

بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد گمبیری

علی پيله وری^{1*}، محمد غفوری²، غلامرضا لشکری پور³، زهره نوربخش رزمی⁴

1، 4- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

2، 3- استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

Ali_pilevari@yahoo.com

چکیده

سد انحرافی گمبیری بر روی رودخانه Kunar در شرق افغانستان و در نزدیکی شهر اسد آباد قرار دارد. در این پژوهش به بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی این سد پرداخته شده است. هدف از ایجاد سد انحرافی گمبیری، استفاده از آب رودخانه Kunar برای تولید انرژی است. از نقطه نظر زمین شناسی، تشکیلات دربرگیرنده این سد شامل رسوبات آبرفتی کواترنری است. این منطقه از پتانسیل لرزه خیزی بالایی برخوردار می باشد و جهت برآورد بیشینه بزرگای زمین لرزه ای که توسط گسله های منطقه ایجاد می گردد از روابط تجربی بین بزرگا و طول گسل استفاده شده است. با توجه به حفاری های انجام شده در محل و آزمایشات نفوذپذیری، میزان نفوذپذیری در محل ساختگاه سد تعیین و عمق پرده آب بند پیش بینی شده است. علاوه بر موارد گفته شده در این پژوهش با توجه به نتایج حاصل از آزمون SPT میزان تراکم آبرفت در محل سد ارزیابی و تغییرات عدد نفوذ استاندارد نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: ساختگاه سد، پارامترهای ژئوتکنیکی، بیشینه بزرگای زمین لرزه، نفوذپذیری، گمبیری

1- مقدمه

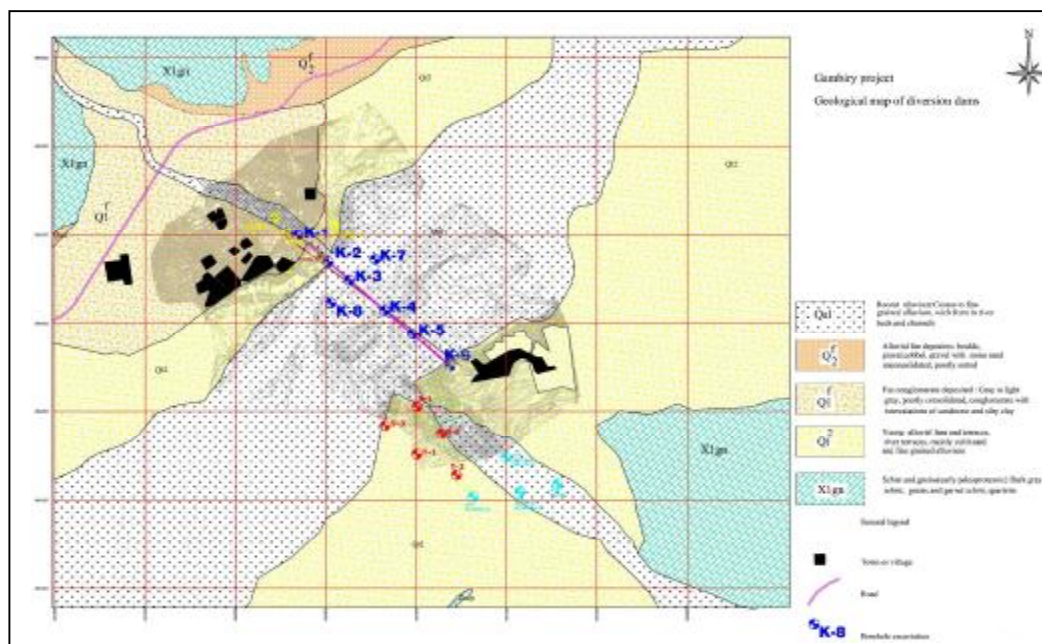
ارزیابی شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیکی محل پروژه، امری مهم و ضروری در طراحی و ساخت سدها می باشد (Tabwassah et al., 2012). 25 درصد شکست سدها در سراسر جهان به دلیل مشکلات ژئوتکنیکی مثل نشست، اجرای نامناسب دیوار آب بند، گسل و لغزش ها است (Akinrinmade et al., 2013). سد انحرافی گمبیری در شرق کشور افغانستان و در مجاورت مرز افغانستان و پاکستان واقع شده است. این سد در استان کنر و نزدیک شهر اسدآباد و در مجاورت روستای Babur قرار دارد. دسترسی به محل پروژه از طریق جاده آسفالته جلال آباد - اسدآباد و طی مسافت 60 کیلومتر امکان پذیر است. موقعیت سد انحرافی و محدوده مطالعاتی طرح در شکل 1 نشان داده شده است. سد انحرافی گمبیری بر روی رودخانه Kunar که از ارتفاعات هندوکش در شرق پاکستان سرچشمه می گیرد، ساخته خواهد شد. با اتصال سرشاخه با دبی بالا از جمله "دره پیچ" از ولایت نورستان افغانستان، در مجموع رودخانه کنر تشکیل می شود. مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیکی مرحله اول و دوم این سد توسط شرکت مهندسی مشاور طوس آب انجام شده است. هدف از ایجاد سد انحرافی گمبیری، هدایت آب رودخانه Kunar به میزان 100 متر مکعب در ثانیه به داخل کانال یا تونلی است که برای تولید انرژی هیدروالکتریک و شبکه آبیاری گمبیری مورد نیاز است.



