

## ارزیابی سازندهای رسوبی ساختگاه سد تنگاب سمیرم با تأکید بر نشت

رسول اجل لوئیان، دانشیار، گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان\*

ابراهیم کثیری دولت آبادی، دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد علوم و تحقیقات تهران

مهرداد پسندی، استادیار، گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان

محسن رضائی، دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

یکی از مهمترین پارامترها در طراحی و احداث سدها مسئله نشت آب از محل پی و تکیه گاه ها است که علاوه بر هدر رفتن آب ذخیره شده در پشت سد، پایداری سازه سد را نیز به خطر می اندازد. بدین منظور مطالعات وسیعی جهت تعیین مقدار نفوذپذیری توده سنگ های ساختگاه سد و روش های آب بندی آن انجام شده است. در این ارتباط، مقاله حاضر بطور موردی به موضوع نشت در سد تنگاب پرداخته است. بر اساس مطالعات زمین شناسی سه نوع توده سنگی در منطقه مورد مطالعه مشاهده می گردد که شامل سروک - ایلام، کژدمی و زون خردشده می باشند. سازند کژدمی که شامل شیل و آهک شیلی است، در زیر سازندهای آهکی سروک - ایلام قرار دارد و زون خردشده در بین این دو واحد سنگی واقع گردیده است. با توجه به تعدادی از آزمایش های فشار آب (لوژان) در واحد های سنگی ذکر شده واقع در تکیه گاه چپ و راست، موضوع نشت در این ساختگاه مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI) و داده های حاصل از آزمایش لوژان و همچنین ویژگی های مغزه های حفاری، نفوذپذیری توده های سنگی بررسی گردید. در میان این سه واحد سنگی زون خردشده بیشترین میزان نفوذپذیری را دارد و کمترین نفوذپذیری متعلق به سازند کژدمی است. بر اساس طبقه بندی SPI شیل و آهک شیلی سازند کژدمی در رده عالی قرار می گیرد و نیاز به بهبود آن نیست. اما، به دلیل نفوذپذیری بالای توده های سنگی دیگر، آب بندی ضروری است. سازند کژدمی در بستر سد می تواند نقش یک لایه غیر قابل نفوذ را ایفا نماید، بنابراین به نظر می رسد پرده تزریق باید به این سازند متصل شود. نتایج این تحقیق نشان می دهد که بجز برخی موارد، همبستگی خوبی میان مقادیر SPI و RQD وجود دارد و بر همین اساس نوع و ترکیب دوغاب جهت پرده تزریق قابل پیش بینی است. نتایج نشان می دهد که بیشترین میزان نشت آب از تکیه گاه راست می باشد و در صورت انجام موفق عملیات تزریق مقدار نشت به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت.

**واژه های کلیدی:** شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI)، آزمایش فشار آب، سد تنگاب، نفوذپذیری، نشت

## مقدمه

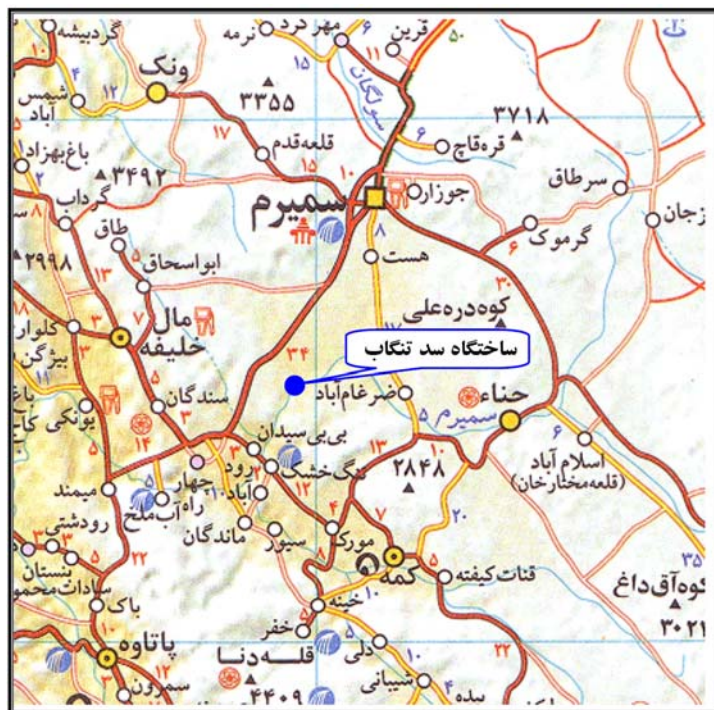
در سدها فرار و اتلاف آب بیشتر از درز و شکاف سنگ ها در اثر فشارهای هیدرولیکی آب پشت سد رخ می دهد. بنابراین موضوع نفوذپذیری حائز اهمیت می باشد و از جمله موضوعات مهمی است که باید در طراحی و ساخت سدها مورد توجه قرار گیرد. عدم توجه به این موضوع در دهه های گذشته موجب ناموفق بودن تعدادی از سدها شده است و یا اینکه هدف اصلی سد به لحاظ ذخیره آب و همچنین ایمنی سازه سد مورد سوال واقع گردیده است. بدین لحاظ ارزیابی نفوذپذیری و نشست در ساختگاه سدها از موارد لازم در مطالعات اولیه سدها می باشد. موضوع مورد مطالعه در این مقاله به عنوان مطالعه موردی سد خاکی تنگاب می باشد.

سد مزبور یک سد خاکی از نوع مخزنی است که جهت مهار و ذخیره آب به ارتفاع ۶۰ متر از پی و طول تاج ۳۰۰ متر و با حجم مخزن ۹۵/۲۸ میلیون متر مکعب در ۲۰ کیلومتری جنوب سمیرم در استان اصفهان و محدوده مختصات جغرافیایی به طول "۱۵/۴"، "۵۱°۲۸" و عرض "

۳/۱۴۲۰، ۳۱° در حال مطالعه و بررسی می باشد (شکل ۱)

(مهندسین مشاور زاینده آب ۱۳۸۶، a).

در فاز اول مطالعات ساختگاه سد تنگاب، ۸ گمانه اکتشافی حفاری شده و در گمانه های مذکور حدود ۱۲۰ آزمایش لوژان جهت ارزیابی میزان نفوذپذیری و نشست و تعیین رفتار هیدرولیکی در مقاطع مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق کیفیت توده سنگ ساختگاه سد تنگاب بر اساس شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI) طبقه بندی شده است و با توجه به SPI و RQD (شاخص بندی کیفیت سنگ) مقاطع و با بررسی رابطه بین این دو نسبت به عمق، نفوذپذیری و قابلیت تزریق دوغاب سیمان در این مقاطع مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان بر اساس لوژان بدست آمده از آزمایشات فشار آب، هدایت هیدرولیکی محاسبه و میزان نشست از ساختگاه برآورد گردیده است. از دیدگاه چینه شناسی، سنگ هایی که در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند تماماً سنگ های رسوبی متعلق به کرتاسه فوقانی می باشد.



شکل ۱- موقعیت سد تنگاب و راه های دسترسی به آن

## زمین شناسی محل ساختگاه

از جمله عوامل تاثیرگذار در روند هیدرولیکی و نفوذپذیری ساختگاه سد موضوع زمین شناسی و لیتولوژی لایه هایی است که به نحوی با آن در ارتباط می باشد. بدین لحاظ ذیلاً به اختصار به موضوع زمین شناسی و لیتولوژی لایه های مرتبط با ساختگاه پرداخته می شود.

ساختگاه سد خاکی تنگاب در رودخانه سمیرم و در محل دره تنگاب بر روی یال شمالی طاقدیس پشته واقع شده است. با توجه به برداشت های سطحی زمین شناسی و اطلاعات حاصل از گمانه های اکتشافی، ساختگاه سد شامل سنگ های رسوبی متعلق به سیستم کرتاسه و نهشته های آبرفتی عهد حاضر می باشد (مهندسین مشاور زاینده آب، ۱۳۸۶، a).

### ۱- نهشته های آبرفتی ساختگاه

نهشته های کف رودخانه سمیرم در محل ساختگاه حدود ۹۰ متر عرض و سه متر ارتفاع دارند. با توجه به انرژی جریانانی که این رسوبات را بر جای گذاشته است، دانه بندی و اندازه ذرات آنها متفاوت و اغلب دانه درشت می باشد و حاوی ذرات دانه ریز بسیار کمی است، بنابراین فاقد چسبندگی بوده و نفوذپذیری بالایی دارند.

در حاشیه رودخانه تراس های ریز دانه جوان وجود دارد و عمدتاً از جنس مصالح دانه ریز سیلت و رس می باشند که در داخل آن ذرات درشت تر نیز دیده می شود که نشان دهنده سرعت جریان پایین رسوبگذاری می باشد.

در پای دامنه، واریزه ها که حاصل فرسایش و هوازدگی سازندهای کژدمی، سروک-ایلام است با ضخامت حداکثر ۱۰ متر تشکیل شده است. این واریزه ها زمان زیادی بدون جابجایی بوده است و به همین دلیل هوازدگی

بر روی آنها اثر گذاشته و مصالح ریزدانه مانند رس باعث به هم چسبیدن آنها شده است. این واریزه ها در مخزن حجم زیادی را در بر دارد و به دلیل هزینه زیاد امکان برداشتن آنها وجود ندارد ولی در ساختگاه سد که این نهشته های جوان در زیر پی قرار می گیرند باید برداشته شوند (مهندسین مشاور زاینده آب، ۱۳۸۶، a).

