

بررسی رفتار هیدرولیکی توده سنگ ساختگاه سد چهچه در آزمایشهای لوژان

سعید صفری^{۱*}، غلامرضا لشکری پور^۲، محمد رضا باغیانی^۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد

SaeedSafary_geo@yahoo.com

چکیده

تامین آب به منظور برطرف سازی نیازهای ناشی از توسعه و گسترش جوامع بشری، موجب تغییر روش سنتی ذخیره سازی به روش‌های جدیدتر چون سدهای مخزنی شده است. سد چهچه سدهای سنگریزه ای با هسته رسی در شمال شرقی ایران و در مجاورت مرز ایران و ترکمنستان قرار دارد. یکی از مشخصاتی که در بررسی های ژئوتکنیکی سدها مورد ارزیابی قرار میگیرد انجام آزمایشات نفوذپذیری در توده سنگهای ساختگاه سد می باشد. متداولترین روش جهت تعیین این امر انجام آزمون صحرایی لوژون می باشد که در مقاطع مختلف گمانه های اکتشافی و در فواصل معین انجام می شود. در این مقاله بر اساس آزمون های صحرایی لوژان و مقادیر به دست آمده از آنها به بررسی میزان نفوذپذیری در قطعات مختلف گمانه‌های اکتشافی ساختگاه سد چهچه می‌پردازیم و در نتیجه کیفیت توده سنگ ساختگاه آن را بررسی می‌کنیم.

کلمات کلیدی: رفتار هیدرولیکی، آزمایش لوژان، سد چهچه.

۱- مقدمه:

متداولترین و مرسومترین روش برای تعیین نفوذپذیری پی های سنگی در محل ساختگاه، آزمایش فشار آب می باشد که در سال ۱۹۳۳ توسط لوژون (Lugeon) پیشنهاد و به همین نام معروف شده است. در واقع یک لوژون برابر یک لیتر در دقیقه نشت آب از یک متر طول گمانه مورد آزمایش تحت فشار ۱۰ بار میباشد. آزمایش فشار آب از مسائل ضروری در طراحی پرده آب بند در تکیه گاه سدها می‌باشد (Ghafoori *et al.* ۲۰۱۱).

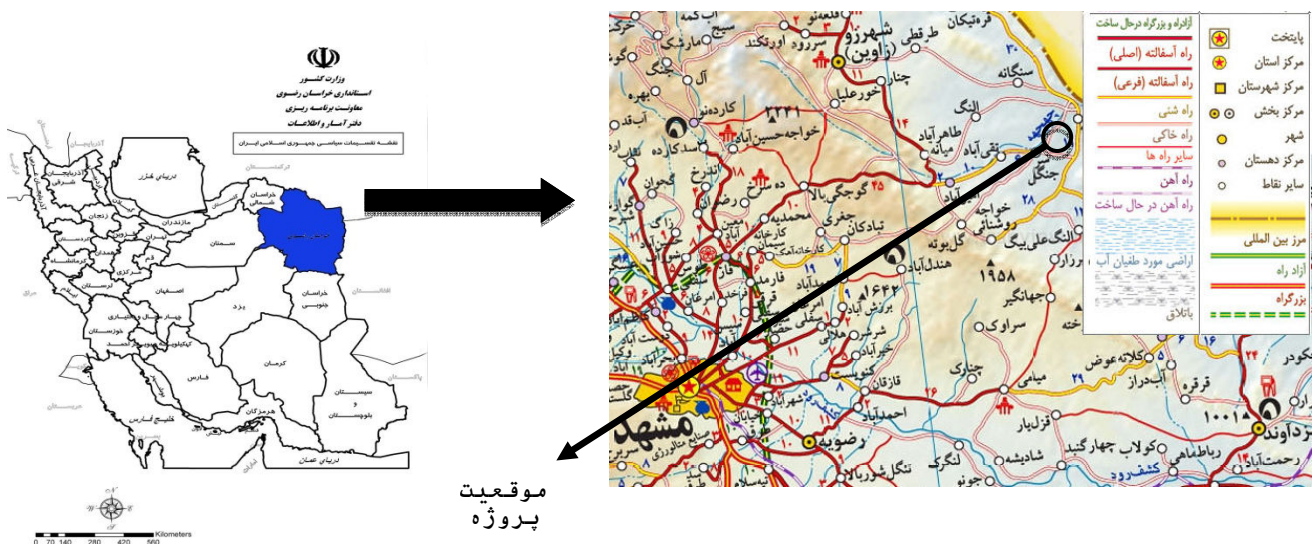
(Kutzner ۱۹۹۶) شرایط زمین را برای آب بندی سد از آرایش درزه‌ها و شیب و نوع لایه‌ها مورد بررسی قرار داد. (Priest ۱۹۹۳)، تحقیقاتی در باره مفهوم باز شدگی هیدرولیکی درزه‌ها انجام داد. دانشمندان دیگری از جمله (Foyo ۲۰۰۴) به علت بزرگ بودن مسیرهای هیدرولیکی در سنگها و تاثیر وضعیت درزه‌ها بر نتایج آزمایش در صدد استفاده از شاخصهای دیگری نظیر SPI جهت تخمین نفوذپذیری سنگها بر آمدند.

