

## تفسیر داده‌های نفوذپذیری و فورند سیمان در عملیات تزریق تمکیمی سد مخزنی چراغ‌ویس کردستان بر اساس زمین‌شناسی زیر ساختگاه سد

جمال زادهش\*<sup>۱</sup>، فواد رستگار<sup>۲</sup>، مسین میرزائی‌نصیرآباد<sup>۳</sup> و حاصل امینی‌فوشالان<sup>۴</sup>

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، j.zadhash@gmail.com

۲) دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، rastegar.uotm@gmail.com

۳) استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، hmirezaii@shahroodut.ac.ir

۴) دانشجوی دکتری استخراج معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، h.amini.kh@gmail.com

\* عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۱/۶/۲۳؛ دریافت اصلاح شده: ۹۱/۱۰/۱۱؛ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۳؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۲/۴/۳۰

### پیکیده

سد مخزنی چراغ‌ویس، از سدهای شیروانی نوع سنگ‌ریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد که در ۱۷ کیلومتری غرب شهرستان سقز در استان کردستان واقع شده‌است. با توجه به ساختار زیر ساختگاه سد، عملیات تزریق تمکیمی زیر هسته رسی این سد در گمانه‌هایی با عمق ۱۰/۵ متر از پایین به بالا اجرا شد. عدم توجه به ساختارهای زمین‌شناسی در حین مطالعات و ساخت سدها مشکلات زیادی را به دنبال خواهد داشت. در این مقاله نفوذپذیری و خوردند سیمان عملیات تزریق تمکیمی زیر هسته رسی با استفاده از داده‌های ۱۴۳۸ گمانه تزریق تمکیمی بررسی و با استفاده از زمین‌شناسی زیر ساختگاه سد، تفسیر و ارزیابی شدند. در نهایت دو پارامتر نفوذپذیری و خوردند سیمان گمانه‌های تزریق تمکیمی با هم مقایسه شده و ناهمخوانی آن‌ها با توجه به زمین‌شناسی زیر ساختگاه سد و کاستی آزمایشات نفوذپذیری بررسی گردید.

**واژه‌های کلیدی:** تزریق تمکیمی، نفوذپذیری، خوردند سیمان، زمین‌شناسی، سد مخزنی چراغ‌ویس.

### ۱- مقدمه

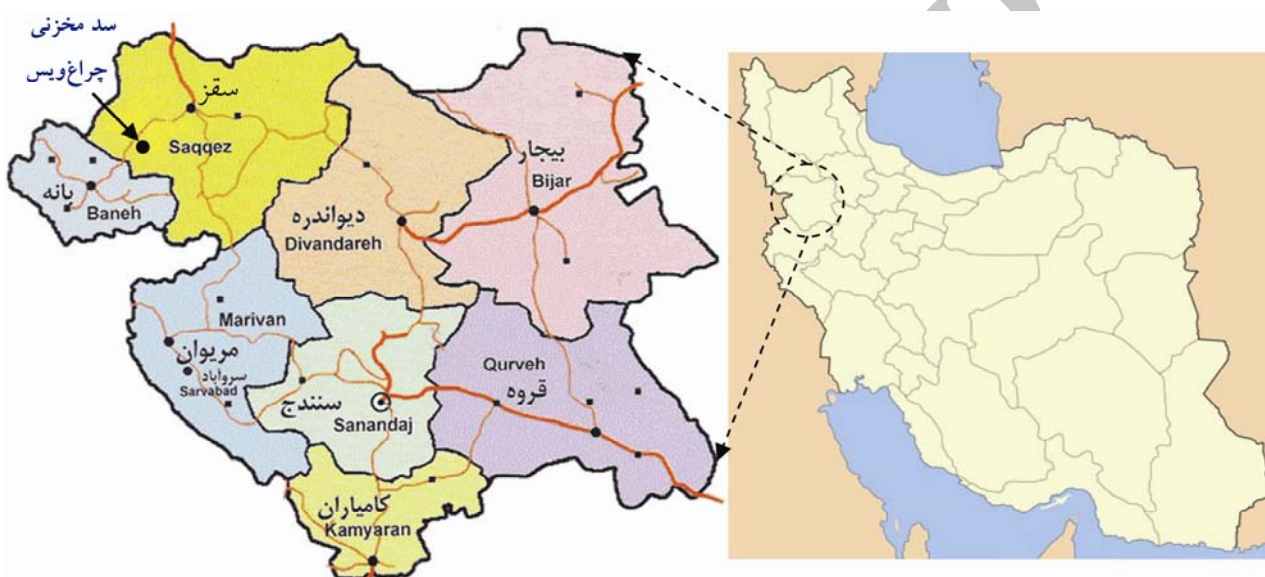
رودخانه خان، تنظیم و کنترل سیلاب‌ها و رواناب‌های این حوضه برای تامین نیاز آب شرب دراز مدت شهر سقز به میزان ۳۳ میلیون متر مکعب و آب کشاورزی اراضی پایاب سد به مساحت ۶۰۰۰ هکتار (۱۳۰۰۰ هکتار بهبود و ۴۷۰۰۰ هکتار توسعه) می‌باشد. امروزه تزریق سیمان به طور مداوم به عنوان یکی از مهمترین تکنیک‌های پایدارسازی سازه‌های خاکی و سنگی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که شامل تزریق سیمان و یک سری افزودنی به داخل خاک یا سنگ، با فشار و حجم کنترل شده می‌باشد. مهمترین هدف از تزریق، کاهش نفوذپذیری و

