



## ارزیابی پایداری تکیه گاه چپ سد قردانلو

حسین هدایتی تلوکی

دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین شناسی، مشهد

غلامرضا لشکری پور

دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین شناسی، مشهد

محمد غفوری

دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین شناسی، مشهد

ناهید وطن پور

دانشگاه فردوسی مشهد، گروه زمین شناسی، مشهد

حسین ترشیزی

شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان شمالی، بجنورد

### چکیده

بررسی پایداری تکیه گاه سدها به منظور جلوگیری از لغزش های احتمالی و آسیب رساندن به سدها در هنگام احداث و بهره برداری این سازه ها امری لازم و ضروری است. در این تحقیق پایداری تکیه گاه چپ سد قردانلو در شمال غربی شهر بجنورد مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا با انجام مطالعات صحرایی مشخصات ناپیوستگی ها در منطقه برداشت و سپس سیستم ناپیوستگی ها در منطقه با استفاده از نرم افزار Dips تحلیل گردید. آنالیز داده های ساختاری نشان می دهد که سه دسته ناپیوستگی اصلی و ناپیوستگی های فرعی سیستم ناپیوستگی در ساختگاه سد را تشکیل می دهد. به علاوه جهت تکمیل اطلاعات، آزمایشات آزمایشگاهی برش مستقیم، مقاومت تک محوری و تعیین وزن واحد حجم سنگ بر روی نمونه های سنگی انجام گرفت. در ادامه احتمال رخ داد لغزش و ریزش در تکیه گاه چپ سد تحلیل گردید. در این مرحله جهت تحلیل احتمال رخ داد لغزش های صفحه ای و گوه ای از نرم افزار EZslide و جهت تحلیل حرکات ریزشی از نرم افزار Rocfall استفاده گردید. براساس تحلیل های انجام شده احتمال رخ داد لغزش های صفحه ای و گوه ای وجود ندارد، اما این تکیه گاه مستعد حرکات ریزشی و واژگونی ارزیابی شده است.

**کلمات کلیدی:** ناپایداری، تکیه گاه سد، لغزش، ریزش سنگی.

# Assessing the stability of left bank on Ghardanloo dam

Hossein Hedayati

*Ferdowsi University of Mashhad, Geology Department, Mashhad*

Gholamreza Lashkaripour

*Ferdowsi University of Mashhad, Geology Department, Mashhad*

Mohammad Ghafoori

*Ferdowsi University of Mashhad, Geology Department, Mashhad*

Nahid Vatanpour

*Ferdowsi University of Mashhad, Geology Department, Mashhad*

Hossein Torshizi

*North Khorasan Regional Water corporation, Bojnord*

**Abstract:** It is important to assess banks of a dam in order to prevent possible slides and damages to the plants during the installation and implementation of these structures. The present paper assesses the stability of the Ghardanloo dam left bank which is located 36 kilometers northwest of Bojnord, North Khorasan. To do so, first, field studies were conducted to analyze the discontinuity features in the area and then by using Dips software, discontinuity system in the area is analyzed. Structural analysis of data shows that two joint systems with bedding represents a major discontinuity. Furthermore, in order to complement the information, required lab tests were conducted on the rock samples. Then, slide and rockfall occurred in the dam bank were analyzed. In this stage, EZslide software was used to analyze the probability of plane and wedge slides and Rocfall software package was used to analyze rockfall movements. Our analyses show that there is no probability of plane and wedge slides happening, but this trench may face rockfall and toppling movements.

**Keywords:** Dam bank, Rockfall, slide, instability

## ۱ مقدمه

یکی از مهمترین مشکلات موجود در مورد احداث سازه های مختلف مهندسی مانند سد، تونل، راه و راه آهن در مناطق کوهستانی، رخ داد ناپایداری در شیب های خاکی و سنگی در هنگام اجرای پروژه یا در زمان بهره برداری از پروژه می باشد که باعث آسیب رساندن به تاسیسات می شود. از این رو مطالعه ی پایداری شیب ها امری لازم و ضروری است.

