Archive of SID

دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
کرمانشاه، ۹ و ۱۰ مهر ماه ۱۳۹۳

بررسی نفوذپذیری پی و تکیه گاه های سد خاکی قوسی آغ چای

نعیمه اسماعیل نیا[۱]، عبدالرضا واعظی هیر[۲]، محمد علی زریاب[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته هیدروژئولوژی دانشگاه تبریز naimeh_esmailnia@yahoo.com

۲- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز، r.vaezi@tabrizu.ac.ir

۳- شرکت مهاب قدس، Azaryab81@yahoo.com

naimeh_esmailnia@yahoo.com

خلاصه

سد آغ چای در استان آذربایجان غربی و در ۴۵ کیلومتری شهرستان خوی واقع شده است. این سد که یک سد خاکی قوسی با هسته ی رسی است بر روی رودخانه ی آغ چای و بر روی آهکهای مرجانی، مارن و مارنهای ماسه ای سازند قم مربوط به دوره الیگو-میوسن ساخته شده است. از ۳۱ حلقه گمانه موجود در منطقه ۱۶ گمانه در جناح چپ،۱۱ گمانه در جناح راست و ۴ گمانه در بستر رودخانه حفر گردیده است و مجموعا ۳۳۹ آزمایش لوژان صورت گرفته است. در حین مغزه گیری آزمایش تعیین کیفیت توده سنگ(RQD) نیز انجام گرفته که نتایج حاکی از آن است که کیفیت توده سنگ در جناح چپ ضعیف تا متوسط بوده و در جناح راست از عمق ۶۰ متر به بعد در رده ی متوسط قرار می گیرد و بهتر از جناح چپ است و در بستر رودخانه تا عمق ۳۰ متر کیفیت توده سنگ ضعیف و از ۳۰ متر بیش تر کیفیت توده سنگ در رده ی متوسط تا خوب دسته بندی می شود .براساس نتایج حاصل از بررسیهای زمین شناختی و ژئوتکنیکی انجام شده در ساختگاه سد و مدل هیدروژئولوژیکی تهیه شده پنج منطقه (زون) با نفوذپذیری متفاوت در محور سد وجود دارد که آزمایشهای نفوذپذیری در تکیه گاه راست بیانگر این مطلب است که در ۲۰ متری بالایی توده سنگ، بدلیل ارتباط آسان تر شبکه درز و ترکها با یکدیگر و احتمالا بازشدگی بیشتر در نزدیکی سطح زمین، نفوذپذیری توده سنگ عمدتا زیاد است و هر چه عمق افزایش می یابد از نفوذپذیری کاسته شده و نفوذپذیریها تابعی از درز وترکهای باز و یا زونهای خرد شده موضعی می شوند.در تکیه گاه چپ نتایج آزمایشهای نفوذپذیر نشان دهنده ی آن است که در ۲۵ متری بالایی توده سنگهای آهکی نابرجا بدلیل ارتباط آسان تر فضای بین قطعات سنگی نفوذپذیری توده عمدتا زیاد می باشد ولی با افزایش عمق از نفوذپذیری کاسته می شود.

کلمات کلیدی: سدآغ چای، نفوذپذیری ،لوژان ،RQD، مدل هیدروژئولوژیکی.

۱. مقدمه

یکی از مهمترین پارامترها در طراحی سازه های آبی از جمله سد، تعیین نفوذپذیری پی و تکیه گاههای سد می باشدکه از طریق همین نفوذپذیری می توان به میزان نشت از سد و میزان تزریق پذیری آن پی برد[2]. مطالعات از این قبیل در سطح جهانی روی سد های متعددی از جمله سد کالسیک در ترکیه و سد کافرین در اردن انجام شده است که طی آن مناطق با پتانسیل بالای نشت شناسایی شده است. [4]O.K.Nusier et al 2001 و Turkmen.S, 2003; Turkmen, 2003 .. [3] در سد لار و سد سلمان فارسی به ترتیب توسط جلالی ۱۹۹۸ [5] و فولادی و گلشن۱۹۹۹ [6] نیز مطالعات مشابهی صورت گرفته است.

