیابی کرد، اما برای تعریف تداوم درزه‌ها نمی‌توان از آن استفاده کرد. میزان درزه‌داری و مقدار نفوذ آب، باید با هم رابطه مستقیمی داشته باشند ولی در برخی موارد خلاف این گفته نیز اتفاق می‌افتد. شاخص RQD مرجع کافی و مناسب برای تشخیص رفتار-های ناشی از آزمایش نیست و نمی‌تواند پیوستگی و پرشدگی هوازگی درزه‌ها را ارزیابی کند. به همین منظور برای جبران کاستی‌های شاخص کیفیت توده‌سنگ از شاخص دیگری به عنوان شاخص

نفوذپذیری ثانویه استفاده می‌شود. نفوذپذیری ثانویه توده‌سنگ‌های درزه‌دار تغییر خوردند در آزمایش - های فشار آب را نسبت به ضریب نفوذپذیری توده‌سنگ بیان می‌کنند. آزمایش‌های فشار آب برای تعیین نفوذپذیری سنگ بکر دقیق نیستند ولی یک روش رایج برای تعیین نفوذپذیری ثانویه در سدها می‌باشند. نفوذپذیری ثانویه توده‌سنگ از یک آزمایش برجا که مطابق با خوردند آب در صفحات ضعیف موجود در توده‌سنگ است، بدست می‌آید. بنابراین شاخص نفوذپذیری ثانویه به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود (Foyo et al, 2005):

$$SPI = C \cdot \frac{\ln\left(\frac{2 \cdot Le}{r} + 1\right)}{2\pi \cdot Le} \cdot \frac{Q}{H \cdot t} \quad (16-3)$$

SPI: شاخص نفوذپذیری بر حسب $\text{Lit}/(\text{s} \times \text{m}^2)$

C: ضریب ثابتی است که بستگی به گرانیوی سیال (آب) در سنگی به دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد

$$C = 1/49 \times 10^{-10}$$

Le : طول مقطع آزمایش (متر)؛

r : شعاع گمانه (متر)؛

Q: میزان آب جذب شده توسط درزه‌های سنگ بکر بر حسب (لیتر)؛

t : مدت زمان اعمال هر پله فشار بر حسب ثانیه؛

H: بار هیدرولیکی کلی ستون آب (متر).

جزئیات شاخص نفوذپذیری ثانویه به صورت زیر است:

۱- شاخص بر اساس عوامل سنتی آزمایش از جمله: فشار و خوردند آب بیان می‌شود. در

نتیجه استفاده از آن نیاز به تغییرات منظم و قاعده‌مند منابع ندارد.

۲- واحد شاخص نفوذپذیری، به خوردن آب و مدت زمان اعمال هر پله فشار و سطح تزریق

بستگی دارد. در نتیجه شاخص نفوذپذیری برای توده‌های درزه‌دار به کار برده می‌شود و

به تعیین کیفیت توده‌سنگ در مقاطع آزمایش می‌پردازد.

در جدول ۳-۲ رده‌بندی توده‌سنگ بر اساس این شاخص نشان داده شده است. اکثر اوقات این طبقه-

بندی ملاحظات مختلفی در مورد رفتار سنگ‌های درون زمین می‌دهد. شاخص نفوذپذیری دو مفهوم

دارد: از یک سو مرجعی برای کیفیت توده‌سنگ و از سوی دیگر دلالت بر قابلیت هدایت هیدرولیکی

آن می‌باشد. مفاهیم یاد شده، تخمین محدوده اصلی طبقه‌بندی توده‌سنگ‌ها را مشخص می‌سازند.

لازم به ذکر است که در صورتی که میزان جذب آب در مقطع آزمایشی کمتر از یک باشد می‌توان

توده‌سنگ را غیرقابل نفوذ فرض کرد. طبقه‌بندی شاخص نفوذپذیری با طبقه‌بندی سنتی ژئومکانیکی

متفاوت است و جزئیات مقاومت سنگ بکر را بیان نمی‌کند، بلکه کیفیت توده‌سنگ را بر اساس

ویژگی‌های نفوذپذیری ناپیوستگی‌ها طبقه‌بندی می‌نماید.

کلاس A: در این حالت کیفیت توده‌سنگ عالی و مقطع آزمایش غیرقابل نفوذ است. تحت این شرایط

خوردن آب مساوی یا کمتر از یک لوژان بوده و زمین نیاز به تزریق دوغاب ندارد.

کلاس B: در این حالت خوردن آب زیاد است اما مقدار آن به قدری نیست که نگران کننده باشد، در

این شرایط وضعیت سنگ نسبتاً خوب است و زمین نیاز به تزریق موضعی دارد.

کلاس C: وجود زون‌هایی در توده‌سنگ با خوردن آب بالا در آزمایش فشار آب و مقدار لوژان بیشتر از

۸. کیفیت توده‌سنگ ضعیف بوده و نیاز ضروری به تزریق دارد و پس از تزریق دوباره آزمایش فشار آب

جهت اطمینان از تزریق خوب دوغاب توصیه می‌شود.

کلاس D: آسیب وارده به توده‌سنگ بسیار زیاد بوده و کیفیت توده‌سنگ بسیار ضعیف است، که نشان

دهنده وجود محدوده کارستی یا درزه‌های با بازشدگی زیاد می‌باشد. در این حالت عدد لوژان بیش از

۸۰ بوده و تزریق دوغاب باید به طور گسترده‌ای انجام شود، در نهایت انجام آزمایش فشار آب پس از تزریق الزامی است (Foyo et al, 2005).

جدول ۳-۲- رده‌بندی توده‌سنگ بر اساس SPI و نیاز به بهسازی زمین (Foyo et al, 2005)

$SPI \geq 1/72 \times 10^{-12}$	$1/72 \times 10^{-12} < SPI \leq 1/72 \times 10^{-12}$	$2/16 \times 10^{-14} < SPI \leq 1/72 \times 10^{-12}$	$SPI \leq 2/16 \times 10^{-14}$	SPI(Lit/s×m ²)
کلاس D	کلاس C	کلاس B	کلاس A	طبقه‌بندی توده-سنگ
بسیار بد	بد	نسبتاً خوب	عالی	طبقه‌بندی
نیازمند تزریق گسترده	نیازمند به تزریق	نیازمند تزریق به طور موضعی	نیاز به تزریق ندارد	نیاز به تزریق
>۸۰	۸-۸۰	۸-۱	<۱	حدود تقریبی عدد لوژن

فصل چهارم

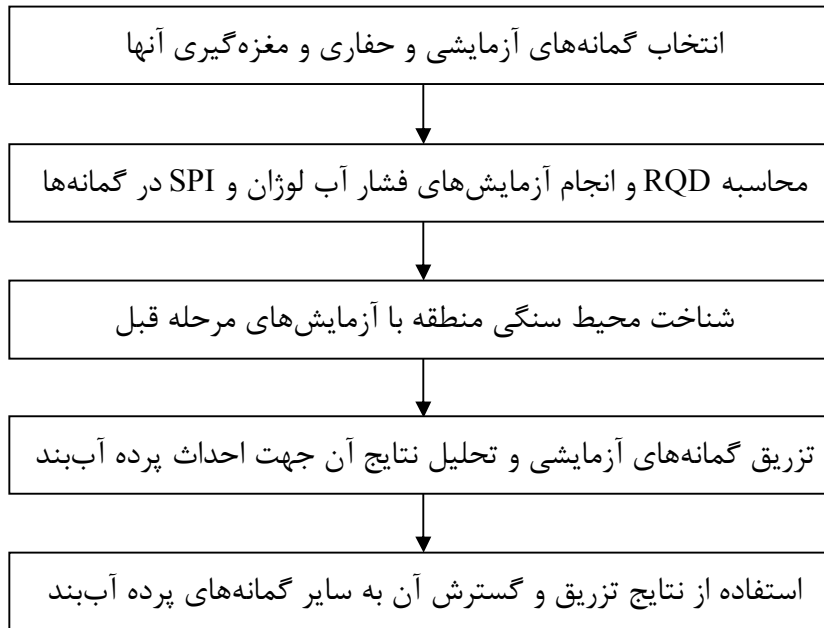
اجرای پرده آببند، مطالعه موردی: سد رودبار لرستان

۴ فصل چهارم

۴-۱- مقدمه

در بسیاری از موارد انتخاب درست روش‌های فنی با توجه به مسائل پیچیده و شرایط ویژه هر سد، نه تنها حل مسئله موجود، بلکه صرفه‌جویی در مصالح مورد نیاز، زمان و هزینه را در پی خواهد داشت و موجب رونق اقتصادی گستره طرح و در نهایت تأثیر اساسی در اقتصاد ملی کشور خواهد شد. تزریق توده‌های سنگی یک تکنیک تجربی است که برای بهبود وضعیت فیزیکی سنگ‌ها انجام می‌شود. در دهه‌های اخیر توجه بیشتری به این تکنیک شده و مطالعات گسترده‌تری نیز در دانشگاه‌های مختلف دنیا صورت گرفته و نتایج خوبی بدست آمده است. با این وجود هنوز نیاز به مطالعه و تجارب بیشتر است، تا مطابق با شرایط خاص هر توده‌ی سنگی تزریقی مناسب با آن صورت گیرد و نتایج بهتر باشد. کیفیت بالاتری بدست آید. این فصل از تحقیق، طراحی و لزوم اجرای پرده آببند و تزریق به روش عدد G.I.N در جناح چپ سد رودبار لرستان در پایین‌ترین تراز زیر هسته رسی، بر اساس نتایج به

دست آمده از گمانه‌های تزریق آزمایشی و شاخص نفوذپذیری ثانویه و آزمایش فشار آب لوژان را، بیان می‌کند. در شکل ۴-۱ روند ضرورت ایجاد پرده آببند و تزریق آن ارائه شده است.



شکل ۴-۱- مراحل بررسی ضرورت احداث و تزریق پرده آببند

۴-۲- طراحی پرده آببند

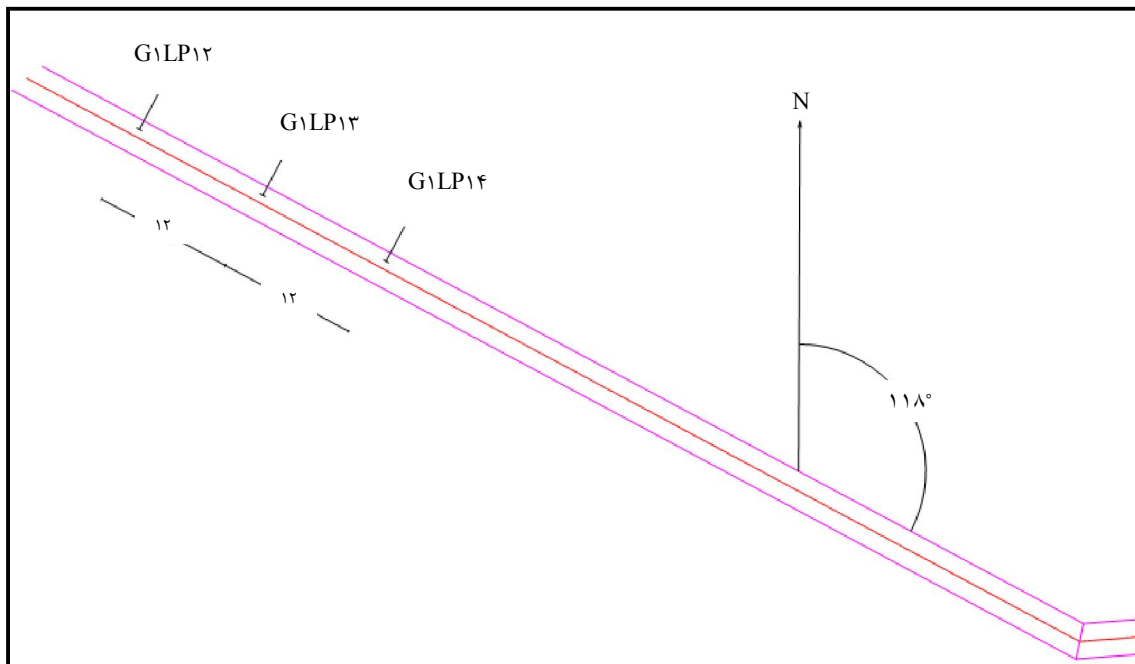
با پیشرفت صنعت سدسازی، نیاز به اطمینان از ایمنی و طول عمر سدها بیش از پیش حائز اهمیت می‌باشد. برای این منظور علاوه بر اجرای مهندسی بدنه سد و تحکیم هرچه بهتر آن با روش‌های جدید، محیط اطراف آن از جمله: جناح‌های چپ و راست و پی سد نیز، برای جلوگیری از نفوذ آب و آسیب به کل مجموعه، با بررسی توده‌سنگ‌های این مناطق از لحاظ نوع و مشخصات مکانیک‌سنگی و ... باید تحکیم و آببند شوند. با توجه به نوع سنگ و مشخصات مکانیک‌سنگی از جمله RQD جناح چپ و میزان نفوذپذیری سنگ و اطلاعات به دست آمده از شاخص نفوذپذیری ثانویه و وجود درزه و گسل‌های این منطقه که در ادامه آورده خواهند شد، نیاز به احداث و تزریق پرده آببند در جناح چپ بررسی خواهد شد.

برای مطالعه و بررسی توده‌سنگ زیر بدنه سد در تکیه‌گاه چپ، از نظر میزان نفوذپذیری و قابلیت تزریق مصالح و تعیین معیارهای لازم جهت طراحی و اجرای پرده آببند سد، گالری دسترسی در تراز ۱۶۰۷ متر از سطح دریا در جناح چپ (G۱L): گالری یک، جناح چپ) با آزیموت ۱۱۸ درجه حفاری گردید و ۳ گمانه‌ی تزریق آزمایشی با فاصله ۱۲ متر از یکدیگر که عمق و مشخصات حفاری آن‌ها در جدول ۴-۱ نشان داده شده است، اجرا شدند.

جدول ۴-۱- مشخصات گمانه‌های آزمایشی

نام گمانه	عمق گمانه (متر)	آزیموت (درجه)	زاویه حفاری نسبت به قائم (درجه)
G۱LP۱۲	۹۲/۸۵	۱۱۸	۱۵
G۱LP۱۳	۸۱/۳۸	۱۱۸	۱۵
G۱LP۱۴	۶۹/۹۱	۱۱۸	۱۵

در شکل ۴-۲ گمانه‌های آزمایشی و گالری G۱L نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۲- محل گمانه‌های آزمایشی و آزیموت گالری

امتداد حفاری گمانه‌های آزمایشی به علت ایجاد ردیف منظم از گمانه‌ها، هم امتداد با گالری می‌باشد. با توجه به شیب و امتداد لایه‌بندی (به ترتیب ۷۵ و ۳۲۰ درجه)، زاویه حفاری گمانه‌های آزمایشی به منظور قطع کردن بیشترین تعداد لایه برای بررسی بهتر شرایط توده‌سنگ، ۱۵ درجه نسبت به قائم می‌باشد، عمق گمانه‌های تزریق آزمایشی می‌بایست ۰/۸ تا ۱ برابر ارتفاع سد انتخاب شوند (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶)، با توجه به اینکه ارتفاع سد ۱۴۷ متر می‌باشد، عمق گمانه‌ها باید حدود ۱۱۷ تا ۱۴۷ متر انتخاب شوند، اما به علت شرایط خوب و سختی توده‌سنگ جناح چپ که از نوع آهک دولومیتی است، این عمق‌ها کاهش یافته و به مقدار نشان داده شده در جدول ۴-۱ بسنده شده است.

در ادامه ماشین‌آلات و تجهیزات حفاری و تزریق مورد استفاده در گمانه‌های آزمایشی معرفی خواهند شد و در نهایت نتایج به دست آمده بعد از حفاری و تزریق مورد بررسی قرار خواهند گرفت و با توجه به این نتایج در مورد اجرا و تزریق پرده آببند تصمیم‌گیری به عمل خواهد آمد.

۴-۳- ماشین‌آلات و تجهیزات حفاری

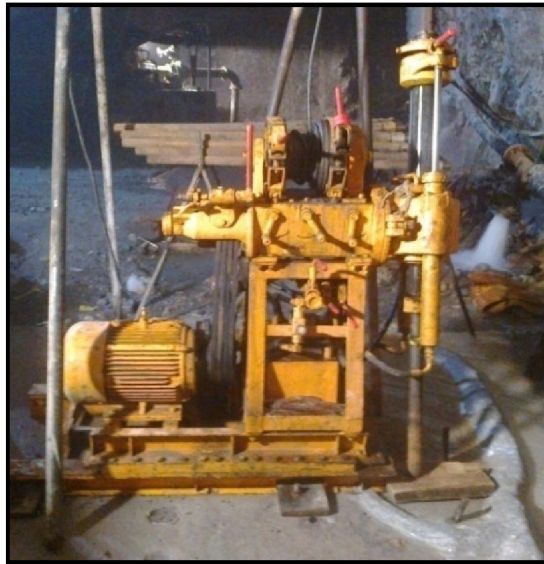
برای انجام عملیات حفاری گمانه در سنگ، نیاز به ماشین‌آلات و تجهیزات ویژه‌ای است که با توجه به طبیعت و جنس سنگ، عمق و قطر گمانه و به طور کلی ابعاد و اهداف پروژه بسیار متنوع هستند. ابعاد دستگاه‌های حفاری با توجه به محدودیت فضای کار در گالری‌ها، عامل مهمی در انتخاب و به کارگیری این ماشین‌آلات است. شناخت نوع سنگ و ویژگی‌های ژئوتکنیکی و مقاومت آن، به انتخاب بهینه ماشین‌آلات حفاری و تزریق، کمک شایانی می‌نماید. بنابراین، اولین گام در انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات، مطالعه و کسب آگاهی از وضعیت زمین‌شناسی و شناخت ویژگی‌های ژئوتکنیکی ساختگاه پروژه و نیز شرایط محیطی از قبیل محدودیت فضای کار و وجود امکانات و تسهیلات (آب، برق و...) است. عدم شناخت و آگاهی از موارد یاد شده و در نتیجه گزینش نادرست ماشین‌آلات و تجهیزات، می‌تواند موجب کاهش کیفیت کار و یا تأخیر در برنامه زمان‌بندی اجرای پروژه شود.