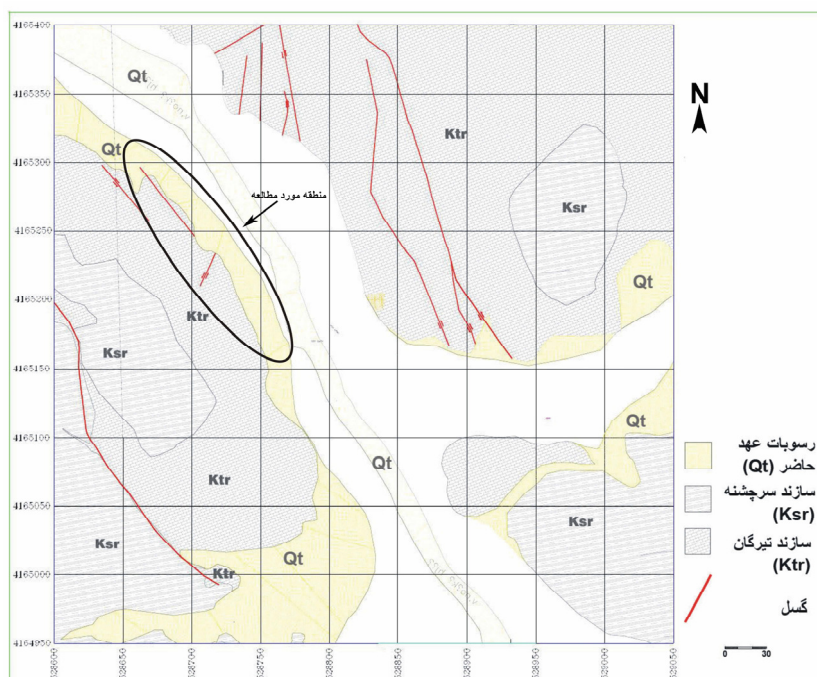
در میان محققین مختلف Pitau از اولین کسانی می باشد که در مورد اهمیت ساختار در پایداری شیبهای سنگی بحث کرده است. او پیشنهاد کرد که: "اصل تعیین کننده در پایداری شیب های سنگی نبود ناپیوستگی در ساختمان توده سنگ می باشد و مقاومت ذاتی سنگ تاثیر کمتری دارد" [Piteau (1972)]. علاوه بر این کاملاً بدیهی است که رفتاری مکانیکی توده سنگ به شدت تحت تاثیر ناپیوستگی ها یا حضور درزه ها در توده سنگ می باشد. خصوصیات ژئوتکنیکی ناپیوستگی ها نه تنها مکانسیم شکست را کنترل می کند، بلکه تاثیر زیادی بر نتایج آنالیزها دارد. [ISRM (1978), Antoniou & Lekkas (2010)]. بنابراین ناپایداری دامنه های سنگی تحت تاثیر عوامل مختلفی از قبیل وضعیت شیب زمین و لایه بندی، جهت یافتگی ناپیوستگی ها، پارامترهای مقاومتی مربوط به ناپیوستگی ها، نیروی های خارجی مثل نیروی آب، نیروی زلزله و فعالیت های انسانی قرار دارد [Grenon & Hadjigeorgiou (2008), Ping (1997), Piteau (1972)]. از این رو یک راه کار مناسب برای جلوگیری از آسیب ها ناشی از لغزش و ریزش، انجام دقیق مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیکی قبل از اجرای یک پروژه به منظور آنالیز دقیق سیستم ناپیوستگی ها در منطقه و تحلیل پایداری شیب می باشد.

در این تحقیق پایداری تکیه گاه چپ سد قردانلو در فاصله ۳۶ کیلومتری شمال غربی شهر بجنورد در استان خراسان شمالی مورد ارزیابی قرار گرفته است. سنگ آهک تکیه گاه چپ سد به علت عمل کرد فعالیت های تکتونی بشدت تکتونیزه شده و فرسایش یافته می باشد و مستعد ناپایداری می باشد. بنابراین برای ارزیابی پایداری تکیه گاه سد ابتدا با انجام مطالعات صحرایی مشخصات ناپیوستگی ها در محل تکیه گاه به روش خط برداشت برداشت شد و سپس سیستم ناپیوستگی ها با کمک نرم افزار Dips مورد تحلیل قرار گرفت. به علاوه جهت تکمیل اطلاعات نمونه های سنگی برداشت شد و به آزمایشگاه ارسال گردید تا با انجام آزمایشات آزمایشگاهی برش مستقیم، مقاومت تک محوری و تعیین وزن واحد حجم سنگ بر روی نمونه ها، پارامترهای مقاومتی سنگ تعیین گردد. در ادامه جهت تحلیل احتمال رخ داد لغزش های صفحه ای و گوه ای از نرم افزار EZSlide و جهت تحلیل حرکات ریزشی از نرم افزار Rocfall استفاده گردید

## ۲ زمین شناسی عمومی ساختگاه سد

براساس مدل لرزه زمین ساختی ارائه شده توسط نوگل سادات (۱۳۷۲) منطقه مورد مطالعه در زون زمین ساختی کپه داغ قرار دارد و از نظر سنگ شناسی شامل سازندهای تیرگان، سرچشمه، سنگانه، نهشته های نفوژن و نهشته های عهد حاضر می باشد، که در محل تکیه گاه سد سازند های تیرگان و سرچشمه و رسوبات عهد حاضر رخنمون دارند. در شکل ۱ نقشه زمین شناسی گستره طرح آورده شده است.

سازند تیرگان (Ktr): این سازند از سنگ آهک های ائولیت دار و زیست آواری با میان لایه های ناچیزی از سنگ آهک های مارنی، مارن و شیل آهکی تشکیل شده است. به دلیل ستبرای زیاد لایه ها و به ویژه تراکم و سختی، سنگ آهک ها بخوبی از نهشته های شیلی و مارنی سرچشمه قابل تفکیک می باشد. این سازند دارای سن بارمیت تا آپتین می باشد و بخش اعظم تکیه گاه چپ را شامل می شود. در محل تکیه گاه چپ این سازند از آهک دولومیتی و آهک الییتی به رنگ خاکستری تیره تشکیل شده است.



شکل ۱ - نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

سازند سرچشمه (KSF): این سازند با سن آپتین را می توان به دو بخش تقسیم کرد. بخش زیرین که از مارن یکنواخت به رنگ خاکستری و خاکستری تیره تشکیل شده است که در سطوح فرسوده به رنگ خاکستری روشن مایل به سبز با فرسایش مدادی دیده می شود و دارای لایه های جزئی سنگ آهک می باشد. بخش فوقانی که از شیل خاکستری تیره با میان لایه های نازکی از سنگ آهک های زیست آواری خاکستری مایل به قهوه ای تشکیل شده است. این سازند در بخش فوقانی تکیه گاه چپ با ضخامت کمی رخ نمون دارد و به صورت هم شیب بر روی سازند تیرگان قرار می گیرد. از نظر سنگ شناسی این سازند در محل تکیه گاه از مارن و شیل های به رنگ خاکستری تا خاکستری تیره با میان لایه های آهکی تشکیل شده است. این سازند در سطح به شدت هوازده و خرد شده می باشد [افشار حرب (۱۳۷۳)، طوس آب (۱۳۸۷)].