---

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد رشته هیدروژئولوژی دانشگاه تبریز
[۲] استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز
[۳] مشاور شرکت مهاب قدس

www.SID.ir

Archive of SID

سد مخزنی آغ چای یک سد خاکی با هسته رسی است که به منظور مهار آبهای سطحی و سیلابی رودخانه آغ چای و استفاده از آن در توسعه و بهبود کشاورزی دشتهای قره ضیاء الدین، نازک، اواوغلی ویکانات در بخش شمال و شمال شرقی قره ضیاء الدین احداث شده است. بلندی سد از پی ۱۱۱/۵ متر بوده و گنجایش مخزن به ۱۷۹/۵ میلیون متر مکعب می رسد. این سد تنها سد خاکی قوسی کشور محسوب می شود. قرار گرفتن گسل آغ چای در مجاورت ساختگاه و نیز وجود توالی رسوبی مربوط به سازند قم در تکیه گاههای این سد احتمال بالا بودن نفوذپذیری در بخشهایی از تکیه گاهها را محتمل می سازد.

۲. اطلاعات عمومی

۲-۱- زمین شناسی محل سد

محل سد دره ای کم عرض و نامتقارن بر روی رودخانه آغ چای انتخاب گردیده است.تنگه محل سد تحت عوامل زمین ساختی و فرسایشی تکوین یافته و به شکل U باز تقریبا نامتقارن می باشد. عرض دره در بستر رودخانه در رقوم ۱۲۱۸ متر از سطح دریا حدودا به ۱۴۰ متر می رسد.
ساختگاه سد آغ چای با توجه به بررسیهای سطحی زمین شناسی و اطلاعات حاصله از گمانه های اکتشافی، از مجموعه ای از سنگهای رسوبی متعلق به ائوسن بالایی، اولیگوسن زیرین و نهشته های نسبتا ضخیم عهد حاضر در بستر رودخانه و در دامنه ها تشکیل شده است. ساختگاه سد را عمدتا تناوب کنگلومرا، ماسه سنگ، سیلتستون و گل سنگ دربرمی گیرد. رسوبات عهد حاضر و زمین لغزش های موضعی نیز گسترش نسبتا زیادی داشته که قسمتی از سنگ بستر ساختگاه را پوشانده اند. در پای دامنه چپ بازمانده پادگانه های جوان به صورت باریکه ای به ضخامت ۳ تا ۵ متر از بستر رودخانه نمایان است.
دامنه راست عموما با قشر نازکی از واریزه پوشیده شده ولی در پایین دست محور، ضخامت واریزه ها افزایش یافته و ضخامت این پوشش به ۱۸ متر نیز بالغ می گردد. در رقوم ۱۳۹۵ متری آهکها به صورت صخره رخنمون داشته و تا تراز ۱۴۹۲ متری ادامه دارد. همچنین در محدوده میانی این دامنه توده سنگ نابرجای آهکی با ابعاد حدودی ۸۵، ۷۰، ۱۱۰ متر وجود دارد که در تکیه گاه راست جای گرفته است.
تکیه گاه راست و چپ از سازند قم با سن الیگومیوسن تشکیل شده است که این سازند تناوبی از کنگلومرا ، آهک و مارن می باشد. کنگلومرای مزبور حاوی لایه و عدسیهایی از ماسه سنگ، مارن و گل سنگ می باشد. آهکهای مزبور در قاعده مختصری مارنی، قلوه ای و برش بوده ولی بطرف بالا تبدیل به لایه های ضخیم و توده ای شده که تشکیل یک ردیف را می دهند.
ساختگاه سد آغ چای در نزدیکی راندگی بداولی واقع شده است. آثار راندگیهای فرعی و به تبع از راندگی بداولی به صورت رانده و زونهای برشی در محدوده ساختگاه و مخزن مشاهده می شود. تکیه گاههای محل سد را یالهای تاقدیسی تشکیل می دهند که محور آن کم و بیش بر مسیر رودخانه منطبق بوده و روند محوری آن شمال باختری- جنوب خاوری است. چین خوردگی در آهکهای محل سد به خوبی قابل مشاهده بوده و گسله های فرعی

