

علل وقوع گسیختگی در شیروانی سنگی سمت راست سد تنگ دوک

مهدی عطار، کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان*
سروش فخرایی نژاد، کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان**
* صندوق پستی: ۹۸۵-۷۱۹۵۵ تلفن: ۰۶۳۶۳۱۰۵-۰۷۱۱ پست الکترونیک: mehdiattar@ymail.com
**صندوق پستی: ۷۸۱۸۷-۷۱۵۶۸ تلفن: ۰۷۱۱-۷۲۶۲۱۳۵ پست الکترونیک: soroush566f@yahoo.com

چکیده:

چون مسئله تأمین آب شرب و صنعتی بندر بوشهر و سایر شهرهای نوار ساحلی، از اهمیت بسزایی برخوردار بوده، بمنظور تأمین آب مورد نیاز، از اواخر دهه پنجاه، مطالعاتی جهت احداث سدی مخزنی بر روی رودخانه های منطقه انجام گرفت. سد کوثر، در ۴۲ کیلومتری شهرستان بهبهان، در استان خوزستان بر روی رودخانه خیر آباد واقع شده است. شاخه اصلی رودخانه خیرآباد، از کوههای زاگرس سرچشمه گرفته و این رودخانه، پس از پیوستن به رودخانه زهره در استان خوزستان در جنوب غربی ایران، به خلیج فارس می ریزد به دلیل وقوع برخی ریزش ها از تکیه گاه سمت راست، و احتمال وجود خطر برای سازه های جنبی واقع شده در این تکیه گاه، پایداری این شیروانی با مدل کردن آن در سه محیط پیوسته به روش RMR ، درزه دار و E معادل، مورد بررسی واقع شده و نتایج حاصله مورد ارزیابی قرار گرفت.

کلید واژه ها: شیروانی سنگی، نرم افزار $FLAC$

مقدمه:

از اواخر دهه پنجاه هجری شمسی، دولت وقت، دستوراتی مبنی بر انجام پاره ای مطالعات زمین شناختی جهت احداث چند سد در استان محروم خوزستان و حل مسئله تأمین آب آشامیدنی، صنعتی و کشاورزی شهرهای مختلف این استان، بندر بوشهر و نیز برخی شهرهای نوار ساحلی جنوب کشور ابلاغ نمود. بعد از پیروزی انقلاب اسلامی و از اوایل دهه ۶۰، مطالعات دقیق زمین شناختی و طراحی و ساخت سدی مخزنی با نام کوثر در دستور کار قرار گرفت و در سال ۱۳۸۲، این سد به بهره برداری رسید. اما به دلیل وقوع برخی ریزش ها از تکیه گاه سمت راست، در این مقاله، پایداری این شیروانی با مدل کردن آن در سه محیط پیوسته به روش RMR ، درزه دار و E معادل، مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- پارامترهای مورد نیاز جهت مدلسازی به صورت محیط پیوسته از روش *RMR*

در این روش، بخشهایی از رخنمون توده سنگ که معرف تعداد دسته درزه‌ها و ناپیوستگیها در توده باشند، انتخاب و مطابق آنها، اقدام به طبقه بندی توده سنگ می گردد. برای مدلسازی شیروانی جناح راست سد کوثر، ابتدا می‌بایستی پارامترهای مختلف توده سنگ و ناپیوستگیها با استفاده از تعاریف و دسته بندیهای متداول مکانیک سنگ و با رجوع به نتایج مطالعات زمین شناختی مشاورین، تعیین می‌گردید:

جدول ۱: پارامترهای مورد نیاز برای مدلسازی شیروانی سنگی سد کوثر با فرض محیط معادل پیوسته

دانسیته $\rho (\frac{kg}{m^3})$	زاویه اصطکاک Φ (Degree)	چسبندگی C (Mpa)	مدول بالک K_e (Mpa)	مدول برشی G_e (Mpa)	UCS (Mpa)
۲۴۰۸	۳۵	۰/۱۵	۴۲۰۶	۲۵۲۴	۲۵/۱

۲- پارامترهای مورد نیاز جهت مدلسازی شیروانی سنگی سد کوثر به صورت محیط درزه دار

در این روش، به جای استناد به روش *RMR* که همانطور که پیش تر نیز ذکر آن رفت، بیشتر بر پایه مشاهدات شخصی فرد جستجوگر دارد تا وضعیت دقیق لایه های زیرین زمین، از پارامترهای ژئوتکنیکی بدست آمده از مدل نهایی منطبق بر محدوده ریزش های مکرر رخ داده، سود جسته شد.

