

## تحلیل خواص توده های سنگی ساختگاه سد کارواندر خاش از لحاظ امکان فرار آب و وجود کارست

جعفر رهنما راد<sup>۱\*</sup>، سیدمحمد هاشمی شهری<sup>۲</sup>، احسان قصری<sup>۳</sup>

۱- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

۲- کارشناس آزمایشگاه مکانیک خاک استان سیستان و بلوچستان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه آزاد واحد زاهدان

jrahnama@appliedgeology.ir

### چکیده

ساختگاه سد مخزنی کارواندر در ۷۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان خاش در استان سیستان و بلوچستان و بروی رودخانه کارواندر و میان دره ای تنگ و نامتقارن در زون فلیش شرق ایران قرار دارد. این مجموعه فلیشی شامل ماسه سنگ، شیل، سنگ آهک به سن انوسن و سنگهای اسلیت و فیلیت می باشد. گمانه های اکتشافی به حفرات و مجاری کارستی برخورد نکرده اند ولی با وجود لایه های آهکی در بیش از ۹۰ درصد گمانه ها و همچنین مشاهدات سطحی از جمله درزه و شکاف، ترکها، شکستگی و خردشدگی در لایه های ماسه سنگی دیواره چپ و آهکهای دیواره راست، به نظر میرسد که ساختگاه سد کارواندر دارای پتانسیل کارستی پنهان باشد. درزه های دیواره راست فاقد پرشدگی لازم و غیر آب بند محسوب میشوند و بعلت وجود اختلاف در مقاومت سنگ پی و شکسته شدن آن در برخی از بخشهای عمیق، مقدار نفوذپذیری در عمق افزایش می یابد. همچنین محاسبه پیش بینی بزرگی زمین لرزه با روشهای مختلف، ۶/۳ ریشتر تعیین گردیده است که میتوان از آن بعنوان پتانسیل خطر در هنگام وقوع نام برد. هدف از این تحقیق، بررسی امکان فرار آب و احتمال وجود کارست در ساختگاه سد کارواندر می باشد.

**کلمات کلیدی:** کارست، سد کارواندر، زون فلیشی شرق ایران، سد مخزنی، سد بتنی-غلتکی آرسی سی.

### ۱- مقدمه

رودخانه کارواندر با طول ۳۲ کیلومتر و با شیب متوسط ۳ درصد در جهت شمال غرب به جنوب شرق جریان دارد. مساحت حوضه کارواندر حدود ۱۷۶۴/۸ کیلومتر مربع و دارای ارتفاع متوسط ۱۴۱۲ متر از سطح تراز دریاست، متوسط دمای حوضه ۱۹/۵ درجه سانتیگراد و متوسط باران سالانه آن ۱۷۰ میلیمتر است، ( آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۸). مطالعات مرحله اول احداث سد مخزنی کارواندر، در سال ۱۳۸۶ توسط شرکت سهامی آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان آغاز گردید. این مرحله با انجام مجموعه ای از عملیات اکتشافی شامل حفاری های ژئوتکنیک، آزمون های بر جا و آزمایشگاهی در ساختگاه سد و سازه های جنبی، تعیین نوع و محل ساختگاه سد آغاز گردید. بر اساس مطالعات (مهندسین مشاور آساران، ۱۳۸۸)، سد مخزنی کارواندر قرار است از نوع بتنی غلتکی آرسی سی (RCC, Roller Compacted Concrete) احداث گردد. با توجه به اینکه قسمت اعظم سازه های سد کارواندر را بتن متراکم تشکیل می دهد، باید تمهیدات ویژه جهت جلوگیری از ترک خوردگی آن به علت تغییرات دمایی ( کمیته بین المللی سدهای بزرگ ایران، ۱۳۸۶) و همچنین جلوگیری از واکنش های شیمیایی بتن با آب، با هدف پیشگیری فرار آب از بدنه بتنی سد در نظر گرفته شود. بدنه سد، بر روی تکیه گاه و پی سنگی مناسب احداث خواهد شد، (شرکت سهامی آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۸).

