



۲ و ۳ اسفند ماه ۱۴۰۱
www.geoconf.gsi.ir

۴۱ چهل و یکمین گردهمایی (همایش ملی) علوم زمین The 41th National Geosciences Congress



بررسی توسعه کارست در ساختگاه سد ابیورد

وحید ناصری حصار^۱، حسین محمد زاده (نویسنده مسئول)^{۲،۱}، بهنام رحیمی^۱

^۱گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد

(mohammadzadeh@um.ac.ir; b-rahimi@um.ac.ir; vanahe@Gmail.com)

^۲مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی و ژئوترمال (متأب)، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی، مشهد

چکیده

امروزه بسیاری از سدها در مناطق کارستی احداث میشوند. از این رو، بررسی نقش توسعه کارست در محل احداث سدها بسیار ضروری است. به دلیل هیدروژئولوژی پیچیده کارست، آببندی سدهای ساخته شده در این نواحی معمولاً سخت‌تر، طولانی‌تر و گرانتر از دیگر جایگاههای زمین شناسی بوده و احتمال فرار آب از آنها بیشتر است. سد مخزنی ابیورد از نوع خاکی با هسته رسی در نزدیکی روستای ایلاتجق بر روی یک آبراهه طبیعی (خشک رود) به ارتفاع ۵۱ متر و حجم دریاچه ۴۳ میلیون مترمکعب احداث شده است. پس از آبرگیری موقت سد ابیورد، وجود و ظهور چشمه‌هایی در پایین دست سد با توجه به آهکی بودن سازند کلات که امکان توسعه و تشکیل کارست بر اثر خروج آب را فراهم می‌آورد که مهمترین مشکل این سد به شمار میرود. در این مقاله با انجام مطالعات زمین شناسی، زمین شناسی ساختاری و درزه نگاری و نفوذپذیری ژئوتکنیکی توسعه کارست در تکیه‌گاه ساختگاه سد مورد مطالعه قرار گرفته است. نتیجه مطالعات نشان داد که در سد ابیورد، نشت و فرار آب از سازند کلات در جناح راست و زیر بدنه سد وجود دارد اما هنوز کارست توسعه نیافته است. با توجه به محل قرارگیری مخزن سد نسبت به شیب لایه بندی سازند کلات که همسو با یال ناودیس ابیورد قرار دارد امکان توسعه کارست وجود دارد.

واژه‌های کلیدی

سدهای کارستی، سد ابیورد، کارست، زمین شناسی ساختاری، ژئوتکنیک



۱. مقدمه

از آنجائیکه سازندهای کارستی با توجه به نوع دره ها و گسترش زیاد آنها جای مناسب جهت احداث سدها می باشند و احداث سدها در این سازندها اجتناب ناپذیر است، ساخت سد باید در دره هایی اجرا گردد که دارای کمترین مشکلات مهندسی از نظر توسعه کارست و خطر فرار و نشت آب باشند، لذا مطالعات دقیق بررسی پتانسیل توسعه کارست در ساختگاه سدها ضروری می باشد. با آگیری سدها و با افزایش فشار به دلیل پر شدن مخزن سد و به دلیل نوسانات بعدی آب در مخزن، جوان سازی کارست های قدیمی با باز شدن مجراها و غارهای پر شده آغاز می شود و کارست مجدداً فعال می شود و به دنبال آن آب شستگی به دنبال فرسایش سریع می تواند نقش مخرب کلیدی ایفا کند. کارستی شدن^۱ فرآیندی پیچیده است که شامل دو فرآیند متقابل (۱) انحلال شیمیایی توده سنگ و ایجاد مجراها (۲) فروریزش یا فرسایش مکانیکی در نتیجه انرژی جنبشی آبهای زیرزمینی می باشد، به این بدین معنی است که کارستی شدن در نتیجه فرآیندهای دوگانه انحلال - خوردگی شیمیایی و فرسایش - تخریب فیزیکی صورت می گیرد [1]. اولین مراحل کارستی شدن از انحلال آهک ها در امتداد ناپیوستگی های خطی مانند مرز لایه ها و یا شکستگی های شکل می گیرد. کارست ها براساس معیارهای مختلفی توسط افراد مختلفی مانند سویچیچ^۲، سویتینگ^۳، هراک^۴، یوان^۵، جینگز^۶، فرد و ویلیامز^۷، کوینلان^۸، کاتزر^۹ و ... طبقه بندی شده اند [4].

