

بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد نرماب

عبدالحمید جاوید^{۱*}، الهام احمدی نصرآباد^۲، رضا قبادی

۱- کارشناس ارشد مکانیک سنگ، شرکت مهندسی سپاسد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه دامغان

۳- رئیس کارگاه سد و شبکه نرماب، شرکت مهندسی سپاسد

hakim_javid@yahoo.com

چکیده

سد نرماب در شمال خاوری استان گلستان و در فاصله ۴ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان مینودشت واقع شده است. سد از نوع خاکی همگن به ارتفاع ۶۰ متر، طول تاج ۸۰۷ متر و حجم مخزن ۱۱۵ میلیون متر مکعب می باشد. این سد به منظور ذخیره سازی رژیم سیلابی رودخانه های نرماب، چهل چای و خرماو در مخزن سد نرماب، توسعه کشاورزی در اراضی تحت پوشش، تأمین آب شرب و صنعت منطقه و غیره در حال احداث می باشد. سنگ های گستره طرح عمدتاً از سنگ های کم و بیش نفوذپذیر تا نفوذناپذیر تشکیل یافته است. در محل سد، سنگ های ولکانیکی سیلورین لیتولوژی غالب گستره طرح را تشکیل می دهند که اکثراً از نفوذپذیری کم تا متوسط برخوردار می باشند. متوسط نفوذپذیری کل توده سنگ در حدود ۳۶-۲۵ لوژان برآورد شده است. مواد پوششی در محدوده محل سد شامل پادگانه های آبرفتی، واریزه های دامنه ای، خاک های برجای حاصل از فرسایش، لس و آبرفت های بستر رودخانه می باشد. مصالح تشکیل دهنده نهشته های آبرفتی بستر رودخانه دارای حداکثر ضخامت ۶۴/۵ متر متشکل از لایه های ریزدانه و درشت دانه که عمدتاً شامل رس، سیلت، ماسه، شن، قلوه سنگ و ندرتاً تخته سنگ می باشد. میانگین نفوذپذیری نهشته های آبرفتی $1/11 \times 10^{-2}$ سانتیمتر بر ثانیه می باشد. با توجه به نتایج آزمایش های تزریق سیمان در تکیه گاه ها و همچنین عمق زیاد گسترش هوازدگی در توده سنگ ساختگاه سد، دیوار آبنند به عنوان المان آبنندی در پی و تکیه گاه های سد انتخاب گردید. بافت تراکمی در پی آبرفتی سد نرماب عمدتاً در محدوده متراکم تا خیلی متراکم قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: سد نرماب، نفوذپذیری، نهشته های آبرفتی، دیوار آبنند.

۱- مقدمه

گمانه های پیش بینی شده در عملیات ژئوتکنیک سد نرماب به صورت قائم و مورب حفر شده اند. منظور از حفر گمانه های مزبور شناخت رسوبات آبرفتی و سنگ بستر در ساختگاه می باشد. کلیه حفاری ها با دستگاه های حفاری دورانی با استفاده از نمونه گیر دوجداره به طول حداکثر ۳ متر انجام گرفته است.