این مقاله به بررسی ویژگی های زمین شناسی مهندسی و داده های ژئوتکنیک سنگ پی در ساختگاه پرداخته است. همچنین، زمین شناسی گستره طرح، تعیین نوع سد، نتایج گمانه های اکتشافی، احتمال وجود کارست، بررسی امکان فرار آب و تعیین دوره بازگشت زمین لرزه مورد بررسی قرار می گیرد. در بررسی ۱۲ گمانه اکتشافی ساختگاه سد کارواندر مغزه های حفاری کامل به دست آمد. در بیش از ۹۰ درصد گمانه ها لایه آهک وجود دارد. در بررسی های صحرایی از دامنه های اطراف مخزن سد، درز و شکاف و خرد شدگی فراوان در دیواره ها مشاهده گردید. احتمال وجود کارست در زیر بدنه سد زیاد دور از واقعیت نمی باشد. در بررسی نفوذپذیری مقادیر لوژان بیش از ۳۰ واحد به دست آمد که بیانگر استعداد تزریق شوندگی سنگ پی و احتمال فرار آب می باشد. محاسبه پیش بینی بزرگی زمین لرزه در شعاع ۱۰۰ کیلومتری ساختگاه با طول عمر مفید ۱۰۰ ساله سد با استفاده از روش گوتبرگ - ریشتر، ۶ ریشتر، روش برازش مقادیر نهایی ۶/۲ ریشتر و روش کیجکو - سله ول ۶/۶ ریشتر تعیین گردید. در پای دامنه های سنگی و پرتگاه های آهکی مشرف به ساختگاه سد، واریزه هایی وجود دارد که نشان دهنده وجود پتانسیل ناپایداری می باشند.

## ۲- زمین شناسی ساختگاه سد کارواندر

سنگ های اصلی در ساختگاه سد کارواندر همانطور که در شکل ۱ میتوان مشاهده کرد، به شرح ذیل می باشند: فلیش های دگرگون شده: عمده ترین واحد زمین شناختی درگیر با ساختگاه سد کارواندر و مخزن آن، فلیش ائوسن می باشد. لیتولوژی غالب این سازند در محدوده مورد مطالعه ساختگاه شامل شیل خاکستری متمایل به سبز و قرمز ارغوانی، ماسه سنگ قهوه ای و خاکستری تیره و قهوه ای روشن است. رگه های متشکل از کربنات که در حواشی آنها تجمعی از بلورهای رشد یافته کوارتز دیده می شود (درویش زاده، ۱۳۸۳).

ماسه سنگ ها: یکی از اجزای اصلی و فراوان موجود در مجموعه های فلیشی به شمار می روند (موسوی حرمی، ۱۳۸۶) که شامل ماسه سنگ های آهکی، آرکوز، گری واک و ساب گری واک می باشند (Pettijohn et al., 1975).



شکل ۱- زمین شناسی ساختگاه سد کارواندر (هاشمی شهری، ۱۳۸۹)

### ۳- اهداف طرح

در برخی از سدها پس از آبیگری مخزن، فرار آب روی می دهد. این مساله بیانگر عدم مطالعات کافی و عدم شناسایی صحیح مناطق مستعد فرار آب در محدوده ساختگاه بوده است. در این قبیل برنامه های پیش بینی نشده ای توسط کارشناسان با هدف آب بند نمودن سد مطرح و به مرحله اجرا گذارده می شود. انجام این مراحل، هزینه های زیادی را تحمیل می نماید، (هاشمی شهری، ۱۳۸۸). با خودکفایی تکنولوژی سد سازی در کشور و در دست داشتن ابزارهای شناسایی دقیق و اهمیت مطالعات فاز اول، بهره برداری از سدها با پدیده فرار آب منطقی به نظر نمی رسد، (هاشمی شهری، ۱۳۸۸). از این رو در این تحقیق سعی گردید با بررسی تحلیلی مطالعات فاز اول سد مخزنی کارواندر، مناطق خطر ساز شناسایی شوند تا از اتلاف زمان، سرمایه و منابع ملی جلوگیری گردد.

فرضیات مهم موضوع تحقیق در قالب شکستگی، خردشدگی، نفوذپذیری و امکان فرار آب و احتمال وجود کارست قابل طرح می باشند. در ذیل این موارد به طور خلاصه بیان گردیده است.

- سنگ پی در جناحین سد کارواندر، شکستگی و خرد شدگی فراوان دارد.
- میزان نفوذپذیری در جناح چپ بیشتر از جناح راست است.
- دامنه های شیب دار محدوده ساختگاه سد کارواندر پتانسیل لغزشی دارند.