سد مخزنی چراغ‌ویس در استان کردستان، حدفاصل شهرهای سقز و بانه واقع شده است. این سد در طول جغرافیایی ۶۶° ۴۶ شرقی و عرض جغرافیایی ۱۱۲° ۳۶ شمالی بر روی رودخانه خان از سر شاخه‌های زربینه رود و حوزه آبریز دریاچه ارومیه احداث می‌گردد (تصویر ۱). سد مخزنی چراغ‌ویس از جمله سدهای شیروانی نوع سنگ ریزه‌ای با هسته رسی قائم به ارتفاع ۶۲/۵ متر از بستر رودخانه، با طول تاج ۲۵۸ متر و عرض تاج ۱۰ متر می‌باشد. هدف از احداث این سد بر روی

آزمایش تعیین می‌گردد (Foyo et al. 2005). با این حال، مقادیر لوژان هرگز نباید به تنهایی و بدون داشتن ایده‌ای از زمین‌شناسی آن محل (بازشدگی و فاصله‌داری درزه‌ها) بکار برده شوند. علت آن است که یک مقدار لوژان می‌تواند از یک درزه منفرد با بازشدگی زیاد و یا از تعدادی از درزه‌ها با بازشدگی کمتر حاصل شود. بدیهی است که خوردن سیمان در حالت اول بیش از حالت دوم می‌باشد، زیرا ذرات سیمان قادر به عبور از درزه‌های ریز نیستند (Houlsby 1990). به عبارت دیگر عدم ارتباط مناسب بین مقادیر لوژان و خوردن سیمان از مهمترین کاستی‌های آزمایش لوژان است (Gustafson & Stille 1996, Ewert 1992, Widmann 1996, Yang 2004).

بهبود پارامترهای مکانیکی سنگ و خاک است (Cambefort 1967). عمق نفوذ تزریق به اندازه، تمرکز ذرات سیمان و میزان تخلخل محیط بستگی دارد (Zebovitz et al. 1989).

همچنین مطالعات جدید نشان می‌دهد که استفاده از سیمان‌های دانه‌ریز عمق نفوذ را افزایش می‌دهد (Dupla et al. 2005, Celik 2009). برای تعیین نفوذپذیری و تزریق‌پذیری سنگ‌ها از آزمایش پله‌ای فشار آب (یا آزمایش لوژان اصلاح شده) که معمول‌ترین آزمایش است استفاده می‌شود. در این آزمایش قسمتی از طول گمانه با پکر مسدود و آب با فشار به داخل آن تزریق می‌شود. گذردهی توده‌سنگ با توجه به نرخ خوردن آب، فشار آزمایش و طول گام



تصویر ۱- موقعیت سد مخزنی چراغ‌ویس (اقتباس از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان ۱۳۸۸)

تزریق تحکیمی سد مخزنی چراغ‌ویس، استفاده از ویژگی‌های زمین‌شناسی زیر ساختگاه سد ضروری می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی زیر ساختگاه سد، داده‌های نفوذپذیری و خوردن سیمان تحلیل و تفسیر شدند.

#### ۲- روش مطالعه

در این تحقیق ابتدا ساختار زمین‌شناسی زیر ساختگاه سد از نظر نوع لیتولوژی، نفوذ محلول‌های هیدروترمال و آلتراسیون بررسی می‌شود. سپس با استفاده از آزمایش لوژان، نفوذپذیری ساختگاه ارزیابی و در نهایت تزریق تحکیمی در گمانه‌هایی با فواصل دو متر اجرا و مقدار خوردن سیمان هر گمانه مشخص می‌شود. نتایج بدست آمده از تزریق تحکیمی بر اساس ساختار زمین‌شناسی تحلیل و تفسیر می‌شود. از آنجایی که نتایج آزمایش لوژان به تنهایی نمی‌تواند بیانگر خوبی برای

