

## بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد شورکال

غفوری، محمد<sup>۱</sup>، لشگری پور، غلامرضا<sup>۲</sup>، بابایی، منیره<sup>۳</sup>، موسوی مداح، محمد<sup>۴</sup>

۱- دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد

Babaei.monireh@gmail.com

### چکیده

سد در دست مطالعه شورکال بر روی رودخانه شورکال در پایین دست روستای عشایر نشین شورکال از توابع شهرستان درگز در شمال شرق ایران واقع است. این سد به عنوان سد خاکی با هسته رسی در محدوده بیرون زده گی رسوبات قرمز رنگ نئوژن طراحی شده است. در این مقاله به بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی از جمله پارامترهای ژئومکانیکی رسوبات آبرفتی و توده سنگ ها محور سد با استفاده از اطلاعات گمانه های جناح راست، چپ و بستر رودخانه، پرداخته ایم. میزان RQD برای سنگ های مارنی در محور سد برای جناح راست ۶۰-۷۰، جناح چپ ۷۰-۸۰ و بستر رودخانه ۶۰-۷۵ به دست آمده است. بر اساس طبقه بندی RMR، توده سنگ های محور سد در رده III قرار داشته که جزء سنگ های نسبتاً خوب قرار می گیرند. با توجه به ضخامت آبرفت و تراکم مناسب آن با توجه به مقادیر به دست آمده از آزمایش SPT و CPT و آبرفتی کم رسوبات، برای آب بندی آبرفت پی سد احداث یک دیواره آب بند سیمان بنتونیتی با عمق بیست متر و ضخامت یک متر که تا سنگ کف ادامه داشته باشد پیشنهاد می گردد. نتایج بدست آمده از آزمایش لوژن در مقاطعی از پی سنگی (گمانه های BH6 و BH7) نشان دهنده آبرفتی بالا در آن نقاط می باشد. بنابراین برای آب بندی پی سنگی ایجاد پرده تزریق در این مناطق ضروری است. کلید واژه: سد شورکال، پارامترهای ژئوتکنیکی، پارامترهای ژئومکانیکی، نفوذپذیری

## Investigation of Engineering Properties of Shurkal Dam Site

### Abstract

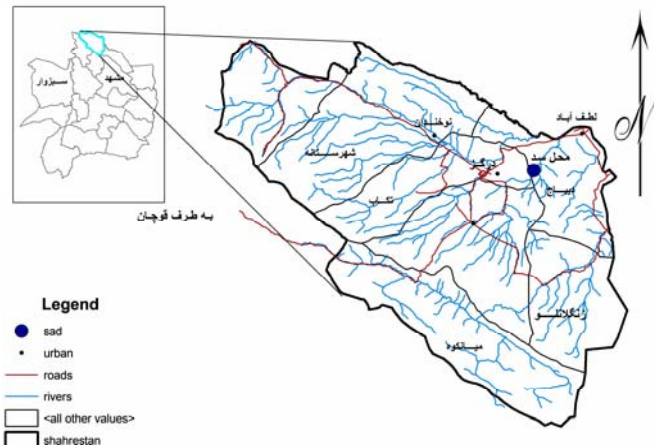
Shurkal dam is located on Shurcal river near the Shurkal village, which Dargaz city in northeast of Iran. This earthfill dam designed with clay core on the naogene red beds outcrops. This research explain geotechnical properties of shurcal dams construction area. To seal the alluvial sediment of dam foundation the bentonitic cement wall with 20 m depth and 1 m thickness was used. on riversbed along of dams axis with attention to S.P.T results. Also, geomechanical parameters of alluvial sediments and rockmasses were evaluated. The RQD of Marly rock dam vary between 60 to 80 percent. According to RMR classification the massed grouped in class III.

Key words: Shurkal Dam, Geotechnical parameters, Geomechanical parameters, permeability.