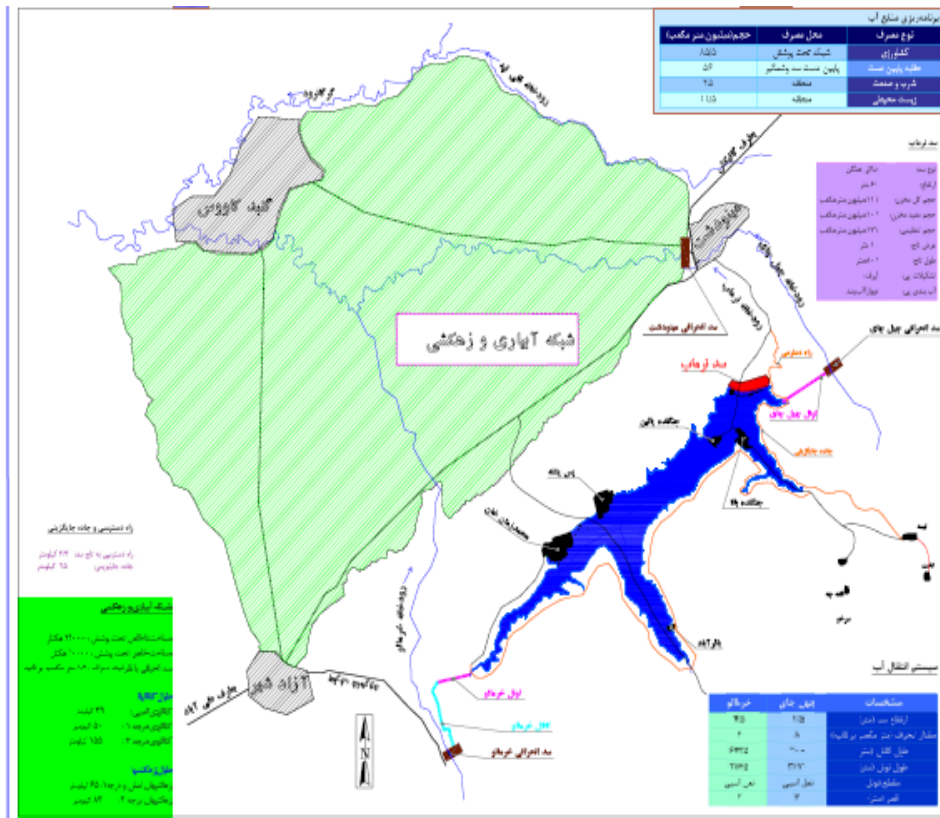
مجموعاً در گستره طرح ۶۱ حلقه گمانه به منظور شناسایی کلی خصوصیات آبرفت و سنگ بستر حفر گردیده است. در محدوده سد، مخزن، بندهای انحرافی و مسیر، تونل های انتقال به منظور تعیین شرایط ژئوتکنیکی پیش بینی شده است و با توجه به محدودیت حفر گمانه های اکتشافی، پراکندگی گمانه ها طوری آرایش یافته اند که بتوان حداکثر اطلاعات مورد نیاز را به دست آورد.

۲- زمین شناسی ساختگاه سد

با توجه به شرایط توپوگرافی و زمین شناسی منطقه، ساختگاهی در فاصله حدود ۴ کیلومتری جنوب غربی شهرستان مینودشت و در کوهپایه‌های رشته کوه البرز جهت مطالعه و برای احداث سد انتخاب گردیده است. مقطع محور انتخابی تقریباً نامتقارن و دارای شیب‌های دامنه‌ای نسبتاً تندی است، به طوری که شیب دامنه‌ای تکیه گاه راست از پادگانه آبرفتی ساحل راست رودخانه تا رقوم ۲۱۰ متر بالاتر از سطح دریا حدوداً ۳۰ درجه می‌باشد، از این رقوم شیب دامنه‌ای به ۳۹ درجه افزایش می‌یابد، کف دره به وسیله رسوبات ضخیم آبرفت‌های رودخانه‌ای پوشیده شده و دارای شیب بسیار ملایم به طرف رودخانه می‌باشد. رودخانه نرماب در بستری U شکل حرکت می‌کند که دیواره‌های آن دارای شیب تند و نزدیک به قائم است. عرض پادگانه آبرفتی ساحل راست رودخانه حدود ۴۵۰ متر و عرض بستر جاری رودخانه حدوداً به ۱۰ متر می‌رسد که به صورت دیواره نزدیک به قائم مشاهده است.

شیب دامنه‌ای تکیه گاه چپ از بستر رودخانه فعلی تا حدود ۱۶۵ متر بالاتر از سطح دریا حدود ۳۸ درجه و از رقوم ۱۶۵ الی ۱۸۰ متر از سطح دریا حدود ۴۴ درجه و از رقوم ۱۸۰ متر به بالا شیب دامنه کاهش یافته و به ۲۲ درجه می‌رسد. شیب کلی رودخانه نرماب در تنگه سد حدوداً به ۱/۲ درصد می‌رسد.