آزمایش لوژون با تزریق آب تحت فشار در یک قطعه از گمانه به منظور تعیین آب خوری سنگ انجام می‌گیرد. در سنگ به دلیل ساختار متفاوت آن با خاک مسئله هدایت هیدرولیکی در جریان آب متفاوت بوده و شرایط حاکم کاملاً متأثر از شرایط ناپیوستگی ها است به گونه ای که جهت و موقعیت ناپیوستگی ها، فاصله آنها از همدیگر، میزان درز و شکاف، بازشدگی شکاف ها، شکل دیواره درزه، مواد پرکننده آن ها همگی از فاکتورهای مهم حاکم بر شرایط هیدرولیکی محسوب می‌گردند. (صنایعی و همکاران، ۱۳۸۶)

۲- موقعیت جغرافیایی سد:

سد چهجهه سدی سنگریزه ای با هسته رسی، که حجم کل مخزن آن ۲۲/۵ میلیون مترمکعب، حداکثر ارتفاع از بستر رودخانه ۴۷ متر، طول تاج آن ۲۵۰ متر و عرض تاج آن ۱۰ متر می‌باشد. این سد در شمال شرقی ایران و در مجاورت مرز ایران و ترکمنستان واقع شده است. موقعیت جغرافیایی ساختگاه این سد در عرض جغرافیایی "36.36.53" و طول جغرافیایی "60.16.30" واقع شده است. دستیابی به محل سد از طریق جاده آسفالت مشهد به کلات به طول 70Km و در پایین دست اسماعیل بیک جاده خاکی به سمت راست منشعب می‌شود که پس از طی حدود 24Km و گذشتن از روستاهای امیر آباد، تقی آباد و سر جنگل به محل ساختگاه می‌رسیم. (شکل 1)

منطقه مورد مطالعه سد چهجهه از دیدگاه زمین شناسی ساختمانی در پهنه ساختاری هزار مسجد-کپه داغ قرار دارد. سیستم کپه داغ عمدتاً از رسوبات دریایی میوژنوسینکلینال ژوراسیک- کرتاسه تشکیل شده است. در این حوضه رسوبی، سنگهای مارن، شیلی، آهکی و ماسه سنگی ژوراسیک- کرتاسه بیشترین گسترش را در منطقه دارند.



شکل (۱): موقعیت سد چهجهه

۳- زمین ریخت شناسی:

گستره آبریز رودخانه چهجهه در بخشی از منطقه کوهستانی قره داغ و رشته کوه بزنگان قرار دارد. ارتفاع بلندترین نقطه منطقه، ۲۵۹۲ متر از سطح دریا در کوه قره داغ و مجاور کوه گرگی و در ابتدای حوضه آبریز رودخانه خور است که به سمت شرق و رشته کوه بزنگان، ارتفاعات کاهش می‌یابد. بلندترین ارتفاع در شرق و جنوب شرق حوضه در کوههای آبگرم و قزلق به ارتفاع ۲۰۰۰ متر از سطح دریاست که در کوه گل عرب قرار دارد. پست ترین نقطه منطقه در بستر رودخانه و در ساختگاه ۵۵۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد.