## مقدمه

سد شور کال، سدی خاکی با هسته رسی پیش بینی شده که در ده کیلومتری شرق شهر درگز با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه واقع شده است. این سد به ارتفاع ۴۴ متر، طول تاج ۴۷۹ متر و حجم مخزن ۱۶/۵ میلیون متر مکعب بر روی یکی از سر شاخه های رودخانه شورکال طراحی شده است. حوضه آبریز رودخانه شورکال، ارتفاعات کماج خور و همچنین ارتفاعات الله اکبر در جنوب و جنوب شرق سد می باشد. تغذیه این سد توسط جریان آب دائمی موجود، جریان های سیلابی و در ادامه با انحراف آب رودخانه زنگلانلو صورت می گیرد. هدف از احداث این سد ساماندهی رودخانه های مرزی و استفاده بهینه از پتانسیل آبی رودخانه شورکال و زنگلانلو در منطقه درگز و کلات است که تامین آب کشاورزی در دشت لطف آباد از اهداف این طرح است. شکل (۱) موقعیت طرح و راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

شکل (۱) موقعیت طرح و راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی



## زمین شناسی ساختگاه سد

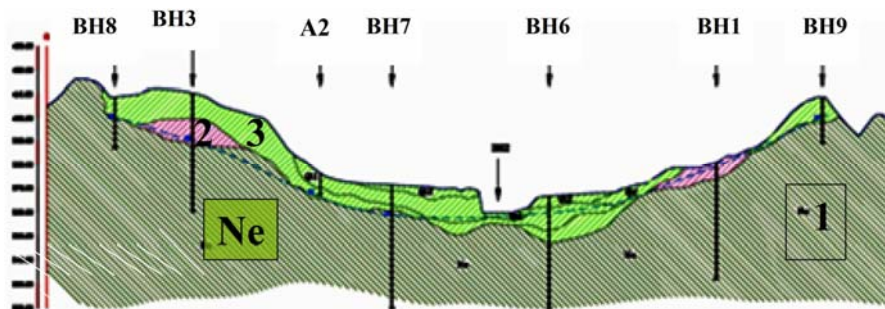
مشخصات زمین شناسی محل طرح سد نقش مهمی را در طراحی و احداث آن نسبت به سایر فاکتور های طبیعی ایفا می کند. همچنین عوامل زمین شناسی در تعیین مصالح مورد نیاز برای احداث سد نقش به سزایی دارند (Ichikava, 1999). منطقه مورد مطالعه به لحاظ ساختار زمین شناسی در محدوده گسترش زون کپه داغ - هزار مسجد قرار گرفته است، از نظر زمین شناسی این زون عمدتاً از رسوبات دریائی میوزئوسنکلینال تشکیل شده که با روند کلی شمال غربی - جنوب شرقی در شرق ایران و در حد جنوبی صفحه توران قرار دارد. این زون از جنوب به سلسله کوه های الاداغ و بینالود (البرز شرقی) از شمال به گسل عشق آباد و از شرق به گسل هریرود در منطقه سرخس محدود می شود. سازند های زمین شناسی در جنوب ناحیه، سازند تیرگان (آهک و آهک مارنی) است که از جنوب تا غرب و شمال غرب منطقه طرح را پوشش داده است. سازندهای سرچشمه و سنگانه و کلات مربوط به دوره کرتاسه نیز در منطقه حوضه آبریز درگز و دشت درونگر رخمون دارند که عمدتاً شیلی و آهکی هستند. دیگر رسوبات سنگی دوران دوم عمدتاً مربوط به سازندهای خانگیران و چهل کمان سازند های دوران سوم ناحیه نیز شامل طبقات نرم مارن و ماسه سنگ نئوژن هستند که بیشتر سازندهای نزدیک به محل طرح را تشکیل می دهند. محور و بخش اعظم مخزن سد شور کال را سازند نرم قاره ای (مارنهای نئوژن) تشکیل می دهد. در محل محوسد آبرفت ضخیم لایه ای بستر رودخانه را پوشانده که سنگ کف مارنی در زیر آن قرار دارد (افشار حرب، ۱۳۷۳).