رسوبات عهد حاضر (Qt): این رسوبات در محل تکیه گاه شامل رسوبات آبرفتی بستر رودخانه، پادگانه های آبرفتی و رسوبات واریزه ای و آب شست های دامنه ای می باشد.

رسوبات آبرفتی بستر رودخانه در بستر رودخانه گسترش دارند. این رسوبات عمدتاً ریزدانه هستند و مصالح درشت دانه تا حد قلوله سنگ به صورت محدود دیده می شوند.

نهشته های پادگانه های آبرفتی در محدوده ساختگاه سد در حاشیه رودخانه و در سرتاسر تنگه گسترش دارند. این مصالح در بخش های مرکزی تنگه عمدتاً ریزدانه هستند و به سمت تکیه گاه ها به مصالح درشت دانه تبدیل می شوند.

رسوبات واریزه ای و آب شست های دامنه ای عمدتاً از فرسایش شیل ها و زونهای آهکی خرد شده و گسله حاصل شده اند و در روی و پای دامنه استقرار یافته اند. این مصالح ضخامت چندانی ندارند و به صورت پوشش رسوبی نه چندان ضخیم بر روی واحدهای سنگی و رسوبی قدیمی تر استقرار یافته اند. رسوبات واریزه ای شامل مصالح مختلف از قبیل بلوک های سنگی، قلوله سنگ، شن و ماسه می باشد. رسوبات مذکور جدیدترین واحدهای رسوبی در محدوده محل سد می باشد [طوس آب (۱۳۸۷)].

از نظر ریخت شناسی منطقه مورد مطالعه منطقه ای کوهستانی و جوان می باشد که بر اثر فاز های چین خوردگی آلپ پایانی در زمان پلیوسن الگوی چین خوردگی کنونی منطقه حاصل گردیده است. تکیه گاه چپ بر روی یال جنوبی تاقدیسی واقع شده است و گسل های محلی و نیرو های تکتونیکی به شدت بر محدوده مورد مطالعه تاثیر گذاشته اند و باعث ایجاد شبکه ای از درز و شکستگی ها به همراه شیبهای برگشته در تکیه گاه چپ شده است [افشار حرب (۱۳۷۳)، طوس آب (۱۳۸۷)].

### ۳ زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد

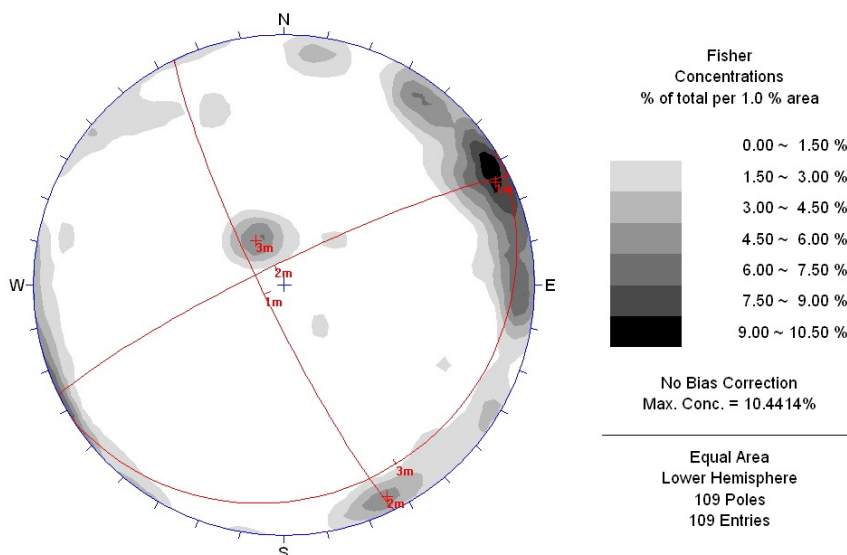
رفتار مکانیکی سنگ ها بشدت تحت تاثیر خصوصیات سیستم ناپیوستگی ها و تعداد دسته درزه ها می باشد. از سوی دیگر رفتار مکانیکی توده سنگ تاثیر زیادی بر ناپایداری دارد [Antoniou & Lekkas (2010)، Grenon & Hadjigeorgiou (2008)] بنابراین بررسی صحرایی و تحلیل دقیق وضعیت و خصوصیات سیستم درزه و شکستگی ها از مهم ترین مسائل در تحلیل پایداری شیب های سنگی می باشد. در این تحقیق بر اساس متد ارائه شده توسط (ISRM (1978) خصوصیات سیستم درزه و شکستگی ها در منطقه شامل جهت یافتگی، تداوم، فاصله داری، ضریب زبری سطح درزه، باز شدگی، نوع مواد پرکننده و مقاومت دیواره درزه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت، که نتایج آن در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱ - ویژگی های مهندسی ناپیوستگی های تکیه گاه چپ سد قردانلو