ساختمان درون این بخش از حوضه از تعدادی تاقدیس و ناودیس تشکیل گردیده که عموماً روند شمال غربی- جنوب شرقی دارند. بخش بیشتر مساحت حوضه آبریز رودخانه خور از رسوبات سازند شوربجه که شامل گل سنگ، سنگهای تبخیری، آهکهای اوولیتیک، ماسه سنگهای درشت دانه کلاستیک و گنگلومرا می‌باشد، تشکیل شده است که در بین ماسه

سنگهای قرمز، لایه‌های تبخیری گچی وجود دارند. بعد از سازند شوربجه، سازندهای آهکی چمن بید، مزدوران و تیرگان، بقیه حوضه را تا محل تلاقی جاده اصلی کلات تشکیل می‌دهند. این سازندها برخلاف سازند شوربجه سخت فرسا بوده و از مقاومت بالایی برخوردارند بنابراین ارتفاعات، دره‌ها و پرتگاه‌ها را تشکیل داده‌اند. این سازندها از نفوذپذیری بیشتری نسبت به سازند شوربجه برخوردار بوده و ضمن آنکه برخلاف سازند شوربجه، اثر آلوده کنندگی بر کیفیت آب ندارند. ابتدای حوضه‌ی آبریز آبگرم نیز از سازند آهکی مزدوران و چمن بید تشکیل شده است ولی عمده حوضه‌ی آبریز از سازندهای سست فرسا مانند سازندهای سنگانه و آتامیر و نیز از نهشته‌های لسی عهد حاضر تشکیل شده‌اند. این رسوبات ارتفاعی با شیب ملایم را ایجاد نموده‌اند و در بخشهای ماسه سنگی آتامیر که سخت فرسا بوده ستیغ‌های منفردی در بین ارتفاعات تپه ماهوری سازندهای سست فرسا تشکیل نموده‌اند.

۴- زمین شناسی پی سد:

منطقه مورد مطالعه در زون زمین ساختی- رسوبی هزار مسجد- کپه داغ قرار می‌گیرد. از دید چینه شناسی نهشته‌های زمان ژوراسیک - کرتاسه و رسوبات کواترنر در حوضه آبریز رخنمون دارند. سازندهای تشکیل دهنده‌ی حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه از قدیم به جدید به شرح زیر می‌باشد:

سازند چمن بید (ژوراسیک میانی تا فوقانی): این سازند در کوههای قره داغ - هزار مسجد به صورت پنجه‌ای و جانبی و به سمت ارتفاعات آهکهای جسیم و دولومیت‌های سازند مزدوران تبدیل می‌شود.

سازند مزدوران (ژوراسیک فوقانی): این سازند بخشی از ارتفاعات جنوبغربی حوضه‌ی آبریز را تشکیل می‌دهد.

سازند شوربجه (کرتاسه تحتانی): این سازند با بیشترین گسترش بخشی از جنوب غربی حوضه‌ی آبریز را می‌سازد.

سازند تیرگان (کرتاسه تحتانی): رخنمون این سازند در بخش مرکزی رودخانه خور که منطبق بر ساختارهای ناودیسسی است تظاهر دارد.

سازند سرچشمه (کرتاسه تحتانی): این سازند با یک لایه کلیدی از آهکهای آمونیت دار از بخش سازند سنگانه جدا می‌شود. محل ساختگاه سد و نیز بخشی از دریاچه در این سازند قرار می‌گیرد.

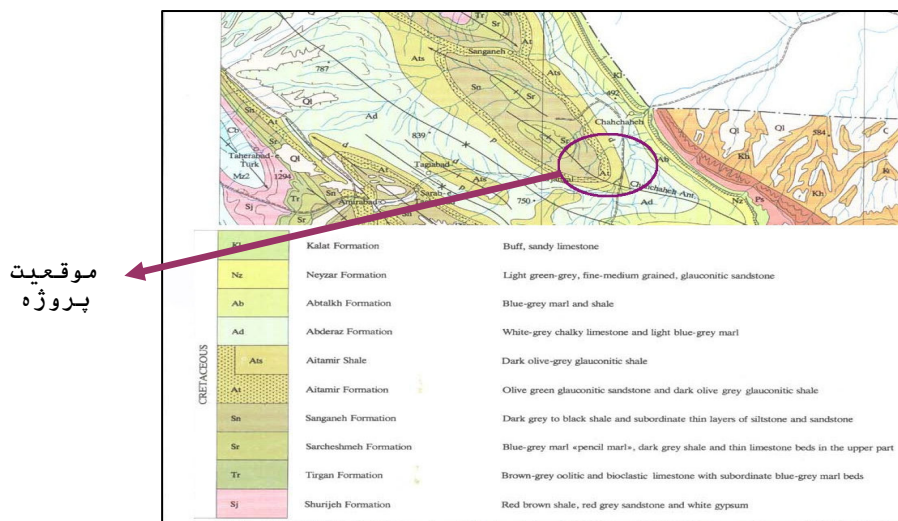
سازند سنگانه (قسمت فوقانی کرتاسه تحتانی): رخنمون این سازند در بالادست تظاهر دارد و سنگ بستر غیرقابل نفوذ دریاچه سد را می‌سازد.