جدول ۲: پارامترهای ژئومکانیکی شیروانی سنگی سمت راست سد کوثر به صورت محیط درزه دار

جنس مصالح	دانسیته $\rho (\frac{kg}{m^3})$	ضریب چسبندگی $c (\frac{kg}{m^3})$	زاویه اصطکاک (Degree)
سنگ آهک	۲۷۰۰	۱/۴	۳۰
سنگ آهک مارنی	۲۴۰۰	۱/۱	۳۵
لایه های سنگ آهک خرد شده	۲۰۰۰	۲	۳۰
مارن	۲۳۰۰	۰/۳	۴۰

۳- پارامترهای مورد نیاز جهت مدلسازی شیروانی سمت راست سد کوثر با استفاده از روش *E* معادل

به صورت یک قاعده کلی، در این روش، یک مدول الاستیسیته کلی با استفاده از روش *RMR* بدست آمده و کل شیروانی به صورت یک توده واحد با مدول الاستیسیته حاصله، مورد آنالیز قرار می گیرد. به عبارت دیگر، در این روش یک لایه معادل و همگن، به جای چند لایه موجود، در نظر گرفته می شود. اما در این تحقیق با توجه به در دسترس بودن تمامی مشخصات توده سنگ معادل حاصل از بررسیهای واقعیت توده سنگ اطراف سد از اطلاعات دقیق مشاور جهت آنالیز شیروانی مورد نظر به روش *E* معادل سود جسته شد. مزیت عمده این محیط، کاهش بسیار زیاد زمان محاسبات در نرم افزار های مورد استفاده می باشد :

جدول ۳: پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ معادل، حاصله از تحقیقات زمین‌شناختی مشور

بار مجاز $q_{all} \left(\frac{kg}{m^2} \right)$	ضریب پواسون ν	مدول الاستیسیته		چسبندگی $c \left(\frac{kg}{m^2} \right)$	زاویه اصطکاک داخلی ϕ (Degree)
		اشباع	خشک		
۷۰-۱۲۰	۰/۲۵	$۲/۲ \times ۱۰^۵$	$۲/۴ \times ۱۰^۵$	۱/۵-۲	۳۵-۴۰

۴- بررسی تفاوت روشهای E معادل، درزه دار و پیوسته مورد استفاده در این تحقیق جهت تحلیل شیروانی

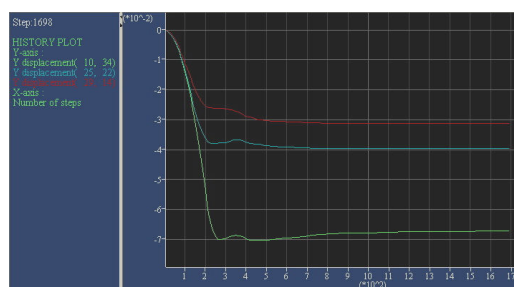
در روش E معادل، اساس کار بدین گونه است که با فرض همگن بودن توده سنگ، یک مدول الاستیسیته کلی، یک دانسیته ثابت، یک ضریب پواسون، یک ضریب چسبندگی و یک زاویه اصطکاک داخلی برای آنالیز شیروانی مورد نظر اختیار می‌گردد که در این تحقیق، تمامی پارامترهای لازم فوق‌الذکر، بدور از هر گونه حدس و گمان و با استفاده از اطلاعات زمین‌شناختی حاصل از در نظر گیری توده معادل توسط مشاور، بکار گرفته شد. در محیط پیوسته از روش RMR، ابتدا وضعیت تمامی لایه بندی‌ها و نا پیوستگی‌ها، در نظر گرفته شده و پس از محاسبه پارامترهای RMR ، Q ، RQD ، با استفاده از جداول امتیاز دهی مربوطه، با در نظر گیری مشخصات درزه‌ها، یک E معادل، یک مدول برشی و یک مدول بالک حاصل گردیده و پارامترهای لازم جهت آنالیز توده سنگ از این روش آماده پردازش می‌گردد. در حالی که دانسیته هر لایه با لایه قبل، با توجه به مصالح تشکیل دهنده متفاوت می‌باشد. در روش سوم، یعنی روش درزه، موقعیت تمامی لایه‌ها و نا پیوستگی‌ها با توجه به نقشه‌های برش تهیه شده توسط مشاورین، به شیروانی تخصیص داده شده و مدل آماده آنالیز می‌گردد. این در حالی است که مدول الاستیسیته، دانسیته، زاویه اصطکاک و ضریب چسبندگی در لایه‌ها و نا پیوستگی‌های مختلف متفاوت می‌باشد. لازم به توضیح است که جهت پایدارسازی تکیه‌گاه سمت راست سد مخزنی کوثر، طرح پایدارسازی شامل استفاده از بت در تقویت مناطق ناپایدار، با فواصل کار گذاری ۷۰ سانتی متر و مش بندی مورد استفاده قرار گرفت