### ۲- تشکیلات سنگی ساختگاه

قدیمی ترین سنگ های محدوده سد تنگاب که هسته طاقدیس پشته را تشکیل می دهند، سازند داریان است و شامل سنگ های آهکی ضخیم لایه تا توده ای به رنگ خاکستری تا قهوه ای روشن دوره کرتاسه است. این سازند با توجه به شیب لایه ها فقط در پایین دست سد مشاهده می شود و در موقعیت ساختگاه بیش از یکصد متر تشکیلات سنگی نفوذ ناپذیر کژدمی قرار دارد. بنابراین این سازند نقشی در آبرگذری مخزن ندارد و در این تحقیق نفوذ پذیری آن بررسی نمی شود.

در محل ساختگاه سد، بستر رودخانه شامل توده سنگ هایی از جنس شیل و آهک شیلی به رنگ خاکستری تیره تا سیاه می باشد که بصورت هم شیب بر روی سازند داریان قرار می گیرد و متعلق به سازند کژدمی است. این سنگ ها حاوی مقادیری مواد نفتی بوده و در مقاطع تازه به خصوص زمانی که در مواجهه با آب قرار گیرند بوی نفت از خود ساطع می کنند، رخنمون هوازده این سازند به رنگ کرم تا قهوه ای روشن دیده می شود. با توجه به لیتولوژی این تشکیلات، کمتر در اثر تکتونیک منطقه درز و شکاف داشته و درزه های موجود نیز بسته می باشند. بنابراین انحلال در آن تاثیر نگذاشته و هیچگونه حفره و کانال انحلالی در آن قابلیت گسترش ندارد و این وضعیت باعث

کاهش نفوذپذیری این سازند شده است (مهندسین مشاور زاینده آب ۱۳۸۶، a، درویش زاده ۱۳۷۰).

با توجه به نیروهای تکتونیکی منطقه و مکانیزم چین خوردگی خمشی - لغزشی و ایجاد طاقدیس پشته، یک زون خرد شده با ضخامت حدود ۲۰ متر بین سازندهای کژدمی و سروک - ایلام با لیتولوژی این واحدهای سنگی بوجود آمده است. هوازگی بر این قطعات خرد شده تاثیر زیادی گذاشته و باعث شده بین قطعات آن با رس حاصل از هوازگی سنگ ها پر شود و باعث کاهش نفوذپذیری قطعات شود. بدلیل ضخامت و گسترش زیاد این زون در ساختگاه و بخشی از مخزن، در مطالعه ی حاضر این زون بصورت یک واحد سنگی جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است (مهندسین مشاور زاینده آب ۱۳۸۶، a).

جوانترین تشکیلات محدوده طاقدیس پشته را توده سنگ های آهکی سروک - ایلام تشکیل می دهند. در منطقه سمیرم جدا کردن سازندهای ایلام و سروک به دلیل شباهت لیتولوژی امکان پذیر نبوده و این دو سازند با همدیگر تحت عنوان واحد سنگی سروک - ایلام بیان می شوند (گزارش نقشه زمین شناسی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی). این آهک ها به دلیل ماهیت شکننده شان، تحت تاثیر تکتونیک بسیار درز و شکاف دار شده اند. وجود این درز و شکاف ها و آب عبوری حاصل از بارندگی باعث انحلال توده سنگ شده است. وضعیت شیب لایه بندی این سازند باعث می شود به طرف پایین دست سد تنگاب این آهک ها بالاتر از تراز دریاچه سد قرار گیرد و آب مخزن سد در ارتباط با آنها نباشد و علیرغم نفوذپذیری بالا این آهک ها نتوانند آب مخزن را خارج نمایند.

در نهایت سازند گورپی شامل میان لایه های آهک، آهک مارنی و مارن به رنگ سفید تا خاکستری روشن و شیل تیره

رنگ قرار دارد که با توجه به لیتولوژی و قابلیت شکل پذیری، درز و شکاف زیادی در آنها بوجود نیامده و درزه های موجود نیز بسته می باشند. بنابراین بصورت یک لایه با نفوذپذیری بسیار کم تا نفوذ ناپذیر در برخی بخش های داخل مخزن بر روی واحد سنگی سروک - ایلام قرار دارد و باعث شده که این سازند در کف مخزن مانند یک پوشش آب بند عمل نماید (مهندسین مشاور زاینده آب ۱۳۸۶، a).

تکیه گاه ها و محور سد فقط با سازند کژدمی، زون خرد شده و سازند سروک - ایلام در ارتباط می باشند. آزمایشات برجا بیشتر در گمانه های حفاری شده در این سه واحد سنگی انجام شده است (پیوست ۱). با توجه به اینکه بخش عمده لیتولوژی ساختگاه سد را شیل و شیل آهکی تشکیل می دهد امکان گسترش حفرات کارستی در این تشکیلات وجود ندارد. در این مقاله سعی بر این است که ویژگی های زمین شناسی و نفوذپذیری این سازندها ارزیابی شود تا در آینده بتوان با تزریق دوغاب سیمان مناسب به داخل توده سنگ های ساختگاه، میزان نشت آب را کاهش داده و کنترل نمود. ذیلاً با انجام آزمایشات مربوطه به تحلیل کیفیت نفوذپذیری سازندهای مذکور جهت بررسی نفوذپذیری ساختگاه با آزمایش لوژان که یکی از متداول ترین آزمایشات است، پرداخته می شود.

### آزمایش لوژان

آزمایش فشار آب (WPT) یا لوژان اصلاح شده به عنوان رایج ترین روش ارزیابی هیدرولیکی جهت تعیین نفوذپذیری و تزریق پذیری توده سنگ استفاده می شود. فشار در طول آزمایش بصورت متغیر است تا رفتار تراوایی در حالت وابسته به فشار مطالعه گردد (Ewert 1985).

در نهایت زون E با لوژان کمتر از ۳ می باشد. معمولاً در لوژان کمتر از ۵ نیاز به عملیات تزریق نمی باشد (Kutzner 1996).

### شاخص نفوذ پذیری ثانویه (SPI)

یکی از روش های دیگری که در دهه اخیر جهت بررسی و بیان آزمایش فشار آب مطرح می باشد روش شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI) می باشد. شاخص نفوذپذیری ثانویه توده سنگ شکافدار بیان می کند که در آزمایش فشار آب ضریب نفوذپذیری در توده تقریباً متخلخل متغیر است و ویژگی های مسیر های آب توده های سنگی شکافدار و توده های متخلخل به شدت متفاوت هستند (Foyo et al. 2004).

بدیهی است که آزمایش فشار آب برای تعیین نفوذپذیری سنگ سالم دقیق نیست. در مقابل روش رایج و صحیح برای تعیین نفوذپذیری ثانویه در پی های سد است. به این جهت نفوذپذیری ثانویه توده سنگ بدست آمده از این آزمون های برجا باید با بیشترین خوردن آب در میان صفحات ضعیف موجود در توده سنگ مطابقت کند (Ajalloeian and Moein 2009). به لحاظ اینکه لوژان بصورت کیفی برخورد می کند باید نفوذپذیری بصورت کمی بررسی شود، بنابراین بطور جزئی تر از روش SPI استفاده شده است. بنابراین شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI) بصورت زیر تعریف می شود:

رابطه ۱:

$$SPI = C \frac{\ln\left(\frac{2 l_e}{r} + 1\right)}{2\pi l_e} \frac{Q}{Ht}$$

که

در رابطه مذکور SPI شاخص نفوذپذیری ثانویه بر حسب  $l/s \cdot m^2$  بیان می گردد، C عدد ثابت وابسته به ویسکوزیته

هر چند این آزمایش بطور مستقیم اطلاعاتی را در مورد ویژگی های درزه و ضریب تراوایی توده سنگ ها بیان نمی کند، ولی اطلاعاتی را در مورد پتانسیل جذب آب توسط توده سنگ ها بیان می کند و بیشتر به خصوصیات ژئومتری و درجه هوازگی مسیرهای آب بستگی دارد (Ewert 1997; Karaguzel and Kilic 2000). میزان نفوذپذیری براساس واحدی بنام لوژان بیان می شود یک لوژان برابر با میزان نفوذپذیری سنگی است که از یک متر طول گمانه حفر شده در آن تحت فشار ۱۰ بار، یک لیتر آب در دقیقه عبور کند. مقدار لوژان (Lu) از رابطه ۱ بدست می آید.  
رابطه ۱:

$$Lu = \frac{10Q}{P.L.t}$$

در این رابطه، Q مقدار جریان آب یا آبخوری در مقطع آزمایش بر حسب لیتر، P فشار در مقطع مورد آزمایش بر حسب اتمسفر، L طول قطعه آزمایش بر حسب متر و t مدت زمان بر حسب دقیقه است که در طی آن دبی Q جریان داشته است (مهندسین مشاور زاینده آب ۱۳۸۶، a). میزان نشست آب را به سادگی نمی توان از مقادیر آزمایش های فشار آب پیش بینی نمود، زیرا تراوایی متوسط سنگ نه تنها با مقادیر جذب آب در آزمایش های فشار آب هماهنگ نیست بلکه ضریب واقعی  $K_f$  به طور اساسی تحت کنترل صفحات جدایی و نوع روند های هیدرولیکی است که در امتداد درزه های مختلف ظاهر می گردد (Ewert 1997).

