

## مقایسه عدد لوژن و خوردند دوغاب در عملیات تزریق سد ارداک

مهدی عباسی<sup>۱\*</sup>، محمد غفوری<sup>۲</sup>، علی ارومیه‌ای<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- دانشیار گروه زمین شناسی مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه زمین شناسی مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس تهران

E-mail: mehdi\_19801@yahoo.com

### چکیده:

جهت کاهش آثار منفی پدیده نشست در سدهای خاکی روشهایی برای کنترل آن بکار گرفته می شود. یکی از این روشها که در تکیه گاه ها و پی سدهای خاکی مورد استفاده قرار می گیرد روش تزریق است. این پرده با استفاده از تزریق دوغاب سیمان و رس یا مواد شیمیایی مناسب و ایجاد یک دیواره نسبتاً نفوذ ناپذیر در زیر هسته ایجاد میشود. تخمین تزریق پذیری و یا خوردند گمانه ها جهت اجرای پرده آبنند به دلیل پیچیدگی ساختگاه برآحتی امکانپذیر نیست. در این مقاله به بررسی و مقایسه عدد لوژن در آزمایش نفوذپذیری و میزان خوردند دوغاب در گمانه های تزریق در ساختگاه سد ارداک که در فاصله ۷۰ کیلومتری مشهد در حال ساخت میباشد پرداخته شده است. جهت بررسی ارتباط بین نفوذ پذیری و تزریق پی سد نتایج بدست آمده از آزمایشات فشار آب و میزان جذب سیمان در گمانه های تزریق جناح چپ سد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. نتایج این بررسی نشان می دهد در بیشتر موارد ارتباط مستقیمی میان مقادیر سیمان خوری و میزان نفوذپذیری وجود دارد.

**واژه های کلیدی:** ساختگاه سد ارداک- عدد لوژن- خوردند دوغاب- عملیات تزریق- پرده آبنند

### ۱-مقدمه

از آنجائیکه تراوش در پی و تکیه گاه های یک سد موجب هدر رفتن آب ذخیره شده در مخزن شده و به علاوه با فرسایش سنگها و بوجود آوردن فشار بالا برنده در پی می تواند پایداری سد را به مخاطره بیندازد، بررسی امکان اجرای عملیات تزریق به عنوان یک راه حل عملی جهت مقاوم سازی پی و کاهش نشست از آن اهمیت زیادی دارد. تزریق روشی است که توسط آن ماده تزریق به خلل و فرج و درز و شکاف یا حفره های تشکیلات سنگی و خاکی تزریق شده و موجب بهبود خصوصیات مهندسی آنها می گردد، بطوریکه در اثر آن نفوذ پذیری لایه ها کم، مقاومت لایه ها افزایش و تغییر شکل پذیری توده سنگ کاهش می یابد.

### ۲-مشخصات سد و موقعیت جغرافیایی

سد ارداک، سدی خاکی با هسته رسی است که در ۷۰ کیلومتری شمال غرب شهر مشهد بر روی رودخانه ارداک که یکی از سر شاخه های فرعی کشف رود است در حال احداث می باشد. مشخصات محل ساختگاه در طول جغرافیایی ۲۴' و ۵۹' و عرض جغرافیایی ۴۶' و ۳۶' می باشد. ارتفاع سد از پی ۵۵/۵ متر و حجم مفید مخزن سد ۳۰ میلیون متر مکعب است. این سد مخزنی جهت تامین آب شرب شهر مشهد و کشاورزی اراضی پایین دست مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

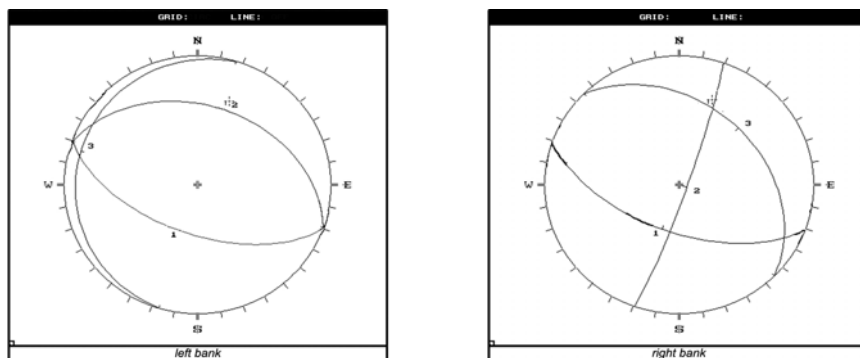
### ۳-خصوصیات زمین شناسی ساختگاه

محدوده سد و سازه های جانبی آن بر روی سری تحتانی سازند مزدوران مربوط به ژوراسیک فوقانی واقع شده که لیتولوژی آن شامل لایه های مارنی، مارنی آهکی و آهکی با ضخامت های متفاوت می باشد. در بخش محور سد واحدهای مارنی و