www.SID.ir

Archive of SID

زیادی آهکها را بریده و زونهای برشی زیادی در آهکهای مزبور بر اثر عملکرد گسله ها ایجاد شده است. با توجه به اینکه سازند قرمز تحتانی عمدتا توسط نهشته های واریزه ای پوشیده شده است عملکرد گسله ها در این سازندها مشهود نمی باشد.
امتداد لایه ها در تکیه گاه راست برابر N135-115 و شیب آنها بین ۲۰ تا ۵۰ درجه به سمت جنوب باختری می باشد. همچنین امتداد لایه بندی در تکیه گاه چپ N155-170 و شیب آنها بین ۴۰ تا ۵۰ درجه به سمت شمال خاوری است.
زونهای برشی(shear zones) فراوانی در تنگه ساختگاه به چشم می خورد که به پهنای چند سانتیمتر تا چندین متر اندازه گیری شده اند و احتمالا وجود زونهایی با پهنای بیشتر نیز ممکن است در محدوده محور و ارتفاعات مشرف به ساختگاه وجود داشته باشد که توسط واریزه های دامنه ای و توده سنگهای نابرجا پوشیده شده اند. در محدوده گسله ها آهکها کاملا خرد شده اند بطوریکه بافت خود را از دست داده اند که از آن جمله می توان به گسله های درد آغاج و فرج اشاره نمود. که پهنای برخی از زونهای گسله به بیش از ۱۰ متر نیز می رسد.

۳.شکستگی و کیفیت توده سنگ

با توجه به تکتونیک منطقه مورد مطالعه، گسترش درزه و شکستگی محدود به چهار دسته درزه اصلی بوده ولی علیرغم گسترش قابل توجه آنها در محدوده سد، سنگ بکر از ضرایب مقاومتی نسبتا خوبی برخوردار می‌باشد. در جناح چپ کیفیت توده سنگ بستر در رده کیفی ضعیف تا متوسط قرار می‌گیرد ولی در جناح راست کیفیت سنگ از عمق ۶۰ متر به بعد در رده متوسط قرار می‌گیرد و نسبت به جناح چپ دارای کیفیت بهتری می‌باشد. در بستر رودخانه کیفیت توده سنگ بستر تا عمق ۳۰ متر در رده ضعیف ولی از عمق ۳۰ متر به پایین کیفیت سنگ در رده متوسط تا خوب قرار می‌گیرد.قسمتهای سطحی توده سنگ بستر به علت درجه فرسودگی تحت اثر عوامل جوی دارای کیفیت ضعیفتری نسبت به قسمتهای عمقی می‌باشد و این قشر به عنوان زون فرسوده در نظر گرفته شده است. بررسی شاخص کیفی سنگ برای گمانه هایی که در تناوب کنگلومرا،گل سنگ و ماسه سنگ حفر شده اند، نشان می‌دهد که متوسط شاخص کیفی این توده در تکیه گاه چپ حدود ۴۱ درصد (سنگ با کیفیت ضعیف تا متوسط)،درتکیه گاه راست درحدود ۴۹ درصد (سنگ با کیفیت ضعیف تا متوسط) و در بستر رودخانه حدود ۳۷ درصد (سنگ با کیفیت ضعیف) می‌باشد.