سازند آتامیر (بین کرتاسه تحتانی - فوقانی): این سازند بخش مرکزی حوضه‌ی آبریز را تشکیل می‌دهد و روستای امیر آباد نیز بر روی این سازند قرار دارد.

سازن آبدراز (کرتاسه فوقانی): این سازند بخشی از حوزه‌ی مرکزی را تشکیل داده است.

رسوبات پلیوسن: ضخامت کمی از این رسوبات را می‌توان در حوضه‌ی آبریز دید. این رسوبات منابع عمده رسوبات عهد حاضر را شکل داده‌اند.

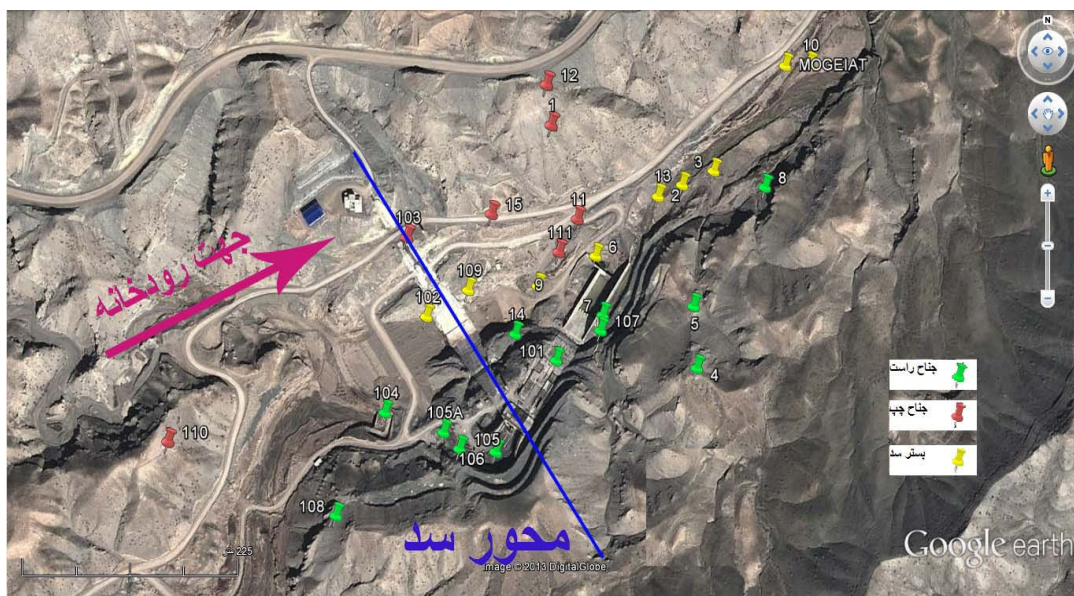
رسوبات کواترنر: این رسوبات در اثر عوامل جوی به صورت نهشته‌های آبرفتی، واریزه‌ای و بادی رسوبگذاری شده‌اند.



