

ارزیابی میزان کارایی تست لوژان و تزریق بر درزه های هیدرولیکی و پرده آبنده به روش GIN در پروژه سد رودبار لرستان

حسن وقار فرد^۱، مهدی نورآبادی^{۲*}

^۱استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه هرمزگان.

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، هرمزگان.

NOURABADIMEHDI@YAHOO.COM

چکیده

محدود بودن منابع آب شیرین در سراسر جهان و به ویژه در ایران، مهندسين را برآن داشته تا از روش های مختلف مانند احداث سدها و ذخیره کردن آب برای تامین نیاز خود استفاده کنند. نظر به شرایط زمین شناسی مختلف موجود در کشور، آب بندی سدها و احداث پرده آب بند با دوغاب های پایه سیمان حائز اهمیت ویژه ای می باشد. ساخت پرده آب بند و عملیات تزریق در فنداسیون سدها مستلزم صرف هزینه و وقت بالایی است. بنابراین انتخاب روش مناسب تزریق در پرده آب بند از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این پژوهش مختصری از اجرای روش عدد شدت تزریق (GIN) در پرده آب بند پروژه سد رودبار لرستان با هدف تاثیر آن بر روی درزه های هیدرولیکی و آب بندی فونداسیون سد انجام گرفته است. بدین منظور با مطالعه دقیق شرایط زمین شناسی فونداسیون سد و درزه ها و شناخت ارتباط هیدرولیکی بین آنها و با توجه به نتایج آزمایش نفوذپذیری در سنگ (لوژان)، نسبت ثابت آب به سیمان ($W/C=0.65$) برای روش تزریق مناسب و موثرتر مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای انجام فرایند تزریق موفق عدد شدت تزریق برای پروژه رودبار ۱۵۰۰ پیشنهاد شد.

کلمات کلیدی: سد رودبار لرستان، عدد شدت تزریق، پرده آب بند، نسبت آب به سیمان، تست لوژان.