وضعیت ناپیوستگی ها										موقعیت	تکیه گاه چپ			
مقاومت (٪ دیواره)		نوع پرشدگی (٪)		بازشدگی (mm)٪	شکل	زبری		فاصله داری (متر)٪				تداوم (متر)٪		
MW	MH	رِس	گُوژ			کَلِیْت	R	C	۰/۹-۰/۲			۲-۰/۶	>۲۰	۲۰-۱۰
۸۰	۲۰	۲۵	۴۰	۲۵	U	۶۲	۵۸	۲۰	۷۰	۵	۲۵	۲۵	۴۵	

U: Undulating, R: Rough, C: Slickenslide, MW: Moderatly Weathered, HW: Highly Weathered

در گام بعد سیستم ناپیوستگی های منطقه مورد تحلیل قرار گرفت که در شکل شماره ۲ تصویر استریوگرافی ناپیوستگی ها به صورت نگاره های قطبی و صور ساختاری آورده شده است. همچنین مشخصات سیستم ناپیوستگی های اصلی منطقه در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۲ - نگاره صور ساختاری و صفحات ناپیوستگی ها

جدول ۲ - مشخصات ناپیوستگی های اصلی تکیه گاه چپ

discontinuities	Dip/dip Direction
Bedding	۱۹/۱۴۸
Joint set 1	۸۲/۳۲۳
Joint set 2	۸۵/۲۴۴

بر اساس مطالعات صحرای و طبقه بندی RMR، توده ی سنگی تکیه گاه چپ سد دارای امتیاز ۵۰ تا ۵۵ ارزیابی شده و در رده مناسب (Fair) قرار دارد. برای ارزیابی دقیق ویژگی های ژئومکانیکی توده سنگی آزمایش های آزمایشگاهی مقاومت تک محوره، برش مستقیم و تعیین وزن مخصوص سنگ بر روی نمونه های سنگی انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ - ویژگی های ژئومکانیکی توده سنگ در تکیه گاه چپ سد

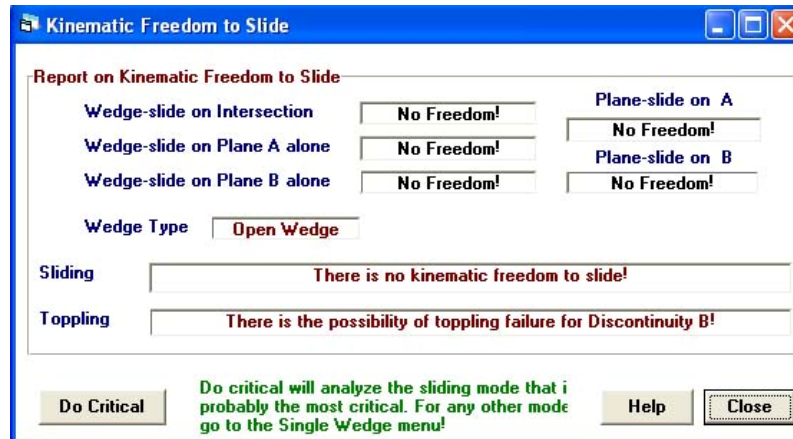
وزن مخصوص ( $\text{gr/cm}^3$ )	زاویه اصطکاک (درجه)	چسبندگی (MPa)	مقاومت فشاری تک محوری (MPa)	پارامتر شرایط
۲/۸۱	۳۷	۰/۵	۲/۷	خشک

#### ۴ تحلیل احتمال رخداد واژگونی و لغزش با استفاده از نرم افزار EZSlide

لغزش یکی از رایج ترین انواع ناپایداری در دامنه های سنگی می باشد که تحت تاثیر عوامل مختلفی از قبیل وضعیت شیب زمین و لایه بندی، جهت یافتگی ناپیوستگی ها، پارامترهای مقاومتی مربوط به ناپیوستگی ها، نیروی های خارجی مثل نیروی آب، نیروی زلزله و فعالیت های انسانی می تواند ایجاد شود [ Grenon & Hadjigeorgiou (2008)].

برای ارزیابی احتمال رخداد واژگونی، لغزش صفحه ای و گوه ای در تکیه گاه چپ روش احتمالی مونت کارلو و نرم افزار EZSlide مورد استفاده قرار گرفته است. برای ارزیابی پایداری با استفاده از این نرم افزار، پارامترهای ژئومتری شیب شامل جهت شیب، مقدار شیب و ارتفاع شیب، جهت یافتگی ناپیوستگی ها، پارامترهای مقاومتی ناپیوستگی ها و شرایط نیروهای خارجی مورد نیاز است. از سوی دیگر برای ارزیابی پارامترهای مقاومتی برشی در امتداد خط لغزش در نرم افزار از دو معیار غیر خطی باراتون و یا معیار مور- کلوب می توان استفاده کرد [Ping & Emery (1998), Ping (1997)].