شکل (۲): نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سرخس و محل پروژه (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی)

۵- بررسی رفتار هیدرولیکی توده سنگهای ساختگاه سد:

چگونگی تغییر مقادیر لوژون در فشارهای مختلف اعمال شده در آزمایش نفوذپذیری سنگ لوژون را بر اساس رفتار هیدرولیکی سیستم درز و شکافها، تخلخل، حفرات انحلالی و نحوه گسترش حفرات در سنگ تقسیم بندی می کنند. کلیه آزمایشهای نفوذپذیری (لوژون) در قطعات مختلف گمانه های این سایت مورد بررسی قرار گرفته و توده سنگ پی در دو جناح و بستر رودخانه مورد ارزیابی قرار گرفته است. موقعیت گمانه های حفر شده در شکل (۱) نشان داده شده است. پدیده نامشخص، مربوط به آن دسته از قطعات آزمایشی می باشد که انجام آزمایش در آنها به طور کامل و درست انجام نگردیده است. پس از شرح مقدمه فوق، به بررسی رفتار هیدرولیکی توده سنگ در آزمایشهای لوژون در بخشهای مختلف این سایت پرداخته می شود:



شکل (۳): موقعیت گمانه ها و محور سد چهجه

الف) جناح راست:

در این جناح از ۱۲ گمانه حفر شده، ۹۶ قطعه آزمایش لوژان صورت گرفته است، که از این تعداد ۶۴ قطعه آزمایش بانفوذ پذیری بین (۰-۳)، ۱۰ قطعه آزمایش با نفوذپذیری بین (۳-۱۰)، ۶ قطعه آزمایش با نفوذپذیری بین (۱۰-۳۰)، ۲ قطعه آزمایش با نفوذپذیری بین (۳۰-۶۰)، ۶ قطعه آزمایش با نفوذپذیری بین (۶۰-۱۰۰) و نیز ۹ قطعه آزمایش با نفوذپذیری بیش از (۱۰۰) ثبت شده است.

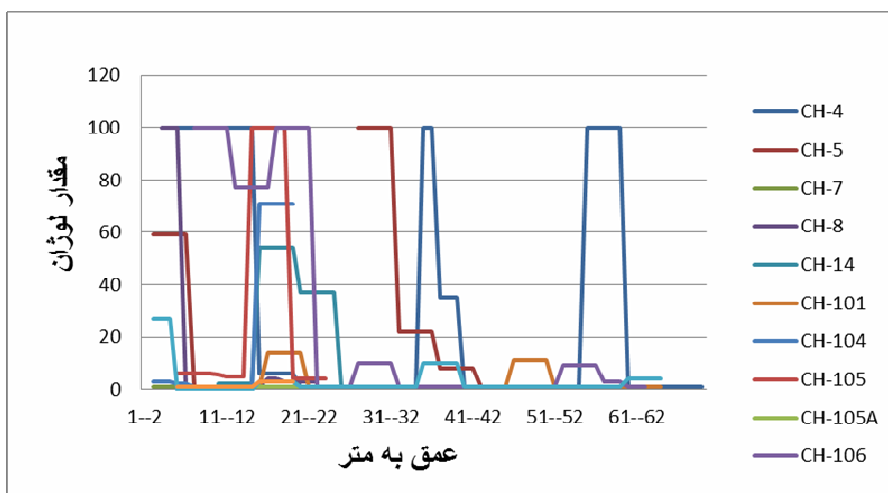
همانطور که ملاحظه می‌شود تعداد ۶۴ آزمایش و یا به عبارتی در حدود ۶۷٪ از آزمایشات انجام گرفته نشان دهنده نفوذپذیری کم پی سنگ و مناسب بودن آن از نظر هیدرولیکی می‌باشد. همانطور که در جدول شماره (۱) دیده می‌شود و با توجه به نمودار شماره (۱) مقادیر لوژان در گمانه‌های CH-4 و CH-5 دارای چند پیک قابل توجه در عدد لوژان در اعماق ۳۵ تا ۴۰ و نیز ۵۵ تا ۶۰ متری می‌باشد، که باید تمهیدات لازم جهت آب بندی و جلوگیری از نشت آب بعد از آبیگری سد، در این عمق‌ها و در محدوده این گمانه‌ها اخذ شود. همانطور که در شکل (۳) دیده می‌شود موقعیت این گمانه‌ها نزدیک به هم می‌باشد.