مارنی آهکی نسبت به آهک ها گسترش بیشتری دارند. هر دو تکیه گاه سد از نظر سنگ شناسی و نوع لایه بندی یکسان بوده و شیب لایه ها به طرف پایین دست و حدود ۶۰ درجه است. بر اساس حفاری های انجام شده ضخامت رسوبات آبرفتی رودخانه ای در بستر رودخانه ارداک بطور متوسط بین ۱۸ تا ۲۰ متر می باشد و قسمت اعظم این رسوبات دارای منشاء آهکی و ماسه سنگی هستند.

#### ۴- بررسی وضعیت درزه های ساختگاه سد

در اثر فعالیت های تکتونیکی در منطقه، آهک و مارن های موجود که لیتولوژی غالب محل محور را تشکیل می دهند بوسیله مجموعه ای از درز و شکاف قطع گردیده اند. به منظور تعیین سیستم های درزه و سایر ناپیوستگی ها و نیز مطالعه نحوه تغییر روند آنها، اقدام به برداشت های سطحی و اندازه گیری و بررسی ناپیوستگیها در هر دو تکیه گاه سد شده است. به طور کلی تعداد ۳۸۸ ناپیوستگی برداشت گردید که از این تعداد، ۲۱۳ ناپیوستگی از تکیه گاه راست و ۱۷۵ ناپیوستگی از تکیه گاه چپ می باشد. جهت تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات از نرم افزار کامپیوتری Dips استفاده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، تعداد ۳ دسته درزه در هر تکیه گاه مشخص گردیده که یک دسته درزه به موازات لایه بندی توده سنگی است. فراوانی درزه در تکیه گاه راست ۳ درزه بر متر مربع و در تکیه گاه چپ ۲ درزه بر متر مربع است. موقعیت ساختاری ناپیوستگی های غالب در تکیه گاههای سدارداک در جدول ۱ آورده شده است. به طور کلی چهار سیستم درز و شکاف در محل سد مجموعه محور سد را تحت تاثیر قرار داده که در نفوذ پذیری و در نتیجه تزریق پذیری نقش مهمی دارند. (شکل ۱)



شکل ۱) تصاویر استریوگرافی حاصل از مطالعه درزه ها در جناحین ساختگاه

جدول ۱) موقعیت ساختاری ناپیوستگی های غالب در تکیه گاه های سدارداک

نوع ناپیوستگی	جهت شیب	شیب	تعداد دسته درزه	موقعیت
J1(B)	۱۱۰	۶۰	۳	تکیه گاه راست
J2	۱۹	۸۵		
J3	۳۱۴	۳۸		
J1(B)	۱۱۰	۶۰	۳	تکیه گاه چپ
J2	۲۸۹	۳۸		
J3	۱۹۶	۱۰		

جهت تعیین خصوصیات مهندسی ناپیوستگی ها اعم از شیب، جهت شیب، فاصله داری، تداوم، زبری، بازشدگی، مواد پرکننده، شرایط آب زیرزمینی و هوازدگی مطالعات صحرایی بر روی آنها صورت گرفته و نتایج بدست آمده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲) خصوصیات مهندسی ناپیوستگی های ساختگاه سدارداک

موقعیت	تداوم (m)	بازشدگی (mm)	فاصله داری (cm)	پرشدگی	زبری	شکل	آب زیرزمینی
تکیه گاه راست	۳-۱۰	۱-۵	۲۰-۶۰	کلسیت ورس	کمی زبر	موجدار	خشک
تکیه گاه چپ	۳-۱۰	۱-۵	۶۰-۲۰۰	کلسیت ورس ولوم	زبر	موجدار	خشک