تا کنون سدهای زیادی در نواحی کارستی کشورهای نظیر آمریکا، ترکیه، چین، کرواسی، یونان، ایران، اسلونی و یوگسلاوی ساخته شده اند که با مشکل از دست دادن آب روبرو شده اند و مطالعات زیادی در حوزه توسعه کارست و سد سازی در جهان [9, 10, 11 و 12] و ایران [5, 6, 7 و 8] انجام شده است. سد ابیورد در فاصله ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان درگز، در شمال استان خراسان رضوی (در مختصات UTM با طول جغرافیایی ۶۹۵۱۰۰ و عرض جغرافیایی ۴۱۳۵۷۶۰ در زون ۴۰) واقع شده است (شکل ۱). پس از طی ۱۷ کیلومتر از مسیر جاده درگز-کلات و عبور از چاپشلو، و پس از طی ۸ کیلومتر از دو راهی حسن آباد به سمت ایلانجق، پس از طی ۵ کیلومتر، سد ابیورد قابل دسترسی است. سد مخزنی ابیورد از نوع خاکی باهسته رسی در نزدیکی روستای ایلانجق بر روی یک آبراهه طبیعی (خشک رود) به ارتفاع ۵۱ متر و حجم دریاچه ۴۳ میلیون مترمکعب احداث شده است. بخشی از آب تنظیم شده از مخزن سد توسط یک خط انتقال به طول ۱۲/۶ کیلومتر جهت تامین آب شرب و همچنین آبیاری اراضی جنوب شرق شهر درگز اختصاص یافته است [2]. پروژه سد ابیورد شامل سد مخزنی خاکی، سد انحرافی بر روی رودخانه زنگلانلو، تونل و کانال هدایت آب اسپین با هدف انتقال آب از رودخانه زنگلانلو به پشت سد مخزنی، شبکه آبیاری به وسعت هزار و ۷۷۰ هکتار و یک خط انتقال آب شرب به شهر درگز است. در این مقاله، با توجه به عدم آگیری دائمی سد ابیورد و عدم امکان مطالعات بر اساس چشمه های پابین دست، با مطالعات سازندهای زمین شناسی، مطالعات ساختاری، درزه نگاری و بررسی نفوذپذیری لوژن در گمانه های اکتشافی ژئوتکنیکی مسیر احتمالی نشت آب و پتانسیل توسعه کارست در جناح راست مخزن سد و تکیه گاه زیر بدنه سد ابیورد شناسایی شده است.

¹Karstification

²Cvijić,

³Sweeting

⁴Herak

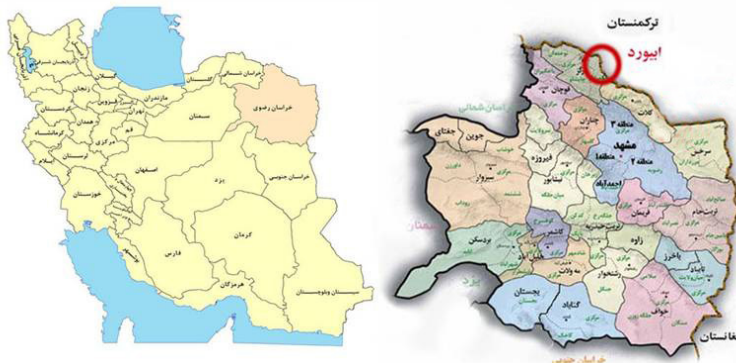
⁵Yuan

⁶Jennings

⁷Ford and Williams

⁸Quinlan

⁹Katzer



شکل ۱. موقعیت سد ابیپورد در ایران و در خراسان رضوی

۲. روش پژوهش

به منظور مطالعه توسعه کارست در محل سد ابیپورد، با استفاده از نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه سد ابیپورد در محدوده نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درگز (با اندیس ۷۸۶۴) و عکس های هوایی سه بعدی گوگل ارث و همچنین چهار مرحله بازدید و پیمایش های صحرایی از محل سد، چینه شناسی، سنگ شناسی، زمین شناسی ساختاری و درزه نگاری و پدیده های کارستی منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