شکل 1- موقعیت سد انحرافی و محدوده مطالعاتی طرح

2- زمین شناسی ساختگاه سد

مشخصات زمین شناسی ساختگاه سد نقش مهمی را در طراحی و احداث آن نسبت به سایر فاکتورهای طبیعی ایفا می کند. همچنین عوامل زمین شناسی در تعیین مصالح مورد نیاز برای احداث سد نقش بسزایی دارند (Ichikava, 1999). از نقطه نظر زمین شناسی، سازندهای دربرگیرنده سد انحرافی شامل رسوبات آبرفتی کواترنر است. به منظور شناسایی واحدهای زمین شناسی در محل پروژه نقشه زمین شناسی بر اساس مطالعات میدانی تهیه شده است (شکل 2). بر طبق این نقشه 4 واحد رسوبی همراه با سنگ های دگرگونی در محل پروژه مشاهده می شود. به طور کلی بر اساس نقشه زمین شناسی تهیه شده و مطالعات ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی قدیمی ترین واحد زمین شناسی منطقه شامل سنگ های دگرگونی (گنایس، شیست و مرمر) به سن پالئوزوئیک است البته هیچ نوع رخنمونی از این واحد سنگی در اطراف محل سد مشاهده نمی شود. تکیه گاه چپ سد شامل مخروط افکنه ها و آبرفت های ریزدانه، تکیه گاه راست شامل نهشته های کنگلومرای با میان لایه های ماسه ای و رس سیلتی می باشد. بستر سد نیز از آبرفت های جدید درشت دانه تا ریزدانه تشکیل شده است که این مواد بستر رودخانه و کانال ها را می سازند. مطالعات ژئوفیزیکی نشان می دهد که عمق سنگ بستر در محل سد انحرافی حدود 120 متر است (Toossab Consulting Engineers, 2012)



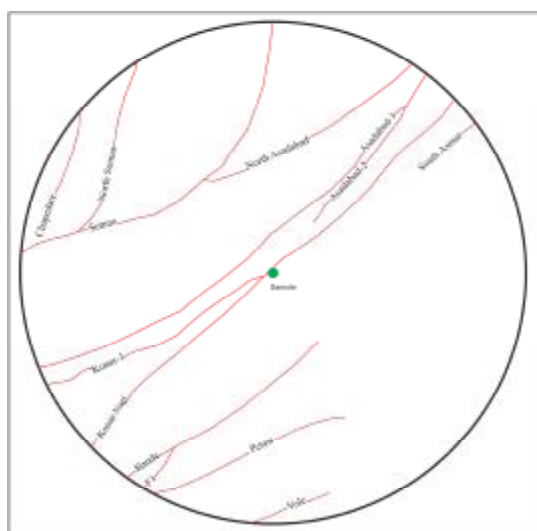
شکل 2- نقشه زمین شناسی محل ساختگاه سد و موقعیت گمانه ها