در این تحقیق برای ارزیابی مقاومت برشی سطوح ناپیوستگی از معیار غیر خطی باراتون استفاده شده است. از این رو برای تحلیل پایداری تکیه گاه چپ سد، ابتدا ژئومتری شیب دامنه با ارتفاع ۶۰ متر، جهت شیب  $319^\circ$  و شیب  $62^\circ$  و مشخصات ناپیوستگی ها شامل جهت یافتگی ناپیوستگی ها، JCS، JRC و  $\phi$  به عنوان ورودی نرم افزار، وارد نرم افزار گردید. مقدار JCS براساس پیشنهاد باراتون که بیان کرد: "مقدار JCS برای سطح درزه های غیر هوازده برابر با مقاومت فشاری تک محوری و برای سطح درزه های هوازده تا یک چهارم مقاومت فشاری تک محوری در نظر گرفته می شود" [Ping & Emery (1998), Ping (1997)], به علت شرایط زمین شناسی توده سنگ و هوازده بودن سطح درزه ها برابر یک چهارم مقاومت فشاری تک محوری یعنی  $0.68 \text{ Mpa}$  در نظر گرفته شد. مقدار JRC بر اساس ارزیابی های صحرایی و مقایسه با نمودارهای استاندارد برابر با ۱۴-۱۲ ارزیابی شده است. مقدار پارامترهای  $\phi$  برابر با مقادیر ارائه شده در جدول ۳ در نظر گرفته شده است. در این تحلیل شرایط آب زیر زمینی در حالت خشک مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت پس از وارد کردن شرایط آب زیرزمینی و وزن واحد حجم سنگ، پایداری دامنه سنگی مورد تحلیل قرار گرفته است. براساس نتایج بدست آمده همان طور که در شکل ۳ دیده می شود احتمال رخداد واژگونی توسط دسته درزه ۲ وجود دارد. اما احتمال رخ داد لغزش صفحه ای و گوه ای در تکیه گاه چپ سد وجود ندارد.

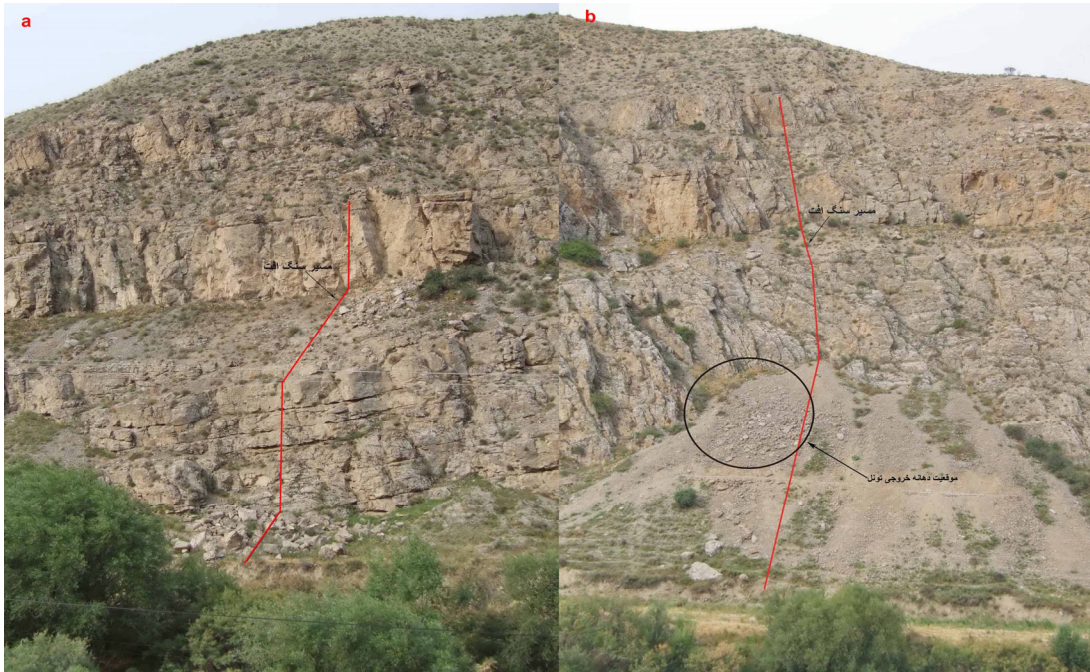


شکل ۳- خروجی نرم افزار EZSlide

## ۵ تحلیل احتمال ریزش با استفاده از نرم افزار Rocfall

ریزش سنگی یک پدیده قریب الوقوع در بسیاری از شیب های سنگی در سطح جهان می باشد. ایجاد ریزش بر پایه سرعت و انرژی زیاد طبقه بندی می گردد [Agliardi & Crosta, (2003)]. اندازه سنگ ها در ریزشها از قطعات سنگی کوچک (Cobble) تا تخته سنگ های با ابعاد ده ها متر مکعب، و سرعت حرکات ریزشی از چند متر تا چندین متر بر ثانیه متغیر می باشد. بسیاری از ریزشهای سنگی می توانند منشا لغزش های مرگباری باشند. بطور کلی در مناطق کوهستانی هندسه شیب و ویژگی های مکانیکی سنگ از مهم ترین عوامل موثر بر شروع حرکت و ویژگی ریزشهای سنگی هستند [Antoniou & Lekkas (2010)]. زمین لرزه، بارش های سنگین، چرخه انجماد و ذوب آب و فعالیت های بشر از دیگر عوامل موثر بر ریزش ها می باشد [آورت (۱۳۸۱)، حیدری و همکاران (۱۳۸۸)، Agliardi & Crosta (2003)، Topal (2007)]. معمولا حرکات ریزشی بصورت لغزش، واژگونی، سقوط آزاد، غلطش و یا جهش رخ می دهد، که بر حسب تغییرات نیمرخ توپوگرافی، دو یا چند شکل ریزش سنگی ممکن است مشاهده شود [Topal (2007)]. ریزش های کوچک در بسیاری از شیبهای سنگی می تواند رخ دهد، اما ریزش های بزرگ تنها در شیبهای سنگی بزرگ با شرایط مناسب برای ناپایداری می تواند اتفاق بیفتند [Agliardi & Crosta (2003)]. از این رو فعالیت های بشر بر روی یا در پای بسیاری از شیب های سنگی تحت تاثیر خطر ریزش سنگی قرار دارد. بنابراین تحلیل خطر حرکات ریزشی برای جلوگیری از آسیبهای احتمالی از اهمیت بالای برخوردار می باشد.