نتایج آزمایشات مهندسی مشاور (گمانه های اکتشافی، لفران و لوژان) مورد بررسی قرار گرفت. با ورود داده های بدست آمده صحرائی به نرم افزارهای تخصصی Work Rock, Rock pack, Auto cad به این نتیجه رسیده شد که مخزن سد کارواندر پس از آبیگری مستعد آبگذری است. این مساله باعث به ثمر نرسیدن اهداف ساخت این سد در آینده خواهد گردید. همچنین طرح هایی با هزینه بالا با هدف کنترل فرار آب طراحی خواهد شد. این تحقیق ضمن شناسایی مناطق بحرانی، مقدمات مطالعات دقیق تر در مراحل بعدی و در حین ساخت را با هدف آب بند نمودن سد فراهم می سازد.

### ۴- هیدروژئولوژی ساختگاه سد کارواندر

پی ساختگاه سد کارواندر از دو بخش رسوبات منفصل خاکی و نهشته های سنگی تشکیل شده است رسوبات منفصل آبرفت رودخانه ای دارای نفوذ پذیری زیاد بوده و ضخامت آن صفر تا حداکثر ۴ متر و متوسط ساختگاهی ۱/۶۷ متر باشد گسترش عرضی آن در بستر آبرفتی محور ۲۰ تا ۳۰ متر است این بخش که به راحتی آب را می تواند از خود عبور دهد در طرح نهایی سازه سد برداشته و میزان نفوذپذیری این قسمت از پی حائز اهمیت نمی باشد (مهندسی مشاور آساران، ۱۳۸۸). بخش های پادگانه ای بر پایه نتایج آزمون های لفران نفوذپذیری کمتری دارند آزمون لفران (Lefrance) یکی از آزمون های برجا می باشد که در خاک و رسوبات منفصل برای به دست آوردن میزان نافوذ پذیری آن به کار می رود (Das, 1984). تراوایی نهشته های واریزه ای نیز از آبرفت رودخانه ای کمتر و رسوبات ریز دانه موجود در مواد دامنه ای این پارامتر را کاهش داده است بین پی خاکی و پی سنگ در محل سد، یک زون تغییر شکل از سنگ به خاک وجود دارد که مرز بین آنها واضح نمی باشد در نتیجه بر روی سنگ پی سالم در عمق های مختلفی از ساختگاه ضخامتی از سنگ هوازده و بر روی آن نیز یک قشر به شدت هوازده سنگی است. که در حال تبدیل شدن به خاک می باشد. بیشترین نفوذ پذیری در آزمون های لفران جدول ۱ در عمق ۳-۲ متری گمانه k2 در بخش واریزه ای دیواره چپ و در دامنه شیب دار با میزان  $10^{-2} \times 4/61$  متر بر ثانیه است کمترین نفوذپذیری حاصله در عمق ۳-۲ متری گمانه U3 در دیواره راست فرازبند در داخل دامنه شیب دار دیواره راست با مقدار  $10^{-5} \times 2/77$  متر ثانیه به دست

جدول ۱- نتایج آزمون های تراوایی یا لفران در مواد روبار ساختمانی سد کارواندر (آب منطقه ای استان س و ب، ۱۳۸۸)

گمانه	عمق		نفوذ پذیری (متر بر ثانیه)		نفوذ پذیری پیشنهادی
	تا	از	تا	از	
k1	۳	۲	۳-۲/۴۳ × ۱۰	۵-۵/۵۹ × ۱۰	۳-۳/۴۳ × ۱۰
k2	۳	۲	۲-۴/۶۱ × ۱۰	-	۲-۴/۶۱ × ۱۰
	۶	۵	۳-۷/۰۷ × ۱۰	۶-۸/۷۰ × ۱۰	۳-۷/۰۷ × ۱۰
k3	۴	۳	۴-۱/۳۰ × ۱۰	۵-۳/۲۴ × ۱۰	۴-۱/۳۰ × ۱۰
U3	۳	۲	۵-۲/۷۷ × ۱۰	۶-۲/۴۴ × ۱۰	۵-۲/۷۷ × ۱۰
S1	۳	۲	۳-۳/۱۱ × ۱۰	۴-۷/۲۱ × ۱۰	۳-۳/۱۱ × ۱۰
	۶	۵	۳-۴/۰۷ × ۱۰	۶-۳/۳۳ × ۱۰	۳-۴/۰۷ × ۱۰
T1	۳	۲	۳-۴/۲۸ × ۱۰	۵-۸/۷۳ × ۱۰	۳-۴/۲۸ × ۱۰
	۶	۵	۳-۶/۴۱ × ۱۰	۴-۳/۸۲ × ۱۰	۳-۶/۴۱ × ۱۰