### زمین ساخت محل سد

تکیه گاه های راست و چپ دره در محل محور سد را طبقات نرم و شکل پذیر مارنی همراه با بین لایه های نازک ماسه سنگ قرمز تشکیل می دهد. شیب و امتداد این بین لایه ها به دلیل ضخامت کم و فاصله زیاد از یکدیگر و جابه جایی هایی که در اثر وجود مارن های پلاستیک تحمل کرده اند قابل اندازه گیری نبوده و همچنین اندازه گیری شیب و امتداد درزه ها بر روی رخ نمون های سطحی مقدور نمی باشد. موازی بودن ساختارهای چینه ای با امتداد شکسته گیهای تکتونیکی، معرف وجود فشار صفحه ای پلیت توران بر بلوک ایران می باشد (افشار حرب، ۱۳۷۳). بریده گی رودخانه درونگر در محل روستای گل خندان، بریده گی رودخانه شورکال در محل های کماج خور و شورکال صداقت از این خصوصیات تاثیر گرفته اند.

### مطالعات ژئوتکنیکی در محل سد

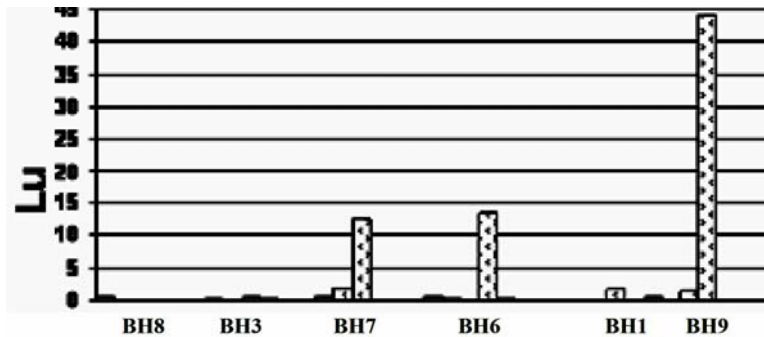
عملیات ژئوتکنیکی شامل ۹ حلقه گمانه به شماره های BH1 تا BH9 و سه حلقه چاه دستی در آبرفت رودخانه به شماره های A1, A2, A3 می باشد. در کل ۳۸۷/۵ متر حفاری صورت گرفته و حفاری ها به صورت قائم می باشند. از میان گمانه های ژئوتکنیکی، گمانه های BH1 و BH9 در جناح راست و گمانه های BH3, BH8 در جناح چپ به منظور ارزیابی خواص ژئومکانیکی لایه های سنگی تکیه گاه و شناسایی جناحین محور سد حفر شده اند. گمانه های BH6, BH7, A1, A2, A3 در امتداد محور سد در داخل رودخانه و گمانه های BH2, BH4, BH5 در امتداد مسیر رودخانه به منظور شناخت آبرفت بستر رودخانه و مواد پوششی سنگ کف در بستر رودخانه اجرا گردیده است (مهندسین مشاور آب پوی (a)، ۱۳۸۴). شکل ۲ وضعیت تراکم استاندارد را برای پی آبرفتی در محور سد نشان می دهد. جز در لایه سطحی در بستر فعلی رودخانه که از شن و ماسه های درشت اشباع شده می باشند در سایر نقاط مواد پوششی بستر رودخانه و مارن های پوششی جناحین از تراکم مناسبی برخوردار می باشند. پی آبرفتی در محل محور سد از نظر تراکم به سه زون تقسیم می شود. در زون (۱)، عدد (N) مربوط به نفوذ استاندارد بین ۴۵ تا ۷۰ می باشد که نشان دهنده تراکم مناسب رسوبات مارنی نئوژن می باشد. عدد نفوذ استاندارد زون (۲)، بین ۳۰ تا ۴۵ می باشد. همچنین عدد مربوط به زون (۳) بین ۱۰ تا ۳۰ می باشد که نشان دهنده رسوبات کواترنری می باشد که از نظر تراکم در رده پایین تری قرار می گیرند. همان طور که مشاهده می شود با توجه به سطح آب زیرزمینی رودخانه زهکش کننده می باشد.