جدول شماره (۱): مقادیر لوژان در عمق‌های مختلف برای جناح راست

جناح راست																							
CH-4		CH-5		CH-7		CH-8		CH-14		CH-101		CH-104		CH-105		CH-105A		CH-106		CH-107		CH-108	
لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر
5-10	100	2-7	59	2-7	1	3.1-6.1	100	10-15	2	11-16	1	2-7	3	5-15	6	5-10	1	7-12	100	1.5-6.5	27	5-15	1
9.9-14.9	100	7-12	1	7-12	1	6.05-11.05	1	14.5-19.5	54	16-21	14	5-10	1	10-15	5	10-15	1	12-17	77	50-10	0	10-15	1
15-20	6	12-17	1	12-17	1	11.1-16.1	1.5	20-25	37	21-26	1	10-15	1	14-19	100	15-20	1	17-22	100	10-15	0	15-20	3
20-25	1	17-22	1	17-22	1	15.7-18.7	4	24.9-29.9	1	26-31	1	15-20	71	19-24	4	20-25	1	22-27	1	15-20	3	20-25	1
25.1-30.1	1	22-26	1			17.8-22.8	3	29.85-35.85	1	31-36	1					25-30	1	27-32	10	20-25	1	25-30	1
30-35	1	27-31.85	100							36-41	1					30-35	1	32-37	1			30-35	1
35-40	100	32-37	22							41-46	1					35-40	1	37-42	1			35-40	10
37-40	35	37.05-42.0	8							46-51	11							42-47	1			40-45	1
40.25-45.25	1	42.5-47.25	1							51-56	1							47-52	1			45-50	1
45.3-50.3	1	47.25-52.2	1							56-61	1							52-57	9			50-55	1
50-55	1									61-65	1							57-60	3			55-60	1
55.3-60.3	100																	60-63	1			60-65	4
60.25-65.25	1																						
65.4-70.4	1																						

ب) جناح چپ:

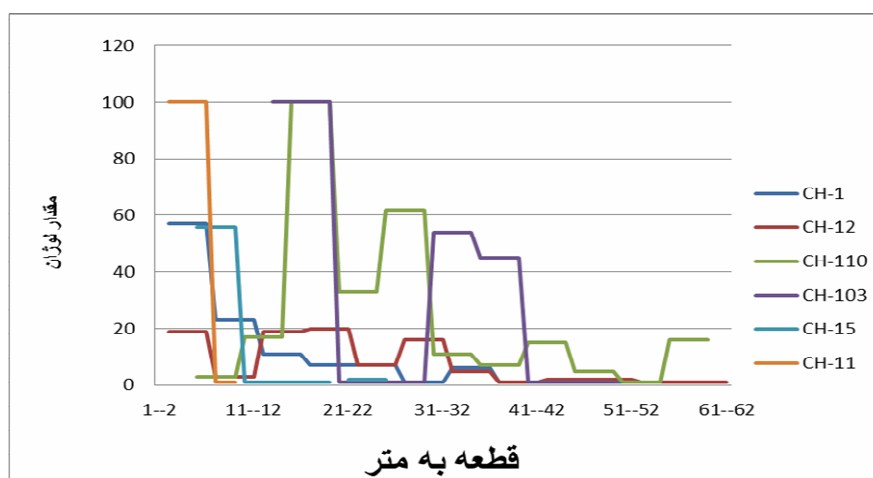
در این جناح از مجموع ۶ گمانه حفر شده، به تعداد ۴۸ قطعه آزمایش لوژان صورت گرفته است که از آن تعداد، به تعداد ۲۰ قطعه آزمایش با نفوذپذیری مابین (۰-۳)، ۹ قطعه آزمایش با نفوذپذیری مابین (۳-۱۰)، ۹ قطعه آزمایش با نفوذپذیری مابین (۱۰-۳۰)، ۴ قطعه آزمایش با نفوذپذیری بیش از (۳۰-۱۰۰)، ۵ قطعه آزمایش با نفوذپذیری مابین (۳۰-۶۰)، ۱ قطعه آزمایش با نفوذپذیری مابین (۶۰-۱۰۰) و ۴ قطعه آزمایش با نفوذپذیری بیش از (۱۰۰)، به ثبت رسیده است. در این جناح نیز همانطور که ملاحظه می‌شود به تعداد ۲۰ قطعه آزمایش و یا به عبارتی در حدود ۴۲٪ از آزمایشات انجام گرفته نشان دهنده نفوذپذیری کم پی سنگ و مناسب بودن آن از نظر هیدرولیکی می‌باشد. همانطور که از جدول شماره (۲) نیز معلوم است و با توجه به نمودار شماره (۲) نفوذپذیری جناح چپ نسبت به عمق کاهش یافته و شرایط بهتری را دارا می‌باشد.