آمده است در بخش سنگی آزمون های نفوذپذیری لوژان انجام شده نشان داده اند که دیواره چپ و راست و بستر آب بند نبوده و تا عمق مشخصی دارای آب گذری می باشند. این عمق بر پایه نتایج آزمون ها و نیز شاخص کیفی سنگ در دیواره چپ و بیش از ۴۰ متر، در دیواره راست و بستر حداکثر ۳۰ متر است. در ارزیابی اندازه گیری آب زیر زمینی در داخل گمانه ها، هر دو دیواره در ساختمانی سد کارواندر دارای شیب هیدرولیکی آب زیر زمینی به سمت پایین دست می باشند. رودخانه کارواندر زهکش کننده آب های زیر زمینی این محدوده است. اندازه گیری آب زیر زمینی پس از انجام حفاری و در حین انجام آن انجام شده است. بر این اساس اندازه گیری های دی ماه با اندازه گیری های ۹ ماه بعد تفاوت داشته و بالاتر رفته است. شیب هیدرولیکی آب زیر زمینی در دیواره چپ ۳/۵۰ درصد و در دیواره راست برابر با ۲۳/۱۱ درصد به دست آمده است. چنانچه ملاحظه می شود، شیب هیدرولیکی دیواره چپ سد اگر چه دارای جهت شیب به سوی محور مرکزی رودخانه می باشد، لکن اختلاف بین دو دیواره، نمایانگر یک زون شکسته در عمق و یا یک توده نفوذپذیر در نزدیکی دیواره چپ است. لذا وجود رخنمون های سنگ آهکی با احتمال وجود کارست پنهان و گسله های فرعی به هم پیوسته که ممکن است آب مخزن را با ایجاد ارتباط هیدرولیکی به خارج از آن منتقل نمایند. باید در مطالعات اکتشافی مرحله دوم در دیواره چپ محور سد و مخزن به دقت بررسی گردد. همچنین، طرح مناسبی برای آب بندی دیواره چپ ارائه شود. ضمناً شایان ذکر است که اندازه گیری سطوح آب زیر زمینی گمانه ها در دو فصل زمستان و ابتدای پاییز انجام پذیرفته است.