جهت مطالعات زمین شناسی ساختاری و درزه نگاری ابتدا مرز مناطق مورد مطالعه برای درزه نگاری مشخص، و سپس موقعیت ایستگاه های اندازه گیری بر روی عکس های هوایی، با توجه به موقعیت نسبت به سد و نوع لیتولوژی، تعیین گردید. در بازدید و پیمایش صحرایی از منطقه مورد مطالعه، موقعیت دقیق ایستگاه ها با توجه به اینکه رخنمون خوبی داشته باشد انتخاب و موقعیت ایستگاه های برداشت درزه ها توسط GPS تعیین گردید. برداشت درزه ها در ۷ ایستگاه (شکل ۲)، در یک فاصله ۲۰ تا ۳۰ متری تا تعداد ۴۰ تا ۵۰ برداشت، به روش پیمایش - فهرست نویسی انجام گردید. پس از برداشت درزه ها برای هر ایستگاه رزیدیاگرام و استریونت درزه های منطقه با استفاده از نرم افزار dips ترسیم گردید. همچنین با ترسیم تمامی درزه ها، دسته درزه های غالب منطقه بر روی استریونت ترسیم و جهت امتداد و شیب آن بدست آمد. پس از آن با مقایسه دسته درزه های غالب منطقه با امتداد سد ابیپورد و مقایسه با استریونت های درزه هر ایستگاه امکان نفوذ آب از مخزن سد بررسی گردید. همچنین با استفاده از پیمایش صحرایی برداشت ساختارها، نقشه های زمین شناسی و عکس های هوایی گوگل ارث، نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

با بررسی رفتار توده های سنگی تکیه گاهها در مقابل آزمایش نفوذپذیری ژئوتکنیک و تحلیل رفتار هیدرولیکی در انتقال و کمک به جریان آب، توسعه کارست بررسی گردید. بدین منظور ابتدا نتایج تست لوژن در هر ۱۵ متر از سطح تراز حفاری گمانه ها را بدست آورده، سپس پروفیل های طولی در جهت موازات محور سد بر روی گمانه های مختلف را ترسیم نموده و مقدار نفوذپذیری لوژن هر گمانه را در ترازهای مختلف وارد می کنیم (شکل ۸، چپ) و برای پروفیل تغییرات لوژن در گمانه های اکتشافی را رسم می کنیم که با توجه به آنها بهترین مسیر جریان را از تکیه گاه ها بدست آوردیم. همچنین با بررسی نمودارهای دی-زمان در آزمایشهای لوژن گمانه ها، رفتار توده سنگی در مقابل فشار آب و نوع جریان مشخص گردید [4].

در این مقاله از نرم افزارهای ArcGIS 9.2 برای ترسیم نقشه زمین شناسی و ژئو فرس کردن نقشه ها و، از Excel برای ترسیم جداول و دیاگرام های داده ها، از Google Earth برای بدست آوردن و تفسیر ساختارهای زمین شناسی در عکسهای هوایی، از Dips برای ترسیم رزیدیاگرام و استریونت دیاگرام، از Global Mapper برای تهیه نقشه های توپوگرافی و ترسیم حوضه های آبریز، و از Auto CAD برای ترسیم پروفیل ها و مدل های مفهومی استفاده گردید. در نهایت با تحلیل نتایج بدست آمده از زمین شناسی، مطالعه تعداد دسته درزه ها، امتداد و جهت آنها نسب به محور سد، تعیین خواص ناپیوستگی ها، بررسی رفتار توده های سنگی تکیه



گاهها در مقابل آزمایش نفوذپذیری ژئوتکنیک و تحلیل رفتار هیدرولیکی در انتقال و کمک به جریان آب، توسعه کارست بررسی گردید.