۴-۳-۱- دستگاه‌های حفاری

بخش عمده هزینه‌های مربوط به عملیات اجرای پرده آببند در پروژه‌های سدسازی، به حفاری گمانه‌های تزریق مربوط می‌شود. انتخاب مناسب نوع دستگاه حفاری، تاثیر مستقیمی بر صحت و سلامت گمانه حفاری شده خواهد داشت، بنابراین با توجه خصوصیات توده‌سنگ منطقه باید بهترین نوع دستگاه حفاری انتخاب شود. به دلیل تنوع نوع سنگ و نیز وجود اهداف گوناگون در عملیات حفاری، انواع مختلفی از ماشین‌آلات حفاری تولید شده و توسعه یافته است که انتخاب نوع آنها بستگی به اندازه پروژه، طبیعت و نوع سنگ، عمق و قطر گمانه و... دارد. به طور کلی سه نوع سیستم حفاری مکانیکی تاکنون توسعه داده شده است که عبارتند از:

- ۱- سیستم حفاری دورانی
- ۲- سیستم حفاری ضربه‌ای
- ۳- سیستم حفاری ضربه‌ای-دورانی

یکی از خصوصیات سیستم حفاری دورانی، نفوذ بهتر به توده‌سنگ‌های سخت و بالا رفتن سرعت حفاری است. از طرفی در حفاری گمانه‌های آزمایشی باید از سنگ مورد حفاری مغزه‌گیری صورت گیرد که این کار تنها با سیستم حفاری دورانی میسر است. بنابراین حفاری گمانه‌های آزمایشی با این سیستم انجام شده است. در شکل ۴-۳ دستگاه حفاری دورانی مورد استفاده در این پروژه (XY1) نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- دستگاه حفاری XY1

۴-۳-۲- تجهیزات حفاری

تجهیزات حفاری عبارتند از: قطعات و متعلقات دستگاه حفاری شامل سرمته، بغل تراش (گشاد کردن گمانه به منظور ورود راحت سرمته و میله حفاری)، میله حفاری^۱ و... که با توجه به نوع حفاری و اهداف تعیین شده عملیات حفاری انتخاب می‌شوند. در شکل ۴-۴ نمونه‌ای از بغل تراش نشان داده شده است.

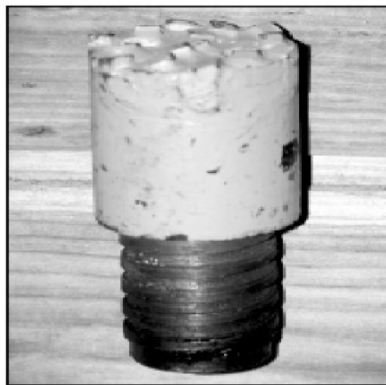


شکل ۴-۴- نمایی از بغل تراش

^۱ - Rod

۴-۳-۲-۱- سرمته

سرمته‌های حفاری به پایین‌ترین بخش میله حفاری متصل می‌شوند و موجب انتقال انرژی دریافتی از میله حفاری به سنگ شده و از این طریق باعث شکستن و خرد شدن سنگ و در نتیجه نفوذ در آن می‌گردند. سرمته‌ها باید از موادی ساخته شوند که در مقابل سختی سنگ، حرارت و فشار، مقاوم باشند. انواع گوناگون سرمته با توجه به نوع کاربری، جنس سنگ، حداقل ساییدگی و نوع حفاری (معمولی یا مغزه‌گیری) انتخاب می‌شود. عمر مفید سرمته تابع عواملی از قبیل قطر سرمته، طول حفاری، طراحی سرمته، جنس سرمته، میزان سایش سنگ، و... است (اصانلو، ۱۳۷۰). طرح سرمته-های مذکور با توجه به شرایط و طبیعت سنگ و ابعاد گمانه‌های مورد نظر متغیر است. رایج‌ترین طرح سرمته، سرمته دگمه‌ای^۱ با نام TC از جنس الماس و یا کربورتنگستن با سطح مقطع تخت است. این نوع سرمته در شکل ۴-۵ نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- سرمته دگمه‌ای با سطح مقطع تخت

هر کارگاه حفاری و تزریق، نیازهای خاص خود را دارد و با توجه به نوع کاربری و قطر گمانه، قطر سرمته حفاری متغیر خواهد بود. کمترین قطر سرمته استفاده شده در عملیات حفاری طرح رودبار، ۵۶ میلی‌متر و بیشترین قطر ۷۶ میلی‌متر بوده است (قطر ۵۶ میلی‌متر برای حفاری توپر و قطر ۷۶ میلی‌متر برای حفاری همراه با مغزه‌گیری در گمانه‌های تزریق آزمایشی). به طور کلی سرمته‌های به

^۱ - Finger Bit

کار گرفته شده در عملیات حفاری و تزریق را می‌توان به دو گروه شامل سرمته‌های مغزه‌گیری و سرمته‌های معمولی تقسیم کرد که در شکل ۴-۶ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۶- سرمته‌های مغزه‌گیری و معمولی استفاده شده در طرح رودبار لرستان

۴-۳-۲-۲- میله حفاری

میله حفاری با هدف انتقال نیروی محرک، از بخش تولید قدرت به سرمته و در نهایت غلبه بر نیروی مقاومتی سنگ به کار گرفته می‌شود. ابعاد، نوع فولاد، نوع دنده (رزوه) همگی تابعی از مشخصات گمانه حفاری و جنس سنگ هستند. طول میله‌های حفاری عمدتاً تابع قابلیت دستگاه حفاری و محدودیت فضای کار است. در فضای‌های محدود، مثل گالری‌های تزریق، معمولاً از میله‌های ۱ و ۱/۵ متری استفاده می‌شود. استفاده از میله‌های بلندتر نظیر میله‌های سه متری در فضاهای بزرگ‌تر یا در فضای باز امکان‌پذیر است. قطر میله‌های حفاری عموماً کوچک‌تر از قطر سرمته، یا مساوی با آن انتخاب می‌شود، تا بتواند به دنبال سرمته در سنگ نفوذ کند. قطر میله حفاری مورد استفاده در طرح، برای حفاری همراه با مغزه‌گیری ۶۶ میلی‌متر و برای حفاری بدون مغزه‌گیری ۵۰ میلی‌متر انتخاب شده است.

۴-۴- تجهیزات تزریق

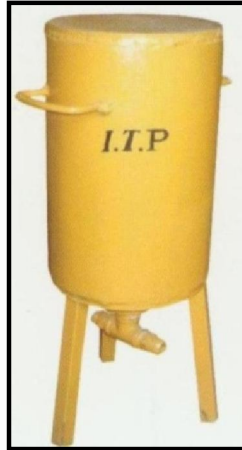
۴-۴-۱- پمپ تزریق

برای تزریق دوغاب به داخل گمانه، استفاده از پمپ‌های ویژه تزریق ضروری است. در عملیات تزریق عموماً از پمپ‌های پیستونی تک و یا جفت استفاده می‌شود. ظرفیت دوغاب رسانی و فشار قابل اعمال در پمپ‌های تزریق متفاوت است. ظرفیت برخی از پمپ‌های تزریق تا ۱۵۰ لیتر بر دقیقه می‌رسد و در دو سیلندر مجزا که در جهت مخالف هم حرکت می‌کنند و در هر مرحله یکی از پیستون‌ها دوغاب تزریق را به داخل گمانه پمپ کرده و دیگری آماده ارسال دوغاب می‌شود. حجم دوغاب رسانی و فشار اعمالی به گمانه توسط موتور هیدرولیکی دستگاه پمپ کنترل می‌شود. در شکل ۴-۷ نمونه‌ای از پمپ تزریق که در طرح استفاده شده است، نشان داده شده است.



شکل ۴-۷- پمپ تزریق مدل P-۱۸۰ شرکت ITP، استفاده شده در طرح

با توجه به نوع سیستم پمپ‌های تزریق که عموماً از نوع پیستونی هستند، فشار در بخش خروجی پمپ دارای نوسان خواهد بود. برای رفع این مشکل می‌بایست از دستگاه تعدیل کننده فشار (فشار-شکن) استفاده کرد، دستگاه فشارشکن استفاده شده در طرح در شکل ۴-۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۸- دستگاه فشار شکن (www.itp-co.ir)

۴-۴-۲- ثباته دیجیتالی

در بخش خروجی دستگاه پمپ تزریق، بعد از فشارشکن، از وسیله‌ای به نام ثباته دیجیتالی جهت اندازه‌گیری و ثبت اطلاعات مربوط به فشار و حجم دوغاب و رسم نمودار G.I.N استفاده می‌گردد. این دستگاه قادر است نمودارهای فشار-حجم را رسم و در رایانه ذخیره کند تا بتوان از اطلاعات موجود جهت بدست آوردن عدد G.I.N مناسب استفاده کرد و مراحل تزریق را با دقت کامل نظارت و دنبال نمود. ثباته دیجیتالی استفاده شده در طرح از نوع HIR-۰۰۱ بوده که در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. مشخصات این ثباته دیجیتالی به شرح زیر است:

- (۱) اندازه‌گیری کمیت‌های دبی لحظه‌ای، دبی کل، فشار و دمای دوغاب سیمان تزریق با دقت 0.001 و نمایش 0.1 ؛
- (۲) رسم نمودارهای دبی لحظه‌ای و فشار دوغاب تزریق به صورت جداگانه در صفحه نمایش؛
- (۳) دارای نمایشگرهای جداگانه برای هر کمیت؛
- (۴) کالیبره سریع و آسان کمیت‌های دبی لحظه‌ای و فشار دوغاب تزریقی (بدون نیاز به برنامه پیچیده)؛

(۵) ذخیره ۶ ضریب خاص و قابل برنامه‌ریزی (تا ۵ رقم اعشار) برای درصد اختلاط‌های خاص و متفاوت و تنظیم بسیار ساده؛

(۶) قابلیت بازیابی تنظیمات اولیه (Reset Factory)؛

(۷) انتقال اطلاعات به رایانه به صورت همزمان جهت رسم نمودار و همچنین ذخیره اطلاعات.



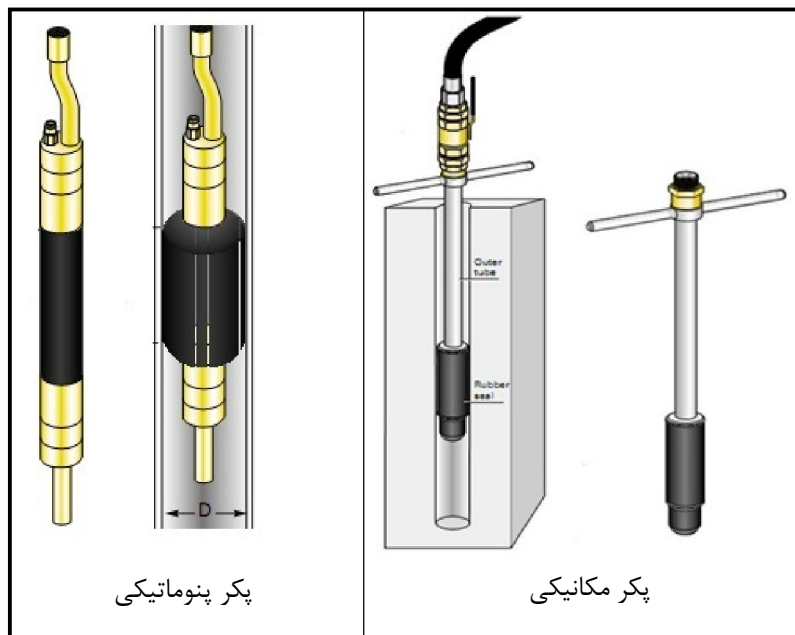
شکل ۴-۹- ثباته دیجیتالی مدل HIR-۰۰۱ (www.itp-co.ir)

۴-۳-۴-۱ پکر^۱

پکرها با ابعاد متفاوت به منظور آببند کردن مقطع مورد تزریق گمانه‌های حفاری شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی پکرها را می‌توان به دو نوع مکانیکی و پنوماتیکی تقسیم کرد. قطر پکرها متفاوت و به طور معمول بین ۳۶ تا ۱۰۱ میلی‌متر متغیر است. پکرهای مکانیکی از دو میله فلزی تودرتو و یک حلقه از جنس لاستیک منبسط شونده در اطراف آن تشکیل شده‌اند. با فشاری که در ابتدای میله فلزی و به صورت مکانیکی به حلقه لاستیکی وارد می‌شود، حلقه لاستیکی منبسط شده و به جداره گمانه فشرده می‌شود. قطر حلقه‌های لاستیکی قبل از منبسط شدن می‌بایست یک تا دو میلی‌متر کمتر از قطر گمانه مورد تزریق باشد تا پکر قادر باشد به آسانی به داخل گمانه وارد و پس از

^۱ - Packer

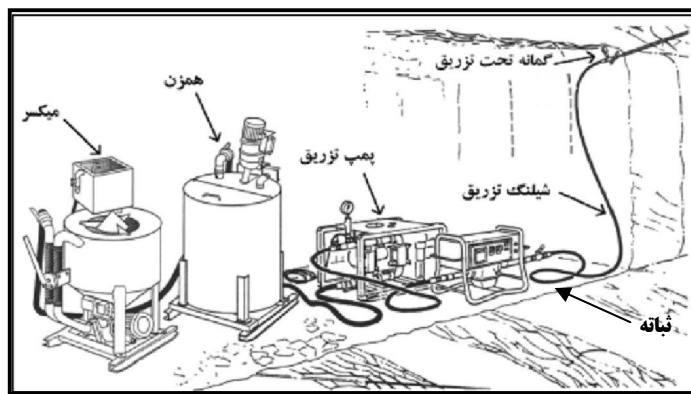
اتمام تزریق خارج شود. طول حلقه‌های لاستیکی در پکرهای مکانیکی بسته به کیفیت سنگ و میزان خردشدگی آن متفاوت است. هرچه سنگ خردتر و دارای درزه و شکاف بیشتری باشد، بایستی از پکرهای با طول بیشتر استفاده کرد. به طور معمول طول پکرهای مکانیکی ۳۰ سانتی‌متر و در سنگ‌های خرد شده برای جلوگیری از نشت دوغاب ۵۰ سانتی‌متر است. با توجه به آن که پکرهای مکانیکی با استفاده از نیروی دست و به صورت مکانیکی پک (بسته) می‌شوند، عموماً در بالای گمانه و در اولین مقطع تزریقی یا در گمانه‌هایی که دارای عمق کم بوده و در یک مرحله تزریق می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این حالت به آنها پکر فوقانی گفته می‌شود. در پکرهای پنوماتیکی نیروی مورد نیاز برای فشردن پکر به جداره گمانه از فشار سیالات (عموماً آب) یا هوای فشرده تامین می‌شود. آب تحت فشار توسط پمپ پکر و به وسیله شیلنگ‌های ویژه (نایلکس) یا هوای فشرده توسط کپسول فشار به داخل پکر هدایت شده و موجب تورم و فشردن آن به جداره گمانه می‌شود (Atlas Copco Craelius, 1995). در شکل ۴-۱۰ نمونه‌ای از پکر مکانیکی و پنوماتیکی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰- نمونه‌ای از پکر مکانیکی و پنوماتیکی (Atlas Copco Craelius, 1995)

۴-۴-۴- تجهیزات اختلاط دوغاب

برای انجام بهینه عملیات تزریق، ضروری است مواد اولیه مخلوط دوغاب شامل: سیمان، آب، روان‌کننده یا زودگیر و سایر افزودنی‌ها ابتدا توزین شده و سپس به صورت صحیح و با ترتیب معین مخلوط شوند و در نهایت مخلوط دوغاب همگن شده به پمپ تزریق انتقال یابد. به این منظور از کارگاه‌های اختلاط که مجهز به میکسرها، همزن‌ها، تجهیزات توزین و سایر تجهیزات اختلاط هستند، استفاده می‌شود. تجهیزات انتقال دوغاب به گمانه مورد تزریق در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱- تجهیزات ساخت و انتقال دوغاب به گمانه (Atlas Copco Craelius, 1995)

۴-۵- حفاری و مغزه‌گیری

در گمانه‌های تزریق آزمایشی بعد از حفاری به روش مغزه‌گیری، مغزه‌ها داخل جعبه مغزه گذاشته می‌شوند تا بتوان خصوصیات زمین‌شناسی و RQD سنگ‌ها را مشخص نمود. نمونه‌ای از جعبه مغزه در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۲- جعبه مغزه گمانه آزمایشی G1LP14