#### ۵-پیشینه تحقیق

تلاش زیادی برای برقراری رابطه بین عدد لوژن و خوردند دوغاب صورت گرفته است. هدف از برقراری ارتباط میان این دو عدد، پیش بینی جذب دوغاب سیمان توسط توده سنگ در عملیات تزریق است. بررسی های انجام شده نشان داده است که در برخی موارد ارتباطی میان عدد لوژن و میزان خوردند دوغاب سیمان وجود ندارد. اورت معتقد است که این تفاوت به این دلیل است که درزه هایی که در آنها آب به سهولت جریان می یابد برای دوغاب امکان جریان یافتن وجود ندارد و یا اینکه شکستگی هیدرولیکی ناشی از فشار تزریق و یا شسته شدن ذرات داخل درزه می گردد.

وجود این تفاوت و اختلاف را به دلایل زیر نسبت می دهند:

- ۱- آب یک مایع نیوتنی است ولی دوغاب سیمان یک توده بینگهام می باشد.
- ۲- آزمایش فشار آب (لوژن) دارای یک زمان مشخص و معین است، ولی تزریق محدوده زمانی مشخصی ندارد.
- ۳- آب توانایی ورود به درزه ها و شکافهای خیلی ریز و باریک را دارد ولی دوغاب این توانایی را ندارد.
- ۴- در آزمایش فشار آب (لوژن) میزان جریان آب اندازه گیری می شود ولی در تزریق، مقدار حجم دوغاب سیمان مورد نظر است.

۵- آب مولکولی است ولی دوغاب سیمان یک سوسپانسیون حاوی ذرات سیمان در آب است.

۶- فشار بکاررفته در آزمایش لوژن با فشار در عملیات تزریق دوغاب متفاوت است.

حجم دوغاب تزریق، با توان سوم بازشدگی دهانه درزه ها متناسب است ولی در آزمایش لوژن میزان آبخوری تابع دهانه درزه است (رابطه ۱).

$$V_{max} = 2 \pi p_{max}^2 \times \frac{t^3}{C^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه  $V_{max}$  حجم دوغاب تزریق،  $P_{max}$  فشار ماکزیمم تزریق،  $C$  چسبندگی دوغاب و  $t$  بازشدگی دهانه درزه می باشد.

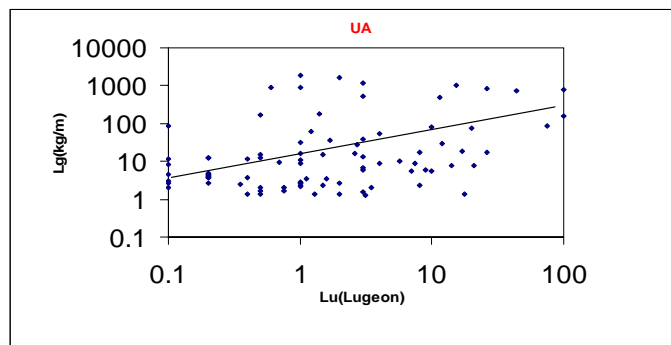
اورت با استفاده از رسم نمودار عدد لوژن و خوردند دوغاب نتایج ذیل را بدست آورده است:

گروه (A) عدد لوژن  $> 5$  و خوردند سیمان  $> 40 \text{ kg/m}$

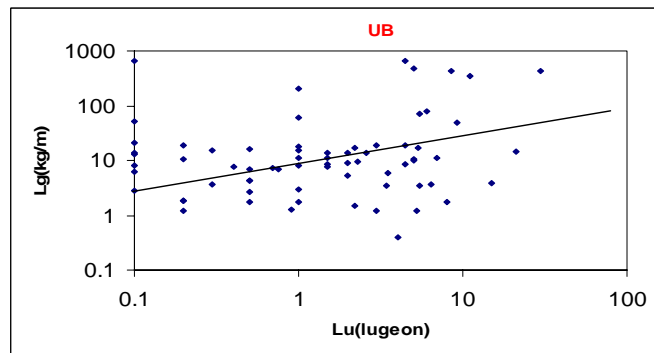
گروه B) عدد لوژن  $> 20$  و خورند سیمان  $> 40 \text{ kg/m}$  که دلیل آن وجود درزه های باریک است.  
گروه C) عدد لوژن  $< 30$  و خورند سیمان بین  $50 \text{ kg/m}$  تا بیشتر از  $1000 \text{ kg/m}$   
گروه D) عدد لوژن  $> 5$  و خورند سیمان بین  $100 \text{ kg/m}$  تا بیشتر از  $1000 \text{ kg/m}$  است که علت آن بروز شکست هیدرولیکی در سنگ، شسته شدن مواد ریزدانه و یا اتساع درزه بر اثر فشار تزریق می باشد.