در این بخش برای ارزیابی خطر ریزش سنگی در تکیه گاه چپ سد با در نظر گرفتن شرایط لرزه ای، ابتدا با انجام بررسی های صحرائی مسیر ریزش سنگی تعیین گردید. بر اساس بررسی های انجام شده دو مسیر ریزش سنگی، مسیر ۱ در نزدیک محور سد (شکل ۴-۲) و مسیر ۲ در محل دهانه خروجی تونل انحراف آب (شکل ۴-۲) تعیین گردید. همچنین بر اساس این مشاهدات دامنه از نظر سنگ شناسی به دو بخش تقسیم شد و با استفاده از مشاهدات صحرائی و آنالیز برگشتی ضرایب ارتجاعی برای بخش بالای دامنه که از سنگ آهک های خرد شده تشکیل شده است و بخش پای دامنه که از قطعات سنگ آهک به همراه مقداری رسوبات واریزه ی تشکیل شده است، محاسبه گردید (جدول ۴).



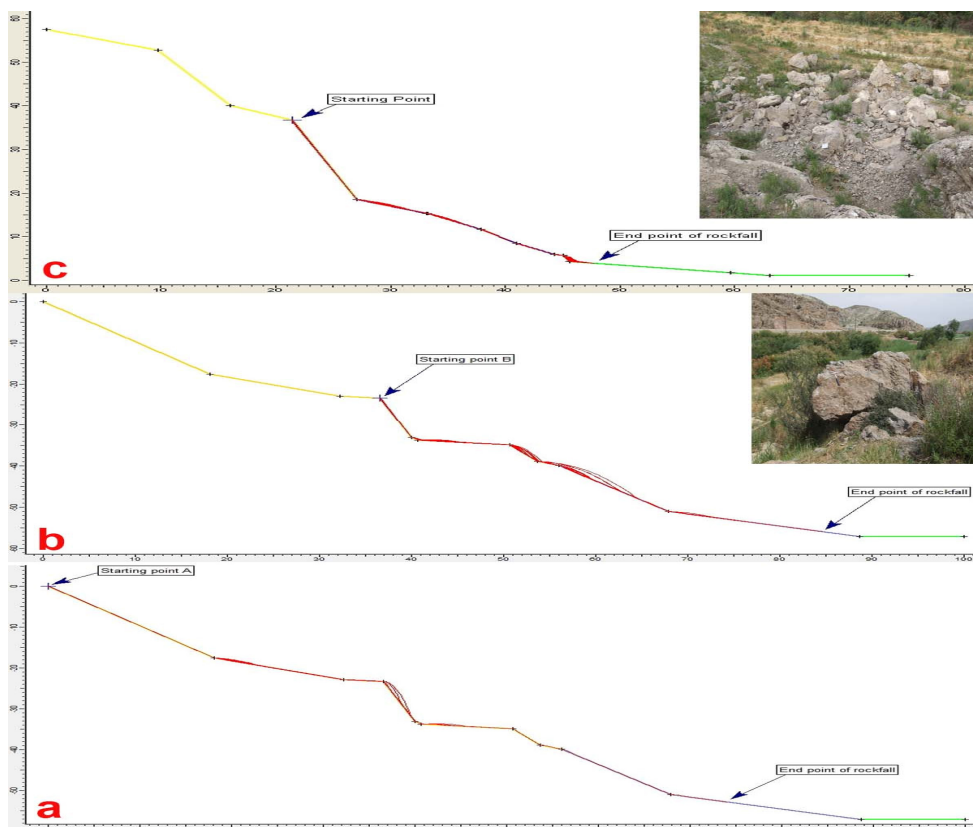
شکل ۴- موقعیت ریزش های سنگی در تکیگاه چپ سد (دید جنوب غربی)

جدول ۴- مشخصات ضرایب ارتجاعی

دامنه	$R_n$	انحراف معیار	$R_T$	انحراف معیار
بخش بالای	0.31	0.064	0.83	0.116
بخش پایه دامنه	0.28	0.04	0.76	0.070

برای مسیر ۱ حجم بلوک حدوداً ۵/۴ متر مکعب و نقطه شروع حرکت در ارتفاع ۳۵ متری از پایه دامنه ارزیابی گردید. همچنین برای مسیر ۲ حجم بلوک حدوداً ۶ متر مکعب و دو نقطه برای شروع حرکت روی دامنه تعیین گردید، نقطه A در تراز ارتفاع ۵۱/۱ متری از پای دامنه و نقطه B در تراز ارتفاع ۳۳ متری از پای دامنه قرار دارد. برای محاسبه سرعت اولیه قطعات سنگی، شتاب حرکت زمین بر اثر زلزله برابر با  $0.38g$  در نظر گرفته شد. آطوس آب (۱۳۸۷). بر اساس این شتاب سرعت افقی حرکت قطعات سنگی برابر با  $0.28m/s$  محاسبه شد. در ادامه نیمرخ توپوگرافی ترانشه براساس نقشه ی توپوگرافی و پیمایش صحرائی تهیه گردید و وارد محیط نرم افزار شد. در نهایت شبیه سازی ریزش سنگی برای هر مسیر ریزش در محیط نرم افزار انجام شد (شکل ۵).

