

SPI ارزیابی نفوذپذیری محور سد ابیورد با استفاده از شاخص نفوذپذیری ثانویه

غلامرضا لشکری پور^۱، محمد غفوری^۲، فهیمه صالحی متعهد^{۳*}، طاهر مرادی^۴، سید محمد موسوی مداح^۵

(۱) استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

(۳) دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

(۴) دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

(۵) دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

fahimehsalehi@ymail.com*

چکیده

سدخاکی ابیورد با هسته رسی در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب شرق شهر درگز در حال ساخت می‌باشد. در بحث طراحی عملیات تزریق یکی از مسائل مهم شناخت صحیح نفوذپذیری و وضعیت زمین‌شناسی و هیدرولیکی منطقه مورد نظر است. روشی که تاکنون برای بررسی نفوذپذیری توده‌های سنگی به کار برده شده است روش آزمایشی لوژن می‌باشد که در این روش بدست آوردن نفوذپذیری برحسب K یا ضریب نفوذپذیری باید عدد لوژن بدست آمده را به ضریب نفوذپذیری تبدیل کرد و هنوز رابطه مشخصی برای این تبدیل بدست نیامده است. در این تحقیق توده سنگ محور سد ابیورد براساس شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI که روش جدیدی برای تعیین نفوذپذیری و تزریق پذیری با استفاده از آزمایش لوژن می‌باشد طبقه بندی شده است. در نهایت راهکارهای مناسب آبندی هر قسمت بررسی شده است.

کلید واژه: سد ابیورد، نفوذپذیری، شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI)، تزریق.

Evaluation of permeability through Foundation of Abivard Dam on base of SPI

Abstract

Underconstruction Abivard earth fill dam is located on southeast of Dargaz city in Khorasan-e-Razavi province. Perfect design of grouting project is very closed to recognition of permeability, geological and hydrogeological conditions. Investigation of grouting potential, fracture and allowable pressure which are obtained from lugeon test's result are very useful for performing of sealing project. in order to calculate permeability index (k) in rock mass is an old enigmatic method for calculating of this index. This paper try to use SPI method (a new method to calculate permeability without using of K index) for zonation in Abivard dam's foundation rock mass and present suitable method to sealing in each area.

Keyword: Abivard dam, permeability, secondary permeability index (SPI), grouting.

مقدمه

نفوذپذیری یکی از عوامل اساسی در جهت طراحی پرده تزریق برای مانع شدن از فرار آب از طریق شالوده و جلوگیری از اثر منفی زه آب از میان مصالح شالوده می باشد. نشت در پی سدها باعث از دست دادن آب، بروز فشار بالا برنده و به خطر انداختن پایداری سد می گردد (۳). پروفیسور فویو و همکارانش در سال ۲۰۰۵ با استفاده از شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI تزریق پذیری توده سنگ را بررسی کردند (۵). در این تحقیق نفوذپذیری پی سد در حال احداث ابیورد با استفاده از این روش مورد مطالعه قرار گرفته است. این سد بر روی یکی از سرشاخه های رودخانه شور کال در محلی به نام کاتا در بند مختصات جغرافیائی "۵۵ و ۱۱ و ۵۹ شرقی و "۳۶ و ۲۵ و ۳۷ شمالی در چهار کیلومتری جنوب شرقی روستای ایلانجق در شهرستان درگز واقع است. تونل زنگلانو واقع در محدوده شرقی و جنوب شرقی شهرستان درگز، آب ذخیره شده در پشت سد ابیورد را از حوزه زنگلانو به حوزه شور کال منتقل می کند و برای آبیاری اراضی جنوب شرق درگز مورد استفاده قرار می گیرد. سد خاکی ابیورد به طول تاج ۲۴۷ متر و عرض ۱۰ متر طراحی شده است. ارتفاع سد از پی ۶۸ و از بستر رودخانه ۵۵ متر است. حجم مخزن سد ۵۷/۵۴ میلیون متر مکعب می باشد.