#### ۶- آنالیز نتایج ارتباط عدد لوژن و خورند دوغاب

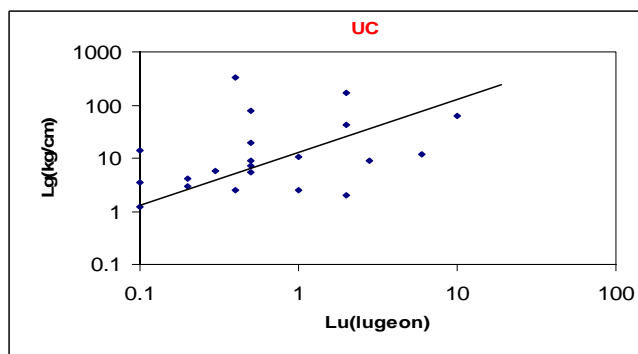
جهت مقایسه عدد لوژن و خورند دوغاب در گمانه های تکیه گاه چپ نمودارهایی بر اساس میزان خورند دوغاب بر حسب کیلوگرم بر متر و نیز عدد لوژن بدست آمده از آزمایش لوژن ترسیم گردیده است. (شکل های ۲ تا ۱۲).



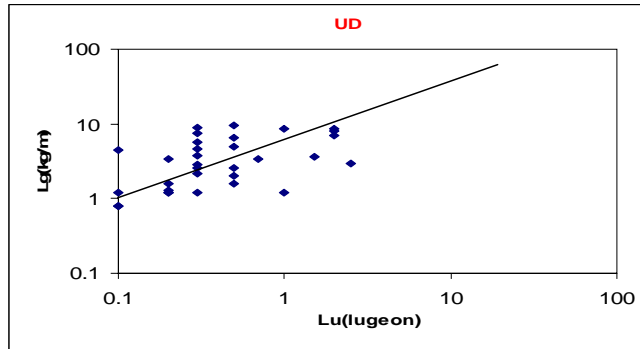
شکل ۲) نمودار مقایسه عدد لوژن و خورند دوغاب در گمانه های سری A بالادست در تکیه گاه چپ



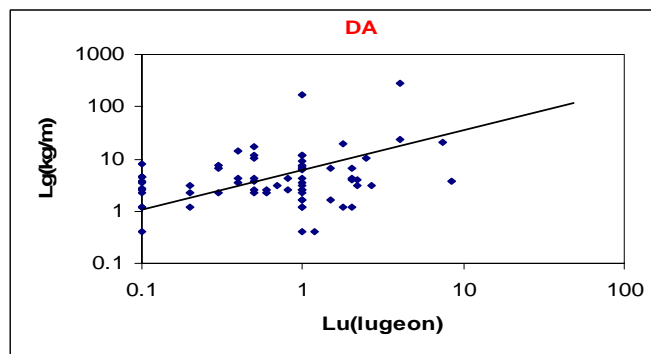
شکل ۳) نمودار مقایسه عدد لوژن و خورند دوغاب در گمانه های سری B بالادست در تکیه گاه چپ



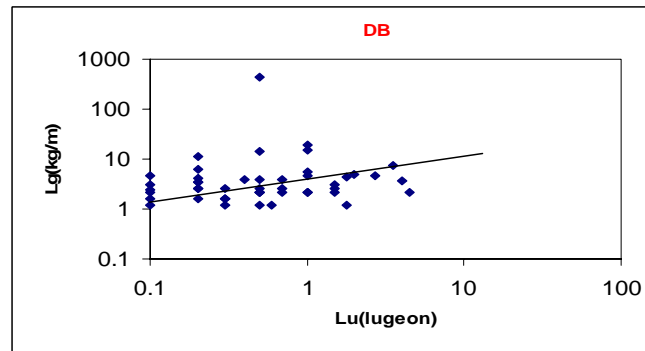
شکل ۴) نمودار مقایسه عدد لوژن و خورند دوغاب در گمانه های سری C بالادست در تکیه گاه چپ