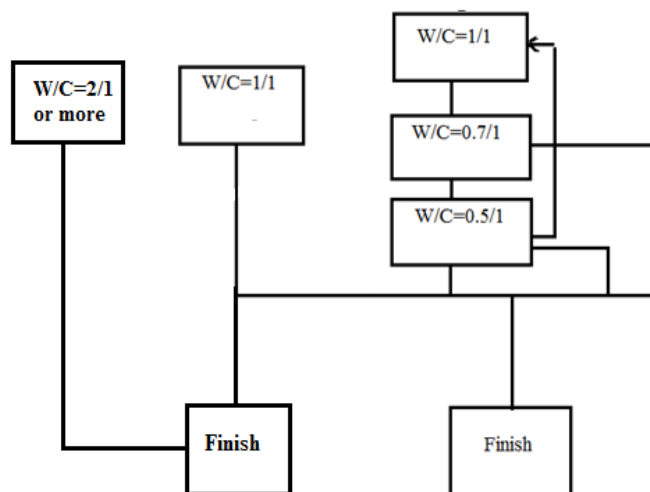
۱- مقدمه

عملیات تزریق در فعالیت های عمرانی روشی است که در آن مخلوط دوغاب با اعمال فشار در درون درزه و شکاف ها و ناپیوستگی های تشکیلات سنگی یا خاکی به منظور ایجاد پرده آبنده، تحکیم و تقویت تشکیلات زمین، پر کردن فضا های خالی سازه و سنگ و ... وارد می شود. این روش در حدود ۲۰۰ سال قبل توسط یک مهندس فرانسوی به نام چارلز برینی با وسایل بسیار ابتدایی بکار گرفته شد (خوش برش ا، ۱۳۸۲). از آن زمان تاکنون تکنیک های تزریق توسعه بسیاری یافته است، به طوری که امروزه به عنوان یک روش علمی و کاربردی در بسیاری از فعالیت های عمرانی بطور گسترده کاربرد یافته است. در کشور ما با توجه به فعالیت پروژه های عمرانی، بویژه سد سازی در چند سال اخیر، تکنیکها و روشهای تزریق به همان نسبت توسعه یافته است. این روش به عنوان یکی از شاخصه های اصلی دانش سد سازی کشور از اهمیت بسیاری برخوردار است. تزریق عبارت است از راندن سیال به داخل شکستگی ها و منافذ سنگ به منظور تشکیل یک محیط پایدار و مقاوم که بدین منظور گمانه هایی در توده سنگ حفر شده و فرآیند تزریق انجام می شود (شریف زاده م. و همکاران، ۱۳۸۷). دلایل عملی و اقتصادی برای ابداع روش عدد شدت تزریق (Grouting Intensity Number)، کاهش مسیر حرکت دوغاب و حجم دوغاب تزریق شده می باشد. هدف از ارائه این مقاله ارزیابی نتایج آزمایش نفوذپذیری در سنگ (لوژان) در روش GIN با توجه به نسبت ثابت آب به سیمان پیشنهادی طرح ($W/C=0.65$) در مقایسه با روش سنتی (دوغاب های رقیق به غلیظ) و مقایسه آن ها در جهت انتخاب روش بهینه تزریق می باشد.

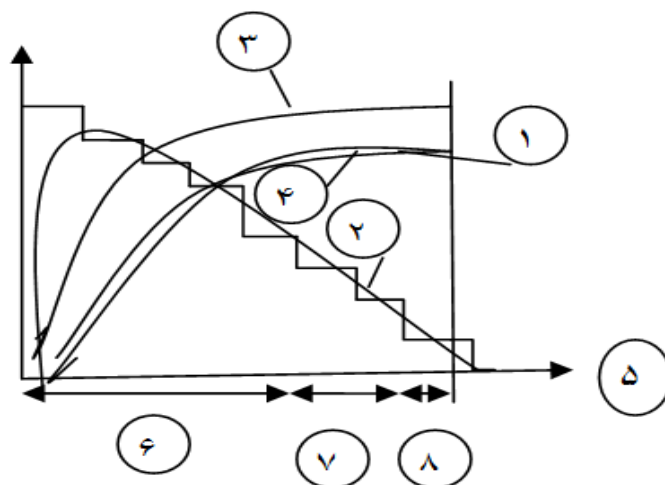
۱- روش های تزریق

۱-۲- روش سنتی تزریق

عملیات تزریق به روش سنتی با رقیق ترین سوسپانسیون تعیین شده طرح آغاز می شود که شامل نسبت آب به سیمان $(W/C=1/3 \text{ تا } W/C=1/1)$ متغیر است. هنگامی که دبی، متوسط بوده و فشار تدریجاً افزایش یابد، عملیات تزریق با دانسیته اولیه سوسپانسیون و تا مرحله اشباع ادامه می یابد. در حالتی که دبی پمپاژ زیاد و فشار پایین باقی بماند، به تدریج سوسپانسیون غلیظتر $(W/C=0.7-0.5)$ تزریق می شود تا اینکه مرحله فوق برعکس شود به صورتی که فشار، شروع به افزایش و دبی رو به کاهش گذارد (Dalmalm T., 2004) شکل ۱ و ۲ فلوجارت کلی تزریق به روش سنتی را نشان می دهد.



شکل ۱) فلوجارت کلی تزریق به روش سنتی



شکل ۲) نمایی از فرایند کلی عملیات تزریق به روش سنتی

همانطور که شکل ۱ نشان می دهد، در صورتی که گمانه با دوغابهای رقیق تر اشباع نشد، نسبت آب به سیمان تا زمانی ادامه می یابد که گمانه به فشار مورد نظر طرح رسیده و اشباع گردد (گروه ژئوتکنیک کارگاه رودبار، ۱۳۸۸). موارد نشان داده در شکل ۲ مطابق ذیل می باشد.