زمین شناسی

ساختمان سد ابیورد از سازندهای دوران دوم زمین شناسی تشکیل شده است که عمدتاً از تناوب لایه های ماسه سنگی دانه ریز نیمه سخت تا سخت کرم و قرمز تشکیل شده است که انواع کرم رنگ آن دارای ذراتی زاویه دارتر و درشت تر و همچنین تخلخل بیشتری نسبت به انواع قرمز رنگ آنها است که رسوبات عهد حاضر و رسوبات واریزه ای روی آنها قرار گرفته اند. شواهد نشان می دهد فرایندهای تکتونیکی و فرسایشی در تکیه گاه راست و چپ اثراتی را برجای نهاده اند. تشکیلات ارتفاع ساز در محل سد و در محدوده اطراف آن واحدهای ماسه سنگ آهکی و سنگ آهک سازند کلات به سن کرتاسه بالایی است که واحدهای مارنی به علت حساسیت به فرسایش مناطق پست و کم ارتفاع را در پائین دست محور تشکیل داده اند که قسمت اعظم آنها توسط رسوبات واریزه ای پوشیده شده است.

شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI

در تعیین نفوذپذیری سنگ با استفاده از آزمایش فشار آب باید عدد به دست آمده بر حسب لوژن به ضریب هدایت هیدرولیکی K تبدیل گردد اما تا کنون ارتباط دقیقی بین این دو ضریب بدست نیامده است. هر چند که روابط بسیاری توسط افراد مختلف ارائه شده است (۹). شاخص نفوذپذیری ثانویه بر حسب پارامترهای کلاسیک مانند فشار و جذب آب بنا نهاده شده و همچنین این شاخص بر خلاف لوژن نیازمند تغییرات سیستماتیک و روش انجام نیست. واحد شاخص SPI برابر است با $L/s \cdot m^2$ (لیتر بر ثانیه در مترمربع) در نتیجه این شاخص با توده سنگ ارتباط زیادی دارد (۴). می توان بر حسب این شاخص توده سنگ را طبقه بندی کرد.

$$SPI = C \left[\frac{\ln \frac{2Le}{r} + 1}{2(pLe)} \right] \times \frac{Q}{Ht}$$

C: ضریب ثابتی است که بستگی به ویسکوزیته سیال در سنگی به دمای ۱۰ درجه سانتی گراد دارد، Q: میزان آب جذب شده توسط درزه های سنگ بکر بر حسب لیتر، H: بار هیدرولیکی کلی ستون آب، Le: طول قطعه تزریق، t: مدت زمان اعمال هر پله فشار بر حسب ثانیه، r: شعاع گمانه بر حسب متر می باشد. این شاخص مبنایی جهت طبقه بندی توده سنگ و نشانگر میزان نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی توده سنگ است (۷و۸). طبقه بندی توده سنگ بر اساس SPI مطابق جدول زیر صورت می گیرد. در این طبقه بندی خصوصیات ژئومکانیکی سنگ یا خصوصیات مقاومتی بیان نمی شود بلکه توده سنگ بر اساس نفوذپذیری به رده ها و کلاسهای مختلف طبقه بندی می شود. طبق این طبقه بندی توده های سنگی به چهار رده طبقه بندی می شوند (جدول ۱). رده A سنگ نفوذناپذیر بوده و نیاز به بهسازی ندارد در صورتیکه در رده D عدد لوژن سنگ بیش از ۸۰ است که نشانگر نفوذپذیری بالا توده سنگ است و به طور گسترده نیازمند به تزریق است. با توجه به طبقه بندی SPI و درجه درزه داری سنگ (با استفاده از مغزه حفاری) می توان طراحی مناسبی جهت بهسازی زمین و تزریق انجام داد.