با بررسی و محاسبه RQD مغزه‌های به دست آمده از گمانه‌ها توسط رابطه (۳-۴)، مقادیر RQDهای محاسبه شده برای هر مقطع در گمانه‌های آزمایشی، مطابق جدول ۲-۴ می‌باشد.

$$RQD = \frac{\text{مجموع طول مغزه‌های بیش از 10 سانتی‌متر}}{\text{طول کل مغزه‌گیری}} \times 100 \quad (3-4)$$

جدول ۲-۴ - مقادیر RQD گمانه‌های آزمایشی

G ₁ LP ₁₂			G ₁ LP ₁₃			G ₁ LP ₁₄		
عمق (متر)		RQD (%)	عمق (متر)		RQD (%)	عمق (متر)		RQD (%)
از	تا		از	تا		از	تا	
۰	۵	۸۳/۵	۰	۵	۴۸/۳	۰	۵	۵۰/۴
۵	۱۰	۱۰۰	۵	۱۰	۷۸/۷۵	۵	۱۰	۸۷/۵
۱۰	۱۵	۱۰۰	۱۰	۱۵	۹۱/۶	۱۰	۱۵	۷۵
۱۵	۲۰	۹۴/۳	۱۵	۲۰	۷۵/۳	۱۵	۲۰	۹۶/۶
۲۰	۲۵	۱۰۰	۲۰	۲۵	۶۲/۶	۲۰	۲۵	۹۲/۳
۲۵	۳۰	۹۱	۲۵	۳۰	۸۸/۳	۲۵	۳۰	۱۰۰
۳۰	۳۵	۷۵	۳۰	۳۵	۹۱/۶	۳۰	۳۵	۱۰۰
۳۵	۴۰	۸۱	۳۵	۴۰	۱۰۰	۳۵	۴۰	۶۲/۳
۴۰	۴۵	۱۰۰	۴۰	۴۵	۳۴/۳	۴۰	۴۵	۳۵
۴۵	۵۰	۶۸	۴۵	۵۰	۷۳/۳	۴۵	۵۰	۱۰۰
۵۰	۵۵	۴۰	۵۰	۵۵	۳۰/۲۵	۵۰	۵۵	۵۶/۳
۵۵	۶۰	۹۱/۶	۵۵	۶۰	۴۴/۶	۵۵	۶۰	۱۰۰
۶۰	۶۵	۷۶/۶	۶۰	۶۵	۹۶/۶	۶۰	۶۵	۱۰۰
۶۵	۷۰	۲۶/۵	۶۵	۷۰	۶۹	۶۵	۶۹/۹۱	۱۰۰
۷۰	۷۵	۹۶	۷۰	۷۵	۳۹/۳	اتمام حفاری		
۷۵	۸۰	۷۳/۵	۷۵	۸۱/۳۸	۲۱/۸۳			
۸۰	۸۵	۱۰۰	اتمام حفاری					
۸۵	۹۰	۱۰۰	اتمام حفاری					
۹۰	۹۲/۸۵	۱۰۰	اتمام حفاری			اتمام حفاری		
۸۳/۷۱			۶۷/۹۳			۸۲/۵		RQD نهایی (%)

در جدول ۳-۴ روش رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس شاخص RQD نشان داده شده است. با توجه به این رده‌بندی، سنگ تنها بر اساس کیفیت مغزه‌های حاصل از حفاری طبقه‌بندی می‌شود.

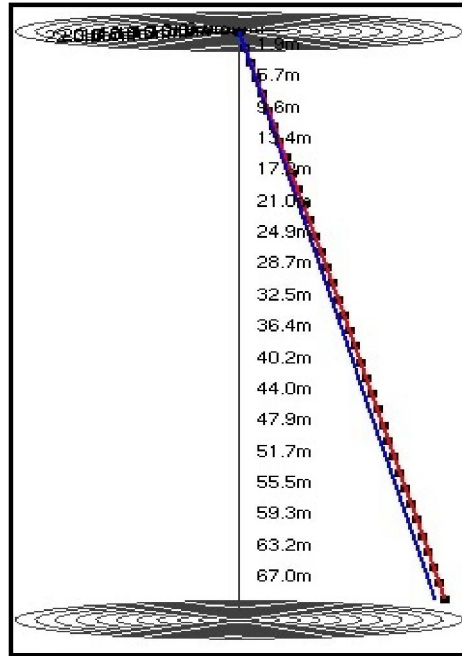
جدول ۴-۳- رده‌بندی مهندسی سنگ بر اساس کیفیت مغزه‌ها (RQD) (Bieniawski, 1984)

رده	شرح سنگ	RQD (%)
۱	خیلی خوب	۹۰ تا ۱۰۰
۲	خوب	۷۵ تا ۹۰
۳	متوسط	۵۰ تا ۷۵
۴	ضعیف	۲۵ تا ۵۰
۵	خیلی ضعیف	کمتر از ۲۵

بنابراین با توجه به مقادیر RQD نهایی، رده‌بندی توده‌سنگ در محل حفاری گمانه‌های آزمایشی از خوب تا متوسط متغیر می‌باشد.

۴-۶- انحراف سنجی

پس از حفاری و مغزه‌گیری تا عمق نهایی گمانه‌های تزریق، در گمانه‌ها انحراف سنجی انجام گرفت تا انحراف گمانه‌ها نسبت به قائم مشخص شود. انحراف سنجی در پرده آببند برای طراحی یکدست پرده مهم می‌باشد، زیرا طراحی زاویه برای گمانه‌ها به گونه‌ای است که بیشترین تعداد لایه را قطع کند و به این نحوه تعداد بیشتری از درزه‌ها شناسایی و تزریق شوند. میزان انحراف مجاز در گمانه‌های تزریق آزمایشی و پرده آببند ۱/۲ متر برای هر ۱۰۰ متر عمق گمانه می‌باشد. زیرا شیب پرده آببند، برای جلوگیری از فشارهای بالارونده به سمت بالادست سد می‌باشد و انحراف بیش از حد مجاز گمانه‌ها موجب بالا رفتن فشار و ناپایداری پرده خواهد شد. شکل ۴-۱۳ نمونه‌ای از انحراف سنجی انجام شده در گمانه‌های آزمایشی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۳- انحراف سنجی در گمانه G\LP۱۳

مسیری از گمانه با زاویه ۱۵ درجه که باید حفاری شود. —■—: مسیر حفاری انجام شده

در جدول ۴-۴ میزان انحراف گمانه‌های تزریق آزمایشی نشان داده شده است.

جدول ۴-۴- میزان انحراف گمانه‌های آزمایشی

میزان انحراف (متر)	نام گمانه
۰/۵۴	G\LP۱۲
۰/۵۱	G\LP۱۳
۰/۵۱	G\LP۱۴

با توجه به نتایج به دست آمده از انحراف سنجی گمانه‌ها، میزان انحراف از حد معین تجاوز نکرده و می‌توان سایر عملیات را بر روی گمانه‌ها اجرا کرد.

۴-۷- آزمایش فشار آب لوژان

پس از انجام انحراف سنجی، گمانه‌ها برای انجام آزمایش لوژان آماده می‌باشند تا دید کلی در مورد درزه و شکاف‌های اعماق زمین به دست آید. باید توجه داشت که با آزمایش فشار آب دقیقاً در مورد چگونگی خوردن گمانه‌ها نمی‌توان اظهار نظر کرد، زیرا خصوصیات آب و دوغاب متفاوت است. آزمایش

فشار آب لوژان برای مقاطع ۵ متری بوده و به صورت ۵ پله‌ای گرفته می‌شود (یعنی دو پله رفت، یک پله بیشترین فشار، دو پله برگشت). در شکل ۴-۱۴ دستگاه آزمایش فشار آب نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴- دستگاه آزمایش فشار آب لوژان استفاده شده در طرح

در آزمایش لوژان، برای عمق‌های مختلف فشارهای مختلفی به سنگ اعمال می‌شود و طبیعتاً با افزایش عمق فشار آزمایش لوژان نیز بیشتر خواهد شد، زیرا با افزایش عمق تنش‌های ثقلی در سنگ افزایش یافته و نیز فاصله از محل اعمال فشار بیشتر می‌شود، بنابراین برای نفوذ آب به درز و ترک سنگ‌ها فشار افزایش می‌یابد. جدول ۴-۵ مقادیر فشار برای عمق‌های مختلف در جناح چپ سد رودبار لرستان را نشان می‌دهد. با توجه به جدول برای عمق ۰-۱۰ متر، مقادیر فشار برای پله‌های آزمایش لوژان ۱-۲-۳-۲-۱ می‌باشد، به عبارت دیگر هنگام انجام آزمایش لوژان ابتدا آب به مدت ۵ دقیقه با فشار ۱ bar به سنگ تزریق می‌شود و در ۵ دقیقه بعدی این فشار به ۲ bar بار افزایش داده می‌شود و این کار برای هر ۵ پله در تمام عمق‌ها ادامه می‌یابد.

جدول ۴-۵- فشارهای آزمایش لوژان برای عمق‌های مختلف

عمق (متر)	فشار (bar)
۰ - ۱۰	۱ - ۲ - ۳ - ۲ - ۱
۱۰ - ۲۰	۲ - ۳ - ۵ - ۳ - ۲
۲۰ - ۳۰	۳ - ۵ - ۷ - ۵ - ۳
۳۰ - ۴۰	۴ - ۶ - ۸ - ۶ - ۴
> ۴۰	۵ - ۷/۵ - ۱۰ - ۷/۵ - ۵

آزمایش لوژان به این صورت است که بعد از حفاری سنگ تا عمق ۵ متر و نمونه‌گیری از آن، پکر به داخل گمانه هدایت می‌شود و توسط پمپ‌هایی که فشار مورد نظر در جدول فوق را تأمین می‌کنند آب به درون گمانه تزریق می‌گردد. ابتدا به مدت ۵ دقیقه توده‌سنگ با فشار پایین یا بدون فشار اشباع شده و پس از آن عملیات اصلی تزریق آب آغاز می‌گردد. میزان آب نفوذ کرده به درزه‌های موجود در توده‌سنگ (به واحد لیتر) در هر ۵ دقیقه از روی دستگاه آزمایش لوژان اندازه‌گیری و یادداشت می‌شود و این حالت برای هر ۵ پله آزمایش تکرار می‌گردد. در نهایت پس از تزریق یک مقطع از گمانه با توجه به رابطه (۱-۴) پنج عدد لوژان به دست می‌آید، که با توجه به نوع جریان آب در گمانه، عدد لوژان نهایی انتخاب می‌گردد (جدول ۴-۶).

$$Lu = 0.98 \times \frac{Q}{P \cdot L} \quad (1-4)$$

در رابطه (۱-۴)، Lu : عدد لوژان، Q : حجم نفوذ آب (لیتر)، P : فشار تزریق آب (bar)، L : طول ناحیه تزریق (متر).

جدول ۴-۶- محاسبه عدد لوژان نهایی

عدد لوژان به دست آمده در هر پله	نوع جریان	محاسبه عدد لوژان نهایی
عدد لوژان در هر ۵ پله تقریباً برابر	جریان خطی	میانگین عدد لوژان ۵ پله
عدد لوژان با افزایش فشار کاهش و در بیشترین فشار کمترین مقدار و سپس با کاهش فشار افزایش	جریان آشفته	عدد لوژان حاصل از بیشترین فشار (پله وسط)
عدد لوژان در فشار بیشینه بیشتر از سایر فشارها (اختلاف زیاد نسبت به سایر فشارها)	پدیده اتساع (جک یا شکست هیدرولیکی)	میانگین عدد لوژان پله دوم و چهارم
عدد لوژان در کلیه پله‌ها به طور پیوسته در حال افزایش	آبشستگی سنگ توسط آب	عدد لوژان آخرین پله
عدد لوژان در کلیه پله‌ها به طور پیوسته در حال کاهش	پر شدن درزه‌ها	عدد لوژان آخرین پله

پس از محاسبات با توجه به جدول فوق و اعداد لوژان به دست آمده از رابطه (۱-۴)، عدد لوژان نهایی مقاطع ۵ متری گمانه‌های آزمایشی در جدول ۴-۷ نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۷- مقادیر عدد لوژان نهایی گمانه‌های تزریق آزمایشی

مقدار عدد لوژان	عمق (متر)		نام گمانه
	تا	از	
۱	۵	۰	G۱LP۱۲
۱	۱۰	۵	
۱	۱۵	۱۰	
۳	۲۰	۱۵	
۱	۲۵	۲۰	
۴	۳۰	۲۵	
۱	۳۵	۳۰	
۱	۴۰	۳۵	
۱	۴۵	۴۰	
۹	۵۰	۴۵	
۱۵	۵۵	۵۰	
۴	۶۰	۵۵	
۱	۶۵	۶۰	
۳	۷۰	۶۵	
۱	۷۵	۷۰	
۱	۸۰	۷۵	
۵/۲۶	۸۵	۸۰	
۵/۰۳	۹۰	۸۵	
۶/۳۴	۹۲/۸۵	۹۰	
۴۵	۵	۰	G۱LP۱۳
۱	۱۰	۵	
<۱	۱۵	۱۰	
<۱	۲۰	۱۵	
۳	۲۵	۲۰	
۲	۳۰	۲۵	
۱	۳۵	۳۰	
۱	۴۰	۳۵	
۱	۴۵	۴۰	
۱	۵۰	۴۵	
۲۰	۵۵	۵۰	
۶	۶۰	۵۵	
۳	۶۵	۶۰	
۱۵	۷۰	۶۵	
۱۰	۷۵	۷۰	
۳	۸۱/۳۸	۷۵	
۲۰	۵	۰	G۱LP۱۴
۵۳	۱۰	۵	
<۱	۱۵	۱۰	

ادامه جدول ۴-۷

مقدار عدد لوژان	عمق (متر)		نام گمانه
	تا	از	
<۱	۲۰	۱۵	G۱LP۱۴
۱	۲۵	۲۰	
<۱	۳۰	۲۵	
۱	۳۵	۳۰	
۳	۴۰	۳۵	
۱۰	۴۵	۴۰	
۷	۵۰	۴۵	
۳	۵۵	۵۰	
۲	۶۰	۵۵	
۱	۶۵	۶۰	
۱	۶۹/۹۱	۶۵	

لوژان‌های بالا در مقاطع ۰ تا ۵ متر به علت وجود زون خرد شده در اثر حفاری و آتشکاری و وجود فضای خالی بین بتن‌ریزی اولیه و سنگ بستر (کنتاکت بین بتن و سنگ) می‌باشد. از آنجایی که شرط کیفیت خوب توده‌سنگ داشتن نفوذپذیری (عدد لوژان) کمتر از ۳ است، با توجه به جدول فوق ۵۳ درصد از مقاطع گمانه‌های آزمایشی دارای نفوذپذیری کوچکتر از ۳ لوژان و ۴۷ درصد دارای نفوذپذیری بیشتر از ۳ لوژان می‌باشند. بنابراین با توجه به معیار آزمایش لوژان، طراحی و تزریق پرده آببند در حد تک ردیفه کافی می‌باشد.