3- زمین ساخت محل سد:

با توجه به نهشته های آبرفتی در محل سد، مطالعه تکتونیک منطقه به صورت مستقیم امکان پذیر نمی باشد. بر اساس شواهد در دسترس مثل گسل ها، چین خوردگی ها و زمین لرزه های منطقه، این ناحیه یکی از فعال ترین نواحی تکتونیکی جهان و در اثر نیروهای فشاری صفحه هند به اوراسیا دائماً تحت تنش است. گسل Kunar با جهت NE-SW یکی از بزرگترین گسل ها در این ناحیه که در 1/5 کیلومتری شمال سد واقع شده است. این گسل پتانسیل لرزه خیزی بالایی دارد و در فعالیت های لرزه ای اخیر به عنوان یک گسل خطرناک به شمار می رود (Toossab Consulting Engineers, 2012).

3-1- برآورد بیشینه بزرگای هر گسله

جهت برآورد بیشینه بزرگای زمین لرزه ای که توسط گسله های منطقه ایجاد می گردد از روابط بین بزرگا و طول گسل استفاده شده است. روابط استفاده شده در این پژوهش عبارتند از رابطه مهاجر اشجعی و نوروزی (1978) و رابطه نوروزی (1985)، در این روابط با توجه به طول گسل می توان حداکثر بزرگای زمین لرزه ای که می تواند توسط هر یک از گسله های منطقه (شکل 3) ایجاد شود را محاسبه نمود. نتایج محاسبات حاصل از این روش در جدول 1 ارائه شده است. بر اساس این نتایج گسل سوماس با بزرگای منتسب 7/5 ریشتر می تواند بیشترین بزرگای لرزه ای را در منطقه به وجود آورد.



شکل 3- نقشه گسل های محدوده 30 کیلومتری طرح

جدول 1- بیشترین بزرگای متناسب به هر گسل

ردیف	نام گسله	طول (km)	Ms*	Ms**	Ms (ave.)
1	وله	28	6/5	6/8	6/7
2	جنوب اسمار	43	6/7	7/1	6/9
3	سوماس	192	7/4	7/6	7/5
4	پت آو	35/5	6/6	6/9	6/8
5	شمال سوماس	93/5	7/1	7/1	7/1
6	شمال اسدآباد	35/5	6/6	6/9	6/8
7	کنر - ناری	106	7/1	7/2	7/2
8	کنر - 1	41	6/7	7/0	6/9
9	چپه دره	70	6/9	7/4	7/2
10	بنده	37	6/7	7/0	6/8
11	اسدآباد - 1	56	6/8	7/2	7/0
12	اسدآباد - 2	57/5	6/9	7/2	7/0
13	F1	15/3	6/3	6/4	6/3
*رابطه مهاجر اشجعی و نوروزی (1974) $Ms = \text{Log}(L) + 5.4$					
**رابطه نوروزی (1985) $Ms = 1.259 + 1.244 \text{ Log } L$					