نمودار(۱): مقادیر لوژان نسبت به عمق جناح راست

جدول شماره(۲): مقادیر لوژان در عمق‌های مختلف برای جناح چپ

جناح چپ													
CH-1		CH-11		CH-12		CH-103		CH-15		CH-110		CH-111	
قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان
2--7	57	2--7	100	2--7	19	14--19	100	4.9--9.9	56	5--10	3		
7--13	23	7--10	1	7--12	3	15--20	100	10.1--15.1	1	10--15	17		
12--17	11			12--17	19	20--25	1	5.05--20.0	1	15--20	100		
17--22	7			17--22	20	25--30	1	20.7--25.7	2	20--25	33		
22--27.1	7			22--27	7	30--35	54			25--30	62		
27--32	1			27--32	16	35--40	45			30--35	11		
32--37	6			32--37	5	40--45	1			35--40	7		
37--42	1			37--42	1	45--50	1			40--45	15		
42--47	1			42--47	2					45--50	5		
47--52	1			47--52	2					50--55	1		
52--57	1			52--57	1					55--60	16		
				57.2--62.2	1								



نمودار(۲): مقادیر لوژان نسبت به عمق جناح چپ

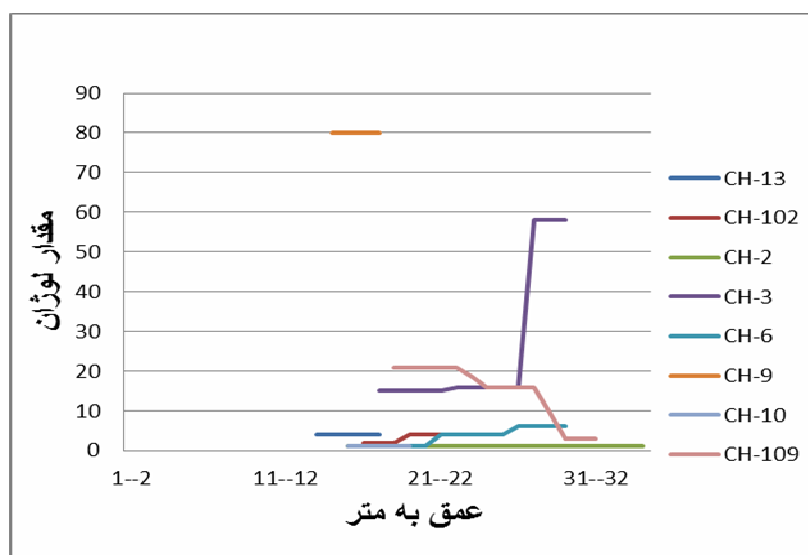
ج) بستر رودخانه:

در بستر رودخانه نیز به تعداد ۸ گمانه حفاری شده و به تعداد ۱۵ قطعه آزمایش لوژان انجام گرفته است، که از این تعداد به تعداد ۷ قطعه آزمایش با نفوذپذیری مابین (۰-۳)، ۴ قطعه آزمایش با نفوذپذیری مابین (۳-۱۰)، ۳ قطعه آزمایش با نفوذپذیری مابین (۱۰-۳۰) و در نهایت ۱ قطعه آزمایش با نفوذپذیری مابین (۶۰-۱۰۰) را نشان دادند. همانطور که ملاحظه می شود از بین آزمایشات انجام گرفته محدوده بین ۰-۳ با تعداد ۷ آزمایش از بین ۱۵ آزمایش یا به عبارتی ۴۶٪ از آزمایشات نشانگر کیفیت مطلوب سنگ بستر می باشد.

در زیر جدول لوژان بستر رودخانه در عمق های مختلف ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود در این محدوده نیز مقادیر لوژان و به طبع مقادیر نفوذ پذیری دارای یک روال ثابت بوده و نسبت به عمق شرایط پی سنگ مطلوب تر می شود. اما همانطور که در نمودار شماره (۳) نیز مشاهده می شود در گمانه CH-3 مقدار لوژان یک روند صعودی را دنبال می کند که باید تمهیدات لازم، در جهت بهبود شرایط زمین در این ناحیه، در نظر گرفته شود.