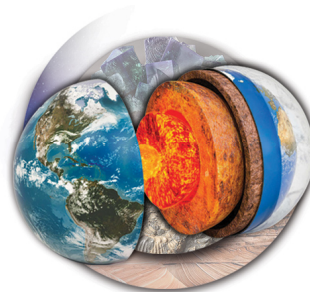
۳. هیدرولوژی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

حوزه سد ابیورد بخشی از حوزه قره قوم و در مختصات جغرافیای $58^{\circ}32'$ تا $59^{\circ}25'$ طول شرقی و $36^{\circ}55'$ الی $37^{\circ}45'$ عرض شمالی واقع شده است. میزان رواناب ورودی به سد ابیورد از دو بخش آب ورودی از مسیر تونل انحرافی زنگلانلو و حوزه آبریز خود سد ابیورد می باشد. مساحت حوزه بند انحرافی زنگلانلو 820 کیلومتر مربع، حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب 2980 و 920 (با ارتفاع متوسط 2003) متر از سطح دریا می باشد. بارندگی متوسط حوزه زنگلانلو بطور متوسط در هر سال 360 میلی متر و درجه حرارت متوسط سالیانه آن $8/1$ درجه سانتیگراد می باشد. میزان سیلاب حداکثر با دوره بازگشت 50 سال $82/6$ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است. مقدار رواناب متوسط سالانه این حوزه برابر با $34/08$ میلیون متر مکعب برآورد شده است. مساحت حوزه سد ابیورد 50 کیلومتر مربع، حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب 1140 و 580 (با ارتفاع متوسط 729) متر از سطح دریا می باشد. بارندگی متوسط حوزه ابیورد بطور متوسط در هر سال 232 میلی متر و درجه حرارت متوسط سالیانه آن $15/5$ درجه سانتیگراد می باشد. میزان سیلاب حداکثر با دوره بازگشت 50 سال، $2/5$ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است. مقدار رواناب متوسط سالانه این حوزه برابر با $1/2$ میلیون متر مکعب برآورد شده است. در محل سد ابیورد مقدار ورودی رواناب متوسط سالانه به سد برابر با $35/28$ میلیون متر مکعب، میزان تبخیر از سطح آزاد آب سد ابیورد، 1507 میلیمتر در سال و مقدار تبخیر از تشت، 2027 میلیمتر در سال برآورد شده است [2]. در زمان رسوب گذاری کپه داغ، شرایط دریایی زمان تورونین با تغییرات اندک تا زمان ماستریشتین ادامه یافته و در طی آن سازندهای آب دراز، آب تلخ، نیزار و کلات نهشته شدند (شکل ۲).