شکل ۲) زون بندی پی آبرفتی سد از نظر تراکم استاندارد SPT , CPT

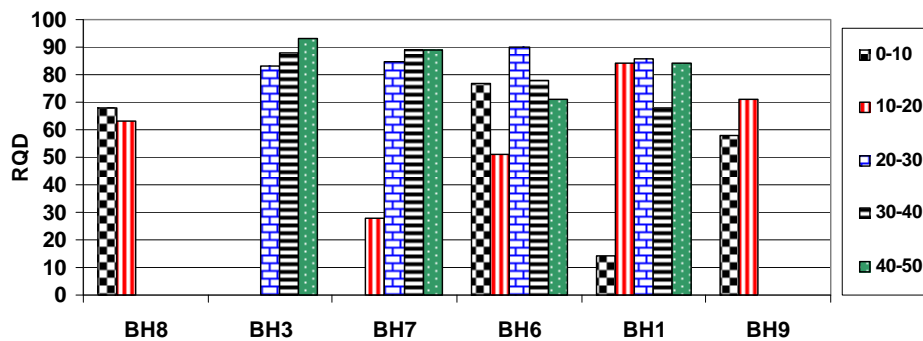
### خصوصیات ژئومکانیکی محور سد

بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج بدست از آزمایشات لوژن نشان می دهد که پی سنگی سد شور کال در محل محور انتخابی مارنی بوده و غیر قابل نفوذ در نظر گرفته می شود. همچنین برای پی بردن به وضعیت آبگذری از محل محور سد در تکیه گاه هاو بستر نتایج آزمایش لوژن به صورت نمودار در شکل (۳) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود میزان آبگذری در بستر بیشتر از جناحین می باشد و به حداکثر ۴ تا ۵ لوژن می رسد. در گمانه BH6 در عمق ۳۵ تا ۴۰ متری نحوه رفتار توده سنگ در آزمایش لوژن به صورت Turbid Flow و در گمانه BH7 در عمق ۴۰ تا ۵۰ متری به صورت Wash out می باشد (Houlsby, 1982). در جناح راست گمانه BH9 میزان آب خوری به بیش از ۴۰ واحد لوژن می رسد که نسبت به تزریق باید اقدام شود. نفوذ پذیری آبرفت های بستر رودخانه از حداکثر  $10^{-4}$  تا  $10^{-7}$  در نوسان می باشد که نشان دهنده کم بودن نفوذ پذیری است. جنس آبرفت های بستر رودخانه بیشتر از شنهای دانه ریز تا متوسط با گردشگری نسبی می باشد که قطر ذرات اهکی و ماسه سنگی این شنها حداکثر به ۵ تا ۸ میلیمتر می رسد.



شکل ۳) رابطه میان میزان آب خوری در گمانه های محور سد نسبت به عمق

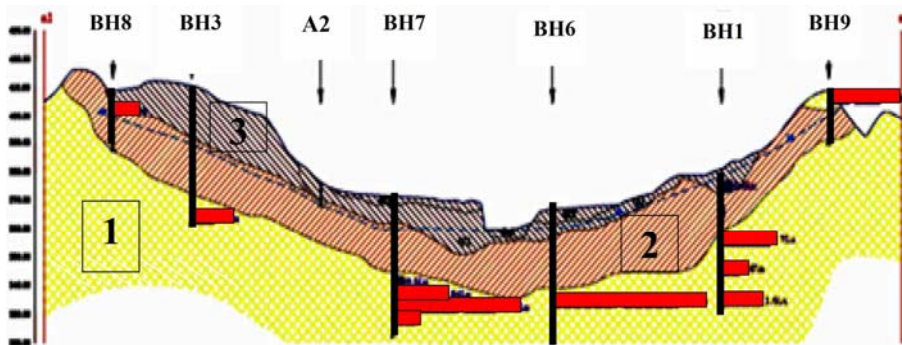
شکل ۴) رابطه میان RQD با عمق در گمانه های محور سد را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می کنیم ارتباط بسیار خوبی میان نمودار مربوط به نفوذپذیری و نمودار کیفیت توده سنگ برقرار می باشد. میزان RQD (Deere, 1986) برای سنگ های مارنی در محور سد برای جناح راست ۷۰-۶۰، جناح چپ ۸۰-۷۰ و بستر رودخانه ۷۵-۶۰ به دست آمده است.