سازندهای ساختگاه سد نرماب به دو گروه متمایز قابل تفکیک‌اند. سازندهای ناپیوسته که تماماً مربوط به رسوبات دوران چهارم بوده و آبرفت‌های عهد حاضر را تشکیل می‌دهند که توده سنگ ساختگاه سد را پوشش داده‌اند. گروه دوم سنگ بستر ساختگاه می‌باشد که تکیه‌گاه‌های ساختگاه سد را تشکیل داده‌اند.



شکل ۱- نقشه سیمای کلی طرح نرماب

۳- زمین ساخت ساختگاه سد

توده سنگ آندزیتیک بازالت که ساختگاه اصلی محل سد را تشکیل می دهد به وسیله شبکه ای از درزها، شکاف ها و گسله های فرعی و کوچک قطع گردیده است. برای تجزیه و تحلیل آماری و به منظور بررسی آنها برای ارزیابی پایداری اقدام به اندازه گیری و برداشت سطحی در راستاهای مختلف و بررسی آنها در هر تکیه گاه گردید. ویژگی دسته درزه های هر کدام از تکیه گاه ها در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات دسته درزها در تکیه گاه چپ ساختگاه

ردیف	نوع درزه	شیب/جهت بزرگترین شیب (درجه)	فاصله تکرار دسته درزه ها (متر)	توصیف	سایر مشخصات
۱	دسته درزه J۱	۰۵۷/۸۷	۰/۵-۱/۵	فاصله تکرار کم	بازشدگی درزه ها عمدتاً بسیار کم تا کم، زبر، صاف، صفحه ای برخی دارای پرشدگی، رس، کلسیت، اکسید آهن، ندرتاً کوارتز و زئولیت، آثار خش لغزه نیز مشاهده شده است.
۲	دسته درزه J۲	۱۸۴/۳۱	۱-۲/۵	فاصله تکرار درزه ها متوسط	عمدتاً بازشدگی بسیار کم، زبر، صفحه ای، برخی دارای پرشدگی کلسیت، رس، اکسید آهن.
۳	دسته درزه J۳	۱۸۵/۸۳	۲-۴	فاصله تکرار درزه ها زیاد	بازشدگی بسیار کم، صفحه ای، صاف، زبر، رس، کلسیت، آثار اکسید آهن و منگنز در سطح درزه ها، آثار خش لغزه نیز مشاهده شده است.
۴	دسته درزه J۴	۰۸۷/۸۳	۲/۵-۵	فاصله تکرار درزه ها بسیار زیاد	بازشدگی بسیار کم، زبر، صاف، پرشدگی رس، کلسیت، اکسید آهن و منگنز بسیار کم.

جدول ۲- مشخصات دسته درزها در تکیه گاه راست ساختگاه

ردیف	نوع درزه	شیب/جهت بزرگ ترین شیب (درجه)	فاصله تکرار دسته درزه ها (متر)	توصیف	سایر مشخصات
۱	دسته درزه J۱	۱۸۴/۲۵	۰/۵-۲	فاصله تکرار متوسط	عمدتاً بازشدگی بسیار کم تا کم، زبر، صاف، صفحه ای، برخی دارای پرشدگی رس، ندرتاً کلسیت و کوارتز و زئولیت.
۲	دسته درزه J۲	۰۶۷/۸۶	۱/۵-۳	فاصله تکرار متوسط تا زیاد	بازشدگی بسیار کم، زبر، صاف، صفحه ای، پرشدگی به وسیله رس، اکسید آهن، کلسیت، آثار خش لغزه.
۳	دسته درزه J۳	۰۲۳/۶۴	۳-۴	فاصله تکرار زیاد	عمدتاً بازشدگی بسیار کم، زبر، صاف، صفحه ای، پرشدگی رس، کلسیت، ندرتاً کوارتز.
۴	دسته درزه J۴	۱۲۲/۶۸	۳/۵-۵	فاصله تکرار بسیار زیاد	بازشدگی بسیار کم، زبر، صاف، صفحه ای، رس، کلسیت، ندرتاً کوارتز و زئولیت.
۵	دسته درزه J۵	۲۲۵/۶۸	۴-۶	فاصله تکرار بسیار زیاد	بازشدگی بسیار کم، زبر، صاف، صفحه ای، رس و کلسیت.