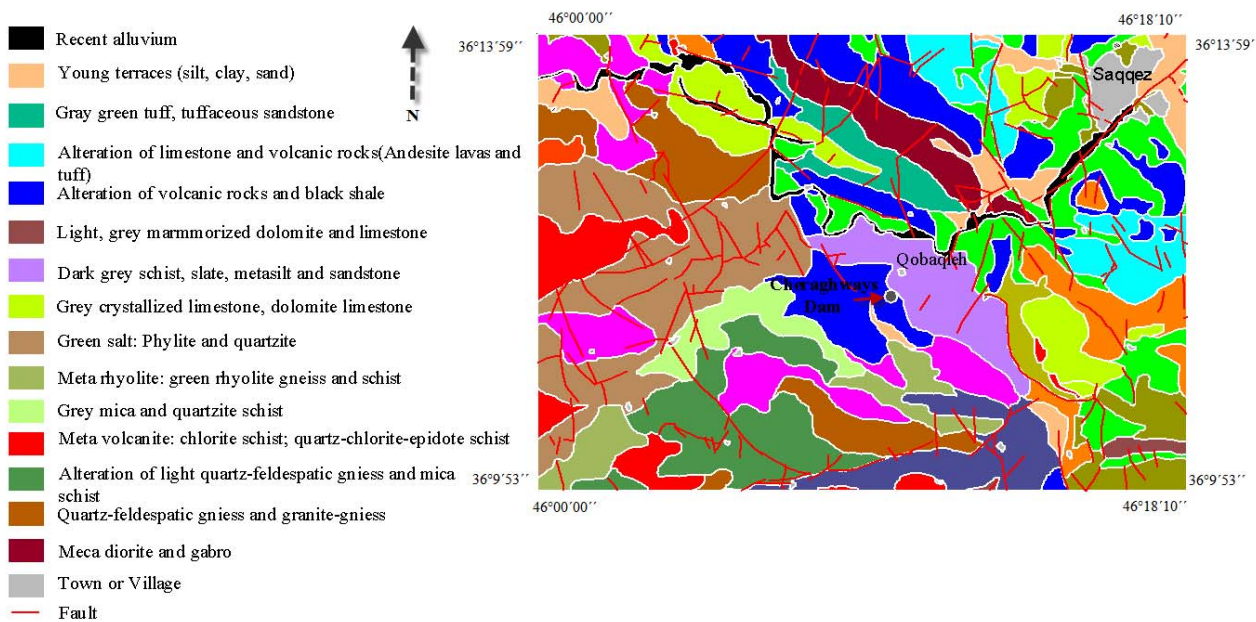
عدم توجه به ساختارهای زمین‌شناسی در حین مطالعات و ساخت سدها مشکلات زیادی را به دنبال خواهد داشت (قاضی‌فرد و همکاران ۱۳۹۰). برای اجرای بهینه و تفسیر داده‌های حاصل از تزریق، تعیین خصوصیات ژئومکانیکی و تکتونیکی مکان تزریق، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Barrios Padura et al. 2009). همچنین با استفاده از مطالعات زمین‌ریخت‌شناسی می‌توان رفتار دیواره‌های داخل مخزن را پیش‌بینی نمود (پورسلطانی و همکاران ۱۳۸۸ و فرهودی و همکاران ۱۳۸۶). بر اساس مطالعات انجام شده، ساختگاه سد چراغ‌ویس از پیچیدگی نسبی زمین‌شناسی و تکتونیکی برخوردار است. وجود ساختارهای شیبی موازی و نفوذ چندین دایک ریولیتی و گسل کوچک در ساختگاه و اطراف سد بیانگر اعمال نیروهای تکتونیکی نسبتاً شدید بر این زون است (شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان ۱۳۸۸). در نتیجه، برای تفسیر نفوذپذیری و خوردن سیمان در عملیات

پرکامبرین) را داشته و برخی نیز از نظر لیتولوژیکی مشابه زون البرز-آذربایجان (واحدهای کربناته آواری پرکامبرین-کامبرین زیرین، پالئوزوئیک و مزوزوئیک) می‌باشند. نهشته‌های مربوط به اوایل کرتاسه در محدوده ورقه سفز حضوری چشمگیر دارند و اغلب دارای رخساره آواری و آتشفشانی هستند. در این منطقه سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و نهشته‌های آذرآواری وابسته به آن رخنمون قابل توجهی ندارند، در حالیکه نهشته‌های کربناته الیگو-میوسن حضوری چشمگیر دارند و بیشتر ویژگی‌های زون البرز-آذربایجان را نشان می‌دهند (تصویر ۲) (باباخانی و همکاران ۱۳۸۲).

مشخص نمودن نفوذپذیری آن محل باشد، لذا بر اساس زمین‌شناسی محل تزریق شده این کاستی آزمایش لوژان تفسیر و بررسی می‌شود.

### ۳- (زمین‌شناسی منطقه)

از نظر ساختاری، منطقه مورد مطالعه در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰:اسقز در حاشیه شمال باختری نوار دگرگونه سندج-سیرجان و در محل تلاقی این زون با زون‌های ساختاری خوی-مهاباد و البرز-آذربایجان واقع شده است. در نتیجه برخی از واحدهای سنگی موجود در این ورقه خصوصیات زون دگرگونه سندج-سیرجان (سنگ‌های دگرگونه



تصویر ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده سد مخزنی چراغ‌ویس (باباخانی و همکاران ۱۳۸۲)

هستند. تاثیر محلول‌های هیدروترمال بر شیست‌ها در قسمتی از ساختگاه سد، مقاومت شیست‌ها را کاهش داده است (تصویر ۳-ث). شیب رگه‌های کوارتز هیدروترمالی در جناح چپ عموماً زیاد، (۵۰ تا ۷۰ درجه) و در جناح راست کم، (حدود ۲۵ تا ۴۰ درجه) است. رگه‌های هیدروترمالی کوارتزار در جناح چپ قدرت تخریب بسیار بیشتری داشته و گاهاً کیفیت سنگ‌های اطراف خود را به عرض بیش از یک متر تا حد ضعیف و بسیار ضعیف کاهش داده‌اند و از پایین دست جناح راست به سمت کف و بالادست جناح چپ گسترش یافته‌اند (تصویر ۳-الف). بطور کلی آثار اکسید آهن، کوارتز متخلخل و کلریت در محدوده‌ی شیست‌ها قابل ردیابی است (تصویر ۳-ب). همچنین هر چه به طرف جناح چپ نزدیک می‌شویم رگه‌ها شدیداً