۱- فشار تزریق، ۲- نرخ خوردن، ۳- حجم دوغاب، ۴- شعاع نفوذ، ۵- زمان تزریق، ۶- مرحله پر کردن، ۷- مرحله انتقالی (نفوذ به درزه های دورتر)، ۸- مرحله امتناع (اشباع گمانه) (شریف زاده م. و همکاران، ۱۳۸۷).

دوغابهای استفاده شده جهت فرایند تزریق به روش سنتی همانطور که بیان شد از نسبت های رقیقتر به نسبت های غلیظتر تغییر می نماید. جدول ۱ ویژگی های دوغاب های تزریق شده را به روش سنتی نشان می دهد (گروه ژئوتکنیک کارگاه رودبار، ۱۳۸۸).

جدول ۱) مشخصات دوغاب های تزریق به روش سنتی

| نسبت دوغاب (W/C) | وزن سیمان (kg) | میزان آب (lit) | وزن مخصوص (g/cm ³) | مارش (Sec) | آب اندازی (دو ساعته) | مقاومت تراکمی (mpa) | دمای دوغاب | میزان افزودنی ها | |
|------------------|----------------|----------------|--------------------------------|------------|----------------------|---------------------|------------|------------------|---------------------------------|
| | | | | | | | | بتونیت (Kg) | (AS-105) Kg ٪۱ وزنی سیمان |
| ۲/۱ | ۲۰۰ | ۴۰۰ | ۱.۳۰ | ۵۳ | ۲ | ۲۵.۵ | ۲۲ | -- | ۲ |
| ۱.۵/۱ | ۲۰۰ | ۳۰۰ | ۱.۳۹ | ۴۱ | ۶ | ۴۶.۵ | ۲۲ | ۴.۵ | ۲ |
| ۱/۱ | ۲۰۰ | ۲۰۰ | ۱.۵۳ | ۳۹ | ۱.۵ | ۷۱.۶ | ۲۲ | ۴.۶ | ۲ |
| ۰.۷۵/۱ | ۲۰۰ | ۱۴۰ | ۱.۶۵ | ۳۰ | ۲ | ۱۵۵ | ۲۲ | ۱.۵۲ | ۲ |
| ۰.۶/۱ | ۲۰۰ | ۱۲۰ | ۱.۷۵ | ۳۲ | ۱.۵ | ۱۸۳ | ۲۲ | -- | ۲ |
| ۰.۵/۱ | ۲۰۰ | ۱۰۰ | ۱.۸۵ | ۳۴ | ۲ | ۳۲۰ | ۲۲ | ۲ | ۲ |

۲-۲- روش عدد شدت تزریق (GIN)

عملیات تزریق در ساختار سنگ نه تنها وجود ناپیوستگی ها بلکه ارتباط بین ناپیوستگی ها و نوع آنها نیز حائز اهمیت است. از جمله مقوله های مهمی که در سال های اخیر در خصوص آییند کردن سدها و بهبود عملکرد اجرایی مورد توجه همگان به ویژه طراحان و مشاوران سد سازی قرار گرفته است، مبحث عدد شدت تزریق (Grouting Intensity Number) بر درزه های هیدرولیکی توسط مجریان طرح می باشد. اساس این روش برای اولین بار توسط لمباردی و دیر انتشار یافت. به طور کلی این روش به دلیل مزایا و سهولت اجرا با استقبال خوبی در جهان همراه بوده و هم اکنون در تعدادی از پروژه ها در پرده تزریق، آییندی و تحکیم توده سنگ در سدها بکار گرفته می شود. مانند بسیاری از روش های در حال آزمایش این روش نیز با محدودیت های مختص به خود مواجه است. از جمله محدودیت های آن استفاده در خاک ها و همچنین سازندهای کارستی است (شریف زاده م. و همکاران، ۱۳۸۷).