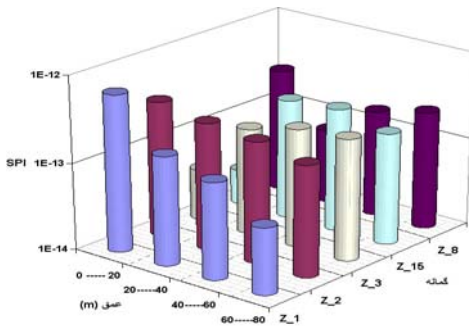
جدول ۱- رده بندی توده سنگ بر اساس SPI و نیاز به بهسازی زمین (۸)

| | | | | |
|---|-------------------------|--|--|--------------------------|
| شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI(L/s*m ²) | $SPI < 2.16 * 10^{-14}$ | $1.72 * 10^{-13} \leq SPI < 1.72 * 10^{-12}$ | $1.72 * 10^{-13} \leq SPI < 1.72 * 10^{-12}$ | $72 * 10^{-12} \leq SPI$ |
| طبقه بندی توده سنگ | CLASS A | CLASS B | CLASS C | CLASS D |
| نیاز به تزریق | نیاز به تزریق ندارد | نیازمند تزریق به طور موضعی | نیازمند به تزریق | نیازمند تزریق گسترده |
| حدود تقریبی عدد لوژن | 1 > | 1-8 | 8-80 | 80 < |

همچنین با استفاده از این روش می توان پی سنگ را به کلاسهای مختلف زون بندی نمود و برای هر زون نحوه بهسازی را به صورت جداگانه ارائه نمود.

بررسی تغییرات شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI) نسبت به عمق

جهت بررسی ارتباط شاخص نفوذپذیری ثانویه با عمق محدوده مورد مطالعه از لحاظ عمق به چهار قسمت تقسیم شده و گمانه های محور سد به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل (جدول ۲) بیشترین درصد فراوانی بر اساس طبقه بندی SPI در گمانه های اکتشافی محور سد مربوط به رده C است. در نتیجه با توجه به (جدول ۱) بخش اعظم ساختگاه نفوذپذیری نسبتا بالایی دارد. توده سنگ در گمانه های Z-1



با عمق در گمانه های محور سد SPI تغییرات مقادیر: شکل ۱

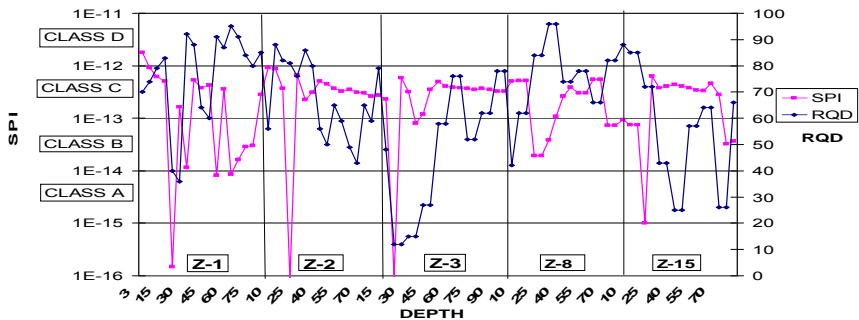
در گمانه های SPI بررسی ارتباط عمق با: جدول ۲

محور سد

| عمق | 0 ---- 20 | 20----40 | 40----60 | 60----80 |
|------|-----------|----------|----------|----------|
| Z-1 | C | C | B | B |
| Z-2 | C | C | C | C |
| Z-3 | B | B | C | C |
| Z-15 | B | C | C | C |
| Z-8 | C | B | C | C |

مقایسه کیفیت توده سنگ (بدست آمده از روش SPI) و درجه درزه داری (RQD)