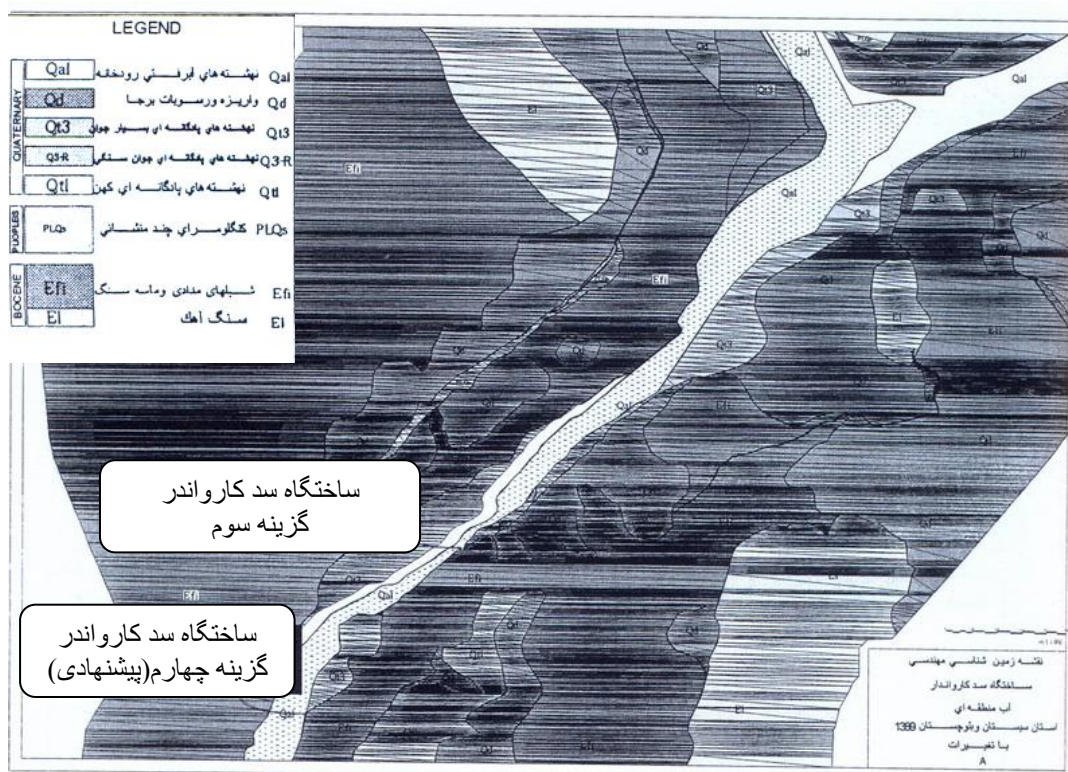
#### ۵- سد بتنی-غلتکی کارواندر

نحوه انتخاب محل پی برای سدهای بتنی - غلتکی همانند سدهای بتنی- وزنی متداول است. اما چون هزینه بتن غلتکی کمتر از بتن حجیم می باشد، آزادی عمل بیشتری در محل انتخابی برای این گونه از سدها وجود دارد (کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، ۱۳۸۶). پی های سنگی سالم مناسب ترین نوع برای سدهای بتنی در نظر گرفته می شوند. زیرا ظرفیت تحمل و درجه مقاومت بالایی در مقابل نشست و فرسایش دارند. وجود گسل و درزه ها الزاماً محل را برای در نظر گرفتن سد بتنی - غلتکی ناممکن ساخته ولی هزینه اصلاح و ایمنی آن افزایش می یابد. در برنامه مطالعاتی، پنج ویژگی از سنگ پی بایستی تعیین شوند که ۱-

مقاومت فشاری ۲- مقاومت برشی ۳- مدول تغییر شکل ۴- ضریب پو آسون ۵- نفوذپذیری می باشند. در آغاز مطالعات سد بتنی - غلتکی کارواندر با انجام بازدیدهای صحرایی، بررسی نقشه های توپوگرافی و ژئومورفولوژی منطقه، نوع و محل سد مشخص گردید. سپس همانطور که در شکل ۲ مشاهده میشود، با توجه به شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیک، سه گزینه از محل تلاقی رودخانه مرتناک به سمت پایین دست در نظر گرفته شد که از بالا دست به سمت پایین دست، تحت عنوان گزینه های اول، دوم و سوم نام گذاری شده است. برای مطالعه درزه های موجود در ساختگاه سد کارواندر در مجموع تعداد ۲۶۱ درزه در دیواره های سد، برداشت شد. در محل سد بخشی از رخنمون های موجود توسط نهشته های واریزه ای که بر روی دامنه های شیب دار قرار دارند پوشیده شده اند. لذا کوشش گردید درزه های نزدیک به ساختگاه که تغییری در ساختمان زمین شناسی آن ها ایجاد نشده برداشت گردد. به منظور شناخت ویژگی های زمین شناختی زیر سطحی و تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی رسوبات کواترنر و توده سنگ پی در مرحله اول مطالعات، تعداد ۱۲ گمانه اکتشافی به روش روتاری و با مغزه گیری با مجموع عمق ۳۹۰/۲۰ متر و به طور متوسط هر گمانه ۳۲/۵۲ متر در محدوده ساختگاه و سازه های جنبی حفاری گردیده است. به نظر می رسد با وجود لایه های گسترده آهک و آهک شیلی در دیواره ها و مخزن سد امکان ارتباط هیدرولیکی آبه پایین دست مخزن و اطراف آن باشد که باید با تمهیدات لازم نسبت به آب بند نمودن آن اقدام گردد. با نگاهی دقیق تر ذکر این نکته ضروری است که نسبت به عمق در بعضی اعماق کیفیت سنگ، کاهش می یابد. علت این امر وجود زون های شکسته و نیز نتیجه عملکرد گسل های کوچک محلی است که جریان های هیدرولیکی را در زیر زمین ایجاد کرده و باعث آلتراسیون شدید سنگ های اطراف گردیده است. در مجموع در ارزیابی بین دو دیواره بر روی محور سد گمانه های دیواره چپ، نسبت به دیواره راست شاخص کیفی کم تر و توده سنگ در آنها شکسته و خرد شده تر می باشد. در ارزیابی فرار آب پی سنگ سد کارواندر، نفوذپذیری ۳۰ و بیش از ۳۰ واحد لوژان، معادل لوژان ۳۰ در نظر گرفته شده تا از خطاهای مربوط به اعداد فوق العاده زیاد در بررسی آماری پرهیز گردد. در این تحلیل همان گونه که در شرایط مربوط به شکستگی ها که در RQD سنگ خود را نشان داده بود ملاحظه شد، در فرار آب پی نیز این شکستگی ها نقش قابل توجهی داشتند. البته روند فرار آب و تغییرات شاخص کیفی در سنگ پی خیلی مشخص (Sharp) و ناگهانی نیست. در واقع با زون های خیلی آب گذر یا خیلی کم کیفیت مواجه نیست. رفتار توده های سنگی در برابر تزریق آب تحت فشار در آزمون لوژان در هر پله از فشار، متفاوت است. این تغییر رفتار نشانه هایی را برای ارزیابی سنگ و رفتار هیدرولیکی آن در اختیار می گذارد.