۴- خصوصیات ژئوتکنیکی توده سنگ پی

هدف از مطالعات ژئوتکنیکی، شناخت زمین شناسی زیرسطحی و تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی برای طراحی سد و سازه های وابسته می باشد، به طوری که بتوان ارزیابی صحیحی از مشخصه های ژئوتکنیکی سنگ بستر در ساختگاه سد به دست آورد. بدین منظور یک سری بررسی های ژئوتکنیکی شامل انجام حفاری های اکتشافی، آزمایش های صحرایی درون چاهی و همچنین انجام آزمایش های آزمایشگاهی بر روی نمونه های سنگی به مرحله اجرا در آمده است.

عملیات حفاری های اکتشافی توسط دستگاه های حفاری دورانی و با استفاده از مغزه گیر دو جداره به طول حداکثر ۳ متر در هر نوبت و با قطرهای ۱۰۱، ۸۶ و ۷۶ میلیمتر و با توجه به خصوصیات آبرفت و سنگ انجام گرفته است. برای هر گمانه لوگ حفاری شامل خصوصیات ژئوتکنیکی و پارامترهای حاصل از حفاری و آزمایش درون چاهی تهیه و تنظیم گردیده است.

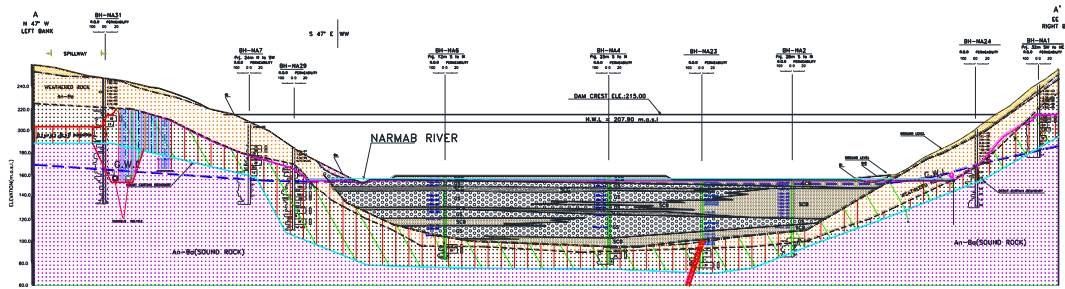
خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیکی مشتمل بر چهار مورد کلی زیر می باشد:

- الف- توصیف عمومی نهشته های آبرفتی شامل رنگ، دانه بندی، تراکم و تغییر لایه.
- ب- توصیف عمومی توده سنگ شامل جنس، رنگ، درجه فرسایش، هوازدگی، نحوه گسترش درز و شکاف ها، نوع مواد پرکننده، توصیف زون های خرد شده یا زون های گسله.
- ج- توصیف ویژگی هایی نظیر، درصد مغزه بازیافتی (C.R) و شاخص کیفی توده سنگ (RQD).
- د- توصیف خلاصه نتایج حاصل از آزمایش های نفوذپذیری (لوفران و لوژان) و آزمایش های ضربه و نفوذ استاندارد (SPT یا CPT).