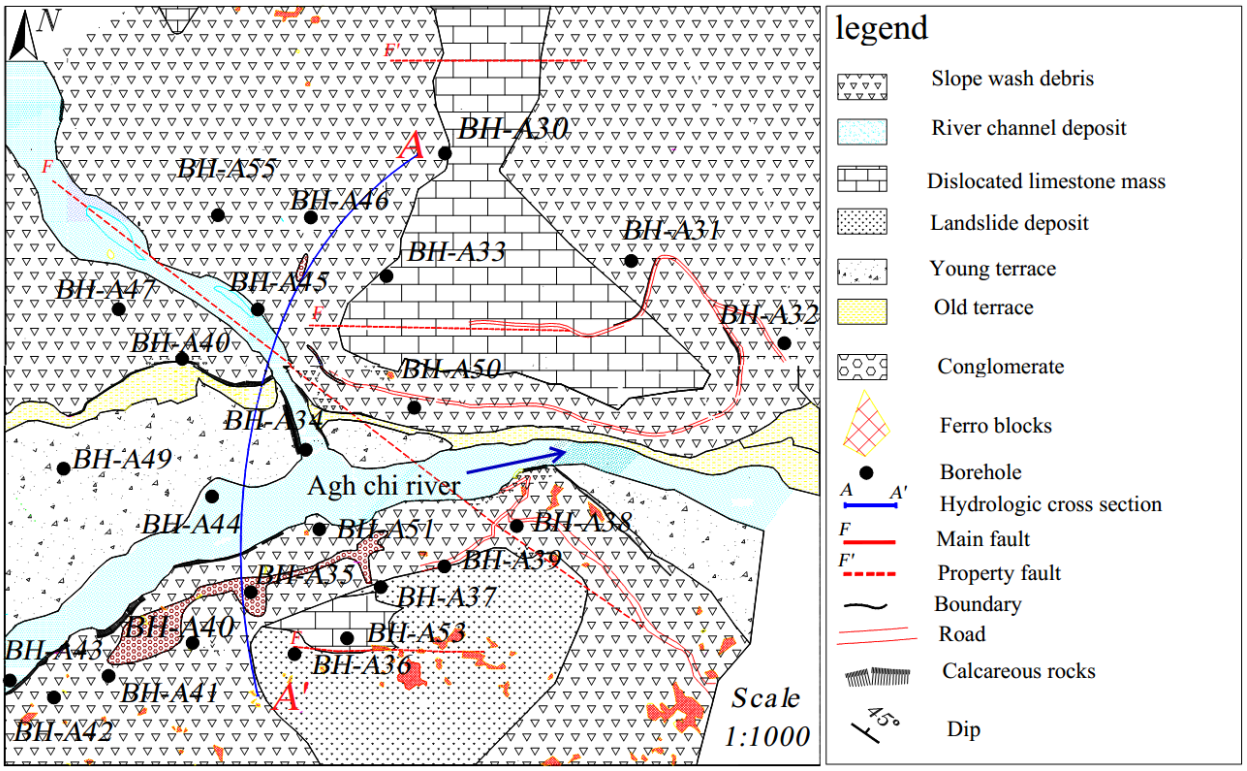
۴.نفوذپذیری

در محدوده سد ۳۱ گمانه حفر شده است. از مجموع گمانه های حفر شده تعداد ۱۶ حلقه گمانه در جناح چپ و ۱۱ حلقه گمانه در جناح راست و ۴ حلقه گمانه در بستر رودخانه حفر گردید. موقعیت گمانه های اکتشافی در نقشه شماره ۱ نمایش داده شده است. عمق گمانه ها متغیر بوده و بین ۲۰ الی ۱۲۰ متر حفر گردیده اند و در حین حفاری آزمایش های لوژان و لوفران انجام شده و میزان **RQD** محاسبه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۲۳ آزمایش لوفران با بار ثابت و افتان برای تعیین نفوذپذیری رسوبات آبرفتی و واریزه های دامنه ای جناح چپ و راست انجام شده است[1]. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش ها میانگین نفوذپذیری رسوبات آبرفتی بستر رودخانه بین $۱/۷۹\times۱۰^{-۴}$ تا $۲/۶۱\times۱۰^{-۴}$ سانتیمتر بر ثانیه، واریزه های دامنه ای تکیه گاه چپ بین $۶/۴\times۱۰^{-۶}$ تا $۰/۷۵\times۱۰^{-۱}$سانتیمتر بر ثانیه می باشد.واریزه های دامنه ای تکیه گاه راست نفوذ-ناپذیر تا $۰/۸\times۱۰^{-۱}$سانتیمتر بر ثانیه می باشد. با توجه به شرایط لیتولوژیکی و نفوذپذیری سنگ پی و با بررسی نتایج آزمایشهای انجام یافته به روش لوژان که در طول ۳۴۸۰ متر از گمانه های اکتشافی صورت پذیرفته است، عامل اصلی نفوذپذیری در تکیه گاهها و پی محل عمدتا وجود درزه، شکاف، خردشده موضعی توده سنگ و وجود تناوب مارن و کنگلومرا می باشد که می تواند از محل این کنتاکت نشت آب صورت بگیرد.



نقشه شماره ۱- نقشه زمین شناسی منطقه و محل گمانه های اکتشافی(منبع: مهاب قدس،۱۳۹۰)

شبکه درزه ها سیستم زهکشی آبهای نفوذی در داخل توده سنگ را به عهده دارد. با مطالعات میدانی و با استفاده از نتایج آزمایش لوژان میزان بازشدگی درزه ها برای لوژانهای بین ۱ تا ۵ بطور متوسط در حدود ۰/۱ میلیمتر، و برای بیش از ۵ لوژان بزرگتر از یک میلیمتر برآورد گردیده است. خردشدگیهای موضعی در توده سنگ عکس العمل دوگانه داشته بطوریکه در بعضی از قطعات مورد آزمایش موجب افزایش شدید جذب آب گردیده و در بعضی از قطعات دیگر منجر به کاهش نفوذپذیری تا حد غیرقابل نفوذ گشته اند ولی در بخش عمده نفوذپذیری بالای توده سنگ ناشی از خردشدگی موضعی آن می باشد[1]. علیرغم پرشدگی درزه