### ۴- (زمین‌شناسی ساختگاه سد)

بر اساس مطالعات انجام شده، ساختگاه سد چراغ‌ویس به لحاظ سنگ‌شناسی در رده سنگ‌های آذرین درونی تیپ گرانودیوریت قرار می‌گیرد. ساختگاه این سد از پیچیدگی نسبی زمین‌شناسی و تکتونیکی برخوردار است. این منطقه در ادامه زون تکتونیکی سندج - سیرجان قرار دارد. وجود ساختارهای موازی شیستی در محدوده ساختگاه و اطراف سد و نفوذ چندین دایک ریولیتی و گسل کوچک در ساختگاه سد بیانگر اعمال نیروهای تکتونیکی نسبتاً شدید بر این زون است (شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان ۱۳۸۸). ساختارهای شیستی این منطقه دارای امتداد تقریبی شمال‌غرب- جنوب‌شرق با شیب نسبتاً زیاد (۶۰ تا ۸۰ درجه) رو به شمال شرق

تحت تاثیر هیدروترمال‌ها قرار گرفته و مقاومت آن‌ها تا حد ضعیف و بسیار ضعیف کاهش یافته‌است که با رگه‌های هیدروترمال و رس با ضخامت قابل توجه همراه هستند. اما به نظر می‌رسد مهم‌ترین پدیده‌ی زمین‌شناسی موثر بر ساختگاه سد چراغ‌ویس، نفوذ محلول‌های هیدروترمال گرمابی و تاثیر آن بر کیفیت ساختگاه سد چراغ‌ویس است (تصویر ۳-ب).



(الف)



(ث)



(ت)



(ب)

تصویر ۳- (الف) زون هیدروترمال کوارتزدار در جناح چپ (دید عکس در راستای محور سد می‌باشد)، (ب) پر شدگی با رس و گاهی کوارتز، دارای آثاری از اکسید آهن و سوختگی، (ت) درزه‌ی حاوی کوارتز هیدروترمال و رس در جناح راست و (ث) آثار هیدروترمال در رگه‌های شیب‌توزیته (زادش ۱۳۹۰)

بعضی موارد بصورت موضعی تا حد ضعیف و بسیار ضعیف پایین آورده‌است. در این محدوده ساختگاه از نظر سنگ‌شناسی به متادیوریت تبدیل شده‌است. ضخامت کوارتزها در جناح چپ در حدود ۵ تا ۱۰ سانتیمتر متغیر و رس نفوذ کرده در آن‌ها دارای چسبندگی زیادی است. کوارتزهای هیدروترمال در جناح راست تاثیر بسیار کمتری بر

محلول‌های هیدروترمال در جناح راست و کف ساختگاه، ظاهراً به صورت کوارتز هیدروترمال در درزه‌های ساختاری نفوذ کرده‌اند و تاثیر آن‌ها بر کاهش کیفیت سنگ بسیار کم بوده‌است. این محلول‌ها در جناح چپ و از تراز تقریبی ۱۵۵۰ به بالا کاملاً کیفیت سنگ را تحت تاثیر قرار داده و مقاومت ماده سنگ ساختگاه را تا حد متوسط و در

سنگ‌های اطراف گذاشته (تصویر ۳-ت) و توده سنگ ساختگاه سد در کف و جناح راست بسیار مقاوم است. که در این رابطه Q؛ میزان آب بر حسب لیتر بر متر بر دقیقه، P؛ بالاترین فشار موثر در آزمایش (بار) و Lu؛ مقدار عدد لوژان می‌باشند.

#### ۵- نفوذپذیری توده سنگ ساختگاه سد

یکی از روش‌های رایج تعیین نفوذپذیری در توده سنگ، آزمایش لوژان می‌باشد. یک لوژان نفوذپذیری یک لیتر آب در یک متر طول گمانه در مدت یک دقیقه و تحت فشار ۱۰ بار است. این آزمایش معمولاً در قطعات ۵ متری در طول گمانه‌ها انجام می‌شود و مقطع آزمایش توسط مسدود کننده (Packer) از سایر قطعات جدا و آب تحت فشار به داخل مقطع تزریق می‌گردد. مقدار جذب آب توسط کنتور در بازه‌های زمانی قرائت شده و به کمک رابطه (۱)، عدد لوژان محاسبه می‌شود (Foyo et al. 2005).

در جدول ۱ نیز توصیف نفوذپذیری توده سنگ بر اساس طبقه‌بندی هولسی آورده شده است (Houlsby 1990). به عقیده هولسی جدا کردن مقادیر بالاتر از ۱۰۰ لوژان تقریباً بی‌مفهوم بوده و بهتر است که در محدوده‌ی بالاتر از ۱۰۰ لوژان، تمام مقادیر بصورت بزرگ‌تر از ۱۰۰ لوژان بیان شوند.

$$\text{Lu} = \frac{10Q}{P} \quad \text{رابطه (۱)}$$

جدول ۱- توصیف نفوذپذیری توده سنگ (Houlsby 1990)

توصیف نفوذپذیری	عدد لوژان
نفوذپذیری بسیار کم	۰-۵
نفوذپذیری کم	۵-۱۵
نفوذپذیری متوسط	۱۵-۵۰
نفوذپذیری بالا	۵۰-۱۰۰
نفوذپذیری بسیار بالا	>۱۰۰

همچنین، فراوانی نتایج آزمایش لوژان زیر هسته رسی سد مخزنی چراغ‌ویس بر اساس طبقه‌بندی هولسی (Houlsby 1990) در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج آزمایش لوژان در سد چراغ‌ویس (بیشتر آن‌ها بصورت تک پله‌ای بوده‌اند)، بیشتر مقادیر لوژان در رده نفوذپذیری کم قرار دارند. ۹ درصد مقادیر لوژان در محدوده بالای ۱۰۰ لوژان قرار دارند که این لوژان‌ها مربوط به نواحی دارای رس بوده و عموماً رفتار آبشست از خود نشان می‌دهند. با توجه به جدول ۲، کل ساختگاه سد در رده سنگ‌های با تزریق پذیری کم قرار دارد.