مواد پوششی در محدوده محل سد شامل پادگانه های آبرفتی، واریزه های دامنه ای، خاک های برجای حاصل از فرسایش، لس و آبرفت های بستر رودخانه می باشد. بررسی های ژئوتکنیکی در مواد پوششی، عمدتاً در آبرفت های بستر رودخانه و پادگانه های آبرفتی انجام شده است. ۲۱ حلقه گمانه در مصالح مزبور برای شناخت مناطق سست احتمالی، گسترش و ضخامت آن ها حفر گردیده است. در کلیه موارد، عملیات حفاری تا رسیدن به سنگ بستر و نفوذ در آن ادامه یافته است. مصالح تشکیل دهنده نهشته های آبرفتی بستر رودخانه دارای ضخامتی حداکثر ۶۴/۵ متر متشکل از لایه های ریزدانه و درشت دانه که عمدتاً شامل رس، سیلت، ماسه، شن، قلوه سنگ و ندرتاً تخته سنگ می باشد (شکل ۲). بر اساس آزمایش های دانه بندی در نمونه های اخذ شده از مواد پوششی که از گمانه های اکتشافی به دست آمده، لایه بندی تحت الارضی پی آبرفتی سد نرماب به دو لایه ریز دانه و درشت دانه تقسیم بندی شده است.

در مواد پوششی ساختگاه سد تعداد ۱۰۵ آزمایش نفوذپذیری به روش لوفران با بار ثابت و افتان در مطالعات مرحله اول و تعداد ۲۶۲ آزمایش لوفران در مطالعات مرحله دوم جهت تعیین نفوذپذیری رسوبات آبرفتی انجام گردید. براساس این نتایج میانگین نفوذپذیری نهشته های آبرفتی 10^{-2} تا 10^{-1} سانتیمتر بر ثانیه می باشد، که بیانگر نفوذپذیری زیاد این رسوبات است. شایان ذکر است که آبرفت های بستر رودخانه را عمدتاً دو لایه متناوب ریزدانه و درشت دانه تشکیل داده اند. نفوذ پذیری در لایه های ریزدانه عمدتاً بین 10^{-5} الی 10^{-8} متغیر بوده که بیانگر نفوذپذیری بسیار کم می باشد و نفوذ پذیری در لایه های درشت دانه بین 10^{-1} الی 10^{-4} متغیر می باشند که بیانگر نفوذ پذیری زیاد آبرفت های مذکور می باشد.

نتایج آزمایش‌های نفوذ استاندارد و نفوذ مخروط انجام شده نشان می‌دهد که بافت تراکمی در پی آبرفتی سد نرماب عمدتاً در محدوده متراکم تا خیلی متراکم قرار می‌گیرد. در برخی از گمانه‌های حفر شده در مواد آبرفتی به مناطقی با بافت سست تا متوسط نیز برخورد شده است.



طرح برده آینه در محور سد در صورت برداشت سنگ هوازه در جبهه‌های ۱ و ۲ از چپ

شکل ۲- مقطع طولی از پی سد نرماب

۵- نفوذپذیری سنگ بستر

با توجه به شرایط لیتولوژیکی و نفوذپذیری سنگ بستر و با بررسی نتایج حاصله از آزمایش‌های نفوذپذیری انجام یافته به روش لوژان که در گمانه‌های اکتشافی صورت پذیرفته، عامل اصلی نفوذپذیری در تکیه‌گاه‌ها و پی محل سد، عمدتاً وجود درز، زون‌های خرد شده و موضعی توده سنگ می‌باشد.