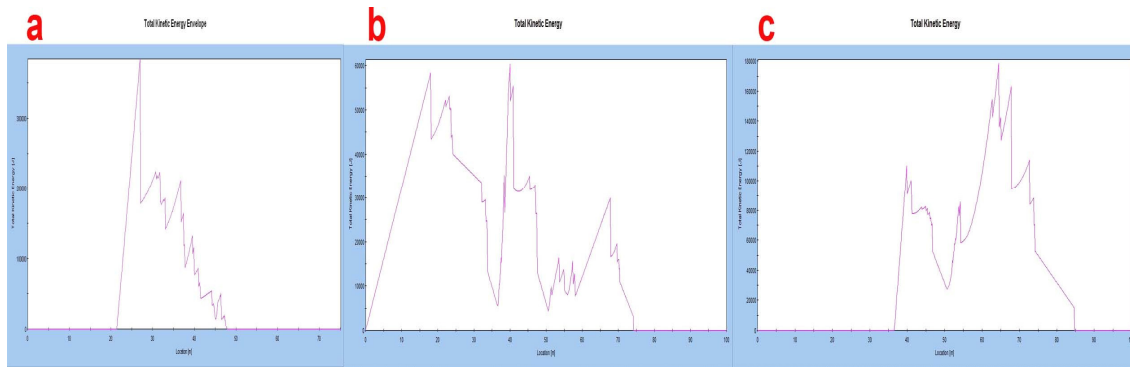




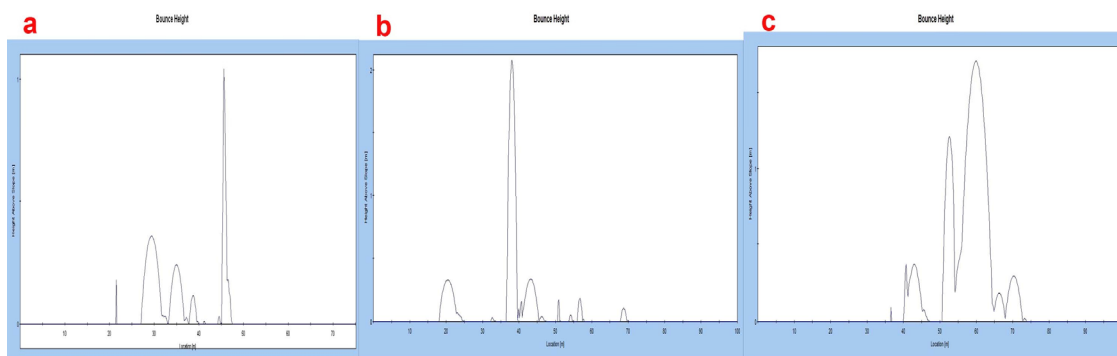
شکل ۵- شبیه سازی ریزش سنگی در تکیه گاه چپ سد قردانلو، a: شبیه سازی ریزش سنگی برای مسیر ۲ نقطه شروع حرکت A، b: شبیه سازی ریزش سنگی برای مسیر ۲ نقطه شروع حرکت B، c: شبیه سازی ریزش سنگی برای مسیر ۱

همانطوری که مشاهده می شود حداکثر انرژی جنبشی برابر مسیر ۱ برابر  $3/38$  کیلوژول (نمودار ۱- a)، حداکثر ارتفاع جهش برابر یک متر می باشد که در پایه دامنه رخ می دهد (نمودار ۲- a)، باید توجه داشت که بر روی دامنه ارتفاع جهش حداکثر به ۳۰ سانتی متر می رسد. بنابراین بر اساس تحلیل انجام شده حرکت ریزشی در این مسیر ترکیبی از حرکات جهشی و سقوط آزاد می باشد. نقطه پایان حرکت در فاصله حدوداً چهار متری از پایه دامنه می باشد (نمودار ۳- a).

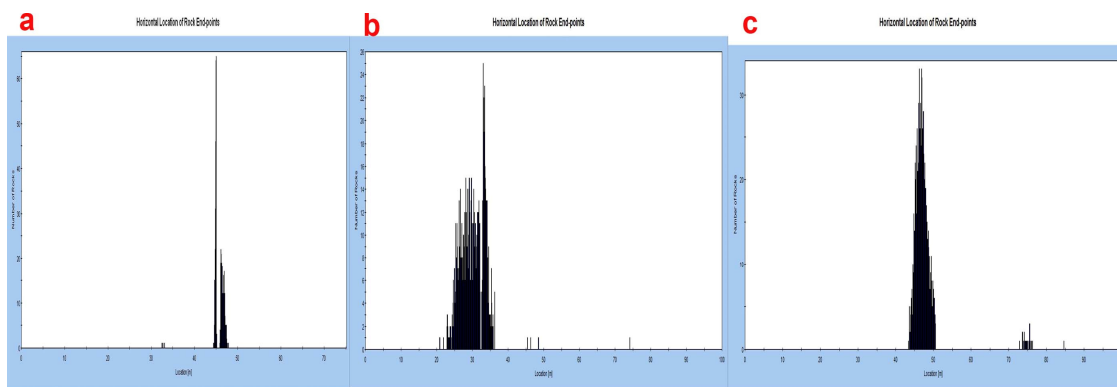
همچنین بر اساس تحلیل های انجام شده برای مسیر ۲، ریزش های سنگی که حرکت خود را از نقطه ی آغاز A می کنند، حداکثر انرژی جنبشی  $60/33$  کیلوژول (نمودار ۱- b)، حداکثر ارتفاع جهش برابر  $2/04$  متر (نمودار ۲- b) و نقطه پایان حرکت بر روی دامنه در فاصله ۳ متری از پای دامنه (نمودار ۳- b)، و برای ریزش های که حرکت خود را از نقطه ی B آغاز می کنند حداکثر انرژی جنبشی  $178/38$  کیلوژول (نمودار ۱- c)، حداکثر ارتفاع جهش برابر  $1/7$  متر (نمودار ۲- c) و نقطه ی پایان حرکت بر روی دامنه در فاصله  $12/6$  متری از پای دامنه (نمودار ۳- c) ارزیابی شده است.