www.SID.ir

Archive of SID

ها و ترکها با مواد ثانوی رس،کلسیت و لای، درزه هایی که بازشدگی آنها بگونه ای است که جریان آب زیرزمینی می توانسته به صورت آزادتری جریان یابد باعث تغییرات و هوازدگی در سطوح درزه ها و ترکها و یا پرشدگی آنها شده است.بطور کلی می توان نتیجه گرفت که میزان نفوذپذیری در عین تبعیت از تراکم شکستگی ها و پدیده فرسایش عمدتا تحت تاثیر لیتولوژی و خصوصیات لایه بندی توده سنگ می باشد.در بخشهایی از توده سنگی که میزان خردشدگی، و یا بازشدگی قابل توجه دارند، باعث بوجود آمدن جریانهای آشفته و بسته شدن درزه ها گشته و یا موجب شستشوی مواد پر کننده درزه ها شده اند. مجموعه شرایط فوق علاوه بر افزایش میزان نفوذپذیری در توده سنگی در ناپایداری تکیه گاهها و پی نیز موثر خواهد بود.اطلاعات بدست آمده از گمانه های اکتشافی حفر شده در محدوده سد نشان می دهد که نفوذپذیری در تکیه گاه راست عمدتا در عمق ۵۰ متری کاهش می یابد. در بستر رودخانه نیز با افزایش عمق و کیفیت ویژه توده سنگ نفوذپذیری کاهش یافته و از عمق حدود ۹۰ متر به پایین به غیر از چند قطعه اغلب قطعات، نفوذپذیری پائینی دارند. در تکیه گاه چپ، نفوذپذیری در عمق های مختلف توده سنگ متفاوت بوده و میزان نفوذپذیری با افزایش عمق کاهش می یابد و در عمق حدود ۷۵ متری نفوذپذیری به حداقل می رسد.

۵- مدل هیدروژئولوژیکی نفوذپذیری پی و تکیه گاهها

مدل هیدروژئولوژیکی براساس نتایج حاصل از بررسیهای زمین شناختی و ژئوتکنیکی انجام شده در ساختگاه سد تهیه گردیده است[1]. نقشه شماره۲ زمین شناسی محل سد در محور سد را نشان می‌دهد. در تهیه مدل هیدروژئولوژیکی علاوه بر خصوصیات سنگ چینه شناسی واحدها پارامترهای دیگری از قبیل نتایج آزمایشهای نفوذپذیری محور و حوالی محور سد، نفوذپذیری توده سنگ، عناصر تکتونیکی، تاثیر هوازدگی، مقادیر شاخص کیفی، عمق و موقعیت واحدها، سطح آب زیرزمینی نیز لحاظ شده است که هماهنگ نمودن کلیه پارامترهای فوق الذکر در تمام نقاط ساختگاه سد به سادگی امکانپذیر نبوده و بنابراین موقعیت زونهایی که تاثیر بیشتر و پارامترهای قابل قبول تری داشتند تعیین گردیدند. مدل هیدروژئولوژیکی بر اساس دسته بندی هالسبی(۱۹۹۰)پنج زون با نفوذپذیری متفاوت را ارائه می دهد. خصوصیات اصلی و نفوذپذیری متوسط این زونها در جدول ۱ ارائه شده است وضعیت پنج زون به شرح ذیل می باشند.

زونE : نفوذپذیرترین زون در ساختگاه سد می باشد، زون مزبور در هر دو تکیه گاه،(گمانه A35 تکیه گاه راست و گمانه های A30، A45 تکیه گاه چپ) از گسترش بیشتری برخوردار می‌باشد. نفوذپذیری متوسط تکیه گاهها در این زون با استفاده از نتایج آزمایشهای لوژان حدود ۸۲ واحد لوژان و یا در حدود یک متر در روز می‌باشد.