۴-۸- شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI)

یکی دیگر از شاخص‌های تشخیص نفوذپذیری توده‌سنگ و اجرای پرده آببند، شاخص نفوذپذیری ثانویه می‌باشد. برای محاسبه این شاخص از سه گمانه آزمایشی، G۱LP۱۲، G۱LP۱۳ و G۱LP۱۴، که در جناح چپ حفاری شدند و آزمایش فشار آب لوژان در آنها انجام شد، استفاده نموده و مقدار شاخص نفوذپذیری ثانویه محاسبه خواهد شد و توده‌سنگ‌های جناح چپ در کلاس‌های مختلف با توجه به نتایج به دست آمده تقسیم‌بندی می‌شوند، تا این شاخص نیز به نوبه خود برای گرفتن تصمیم درست کمک کند. مقادیر نفوذپذیری به دست آمده از آزمایش‌ها، بدون شناسایی میزان درزه‌داری

فایده چندانی نداشته و جهت بررسی نفوذپذیری و تزریق پذیری، حتماً درزه‌داری منطقه نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. زیرا در برخی از موارد با توجه به رده‌بندی توده‌سنگ توسط شاخص نفوذپذیری ثانویه، به علت وجود درزه‌های ریز زیاد در توده‌سنگ، نفوذپذیری و متعاقب آن شاخص SPI افزایش یافته و سنگ در رده C قرار می‌گیرد، در حالی که میزان RQD در این مقطع بالا بوده و سنگ در شرایط خوبی قرار دارد (به عنوان مثال: مقطع ۱۵-۲۰ گمانه G1LP12 در جدول ۴-۸). در جدول ۴-۸، نتایج محاسبه شده میزان شاخص نفوذپذیری ثانویه طبق رابطه (۳-۱۶) و رده‌بندی توده‌سنگ بر اساس شاخص SPI با RQD گمانه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۴-۸- مقایسه رده‌بندی SPI و RQD گمانه‌ها

رده	SPI (lit/s.m ^۲)	RQD (%)	عمق (متر)		نام گمانه
			تا	از	
C	۱/۱۰×۱۰ ^{-۱۲}	۸۳/۵	۶	۱	G1LP12
B	۱/۳۲×۱۰ ^{-۱۴}	۱۰۰	۱۰	۶	
B	۱/۰۲×۱۰ ^{-۱۴}	۱۰۰	۱۵	۱۰	
C	۲/۰۷×۱۰ ^{-۱۳}	۹۴/۳	۲۰	۱۵	
B	۲/۷۷×۱۰ ^{-۱۴}	۱۰۰	۲۵	۲۰	
B	۱/۵۹×۱۰ ^{-۱۳}	۹۱	۳۰	۲۵	
B	۲/۴۴×۱۰ ^{-۱۴}	۷۵	۳۵	۳۰	
A	۱/۹۹×۱۰ ^{-۱۵}	۸۱	۴۰	۳۵	
A	۲/۴۵×۱۰ ^{-۱۴}	۱۰۰	۴۵	۴۰	
C	۵/۱۱×۱۰ ^{-۱۳}	۶۸	۵۰	۴۵	
C	۴/۴۱×۱۰ ^{-۱۳}	۴۰	۵۵	۵۰	
C	۱/۹۲×۱۰ ^{-۱۳}	۹۱/۶	۶۰	۵۵	
B	۴/۰۷×۱۰ ^{-۱۴}	۷۶/۶	۶۵	۶۰	
B	۱/۳۷×۱۰ ^{-۱۳}	۲۶/۵	۷۰	۶۵	
A	۱/۱۹×۱۰ ^{-۱۴}	۹۶	۷۵	۷۰	
A	۲/۱۶×۱۰ ^{-۱۴}	۷۳/۵	۸۰	۷۵	
C	۲/۱۵×۱۰ ^{-۱۳}	۱۰۰	۸۵	۸۰	
B	۸/۸۵×۱۰ ^{-۱۴}	۱۰۰	۹۰	۸۵	
B	۹/۳۹×۱۰ ^{-۱۴}	۱۰۰	۹۳	۹۰	
D	۴/۷۹×۱۰ ^{-۱۱}	۴۸/۳	۶	۱		G1LP13
B	۴/۶۳×۱۰ ^{-۱۴}	۷۸/۷۵	۱۰	۶	
A	.	۹۱/۶	۱۵	۱۰	
A	.	۷۵/۳	۲۰	۱۵	
B	۱/۵۱×۱۰ ^{-۱۳}	۶۲/۶	۲۵	۲۰	

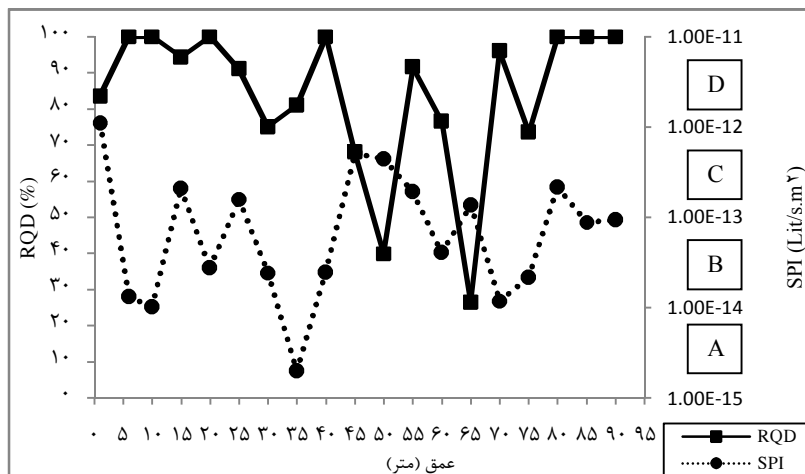
ادامه جدول ۴-۸

رده	SPI (lit/s.m ^۲)	RQD (%)	عمق (متر)		نام گمانه	
			از	تا		
B	$6/34 \times 10^{-14}$	۸۸/۳	۲۵	۳۰	G ₁ LP ₁₃	
B	$9/08 \times 10^{-14}$	۹۱/۶	۳۰	۳۵		
A	$7/48 \times 10^{-15}$	۱۰۰	۳۵	۴۰		
A	$1/66 \times 10^{-14}$	۳۴/۳	۴۰	۴۵		
B	$4/43 \times 10^{-14}$	۷۳/۳	۴۵	۵۰		
C	$1/04 \times 10^{-12}$	۳۰/۲۵	۵۰	۵۵		
B	$1/51 \times 10^{-13}$	۴۴/۶	۵۵	۶۰		
B	$7/8 \times 10^{-14}$	۹۶/۶	۶۰	۶۵		
C	$2/1 \times 10^{-13}$	۶۹	۶۵	۷۰		
B	$1/66 \times 10^{-13}$	۹۳/۳	۷۰	۷۵		
B	$5/84 \times 10^{-14}$	۲۱/۸۳	۷۵	۸۱/۳۸		
D	$3/07 \times 10^{-12}$	۸۷/۵	۱	۶		G ₁ LP ₁₄
A	.	۷۵	۶	۱۰		
A	.	۹۶/۶	۱۰	۱۵		
B	$4/84 \times 10^{-14}$	۹۲/۳	۱۵	۲۰		
A	.	۱۰۰	۲۰	۲۵		
A	$2/03 \times 10^{-14}$	۱۰۰	۲۵	۳۰		
B	$9/64 \times 10^{-14}$	۶۲/۳	۳۰	۳۵		
C	$3/15 \times 10^{-13}$	۳۵	۳۵	۴۰		
C	$2/48 \times 10^{-13}$	۱۰۰	۴۰	۴۵		
B	$9/15 \times 10^{-14}$	۵۶/۳	۴۵	۵۰		
B	$4/17 \times 10^{-14}$	۱۰۰	۵۰	۵۵		
A	$1/46 \times 10^{-14}$	۱۰۰	۵۵	۶۰		
A	$1/56 \times 10^{-14}$	۱۰۰	۶۰	۶۵		
A	$1/56 \times 10^{-14}$	۱۰۰	۶۵	۷۰		

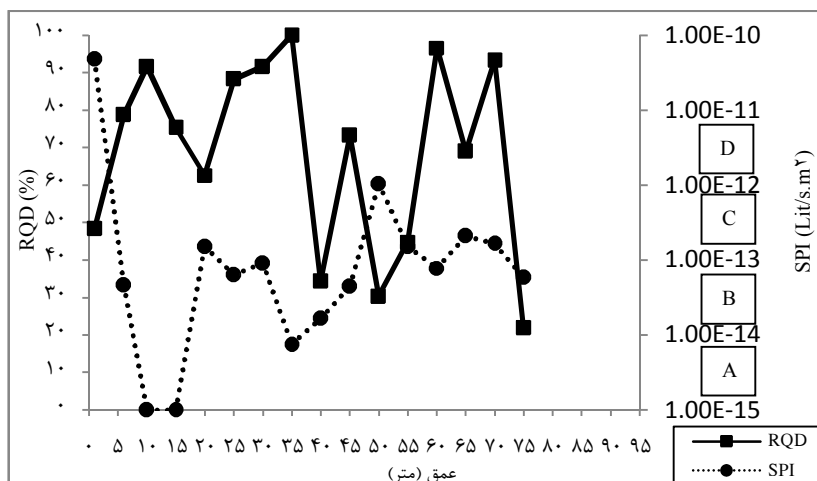
با توجه به جدول فوق سنگ‌هایی که در رده A قرار دارند نیاز به بهسازی ندارند ولی سنگ‌های رده B دو وضعیت متفاوت دارند. اگر میزان درزه‌داری بالا یا متوسط به بالا باشد بایستی حتماً تزریق شوند، ولی اگر درزه‌داری پایین یا متوسط به پایین باشد، بازشدگی درزه‌ها ناچیز است و عملاً تزریق‌پذیر نیستند و نیاز به بهسازی ندارند. در صورتی که رده‌های C و D آسیب‌پذیری فوق‌العاده‌ای را نشان می‌دهند. قسمت‌های ابتدایی گمانه‌ها (۱-۶ متر)، در رده D و C هستند ولی میزان RQD آنها بالا می‌-

باشد، این حالت نشان‌دهنده فضای خالی بین محل ارتباط بتن و سنگ است که در هنگام بتن‌ریزی کف گالری در مرحله آماده‌سازی بوجود می‌آید.

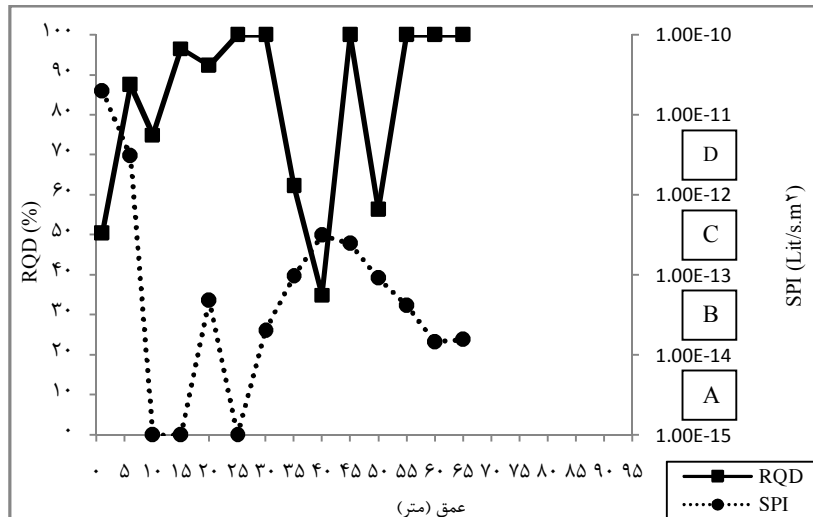
در شکل‌های ۴-۱۵ تا ۴-۱۸، مقایسه دیگری از شاخص نفوذپذیری ثانویه و RQD نسبت به عمق گمانه‌ها ارائه شده است. مشاهده می‌شود که، ارتباط دقیقی بین RQD و شاخص SPI وجود دارد، با افزایش مقدار شاخص SPI، نفوذپذیری توده‌سنگ افزایش یافته که می‌تواند در اثر افزایش درجه درزه‌داری سنگ باشد، یعنی با افزایش مقدار SPI، مقدار RQD کاهش پیدا می‌کند. با توجه به شکل‌های زیر، در اغلب مقاطع در گمانه‌های مورد آزمایش با افزایش عمق، وضعیت توده‌سنگ بهتر می‌شود.



شکل ۴-۱۵- مقایسه مقادیر SPI و RQD نسبت به عمق در گمانه G1LP12



شکل ۴-۱۶- مقایسه مقادیر SPI و RQD نسبت به عمق در گمانه G1LP13



شکل ۴-۱۷- مقایسه مقادیر SPI و RQD نسبت به عمق در گمانه G1LP14

در جدول ۴-۹، درصد فراوانی رده‌های شاخص SPI برای گمانه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۴-۹- درصد فراوانی نوع رده SPI در گمانه‌های مورد آزمایش

نام گمانه	کلاس A (%)	کلاس B (%)	کلاس C (%)	کلاس D (%)
G1LP12	۲۱/۰۵	۴۷/۳۷	۳۱/۵۸	۰
G1LP13	۲۵	۵۶/۲۵	۱۲/۵	۶/۲۵
G1LP14	۴۲/۸۶	۲۸/۵۷	۱۴/۲۹	۱۴/۲۸
درصد کل در ۳ گمانه	۳۰/۶	۴۵	۲۰/۴	۴

با توجه به جدول ۴-۹، ۳۰/۶ درصد سنگ‌ها در رده A قرار دارند، رده‌ای که اصلاً نیاز به تزریق ندارد. اما با توجه به اینکه ۶۹/۴ درصد در رده‌های B، C و D هستند، باید تزریق پذیری و اجرای پرده آببند در این ناحیه بررسی شود. ۴۵ درصد از توده‌سنگ مورد آزمایش در رده B قرار دارد که از سایر رده‌ها بیشتر است. با توجه به این نتیجه، باید RQD بررسی شود که میزان درزه‌داری توده‌سنگ چقدر است و آیا قابل تزریق است یا خیر؟ با مشاهده مغزه‌های گرفته شده از گمانه‌ها، مشخص شد که توده‌سنگ منطقه دارای درزه‌داری متوسط به بالاست و این نشان می‌دهد که سنگ‌های موجود در رده B باید تزریق شوند. از طرفی سنگ‌هایی که در رده C و D هستند قابلیت تزریق فوق‌العاده داشته و قطعاً باید تزریق گردند. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از SPI و RQD در ناحیه مورد مطالعه، اجرا و تزریق

پرده آببند ضروری می‌باشد، اما از آنجایی که تقریباً یک سوم توده‌سنگ در رده A قرار دارد و شرایط توده‌سنگ با توجه به رده‌بندی RQD خوب تا متوسط است، پرده آببند تک ردیفه برای جلوگیری از هزینه زیاد کافی خواهد بود.

۴-۹- تزریق گمانه‌های آزمایشی

همانطور که با انجام آزمایش نفوذپذیری لوژان و محاسبه RQD و SPI و بررسی آنها در گمانه‌های تزریق آزمایشی، مشخص شد که جناح چپ سد رودبار لرستان نیاز به احداث و تزریق پرده آببند تک ردیفه دارد. در ادامه نیز با تزریق گمانه‌های آزمایشی به روش عدد G.I.N لزوم اجرا و تزریق پرده آببند برای جناح چپ را از دیدگاه این روش بررسی شده است.

تزریق گمانه‌ها به روش صعودی^۱، از انتهای گمانه به سمت دهانه (از پایین به بالا) و در مقاطع ۵ متری بعد از اتمام حفاری گمانه انجام می‌شود و در مواردی که حین حفاری آب قطع شود یا آب برگشتی کمتر از مقداری باشد که برای حفاری لازم است (به علت وجود حفرات زیاد و فرار آب)، یا گمانه مورد نظر ریزشی باشد از تزریق نزولی^۲، از دهانه گمانه به سمت انتها (از بالا به پایین) استفاده می‌گردد، زیرا در صورت عدم تزریق، ریزش مانع از حفاری ادامه گمانه تا عمق مورد نظر خواهد بود. برای به دست آوردن عدد G.I.N مناسب برای تزریق، ابتدا باید مقادیری به عنوان حدود G.I.N انتخاب نموده و سپس با توجه به نتایج ثبت شده توسط رایانه و خوردن سنگ، اعداد انتخاب شده اصلاح گردند و یا در صورت مفید بودن عدد G.I.N انتخابی، عملیات تزریق با همین عدد ادامه پیدا کند. با توجه به قاعده G.I.N برای اتمام هر مرحله، معیار بر این است که جریان عبوری دوغاب از دستگاه ثباته برای تزریق در گمانه مساوی صفر یا کمتر از ۳ lit/min باشد. تزریق باید با جریان کم مانند ۴-۶ lit/min شروع شود. بعد از آن به افزایش خوردن سیمان و فشار بستگی دارد، اگر فشار با

^۱ - Ascending

^۲ - Descending

گذشت زمان افزایش پیدا نکند و خورند سیمان همچنان ادامه داشته باشد، جریان می‌تواند به صورت تدریجی با مشاهده نمودار رایانه‌ای مسیر تزریق G.I.N، تا ۱۰-۱۵-۲۰ lit/min افزایش یابد. زمانی که مسیر تزریق به حدود ۹۰٪ از فشار تعریف شده در نمودار G.I.N رسید، جریان باید به ۱۰ lit/min و بعد از آن به ۵ lit/min کاهش یابد، سپس باید به طور پیوسته کاهش یابد تا جایی که به هر کدام از حدود، منحنی G.I.N، حد حجم و یا حد فشار در نمودار برسد. اما در صورتی که فشار افزایش پیدا کرده و خورند کاهش یابد (پر شدن درزه‌های توده‌سنگ)، زمانی که مسیر تزریق به حدود ۹۰٪ از فشار تعریف شده در نمودار G.I.N رسید، باید جریان کاهش یابد، تا جایی که مسیر تزریق به یکی از حدود در نمودار G.I.N برسد. قاعده اصلی در روش G.I.N، رسیدن به منحنی G.I.N در خورند نزدیک به صفر است. جهت آسان شدن دستیابی به منحنی G.I.N بدون زیاد شدن زمان پمپاژ دوغاب، فشار بیشینه یا منحنی G.I.N می‌توانند به اندازه ۲ bar از حد خود تجاوز کنند در حالی که تزریق با جریان ۵ lit/min انجام می‌شود و سپس فشار به طور آهسته کم شود تا به صفر برسد.