مبنای روش عدد شدت تزریق استفاده از دوغاب هایی با نسبت یکسان در طول عملیات تزریق، مشخص بودن حجم دوغاب تزریقی و افزایش ایمنی در مقابل فرایند جکینگ هیدرولیکی است. روش جین مستلزم کنترل دقیق فرآیند توسط نمودارهای رایانه ای بوسیله دستگاه ثبات، منحنی های فشار و سرعت و حجم کل تزریق جریان دوغاب بر حسب زمان، به علاوه منحنی تراوایی (سرعت جریان نسبت به فشار تزریق q/p) بر حسب زمان می باشد. استفاده از دوغابهایی با خصوصیات مقاومتی مناسب و پایداری در مقابل شستشو و نفوذ در عملیات تزریق دارای اهمیت ویژه ای است. انتخاب تنها یک دوغاب برای کل عملیات تزریق که به معنای بهترین انتخاب ممکن است در این روش عملیات تزریق را آسان کرده و از خطاهای

اجرای جلوبگیری می نماید. اجتناب از تست لوژان در گمانه ها در طول عملیات تزریق، که این عمل باعث کم کردن هزینه ها و جلوبگیری از اتلاف وقت نیز می شود (جهت حصول نتایج بهتر تست لوژان قبل و بعد از عملیات انجام می گردد). جهت افزایش ویسکوزیته دوغاب در حین عملیات تزریق، افزودنی فوق روان کننده با ویژگی های مناسب به منظور نفوذ بیشتر دوغاب به درزه های سنگ بدون تغییر در غلظت دوغاب به مخلوط اضافه می گردد. مقدار جین از حاصلضرب P.V بنام عدد شدت تزریق بیان می شود، به طوری که در آن PF فشار نهایی و VF حداکثر حجم دوغابی است که در هر متر از گمانه تزریق می شود (Lombardi G., deere D., 1993).

۳- مصالح یا مواد تزریق

در عملیات تزریق از مواد و مصالح مختلفی استفاده می شود که نوع و مشخصات آن ها به اهداف تزریق و نیز ویژگی های سنگ یا خاک تحت تزریق بستگی دارد. مواد اصلی تزریق شامل سیمان، آب و ماسه همراه با مواد افزودنی و غیره می باشند. جدول ۲ ویژگی های اساسی مصالح تزریق را نشان می دهد (گروه ژئوتکنیک کارگاه رودبار، ۱۳۸۸).

جدول ۲) ویژگی های اساسی مصالح مورد استفاده در عملیات تزریق

| سیمان | آب | بتونیت |
|--|--|--|
| نرمی (بلین) بین 4200-5000 Cm ² /gr | بی رنگ دارای مواد معلق کمتر از 2000 pmm سولفات کمتر از 100 mgr/Lit و کلرید کمتر از 50 mgr/Lit | حد روانی (LL=350)، رطوبت ۱۳٪ و باقی مانده روی الک شماره ۲۰۰ برابر ۲/۵٪ |

۴- زمین شناسی و موقعیت پروژه

سد رودبار لرستان در بین رشته کوه های بلند زاگرس با عرض شمالی ۳۲°، ۵۴'، ۲۳" و طول شرقی ۴۹°، ۴۱'، ۷" در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان الیگودرز واقع است. تراز تاج سد ۱۷۶۳ متر و تراز محل نیروگاه حدوداً ۱۳۰۰ متر بالاتر از سطح دریا می باشد. محل احداث سد دره تنگی است که ارتفاع جناحین آن تا حدود تراز ۲۵۰۰ متر از سطح دریا ادامه دارد. رودخانه رودبار پس از ادامه مسیر خود در حدود ۳۳ کیلومتر در جهت جنوب شرقی از محل ساختگاه سد که از این پس رودخانه الکن نامیده می شود با یک چرخش تند به نیروگاه که تقریباً در فاصله افقی ۳ کیلومتری پائین دست محور سد واقع شده است، می رسد. از نظر زمین شناسی محدوده مورد مطالعه دارای ویژگی های مشترک زون زاگرس مرتفع با روند چین خوردگی اصلی شمال باختری- جنوب خاوری می باشد. سازندهای اصلی زمین شناسی منطقه مطابق جدول ۳ می باشد (گروه ژئوتکنیک کارگاه رودبار، ۱۳۸۸).