۵- مقایسه و کنترل نتایج حاصل از آنالیز در حالت‌های مختلف

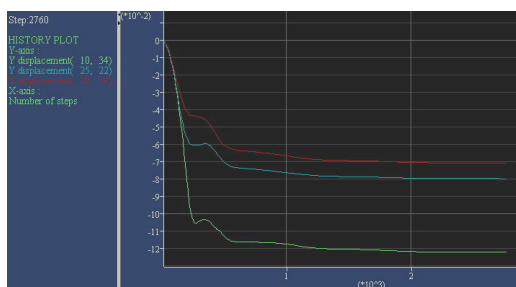
۵-۱- نمودارهای جابجایی - زمان در حالات مختلف پس از به تعادل رسیدن تمامی نقاط

اشکال (۱)، (۲) و (۳)، بیانگر جابجایی نقاط مبنای در نظر گرفته شده در تاج سد و در دو منطقه ریزشهای مکرر، پس از تقویت و پایدارسازی

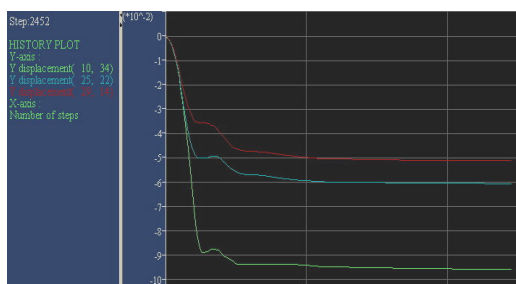
تکیه‌گاه سمت راست و در پایان آخرین سیکل، می‌باشند.



شکل (۱): نمودار تاریخچه زمانی برای نقاط مبنای تکیه‌گاه سمت راست سد کوثر در محیط E معادل و پس از پایدارسازی



شکل (۲): نمودار تاریخچه زمانی برای نقاط مبنای تکیه گاه سمت راست سد کوثر در حالت محیط درزه دار و پس از پایدارسازی



شکل (۳): نمودار تاریخچه زمانی برای نقاط مبنای تکیه گاه سمت راست سد کوثر در حالت محیط پیوسته و پس از پایدارسازی

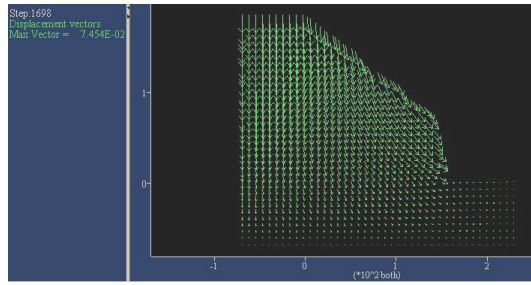
جدول (۴): مقایسه نتایج جابجایی نقاط مبنای پس از پایدارسازی شیروانی جناح راست سد در محیط های E معادل، پیوسته و درزه دار