فشار تزریق در گمانه‌ها همانطور که در فصول گذشته اشاره شد باید $0.75H$ (ارتفاع ستون آب پس از آبگیری سد) باشد و با افزایش عمق به علت وجود تنش‌های ثقلی و سخت‌تر شدن سنگ به علت فرسایش کم، افزایش یابد. با توجه به اینکه ارتفاع سد پس از آبگیری تقریباً برابر ۱۴۷ متر است، فشار تزریق به صورت معادله‌های زیر محاسبه خواهد شد.

$$P = 0.75H \quad \longrightarrow \quad P = 0.75 \times 147 = 110.25m \quad (2-4)$$

از آنجایی که هر ۱۰ متر اختلاف فشاری برابر ۱ bar ایجاد می‌کند، فشار به صورت زیر خواهد بود:

$$P = \frac{110.25}{10} = 11.025bar \quad (3-4)$$

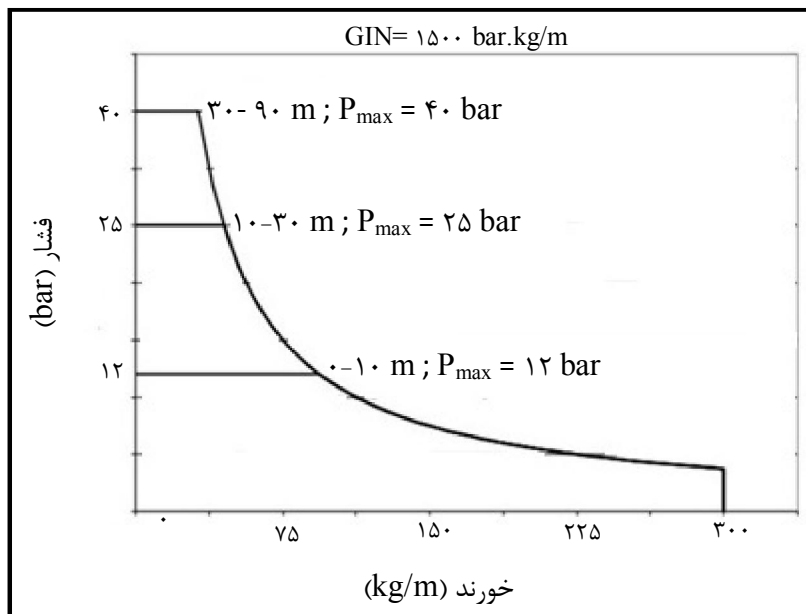
بنابراین مقادیر فشار تزریق برای عمق‌های مختلف با توجه به سختی سنگ در اعماق (حاصل از آزمایش‌های فشار آب لوژان و RQD و SPI) به صورت جدول ۴-۱۰ خواهد بود.

جدول ۴-۱۰- فشار حد برای عمق‌های مختلف

عمق (متر)	فشار حد (bar)
۰-۱۰	۱۲
۱۰-۳۰	۲۵
۳۰-۹۰	۴۰

۴-۱۰- مشخصات فنی تزریق و دوغاب

با توجه به مقدار پیشنهادی اولیه عدد شدت تزریق توسط محققین، مقدار G.I.N برای تمام مراحل تزریق آزمایشی، 1500 bar.kg/m ، با حد حجم خورند 300 kg/m در نظر گرفته شد. در شکل ۴-۱۸ منحنی‌های G.I.N با شدت 1500 bar.kg/m و حجم خورند 300 kg/m با توجه به فشارهای محاسبه شده در جدول ۴-۱۰ نشان داده شده‌اند. در این شکل هر نقطه روی منحنی G.I.N برابر شدت 1500 bar.kg/m خواهد بود و رسیدن مسیر تزریق به آن، نشان دهنده بهترین حالت تزریق می‌باشد.



شکل ۴-۱۸- خورند و فشار در منحنی G.I.N

از آنجایی که حدود تغییرات نسبت وزنی دوغاب در روش G.I.N، $0/6$ تا $0/8$ است، برای تزریق گمانه‌های آزمایشی غلیظ‌ترین دوغاب یعنی $0/6$ انتخاب شد، تا بعد از آزمایش در صورت نیاز این نسبت تعدیل شود و یا در صورت مناسب بودن سایر گمانه‌ها با همین نسبت تزریق شوند. نسبت وزنی

۰/۶ یعنی نسبت آب به سیمان برابر: ۰/۶، (به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم سیمان، ۶۰ لیتر آب اضافه می‌شود)، علاوه بر آن برای مقابله با غلظت بالای مخلوط از ماده شیمیایی و افزودنی رئوبیلد ۱۱۰۰^۱ به عنوان روان‌کننده استفاده شد، بدین صورت که برای هر ۰/۶ نسبت وزنی طرح اختلاط، ۱ کیلوگرم از این ماده بکار می‌رود، (۱ درصد نسبت وزنی سیمان). سیمان استفاده شده از نوع پوزولان تیپ ۲ آبیک قزوین با چگالی ۳ gr/cm^۳ با نرمی ۴۵۰۰ cm^۲/g می‌باشد. با توجه به نسبت آب به سیمان و نوع سیمان و استفاده از روان‌کننده، مشخصات مخلوط سیمانی ساخته شده به صورت زیر محاسبه خواهد شد. رابطه (۴-۴) برای محاسبه چگالی دوغاب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$d_s = \frac{M_c + M_w}{V_c + V_w} \quad (4-4)$$

d_s : چگالی مخلوط سیمانی (kg/m^۳).

M_c : جرم سیمان در نسبت وزنی (kg).

M_w : جرم آب در نسبت وزنی (kg).

V_c : حجم سیمان در نسبت وزنی (Lit).

V_w : حجم آب در نسبت وزنی (Lit).

بنابراین چگالی سیمان برابر خواهد بود با:

$$d_s = \frac{100 + 60}{\frac{100}{3} + \frac{60}{1}} = 1.71 \text{ kg/lit}$$

^۱ - Rheobuild ۱۱۰۰: افزودنی فوق روان‌کننده و کاهنده شدید آب برای تولید بتن‌های پرمقاومت با رنگ روان قهوه‌ای. اجزا تشکیل‌دهنده این افزودنی پلیمرهای مصنوعی هستند که قادرند آب اختلاط را به میزان قابل توجهی کاهش داده و مقاومت بتن را به خصوص در سنین اولیه آن در حد چشمگیری افزایش دهند. به دلیل کاهش نسبت آب به سیمان خواص دیگر بتن سخت شده نیز بهبود می‌یابد. مانند: نفوذپذیری کمتر، انقباض و خزش کمتر و افزایش مدول الاستیسیته.

با توجه به خطاهای موجود در حین ساخت و انتقال دوغاب مانند وجود آب در لوله انتقال، چگالی $1/70$ و $1/72$ kg/lit نیز برای مخلوط دوغاب قابل قبول می‌باشد. آب‌اندازی دوغاب نیز باید کمتر از ۴ درصد در ۲ ساعت بوده و با توجه به آزمایش‌های انجام شده، مارش آن ۳۴ - ۳۱ ثانیه به ازای ۱ لیتر دوغاب عبوری از قیف مارش باشد.

با توجه به مشخصات فوق، دوغاب تزریق در گمانه‌های آزمایشی ساخته می‌شود و سپس باید تمامی شرایط موجود در روش G.I.N را در محل تزریق برقرار کرده، عملیات تزریق آغاز گردد. نتایج خوردن گمانه‌ها پس از تزریق با مشخصات ارائه شده و روش G.I.N در جدول ۴-۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۱- نتایج خوردن گمانه‌های آزمایشی

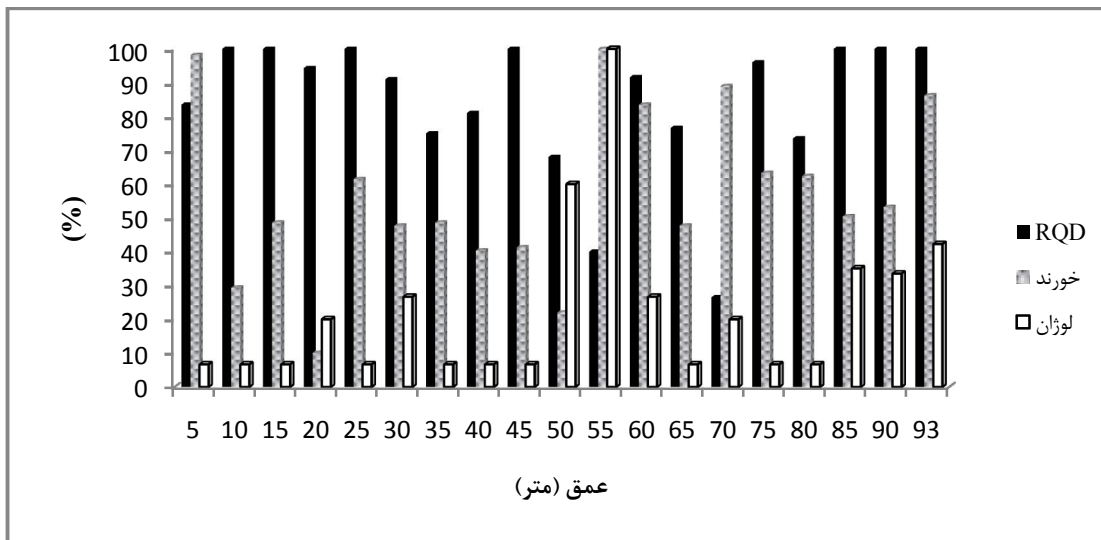
W/C	مارش (ثانیه)	چگالی (kg/Lit)	آب‌اندازی (%)		خوردن سیمان (kg)	P _{max} (bar)	عمق (متر)		نام گمانه
			۲ ساعت	۱ ساعت			تا	از	
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۹۴	۴۰	۹۳	۹۰	G1LP12
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۵۸	۴۰	۹۰	۸۵	
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۵۵	۴۰	۸۵	۸۰	
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۶۸	۴۰	۸۰	۷۵	
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۶۹	۴۰	۷۵	۷۰	
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۹۷	۴۰	۷۰	۶۵	
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۵۲	۴۰	۶۵	۶۰	
۰/۶	۳۱	۱/۷۱	۲	۱	۹۱	۴۰	۶۰	۵۵	
۰/۶	۳۱	۱/۷۱	۲	۱	۱۰۹	۴۰	۵۵	۵۰	
۰/۶	۳۱	۱/۷۱	۲	۱	۲۴	۴۰	۵۰	۴۵	
۰/۶	۳۱	۱/۷۱	۲	۱	۴۵	۴۰	۴۵	۴۰	
۰/۶	۳۱	۱/۷۱	۲	۱	۴۴	۴۰	۴۰	۳۵	
۰/۶	۳۱	۱/۷۱	۲	۱	۵۳	۴۰	۳۵	۳۰	
۰/۶	۳۱	۱/۷۱	۲	۱	۵۲	۲۵	۳۰	۲۵	
۰/۶	۳۲	۱/۷۲	۲	۱	۶۷	۲۵	۲۵	۲۰	
۰/۶	۳۲	۱/۷۲	۲	۱	۱۱	۲۵	۲۰	۱۵	
۰/۶	۳۲	۱/۷۲	۲	۱	۵۳	۲۵	۱۵	۱۰	
۰/۶	۳۱	۱/۷۱	۲	۱	۳۲	۱۲	۱۰	۵	
۰/۶	۳۱	۱/۷۱	۲	۱	۱۰۷	۱۲	۵	۰	
۰/۶	۳۱	۱/۶۶	۲	۱	۲۳۳	۴۰	۸۱/۳۸	۷۵	G1LP13
۰/۶	۳۱	۱/۶۶	۲	۱	۶۹	۴۰	۷۵	۷۰	
۰/۶	۳۱	۱/۶۵	۲	۱	۱۱۹	۴۰	۷۰	۶۵	
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۴۴	۴۰	۶۵	۶۰	
۰/۶	۳۳	۱/۷۰	۲	۱	۳۱۹	۴۰	۶۰	۵۵	
۰/۶	۳۰	۱/۷۰	۲	۱	۳۵	۴۰	۵۵	۵۰	

ادامه جدول ۴-۱۱

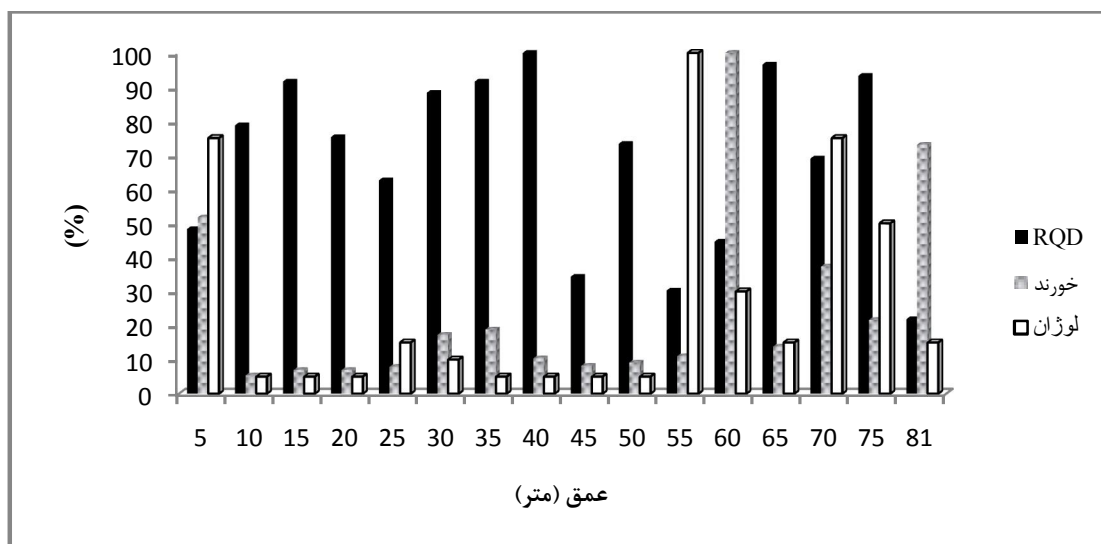
W/C	مارش (ثانیه)	چگالی (kg/Lit)	آب‌اندازی (%)		خورد سیمان (kg)	P _{max} (bar)	عمق (متر)		نام گمانه
			۲ ساعت	۱ ساعت			تا	از	
۰/۶	۳۰	۱/۷۰	۲	۱	۲۹	۴۰	۵۰	۴۵	G1LP13
۰/۶	۳۲	۱/۶۸	۲	۱	۲۶	۴۰	۴۵	۴۰	
۰/۶	۳۲	۱/۶۸	۲	۱	۳۳	۴۰	۴۰	۳۵	
۰/۶	۳۲	۱/۷۰	۲	۱	۶۰	۴۰	۳۵	۳۰	
۰/۶	۳۲	۱/۷۰	۲	۱	۵۵	۲۵	۳۰	۲۵	
۰/۶	۳۲	۱/۷۰	۲	۱	۲۵	۲۵	۲۵	۲۰	
۰/۶	۳۲	۱/۷۰	۲	۱	۲۲	۲۵	۲۰	۱۴	
۰/۶	۳۲	۱/۷۰	۲	۱	۲۲	۲۵	۱۴	۱۰	
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۱۷	۱۲	۱۰	۵	
۰/۶	۳۲	۱/۷۱	۲	۱	۱۶۵	۱۲	۵	۰	
۰/۶	۳۰	۱/۶۲	۵	۲	۲۰	۴۰	۶۹/۹۱	۶۵	G1LP14
۰/۶	۳۰	۱/۶۲	۵	۲	۳۰	۴۰	۶۵	۶۰	
۰/۶	۳۰	۱/۶۴	۵	۲	۶۹	۴۰	۶۰	۵۵	
۰/۶	۳۰	۱/۶۴	۴	۲	۱۳۷	۴۰	۵۵	۵۰	
۰/۶	۳۰	۱/۶۵	۴	۲	۴۱	۴۰	۵۰	۴۵	
۰/۶	۳۰	۱/۶۴	۱/۵	۱	۲۹۴	۴۰	۴۵	۴۰	
۰/۶	۳۰	۱/۶۴	۱/۵	۱	۱۷۰	۴۰	۴۰	۳۵	
۰/۶	۳۰	۱/۶۶	۱/۵	۱	۵۱	۴۰	۳۵	۳۰	
۰/۶	۳۰	۱/۶۵	۱/۵	۱	۲۶	۲۵	۳۰	۲۵	
۰/۶	۳۰	۱/۶۰	۱/۵	۱	۵۲	۲۵	۲۵	۲۰	
۰/۶	۳۱	۱/۶۵	۱/۵	۱	۱	۲۵	۲۰	۱۵	
۰/۶	۳۱	۱/۶۵	۱/۵	۱	۳۷	۲۵	۱۵	۱۰	
۰/۶	۳۱	۱/۶۵	۱/۵	۱	۱۲	۱۲	۱۰	۵	
۰/۶	۳۱	۱/۶۵	۱/۵	۱	۳۲۰	۱۲	۵	۰	

در جدول فوق در گمانه G1LP14 به علت وجود آب در لوله انتقال دوغاب، مقدار چگالی کاهش یافته است، اما با این وجود به علت مسائل اقتصادی و آزمایشی بودن تزریق از این دوغاب جهت تزریق استفاده شد.