بر اساس طبقه بندی هولسبی (Houlsby 1990) توده سنگ براساس عدد لوژان به ۵ زون تقسیم بندی می شود که شامل زون A با لوژان بیشتر از ۶۰، زون B با لوژان بین ۶۰ - ۳۰، زون C با لوژان بین ۳۰ - ۱۰، زون D با لوژان بین ۱۰ - ۳ و

در دمای فرضی سنگ می باشد که در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد برابر  $10^{-1} \times 1/49$  است،  $le$  طول قطعه مورد آزمایش بر حسب متر،  $r$  شعاع گمانه بر حسب متر،  $Q$  آب جذب شده توسط درز و شکاف توده سنگ بر حسب لیتر،  $t$  مدت زمان اعمال فشار بر حسب ثانیه و  $H$  فشار وارده بر اساس ارتفاع ستون آب بر حسب متر می باشند. شاخص پیشنهادی دارای ویژگی های زیر است:

الف) شاخص براساس پارامترهای کلاسیک مانند فشار و خوردند آب بنا نهاده شده است؛ بنابراین برخلاف لوژان این شاخص لازم نیست به  $Kf$  تبدیل گردد.

ب) واحد شاخص ( $l/s \cdot m^2$ ) بیان می کند که چه مقدار آب در فشار آب آزمایش، در واحد زمان بر حسب  $l/s$  از طریق سطح فضای گمانه تزریق بر حسب  $m^2$  جذب شده است. در نتیجه شاخص منحصرأ مخصوص توده های درز و شکافدار و برای کیفیت توده سنگ قطعه مورد آزمایش تعریف می شود (Foyo et al. 2004).

این شاخص دارای دو جنبه مهم زیر است:

۱- مبنایی جهت طبقه بندی توده سنگ است.

۲- بیان کننده نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی است. براساس SPI سنگ به چهار رده A، B، C و D طبقه بندی می شود که در جدول ۱ نشان داده شده است. طبقه بندی مطرح شده نشاندهنده خصوصیات استحکامی سنگ سالم نیست، بلکه کیفیت توده سنگ را بر اساس خصوصیات تراوایی رده بندی می کند (Foyo et al. 2004).

در ادامه این مقاله، با استفاده از روشهای ذکر شده به بررسی وضعیت نفوذپذیری سازند های سنگی محل ساختگاه پرداخته می شود. بررسی و مطالعات این سد بیشتر بر اساس برآورد اطلاعات حاصل از گمانه های اکتشافی (RQD و عدد لوژان) است که بر اساس اعداد لوژان SPI مقاطع محاسبه و با توجه به میزان RQD ترکیب دوغاب سیمان برای مقاطع پیشنهاد می شود و در نهایت میزان نشت از ساختگاه سد با توجه به نفوذپذیری مقاطع برآورد می گردد.

جدول ۱- طبقه بندی توده سنگ براساس SPI و نیاز تزریق (Foyo et al. 2004)

شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI) ( $l/s \cdot m^2$ )				
$SPI < 10^{-12} \cdot 1,72$	$SPI \leq 1,72 \cdot 10^{-12}$	$SPI \leq 1,72 \cdot 10^{-13}$	$SPI > 10^{-14} \cdot 2,16$	
۱,۷۲	$1,72 \cdot 10^{-13} <$	$2,16 \cdot 10^{-14} <$	۲,۱۶	رده توده سنگ
D	C	B	A	
بسیارضعیف	ضعیف	نسبتاً خوب	عالی	طبقه بندی سنگ
به صورت گسترده	دارد	به صورت محلی	ندارد	نیاز به بهسازی

در این ساختگاه ۸ گمانه اکتشافی حفاری و ۱۲۰ آزمایش لوژان برای بررسی نفوذپذیری و انجام مطالعات بعدی ساختگاه انجام شده است. با توجه به اینکه تعداد درزه ها

بررسی و تحلیل نفوذپذیری ساختگاه بر اساس لوژان

دلیل خمیره دانه ریز رسی بین قطعات این زون می باشد و اینکه این زون در تکیه گاه چپ در عمق قرار می گیرد. ولی در تکیه گاه راست در محل گمانه که بیشترین نفوذپذیری دیده می شود این زون در دامنه رخنمون دارد و هوازدگی و فرسایش بیشترین تأثیر را داشته و بین قطعات درزه ها، مواد رسی اندک و سست هستند، در نتیجه رفتار آبشستگی و بازشدگی بیشتری رخ داده و فرار آب زیادتری مشاهده می شود (شکل ۳).

نوع و مقدار پرشدگی درزه ها عامل مهمی در نفوذپذیری توده سنگ می باشد (Houlsby 1976). اگر جنس پرشدگی درزه ها از مواد مستحکم تری باشد فشار بیشتری برای خارج کردن آن از محیط لازم است. درزه هایی که با مواد سست پر شده اند در حین عمل نشست می توانند مستعد بوجود آمدن پدیده ی رگاب شوند. بنابراین چنانچه مواد پر کننده دارای طبیعت رسی باشند، چون مستعد پدیده ی رگاب هستند با توجه به اهمیت پروژه، باید توسط مواد شیمیایی پراکنده گردند و یا با افزایش فشار تا حد لازم مورد شستشو قرار گیرند (Fransson 2001).

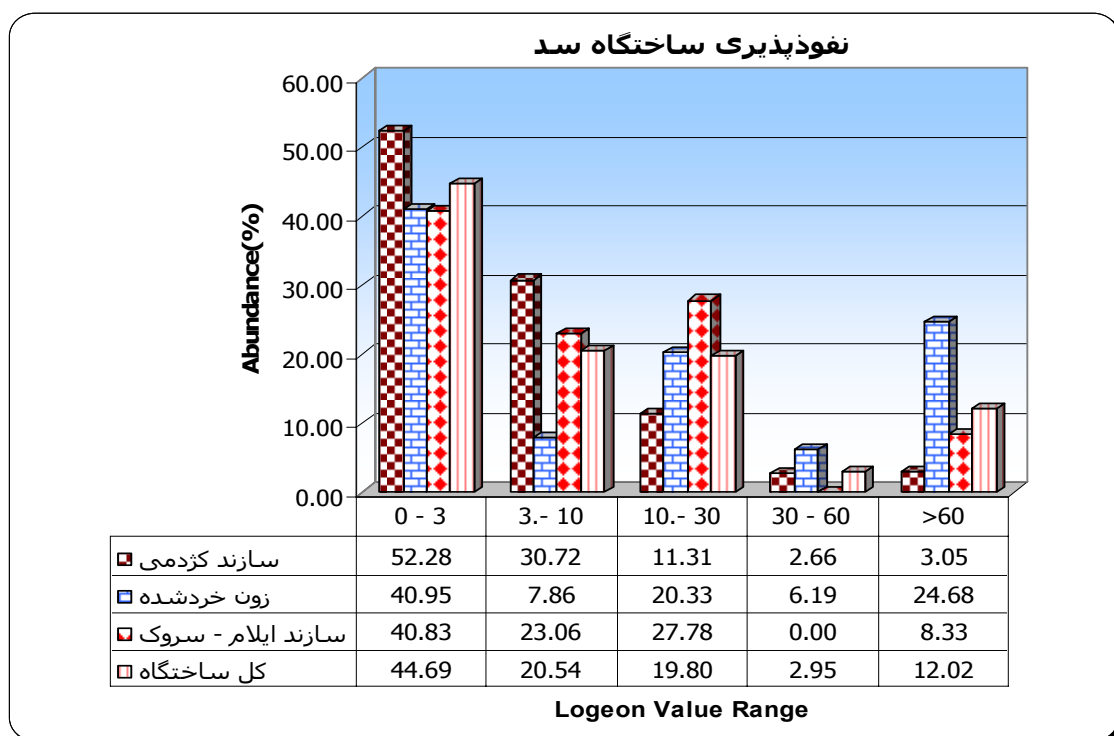
توده سنگ های سروک - ایلام به دلیل ماهیت لیتولوژی آن دارای درز و شکاف بسیار است و مقدار RQD آن از خیلی ضعیف تا تقریباً متوسط می باشد. علیرغم شرایط فوق، همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می شود این واحد سنگی از نظر نفوذپذیری وضعیت مساعدی را نشان می دهد زیرا لوژان کمتر از ده یعنی نفوذپذیری بسیار کم و کم در آن، نزدیک ۶۴ درصد می باشد. تنها مقطعی که لوژان بیش از ۶۰ را نشان می دهد در کف این سازند نزدیک زون خردشده در عمق ۶۰-۵۸ متری گمانه BH.6 قرار دارد. با توجه به آزمایشات لوژان انجام شده در این تحقیق، وضعیت نفوذپذیری ساختگاه سد وضعیت مطلوبی را از نظر

در منطقه مورد مطالعه کم می باشد و شیب درزه ها عمدتاً در محدوده بین ۵۰ تا ۷۰ درجه می باشند بدین لحاظ گمانه ها بصورت عمودی می باشد و ضرورتی بر حفر گمانه بصورت مایل نبوده است. در مقاطعی از سازند کژدمی که آزمایش لوژان انجام شده، ۵۲ درصد از آنها لوژان کمتر از ۳ واحد داشته و لوژان بین ۱۰-۳ واحد نیز حدود ۳۱ درصد می باشد. بنابراین لوژان کمتر از ۱۰ واحد، در کل ۸۳ درصد از مقاطع را در بر می گیرد. مقاطعی که لوژان بیش از ۳۰ واحد داشته باشند فقط در ۵ مقطع مشاهده شده که در مجموع ۵/۷ درصد از مقاطع این سازند می باشند که در آنها آزمایش لوژان انجام شده است (شکل ۲). بنابراین با توجه به آزمایشات لوژان انجام گرفته در این سازند، عدم آبگذری یا آبگذری پایین این واحد سنگی را نشان می دهد.