اورت پیشنهاد نمود مقادیر نفوذپذیری بدست آمده از آزمایشها بدون شناسایی میزان درزه داری فایده چندانی نداشته و همانطور که در شکل ۲ جهت بررسی نفوذپذیری و تزریق پذیری حتما درزه داری منطقه نیز باید مورد بررسی قرار گیرد (۶). که در Z-8 وجود دارد. همانند گمانه SPI مشاهده میشود در تعدادی از مقاطع ارتباط دقیقی بین درجه درزه داری و نسبتا پایین ۵۰٪ دارد. با افزایش عمق نفوذپذیری (RQD) دارد و مقادیر C بخشهای سطحی نفوذپذیری بالایی (رده نیز صادق است. Z-15) افزایش می یابد و به حدود ۹۰٪ میرسد. این امر در گمانه RQD کاهش و درجه درزه داری (و نفوذپذیری نسبتا پائین در بخشهای سطحی این گمانه کاملاً مشهود می باشد. در بعضی مقاطع مانند RQD درصد بالای آن در حدود (RQD) را نشان می دهد ولی مقادیر C در عمق ۴۰-۳۵ متری سنگ نفوذپذیری بالایی (رده Z-1 گمانه ۹۰٪ است و در این عمق همخوانی بین میزان درزه ، شکاف و نفوذپذیری وجود ندارد در نتیجه برای بهسازی باید از دوغابی ثابت است و تغییر چندانی SPI در عمق بیش از ۵۵ متری مقادیر Z-3 با غلظت بالا در تزریق استفاده نمود. در گمانه از ۵۰٪ تا بیش از ۷۰٪ متغیر است و همخوانی میان تعداد درزه، RQD است) ولی مقادیر C ندارد (نفوذپذیری بالا و در رده شکاف و نفوذپذیری مشاهده نمی شود (شکل ۲).



شکل ۲- بررسی مقادیر SPI و RQD نسبت به عمق در گمانه های Z-1, Z-2, Z-3, Z-8, Z-15

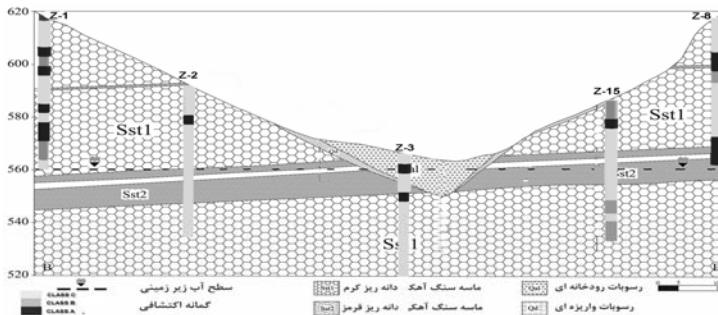
پیشنهاد بهسازی زمین با استفاده از نتایج SPI و RQD

با قرار دادن SPI در مقابل میزان درزه داری می توان درباره بهسازی و تزریق زمین اظهار نظر کرد. جدول ۳: توصیه بهسازی زمین با استفاده از SPI (۱:۵) بیانگر نسبتهای غلیظ دوغاب ، ۱:۱ و ۲:۱ بیانگر نسبتهای متوسط W/C و ۳:۱ بیانگر نسبتهای رقیق دوغاب در تزریق می باشد(۸).

| SPI CLASS | درجه درزه داری | | | |
|-----------|----------------|-------|-----|------|
| | پایین | متوسط | | بالا |
| CLASS A | | | | |
| CLASS B | 0/5:1 | 1;1 | | |
| CLASS C | 0/5:1 | 1;1 | 2;1 | 3;1 |
| CLASS D | 0/5:1 | 1;1 | 2;1 | 3;1 |

| | |
|--|------------------------------|
| | بسیار کم تزریق ندارد |
| | بسیار کم تزریق به طور موضعی |
| | بسیار کم تزریق |
| | بسیار کم تزریق به طور گسترده |

در بخش سطحی از ۳ تا ۲۰ متری و ۳۵-۵۰ متری حتما نیاز به بهسازی دارد و Z-1 با توجه به شکل ۳ گمانه (است) و درزه داری پایین باید از نسبت‌های C بدلیل نفوذپذیری بالا (رنگ خاکستری روشن نشان دهنده رده است نیازی به A غلیظ دوغاب (نسبت آب به سیمان ۱:۰/۵) جهت تزریق استفاده شود. مقاطعی که در رده است بدلیل اینکه درجه درزه داری پایین دارد باید تزریق با B تزریق ندارد و بخشهایی که خاکستری تیره، رده دوغاب غلیظ صورت پذیرد (جدول ۳).