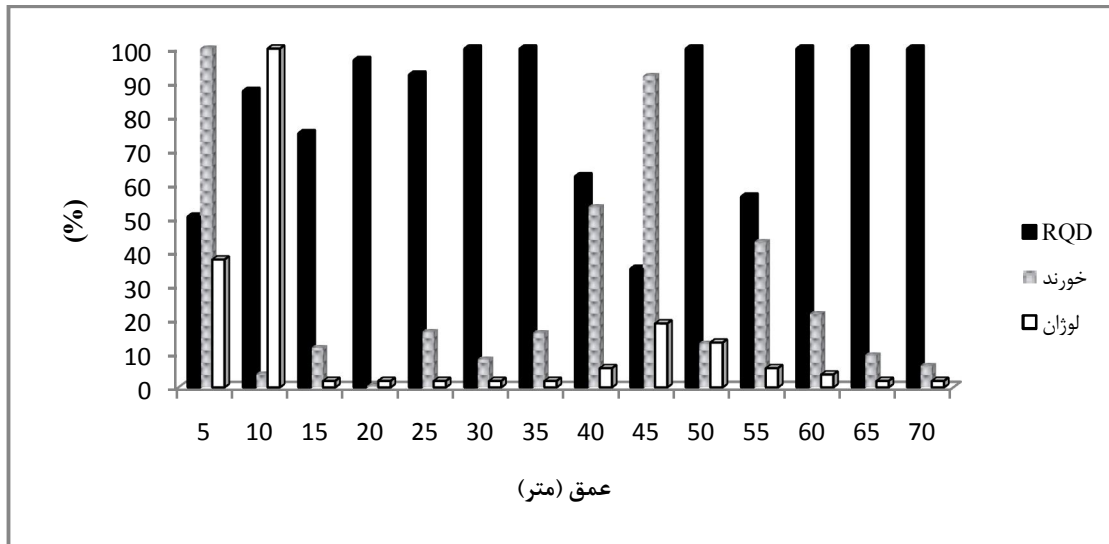
در شکل‌های ۴-۱۹، ۴-۲۰ و ۴-۲۱ مقایسه بین پارامترهای خوردند سیمان، عدد لوژان و RQD در گمانه‌های تزریق آزمایشی نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۱۹- مقایسه پارامترهای خورند و لوژان و RQD در گمانه G1LP12



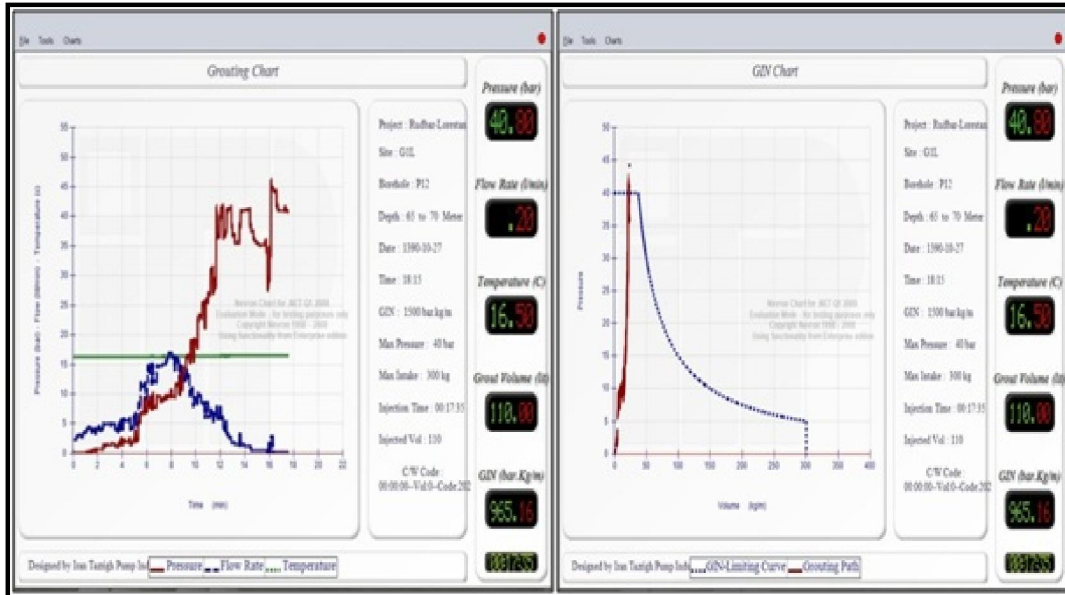
شکل ۴-۲۰- مقایسه پارامترهای خورند و لوژان و RQD در گمانه G1LP13



شکل ۴-۲۱- مقایسه پارامترهای خوردن و لوژان و RQD در گمانه G1LP14

با توجه به نتایج بدست آمده از جداول و شکل‌ها و مقایسه‌های میزان خوردن و RQD و عدد لوژان، مشخص می‌شود که سنگ‌های ناحیه دارای نفوذپذیری کم تا متوسط هستند. برای مقاطع ۵ متری با افزایش مقدار RQD نسبتاً میزان خوردن و عدد لوژان کاهش یافته است. در نمودارها و نتایج بدست آمده در برخی موارد عدم هماهنگی میان مقادیر خوردن دوغاب و RQD وجود دارد، پیش‌بینی می‌شود که این موضوع به علت باز شدن درزه‌هایی است که دارای میان لایه‌های شیلی هستند و نیز وجود برخی حفرات بزرگ و کوچک زیرزمینی می‌تواند مزید بر علت باشد. ولی در کل نتایج تزریق گمانه‌های آزمایشی با توجه به مشخصات ذکر شده و حدود فشار و حجم و عدد G.I.N انتخاب شده رضایت‌بخش می‌باشد

نمونه‌ای از نحوه ثبت داده‌ها توسط رایانه در حین تزریق و مسیرهای تزریق و نمودار G.I.N در شکل-های ۴-۲۲ و ۴-۲۳ نشان داده شده‌اند. از نظر نمودار مربوط به مسیر تزریق در روش G.I.N، بهترین حالت تزریق زمانی است که مسیرهای فشار و خوردن از یک نقطه شروع شوند و با گذشت زمان به تدریج از همدیگر فاصله بگیرند. یعنی منحنی فشار به علت پر شدن درزه‌ها شروع به بالا رفتن کرده و منحنی خوردن با اشباع شدن گمانه و درزه‌ها رو به پایین و به سمت صفر حرکت می‌کند



شکل ۴-۲۲- منحنی عدد G.I.N و مسیر تزریق مربوط به گمانه G1LP12



شکل ۴-۲۳- منحنی عدد G.I.N و مسیر تزریق مربوط به گمانه G1LP13

در جدول ۴-۱۲ مقایسه‌ای از خورند سیمان گمانه‌های آزمایشی برای عمق‌های مختلف انجام گرفت، با توجه به این جدول یک بار برای همه گمانه‌ها، عمق ۷۰ متر در نظر گرفته شد و در بار دوم گمانه‌ها به صورت ۳ محدوده از عمق تقسیم و سپس مقایسه شدند.

جدول ۴-۱۲- مقایسه خوردن سیمان در عمق‌های مختلف

محدوده مقایسه عمق (متر)	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۰	>۵۰
خوردن سیمان در مقاطع (kg)	۹۴۳	۱۰۹۵	۱۱۲۲	۱۷۶۸

با توجه به جدول فوق خوردن گمانه‌ها با افزایش عمق بیشتر می‌شود و این امر می‌تواند به دلایل زیر باشد:

- (۱) با افزایش عمق فشار افزایش یافته در نتیجه دوغاب با فشار زیاد بر تنش‌های ثقلی غلبه کرده و راه نفوذ به درزه‌های موجود را پیدا می‌کند و در نتیجه خوردن افزایش می‌یابد.
- (۲) وجود درزه‌هایی که توسط فشارهای کم آزمایش فشار آب لوژان باز نشده و با اعمال فشار تزریق دوغاب مقداری باز شده و دوغاب در آنها نفوذ می‌کند.
- (۳) وجود شرایطی از توده‌سنگ که اجرا و تزریق پرده آببند را ضروری می‌سازد.

(۴) وجود میان لایه‌های شیلی که در اثر فشار تزریق باز می‌شوند، اما هنگام مغزه‌گیری و محاسبه RQD نمود پیدا نمی‌کنند. در نتیجه این گونه به نظر می‌رسد که با افزایش RQD خوردن بالا رفته است.

بنابراین با توجه به نتایج تزریق در گمانه‌های آزمایشی مشخص می‌شود که عدد G.I.N اختیاری و حدود انتخاب شده مفید می‌باشند. همچنین با بررسی منحنی‌های مسیره‌های تزریق، مشخص می‌شود که بهترین نوع تزریق رخ داده است و برای تزریق پرده آببند از همین حدود استفاده خواهد شد.

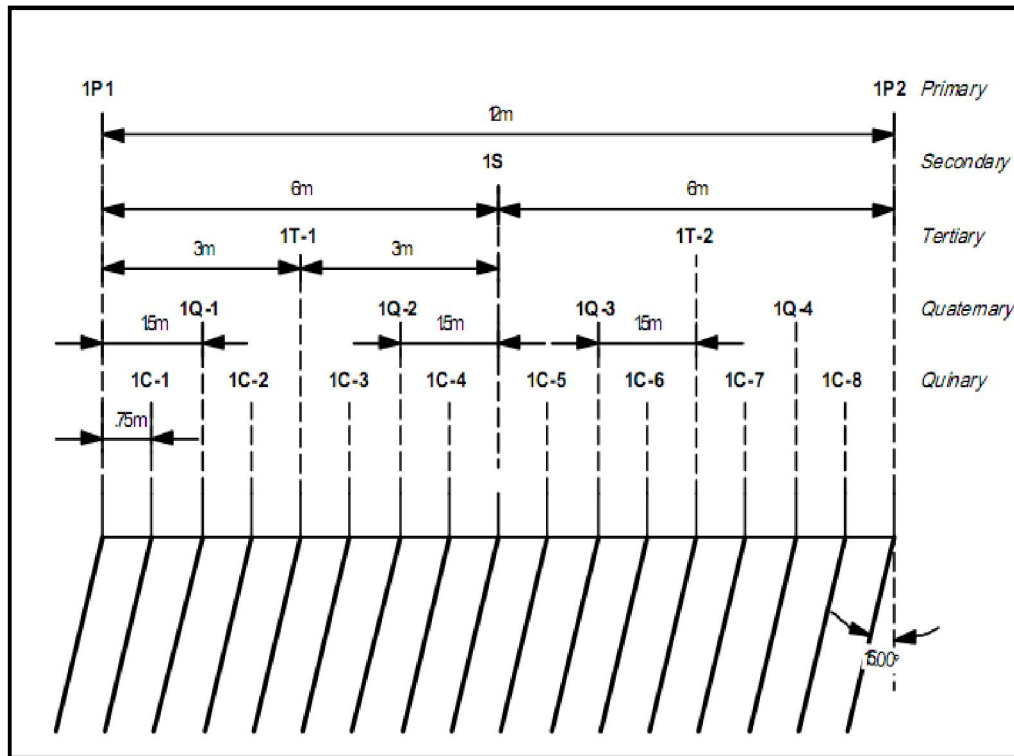
۴-۱۱- طراحی پرده آببند جناح چپ

پس از انجام تزریق آزمایشی و نتایج حاصله در گالری G1L (تونل نعل اسبی به ارتفاع ۳/۵ متر و عرض ۳ متر) که به طول ۹۶ متر در جناح چپ سد زیر هسته واقع است، پرده آببند با مشخصات زیر طراحی و اجرا گردید:

طول پرده آببند متناسب با طول گالری: ۹۶ متر؛

نوع پرده با توجه به نتایج حاصل از تزریق آزمایشی: گمانه‌های تک ردیفه؛

تعداد گمانه‌ها: با توجه به اینکه گمانه‌های سری P ۱۲ متر از یکدیگر فاصله دارند، بر اساس روش تقسیم فاصله میانی ۹ گمانه سری P، ۸ گمانه سری S بین گمانه‌های سری P، ۱۶ گمانه سری T بین گمانه‌های سری S و P و ۳۲ گمانه سری Q بین سایر سری‌ها به عنوان گمانه‌های تشکیل دهنده پرده آببند انتخاب شدند. بنابراین با تزریق ۶۵ گمانه، شامل سری‌های P, S, T, Q، در جناح چپ پرده آببند تشکیل خواهد شد. لازم به ذکر است که هرچه به سمت انتهای گالری (به سمت گمانه P۲۰) نزدیک شویم از عمق گمانه‌ها کاسته می‌شود، زیرا از محدوده محور سد دور شده و فشار آب کمتری به آنجا وارد می‌شود و نشت آب نیز در آن ناحیه کمتر خواهد بود، بنابراین برای صرفه‌جویی در زمان و هزینه، کاهش عمق این گمانه‌ها راهکار بسیار خوبی خواهد بود. بنابراین با توجه به تقسیم فاصله میانی، فاصله بین گمانه‌های سری اول: ۱۲ متر، سری دوم ۶ متر، سری سوم ۳ متر، سری چهارم ۱/۵ متر است، در شکل ۴-۲۴ آرایش گمانه‌های پرده آببند نشان داده شده است.

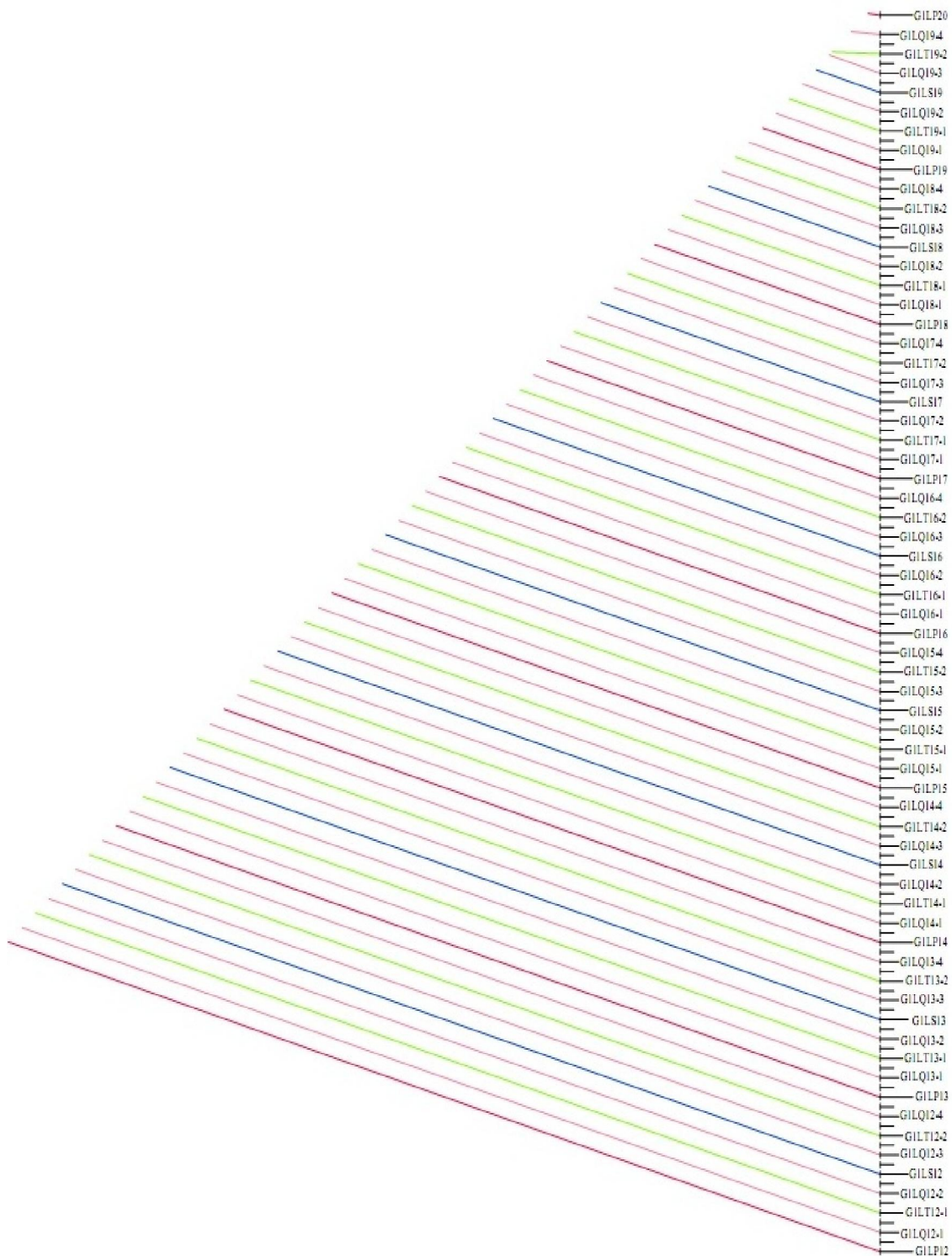


شکل ۴-۲۴- آرایش گمانه‌ها به روش تقسیم فاصله میانی گالری چپ سد رودبار لرستان

زاویه حفاری گمانه‌ها نسبت به قائم ۱۵ - ۰ درجه متغیر؛

آزیموت حفاری گمانه‌ها در راستای آزیموت خود گالری است (۱۱۸ درجه) و فاصله گمانه‌ها به اندازه ۷۰ سانتی‌متر از محور تونل (گالری) به سمت بالا دست (سمتی از گالری که به مخزن سد نزدیک‌تر است) می‌باشد. قطر حفاری گمانه‌های پرده آببند ۵۶ میلی‌متر بدون مغزه‌گیری می‌باشد. برای گمانه‌های ۵۶ میلی‌متری پرده آببند، آزمایش فشار آب لوژان گرفته نشده و تنها انحراف سنجی به صورت تصادفی به عمل می‌آید. در طول پرده آببند، تنها یک گمانه انحراف داشت که پس از پر کردن آن با دوغاب، گمانه دیگری در کنار آن حفاری گردید.