براین اساس، رفتارهای نامناسب در ساختگاه سد کارواندر بیشتر است. بیشترین مقدار مربوط به رفتار آشفته است که برابر با ۴۵/۶ درصد بوده است. به نظر می رسد این رفتار بایستی در گمانه های اکتشافی مطالعات مرحله دوم این سد مورد بررسی بیشتر قرار گرفته تا بتوان روش تزریق مناسبی را طراحی نمود. به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی توده سنگ و نیز طبقه بندی آنها، آزمون های آزمایشگاهی تعیین دانسیته خشک و اشباع، تخلخل، جذب آب، تعیین مقاومت فشاری تک محوری و تعیین مدول الاستیسیته، سرعت امواج طولی و عرضی، تعیین مقاومت فشاری سه محوری انجام پذیرفته است. بر اساس مغزه هایی که مقاومت فشاری تک محوری روی آنها انجام شده، مقاومت فشاری حداقل ۱۶ و حداکثر ۳۳ و با میانگین ۲۵ مگاپاسگال برای طراحی سد، پیشنهاد شده است. مقاومت فشاری توده سنگ را با نتایج آزمون های مقاومت فشاری سه محوری که تعداد آنها کم هم بوده است، حداقل ۶۰ و حداکثر ۱۰۰ با میانگین ۸۰ مگاپاسگال می توان در نظر گرفت. دیواره های فلیش دگرگون شده ائوسن در محدوده ساختگاه مستعد لغزش هستند. دیگر ناپایداری، وجود پرتگاه های آهکی در دیواره چپ سد است که باعث

ریزش واریزه ها روی دامنه های مشرف به ساختگاه و بستر رودخانه گردیده است . با توجه به نتایج حفاری در گمانه های اکتشافی و نتایج آزمون های تراوایی در سنگ ، پی سد کارواندر از شرایط تزریق پذیری خوبی برخوردار می باشد .



شکل ۲- نقشه زمین شناسی ساختگاه سد کارواندر و محل گزینه چهارم - پیشنهادی (آب منطقه ای استان س و ب، ۱۳۸۹)

در دیواره چپ در گمانه kl نمودار تراوایی در جهت عمق کاهش نشان می دهد و آنومالی قابل توجهی دیده نمی شود . زمین لرزه های تاریخی در ۱۵۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه جمع آوری و ارائه گردیده است . اما این مطلب نمی تواند کاملاً سیمای واقعی زمین لرزه های تاریخی منطقه را نشان دهد و ممکن است حرکاتی در منطقه رخ داده که متاسفانه ثبت نشده است (کنگی و همکاران، ۱۳۸۸) .

## ۶- نتایج

با بررسی سیستم درزه و نمودارهای استریوگرافیک ، روند شکستگی ها ، شمالی - جنوبی و شمال غربی - جنوب شرقی می باشند . با انجام بازدیدهای صحرایی و بررسی نقشه های توپوگرافی ، یک گزینه پیشنهادی بعد از محل تلافی رودخانه مرتناک و کارواندر منظور گردید . این گزینه پایین دست گزینه سوم ( فعلی ) قرار دارد و با هدف افزایش حجم مخزن ، کاهش میزان تبخیر و تولید انرژی الکتریکی تحت عنوان گزینه چهارم نام گذاری شد . بعد از مطالعه گزارشات موجود ، بررسی های صحرایی و بررسی دلایل انتخاب محل احداث سد ، که محل ساخت سد هم اکنون تصویب شده می باشد و در برنامه احداث قرار دارد، در این پژوهش به این نتیجه رسیده شد که به جای محل گزینه تصویب شده ( گزینه سوم ) ، محل دیگر برای احداث سد مناسب