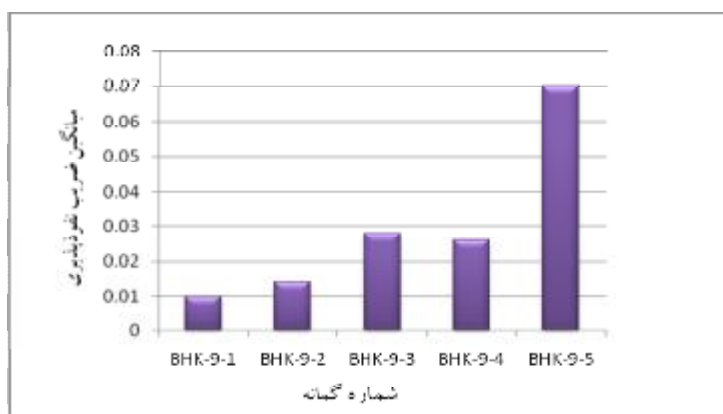
4- مطالعات ژئوتکنیکی

یکی از مؤثرترین فاکتورها در طراحی سدها بررسی شرایط ژئوتکنیکی پی آنها است. با استفاده از نمونه برداری، گمانه زنی و آزمایشات آزمایشگاهی می توان از شرایط پی سدها آگاهی پیدا کرد. پارامترهای ژئوتکنیکی پی آبرفتی سد انحرافی گمبیری در محاسبات پایداری شیب، برآورد نشت و خطرات ژئوتکنیکی مثل پدیده روانگرایی مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به سطح بالای آب زیرزمینی در محل پروژه، تمامی فعالیت های حفاری در آبرفت با روش حفاری ماشینی انجام شده است. در فاز دوم مطالعات سد گمبیری جمعاً 9 گمانه با نام های BHK-1 تا BHK-9 با عمق 230 متر حفاری شده است. گمانه های BHK-1، BHK-2 در تکیه گاه راست سد، گمانه BHK-6 در تکیه گاه چپ و بقیه گمانه ها در بستر رودخانه حفاری شده است.

4-1- نفوذپذیری محل سد

به منظور تعیین ضریب نفوذپذیری بستر رودخانه و تکیه گاه های آبرفتی، آزمایشات نفوذپذیری (آزمایش لوفران) با روش بار ثابت (Kc) و افتان (Kf) در طول قطعات یک متری گمانه های BHK-1، BHK-6 و BHK-9 انجام شده است. بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده در این سه گمانه، ماکزیمم ضریب نفوذپذیری در تکیه گاه راست $1/5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ و در تکیه گاه چپ

حدود $4/3 \times 10^{-5}$ cm/s و در بستر رودخانه میزان نفوذپذیری 7×10^{-2} cm/s می باشد (Toossab Consulting Engineers, 2012) (شکل 3). این نتایج نشان می دهد که پی آبرفتی سد انحرافی گمبیری به عنوان یک آبرفت "نفوذپذیر" شناخته می شود و در این راستا تمهیدات لازم باید در نظر گرفته شود. روش های مختلفی برای آب بندی وجود دارد که انتخاب هر کدام به شرایط زمین شناسی، خصوصیات هیدرولیکی ساختگاه و ابعاد هندسی سد بستگی دارد (برزگری ق. و همکاران، 1386). عمق دیوار آب بند در این سد بر اساس آنالیز نشت حدود 10 متر تخمین زده شده است. این دیوار به سنگ بستر متصل نمی شود و علاوه بر طول کلی تاج سد انحرافی، حدود 10 متر داخل تکیه گاه ها گسترش دارد. به منظور اطمینان از وجود یک زون پلاستیک کامل در اطراف این بخش و جلوگیری از ایجاد ترک ها، زون کوچکی از مواد رسی با پلاستیسیته بالا ($PI > 20$) در قسمت فوقانی دیوار آب بند پیش بینی می شود.



شکل 3- نتایج حاصل از آزمایش نفوذپذیری در بستر رودخانه کنر در اعماق 3 تا 16 متر

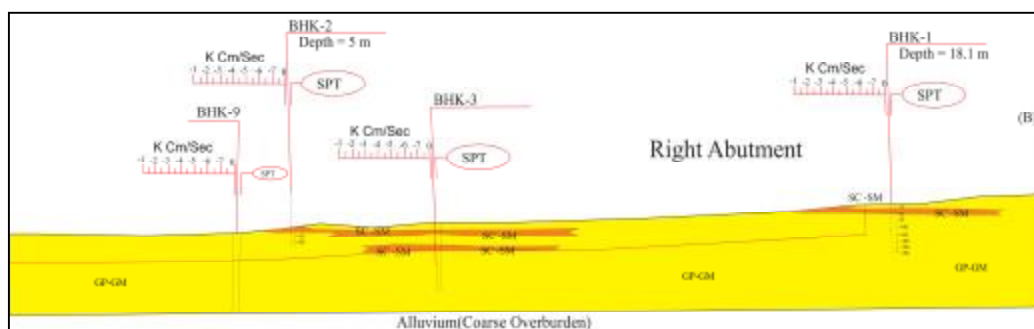
4-2- خصوصیات مهندسی آبرفت های ساختگاه سد

پی آبرفتی

بستر رودخانه در محل سد انحرافی پوشیده از رسوبات درشت دانه می باشد. اندازه این رسوبات از حد ماسه تا بولدرهای بزرگ است. با توجه به وضعیت سطحی رسوبات و نتایج عملیات ژئوفیزیک لایه تشکیل دهنده بستر رودخانه از رسوبات درشت دانه در حد گراول تشکیل شده است. از خصوصیات این رسوبات می توان به میزان آبگذری و ظرفیت باربری بالای آنها اشاره نمود.