جابجایی نقاط مبناء در جهت y ها پس از پایدارسازی تکیه گاه و رسیدن به حالت تعادل			محیط آنالیز
نمودار قرمز	نمودار آبی	نمودار سبز	
۳/۱۷ cm	۳/۹۷ Cm	۶/۷۱ Cm	محیط E معادل
۵/۱۲ cm	۶/۰۵ Cm	۹/۵۶ Cm	محیط پیوسته
۷/۰۸ cm	۷/۹۸ Cm	۱۲/۲ Cm	محیط درزه دار

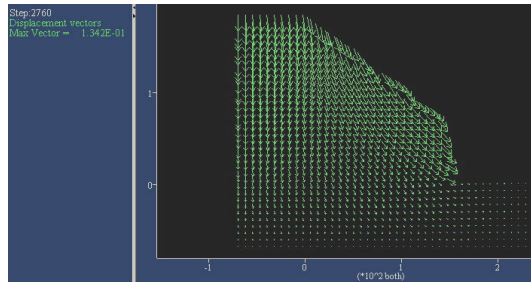
با توجه به جدول فوق، به راحتی می توان تأثیر استفاده از بِلت را در کاهش جابجایی نقاط مشاهده نمود. جهت کنترل صحت نتایج، کافی است که جابجایی در سه حالت محیط E معادل، درزه دار و پیوسته، برای هر نمودار را جداگانه با یکدیگر مقایسه نمود. همانطور که پیش تر نیز ذکر آن رفت، جابجایی نقاط در محیط پیوسته، بایستی از جابجایی نقاط در محیط E معادل بیشتر و از محیط درزه دار کمتر باشد و جابجایی نقاط در محیط درزه دار بایستی از هر دو محیط پیوسته و E معادل بیشتر باشد. بررسی نتایج جدول فوق، صحت این مطلب را تأیید می نماید.

۵-۲- نتایج حاصله از بررسی نمودارهای جابجایی حداکثر در حالت های مختلف پس از به تعادل رسیدن تمامی نقاط

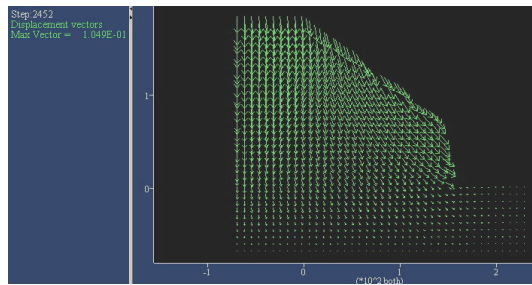
با مراجعه به اشکال (۴)، (۵) و (۶) به ترتیب برای محیط های E معادل، درزه دار و پیوسته، بار دیگر می توان از صحت آنالیزها، اطمینان حاصل نمود. زیرا در صورت صحیح بودن نتایج، انتظار می رود جابجایی حداکثر، پس از پایدارسازی در محیط E معادل، کمترین مقدار و در محیط درزه دار، بیشترین مقدار و بالطبع در محیط پیوسته، مقداری کمتر از محیط درزه دار و بیشتر از محیط E معادل باشد. دلیل این امر، فرض یک E معادل برای تمامی لایه های سنگ و در نتیجه، کمتر بودن مقادیر جابجایی ها و از طرف دیگر، مشاهده بیشترین جابجایی در حالت درزه دار، به دلیل مدل شدن سد، با ناپیوستگی های برداشت شده، حاصل از گمانه های اکتشافی حفر گردیده توسط مشاور می باشد. جدول (۵)، مقادیر ماکزیمم جابجایی ها را برای تکیه گاه سمت راست سد، پس از پایدارسازی و به تعادل رسیدن تمامی نقاط، نشان می دهد.