در شکل ۴-۲۵ تعداد گمانه‌ها و نیز پرده آببند قبل از تزریق نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۲۵- گمانه‌های پرده آببند

۴-۱۲- نتایج تزریق گمانه‌های پرده آببند

پس از آن که با روش‌های مختلف ارائه شده در فصل‌های پیش، نیاز به تزریق جناح چپ سد مشخص گردید، گمانه‌های پرده آببند با مشخصات مشابه تزریق در گمانه‌های آزمایشی، تزریق شدند. یعنی میزان فشار بیشینه و خوردند بیشینه و عدد G.I.N، همان مقادیری خواهند بود که برای تزریق آزمایشی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج مربوط به تزریق برای هر سری از گمانه‌ها در طول پرده آببند در جدول ۴-۹ نشان داده شده است. نسبت مخلوط آزمایش شده در گمانه‌های آزمایشی مناسب بوده و نیاز به تعدیل ندارد، بنابراین برای تمامی سری‌ها نسبت دوغاب تزریقی ۰/۶ بوده و در طول عملیات تزریق هیچ تغییری نداشته و یک مخلوط پایدار می‌باشد. در جدول ۴-۱۳ خوردند سیمان گمانه‌های پرده آببند نشان داده شده است، خوردند سیمان درج شده در جدول مربوط به مجموع خوردند در یک گمانه است.

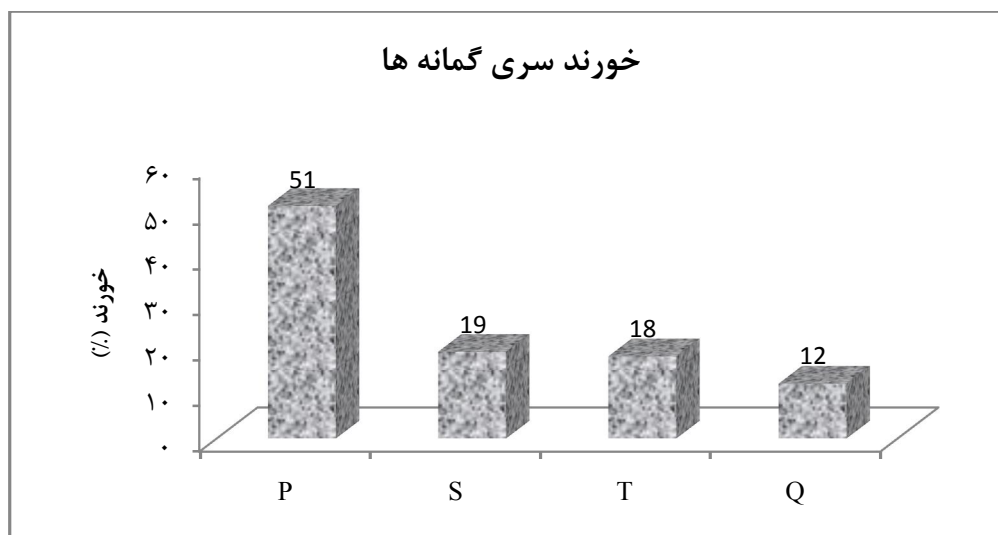
جدول ۴-۱۳- خوردند گمانه‌های پرده آببند در سری‌های اجرا شده

نام گمانه	عمق (m)	G.I.N (bar.kg/m)	W/C	خوردند سیمان (Kg)
P _{۱۲}	۹۲/۸۵	۱۵۰۰	۰/۶	۱۱۸۱
P _{۱۳}	۸۱/۳۸	۱۵۰۰	۰/۶	۱۲۷۳
P _{۱۴}	۶۹/۹۱	۱۵۰۰	۰/۶	۱۲۶۰
P _{۱۵}	۵۸/۴۴	۱۵۰۰	۰/۶	۱۸۳۶
P _{۱۶}	۴۶/۹۷	۱۵۰۰	۰/۶	۶۳
P _{۱۷}	۳۵/۵	۱۵۰۰	۰/۶	۱۵۴۳
P _{۱۸}	۲۴/۰۳	۱۵۰۰	۰/۶	۸۹۱
P _{۱۹}	۱۲/۵۵	۱۵۰۰	۰/۶	۳۶۲۷
S _{۱۲}	۸۷/۱۲	۱۵۰۰	۰/۶	۸۳۳
S _{۱۳}	۷۵/۶۵	۱۵۰۰	۰/۶	۵۸۱
S _{۱۴}	۶۴/۱۷	۱۵۰۰	۰/۶	۴۴۰
S _{۱۵}	۵۲/۷	۱۵۰۰	۰/۶	۵۵۰
S _{۱۶}	۴۱/۲۳	۱۵۰۰	۰/۶	۸۶۵
S _{۱۷}	۲۹/۷۶	۱۵۰۰	۰/۶	۲۶۷
S _{۱۸}	۱۸/۲۹	۱۵۰۰	۰/۶	۲۰۱
S _{۱۹}	۶/۸۲	۱۵۰۰	۰/۶	۱۸۵
T _{۱۳-۱}	۸۹/۹۹	۱۵۰۰	۰/۶	۸۰۱
T _{۱۳-۲}	۸۴/۲۵	۱۵۰۰	۰/۶	۶۸۰
T _{۱۳-۱}	۷۸/۵۱	۱۵۰۰	۰/۶	۶۴۲
T _{۱۳-۲}	۷۲/۷۸	۱۵۰۰	۰/۶	۵۵۸
T _{۱۴-۱}	۶۷/۰۴	۱۵۰۰	۰/۶	۵۷۷

ادامه جدول ۴-۱۳

نام گمانه	عمق (m)	G.I.N (bar.kg/m)	W/C	خورند سیمان (Kg)
T _{۱۴-۲}	۶۱/۳۱	۱۵۰۰	۰/۱۶	۵۴۳
T _{۱۵-۱}	۵۵/۵۷	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۱۱
T _{۱۵-۲}	۴۹/۸۴	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۹۸
T _{۱۶-۱}	۴۴/۱	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۵۶
T _{۱۶-۲}	۳۸/۳۶	۱۵۰۰	۰/۱۶	۴۰۹
T _{۱۷-۱}	۳۲/۶۳	۱۵۰۰	۰/۱۶	۳۰۰
T _{۱۷-۲}	۲۶/۸۹	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۳۳
T _{۱۸-۱}	۲۱/۱۶	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۴۳
T _{۱۸-۲}	۱۵/۴۲	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۱۱
T _{۱۹-۱}	۹/۶۹	۱۵۰۰	۰/۱۶	۵۱
T _{۱۹-۲}	۴/۹۳	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۷۱۰
Q _{۱۲-۱}	۹۱/۴۲	۱۵۰۰	۰/۱۶	۹۴۲
Q _{۱۲-۲}	۸۸/۵۵	۱۵۰۰	۰/۱۶	۷۱۷
Q _{۱۲-۳}	۸۵/۶۸	۱۵۰۰	۰/۱۶	۷۱۷
Q _{۱۲-۴}	۸۲/۸۲	۱۵۰۰	۰/۱۶	۶۹۸
Q _{۱۳-۱}	۷۹/۹۵	۱۵۰۰	۰/۱۶	۴۱۹
Q _{۱۳-۲}	۷۷/۰۸	۱۵۰۰	۰/۱۶	۸۴۲
Q _{۱۳-۳}	۷۴/۳۱	۱۵۰۰	۰/۱۶	۵۰۶
Q _{۱۳-۴}	۷۱/۳۴	۱۵۰۰	۰/۱۶	۵۲۰
Q _{۱۴-۱}	۶۸/۴۸	۱۵۰۰	۰/۱۶	۳۸۱
Q _{۱۴-۲}	۶۵/۶۱	۱۵۰۰	۰/۱۶	۳۰۲
Q _{۱۴-۳}	۶۲/۷۴	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۸۶
Q _{۱۴-۴}	۵۹/۸۷	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۹۰
Q _{۱۵-۱}	۵۷/۰۱	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۷۴
Q _{۱۵-۲}	۵۴/۱۴	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۸۱
Q _{۱۵-۳}	۵۱/۲۷	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۶۸
Q _{۱۵-۴}	۴۸/۴	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۱۰
Q _{۱۶-۱}	۴۵/۵۳	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۹۰
Q _{۱۶-۲}	۴۲/۶۷	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۴۴
Q _{۱۶-۳}	۳۹/۸	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۲۵
Q _{۱۶-۴}	۳۶/۹۳	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۳۷
Q _{۱۷-۱}	۳۴/۰۶	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۴۸
Q _{۱۷-۲}	۳۱/۱۹	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۹۸
Q _{۱۷-۳}	۲۸/۳۳	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۷۵
Q _{۱۷-۴}	۲۵/۴۶	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۸۴
Q _{۱۸-۱}	۲۲/۵۹	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۶۸
Q _{۱۸-۲}	۱۹/۷۲	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۷۰
Q _{۱۸-۳}	۱۶/۸۶	۱۵۰۰	۰/۱۶	۱۸۳
Q _{۱۸-۴}	۱۳/۹۹	۱۵۰۰	۰/۱۶	۳۶
Q _{۱۹-۱}	۱۱/۱۲	۱۵۰۰	۰/۱۶	۵۹
Q _{۱۹-۲}	۸/۲۵	۱۵۰۰	۰/۱۶	۴۸
Q _{۱۹-۴}	۲/۹۸	۱۵۰۰	۰/۱۶	۲۴

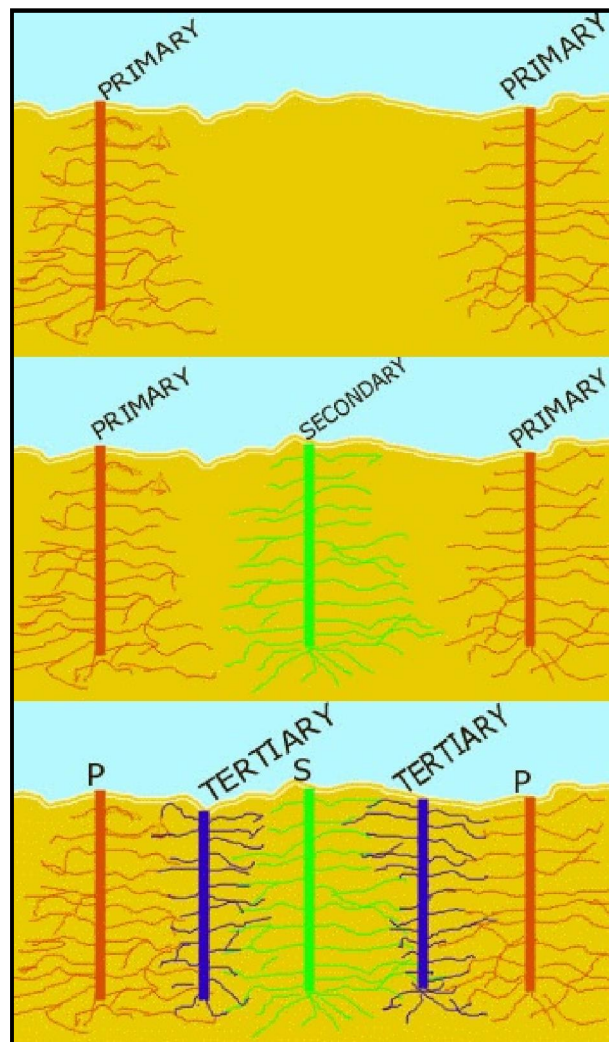
یکی از اصول تزریق موفق کاهش خوردن سیمان در گمانه‌ها از یک سری به سری بعد می‌باشد، با توجه به جدول فوق و شکل ۴-۲۶، پس از تزریق گمانه‌های پرده آببند، میزان خوردن سیمان از یک سری به سری بعد در گمانه‌ها کاهش می‌یابد که این موضوع نشان دهنده پر شدن درزه‌های بزرگ‌تر در مراحل اولیه بوده و در نهایت در مراحل بعدی درزه‌های کوچک‌تر پر شده و به طبع آن میزان خوردن نیز کاهش می‌یابد. این روند برای پرده آببند بسیار مهم بوده و در صورتی که این مهم حاصل نشود، ایجاد پرده آببند امری بیهوده بوده و اتلاف هزینه می‌باشد.



شکل ۴-۲۶- میزان خوردن دوغاب سیمانی سری‌های مختلف گمانه‌های پرده آببند

در مرحله اول که سری P حفاری و تزریق می‌گردد میزان خوردن آن به اندازه نیمی از خوردن کل سری‌ها می‌باشد (۵۱ درصد) و این امر درزه‌ها و شکاف‌های بزرگ موجود در منطقه را پر می‌کند، اما از آنجایی که فاصله میان گمانه‌های سری P، ۱۲ متر از همدیگر است نمی‌توان انتظار داشت که دوغاب تزریق شده تمامی فواصل بین گمانه‌ها را پوشش دهد، زیرا با توجه به غلظت دوغاب تزریقی شعاع تزریق در گمانه‌ها کمتر از ۱۲ متر می‌باشد، این امر لزوم اجرای سری‌های دیگر پرده آببند را آشکار می‌سازد. در مرحله دوم گمانه‌های سری S حفاری و تزریق می‌شوند. خوردن این سری از گمانه‌ها ۱۹ درصد بوده و برای جبران فاصله زیاد بین سری اول مناسب هستند و علاوه بر آن درزه‌های کوچک‌تر را پر می‌کند. در مرحله بعد گمانه‌های سری T، تزریق می‌شوند، این گمانه‌ها در فاصله ۳

متری از هم قرار دارند و در نتیجه در این مرحله کم کم پرده آببند در حال شکل گرفتن می‌باشد و با توجه به فاصله این گمانه‌ها دوغاب تزریق شده در مراحل اولیه را به هم متصل می‌کند. این سری از گمانه‌ها ۱۸ درصد از خوردند دوغاب سیمانی را به خود اختصاص می‌دهند. در مرحله آخر و مرحله پایانی گمانه‌های سری Q که درزه‌های بسیار ریز را پر می‌کنند، حفاری و تزریق می‌گردند. این سری ۱۲ درصد از دوغاب سیمانی را به خود اختصاص می‌دهد و تمامی درزه‌ها بسته شده و فاصله بین تمامی گمانه‌ها پر شده و دوغاب‌های تزریق شده از طریق درزه‌های پر شده به هم متصل می‌شوند و نشان از یک پرده آببند یکپارچه و مقاوم را دارند. در شکل ۴-۲۷، روند تزریق سری‌های مختلف گمانه‌ها و پر کردن فضای بین سری‌ها نشان داده شده است.

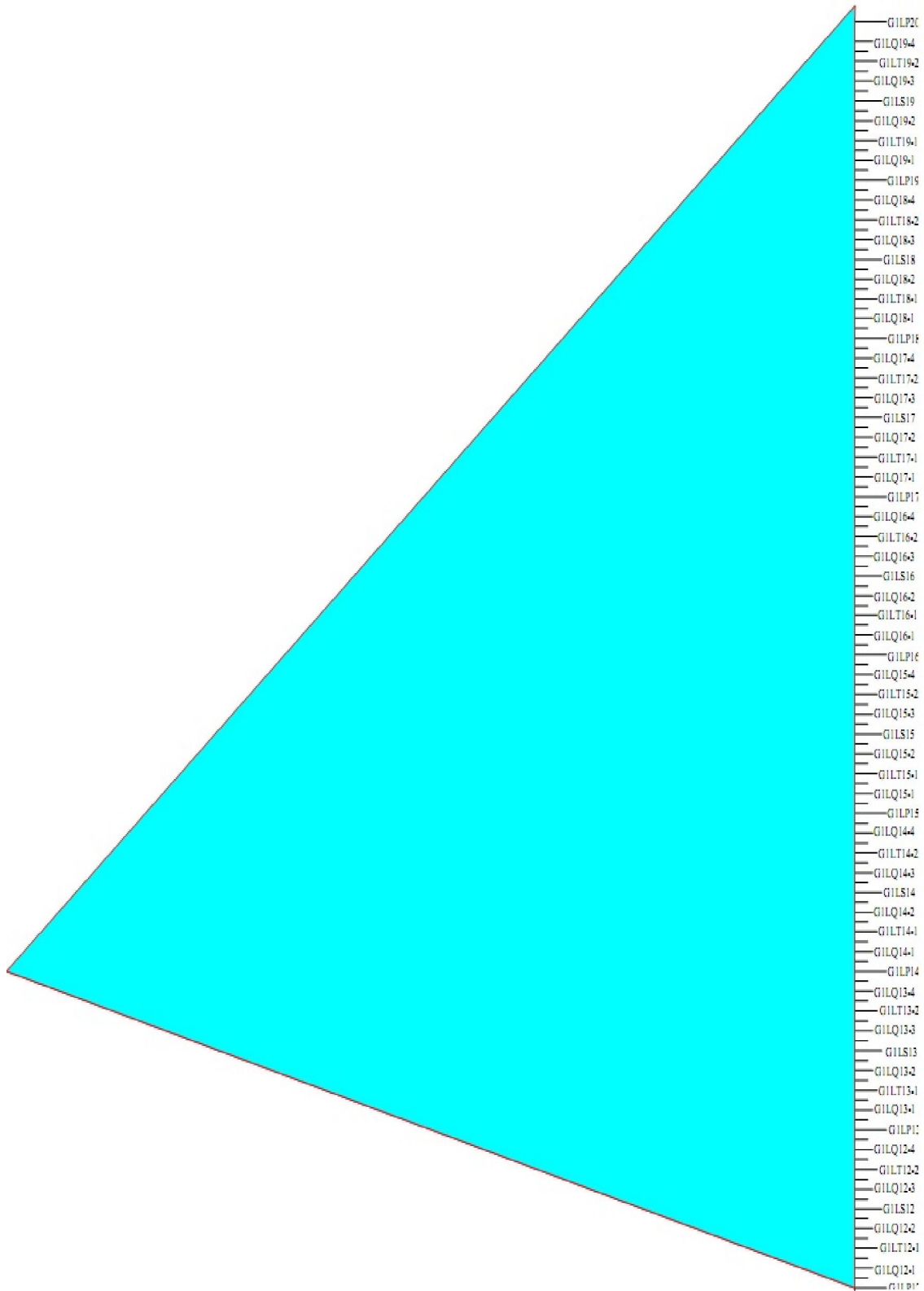


شکل ۴-۲۷- تزریق سری‌های مختلف گمانه‌ها (http://www.grouters.org, 2012)

در آخرین مرحله از ایجاد پرده آببند، بعد از حفاری و تزریق تمامی گمانه‌ها در سری‌های مختلف، برای حصول اطمینان از آببندی کامل تکیه‌گاه سد، چند گمانه بازرسی^۱ حفاری و تزریق می‌شوند. در جناح چپ سد رودبار لرستان دو گمانه K۱۲ و K۱۳ به عمق‌های ۲۵ و ۴۰ متر به عنوان گمانه-های بازرسی بین گمانه‌های P۱۲ تا P۱۴ بر خلاف زاویه حفاری آن‌ها، حفاری گردیدند. خوردند سیمان برای گمانه K۱۲ برابر ۱۹۳/۶۷ کیلوگرم و برای گمانه K۱۳ برابر ۱۷۲/۲۵ کیلوگرم می‌باشد. با توجه به خوردند کم این گمانه‌ها، پرده آببند اجرا شده و تزریق در آن رضایت‌بخش ارزیابی می‌شود.