نمودار ۱- نمودارهای انرژی جنبشی کل



نمودار ۲- نمودارهای ارتفاع جهش



نمودار ۳- نمودارهای نقطه پایان حرکت

## ۶ نتیجه گیری

در این تحقیق پایداری تکیگاه چپ سد قردانلو مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا وضعیت ناپیوستگی های منطقه تحلیل گردید. در ادامه احتمال رخداد لغزش و واژگونی مورد تحلیل قرار گرفت، که بر اساس ارزیابی های انجام شده احتمال رخ داد لغزش صفحه ای و گوه ای در تکیگاه چپ سد وجود ندارد اما احتمال رخ داد واژگونی توسط دسته درزه ۲ وجود دارد.

در ادامه احتمال رخ داد حرکات ریزشی مورد تحلیل قرار گرفت، که بر اساس تحلیل های انجام شده این تکیه گاه مستعد حرکات ریزشی ارزیابی شده است، که این ناپایداری ها می تواند باعث مخاطرات جانی برای پرسنل در حین اجرای پروژه و همچنین ایجاد تهدیداتی برای سد و تاسیسات جانبی آن شود. باید توجه داشت که هرچند در حال حاضر بخش زیادی از ریزشهای که در مسیر ۲ از نقطه ی A حرکت خود را آغاز می کنند، قبل از رسیدن به موقعیت تونل در حد فاصل ۲۲/۵ متری تا ۳۶/۵ متری از نقطه شروع حرکت از حرکت باز می ایستند و خطری را برای تونل و تاسیسات جانبی ایجاد نمی کنند. اما بر اساس تحلیل ها مشخص گردید که هندسه شیب یکی از مهم ترین پارامترهای موثر بر حرکات ریزشی می باشد و تغییر در زاویه شیب می تواند باعث تغییر در رفتار حرکات ریزشی شود، بنابراین قبل از انجام حفاری ها و ایجاد تغییر در ژئومتری شیب باید تحلیل های لازم برای شرایط جدید انجام شود تا این تغییرات باعث تشدید ریزش ها و آسیب رسیدن به تاسیسات تونل نشود. از آنجا که ژئومتری و شیب دامنه از مهم ترین عامل موثر بر ریزش سنگی در این دامنه می باشد، بنابراین پیشنهاد می شود که با اصلاح شیب دامنه از ریزش های احتمالی و آسیب رسیدن به تاسیسات جلوگیری گردد.

## ۷ منابع

- اورت، ه (۱۳۸۱)؛ مهندسی سنگ کاربردی، مترجم طاهریان، ع، انتشارات دهخدا، چاپ اول، ۵۱۲ صفحه، صفحات ۱۹۵-۲۲۰.
- افشار حرب. ع (۱۳۷۳)؛ زمین شناسی ایران: زمین شناسی کپه داغ، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول، ۲۷۵ صفحه.
- حیدری، ک، حافظی مقدس، ن، و رضانی اومالی، ر، ۱۳۸۸. پهنه بندی خطر ریزش سنگی در شمال شهر شاهرود، ششمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ایران، صفحات ۱۱۴-۱۰۷.
- شرکت مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۸۷. زمین شناسی و زمین شناسی مهندسی طرح سد، شبکه آبیاری و زهکشی قردانلو، مطالعات مرحله اول.
- Antoniou, A. A. & Lekkas, F. (2010). Rockfall susceptibility map for Athinios port, Santorini Island, Greece. *Geomorphology*, 118, 152-166.
- Agliardi, F. and Crosta, G. B. (2003) "High resolution three-dimensional numerical modeling of rockfalls", *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, 40 (4): 455-471.
- Grenon, M. & Hadjigeorgiou, J. (2008). A design methodology for rock slopes susceptible to wedge failure using fracture system modelling. *Eng Geol* 96, 78-93.
- Goodman, R. E. (1989). *"Introduction to rock mechanics"*, 2nd ed, New York: Wiley.
- ISRM. (1978). "Suggested methods for quantitative description of discontinuities in rock masses. International Society for Rock Mechanics, Commission on Standardization of Laboratory and Field Test", *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr* 15, 319-368.

- Ping, F. (1997). *Probabilistic treatment of the sliding wedge*. Department of Civil and geological engineering university of Manitoba Winnipeg, Manitoba Canada. 104.
- Ping, F. & Emery, Z.L. (1998). Probabilistic treatment of the sliding wedge with EzSlide. *Eng Geol*, 50, 153–163.
- Piteau, D. R. (1972). "Engineering geology considerations and approach in assessing the stability of rock slopes", *Bulletin of the Associa of Eng Geol* 9, 301–320.
- Topal, T. Akin, M. & Ozden, U.A. (2007). Assessment of rockfall hazard Afyon Castle, Turkey. *environ Geol*. 53, 191-200.