شکل (۴): نمودار حداکثر جابجایی های تکیه گاه سمت راست سد کوثر، پس از پایدارسازی واتنام محسبات در محیط E معادل



شکل (۵): نمودار حداکثر جابجایی های تکیه گاه سمت راست سد کوثر، پس از پایدارسازی واتنام محسبات در محیط درزه دار



شکل (۶): نمودار حداکثر جابجایی های تکیه گاه سمت راست سد کوثر، پس از پایدارسازی واتنام محسبات در محیط پیوسته

جدول (۵): مقادیر عددی حداکثر جابجایی ها حاصل از تغییر شکل های الاستیک و پلاستیک، پس از پایدارسازی تکیه گاه سمت راست سد

کوثر و به تعادل رسیدن تمامی نقاط شیروانی در محیط های مختلف

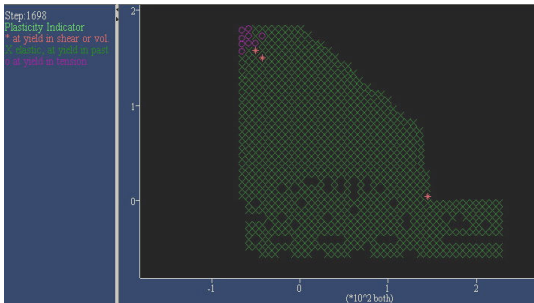
محیط آنالیز	حداکثر مقدار جابجایی پس از به تعادل رسیدن تمامی نقاط
محیط E معادل	۷/۴۵ cm
محیط پیوسته	۱۲/۴۹ cm
محیط درزه دار	۱۳/۳۴ cm

۵-۳- نتایج حاصل از بررسی نمودارهای نواحی الاستیک و پلاستیک در محیط های E معادل و پیوسته، قبل و بعد از پایدارسازی

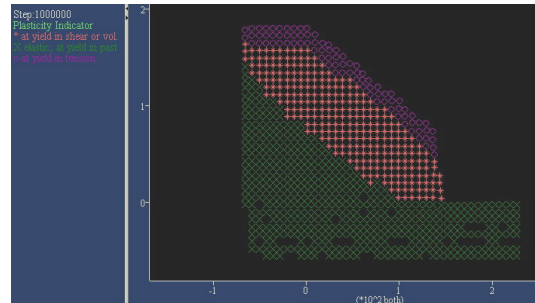
مقایسه حالت محیط E معادل، قبل و بعد از پایدارسازی یعنی، اشکال (۷) و (۸) نشان می دهد که محیط پس از تقویت بوسیله بت و شاکریت،

تقریبا به طور کامل، الاستیک شده که البته دلیل این امر، فرض یک E معادل برای تمامی لایه های توده سنگ در این محیط می باشد. همچنین

مقایسه اشکال (۹) و (۱۰) مبین افزایش ۲۸ درصدی نواحی الاستیک برای روش پیوسته، پس از تقویت، نسبت به حالت قبل از پایدارسازی می باشد که مبین نتایج مطلوبی در اثر اعمال طرح پایدار سازی می باشد.

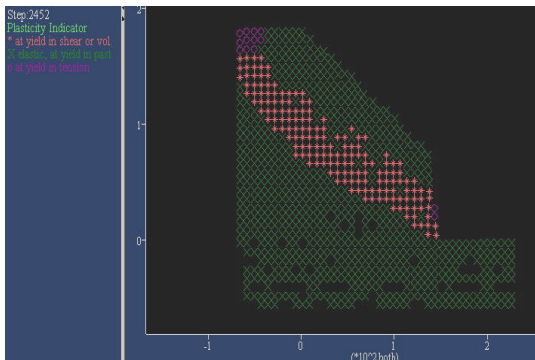


شکل (۸)

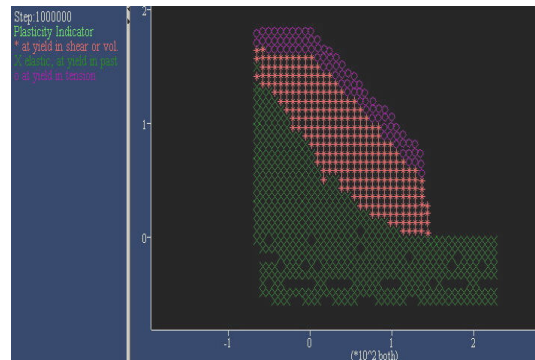


شکل (۷)