جدول شماره (۳): مقادیر لوژان در عمق های مختلف برای بستر رودخانه

بستر رودخانه															
CH-13		CH-102		CH-2		CH-3		CH-6		CH-9		CH-10		CH-109	
قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان	قطعه به متر	لوژان
13-18	4	16-19	2	15-20	1	17-22	15	16-21	1	14.5-17.5	80	15-20.3	1	18.6-23.6	21
		19-24	4	20-25	1	22-27	16	21-26	4					23.6-28.6	16
				30-35	1	27-30	58	26-30	6					28.6-31.6	3



نمودار (۳): مقادیر لوژان نسبت به عمق بستر رودخانه

قدردانی

در اینجا بر خود لازم می دانیم که از شرکت آب منطقه ای استان خراسان رضوی به جهت همکاری و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز این مقاله کمال تشکر را نمایم.

نتیجه گیری

- با توجه با اطلاعات موجود از گمانه‌ها، و باتوجه به مقادیر بدست آمده از آزمایشات لوژان، مقدار ۶۷٪ از آزمایشات جناح راست و مقدار ۴۲٪ از آزمایشات جناح چپ و نیز مقدار ۴۶٪ از آزمایشات بستر رودخانه دارای عدد لوژان مابین ۰-۳ بوده و این مساله نشانگر شرایط مناسب پی سنگ سد چهچهه می‌باشد.
- باتوجه به نمودار (۱) در محدوده گمانه‌های CH-4 و CH-5 واقع در جناح راست سد، چند پیک قابل توجه برای عدد لوژان در اعماق ۳۵ تا ۴۰ و نیز ۵۵ تا ۶۰ متری می‌باشیم، که باید تمهیدات لازم جهت آب بندی و جلوگیری از نشت آب بعد از آبگیری سد، در این عمق‌ها و در محدوده این گمانه‌ها اخذ شود.
- با توجه به نمودار (۲) روند عمومی اعداد لوژان در محدوده جناح راست به صورت نزولی بوده و نشانگر مناسب بودن پی سنگ از لحاظ نفوذپذیری در این محدوده از سد می‌باشد.
- در محدوده بستر رودخانه نیز به طور کلی شرایط پی سنگ نسبت به عمق مناسب تر می‌شود. اما با توجه به نمودار (۳)، در گمانه CH-3 یک روند صعودی نسبت به عمق برای عدد لوژان بدست آمده است که پیشنهاد می‌شود جهت بهبود شرایط پی سنگ در این محدوده تمهیدات لازم را اخذ و برای بهبود نتیجه، مطالعات بیشتری صورت گیرد.

منابع:

- شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، (۱۳۸۴)، گزارش زمین‌شناسی مهندسی سد چهچهه.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه زمین‌شناسی سرخس، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰
- غفوری م.، لشکری پورغ. ر.، قالیباف ح.، موسوی مداح س. م.، افشار س.، (۱۳۸۸)، "پهنه بندی تغییرات نفوذپذیری در ساختگاه سد قره تیکان با توجه به نقش پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی در محیط Rockwork 2006"، کنفرانس ملی بررسی دستاوردهای نوین علوم زمین.
- لشکری پورغ. ر.، غفوری م.، اردلان زاده آ.، (۱۳۸۸)، "بررسی رفتار هیدرولیک توده سنگ در آزمایشهای نفوذپذیری لوژان در سد سیازاخ"، ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.
- صنایعی م.، قاضی فرد ا.، هاشمی م.، (۱۳۸۶)، "بررسی رفتار هیدرومکانیکی و نفوذپذیری ساختگاه سد صفا"، پنجمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.

Ghafoori. M, Lashkaripour. G. R, Tarigh Azali. S, (2011), "Investigation of the geological and geotechnical characteristics of Daroongar dam, northeast Iran", Geotechnical and Geological Engineering, vol 29: 961-975.

Kutzner. C, (1996), "Grouting of rock and soil", A. Balkema/ Rotterdam/ Brook field: 271.

Foyo. A. C, Sanches. M. A, Tomillo. C, (2003), "A proposal for a secondary permeability Index obtained from water pressure tests index foundations", Engineering Geology, vol. 77: 69-82.

Preist. S. D, (1993), "Discontinuity analysis of rock engineering", Chapman & Hall: 473.