جدول ۳) سازندهای زمین شناسی ساختگاه سد

| میزان RQD | ساختارهای زمین شناسی | لیتولوژی | سن | سازند زمین شناسی |
|-----------|------------------------------|------------------------|--------------|------------------|
| ۵۵ | وجود میان لایه های شیل و برش | دولومیت و دولومیت آهکی | پرکامبرین | هرمز |
| ۷۵ | دارای گسل خوردگی فراوان | دولومیت آهکی | پرمین | دالان |
| ۴۵ | وجود لامیناسیون | آهک نازک لایه | اوایل کرتاسه | سروک |

مطابق جدول ۳ وجود سنگهای آهکی با مقاومت بالا با میزان (Rock Quality Designation) RQD متوسط تا بالا و همچنین وجود گسل خوردگی فراوان در ساختگاه سد باعث بروز پیچیدگی های فراوانی در فرایند تزریق در این منطقه شده است. بنابراین استفاده از روش عدد شدت تزریق توجه بیشتری داشته و نیاز به مطالعات فراوان دارد.

۵- آزمون فشار آب (لوژان)

تستهای لوژان معمولاً در مقاطع ۵ متری تزریق مورد استفاده قرار میگیرند. هدف از انجام تست لوژان تعیین میزان خوردند گمانه و مطالعه وضعیت ژئوتکنیکی و تنشهای موجود در لایه های زمین شناسی و ارتباط هیدرولیکی درزه ها است. تجربه ثابت کرده که انطباق بسیار زیادی بین مقدار لوژان و میزان خوردند دوغاب وجود دارد. انجام تست لوژان در گمانه های مغزه گیری (سری P) انجام میگردد. در انتهای فرایند تزریق پرده آبنند، تست لوژان بمنظور ارزیابی کارایی عملیات تزریق انجام میگردد. در تست لوژان توجه به نکاتی از قبیل چسبندگی و وزن مخصوص آب و دوغاب به جهت تشخیص خوردند حائز اهمیت است. (گلزار پور صادقی ر. و همکاران، ۱۳۹۰).

چرا که آب یک مایع نیوتونی بوده و قادر است به درزه های ریزتری از سنگ نفوذ نماید در حالی که سیمان به علت خاصیت ویسکوزیته (مایع بینگهام) ممکن است به بسیاری از درزه های سنگ نفوذ نکند (Lombardi G., 2003). بنابراین دوغاب هایی با نسبت ثابت به دلیل شباهت ساختاری زیاد به آب می توانند شعاع نفوذ بیشتری نسبت به دوغاب هایی با ترکیب غیریکسان دارند. تست لوژان معمولاً به روش ۵ پله ای انجام گرفته و به طور کلی ۷۵ دقیقه به طول می انجامد. طبق تست های لوژان انجام گرفته در محور سد انواع اصلی نوع لوژان مطابق جدول ۴ می باشد.

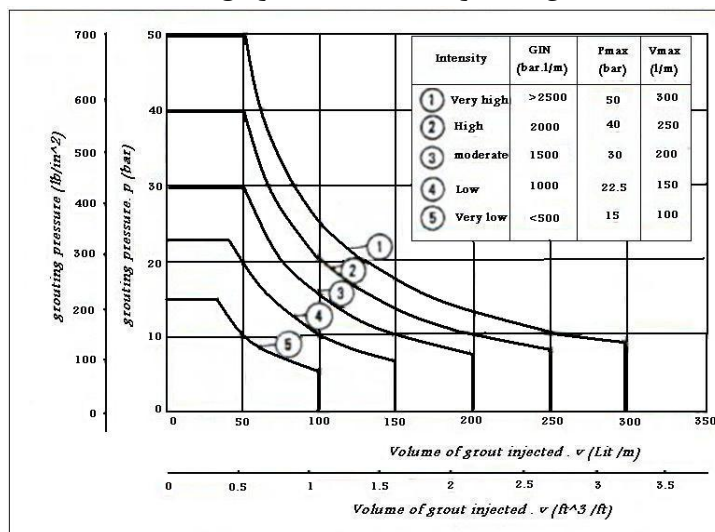
جدول ۴) موقعیت گمانه های سری P و نوع جریان در آنها