www.SID.ir

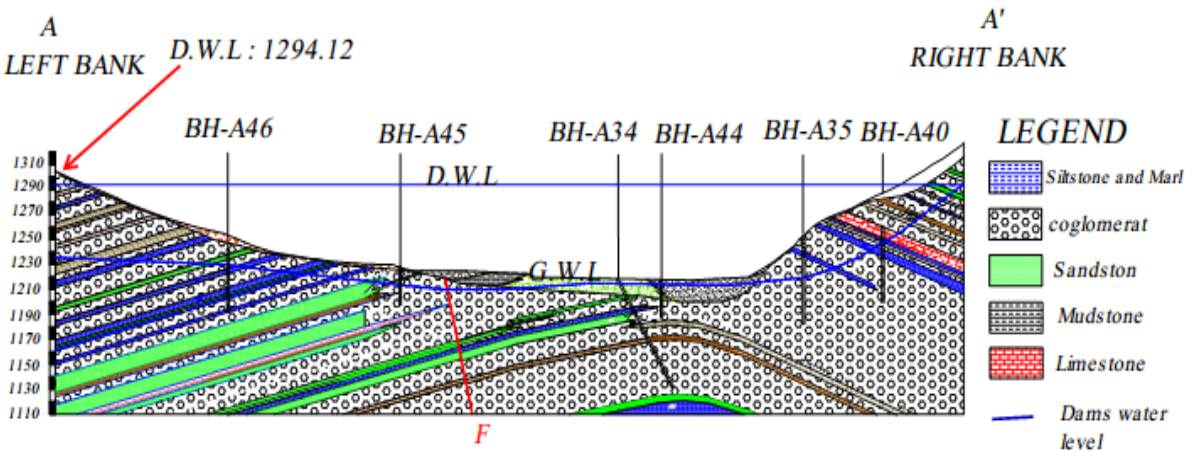
Archive of SID

زونD : این زون توده های سنگی با حدود نفوذپذیری ۳۰ تا ۶۰ واحد لوژان را شامل می‌شود. این زون در محدوده ساختگاه بوده و به عنوان زون میانی در حوالی گمانه هایA34، A46، A30 وجود دارند. متوسط نفوذپذیری در این زون ۴۵ واحد لوژان یا ۰/۵ متر در روز مشخص شده است.

زونC : این زون توده های سنگی با حدود نفوذپذیری ۱۰ تا ۳۰ واحد لوژان را شامل می شود.این زون بصورت پراکنده در هر تکیه گاه و بستر رودخانه گسترش دارد.مقدار متوسط نفوذپذیری در این زون حدود ۲۰ لوژان و یا ۰/۲۱ متر در روز مشخص گردیده است.

زونB : این زون نیز در تکیه گاهها و بستر رودخانه گسترش دارد. زون مزبور شامل لایه هایی با نفوذپذیری کم (۳تا۱۰ لوژان) می باشد.مقدار متوسط نفوذپذیری در این زون حدود ۵ تا ۶ واحد لوژان و یا ۰/۰۵۶ متر در روز می باشد.

زونA : این زون با توجه به نتایج نفوذپذیری گمانه های نسبتا عمیق (A40، A35، A34، A45، A46وA30)که در امتداد محور سد حفر شده اند نفوذپذیری بسیار کمی داشته اند بوده اند. ترکیب سنگ شناسی و وجود لایه های گل سنگ وسیلتستون دلیل اصلی نفوذناپذیر بودن این زون است.نفوذپذیری این زون بر پایه نتایج گمانه های فوق الذکر از نفوذناپذیر تا حداکثر ۳ لوژان در این زون به ندرت دیده می شود.گسترش زونهای فوق الذکر در نقشه شماره ۳ ارائه گردیده است.



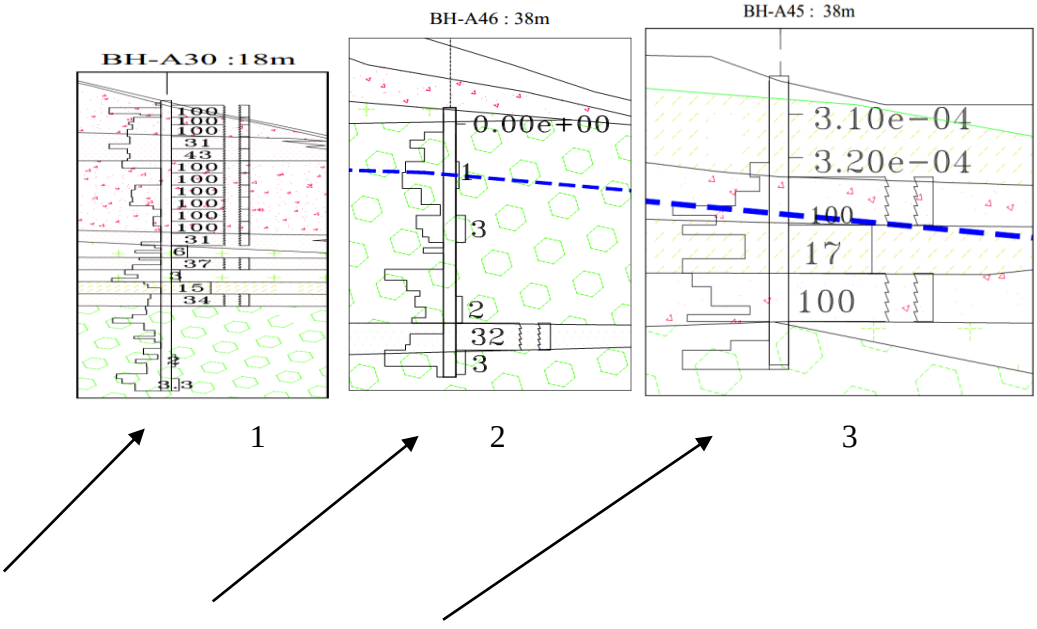
نقشه شماره ۲- نقشه زمین شناسی مقطع A-A' موازی محور سد