شاخص کیفیت توده سنگ در زون خردشده بسیار پایین است، بنابراین با وجود خرد شدگی بسیار بالای این زون و پایین بودن کیفیت توده سنگ انتظار می رود نفوذپذیری این زون نسبت به واحدهای سنگی دیگر خیلی بیشتر باشد. ولی بعد از انجام آزمایشات لوژان و بررسی نتایج این تحقیق مشخص شد لوژان کمتر از ۳ در ۴۱ درصد از مقاطع مشاهده شده است (شکل ۲). این نفوذپذیری کم می تواند به دلیل وجود خمیره بسیار دانه ریز بین قطعات این زون باشد. لوژان بیش از ۳۰ واحد در ۳۱ درصد از مقاطع دیده شده است. که حکایت از ارتباط این درز و شکاف ها و فضای بین قطعات با یکدیگر است. با توجه به آزمایشات لوژان انجام گرفته در این زون، تکیه گاه راست نفوذپذیری بیشتری نسبت به تکیه گاه چپ دارد، در صورتی که کیفیت توده سنگ تکیه گاه راست نسبت به تکیه گاه چپ بهتر می باشد. بنابراین نفوذپذیری کمتر تکیه گاه چپ به

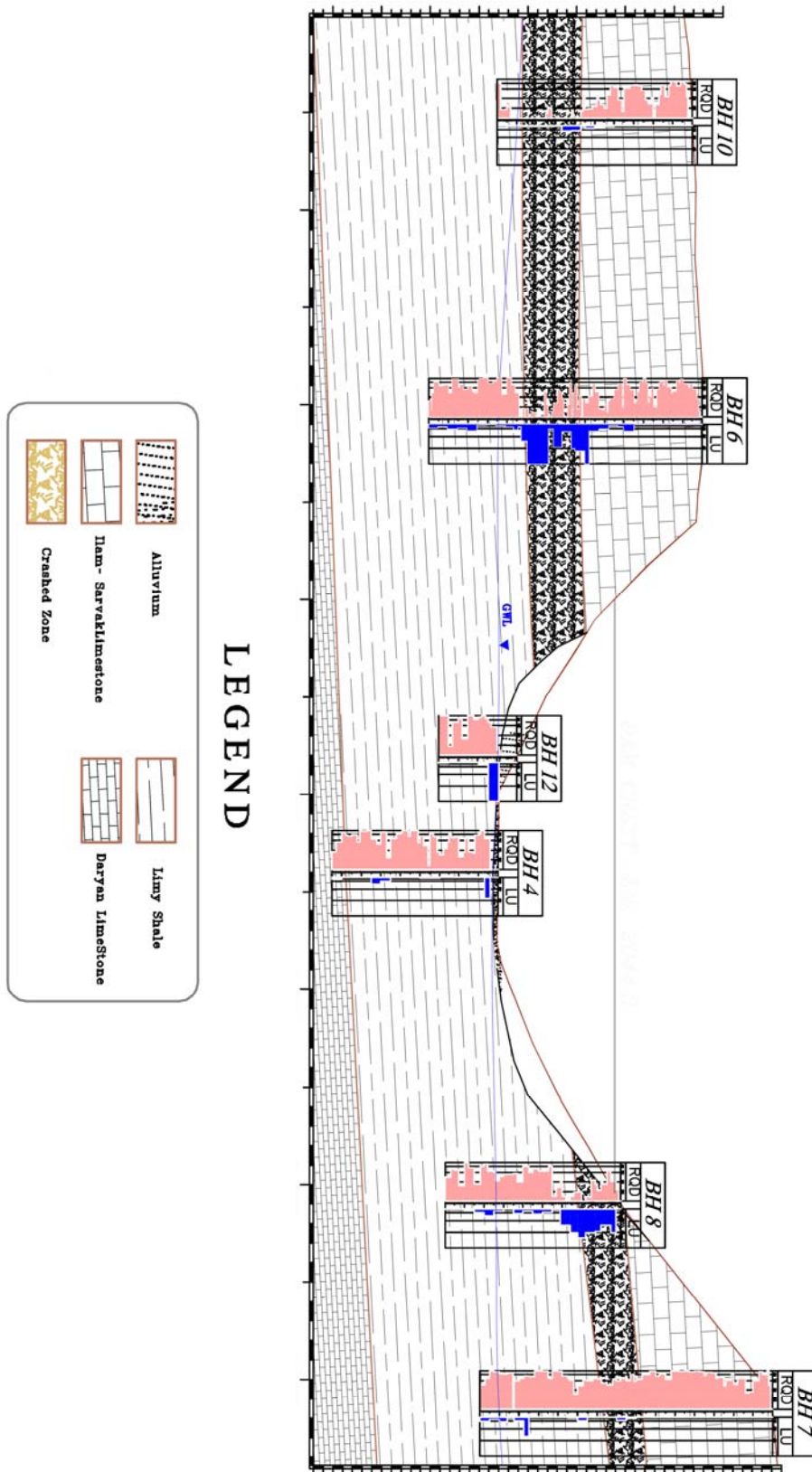
با توجه به مطالب بیان شده در این مقاله، بیشترین نفوذپذیری مربوط به واحد سنگی سروک - ایلام و زون خردشده است. بنابراین زون خردشده یک زون مشکل آفرین می باشد. در عمق های زیرین سازند کژدمی قرار دارد و به لحاظ لیتولوژی این سازند دارای نفوذپذیری کم و در بعضی مقاطع عدم آبگذری را نشان می دهد، بنابراین از نقطه نظر زمین شناسی از بین این سازندها سازند کژدمی می تواند به عنوان سنگ بستر مد نظر قرار گیرد. به دلیل انحلال پذیری آهک های سروک - ایلام و شسته شدن و فرسایش مواد رسی بین قطعات خردشده در زمان آبگیری سد لازم است تمهیدات لازم در جهت مقابله با این مشکل اندیشیده شود.

نفوذپذیری نشان می دهد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود در تکیه گاه چپ ساختگاه سد نزدیک ۷۰/۶ درصد از مقاطع دارای لوژان کمتر از ۱۰ واحد و در ۲۹/۴ درصد از مقاطع لوژان بیشتر از ۱۰ واحد می باشند. در تکیه گاه راست، مقاطع دارای لوژان کمتر از ۱۰ در ۵۸ درصد از مقاطع و لوژان بیشتر از ۱۰ نیز در نزدیک ۴۲ درصد از مقاطع رویت شده است. بنابراین نفوذپذیری تکیه گاه چپ بر اساس لوژان، کیفیت بهتری نسبت به تکیه گاه راست دارد و در مجموع فراوانی محدوده ی نفوذپذیری با لوژان ۰ - ۳ با ۴۵ درصد، نسبت به سایر محدوده ها بیشتر می باشد که می توان این موارد را به سلامت سنگ و یا بسته بودن درز و شکاف ها و پر بودن آنها توسط رس و کلسیت در زون خرد شده نسبت داد (کثیری دولت آبادی ۱۳۸۸).