اشکال (۷) و (۸): نمودارهای نواحی الاستیک و پلاستیک در محیط E معادل، به ترتیب در پایین محاسبات و به تعادل نرسیدن نقاط و پس از اعمال طرح پایدار سازی و به تعادل رسیدن نقاط



شکل (۱۰)



شکل (۹)

اشکال (۹) و (۱۰): نمودارهای نواحی الاستیک و پلاستیک در محیط پیوسته، به ترتیب در پایین محاسبات و به تعادل نرسیدن نقاط و پس از اعمال طرح پایدار سازی و به تعادل رسیدن نقاط

همچنین نتایج مدل سازی در هر ۴ حالت فوق، در جدول (۶) مورد مقایسه قرار گرفته اند. ارقام جدول یاد شده، نشان دهنده بیشترین میزان فاکتور ایمنی برای محیط E معادل پس از تقویت، در مقایسه با محیط پیوسته می باشد که صحت نتایج را تایید می کند. زیرا به دلایل یاد شده، بیشترین مقدار فاکتور ایمنی، به دلیل در نظر گرفتن یک مدول الاستیسیته کلی، برای تمامی لایه ها و طبقات، برای شیروانی مدل شده در محیط معادل انتظار می رود.

جدول (۶) : مقادیر فاکتور ایمنی، قبل و بعد از پایدار سازی در محیط های E معادل و پیوسته

مقدار عددی فاکتور ایمنی		محیط آنالیز
بعد از ارائه طرح تقویت و پایدارسازی	قبل از پایدار سازی	
۱/۴۸	۰/۹۳	محیط E معادل
۱/۴۰	۰/۸۷	محیط پیوسته

۷- نتایج:

در این مقاله احتمال ناپایداری تکیه گاه سمت راست سد کوثر، مورد بررسی قرار گرفته و پیشنهاد هایی، جهت مقابله با آن ارائه گردید. جهت بررسی هر چه دقیق تر تکیه گاه یاد شده، اقدام به مدل سازی شیروانی موردنظر، در محیط های E معادل، درزه دار و پیوسته، با توجه به نتایج زمین شناختی و با استفاده از نقشه برش ناپیوستگی ها گردیده است. سپس این مدل، به عنوان مبنای محاسبات انتخاب شده و پایداری تکیه گاه در سه حالت فوق الذکر، مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج مدل سازی نشان دهنده پایدار بودن توده سنگ این شیروانی می باشد. بنابراین ریزش های منطقه ای حادث شده، می تواند به دلیل وزن سربار و نیز هوازگی لایه ها باشد.

- با توجه به مدارک موجود در سازمان آب منطقه ای فارس، مشاور در هنگام بررسی پایداری تکیه گاه، وضعیت پایداری را در محل اتصال بدنه سد مورد بررسی قرار داده و اصلاحات لازم را در شیروانی فوق الذکر در همان محل، جهت اطمینان از پایدار بودن آن به انجام رسانده است. این در حالی است که ریزشهای مکرر در فاصله حدود ۲۵ متری از بدنه سد به وقوع پیوسته که اقدامات لازم به دلیل دور بودن نسبی از بدنه سد، تنها در حد لقی گیری و جابجایی قطعات فرسوده سنگی در همان ابتدای امر، محدود گردیده که به مرور زمان و به دلایل یاد شده، ریزش قطعات سنگی حادث شده است. بنابراین شیروانی موردنظر همراه با طرح تقویت و پایداری سازی ارائه شده، توسط نرم افزار $FLAC$ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصله نشان دهنده مناسب بودن طرح، برای پایداری سازی تکیه گاه جناح راست سد مخزنی کوثر می باشند.

- بیشترین جابجایی های حادث شده مربوط به محیط درزه دار و کمترین مقدار، برای محیط E معادل به دست آمد. دلیل این امر نیز، فرض همگن بودن توده سنگ و ثابت بودن مدول الاستیسیته، دانسیته، ضریب پواسون، ضریب چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی برای کل توده در محیط E معادل می باشد. همچنین، دلیل پایداری نسبی محیط پیوسته به محیط درزه دار، ثابت ماندن مدول الاستیسیته حاصله از این روش با استفاده از جداول تجربی و مشاهداتی میباشد که قطعاً تا حدودی، از قابل اطمینان بودن نتایج حاصله می کاهد.