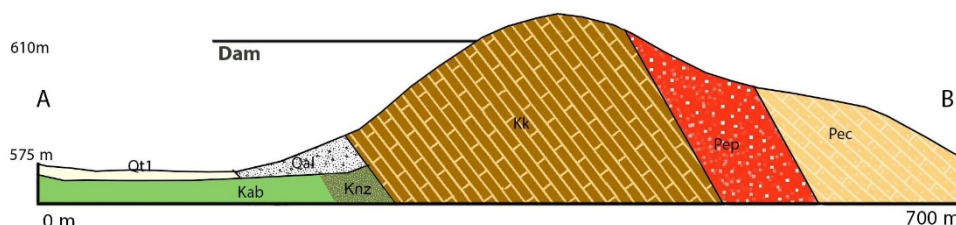
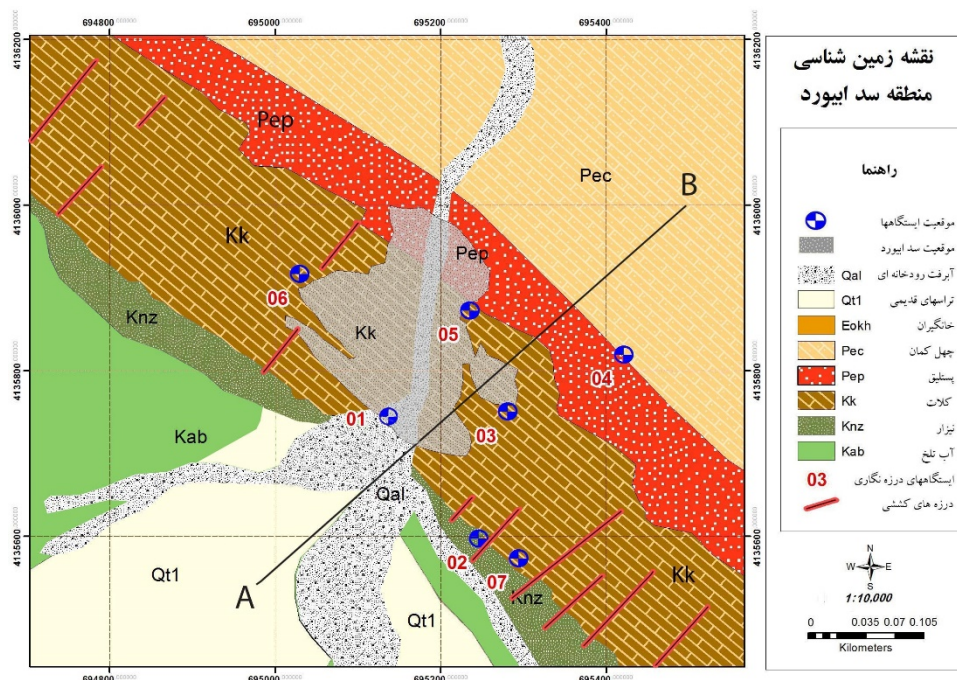
در آغاز ترشیری حرکات زمین ساختی هم ارز لارامین سبب پسروی دریا از جنوب به شمال شده به گونه ای که توالی های آغازی ترشیری از نوع نهشته های قاره ای (سازند پسته لیق) است که از فرسایش سایر سازندهای کپه داغ حاصل شده اند [3]. همانطور که در پروفیل AB آمده است، سازندهای آب تلخ، نیزار، کلات، پسته لیق، چهل کمان، آبرفت های قدیمی Qt1 و آبرفت رودخانه ای Qal هر یک با خصوصیات چینه سنگی متفاوت، رخنمون یافته اند (شکل ۲).

گسلهای منطقه ابیورد به دو گروه عمده تقسیم می شوند: گروه اول گسل های راندگی با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی و شیب حدود 30 تا 40 درجه به سمت شمال شرقی که این گسلها هم زمان با چین خوردگی لایه ها و در نتیجه لغزش طبقات در مکانیزم لغزش خمشی بوجود آمده اند، و گروه دوم گسل های راستالغز با دو امتداد کلی شمال شرقی - جنوب غربی و شمال غربی - جنوب شرقی و شیب نزدیک به قائم می باشد که بیشتر آنها موجب جابجایی چپ بر و راست بر طبقات چین خورده و گسلهای راندگی شده اند. بنابراین نسبت به گسلهای گروه اول جوانتر هستند. اما دسته دیگر از درزه ها و شکستگی های منطقه از نوع درزه های کششی عمود با محور چین خوردگی هستند که درزه ها و شکستگی های یال جنوبی ناودیس ابیورد در تکیه گاههای چپ و راست سد ابیورد از این نوع درزه ها هستند (شکل ۲). جهت مطالعات درزه نگاری در ۷ ایستگاه در نقاط مختلف مطابق با شکل ۲ درزه ها و شکستگی ها برداشت گردید و بازشدگی درزه ها در هر ایستگاه برداشت و میانگین آن در شکل ۳ آمده است، همچنین استریونت کلی درزه های برداشت شده و استریونت هر ایستگاه در شکل ۴ ارایه شده است.