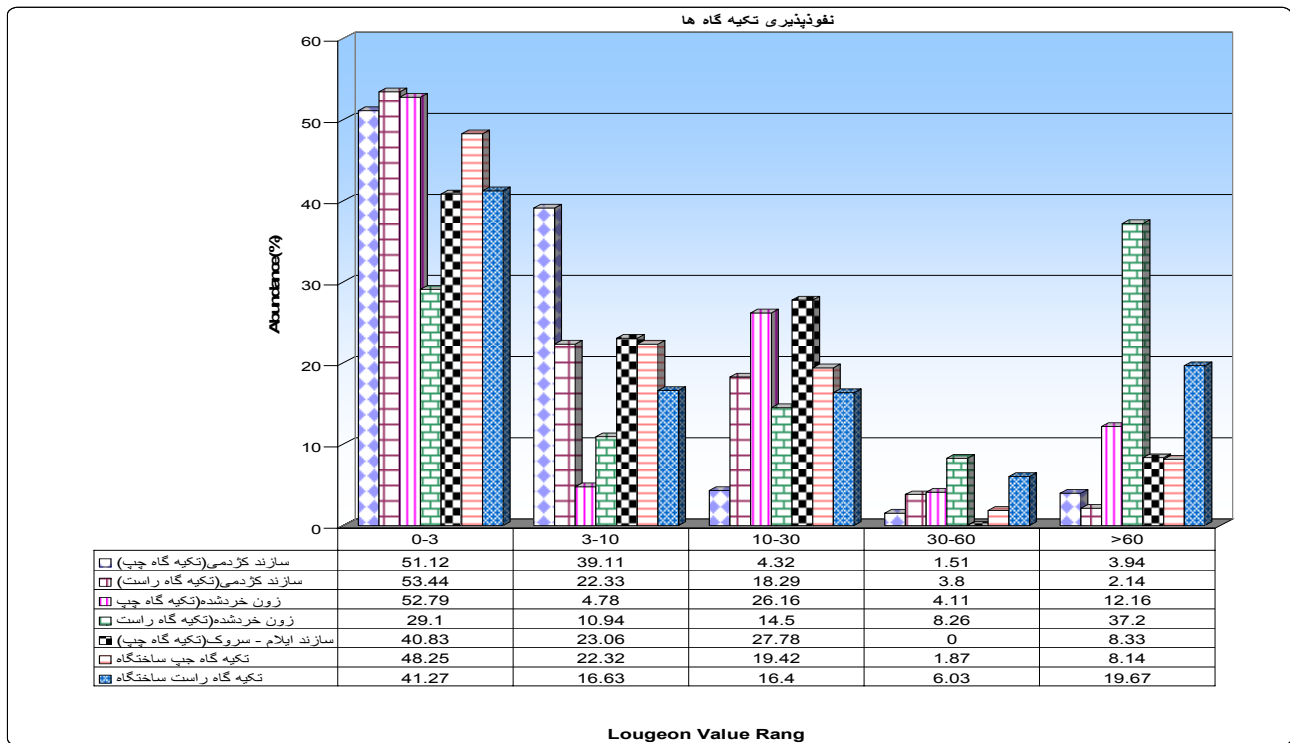


شکل ۲- محدوده اعداد لوژان در تشکیلات سنگی ساختگاه سد تنگاب





شکل ۳- مقطع زمین شناسی ساختگاه سد تنگاب (مهندسین مشاور زاینده آب ۱۳۸۶) (b)



شکل ۴- محدوده های نفوذپذیری تکیه گاه های ساخته‌گاه س

RQD بالا این مقاطع حکایت از درزه داری کم و بازشدگی اندک درزه ها دارد، بنابراین در این سازند نیاز به تزریق و بهسازی نیست و این موارد در اکثر گمانه ها یکسان می باشد. در ۳۳ درصد از مقاطع نیز SPI آنها در رده B است که نیاز به بهسازی و تزریق محلی دارند و RQD آنها نیز اکثراً در رده متوسط می باشد (شکل ۵).

بجز در گمانه BH.6 که RQD ضعیفی نشان می دهد و این نفوذپذیری کم به دلیل خمیره دانه ریز بین درزه ها و بسته بودن آنها می باشد. در این گمانه باید بهسازی جهت مقاومت توده سنگ انجام شود و نیاز به دوغاب سیمان رقیق یعنی با نسبت W/C ۲:۱ و یا ۳:۱ دارد. در گمانه BH.8، RQD در رده خوب قرار دارد که حکایت از وجود یک یا چند درزه باز دارد و باید از دوغاب غلیظ استفاده شود. درصد مقطعی که در رده C قرار می گیرند نیز ۷ درصد می باشد که در این مقاطع لازم است تزریق و بهسازی

## ارزیابی نفوذپذیری و قابلیت تزریق پذیری توده سنگ ساخته‌گاه سد براساس SPI

### ۱- سازند کژدمی

با توجه به قرار گیری این سازند در پی و بخش اعظم تکیه گاه های سد و اینکه در زیر زون خرد شده قرار دارد، این سازند نقش مهمی در آبگذری ایفا می کند و آبگذری زیاد و یا آبگذر نبودن آن تاثیر زیادی در کل طرح دارد زیرا بخش زیادی از تشکیلات سنگی محور و ساخته‌گاه سد را در بر می گیرد و در تکیه گاه ها و مخزن سد حضور دارد.

شاخص نفوذپذیری ثانویه ۶۰ درصد از مقاطع توده سنگ های این سازند در رده A قرار دارند. با توجه به لیتولوژی و قابلیت شکل پذیری توده سنگ های این سازند RQD بیش از ۹۰٪ از مقاطع در رده خوب و عالی و ۱۰٪ باقیمانده نیز در رده متوسط قرار دارند. اختصاص نفوذپذیری کم و

پس از آن ۲۸/۵۷ درصد دارای رده B و رده C و D نیز در مجموع ۲۸/۵۷ درصد از مقاطع را پوشش داده اند که در درزه ها و مقاطعی که در این رده قرار دارند، بیشتر آب شستگی خمیره و باز شدگی رخ داده است.

در این واحد سنگی هیچ همخوانی بین RQD و SPI وجود ندارد. زیرا در بعضی گمانه ها RQD در رده بسیار ضعیف قرار دارد ولی SPI در رده A قرار می گیرد. بنابراین در این مقاطع نفوذپذیری بسیار کم می باشد که این وضعیت در گمانه BH.9 و BH.10 مشاهده می شود. یعنی همانطور که ذکر گردید RQD در رده بسیار پایین است ولی بیش از ۹۰٪ از مقاطع نفوذناپذیر می باشند. در چنین شرایطی از نظر نفوذپذیری نیاز به تزریق نمی باشد. ولی باید جهت قرار دادن پی سد، مقاومت توده سنگ در این مقاطع بهبود یابد و جهت جلوگیری از آب شستگی، تزریق دوغاب انجام شود. پر خطرترین مقاطع از نظر فرار آب و نفوذپذیری بالا، مقاطع گمانه BH.8 می باشند. زیرا اکثر مقاطع نفوذپذیر می باشند، بطوریکه نزدیک ۸۵ درصد از مقاطع در رده C قرار دارند که نیاز به تزریق می باشد و باید تزریق دوغاب انجام شود. با توجه به RQD پایین آن بدلیل درجه درزه داری بالا، باید که از دوغاب رقیق و متوسط یعنی W/C ۲:۱ استفاده نمود و مقاطع قبل از شروع تزریق شسته شده و مواد رسی سست بین قطعات حذف شوند. در مورد مقطعی هم که در رده B قرار دارد و RQD متوسط داشته، باید بهسازی محلی انجام شود. در مقاطع این گمانه بین قطعات، باندهایی از ماتریکس مارنی و رسی دیده می شوند. در گمانه BH.7 نفوذپذیری از نظر SPI در رده A و B قرار دارد، RQD نیز در رده متوسط و خوب قرار می گیرد و فقط بهسازی محلی در بعضی از مقاطع آن لازم است.

انجام شود. RQD بعضی از مقاطع در رده خوب می باشد که دلالت بر وجود یک یا چند درزه عریض دارد که باید از دوغاب سیمان غلیظ استفاده شود. بعضی نیز در رده خیلی ضعیف قرار دارند که نفوذپذیری زیاد آنها بدلیل وجود چندین درزه و یا دسته درزه می باشد که باید از دوغاب رقیق استفاده نمود. در مقاطع این سازند که آزمایش نفوذپذیری انجام شده است در هیچکدام نفوذپذیری رده D مشاهده نشده که این وضعیت نشان دهنده نفوذپذیری کم این تشکیلات است و این سازند نیاز به تزریق و بهسازی بصورت منظم و گسترده ندارد. در هر دو تکیه گاه این وضعیت تقریباً یکسان می باشد زیرا در هر دو تکیه گاه حدود ۵۹ درصد از مقاطع رده A و نزدیک ۳۳ درصد از مقاطع نیز شاخص نفوذپذیری ثانویه آنها در رده B قرار می گیرد. (کثیری دولت آبادی ۱۳۸۸).

## ۲- زون خردشده

لیتولوژی این زون قطعات خرد شده آهک، آهک شیلی و آهک مارنی سازند های کژدمی و سروک - ایلام می باشند که بین آنها را خمیره ای از قطعات خرد شده ناشی از هوازدگی همین مصالح پر کرده است. ولی خصوصیات زمین شناسی مهندسی آن با هیچکدام از این دو واحد یکسان نیست و همخوانی ندارد و معمولاً پارامترهای مهندسی و ژئوتکنیکی آن از دو سازند مذکور پایین تر می باشد و همانگونه که ذکر شد کیفیت توده سنگ در آن بیشتر در رده بسیار ضعیف و ضعیف قرار دارد.