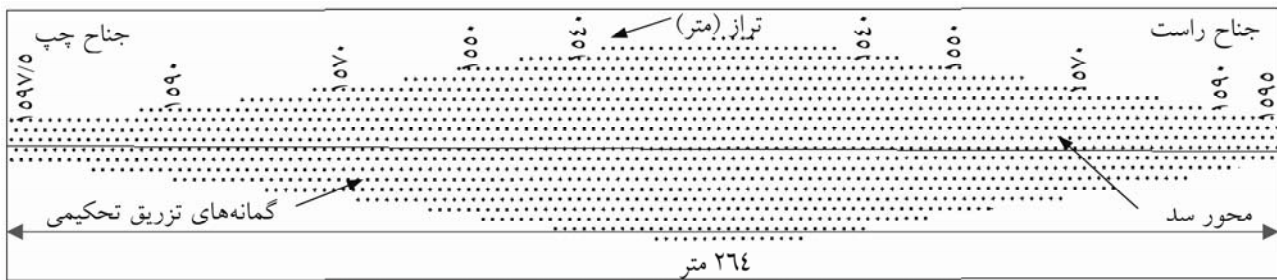
جدول ۲- نتایج آزمایش‌های لوژان در سد چراغ‌ویس

فراوانی نتایج آزمایش‌های لوژان در عمق ۰-۵ متر			فراوانی نتایج آزمایش‌های لوژان در عمق ۱۰/۵-۵ متر			نفوذپذیری (لوژان)	
جناح راست (درصد)	کف (درصد)	جناح چپ (درصد)	جناح راست (درصد)	کف (درصد)	جناح چپ (درصد)		
۱۲	۲۰	۳۶	۸	۱۰	۳	۰-۵	
۴	۹	۷	۱۳	۱۸	۱۰	۵-۱۵	
۲	۰	۷	۱۸	۲	۶	۱۵-۵۰	
۰	۰	۳	۰	۲	۳	۵۰-۱۰۰	
۰	۰	۰	۷	۲	۰	>۱۰۰	

#### ۶- عملیات تزریق تمکیمی زیر هسته رسی

استفاده در تزریق تحکیمی، سیمان تیپ ۲ تهران با بلین ۶۰۰۰ و ترکیب دوغاب با نسبت وزنی آب و سیمان بوده است (شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان ۱۳۸۸). تزریق روبه بالا فرایند حفر یک گمانه تا عمق نهایی، شست و شو، آزمایش فشار آب و تزریق قطعات متوالی از پایین به بالا همراه با پکرگذاری در ترازهای مشخص شده می‌باشد (Nonveiller 1989). این روش زمانی اجرا می‌شود که سنگ از مقاومت نسبتاً خوبی برخوردار باشد. در ساختگاه مورد مطالعه، بجز در موارد اندکی کل تزریق با این روش انجام گرفته است.

تزریق تحکیمی، حفر چال‌هایی از سنگ با یک الگوی منظم در زیر و اطراف سازه‌ها برای کاهش نفوذپذیری و بهبود کیفیت سنگ می‌باشد (Nonveiller 1989). عملیات تزریق تحکیمی سد مخزنی چراغ‌ویس بصورت یک شبکه منظم با فواصل گمانه‌های ۲×۲ و به صورت مثلثی با عمق نهایی ۱۰/۵ متر طراحی شده است (تصویر ۴). تزریق نیز به روش پایین به بالا و در سه مقطع ۲/۵ - ۰، ۵/۵ - ۲/۵ و ۱۰/۵ - ۵/۵ به ترتیب با فشارهای ۶، ۲/۵ و ۹ بار انجام شد. سیمان مورد



تصویر ۴- پلان از بالای ساختگاه سد مخزنی چراغ‌ویس

#### ۴-۱- خوردند سیمان تزریق تحکیمی ساختگاه سد

خوردند سیمان مقدار مصالح تزریق شده در یک گمانه است که با واحد کیلوگرم سیمان در هر متر گمانه بیان می‌شود (Nonveiller 1989). مقدار خوردند سیمان در عملیات تزریق تحکیمی زیر هسته رسی سد مخزنی چراغ‌ویس در مقاطع ۲/۵-۰-۲/۵ متر، ۲/۵-۰/۵-۲/۵ متر و ۵/۵-۱۰/۵-۵/۵ متر از ۱۴۳۸ به صورت شماتیکی در تصویر ۵ نشان شده است. بر اساس تصویر ۵-الف و ۵-ب، در دو مقطع ۲/۵-۰-۲/۵ متر و ۵/۵-۲/۵ متر در امتداد شمال‌غرب-جنوب‌شرق تقریباً یک افزایش پیوسته خوردند سیمان مشاهده می‌گردد. محور سد تقریباً با جهت شمال ۲۵ درجه انحراف دارد (N25W). ساختارهای شیبستی از پایین دست جناح راست به سمت کف و بالا دست جناح چپ با امتداد شمال‌غرب-جنوب‌شرق (N60-80W) با آثار اکسید آهن، کوارتز متخلخل و کلریت گسترش یافته‌اند، که به طرف جناح چپ، شدیداً تحت تاثیر محلول‌های هیدروترمال قرار گرفته‌اند و مقاومت آنها کاهش یافته است. در این محدوده، افزایش خوردند سیمان را می‌توان با بالا بودن رس رگه‌ها مرتبط دانست. بر اساس تصویر ۵، در هر سه مقطع، به ویژه مقطع ۱۰/۵-۵/۵-۵/۵ متر (تصویر ۵-ت)، خوردند سیمان از کف به سمت جناح چپ افزایش یافته است. علت این افزایش را می‌توان نفوذ محلول‌های هیدروترمال گرمابی و تاثیر آن بر ساختگاه سد دانست. این محلول‌ها جناح چپ را از تراز ۱۵۵۰ تحت تاثیر قرار داده و باعث افزایش نفوذپذیری و تزریق‌پذیری سنگ، به ویژه در عمق ۱۰/۵-۵/۵ متر شده‌اند. با توجه به تصویر ۵، می‌توان گفت که کف و جناح راست نسبت به جناح چپ خوردند کمتری داشته، در نتیجه از مقاومت بیشتری برخوردار می‌باشد. با توجه به خوردند کم سیمان کف در سه مقطع و به ویژه مقطع ۵/۵-۱۰/۵-۵/۵ متر، می‌توان سنگ این قسمت را تقریباً دست نخورده دانست.