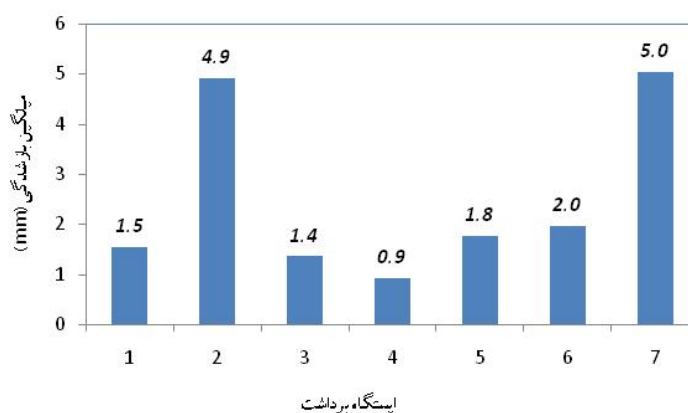
پس از ترسیم امتداد محور سد ابیورد با موقعیت EYAS، همراه با چهار دسته درزه های غالب منطقه بر روی یک نمودار استریونت (شکل ۴) می توان گفت که شیب دسته درزه های J1 و J4 در تقاطع با محور سد و به طرف خارج مخزن و به سمت پایین دست سد است و مستعد فرار آب می باشد. شیب دسته درزه های J2 نیز به طرف خلاف جهت مخزن است و در مرتبه بعدی خروج آب قرار می گیرد. شیب J3 به طرف مخزن است و خروج آب از درزه ها را نخواهیم داشت. بررسی رزدیگرام ها و استریونت های درزه های برداشت شده در هر ایستگاه به طور مجزا نشان می دهد که امتداد درزه ها با روند کلی ساختارهای تکتونیکی منطقه موازی می باشد، اما در دو ایستگاه ۲ و ۵ دسته درزه های عمود بر روند اصلی منطقه دیده می شود. میزان باز شدگی درزه ها در ایستگاههای ۲ و ۷ که در جناح راست قرار دارند بیشتر از ایستگاههای دیگر است و انتظار می رود توسعه کارست از این جناح بیشتر انجام شود.



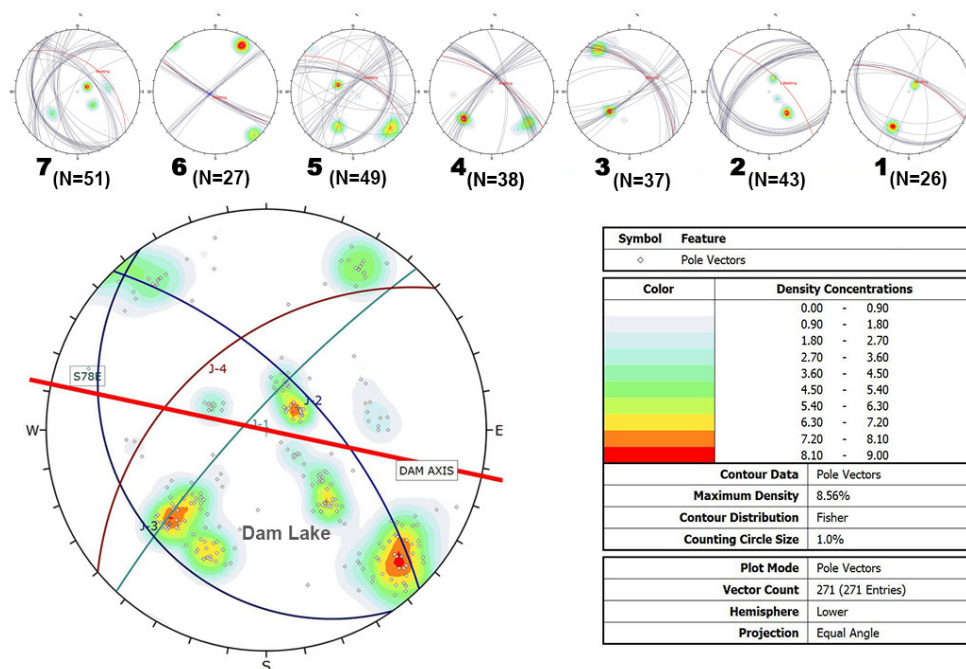
میزان باز شدگی درزه ها در ایستگاههای ۲ و ۷ که در جناح راست قرار دارند بیشتر از ایستگاههای دیگر است و انتظار می رود توسعه کارست از این جناح بیشتر انجام شود (شکل ۴).