نفوذپذیری این زون از نظر SPI بیشتر بستگی به وجود خمیره دانه ریز در بین این قطعات دارد چرا که در وضعیتی که خمیره دانه ریز و رسی باشد، نفوذپذیری کمتر است. چنانچه در شکل ۵ نشان داده شده است در مجموع هردو تکیه گاه، ۴۲/۸۶ درصد از مقاطع دارای SPI رده A بوده و

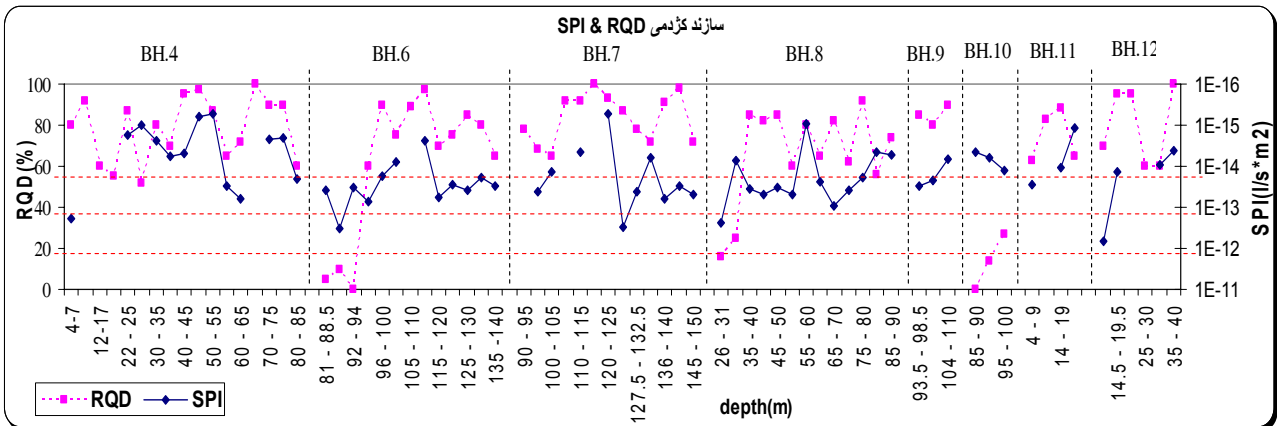
۶۵ متری در معرض آب مخزن قرار می گیرند. در حدود ۲۵ متر انتهای این سازند، ۱۹ آزمایش لوژان در مجموع ۳ گمانه انجام شده است. بدلیل لیتولوژی آهکی این توالی و ماهیت شکننده شان، دارای درز و شکاف بسیار و RQD ضعیف است بطوریکه بیش از ۶۰ درصد توده سنگ که در آن آزمایش انجام شده است، RQD کمتر از ۵۰ درصد یعنی ضعیف و خیلی ضعیف می باشند. فقط در دو مورد مقطعی که در آن آزمایش انجام شده است، کیفیت توده سنگ از نظر RQD دارای رده خوب است و آن هم در ترازهای بالایی و ابتدایی این مقاطع می باشد (BH.9, BH.6).

همانطور که در نمودار شکل ۷ مشاهده می شود، در این توالی چینه شناسی هیچ هماهنگی بین RQD و SPI وجود ندارد چرا که RQD معمولاً در رده متوسط به پایین می باشد ولی بیشتر مقاطع (۸۹/۵ درصد) دارای شاخص نفوذپذیری ثانویه رده A و B هستند. بنابراین با توجه به RQD و SPI کم در بعضی از مقاطع، می توان نتیجه گرفت که RQD کم بدلیل درزه های زیاد می باشد و SPI کم نتیجه ی باز شدگی کم اکثر درزه ها است که در این حالت آب به راحتی نمی تواند عبور نماید. بنابراین در این گونه موارد اگر سنگ به شدت درزه دار باشد باید از دوغاب رقیق به نسبت W/C، ۳:۱ استفاده نمود و یا در درجه درزه داری کمتر از دوغاب با نسبت W/C، ۲:۱ استفاده شود. در مواردی هم که فرار آب رخ داده است باید از دوغاب غلیظ یعنی نسبت W/C، ۱:۱ یا ۵:۱ استفاده نمود و تزریق را انجام داد.

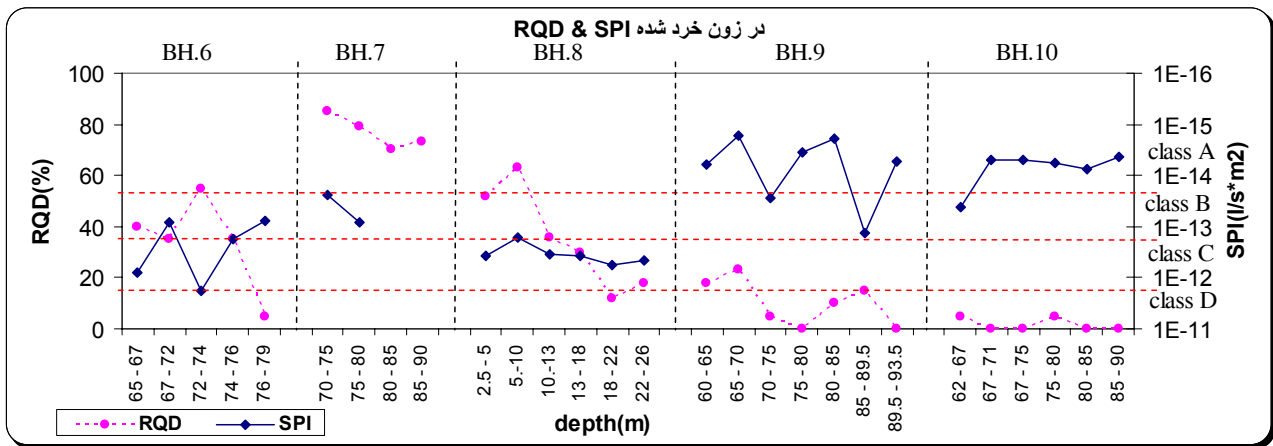
در گمانه BH.6 نیز یک مورد رده D با RQD نزدیک ۵۰ مشاهده می گردد که در این مقطع بدلیل آب شستگی خمیره، نفوذپذیری بالایی دیده می شود که باید از دوغاب غلیظ استفاده نمود و در بقیه موارد نیز باید تزریق دوغاب مناسب انجام شود و نفوذپذیری و مقاومت آن بهبود یابد، زیرا RQD ضعیف و بسیار ضعیف است و SPI نیز در رده B و C قرار دارد و باید از دوغاب رقیق با نسبت های ۲:۱ و ۳:۱ استفاده نمود. بنابراین در مورد نفوذپذیری این زون لازم است که هم به خمیره بین قطعات و هم RQD، توجه شود. در مجموع در این زون باید عملیات تزریق به لحاظ بالا بردن مقاومت این زون و کاهش نفوذپذیری انجام گردد. براساس آزمایش لوژان در این زون، بیشترین نوع رفتار هیدرولیکی مربوط به باز شدگی درزه ها با ۳۶ درصد و سپس آب شستگی با ۲۷ درصد می باشد. در ضمن رفتار پرشدگی نیز در هیچکدام از مقاطع رویت نشده است. در نفوذپذیری تکیه گاه ها از نظر SPI، تکیه گاه راست نفوذپذیری بیشتری دارد، بطوریکه ۲۰ درصد از مقاطع تکیه گاه راست دارای رده A و ۸۰ درصد در رده B و C قرار دارند که بیشترین نفوذپذیری مربوط به گمانه BH.8 است (شکل ۶). این گمانه در سطح رخنمون دارد و فرسایش بر مواد رسی بین قطعات تاثیر بیشتری گذاشته و در اثر فشار آب از بین قطعات خارج شده است (کثیری دولت آبادی ۱۳۸۸).

### ۳- سازند سروک-ایلام

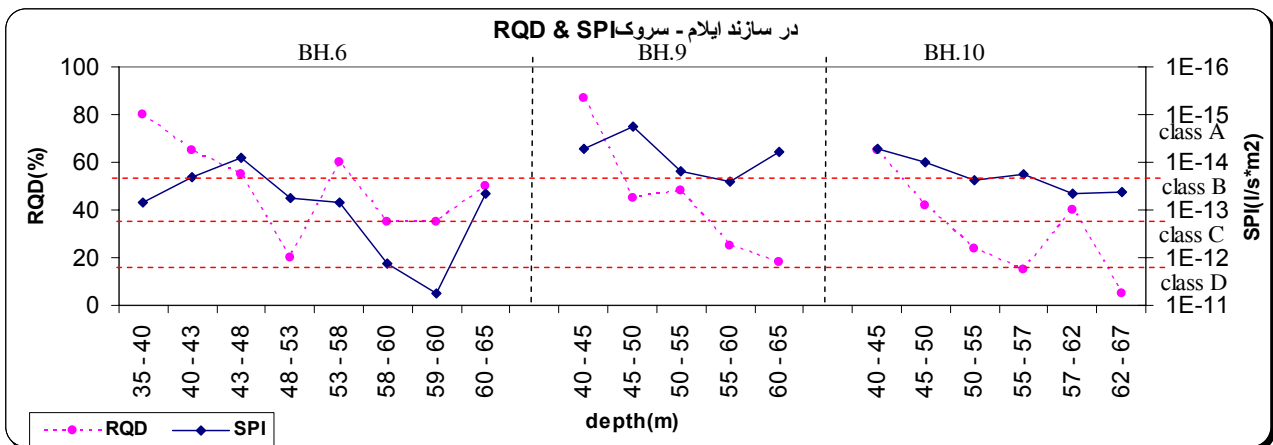
توده های سنگی این توالی چینه شناسی فقط در تکیه گاه چپ پایین تر از تراز تاج سد قرار می گیرند و فقط در گمانه های اکتشافی BH.6، BH.9 و BH.10 در عمق حدود



شکل ۵ - مقادیر RQD و SPI نسبت به عمق در گمانه های مختلف سازند کژدمی



شکل ۶ - مقادیر RQD و SPI نسبت به عمق در گمانه های مختلف زون خرد شده



شکل ۷ - مقادیر RQD و SPI نسبت به عمق در گمانه های مختلف واحد سنگی سروک-ایلام

نفوذناپذیر و به عنوان یک پوشش آب بند در بستر رودخانه در نظر گرفت. در تکیه گاه ها سازند کژدمی در زیر زون خرد شده و واحد سنگی سروک-ایلام قرار دارد میزان نشت آب از تکیه گاه های سد و در نهایت ساختگاه بر اساس بار هیدرولیکی در گمانه های BH.8 در تکیه گاه راست و BH.6 در تکیه گاه چپ محاسبه شد. با توجه به عدم مشاهده عوارض سطحی و زیرزمینی کارست در محل ساختگاه سد برای محاسبه میزان نشت آب از ساختگاه سد تنگاب از رابطه ۳ که بر اساس رابطه داری می باشد، استفاده گردیده است (Todd 2005).

$$q = \frac{\bar{K}}{2L} (h_1^2 - h_2^2) \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه مذکور:

q حجم آب بر حسب متر مکعب بر ثانیه در واحد عرض لایه،

K هدایت هیدرولیکی معادل بر حسب متر بر ثانیه،

$h_1$  بار هیدرولیکی آب مخزن بعد از آبیگری بر حسب متر،

$h_2$  بار هیدرولیکی آب زیرزمینی در تکیه گاهها بر حسب متر و

L فاصله نقاط اندازه گیری بار هیدرولیکی ( $h_2, h_1$ ) بر

حسب متر می باشد.