شبکه دسته درزه‌ها، سیستم زهکشی آب‌های نفوذی در داخل توده سنگ را به عهده داشته و با بررسی‌های انجام یافته و مطالعه آماری درزه‌ها، میزان بازشدگی درزه‌ها با استفاده از نتایج آزمایش لوژان در سنگ بستر مورد بررسی قرار گرفته که این میزان به طور متوسط در حدود ۰/۰۱ میلیمتر برای لوژان‌های بین ۱ تا ۵ و برای بیش از ۵ لوژان، بزرگتر از ۱ میلیمتر برآورد گردیده است که خود این امر در کاهش نفوذپذیری با افزایش عمق در سنگ بستر پی نقش عمده‌ای داشته است. با بررسی شرایط نفوذپذیری ثانوی توده سنگ و با توجه به آزمایش‌های نفوذپذیری تحت فشار نشان می‌دهد که خصوصیات هیدرولیکی توده سنگ در زمان آبیگری مخزن در ترازهای مختلف و در حداکثر فشار هیدرواستاتیکی روی توده سنگ پی عمل خواهد نمود. خردشدگی‌های موضعی در توده سنگ عکس العمل دو گانه‌ای داشته به طوریکه در بعضی از اوقات آزمایش، موجب افزایش شدید جذب آب گردیده و در بعضی از قطعات دیگر منجر به کاهش نفوذپذیری تا حد غیر قابل نفوذ گشته‌اند ولی بخش عمده نفوذپذیری زیاد توده سنگ ناشی از خردشدگی‌های موضعی آن می‌باشد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که میزان نفوذپذیری در عین تبعیت از تراکم شکستگی‌ها و پدیده فرسایش عمدتاً تحت تأثیر لیتولوژی و خصوصیات توده سنگ می‌باشد. اطلاعات به دست آمده از گمانه‌های اکتشافی حفر شده در ساختگاه، نشان می‌دهد که نفوذپذیری در تکیه‌گاه راست در عمقی پایین‌تر از ۳۵ متری کاهش یافته و میزان آن تا حد غیر قابل نفوذ نیز می‌رسد. در بستر رودخانه حداکثر تا عمق ۶۴/۵ متر آبرفت‌های بستر رودخانه وجود دارند، که در برخورد به سنگ بستر با افزایش عمق و کیفیت ویژه توده سنگ از عمق ۵۰ الی ۶۵ متر نفوذپذیری کاهش یافته و میزان آن‌ها نیز تا

حد غیر قابل نفوذ می‌رسد. نفوذپذیری در تکیه گاه چپ در اعماق بیش از ۳۵ الی ۴۰ متر کاهش یافته و در این تکیه گاه نیز میزان نفوذپذیری در آن‌ها تا حد غیر قابل نفوذ می‌رسد.

بر اساس کل آزمایش‌های نفوذپذیری انجام گرفته در تکیه‌گاه‌ها و بستر رودخانه، سنگ‌های آندزیت بازالت در برابر آزمایش‌های فشار آب، رفتارهای متفاوتی را نشان داده‌اند. جدول شماره ۳ رفتار ناپیوستگی‌های درون توده سنگ ساختمانی در آزمایش‌های لوژان را نشان می‌دهد.

جدول ۳- رفتار ناپیوستگی‌های درون توده سنگ ساختمانی در آزمایش‌های لوژان

رفتار پوشدگی Void Filling%	رفتار آبشستگی Washout %	رفتار انبساطی Dilation Flow %	رفتار آشفته Turbulent Flow %	رفتار خطی Laminar Flow %	نامشخص	پارامتر موقعیت
-	۱	-	-	۳	۱۰	تکیه گاه چپ
-	-	-	-	۳	۳	بستر رودخانه
۴	۱	۲	۵	۱۲	۵	تکیه گاه راست
۴	۲	۲	۵	۱۸	۱۸	جمع

۶- کیفیت سنگ بستر

توصیف کیفی سنگ بستر بر اساس نتایج حفاری‌های اکتشافی در ارتباط با سیستم درز و شکاف‌ها با کاربرد شاخص کیفی توده سنگ (RQD) صورت گرفته است. شرایط کیفی توده سنگ از دیدگاه درجه سلامت، هوازدگی و کیفیت ویژه آن با توجه به گمانه‌های حفر شده و با توجه به موقعیت گمانه‌ها متفاوت بوده ولی به طور کلی توده سنگ ساختمانی به جز قسمت‌هایی که تحت تأثیر شرایط تکتونیکی منطقه و یا عوامل فرسایشی شدیداً خرد و هوازده می‌باشند (تا عمق ۳۸ متر)، در سایر بخش‌ها از شرایط بسیار خوبی برخوردار بوده و مجموعه توده سنگ یکپارچه و یکدست دارای مقاومت خوبی می‌باشد. علی‌رغم حضور ۴ دسته درزه و گسترش قابل توجه آن‌ها در محدوده ساختمانی، سنگ بکر از ضرایب مقاومتی بسیار خوبی برخوردار می‌باشد.