تکیه گاه راست

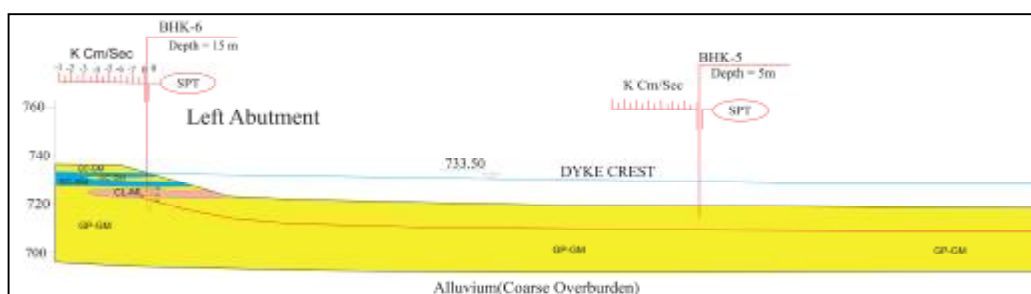
این تکیه گاه بر روی مخروط افکنه ای قرار دارد که جنس رسوبات این منطقه عموماً شامل قطعات سنگی مرمر، گنیس و گرانیت می باشد. از نظر زمین شناسی مهندسی رسوبات منطقه فاقد چسبندگی بوده و از حد گراول تا ماسه تغییر می کند. مقایسه داده های ژئوفیزیکی و لوگ ژئوتکنیکی نشان می دهد که رسوبات تشکیل دهنده این قسمت کاملاً درشت دانه می باشد. لزه های ماسه ای (SC-SM) در عمق های متفاوت به طور جداگانه شناسایی شده اند. و مواد ریز دانه آن بسیار کم است. بر اساس مطالعات ژئوفیزیک عمق سطح آب زیرزمینی در این منطقه 7 متر و عمق سنگ کف حدود 90 متر می باشد.



شکل 4- برش زمین شناسی و ژئوتکنیکی در تکیه گاه راست سد انحرافی گمبیری

تکیه گاه چپ

این تکیه گاه در تراس های آبرفتی قدیمی رودخانه می باشد. دیواره تراس حدود 10 متر از بستر رودخانه بالاتر است و لایه ای به ضخامت حدود 4 تا 5 متر در قسمت فوقانی حاوی رسوبات ریزدانه سیلت و رس با میان لایه های ماسه ای است. لایه ریزدانه این قسمت دارای چسبندگی متوسط است. بر اساس مطالعات ژئوفیزیک عمق سطح آب زیرزمینی 25 تا 30 متر و عمق سنگ کف در حدود 120 متر می باشد (Toossab Consulting Engineers, 2012).