- تغییر جهت بردارهای حداکثر جابجایی در هر سه روش E معادل، درزه دار و پیوسته، در اثر ارائه طرح پایداری سازی، کاملاً مشهود است. جهت بردارها در هر سه محیط، قبل از پایداری سازی، کاملاً از شیب شیروانی تبعیت کرده در حالیکه پس از پایداری سازی، جهت نیروها کاملاً به سمت پایین دست شیروانی منحرف شده و با دور شدن از شیروانی، بردارها زاویه ای کاملاً قائم یافته اند که مبین عدم رانش نقاط ناپایدار پس از عمل تقویت شیروانی مذکور دارد.

.. در اثر اجرای طرح پایداری سازی تکیه گاه سمت راست سد مخزنی کوثر، تقریباً بیشتر نقاط پلاستیک به حالت الاستیک در آمده اند که این افزایش مناطق الاستیک، از بهترین پیامدهای پایداری سازی شیروانی سمت راست سد می باشد.

۸-۲- پیشنهادات:

۱- با توجه به در خطر بودن تأسیسات پایین دست به دلیل لغزش های توده های سنگی وعدم امکان استفاده از راهکارهای مختلف و نیز عدم امکان استفاده از مواد انفجاری جهت لقی کردن مناطق در حال ریزش و بالطبع مقذور نبودن جابجایی و حذف سنگهای روبراه از روشهای فوق الذکر،

توصیه می گردد قطعات سنگی که بدون انفجار، احتمال خرد کردن و حذف آن ها وجود دارد، جهت کاهش فشار سربار، جابجا و حذف گردند.

۲- با ارائه یک طرح اجرایی مناسب، اقدام به طرح و اجرای یک دیوار حائل در موقعیت مناسب، جهت متوقف نمودن سنگ های ریزشی پیش از برخورد با تأسیسات گردد.

۳- جهت اطمینان از پایداری، پیش بینی نحوه گسیختگی احتمالی در آینده و در اثر مرور زمان و زمین لرزه های ممکن، و نیز امکان آنالیز برگشتی رفتار شیب، نصب سیستمهای رفتارنگاری مانند اکستنسومتر و شیب سنج گمانه ای توصیه می شود.

مراجع و منابع:

- ۱- سینگ، ب. گوپل، ر. ک.، ترجمه اجل لونیان، رسول. ۱۳۸۲. رده بندی توده سنگ، انتشارات فن آوران.
- ۲- شرکت سهامی سازمان آب منطقه ای فارس.، فروردین ماه ۱۳۶۹، طرح آبرسانی بوشهر، مطالعات مرحله اول سد تنگه دوک، پیوست ۵ .
- ۳- شریعت جعفری، محسن.، ۱۳۷۵، زمین لغزش، تهران، انتشارات سازه.
- ۴- مهندسین مشاور مهتاب قدس.، دی ماه ۱۳۶۲، گزارش شناسایی مطالعات زمین شناسی سد کوثر.
- ۵- مهندسین مشاور مهتاب قدس.، مهرماه ۱۳۶۴، گزارش شناسایی تکمیلی زمین شناسی و ژئوتکنیک سد کوثر.
- 6- Abramson, Lee, W. Sharma, Sunil., 2001, **Slope stability and Stabilization Methods**. John Wiley & Sons, Inc.
- 7- Giani, G, P., 1992, **Rock Slope Stability Analysis**, Technical University of Turin, Balkma, Rotterdam.
- 8- ITASCA consulting group, Inc ., 2001, **FLAC, Ver 4.0, User's Manual** ., Minneapolis, Minnesota, USA.
- 9-Mc. Mahon, John., 2000, **General Design and Construction Considerations for Earth and Rock – Fill Dams**. Department of the Army, U.S Army Corps of Engineers, Washington, DC. Code No. 1110-2-2300.
- 10-Williams, Otis., 2004, **Tunnels and Shafts in Rock**, Department of the Army, U.S Army Corps of Engineers, Washington, DC. Code No. 20314-1000.