شکل ۴) رابطه میان RQD با عمق در گمانه های محور سد

شکل (۵) زون بندی پی آبرفتی و سنگ های جناحین از نظر نفوذ پذیری در محور سد را نشان می دهد. میزان نفوذ پذیری مصالح پی آبرفتی بطور متوسط  $(10^{-5} \text{ cm/s})$  می باشد. به دلیل دانه ریز بودن مصالح آبرفتی که واجد رس و لس های بادی می باشد جریان قابل توجه آب زیرزمینی وجود ندارد. با توجه به شکل پی آبرفتی محور سد از نظر میزان نفوذ پذیری به سه دسته تقسیم می شود. منطقه (۱) با نفوذ پذیری متوسط (Lu بین ۱ تا ۲۰)، منطقه (۲) غیر قابل نفوذ (Lu بین ۰ تا ۱) و منطقه ۳ با نفوذ پذیری کم ( $10^{-4} < K < 10^{-7}$ ) می باشد. بیشترین میزان نفوذ پذیری در گمانه های BH6 و BH7 و در عمق حدود ۴۰ متری که در بستر رودخانه حفر شده اند مشاهده می شود و در جناحین رودخانه میزان نفوذ پذیری به مراتب کم تر است. بر اساس طبقه بندی RMR (Bieniawski, 1973) سنگ های پی سد شورکال در رده سنگ های III قرار گرفته اند که سنگ های نسبتا خوبی می باشند. مقدار C (چسبندگی) و Ø (زاویه اصطکاک داخلی) برای این سنگ ها با توجه به RMR به ترتیب برابر با ۲۰-۱۵۰ KPa و ۳۵ تا ۴۵ درجه برآورد شده است (مهندسین مشاور آب پوی (b) ۱۳۸۴).

شکل ۵) زون بندی پی آبرفتی و سنگ های جناحین از نظر نفوذ پذیری در محور سد



### طرح آب بندی پی سد

کنترل تراوش از بدنه سد را می توان با ایجاد هسته مرکزی رسی و ایجاد فیلتر و زه کش های مناسب انجام داد. ولی روشی که برای کنترل تراوش از پی و دیواره های جانبی مرسوم است، تزریق و ایجاد پرده آب بند می باشد (غفوری و همکاران، ۱۳۸۲). از نظر آبگذری با توجه به تراکم متوسط تا خیلی زیاد مصالح آبرفتی و وجود سنگ پی از جنس مارن در محور انتخابی، ساختگاه سد شورکال در مقابل نیروهای حاصل از نشت آب مقاومت کافی خواهد داشت. به دلیل ضخامت کم آبرفت حدود ۱۳ متر، عرض کم دره و شناخته شده بودن سنگ کف به عنوان مارن های غیر قابل نفوذ شرایط ایده الی برای آب بندی پی سد و جناحین آن موجود است. نظر به نفوذ پذیری کم آبرفت و ماسه ای-شیلی بودن آن روش تزریق آبرفت مناسب نبوده و باعث بالا رفتن هزینه طرح می شود. بهتر است یک دیواره آب بند از نوع دیواره آب بند سیمان بنتونیتی (Silury trench) احداث شود. از طرفی نتایج آزمایش لوژن در واحد سنگی پی نیز نشان دهنده توسعه کم درز و شکاف ها و جذب آب کمتر یک واحد لوژن است که بر اساس استاندارد ICOLD (۱۹۸۲) نیازی به تزریق سیمان ندارد و ادامه دیواره آب بند به مقدار کم در پی سنگی، عملیات آب بندی را کامل خواهد کرد. عمق چنین دیواره ای در سرتاسر دهانه دره حداکثر ۲۰ متر برآورد می گردد که ضخامت حداکثر یک متر برای آن در نظر گرفته می شود. راه حل دیگر برداشت رسوبات آبرفتی پی سد می باشد. در این صورت با گذاشتن هسته رسی مستقیما روی سنگ کف غیر قابل نفوذ مارنی احداث دیواره آب بند و تزریق در بخش آبرفتی منتفی می شود.