شکل ۳- منطقه بندی محور سد بر اساس رده های مختلف SPI

که بیشترین نفوذپذیری را دارد در همه اعماق به جز عمق ۲۵-۲۰ متری نیاز به بهسازی و تزریق Z-2 گمانه هم در بیشتر اعماق نیازمند تزریق با نسبت‌های متوسط تا غلیظ دوغاب است. گمانه Z-3 دارد. گمانه Z-8 در این عمق کمتر از ۵۰٪ است). گمانه RQD تزریق با نسبت‌های متوسط و رقیق دوغاب دارد (متوسط (رنگ مشکی در شکل ۳) است نفوذپذیری پایین و کیفیت خوبی دارد. در دیگر A فقط در بخشهایی که در رده بخشها عملیات تزریق با دوغاب غلیظ باید صورت پذیرد. باید توجه داشت که در مقاطعی که در اثر اعمال پله و Z-1 های فشار در آزمایش لوژن رفتار آبشستگی و پرشدگی نشان می دهند همانند بخشهای سطحی گمانه حتما قبل از تزریق دوغاب باید شستشو صورت بگیرد تا عمل آبندی به بهترین نحو انجام پذیرد. Z-3

نتیجه گیری:

شاخص نفوذپذیری ثانویه یا SPI مبنای خوبی جهت طبقه بندی توده سنگ از نظر نفوذپذیری و ارائه پیشنهاد تزریق است. با استفاده از آن میتوان طرح تزریق را بهینه کرد. روند مشخصی از تغییرات نفوذپذیری با افزایش عمق مشاهده نمی شود. در بعضی مقاطع مقدار RQD با نفوذپذیری متناسب است. در مقاطعی که این دو ارتباط معکوس دارند، یعنی با وجود درجه درزه داری پایین نفوذپذیری بالایی مشاهده می شود جهت آبندی

منابع:

- ۱- شرکت مهندسين مشاور آبپوی (۱۳۸۵) گزارش عمليات حفاری و آزمایشات ژئوتکنیکی- شرکت آب منطقه ای خراسان.
- ۲- شرکت مهندسين مشاور مهتاب قدس (۱۳۸۲) گزارش مطالعات ژئوتکنیک سد زنگلانلو- شرکت آب منطقه ای خراسان.
- ۳- کارل اورت، فردریش (۱۳۸۵) تزریق در سنگ با تاکید بر ساختگاه سدها- ترجمه مجید ابراهیمی ساعتی-انتشارات سیمای دانش.
- ۴- معین، فاطمه (۱۳۸۵) ارزیابی تزریق پذیری ساختگاه سد مخزنی کوار- پایان نامه کارشناسی ارشد- دانشگاه اصفهان.
- ۵- معین، فاطمه- اجل لوئیان، رسول (۱۳۸۶) بررسی نفوذپذیری با استفاده از روش شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI) مطالعه موردی سد ششپیر- پنجمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران ص ۹۴۵-۹۵۱.
- 6- Ewert, F., K., 1997, Permeability, Groutability and grouting of rocks related to dam site, Part2: Dam Engineering 8(2), 123-176.
- 7- Foyo, A., and Sanchez, M., A., 2002, Permeability tests for rock masses, A proposal for a new expression for the equivalent Lugeon unit (ELU), Dam Engineering 8(3), 199-218.
- 8- Foyo, A., and Sanchez, M., A., Tomillo, C., 2005, A proposal for a Secondary Permeability Index obtained from water pressure tests in dam foundations: Engineering Geology, V.77, P.69-82.
- 9- Kutzner, C., 1996, Grouting of Rock and Soil: A.A.Balkema/ Rotterdam/ Brook field, 271p