| نام گمانه | عمق | موقعیت | نوع جریان |
|-----------|------|-----------|--------------|
| P1 | ۹۲ | هسته | Laminar |
| P2 | ۹۳/۵ | هسته | Laminar |
| P3 | ۹۲ | هسته | Laminar |
| P1 | ۹۰ | جناح راست | Wash out |
| P2 | ۸۰ | جناح راست | Wash out |
| P3 | ۲۴ | جناح راست | Wash out |
| P1 | ۹۳ | جناح چپ | Void Filling |
| P2 | ۸۱ | جناح چپ | Wash out |
| P3 | ۷۰ | جناح چپ | Laminar |

۶- انتخاب مقدار GIN

طراح سد و تیم ژئوتکنیک و تزریق او باید مقدار GIN را برای پرده تزریق طراحی شده انتخاب کنند، در حالیکه مولفین مقدار GIN متوسط حدوداً ۱۵۰۰ bar.l/m را برای شروع توصیه می کنند. شرایط زمین شناسی، مقدار فرار آب و فشارهای بالابر پس از آبگیری مهمترین نکات در تعیین عدد شدت تزریق می باشد. البته مناسبترین روش برای تعیین مقدار عدد شدت تزریق استفاده از روش تزریق آزمایشی بر روی سازندهای زمین شناسی مختلف است. شکل ۳ محدوده های عدد شدت تزریق را نشان می دهد (Lombardi G., deere D., 1993).

شکل ۳) مقادیر مختلف عدد شدت تزریق (GIN)



در تکیه گاهها، حد فشار بالاتر ممکن است کمتر از آن چیزی باشد که برای کف دره انتخاب می شود و دلیل آنهم اختلاف در اعماق مخزن و فشار لایه های زمین شناسی است. با مطالعات زمین شناسی مهندسی انجام گرفته از لاگ های گمانه های به دست آمده در محل پروژه و همچنین با توجه به تست فشار آب، عدد شدت تزریق ۱۵۰۰ (به ازای هر متر گمانه ۳۰۰ کیلوگرم) برای پروژه پیشنهاد گردید. همچنین با توجه به نتایج تزریق آزمایشی نسبت آب به سیمان طرح نیز عدد ثابت ۰/۶۵ پیشنهاد شد. جداول ۵ و ۶ موقعیت گمانه هایی که تزریق بر روی آنها توسط روش جین و سنتی انجام گرفته و مقایسه میزان خوردند آنها و تست لوژان را نشان می دهد.