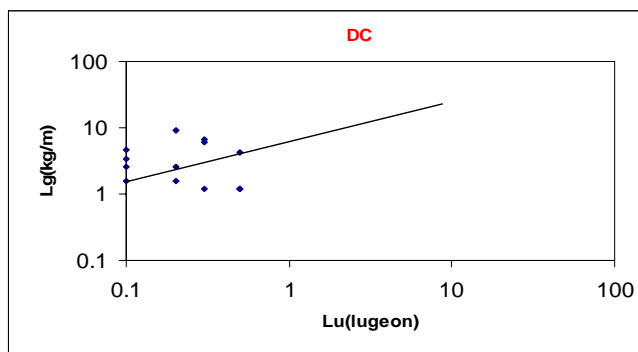
شکل ۵) نمودار مقایسه عدد لوژن و خوردند دوغاب در گمانه های سری **D** بالادست در تکیه گاه چپ



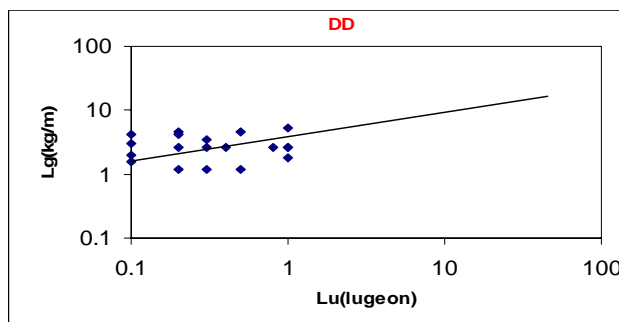
شکل ۶) نمودار مقایسه عدد لوژن و خوردند دوغاب در گمانه های سری **A** پایین دست در تکیه گاه چپ



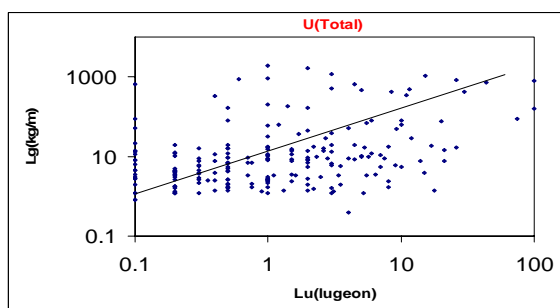
شکل ۷) نمودار مقایسه عدد لوژن و خوردند دوغاب در گمانه های سری **B** پایین دست در تکیه گاه چپ



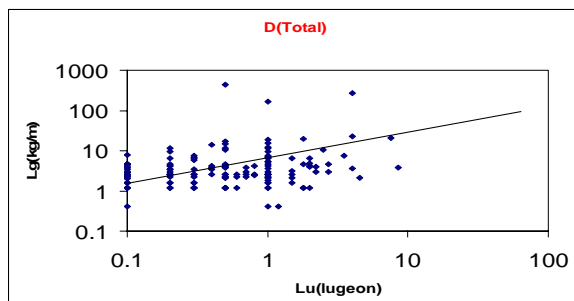
شکل ۸) نمودار مقایسه عدد لوژن و خوردند دوغاب در گمانه های سری **C** پایین دست در تکیه گاه چپ



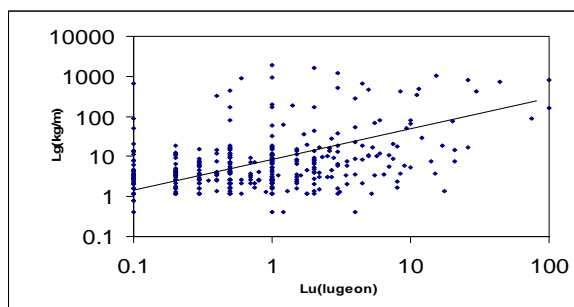
شکل ۹) نمودار مقایسه عدد لوژن و خوردند دوغاب در گمانه های سری D پایین دست در تکیه گاه چپ



شکل ۱۰) نمودار مقایسه عدد لوژن و خوردند دوغاب در کلیه گمانه های بالادست تکیه گاه چپ