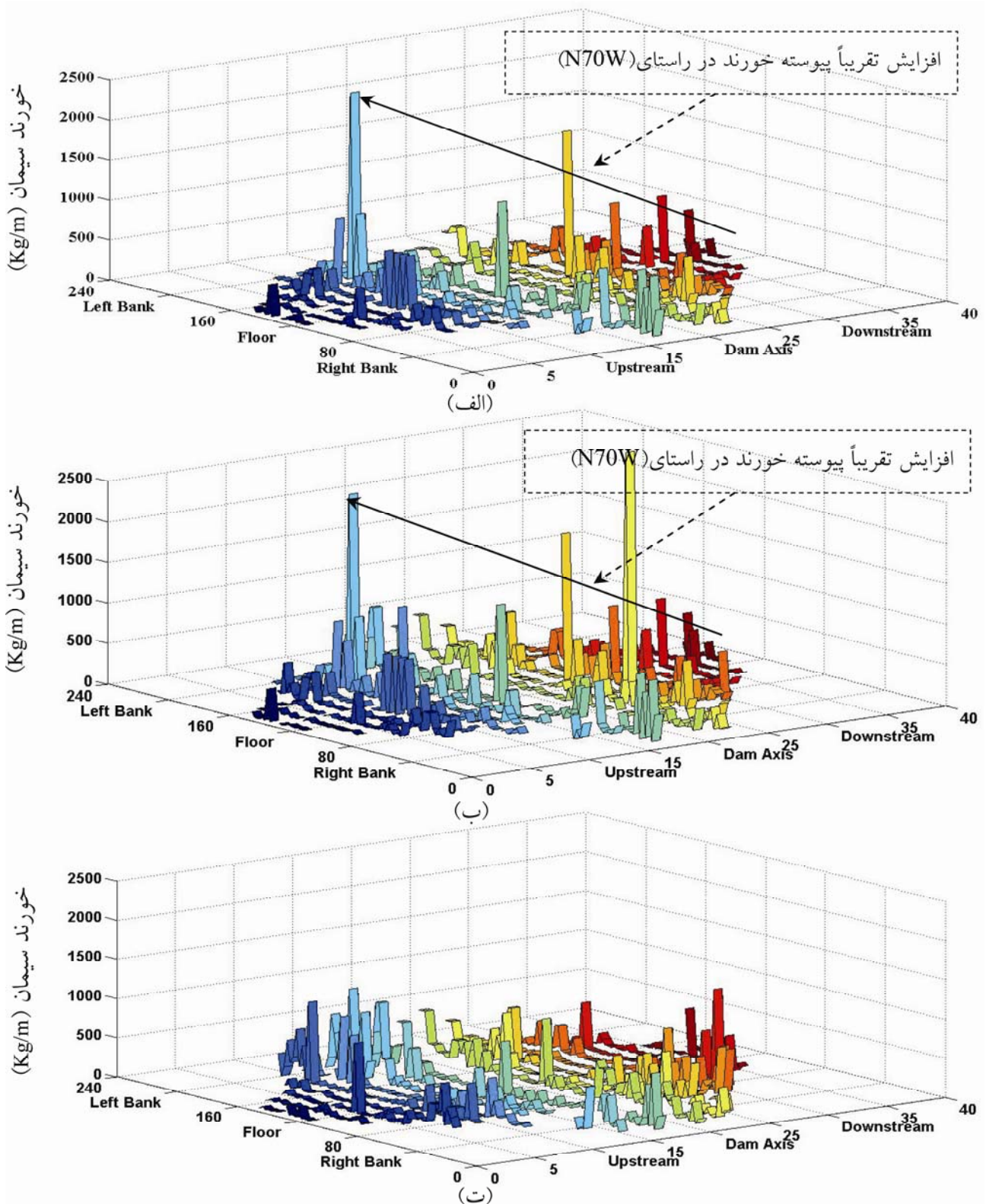
#### ۷- مقایسه نفوذپذیری و خوردند سیمان

مقادیر دو پارامتر نفوذپذیری و خوردند سیمان در گمانه‌های عملیات تزریق تحکیمی در تصویر ۶ به صورت مقایسه‌ای نشان داده شده است.