جدول ۵) میزان خوردند گمانه ها به روش GIN و میزان کارایی تست لوژان در آنها

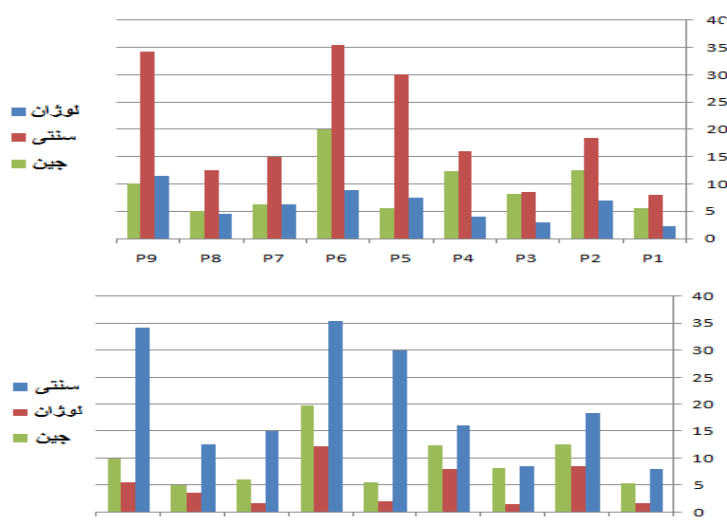
| نام گمانه | عمق | موقعیت | میزان لوژان | میزان خوردند گمانه به روش GIN Lit/m | میزان لوژان بعد از عملیات تزریق به روش GIN |
|-----------|------|-----------|-------------|--|--|
| P1 | ۹۲ | هسته | ۱/۷ | ۵/۵ | ۰/۶ |
| P2 | ۹۳/۵ | هسته | ۸/۵ | ۱۲/۵ | ۲/۸ |
| P3 | ۹۲ | هسته | ۱/۵ | ۸/۲ | ۰/۳ |
| P1 | ۹۰ | جناح راست | ۸/۱ | ۱۲/۴ | ۱/۲ |
| P2 | ۸۰ | جناح راست | ۲/۱ | ۵/۶ | ۱/۱ |
| P3 | ۲۴ | جناح راست | ۱۲/۳ | ۲۰ | ۱/۷ |
| P1 | ۹۳ | جناح چپ | ۱/۷ | ۶/۲ | ۰/۲ |
| P2 | ۸۱ | جناح چپ | ۳/۷ | ۵/۱ | ۱ |
| P3 | ۷۰ | جناح چپ | ۵/۶ | ۱۰ | ۲/۱ |

جدول ۶) میزان خوردند گمانه ها به روش سنتی و میزان کارایی تست لوژان در آنها

| نام گمانه | عمق | موقعیت | میزان لوژان | میزان خوردند گمانه به روش سنتی (Lit/m) | میزان لوژان بعد از عملیات تزریق به روش سنتی |
|-----------|------|-----------|-------------|--|---|
| P4 | ۹۱ | هسته | ۲/۲ | ۸ | ۰/۴ |
| P5 | ۹۰ | هسته | ۷ | ۱۸/۵ | ۱/۶ |
| P6 | ۸۸ | هسته | ۳ | ۸/۵ | ۰/۴۵ |
| P4 | ۹۲/۵ | جناح راست | ۴ | ۱۶ | ۰/۸ |
| P5 | ۷۸ | جناح راست | ۷/۵ | ۳۰ | ۰/۷۵ |
| P6 | ۵۲ | جناح راست | ۸/۹ | ۳۵/۵ | ۱/۲ |
| P4 | ۹۰ | جناح چپ | ۶/۲ | ۱۵ | ۰/۲ |
| P5 | ۷۸ | جناح چپ | ۴/۵ | ۱۲/۵ | ۰/۷ |
| P6 | ۶۸ | جناح چپ | ۱۱/۵ | ۳۴/۲ | ۱/۵ |

همانطور که جداول ۵ و ۶ نشان میدهند، میزان خوردند دوغاب در روش سنتی بیشتر از روش GIN می باشد. علت این امر را میتوان در این دانست که در روش سنتی دوغابهایی با غلظت های متغیر به داخل گمانه تزریق شده و همچنین شعاع نفوذ دوغاب در این روش بیشتر می باشد. بنابراین تمام درزه های باز و بسته سنگ تزریق شده و حجم دوغاب مصرفی افزایش می یابد. همچنین میزان خوردند دوغاب در جناح راست سد به علت وجود گسل و زون خرد شده در هردو روش تزریق بیشتر از سایر بخش ها می باشد.

مطابق تست های لوژان انجام گرفته در محل پروژه بعد از عملیات تزریق نشان می دهد، عملیات تزریق به خوبی بر روی گمانه ها تاثیر گذاشته و میزان لوژان را به زیر عدد ۳ رسانده است. همچنین به دلیل هماهنگی بیشتر غلظت دوغاب در روش سنتی با تست لوژان؛ مقدار لوژان کاهش بیشتری در مقایسه با روش GIN دارد. همچنین در شکل ۴ نمودارهای مقایسه خوردند دوغاب را با نتایج تست لوژان در روش سنتی و GIN نشان می دهد. نمودارها حاکی از برتری روش جین در قیاس با روش سنتی در گمانه های P1 تا P9 می باشد.