هدایت هیدرولیکی با توجه به اعداد لوژان بدست آمده در آزمایش فشار آب برای مقاطع مختلف، از رابطه ۴ محاسبه می شود. با توجه به لیتولوژی و درز و شکاف سنگ ها در تشکیلات سنگی سد تنگاب سمیرم، در این تشکیلات هدایت هیدرولیکی یکسان نیست و در مقاطع مختلف هدایت هیدرولیکی متفاوت است و باید یک هدایت هیدرولیکی معادل جهت استفاده در رابطه ۳ محاسبه نمود.

در رابطه با نفوذپذیری این سازند علیرغم اینکه RQD آن در رده های پایین قرار دارد، SPI خوبی را نشان می دهد، بطوریکه حدود ۴۷ درصد از مقاطع دارای SPI رده A می باشند و معمولاً نیاز به تزریق و بهسازی ندارند. ۴۲ درصد از مقاطع نیز در رده B قرار می گیرند که نیاز به بهسازی و تزریق محلی می باشد و فقط حدود ۱۰/۵ درصد از مقاطع در رده D,C است که در دو مورد و آن هم در عمقهای ۶۰-۵۸ گمانه BH.6 می باشد که در آن مقطع فرار آب در فشار کم (۳۴/۵ و ۲۶ متر فشار آب) انجام شده است. فرار آب می تواند به علت شکستگی های زیاد و وجود درزه متقاطع باشد (کثیری دولت آبادی ۱۳۸۸). این حجم فرار آب با دبی ۱۲۵ لیتر بیش از حد زیاد می باشد (با این حجم فرار آب فشار مانومتر از ۱/۶ اتمسفر فراتر نرفته است) (مهندسین مشاور خاک پی تهران ۱۳۸۷). بنابراین باید در این عمق عملیات تزریق و بهسازی به دقت انجام شود.

### مقدار نشت آب از ساختگاه

با توجه به اینکه ماده سنگ نفوذناپذیر فرض می شود و جریان آب از درز و شکاف های موجود در توده سنگ عبور می کند، برای تخمین میزان نشت باید ویژگی های درزه ها مورد توجه قرار گیرند. شرایط و ویژگی های درزه ها در یک منطقه یکنواخت نیستند و در هر محلی می تواند تغییر کند، ولی در محاسبات معمولاً یکنواخت فرض می شوند. تعیین میزان نشت از درزه ها مستلزم پذیرفتن پیش فرض های زیر است:

الف) جریان آب در درزه ها آرام باشد.

ب) مقدار جریان در طول زمان ثابت و یکنواخت باشد.

همانگونه که ذکر شد، ساختگاه سد تنگاب با سه واحد چینه شناسی در ارتباط می باشد. با توجه به آزمایش فشار آب در سازند کژدمی، می توان این واحد سنگی را

و با توجه به میزان مساحت ۵۰۰ متر از این سازندها که پتانسیل امکان آنگذری دارند، کل نشست برابر ۲۱۳۶۰۰۰ متر مکعب در سال خواهد بود که ۲/۳ درصد از حجم مخزن می باشد.

بر اساس نفوذپذیری معادل ۳ لوژان میزان نشست از ساختگاه در صورت اجرای پرده آب بند محاسبه گردیده است (جدول ۳)، بر اساس نظر کارشناسان چنانچه پرده آب بندی با موفقیت انجام گیرد، میزان نفوذپذیری توده سنگ های ساختگاه سد به محدوده ۱-۳ لوژان می رسد. در این صورت مقدار نشست آب از تکیه گاه های ساختگاه سد تنگاب در مجموع برابر ۴۶۹ متر مکعب در سال در واحد عرض لایه و به عبارتی ۲۳۴۵۰۰ متر مکعب در سال خواهد شد. بنابر این با توجه به محاسبات صورت پذیرفته با اجرای پرده آب بند نشست از ساختگاه سد ۸۹٪ کاهش خواهد یافت.

با استفاده از رابطه ۵ هدایت هیدرولیکی معادل تکیه گاه های سد با توجه به هدایت هیدرولیکی مقاطع واحد سنگی سروک- ایلام، زون خردشده و سازند کژدمی ( $K_1, K_2, \dots, K_n$ ) و ضخامت آنها ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ ) محاسبه می شود:

$$K = 1.15 \times 10^{-7} \times N \quad \text{رابطه ۴ (بارتون ۲۰۰۳)}$$

$$\bar{K} = \frac{(K_1 Z_1 + K_2 Z_2 + \dots + K_n Z_n)}{(Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n)} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این روابط:

$K_n$  نفوذپذیری بدست آمده از طریق لوژان برای مقطع  $n$ ام

$Z_n$  ضخامت مقطع  $n$ ام

$N$  عدد لوژان مقطع

مقدار نشست برای ساختگاه سد در صورت عدم اجرای پرده آب بند در جدول ۲ آمده است که مقدار آن در تکیه گاه ها برابر ۴۲۷۲ متر مکعب در سال در واحد عرض لایه است

جدول ۲- مقادیر نشست از تکیه گاه ها در صورت عدم اجرای پرده آب بند

موقعیت	K (m/s)	$h_1$ (m)	$h_2$ (m)	L (m)	$q$ ( $m^3/s$ )	$q$ ( $m^3/y$ )
تکیه گاه راست	$3/64 \times 10^{-6}$	۹۴	۳۵	۱۸۰	۰/۰۰۰۰۰۸	۲۴۲۷
تکیه گاه چپ	$2/68 \times 10^{-6}$	۸۵	۲۶	۱۵۰	۰/۰۰۰۰۰۶	۱۸۴۵

جدول ۳- مقادیر نشست از تکیه گاه ها در صورت اجرای پرده آب بند

موقعیت	K (m/s)	$h_1$ (m)	$h_2$ (m)	L (m)	$q$ ( $m^3/s$ )	$q$ ( $m^3/y$ )
تکیه گاه راست	$3/46 \times 10^{-7}$	۹۴	۳۵	۱۸۰	۰/۰۰۰۰۰۷	۲۳۱
تکیه گاه چپ	$3/46 \times 10^{-7}$	۸۵	۲۶	۱۵۰	۰/۰۰۰۰۰۸	۲۳۸

## نتیجه‌گیری

آزمایش فشار آب به تنهایی نمی‌تواند تراوایی و خصوصیات توده سنگ را بیان کند زیرا این احتمال وجود دارد که نفوذپذیری توده سنگ با یک درزه باز را با توده سنگ با چندین درزه بسته، یکسان نشان دهد. بنابراین شاخص نفوذپذیری ثانویه در کنار درجه درزه داری می‌تواند این ضعف را برطرف نماید.

مهمترین نتایج بدست آمده از این تحقیق عبارتند از:

۱- بیشترین فراوانی رده کیفیت توده سنگ این سه واحد سنگی براساس SPI مربوط به رده A با ۵۰ درصد در کل ساختگاه سد است که نیاز به تزریق و بهسازی ندارد و بیشترین مورد آن مربوط به سازند کژدمی است. در این سازند به دلیل لیتولوژی شیل و آهک شیلی، درز و شکاف کمتری ایجاد شده و درزه‌های موجود نیز بسته می‌باشند.

۲- رده B که نیاز به تزریق و بهسازی محلی دارد با ۳۴/۷ درصد در مرتبه دوم از نظر درصد فراوانی قرار می‌گیرد و بیشتر مربوط به واحد سنگی سروک - ایلام است. به دلیل ماهیت آهکی تشکیلات سنگی این واحد، درز و شکاف بیشتری ایجاد شده و درزه‌های موجود نیز می‌توانند در اثر انحلال گسترش یابند. بنابراین بهتر است که درز و شکاف‌های موجود در این سازند بوسیله دوغاب سیمان پر و مسدود شوند.

۳- رده سوم با ۱۲/۴ درصد مربوط به رده C می‌باشد که بیشتر در زون خردشده دیده شده و نیاز به تزریق و بهسازی دارد. به دلیل ماهیت این زون و وجود مواد رسی بین قطعات خردشده و همچنین احتمال شستشوی این مواد بوسیله آب مخزن و افزایش مقاومت این زون، لازم است که بین قطعات زون خردشده بوسیله دوغاب سیمان پر شود. رده D نیز فقط در ۲/۹ درصد از مقاطع رویت شده است و باید برای این مقاطع تمهیدات لازم اندیشیده شود.