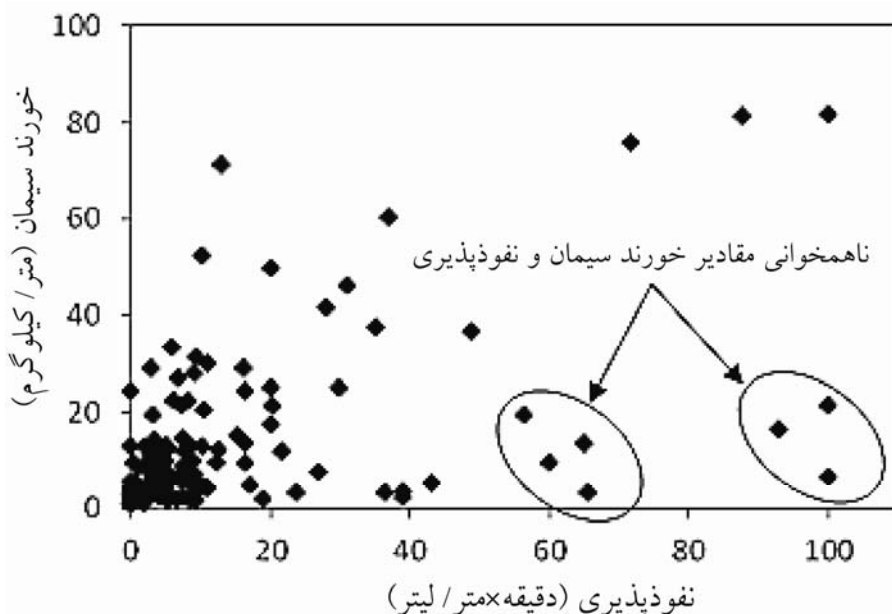
بر مبنای تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌ها، در اکثر گمانه‌ها دو پارامتر مذکور رابطه مستقیم و در تعداد اندکی رابطه معکوس نشان دادند. به‌طور کلی، عدم ارتباط مناسب بین مقادیر لوژان و خوردند سیمان از مهمترین کاستی‌های آزمایش لوژان است (Gustafson & Stille 1996, Ewert 1992, Widmann 1996, Yang 2004). در نهایت ناهم‌خوانی نفوذپذیری و خوردند سیمان گمانه‌های تزریق تحکیمی با توجه به زمین‌شناسی زیر ساختگاه سد بررسی گردید.

زمانی که نرخ جذب آب بسیار پایین است (حدود ۱ لوژان)، نوع شکستگی‌های هادی آب در اطراف گمانه می‌تواند بصورت دقیق ارزیابی شود، زیرا انتقال آب لزوماً توسط یک یا دو شکستگی بسیار ریز انجام می‌گیرد. برعکس، تفسیر مقادیر بالای لوژان، بدین صورت که مقادیر زیاد آب توسط یک شکستگی باز یا تعدادی از شکستگی‌های ریزتر جذب می‌شود غیر ممکن است. مقدار آب جذب شده به تنهایی نمی‌تواند شرایط هیدرولیکی حفرات هادی آب را شناسایی کند. حتی در شرایطی که آرایش و جهت درزه‌ها متفاوت است، نیز می‌توان مقادیر لوژان مساوی یا مشابه را بدست آورد. بنابراین نتایج آزمایش لوژان دارای ابهام بوده و تفسیر آن از نظر شرایط آب زمین‌شناسی یک کار حساس است (Ewert 1992). برای تفسیر داده‌ها شناخت ساختار تکتونیکی و زمین‌شناسی ساختگاه ضروری خواهد بود. در مواردی که محیط نفوذپذیری بالا و خوردند سیمان کمی را از خود نشان دهد، می‌توان علت این پدیده را چنین بیان کرد، که اولاً، یا بازشدگی درزه‌ها در حدی است که قادر به عبور جریان آب بوده اما به دلیل درشت بودن ذرات سیمان قادر به عبور جریان دوغاب سیمان نیستند، ثانیاً، در هنگام آزمایش لوژان درزه‌ها به دلیل فشار زیاد باز شده و نفوذپذیری بیشتری را از خود نشان داده‌اند. ثالثاً، درزه و شکاف‌های پیرامون گمانه‌های مختلف به هم متصل بوده‌اند، که با توجه به ساختار زمین‌شناسی و تکتونیکی زیر ساختگاه سد مخزنی چراغ‌ویس، کم بودن حجم خوردند سیمان مربوط به لوژان‌های بالا را می‌توان چنین تفسیر کرد که درزه و شکاف‌های موجود در آن محل‌ها با هم در ارتباط بوده‌اند و هنگام تزریق از یک گمانه، قسمت‌های مربوط به گمانه‌های

دیگر از سیمان پر شده و در نتیجه مقدار خوردن کمی را از خود نشان داده‌اند.