شکل ۴- نمودارهای میزان خوردند و لوژان به روش جین و سنتی

۷- نتیجه گیری

همانطور که بیان شد تزریق دوغاب امروزه به منظور افزایش پایداری سازه ها، افزایش مقاومت سازندهای سنگی و خاکی، آب بندی سدها و ذخیره ها و غیره کاربردهای فراوانی دارد. روش سنتی تزریق (دوغاب های رقیق تر به غلیظ تر) به دلیل مشکلات اجرایی فراوان، سختی اجرا، عدم پایداری دوغاب تزریق، زمان بر بودن عملیات، غیر اقتصادی بودن و غیره امروزه کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

روش عدد شدت تزریق (GIN) امروزه به دلیل مزایا و سهولت اجرا و همچنین ایمنی بالا در مقابل فرایند جکینگ هیدرولیکی به شدت مورد توجه بوده در سراسر جهان مورد استفاده قرار می گیرد. جدول ۷ برخی از مهمترین مزایا و معایب روش GIN و مقایسه آن را با روش سنتی نشان می دهد.

جدول ۷) مقایسه مزایا و معایب روش سنتی و GIN

| روش سنتی | مزایا | معایب |
|------------|---|---|
| | استفاده از تست لوژان تزریق در مناطق کارستیک تزریق با دوغابهایی با نسبتهای متفاوت افزایش شعاع تزریق | سختی کار پیچیدگی فرایند تزریق غیر اقتصادی بودن وقت گیر بودن غیر ایمنی بودن در برابر جکینگ هیدرولیکی |
| روش GIN | استفاده از یک دوغاب پایدار کاهش ریسک جکینگ هیدرولیکی اقتصادی بودن و صرفه جویی در وقت و هزینه سهولت در عملیات اجرا مطالعه دقیق ساختارها و سازندهای زمین شناسی قبل از اجرای فرایند | عدم استفاده در مناطق کارستیک شعاع تزریق اندک غیر اقتصادی بودن در حفرات باز |

توجه به نتایج ارائه شده این مطلب را ثابت می کند که استفاده از روش عدد شدت تزریق در پروژه رودبار لرستان به جای روش های سنتی کاهش هزینه های اجرایی و صرفه جویی در زمان اجرای پروژه را در پی خواهد داشت.

منابع

- خوش برش ا.، (۱۳۸۲)، سد و نیروگاه کارون ۳ حفاری و تزریق، انتشارات جام اندیشه.
- شریف زاده م.، خسروی م. و نودهی س.، (۱۳۸۷)، تقویت توده سنگها با دوغابهای پایه سیمانی در روش عدد شدت تزریق (GIN)، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.
- گلزار پور صادقی ر.، منیری ح. و حسینی ع.، (۱۳۹۰)، ارزیابی روش های سنتی تزریق دوغاب های پایه سیمانی و روش عدد شدت تزریق (G.I.N) در تقویت توده سنگ ها (مطالعه موردی سد بتنی دو قوسی شهید رجایی)، اولین کنفرانس بین المللی سد و نیروگاه های برق آبی.
- گروه ژئوتکنیک کارگاه رودبار.، (۱۳۸۸)، روش اجرای اولیه حفاری و تزریق پرده آبنسد رودبار لرستان، انتشارات دانش فنی کارگاه رودبار لرستان.
- Dalmalm, T, 2004, Choice of Grouting Method for Jointed Hard Rock based on Sealing Time Predictions, PhD Thesis Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Lombardi, G, deere, D, 1993, "Grouting design and control using the GIN principle", International Journal of Water Power and Dam Construction.
- Lombardi, G, 2003, "Grouting of rock masses", 3rd International conference on Grouting and Grout Treatment.