### نتیجه گیری

- \* محور و مخزن سد بر روی سازند قاره ای نتوژن شامل مارن و ماسه سنگ های دانه ریز قرمز قرار گرفته است که از تراکم خوب در اعماق و آب گذاری کمی برخوردارند.
- \* تکیه گاه ها و سنگ پی بستر از تناوب مارن و ماسه سنگ بوده. این سنگ ها در سطح زمین شدیداً هوازده می باشند اما در عمق متراکم و فاقد هوازده گی هستند. مقدار متوسط RQD از روی نمونه های سالم استخراج شده ۶۰ تا ۷۰٪ و عدد RMR این سنگ ها ۵۵ تا ۶۰ در جناحین و مرکز پی می باشد.
- \* نفوذ پذیری اندازه گیری شده برای آبرفت بستر رودخانه به طور متوسط  $K=10^{-5}$  سانتی متر در ثانیه بوده که نفوذپذیری بسیار کمی است.
- \* با توجه به نتایج آزمایشات لوژن و لوفران و تراکم مناسب آبرفت در محل محور سد برای آب بندی پی سد دو روش زیر پیشنهاد می شود:
  - ۱- به دلیل ضخامت کم آبرفت (13m)، عرض کم دره ، نوع سنگ کف ، غیر قابل نفوذ بودن و تراکم مناسب آبرفت ایجاد دیواره آب بند از نوع دیواره آب بند سیمان بنتونیتی (slurry trench) پیشنهاد می شود.
  - ۲- در جناحین و در اغلب گمانه ها به جز BH7 و BH6 نفوذ پذیری کم بوده و با توجه به استاندارد ICOLD (۱۹۸۲) نیاز به تزریق نمی باشد. نتایج بدست آمده از آزمایش لوژن در مقطعی از پی سنگی (گمانه های BH7 و BH6) نشان دهنده آبگری بالا در آن مناطق می باشد. بنابراین برای آب بندی پی سنگی انجام عملیات تزریق در این نقاط ضروری است.

### تشکر و قدر دانی

از شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی و شرکت آب پوی به دلیل در اختیار گذاشتن اطلاعات و همکاری های لازم کمال تشکر را داریم.

### منابع

- ۱- افشار حرب، ع.، ۱۳۷۳، زمین شناسی کپه داغ، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- ۲- غفوری، م.، خامه چیان، م.، آریانفر، آ.، ۱۳۸۲، "نقش عوامل زمین شناسی و ژئوتکنیکی در آب بندی پی سد سنگرد"، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران.
- ۳- مهندسین مشاور آب پوی، ۱۳۸۴، "طرح بهره برداری بهینه از منابع آب و خاک رودخانه های مرزی زنگلانلو و شورکال" مطالعات تکمیلی مرحله اول، جلد سوم، بخش دوم (a)
- ۴- مهندسین مشاور آب پوی، ۱۳۸۴، "گزارش مطالعات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح تکمیلی مرحله اول پروژه زنگلانلو-درگز(شورکال)"، مطالعات تکمیلی مرحله اول (b)

- 5- ICOLD, 1982, International Commission on Large Dams. Part a
- 6 -Houlsby, A.C., 1982, Cementgrouting for dams, Keynote paper, ASCE Symp. Grouting in Geotechnical Engineering, ed. by W.H. Baker, New Orleans.
- 7- Ichikawa, K., 1999, Geological Investigation of Dam. Proc. of 2<sup>nd</sup> Asian Symposium on Engineering Geology and the Environment. Malaysian National Group, Malaysia, 1-44, 1-57
- 8- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng. 15, 335-344.
- 9- Deere, D.U., 1968. Geological Consideration. In: Stagg, K.G., Zienkiewicz, O.C. (Eds.), Rock Mechanics in Engineering Practice. Wiley, London.