در شکل ۴-۲۸ پرده آببند در مرحله آخر یعنی تزریق گمانه‌ها نشان داده شده است.

^۱ - Check Hole



شکل ۴-۲۸- پرده آببند پس از تزریق

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادات

۵ فصل پنجم

۵-۱- مقدمه

در این تحقیق، طراحی پرده آببند بر اساس تزریق آزمایشی ۳ گمانه و نتایج بدست آمده از آنها و نیز آزمایش‌های نفوذپذیری لوژان، رده‌بندی RQD و شاخص نفوذپذیری ثانویه بررسی شد. سپس آرایش و تعداد ردیف گمانه‌ها و فاصله آنها از یکدیگر بر اساس روش تقسیم فاصله میانی و نتایج خوردند گمانه‌های تزریق مشخص گردید. با توجه به تزریق گمانه‌ها به روش G.I.N، مشخص شد که این روش از لحاظ فنی بسیار مفید بوده و از نظر اقتصادی و زمانی نسبت به روش‌های سنتی مقرون به صرفه بوده و کیفیت تزریق افزایش یافته است. با توجه به اهمیت آب‌بندی پی و تکیه‌گاه‌های سد، روش حفاری و تزریق با روش G.I.N انتخاب شده نیاز سد مورد مطالعه را برآورده کرده و دارای قابلیت

اطمینان بالایی می‌باشد. در این فصل مراحل گام به گام تزریق گمانه‌ها و نتایج بدست آمده و پیشنهادات جهت بهبود عملیات ارائه خواهد شد.

۵-۲- نتایج

۱- عملیات تزریق در بر دارنده پمپاژ ثابت دوغاب با نرخ پایین تا متوسط همراه با اعمال فشار کند به گونه‌ای که دوغاب به میزان بیشتری به داخل توده سنگ نفوذ کند، می‌باشد. تزریق زمانی متوقف می‌شود که حجم دوغاب تزریق شده و یا فشار تزریق و یا عدد G.I.N روی منحنی برای یک مقطع، به حد تعریف شده برسد. پارامترهای تزریق باید به دقت مطابق با مشخصات مکانیکی سنگ در محل اجرای پرده آب‌بند انتخاب شوند و پس از انتخاب، این پارامترها بایستی دقیقاً به اجرا گذاشته شوند.

۲- عدد G.I.N انتخاب شده 1500 bar.kg/m بوده و حدود فشار و حجم در جداول برای عمق‌های مختلف آورده شده‌اند، نسبت مخلوط برای تمامی مقاطع به دلیل کارایی خوب در تزریق گمانه‌های آزمایشی $0/6$ انتخاب شده است. با توجه به تزریقات انجام شده و نتایج به دست آمده، این مقادیر درست انتخاب شده و مفید می‌باشند.

۳- پرده آب‌بند اجرا شده تک ردیفی بوده و با توجه به نتایج بدست آمده از گمانه‌های بازرسی میزان خوردند دوغاب در این گمانه‌ها پایین می‌باشد و این به معنای کافی بودن تعداد ردیف گمانه‌های پرده آب‌بند است.

۴- به عنوان یک قاعده کلی، مشخصات توده‌های سنگ خرد شده کاملاً ناهمگن هستند. هر عملیات تزریق باید این اصل را در محاسبات خود وارد کند. از این رو، در نتایج حاصل از هر عملیات تزریقی، همیشه باید انتظار پراکندگی را داشت و همینطور پذیرفت. با وجود این، روش G.I.N، حداقل بخش مهمی از موارد عدم اطمینان پیش آمده را به طور خودکار تصحیح می‌کند. روش G.I.N به عنوان یک روش مناسب جهت دستیابی به نتایج عالی است، به دلایلی همچون، پرهیز از مقاومت پایین، شستگی آسان توسط جریان، دوغاب‌های ناپایدار به خاطر در معرض آب بودن. باید به این مطلب تأکید داشت

که مقدار درست G.I.N مورد استفاده، نتیجه تعادل بین شرایط طبیعی سنگ و ملزومات طراحی است و هزینه‌های حفاری و عملیات تزریق بر روی آن تأثیرگذار هستند.

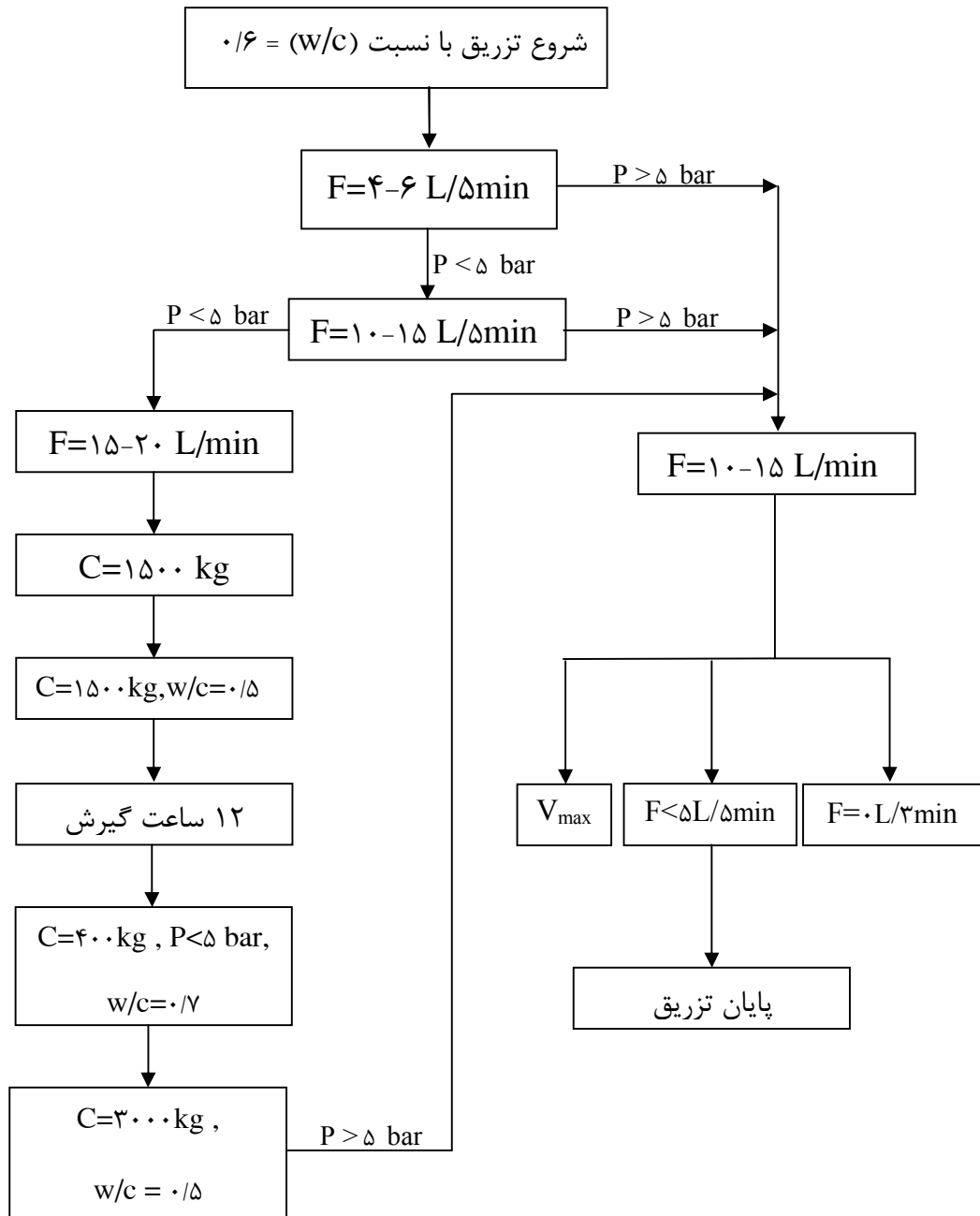
۵- میزان خوردند دوغاب سیمانی از یک سری به سری بعد در گمانه‌ها کاهش یافته که این موضوع نشان دهنده پر شدن درزه‌های بزرگ‌تر در مراحل اولیه است و در نهایت در مراحل بعدی درزه‌های کوچک‌تر پر شده و به طبع آن میزان خوردند نیز کاهش می‌یابد. این روند برای پرده آب‌بند بسیار مهم می‌باشد.

۶- شاخص نفوذپذیری ثانویه یا SPI، مبنای خوبی جهت طبقه‌بندی توده‌سنگ از نظر نفوذپذیری و ارائه پیشنهاد تزریق است. با توجه به نتایج جداول و نمودارها و بر اساس شاخص SPI، انجام تزریق در گالری جناح چپ الزامی می‌باشد.

۷- با استفاده از روش G.I.N و انجام تزریق آزمایشی، بسیاری از ویژگی‌های توده‌سنگ آشکار می‌گردد. این در حالی است که در روش‌های سنتی با انجام آزمایش فشار آب لوژان، شرایط واقعی تزریق دوغاب در نظر گرفته نمی‌شد.

۸- گمانه‌ها باید طوری طراحی شوند که هم بیشترین تعداد درزه را در بر گیرند و هم مانع شکست هیدرولیکی حین تزریق شوند.

با توجه به انجام تزریق در گالری جناح چپ به روش G.I.N، مراحل انجام تزریق را برای انجام تزریق بهینه و اقتصادی می‌توان به صورت شکل ۵-۱ نشان داد. در این مراحل سعی بر این است که حجم سیمان مصرفی به حداقل برسد و بهترین تزریق در توده‌سنگ انجام شود. برای این منظور، زمانی که خوردند دوغاب در حال افزایش بیش از حد باشد، نسبت اختلاط کاهش یافته و یا عملیات تزریق متوقف می‌گردد تا گیرش دوغاب رخ دهد.



شکل ۵-۱- مراحل انجام تزریق

۵-۳- پیشنهادات

برای انجام عملی مراحل تزریق در سد رودبار لرستان می‌توان به برخی از موارد اشاره کرد که در نظر گرفتن آنها کمک شایانی به بهبود تزریق خواهد کرد. هدف از این پیشنهادات ارائه مطالبی است که در سدهای جدید در حال احداث در کشور در زمینه تزریق پرده آببند به روش G.I.N بیشتر روی آنها تأکید و دقت شود تا نتایج بیش از پیش مطلوب واقع شوند.

۱- تعیین مقاومت فشاری دوغاب و نزدیک‌تر کردن آن به مقاومت توده‌سنگ منطقه مورد تزریق، تا به این روش پرده آببند تقریباً با شرایط توده‌سنگ محیط همگن شود.

۲- دقت بیشتر در تعیین پارامترهای منحنی حد GIN: P_{max} و V_{max} . به این معنی که، در هنگام تزریق آزمایشی تمامی حدود روش G.I.N یک به یک متناسب با شرایط توده‌سنگ بررسی و تطبیق داده شوند و در نهایت بهترین حد انتخاب شود.

۴- استفاده از مقاطع با طول‌های زیاد، افزایش با عمق زیر زمین، به گونه‌ای پیشرونده به عنوان یک روش تسریع در عملیات تزریق می‌باشد و باعث صرفه‌جویی‌هایی هر چند اندک می‌شود.

۵- گمانه‌های آزمایشی به فاصله ۱۲ متر از همدیگر و به صورت متوالی حفار شدند، پیشنهاد می‌شود این گمانه‌ها در ابتدا، وسط و انتهای گالری حفاری و تزریق شوند تا خصوصیات توده‌سنگ‌های تمام نواحی گالری قابل شناسایی باشد.

۶- استفاده از نسبت‌های جداگانه دوغاب برای هر گمانه آزمایشی، تا سایر نسبت‌ها نیز بررسی شده و بهترین نسبت برای تزریق گمانه‌های پرده آببند به دست آید.

۷- آموزش و تفهیم مراحل روش G.I.N به متصدی دستگاه تزریق قبل از حفاری گمانه‌ها، تا سرعت تزریق گمانه‌ها و در نهایت سرعت کل کار افزایش یافته و نتایج حاصله، از اطمینان بیشتری برخوردار باشد.

منابع

منابع

سایت اینترنتی <http://www.Google.com> (۲۰۱۲).

سایت اینترنتی <http://www.itp-co.ir> (۲۰۱۲).

سایت اینترنتی <http://www.grouters.org> (۲۰۱۲).

اصانلو م، (۱۳۷۰) "مهندسی حفاری"، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.

خوش‌برش ا، (۱۳۸۳) "سد و نیروگاه کارون ۳ / حفاری و تزریق"، انتشارات جام اندیشه.

عسگری ج، ترکش‌دوز ن، شاه‌حسینی ع، (۱۳۸۶) "گزارش زمین‌شناسی مهندسی طرح سد و

نیروگاه رودبار لرستان"، مطالعات مرحله دوم.

علوی‌نائینی م، (۱۳۷۲) "چینه‌شناسی پالئوزوئیک ایران"، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران

شماره ۵، سازمان زمین‌شناسی ایران.

کاشکی غ، (۱۳۷۹) "بررسی نتایج تزریق انجام شده در پرده آب‌بند سد و نیروگاه کارون ۳"،

چهارمین کنفرانس سد سازی ایران.

Atlas Copco Craelius. (1995), " Grouting Equipment Product Catalogue ".

Bieniawski Z.T. (1984), " Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling " Rotterdam- Netherland.

Bremen R. (1997), " Use Of Additives In Cement Grouts " The International Journal On Hydropower & Dams, Vol.4, Issues 1, 71-76.

Bremen R. (2001), " Rehabilitation Of The Langetental Flood Diversion Tunnel " AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress.

Deere D. and Lombardi G. (1985), " Grout Slurries-Thick or Thin?" Issues in Dam Grouting, Proceedings of The Session Sponsored By The Geotechnical Engineering Division of The American Society of Civil Engineers in Conjunction With the ASCE, Convention in Denver, Colorado.

Foyo A. Sanchez M.A. Tomillo C. (2005), " A Proposal For a Secondary Permeability Index Obtained From Water Pressure Tests In Dam Foundations " Engineering Geology, 69-82.

Houlsby A.C. (1982), " Optimum Water:Cement Ratios For Rock Grouting." Grouting In Geotechnical Engineering, Proceedings Of Confrence Sponsored By The Geotechnical Engineering Division, ASCE, New Orleans, 331-371.

Houlsby A.C. (1990), " Construction and Design of Cement Grouting " Wiley Sones Publication.

Lombardi G. (1985), " The Role Of Cohesion In Cement Grouting Of Rock " ICOLD, CIGB, Quinzeme Cogresdes Grands Barrages, Lausanne, 235-261.

Lombardi G. (1990), " La Perméabilité Et l'injectabilité Des Massifs Rocheux Fissurés " Revue Française Géotechnique, 5-29.

Lombardi G. (1996), " Selecting the Grouting Intensity " The International Juurnal on Hydropower & Dams, Vol.3, Issues 4, 62-66.

Lombardi G. (1997), " G.I.N Principle Revisited " The International Journal of Water Power and Dam Construction, 33-36.

Lombardi G. (1999), " Grouting of Rock with Cement mixes " ICOLD Sympsium, Dam Foundation: Problems and Solutions, Anyalya (Turkey), 1-16.

Lombardi G. (2003), " Grouting Of Rock Masses " 3rd International Conference On Grouting And Grout Treatment.

Lombardi G. and Deere D. (1993), " Grouting Design And Control Using the GIN Principle ", 15-22.

Lugeon M. (1933), " Barrages Et Géologie " Librairie de l'Université de Lausanne.

Trucotte L. Savard B. Lombardi G. Jobin H. (1994), " The Use Stable Grout And G.I.N Technique In Grouting For Dam Rehabilitation " Annual Meeting Canadian Dam Safty Confrance CDSA And CANCOLD, Winnipeg, Manitoba, 137-161.