تر می باشد. محل پیشنهادی که در این پژوهش، گزینه چهارم نامیده شده است، بعد از محل تلاقی رودخانه مرتناک و کارواندر و پایین دست گزینه سوم قرار دارد. مزایای گزینه چهارم نسبت به دیگر گزینه ها، امکان ذخیره آب در حجم بیشتر، به علت گودی بیشتر، تبخیر کمتر و همچنین به علت داشتن شیب توپوگرافی و در نتیجه شیب هیدرولیکی بیشتر، امکان تولید انرژی الکتریکی می باشد. پس از برداشت مواد روباره و هوازده، بدنه سد بر روی تکیه گاه ها و فونداسیون سنگی نسبتاً مناسبی احداث گردد. درزه های دیواره چپ و راست سد پر شدگی ندارند. این امر موجب ارتباط هیدرولیکی با پایین دست مخزن خواهد شد. رسوبات منفصل مانند آبرفت رودخانه ای تراوایی زیادی دارند و ضخامت آن به طور متوسط  $1/67$  متر و حداکثر  $4$  متر در ساختگاه می باشد. این لایه آبرفتی باید قبل از شروع به ساخت بدنه سد، برداشته شود. از نتایج آزمون های تراوایی لوژان می توان نتیجه گرفت که دیواره چپ، راست و بستر، هیچ یک آب بند نیستند و دارای آب گذاری می باشند. این عمق در دیواره چپ بیش از  $40$  متر، در دیواره راست و بستر بیش از  $30$  متر می باشد. در ارزیابی اندازه گیری آب زیر زمینی در داخل گمانه ها، هر دو دیواره ساختگاه دارای شیب هیدرولیکی آب زیر زمینی به سمت پایین دست می باشند. رودخانه کارواندر زهکش کننده آب های زیرزمینی این محدوده است. شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی در دیواره چپ  $3/50$  درصد و در دیواره راست برابر با  $23/11$  درصد بوده است. علت اختلاف بین دو دیواره وجود یک زون شکسته در عمق یا یک توده نفوذپذیر در نزدیکی دیواره چپ است. وجود رخنمون های سنگ آهک، احتمال وجود کارست پنهان و گسل های فرعی مرتبط احتمال فرار آب مخزن را ممکن می سازد. بر پایه نتایج آزمایشگاهی دانسیته خشک سنگ پی حداقل  $2/7$  و دانسیته اشباع آن حداقل برابر  $2/8$  گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. هم چنین وضعیت تخلخل و جذب آب این سنگ در آزمایشگاه کمتر از  $1$  بوده است. به طوری که بیشترین تخلخل به دست آمده آن  $2/53$  درصد، میانگین آن  $1/36$  درصد و کم ترین تخلخل نیز  $0/51$  درصد می باشد. نتایج آزمون های جذب آب نیز بین حداقل  $0/18$  و حداکثر  $0/94$  درصد و میانگین آن  $0/5$  درصد حاصل شده است. مقاومت فشاری تک محوری بین حداقل  $16$  و حداکثر  $33$  و با میانگین  $25$  مگاپاسگال، گزارش شده است. باید مقاومت فشاری توده سنگ را با نگاه به نتایج آزمون های مقاومت فشاری سه محوری، حداقل  $60$  و حداکثر  $100$  با میانگین  $80$  مگاپاسگال در نظر گرفت. بر اساس طبقه بندی مهندسی سنگ (RSR, Rock Structure Rating) امتیاز ساختاری سنگ برابر  $47$ ، در طبقه بندی (RMR, Rock Mass Rating) امتیاز توده سنگ برابر  $62$  و کلاس سنگ خوب و در طبقه بندی سیستمی Q امتیاز  $6$  حاصل شده است. سنگ پی ساختگاه کارواندر سنگی با مقاومت متوسط مایل به خوب می باشد. بر اساس بازدیدهای صحرایی و برداشت سیستم درزه، فلیش دگرگون شده ائوسن در محل ساختگاه لغزش سنگی خاصی را نشان نمی دهد. تنها ناپایداری مستعد وجود پرتگاههای آهکی به ویژه در دیواره چپ سد است که موجب ریزش مقدار زیادی واریزه بر روی دامنه های مشرف به ساختگاه و بستر رودخانه گردیده است. بر اساس سیستم درزه و شیب تند اغلب آن ها، تزریق سنگ پی ساختگاه با گمانه های قائم امکان پذیر می باشد. در مراحل ساخت سد بایستی گمانه های اکتشافی بیشتری را به منظور بررسی دقیق، تزریق و طراحی پرده آب بند حفاری نمود. فاصله دقیق بین گمانه ها، جهت تزریق تحکیمی در تزریقات آزمایشی طی مراحل ساخت سد مشخص گردد. با آب گیری مخزن، احتمال فرار آب از سنگ آهک ائوسن با درزه های باز وجود دارد. توده های پادگانه ای می توانند در شرایط خاص بر روی مواد فلیشی لغزش داشته باشند. این مواد پس از آب گیری مخزن و تخلیه آن، در نقاطی که جهت شیب به سوی رودخانه و بستر آن است حرکت می نمایند. مناطق مستعد لغزش را با گابیون بندی می توان مقاوم ساخت. محاسبه پیش بینی بزرگی زمین لرزه در شعاع  $100$  کیلومتری ساختگاه با طول عمر مفید  $100$  ساله سد با استفاده از روش گوتنبرگ