بررسی شاخص کیفی گمانه‌هایی که در ساختمانی سد حفر شده‌اند، نشان می‌دهد که متوسط شاخص کیفی سنگ بستر در تکیه گاه چپ در مطالعات مرحله اول حدود ۲۵٪ (سنگ با کیفیت ضعیف) و در مطالعات مرحله دوم حدود ۴۰٪ (سنگ با کیفیت ضعیف) می‌باشد. میانگین شاخص کیفی سنگ بستر در بستر رودخانه در مطالعات مرحله اول حدود ۳۲٪ (سنگ با کیفیت ضعیف) و بر اساس نتایج حفاری‌های اکتشافی میانگین شاخص کیفی سنگ بستر در مطالعات مرحله دوم حدود ۱۷٪ (سنگ با کیفیت بسیار ضعیف) می‌باشد. در تکیه گاه راست میانگین شاخص کیفی سنگ بستر در مطالعات مرحله اول حدود ۵۷٪ (سنگ با کیفیت متوسط) و در مطالعات مرحله دوم حدود ۴۴٪ (سنگ با کیفیت ضعیف) می‌باشد.

۷- هیدروژنولوزی ساختگاه و طرح آبندی سد

در محدوده ساختگاه سد، محدوده اصلی برای تجمع آب‌های زیرزمینی عمدتاً رسوبات آبرفتی رودخانه می‌باشد (تا عمق ۶۴/۵ متر). آزمایش‌های نفوذپذیری به روش لوفران با بار ثابت و افتان جهت تعیین نفوذپذیری توده خاک انجام شده است که بر اساس نتایج به دست آمده نفوذپذیری متوسط توده‌های آبرفتی $10^{-2} \times 1/11$ سانتیمتر بر ثانیه برآورد گردیده است. در عمق حدوداً ۳۰ متری و پایین‌تر از آن گمانه‌ها به لایه‌های درشت دانه برخورد کرده‌اند. در این لایه آب زیرزمینی تحت فشار وجود داشته که به هنگام برخورد گمانه به لایه مزبور، آب زیرزمینی آرتزین شده و امکان انجام آزمایش‌های نفوذپذیری لوفران در آبرفت‌های پایین‌تر از عمق ۳۴ متری وجود نداشته است. در آبرفت‌های بستر رودخانه نیز لایه‌های ریزدانه و کم نفوذپذیر وجود دارند. لایه‌های مذکور می‌توانند در آبندی آبرفت‌های بستر رودخانه کمک شایانی بکنند.

عملیات تزریق آزمایشی سیمان در ساختگاه سد نرماب همزمان با حفاری‌های اکتشافی و ژئوتکنیکی مطالعات مرحله دوم آغاز شد (گمانه‌های NAG_1 ، NAG_2 ، NAG_3 و گمانه کنترلی $NAGC_1$). برای انتخاب موقعیت تزریق آزمایشی و براساس اطلاعات موجود سعی گردید که محدوده‌ای از محور که دارای نفوذپذیری زیادی نسبت به سایر نقاط در محدوده محور سد دارد، انتخاب شود. به دلیل کیفیت نامطلوب سنگ‌های هوازده (تا عمق ۳۸ متر) و ریزش گمانه حین حفاری عملیات تزریق از پایین به بالا امکان پذیر نبوده و به روش بالا به پایین صورت گرفت. در این روش به دلیل زمان انتظار زیاد برای گیرش سیمان هر مقطع و حفاری مجدد آن جهت آماده سازی مقطع بعدی عملیات تزریق بسیار طولانی و برای زمان توقف دستگاه و اکیپ تزریق می‌بایستی هزینه زیادی پرداخت گردد. که این مستلزم صرف هزینه ای حدود دو یا سه برابر تزریق معمولی خواهد بود.