شکل ۱۱) نمودار مقایسه عدد لوژن و خوردند دوغاب در کلیه گمانه های پایین دست تکیه گاه چپ



شکل ۱۲) نمودار مقایسه عدد لوژن و خوردند دوغاب در کلیه گمانه های تکیه گاه چپ

با توجه به نمودارهای ترسیم شده عدد لوژن و میزان سیمان خوری در تکیه گاه چپ سد ارداک، در بیشتر موارد ارتباط مستقیمی میان مقادیر سیمان خوری و میزان نفوذ پذیری وجود دارد. ولی به طور کلی چهار حالت در این نمودار ها مشاهده می گردد که عبارتند از:

گروه (۱) خوردن آب در آزمایش لوژن بالا بوده ولی سیمان خوری خیلی کم است. این حالت می تواند نشانگر وجود درزه های باریک در توده سنگ باشد. در این حالت آب به راحتی می تواند در درزه ها نفوذ نماید و به همین دلیل آبخوری زیاد است ولی نفوذ دوغاب به علت وجود دانه های سیمان مشکل است در نتیجه تزریق پذیری این توده سنگها پایین است. این مورد در پیمایش مغزه های حاصل از گمانه های کنترلی مشاهده شده است که بعضی درزه های در حد ۱mm و کمتر تزریق نشده باقی مانده اند.

گروه (2) خوردن آب در آزمایش لوژن و سیمان خوری هر دو پایین است. این حالت می تواند بیانگر وجود درزه های بسیار ریز است که ارزش تزریق ندارند. همچنین می توان احتمال داد که توده سنگ ناتراوا است و یا اینکه پرشدگی درزه های حاوی رس، سیلت و یا کلسیت مانع از جریان یافتن آب و دوغاب در درزه ها می گردند.

گروه (۳) خوردن آب در آزمایش لوژن پایین بوده ولی سیمان خوری بالا است. این حالت می تواند نمایانگر پدیده شکستگی هیدرولیکی، فرسایش مواد داخل درزه ها و یا اتساع درزه ها باشد. شکستگی هیدرولیکی می تواند در اثر شکسته شدن درزه های پنهان سنگ بر اثر فشار بالای تزریق رخ دهد و نیز فرسایش و حرکت مواد داخل درزه بر اثر فشار تزریق که بالاتر از فشار آزمایش لوژن است می تواند این حالت را بوجود آورد.

گروه (۴) خوردن آب در آزمایش لوژن و سیمان خوری هر دو بالا است. در این حالت تناسب تقریبی بین این دو مقدار وجود دارد و می تواند بیانگر وجود درزه های باز، سطوح لایه بندی و یا احتمالاً حفرات کارستی باشد که در نتیجه آن آب و دوغاب به راحتی در آنها جریان می یابند.

### گمانه های کنترلی

گمانه های کنترلی تحکیمی و پرده آبنند، برای تعیین شرایط کیفی تزریق در سنگ یا کنترل عملکرد گمانه های پرده آبنند حفر می گردند. گمانه های کنترلی همچنین جهت کنترل نقاطی که خوردن گمانه های تزریق به معیار پذیرش نرسیده باشد، حفر می گردند. این گمانه ها باید در محلی در محدوده طرح، بصورت عمودی یا مایل و حداقل ۵ تا ۱۰ متر عمیق تر از عمق پرده آب بند و محدوده تحکیم یافته حفر گردند. در این گمانه ها باید مغزه گیری انجام شود و پس از هر ۵ متر عملیات حفاری، در آنها آزمایش فشار آب (لوژن) ۵ پله ای (۷۵ دقیقه ای) صورت گیرد. قطر گمانه های کنترلی نباید کمتر از ۷۶ میلیمتر باشد. تعیین محل گمانه های کنترلی (تحکیم و پرده آبنند) با استفاده از آنالیز نتایج در مرحله های انجام شده صورت می گیرد. چنانچه مقادیر آزمایش نفوذپذیری لوژن بیش از ۱ باشد باید آن منطقه توسط گمانه های جدید مورد تزریق قرار گیرد و در غیر این صورت پس از اتمام آزمایش لوژن، گمانه کنترلی مورد تزریق قرار می گیرد. در تکیه گاه چپ سد ارداک پس از تزریق، تعدادی گمانه کنترلی حفر گردیده و مورد آزمایش لوژن قرار گرفته که نتایج آزمایش لوژن در این گمانه ها نشاندهنده موفقیت عملیات تزریق و رسیدن به معیارهای مورد نظر است. این گمانه ها باید پس از انجام آزمایش لوژن مورد تزریق قرار گیرند.