www.SID.ir

Archive of SID

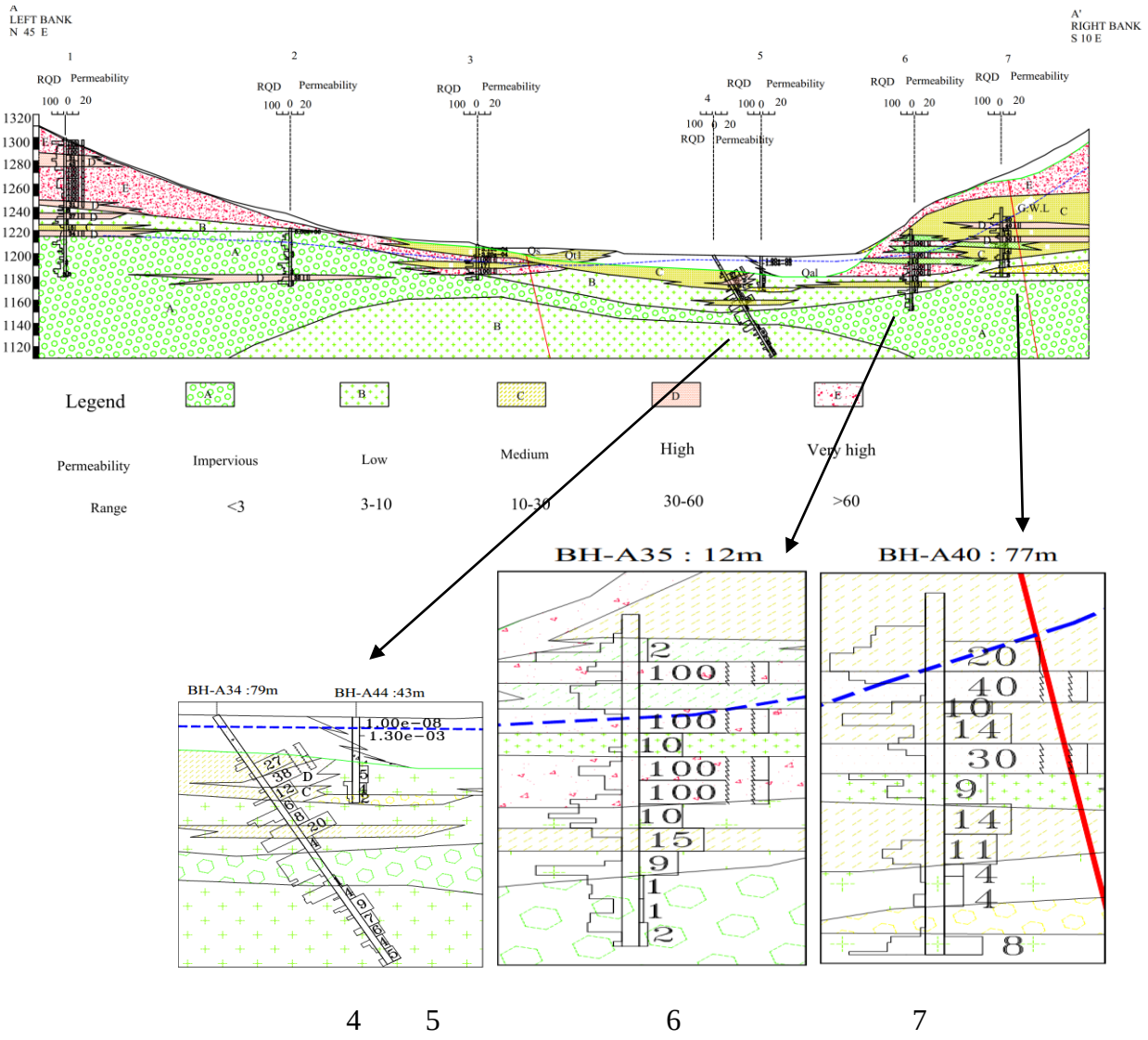
ردیف	زون	نفوذپذیری	توصیف نفوذپذیری	متوسط نفوذپذیری		
				لوژن	متربرثانیه	متردر روز
۱	E	> ۶۰	نفوذپذیری بسیارزیاد	۸۲	$۱/۱\times۱۰^{-۵}$	۱
۲	D	۳۰-۶۰	نفوذپذیری زیاد	۴۵	$۵/۸\times۱۰^{-۶}$	۰/۵
۳	C	۱۰-۳۰	نفوذپذیری متوسط، دارای قطعاتی با نفوذپذیری کم تا بسیار زیاد	۲۰	$۲/۵\times۱۰^{-۶}$	۰/۲۲
۴	B	۳-۱۰	نفوذپذیری کم، دارای قطعاتی با نفوذپذیری کم تا زیاد به طور پراکنده	۶	$۷/۸\times۱۰^{-۷}$	۰/۰۶۷
۵	A	۰-۳	نفوذناپذیر، به طور پراکنده دارای قطعاتی با نفوذپذیری متوسط و زیاد	۱	$۱/۳\times۱۰^{-۷}$	۰/۰۱۱