همانطوری که در جدول ۴ مشاهده می‌شود با انجام عملیات تزریق در گمانه‌های مذکور و مقایسه نسبی سنگ در آن‌ها، نشان می‌دهد که شاخص کیفی سنگ بستر (RQD) در گمانه‌ها در اثر تزریق سیمان بهبود چندانی نداشته و حتی در گمانه‌های بعدی شاخص کیفی نسبت به گمانه اولی کاهش یافته، خصوصاً در سنگ‌های هوازده (تا عمق ۳۸ متر) کیفیت سنگ اصلاً بهبود نیافته است.

جدول ۴- تغییرات شاخص کیفی سنگ بستر در گمانه‌های تزریق آزمایشی سیمان

نام گمانه	عمق نهایی گمانه (متر)	میانگین RQD	توصیف کیفیت سنگ
NAG_1	۵۶/۵	۲۶	ضعیف
NAG_2	۵۵	۲۵	ضعیف
NAG_3	۵۵	۲۳	خیلی ضعیف
$NAGC_1$	۵۵	۱۰	خیلی ضعیف

با توجه به نفوذپذیری زیاد آبرفت پی سد و همچنین نتایج تزریق پذیری توده سنگ تکیه‌گاه‌ها و هزینه و زمان زیاد لازم جهت اجرای پرده تزریق، به نظر می‌رسد دیوار آبند علاوه بر آبرفت پی برای تکیه‌گاه‌ها نیز به عنوان المان آبندی مناسب می‌تواند جایگزین پرده تزریق باشد.

۸- نتیجه گیری

بر اساس نتایج آزمایش‌های لوفران، رسوبات آبرفتی بستر رودخانه را می‌توان به دو قسمت مجزا از هم لایه‌های درشت دانه تفکیک نمود.

از نقطه نظر تراکمی، آبرفت‌های بستر رودخانه در کلاس متوسط تا خیلی متراکم قرار می‌گیرند. پی سنگ محل سد تحت تأثیر شبکه‌ای از درز و شکاف‌ها قرار دارد که به دلیل پوشش سنگ بستر توسط نهشته‌های آبرفتی امکان تشخیص گسل در ساختگاه سد امکان پذیر نمی‌باشد. عامل اصلی نفوذپذیری در تکیه‌گاه‌ها و پی محل سد، عمدتاً وجود درز، زون‌های خرد شده و موضعی توده سنگ می‌باشد. برداشت آبرفت‌های بستر رودخانه به دلیل ضخامت زیاد آن‌ها امکان پذیر نبوده و همچنین به دلیل تزریق پذیری نامناسب سنگ بستر، گزینه آبنندی اجرای دیوار آبنند در پی و همچنین به جای پرده تزریق در تکیه‌گاه‌ها می‌باشد.

۹- قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان به دلیل در اختیار گذاشتن اطلاعات کمال تشکر را داریم.

۱۰- منابع

- گزارشات مربوط به عملیات صحرایی شرکت خاک آزما (۱۳۸۱)
- گزارشات مربوط به آزمایشات آزمایشگاهی شرکت خاک آزما (۱۳۸۱)
- گزارش لرزه زمین ساخت، مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار (۱۳۸۳)
- گزارش شناخت مطالعات زمین شناسی، زمین شناسی مهندسی و لرزه خیزی، مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار (۱۳۸۵)
- گزارش زمین شناسی و ژئوتکنیک سد و تأسیسات سد مخزنی نرماب (مطالعات مرحله اول)، مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار (۱۳۸۳)
- گزارشات ژئوتکنیک مطالعات مرحله دوم مربوط به عملیات صحرایی شرکت خدمات مهندسی مکانیک خاک (SES) (۱۳۸۴)