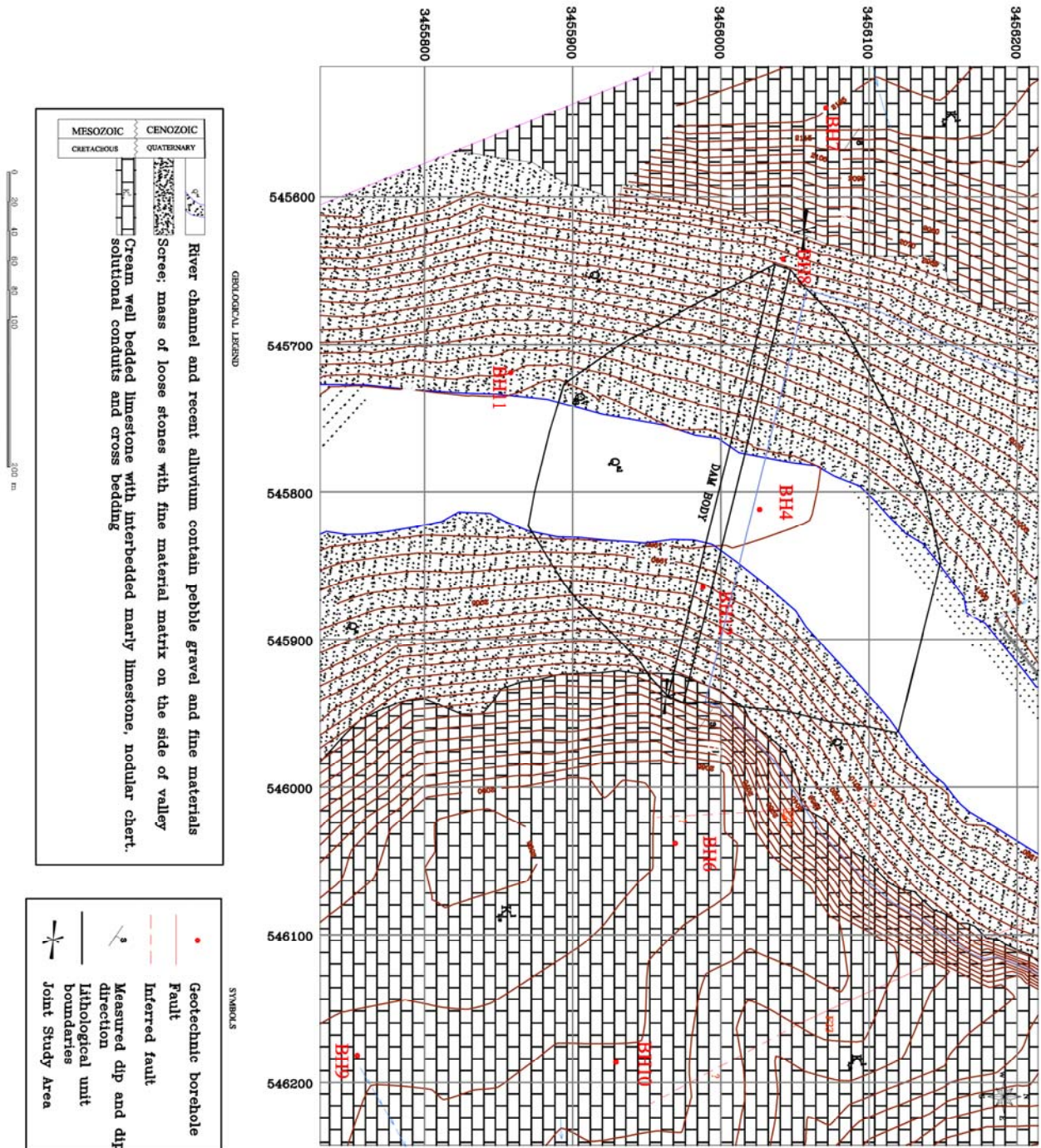
۴- بیشترین نفوذپذیری در واحد سنگی سروک - ایلام مربوط به موقعیت گمانه BH.6 در عمق ۶۰-۵۸ متری می‌باشد. با توجه به حجم زیاد فرار آب مقطع که در فشار کم رخ داده است و وجود گسل در این موقعیت، باید تمهیدات لازم اندیشیده شود.

۵- با توجه به ارزیابی توده سنگ‌های ساختگاه سد در برابر جریان آب با استفاده از نتایج و تفاسیر نمودارهای P-Q، بیشترین رفتار هیدرولیکی مربوط به باز شدگی و آب شستگی می‌باشد که نشان دهنده ی باز شدن درزه‌ها در طول آزمایش و وجود درزه‌های کششی و درزه‌هایی با باز شدگی قابل ملاحظه و یا درزه‌هایی با پرشدگی توسط مواد سست است. با توجه به مواد سست در درزه‌ها و بین قطعات زون خردشده، باید قبل از هر گونه عملیات تزریق، مقاطع با فشار آب شستشو داده شوند.

۶- با توجه به محاسبه میزان نشت ساختگاه در صورت اجرای پرده آب بند و کاهش هشتاد و نه درصدی هدر رفت آب، بهتر است که عملیات تزریق و اجرای پرده آب بند انجام شود. تزریق سیمان باعث بهبود مقاومت و پایداری توده‌های سنگی بخصوص در زون خردشده می‌شود و ایمنی و پایداری سازه سد را بالا می‌برد.

۷- با توجه به نمودارهای SPI و RQD پیشنهاد می‌شود که قبل از اجرای پرده آب بند در محدوده گمانه BH.6 با نسبت مناسب W/C دوغاب سیمان، تزریق آزمایشی انجام شود.





پیوست ۱- نقشه زمین شناسی سد تنگاب سمیرم (مهندسین مشاور زایندهآب ۱۳۸۶ ب)

dam sites: Part 1, Springer Verlag, Berlin, p. 31-77.

12- Ewert, F. K., 1997, Permeability, groutability and grouting of rocks related to dam sites: Part 2, Springer Verlag, Berlin, p. 123-176.

13- Ewert, F. K., 1997, Permeability, groutability and grouting of rocks related to dam sites: Part 4, Springer Verlag, Berlin, p. 271-325.

14- Ewert, F., K., 2005, Hydrofracturing of Laten Disconinuities in Rock and Implication for Successful and Economical of Grouting, 51 p.

15- Fransson, A., 2001, Characterization of a Fractured Rock Mass for a Grouting Field Test: Tunneling and Underground Space Technology, v. 16, p. 331-339.

16- Foyo, A, and A., Miguel Sa´nchez, Carmen Tomillo, 2005, A proposal for a Secondary Permeability Index obtained from water pressure tests in dam foundations: Engineering Geology, v. 77; p. 69-82.

17- Houlsby, A. C., 1976, Engineering of Grouting Curtains to Standards: Journal of Geotechnical Eng. Div, ASCE GT9, p. 953-970.

18- Houlsby, A. C., 1990, Construction and design of cement grouting: John-Wiley, 427p.

19- Karagqzel, R., R., Kilic, 2000, The effect of the alteration degree of ophiolitic melange on permeability and grouting: Eng. Geol. v. 57; p. 1 - 13.

20- Kutzner, T, C., 1996, Grouting of Rock and Soil: A., A., Balkema/ Rotterdam/ Brook Field, 271 p.

21- Todd, D. K., and L. W. Mays, 2005, Ground water hydrology: John Wiley & Sons, Inc, 636p.

## منابع

۱- اورت، ف، ک.، ترجمه ابراهیمی م، ساعتی، ۱۳۸۵، تزریق در سنگ با تأکید بر ساختگاه سدها: انتشارات سیمای دانش، ۴۳۳ ص.

۲- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۰، زمین شناسی ایران: نشر دانش امروز، ۹۰۱ ص.

۳- خدمات ژئوتکنیک مرحله اول طرح تامین آب دشت سمیرم، ۱۳۸۷: مهندسین مشاور مهندسی خاک پی تهران.

۴- کثیری دولت آبادی، ا.، ۱۳۸۸، ارزیابی تراوایی توده سنگ های ساختگاه سد تنگاب سمیرم با استفاده از آزمایش لوژان: پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ۱۳۸ ص.

۵- گزارش زمین شناسی مهندسی طرح تامین آب جنوب سمیرم مطالعات مرحله اول؛ ۱۳۸۶، a: شرکت مهندسین مشاور زاینده آب، ۱۷۰ ص.

۶- نقشه زمین شناسی مهندسی محور ۳ سد تنگاب؛ ۱۳۸۶، b: شرکت مهندسین مشاور زاینده آب، مقیاس ۱:۲۰۰۰،

۷- نقشه زمین شناسی سمیرم: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰،

۸- نانوایلر، ای، ترجمه مهندسین مشاور زاینده آب، ۱۳۷۵، عملیات مهندسی تزریق: مهندسین مشاور زاینده آب با همکاری انتشارات صنعت سرا، ۴۰۰ ص.

9- Ajalloeian, R, Moein, F., 2009, Evaluation of Damsites Groutability Using Secondary Permeability Index, Rock Classification (Case Studies): American Journal of Applied Sciences v. 6, p. 1235-1241.

10- Ewert, F.K., 1985, Rock Grouting with Emphasis on Dam Sites: Springer Verlag, Berlin. 428 p.

11- Ewert, F. K., 1997, Permeability, groutability and grouting of rocks related to