تصویر ۵- میزان خوردن در سد مخزنی چراغ‌ویس: (الف)- خوردن سیمان تزریق تحکیمی عمق ۲/۵-۰ (ب)- خوردن سیمان تزریق تحکیمی عمق ۵/۵-۰ (پ)- خوردن سیمان تزریق تحکیمی عمق ۱۰/۵-۵/۵ (در این تصویر هر باند نشانگر یکی از خطوط تزریق در شبکه تزریق می‌باشد)



تصویر ۶- مقایسه دو پارامتر نفوذپذیری و خوردند سیمان زیر ساختگاه سد مخزنی چراغ‌ویس

## ۸- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، کف رودخانه و جناح چپ تا تراز تقریبی ۱۵۴۰ از گرانودیوریت‌های نسبتاً سخت تشکیل شده‌است، که دارای سنگ‌های با نفوذپذیری و تزریق‌پذیری پایین می‌باشد. در عمق ۶ متر به پایین روند تزریق‌پذیری و نفوذپذیری به شدت پایین می‌آید. با دور شدن از کف در جناح چپ از تراز تقریبی ۱۵۴۰ به بالا رفته- رفته تاثیر هیدروترمال‌ها بر ساختگاه سد افزایش یافته و کیفیت سنگ را از سنگ‌های مقاوم و سخت به سنگ‌های با مقاومت متوسط، ضعیف و بسیار ضعیف کاهش می‌دهد. این امر خود باعث افزایش نفوذپذیری و تزریق‌پذیری سنگ به ویژه در عمق ۵/۵-۱۰/۵ شده‌است. همچنین، بر اساس نتایج موجود آزمایشات لوژان به تنهایی کافی نبوده و برای تفسیر و به کار بردن نتایج این آزمایش، داشتن اطلاعات کافی از ساختار زمین‌شناسی و تکنونیک آن محیط نیز ضروری می- باشد. همچنین ناهمخوانی موجود در مقادیر لوژان و خوردند سیمان در تزریق مربوط به یک سری گمانه تزریق شده‌ها می‌توان به ارتباط درزه و شکاف‌های موجود در آن محل مرتبط دانست.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مهندسین مشاور سد چراغ‌ویس آقایان مهندس امیر حافظ‌قرآن و مهندس علی مشیرپناهی به جهت همکاری و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند.

## مراجع

- باباخانی، ع.، حریری، ع. و فرجندی، ف.، ۱۳۸۲، "نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- پورسلطانی، م.، موسوی، س. م. ج. و اعلمی، س.، ۱۳۸۸، "مطالعه زمین ریخت‌شناسی حوضه آبریز سد بینالود"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۷ (۳): ۲۴۴-۲۳۳.
- زادش، ج.، ۱۳۹۰، "انواع روشهای حفاری و تزریق در سدها (مطالعه موردی پروژه سد مخزنی چراغ‌ویس)"، پروژه کارشناسی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کردستان.
- شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان، ۱۳۸۸، "طرح سد مخزنی چراغ‌ویس، دستورالعمل تزریق تحکیمی هسته رسی سد مخزنی چراغ‌ویس"، ۱۷۸۴۰۲۰-۳۱۱۰.
- فروودی، ق.، رهنماری، ج.، رحیمی، ع.، سامانی، ب. و کریمی، ا.، ۱۳۸۶، "زمین‌شناسی مهندسی و رده‌بندی مهندسی توده‌ی سنگ در ساختگاه سد خاکی قره‌پیری در شمال شرق شیراز"، فصلنامه زمین-شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۳ (۱): ۴۳-۳۳.
- قاضی‌فرد، ا.، حافظی‌مقدس، ن. و تالی، ن.، ۱۳۹۰، "کاربرد روش موازنه فشار تزریق و فشار سطح آب مخزن در کنترل نشتی سد زاوین (استان خراسان رضوی)"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۵ (۴): ۲۶۵-۲۵۸.
- Barrios Padura, A., Barrios Sevilla, J., Garcia Navarro, J., Yanes Bustamante, E. & Parra Crego, E., 2009, "Study of the soil consolidation using reinforced jet grouting by geophysical and geotechnical techniques: "La Normal" building complex (Granada)", *Construction and Building Materials*, Vol. 23: 1389-1400.



**Cambefort, H., 1967**, France, "Injection des sols: Principes et méthodes", *Eyrolles editions*.

**Celik, I.B., 2009**, "The effects of particle size distribution and surface area upon cement strength development strength development", *Powder Technology*, Vol. 188: 272-276.

**Dupla, J. C., Canou, J., & Gouvenot, D., 2005**, "Injectability properties of a sand by ultra fine cement grout", In: *Proceedings (CD-ROM) of the 16th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 12-16 September, Osaka, Japan*.

**Ewert, F.K., 1992**, "Individual Groutability of Rocks", *Water Power & Dam Construction (Sutton, UK)*, January: 23-30.

**Foyo, A., Miguel, A., & Tomillo, C., 2005**, "A Proposal for a Secondary Permeability Index obtained from water pressure tests in dam foundation", *Engineering Geology*, Vol. 77 (1-2): 69-82.

**Gustafson, G., & Stille, H., 1996**, "Prediction of Groutability from Grout Properties and Hydrogeological Data", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 11 (3): 325-332.

**Houlsby, A.C., 1990**, "Construction and Design of cement Grouting", *New York, John Wiley and Sons, Inc.*

**Nonveiller, E., 1989**, "Grouting theory and practice", *Elsevier Press*, 260 pp.

**Widmann, R., 1996**, "International Society for Rock Mechanics-commission on Rock Grouting", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Vol.33 (8): 803-847.

**Yang, C.P., 2004**, "Estimating cement take and grout efficiency on foundation improvement for Li-Yu-Tan dam", *Engineering Geology*, Vol. 75 (1): 1-14.

**Zebovitz, S., Krizek, R. J., & Atmatzidis, D. K., 1989**, "Injection of fine sands with very fine cement grout", *Geotech Eng.*, Vol. 115 (12): 1717-1733.