جدول ۱- خصوصیات نفوذپذیری ساختگاه سد [2]



www.SID.ir

Archive of SID



نقشه شماره ۳- مدل هیدروژئولوژیکی A-A' از محور سد

۶. نتیجه گیری

براساس نتایج حاصل از بررسیهای زمین شناختی و ژئوتکنیکی انجام شده در ساختگاه سد و مدل هیدروژئولوژیکی تهیه شده پنج منطقه (زون) با نفوذپذیری متفاوت در محور سد وجود دارد که آزمایشهای نفوذپذیری در تکیه گاه راست بیانگر این مطلب است که در ۲۰ متری بالایی توده سنگ، بدلیل ارتباط آسان تر شبکه درز و ترکها با یکدیگر و احتمالا بازشدگی بیشتر در نزدیکی سطح زمین، نفوذپذیری توده سنگ عمدتا زیاد است و هر چه عمق افزایش می یابد از نفوذپذیری کاسته شده و نفوذپذیریها تابعی از درز وترکهای باز و یا زونهای خرد شده موضعی می باشند.در تکیه گاه چپ نتایج آزمایشهای نفوذپذیر نشان دهنده ی آن است که در ۲۵ متری بالایی توده سنگهای آهکی نابرجا بدلیل ارتباط آسان تر فضای بین قطعات سنگی

www.SID.ir

Archive of SID

نفوذپذیری توده عمدتا زیاد می باشد ولی با افزایش عمق از نفوذپذیری کاسته می شود. با توجه به مدل هیدروژئولوژیکی زون E نفوذپذیرترین زون می باشد و زون A به علت وجود لایه های گل سنگ و سیلتستون دارای حداقل نفوذپذیری است.

۷. مراجع

۱. گزارش زمین شناسی مهندسی سد آغ چای(جلد چهارم)، شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس.

۲. علی پور، ع. چهره قانی، س.ابراهیمی ساعتلو،ر.و دادرسی،ب. (۱۳۸۹)، "بررسی تزریق پذیری و رابطه آن با نفوذپذیری توده سنگ در ساختگاه سد آغ چای،" مجموعه مقالات چهارمین همایش بین المللی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران ، جلد چهارم، تهران، ایران،۱۲-۱۱ آبان.

3. Turkmen, S., 2003.'' Treatment of the seepage problems at the Kalecik dam (Turkey)''. Engineering Geology 68, 159 – 169.

4.Malkawi,A.I.H.,Alawneh,A.S.,Nusier,O.K.,2001''Remidial measures to control seepage problem in the Kafrein dam. Jordan''.

5.Djalaly, H., 1988. ''Remedial and water tightening works of Lar Dam Seizieme Congress das Grandees Barages, San Francisco, USA.

6. Fouladi, C., Golshan, S., 1999. ''Result of field investigation of karstic foundation of Salman Farsi Dam Project (Iran)''. International Commission on Large Dams (ICOLD), Antalya, Turkey pp. 19 – 32.

www.SID.ir