شکل 5- برش زمین شناسی و ژئوتکنیکی در تکیه گاه چپ سد انحرافی گمبیری

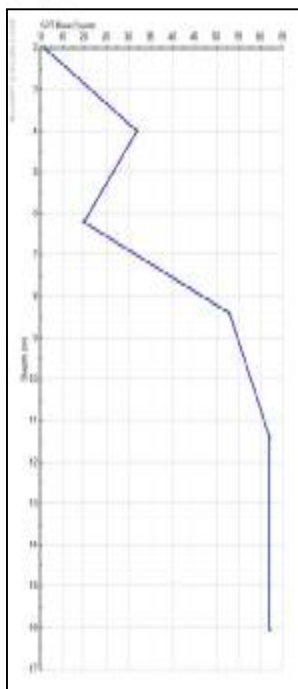
3-4- آزمایش نفوذ استاندارد

آزمایش نفوذ استاندارد (Standard Penetration Test- SPT)، آزمایش دینامیکی درجا و پارامتری قابل تعیین و ضروری در اکثر پروژه های عمرانی می باشد. در مهندسی ژئوتکنیک، بسیاری از پارامترهای خاک از جمله سختی و مقاومت خاک، دانسیته نسبی، میزان تراکم، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک ها مرتبط با عدد نفوذ استاندارد (N-SPT) می باشد (بیک لریان م. و همکاران، 1390). نتایج این آزمون برای خاک های دانه ای مثل ماسه و گراول معتبر است. محدودیت اصلی استفاده از عدد SPT در مکان هایی است که سیلت و رس وجود داشته باشد زیرا این مصالح متناسب با خشک یا مرطوب بودن مقاومت های مختلفی را نشان می دهند و اگر این مصالح بعدها مرطوب تر شوند، سختی پیش بینی شده توسط آزمون SPT را نشان نخواهند داد (Rogers, 2000). با توجه به اینکه در سد انحرافی گمبیری تشکیلات آبرفتی عمدتاً درشت دانه هستند اعداد SPT به دست آمده از اعتبار خوبی برخوردار است. نتایج آزمون نفوذ استاندارد در سد انحرافی گمبیری در جدول 2 و شکل 6 نشان داده شده است.

جدول 2- نتایج آزمون نفوذ استاندارد

ردیف	شماره گمانه	عمق (m)	نمونه گیر مخروطی (اصلاح شده با ضریب 0/75)
			N(N2+N3)
1	BHK-1	2	11
2		4	32
3		6/20	20
4		8/40	>50
5		11/40	>50
6		16/05	>50
7		18/10	>50
8	BHK-2	2	>50
9		4	>50
10	BHK-5	2	>50
11		4	>50
12	BHK-6	6	28
13		10/50	38
14	BHK-7	3	>50
15	BHK-8	4	>50
16	BHK-9	3	>50
17		6	>50
18		9	>50
19		12	>50
20		5	>50
21		18/7	>50
22		22	>50
23		26	>50
24		29	>50

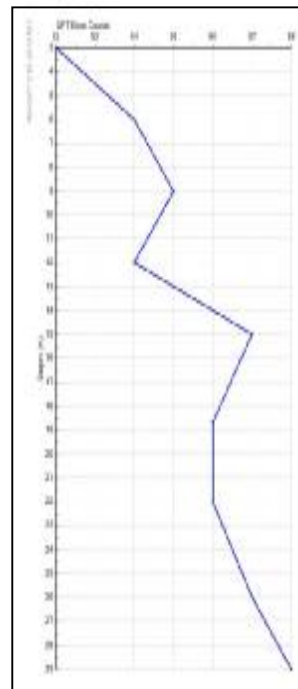
گمانه BHK-1



گمانه BHK-6



گمانه BHK-9



شکل 6- نمودار تغییرات Nspt نسبت به عمق

همان طور که گفته شد به منظور تعیین تراکم لایه های آبرفتی در اعماق از نتایج آزمون SPT در گمانه ها استفاده می شود. نمودار تغییرات Nspt نسبت به عمق برای گمانه های BHK-1، BHK6، BHK-9 در شکل 6 نشان داده شده است بر طبق نتایج به دست آمده، 80% آزمایشات عدد SPT بالای 50 (به دلیل برخورد با بولدرها)، 8% اعداد بین 30 تا 50 و 12% اعداد بین 10 تا 30 را نشان می دهند. در گمانه BHK-1 که در تکیه گاه راست سد ایجاد شده است. در اعماق کمتر از 10 متر به دلیل تغییرات در جنس لایه ها یک روند صعودی و نزولی در تعداد ضربات SPT دیده می شود. در گمانه BHK-6 که در تکیه گاه چپ سد واقع شده است، آزمون SPT تا عمق 10/5 متری انجام شده است اما اعداد حاصل از آزمایش در این گمانه کمتر از 50 می باشد که معرف خاکی با مقاومت نسبتاً مناسب می باشد. به طور کلی با توجه به شکل 6 در گمانه های BHK-1 و BHK-9 در اعماق بیش از 10 متر تعداد ضربات SPT به بیش از 50 ضربه افزایش می یابد که نشان دهنده افزایش مصالح با افزایش عمق می باشد. این اعداد همراه با قضاوت های مهندسی نشان می دهد که پی آبرفتی سد گمبیری از لحاظ تراکم در طبقه متوسط (moderate) تا متراکم (dense) تغییر می کند.