– ریشتر ۶، ریشتر ۶ برآزش مقادیر نهایی ۶/۲ ریشتر و روش کیجکو – سله ول ۶/۶ ریشتر تعیین گردید. گسل سراوان، دامان، بم پشت و بیرگ تا شعاع ۳۰ کیلومتری ساختگاه قرار دارند (آقابات، ۱۳۸۵). این گسل ها در هنگام وقوع زمین لرزه با بزرگی ۶ ریشتر، به عنوان سرچشمه فعال و موثر بر ساختگاه سد کارواندر تاثیر گذار هستند. همچنین پیشنهاد میشود که حفاری های تکمیلی به منظور تدقیق اطلاعات سنگ بستر و تهیه نقشه و پروفیل های دقیق تر از شرایط ژئوتکنیکی سنگ کف انجام پذیرد. همچنین، انجام مطالعات ژئوفیزیکی در ساختگاه و بخشی از مخزن سد، به منظور شناخت دقیق تر زون های خرد شده؛ انجام حفاری های اکتشافی در بخش های آهکی؛ انجام عملیات آزمایشی تزریق سیمان بر روی محور و دیواره های سد، به منظور طراحی دقیق پرده آب بند و تعیین پارامترهای تزریق؛ بررسی دقیق و کارشناسانه دلایل ارائه شده برای احداث سد در محل پیشنهادی جدید (گزینه چهارم) با هدف افزایش حجم مخزن و کاهش میزان تبخیر؛ با توجه به وجود شرایط ژئومورفولوژیکی و شیب مناسب منطقه، بهتر است در طراحی این گونه سدها در استان علاوه بر هدف ذخیره آب، تولید انرژی الکتریکی نیز مد نظر قرار داده شود.

## منابع

- آقابات، ع.، ۱۳۸۵، "زمین شناسی ایران"، سازمان شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص، پودینه، م.، ۱۳۷۸، "ژئومورفولوژی حوضه آبریز رودخانه کارواندر"، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیا: ۳۳-۴۵.
- پور کرمانی، م. و آریین، م.، ۱۳۸۵، "زمین شناسی ساختمانی کاربردی"، انتشارات یکان، ۲۹۶ ص.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۸۳، "زمین شناسی ایران"، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۴۳۴ ص.
- کنگی، ع.، و رهنما، ج.، و سعادت خواه، ن.، و روحانی، ع.، ۱۳۸۸، "ناپایداری دامنه های رودخانه رجدون تحت تاثیر بارگذاری لرزه ای (شمال گناوه)"، گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود و زاهدان، ۱۸ ص.
- کمپته ملی سدهای بزرگ ایران، ۱۳۸۶، "سدهای بتنی - غلتکی"، انتشارات وزارت نیرو، نشریه شماره ۱۴، ۲۸۳ ص.
- موسوی حرمی، ر.، ۱۳۸۶، "رسوب شناسی"، انتشارات به نشر، استان قدس رضوی، ۴۷۴ ص.
- مهندسین مشاور آبساران، ۱۳۸۸، "مطالعات مرحله اول سد مخزنی کارواندر"، آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان، ۳۵۷ ص.
- مهندسین مشاور آبساران، ۱۳۸۹، "سیمای طرح سد مخزنی کارواندر"، آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان، ۹۱۷ ص.
- هاشمی شهری، س. م.، ۱۳۸۹، "بررسی تحلیلی خواص توده های سنگی ساختگاه سد کارواندر از لحاظ امکان فرار آب و وجود کارست"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، گروه زمین شناسی، ۱۳۲ ص.

Das, B. M., 1984, "Principles of Foundation Engineering", Pub. Company, Boston, 992P.

Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R., 1975, "Sand and Sandstone", Springer-Verlag, New York, 617P.