شکل ۲. نقشه زمین شناسی تهیه شده، پروفیل زمین شناسی در راستای AB و موقعیت ایستگاههای برداشت درزه در سد ایبورد.



شکل ۳. بازشدگی درزه ها در ایستگاههای برداشت شده سد ایبورد



شکل ۴. استریونت درزه های برداشت شده از منطقه ابیورد به همراه تعداد برداشت درزه ها و رزدياگرام هر ایستگاه

دسته درزه های J1 و J4 از نوع کششی و عمود بر محور چین ها هستند و چون عمود بر تکیه گاههای سد هستند می توانند سبب خروج آب از مخزن به خارج شوند، لذا انتظار می رود در این درزه ها توسعه کارست بیشتر انجام گیرد. درزه های J2 از نوع درزه های کششی موازی با محور چین خوردگی است و چون شیبی خلاف مخزن سد دارند می تواند سبب خروج آب و توسعه کارست گردد. با توجه به دسته های درزه در هر کدام از ایستگاه ها، درزه های ایستگاههای ۷، ۲، ۴ و کمتر ۶ با این سری دسته ها موازی هستند و امکان توسعه کارست در این قسمت ها بیشتر خواهد بود. همانطور که اشاره شد درزه های کششی بر روی یال جنوبی ناودیس ابیورد (سازند کلات) که ناشی از حرکات تکتونیکی فشارشی هستند، در تکیه گاه راست بالادست مخزن سد ابیورد دیده می شود (شکل ۵) که در امتداد این درزه های کششی انحلال و ریزش نیز دیده می شود.



شکل ۵. درزه ها و شکستگی های جناح راست بالادست سد ابیورد (جهت دید به سمت شمال)



پس از ترسیم پروفیل‌های تغییرات لوژن در گمانه‌های اکتشافی، بهترین مسیر جریان را در تکیه گاه راست، پس از آن در تکیه گاه سنگی بستر رودخانه پیش بینی می‌شود، اما در تکیه گاه چپ جریان کمتری را قابل پیش بینی است. همچنین با بررسی نمودارهای دبی-زمان در آزمایشهای لوژن گمانه‌ها (جدول ۳) مشاهده می‌شود که در تکیه گاه راست جریان‌های آشفته و خطی و پس از آن در بستر رودخانه جریان خطی و مقدار کمتری آشفته‌گی جریان را داریم و در تکیه گاه راست جریان بیشتر خطی و با افزایش فشار بازشدگی و آب شستگی را داریم (جدول ۳).

جدول ۳. رفتار توده سنگی در مقابل فشار آب در آزمایشات لوژن در سد ابیورد

موقعیت	شکل هندسی جریان (درصد)				
	خطی	آشفته	بازشدگی	آب شستگی	پرسدگی
تکیه گاه راست	۳۷/۵	۳۷/۵	۲۵	---	---
بستر	۳۱/۴	۲۴/۶	۲۱/۳	۱۲/۵۶	۹/۸
تکیه گاه چپ	۳۰	---	۵۰	۲۰	---