5- نتیجه گیری

با توجه به بررسی های انجام شده در محل پروژه، آبرفت محل سد شامل رسوبات کواترنری است که عمدتاً از مصالح گراولی همراه با لزه های ماسه ای و رسی تشکیل شده است. با توجه به آزمایشات ژئوفیزیکی انجام شده در محل حداکثر عمق آبرفت در محل ساختگاه سد 120 متر می باشد. این منطقه قابلیت لرزه خیزی بالایی دارد به همین دلیل به منظور برآورد بیشینه بزرگای زمین لرزه ای که توسط گسله های منطقه ایجاد می گردد از روابط بین بزرگا و طول گسل (رابطه نوروزی و معادله مهاجر اشجعی و

نوروزی) استفاده شده است و نتایج حاصل از این محاسبات نشان می دهد که گسل سوماس با بزرگای منتسب 7/5 ریشتر می تواند بیشترین بزرگای لرزه ای را در منطقه به وجود آورد. نتایج آزمایش لوفران و گمانه های ایجاد شده در محل نیز نشان می دهد که تشکیلات آبرفتی در ساختگاه سد از دیدگاه کلی به عنوان یک آبرفت نفوذپذیر معرفی می شود از این رو دیوار آب بند با عمق 10 متر و ضخامت 60 سانتی متر از جنس بتن پلاستیک پیشنهاد می گردد. در این پژوهش، نتایج حاصل از آزمایش SPT نشان می دهد که آبرفت در محل سد از لحاظ تراکم در طبقه "متوسط" تا "متراکم" قرار می گیرد و در بعضی گمانه ها با افزایش عمق میزان عدد نفوذ استاندارد افزایش می یابد که نشان دهنده افزایش تراکم مصالح با افزایش عمق می باشد. با توجه به بالا بودن مقادیر عدد SPT و قضاوت های مهندسی پیش بینی می گردد که احتمال وقوع روانگرایی در این منطقه کم باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم میدانند تا از شرکت مهندسی مشاور طوس آب به خاطر همکاری صمیمانه جهت در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

- برزگری، ق. ارومیه ای، ع. (1386). بررسی ویژگی های زمین شناسی مهندسی پی آبرفتی ساختگاه سد مخزنی چپرآباد با نگرشی ویژه به مسئله آب بندی. نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد دوم، شماره 1. صفحات 281-300.
- بیک لریان، م. دراسرای، ع. قمی، ج. خانلو، م. (1390). بررسی ژئوتکنیکی ارتباط سرعت موج برشی خاک با عدد آزمایش نفوذ استاندارد برای فلات ایران. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران.
- Akinrinmade, A.O., Ogunsanwo, O., Ige, O.O., (2013). "Geophysical and Geotechnical Investigation of river Ero, Ajuba, southwestern Nigeria for dam development". International Journal of science and Technology. Vol. 2. No. 7., pp. 518-528.
- Ichikava, K. (1999). "Geological investigation of dam Proc of 2nd", Asian Symposium on Engineering Geology and Environment. Malaysian National Group. Malaysian, 1-44, 1-57.
- Rogers, J.D., (2006). "Subsurface exploration using the standard penetration test and cone penetrometer test". Environmental & Engineering Geoscience. Vol. XII. No. 2., pp. 161-179.
- Tabwassah, C.A., Obiefuna, G. I., (2012). "Geophysical and Geotechnical Investigation of Cham feiled dam project, Ne Nigeria". Research Journal of Recent Sciences. Vol. 1. No. 2.
- Toossab Consulting Engineers. (2012). "Geological and geotechnical studies of diversion dam Gambiri irrigation and hydropower project", Vol 2. 102p