## نتیجه گیری

- ۱- محدوده سد و سازه های جانبی آن در حوضه رسوبی کپه داغ قرار دارد و بر روی سری تحتانی سازند مزدوران مربوط به ژوراسیک فوقانی واقع شده که لیتولوژی آن شامل لایه های مارنی، مارنی آهکی و آهکی با ضخامت های متفاوت می باشد.
- ۲- تناوب لیتولوژی مارنی، مارنی آهکی و آهکی در توالی لایه های تشکیل دهنده طرفین مسیر رودخانه باعث تناوب در نحوه فرسایش واحدهای سنگی گردیده است. شیب لایه ها در دو طرف تکیه گاه مشابه و در حدود ۵۵ تا ۶۵ درجه به سمت جنوب و امتداد آن ۱۱۰ N (تقریباً شرقی - غربی) و به موازات محور تاقدیس می باشد
- ۳- تعداد پنج گسل در محدوده ساختگاه سد شناسایی شده اند که از نوع نرمال و کششی می باشند و دارای بازشدگی ۵۰-۱۰ سانتیمتر می باشند که توسط کلسیت، مواد لیمونیتی و رس پر شده اند. گسل های F1 و F2 در تکیه گاه راست، F3 در تکیه گاه چپ و گسل های F4 و F5 در شمال محور سد است.
- ۴- سنگ های محل محور سد تحت تاثیر چهار سیستم درزه و شکاف قرار گرفته اند که سیستم درزه J1 که به موازات لایه بندی و بطرف پایین دست است، اصلی ترین ناپیوستگی را تشکیل می دهند و نقش مهمی در نفوذ پذیری دارد. فواصل متوسط درزه ها در تکیه گاه راست ۶۰-۲۰ سانتیمتر و در تکیه گاه چپ بطور متوسط ۲۰۰-۶۰ سانتیمتر است و پرشدگی درزه ها اغلب توسط کلسیت و رس می باشند.
- ۵- نتایج نمودارهای لوژان و خوردند دوغاب در عملیات تزریق در تکیه گاه چپ تقریباً دارای ارتباط مناسبی می باشند.
- ۶- بطور دقیق نمیتوان با استفاده از نتایج نفوذ پذیری، سیمان خوری سنگ را هم تعیین نمود.
- ۷- در برخی موارد افزایش جذب سیمان مستقل از نتایج نفوذ پذیری بوده و ارتباط مستقیم با هم ندارند.

## تشکر و قدردانی:

از شرکت مهندسی مشاور اب پوی به خاطر در اختیار گذاشتن گزارشات کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## منابع:

- ۱- افشار حرب. ع.، ۱۳۷۳، زمین شناسی کپه داغ، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، شماره ۱۱، ۲۷۵ صفحه.
- ۲- شرکت مهندسی مشاور آب پوی، ۱۳۷۳، گزارش مرحله شناخت سد ارداک.
- ۳- عباسی. م.، ۱۳۸۴، بررسی تزریق پذیری و طراحی پرده آبنده سد ارداک، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۲۰۹ صفحه.
- ۴- عباسی. م.، غفوری. م.، ارومیه ای. ع.، ۱۳۸۵، تزریق پذیری و نفوذ پذیری ساختگاه سد ارداک، دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- 5-Janson, T., 1998. Calculation Models for Estimation of Grout Take in Hard jointed rock. Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, page.1018.
- 6-Krizek, R.J., Schwarz, L.G., Pepeer, S.F., 1993. Bleed and rheology of cement grouts. conference of Grouting in Rock and Concrete, Balkema, pp.56-64.
- 7-Kutzner, C., 1996. Grouting of Rock and Soil. A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands
- 8-Warner, J., 2004. Practical Handbook of Grouting; soil, Rock, and Structures. John Wiley & Sons, Inc. page.700
- 9-Yang, C.P., 2004. Estimating Cement take and grout efficiency on Foundation improvement for Li-Yu-Tan dam. Engineering Geology, Vol.75, pp.1-14.