۷- نتیجه گیری

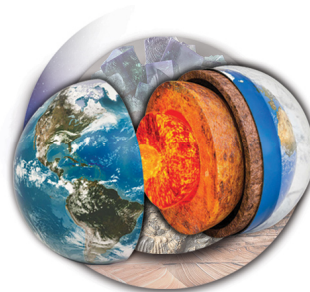
بر اساس نتایج حاصل از عکسهای هوایی و سنجش از دور، برداشتهای صحرایی، مطالعات درزه نگاری با همسو بودن جهت شیب دو دسته درزه تکیه گاهها به سمت مخزن و تفسیر نفوذپذیری گمانه‌های ژئوتکنیک (نفوذپذیری لوژن) که حاکی از نفوذپذیری در تکیه گاههای سمت راست و بستر سنگی سد می‌باشد، و همچنین با توجه به مطالعات زمین شناسی و قرارگیری سد ابیورد بر روی یال جنوبی ناودیس ابیورد و بررسی شیب لایه بندی سازند کلات به سمت پایین دست می‌توان انتظار داشت که با آبیگری سد و افزایش ارتفاع و فشار آب بخش زیادی از آب مخزن می‌تواند از درزه‌های لایه بندی سازند کلات و درزه‌های کششی که ناشی از چین خوردگی‌های مربوط به ناودیس ابیورد نشأت کند و این جریان باعث انحلال سازند آهکی کلات در مسیر این درزه‌ها و به دنبال آن توسعه کارست خواهد شد.

تقدیر و تشکر

از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، بخاطر فراهم آوردن شرایط انجام پیمایش و عملیات صحرایی، و از شرکت آب منطقه ای استان خراسان رضوی، بخاطر در اختیار گذاردن اطلاعات طرح (در راستای قرارداد شماره KOGW99004-4) سپاسگزاری میگردد.

منابع

- [1] سعدالله ولایتی، ۱۳۸۷. هیدروژئولوژی سازندهای نرم و سخت (مبانی نظری و عملی)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- [2] شرکت مهندسين مشاور آب پوی، ۱۳۸۴. گزارش سیمای طرح مطالعات بند انحرافی و سد ابیورد.
- [3] امیرکریمیان طرقله، سید رضا موصوی حرمی و اسدالله محبوبی، ۱۳۸۸. چینه نگاری سکانشی و تفسیر تاریخچه دیاژنزی سازندهای کلات و پسته لیک در تاق‌دیس شمس در ناحیه درگز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [4] Milanovic, P., 2018. Engineering karstology of dams and reservoirs. CRC press.
- [5] Mozafari, M., Raeisi, E., 2017. Leakage paths at the Lar Dam site, northern Iran. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology.
- [6] Mozafari, M., Raeisi, E., 2014. Understanding Karst Leakage at the Kowsar Dam, Iran, by Hydro geological Analysis. Environmental و Engineering Geoscience, Vol. XXI, No.4.
- [7] Adinehvand, R., 2017. Application of Hydrogeology, Modeling and Dye Tracing in Evaluation of Leakage Potential from Karstic Dam Sites Case Study: Abolabbas Dam, Southwest of Iran. School of Science Ph.D. Dissertation in Geology- Hydrogeology.
- [8] Ghobadi, M., Khanlari, G., Dilalay, H., 2005. Seepage problems in the right abutment of the Shahid Abbaspour. Engineering Geology 82, 119-126.



- [9] Unal, B., Eren, M., Yalcin, M., 2007. Investigation of leakage at Ataturk dam and hydroelectric powerplant by means of hydrometric Measurements. Engineering Geology 93-45-63.
- [10] Turkmen et al, S. ,2002. Seepage problems in the karstic limestone foundation of the Kalecik Dam (south Turkey). Engineering Geology 63, 247– 257.
- [11] Laksiri, L., 2007. Investigation of water leakage mechanism in the karstic site Samanalawewa dam, Serilanka. department of engineering systems and technology. requirement for the degree of doctor of philosophy.
- [12] Hocini, N., Mami, N., 2011. Detection of water leakage in the Beni-Haroun dam (Algeria). IAEA, Pub1580_vol2_web.
- [13] Abdelouaheb, T., Boualem, R., 2018. The Problem of Water Leakage in BeniHaroun Reservoir (Algeria), Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 12, No. 3.