

تحلیل ساختاری موقعیت جغرافیایی ساختگاه سد کهیر به منظور مطالعه معضلات احتمالی احداث سد در منطقه (جنوب شرق ایران)

محسن جامی* (استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده صنعت و معدن خاش)

علیرضا دو چشمه گرگیج (استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده صنعت و معدن خاش)

حسین ریاحی (کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه زمین شناسی، تهران، ایران)

محسن پورگرمانی (استاد تکتونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه زمین شناسی، تهران، ایران)

چکیده

سد کهیر واقع در استان سیستان و بلوچستان و محدوده جغرافیایی $25^{\circ}38'$ عرض شمالی و $60^{\circ}09'$ طول شرقی و در ۱۱۰ کیلومتری غرب شهر چابهار قرار دارد. منطقه مورد مطالعه عمدتاً از نهشته‌های تخریبی تشکیل شده است و گوناگونی سنگ‌های واحدهای موجود در آن اندک و محدود به شیل، مارن، ماسه سنگ و کنگلومرا است. وجود نهشته‌های تخریبی در منطقه باعث ایجاد معضلاتی برای احداث سد خواهد بود. هدف از انجام این پژوهش، بررسی پایداری شیب و امکان فرار آب از تکیه‌گاه‌های سد کهیر است. پس از مطالعه و برداشت صحرائی و پردازش داده‌ها توسط مجموعه نرم‌افزارهای مکانیک سنگ، نتایج حاضر به دست آمده است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تکیه‌گاه‌های سد از لحاظ پتانسیل وقوع ریزش اعم از گسیختگی صفحه‌ای و گوه‌ای پایدار است. در این مطالعه گسل‌های محدوده از لحاظ امکان فرار آب نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بررسی نشان داد که روند غالب این گسل‌ها موازی با محور سد است؛ به همین دلیل گسل‌های منطقه از لحاظ امکان فرار آب منطقه‌ای ایمن محسوب می‌شوند. بررسی درزها در تکیه‌گاه راست نشان داد که این درزها به صورت عمود بر محور سد قرار می‌گیرند و این مورد بیان‌کننده پتانسیل امکان فرار آب از درزهای تکیه‌گاه راست است. با بررسی ویژگی‌های ناپیوستگی‌های (پرشدگی) منطقه مشخص شد که در تکیه‌گاه راست امکان فرار آب پایین خواهد بود. درزهای تکیه‌گاه چپ نیز شرایطی مشابه با تکیه‌گاه راست دارند. به‌طور کلی امکان فرار آب در محدوده مورد مطالعه پایین است.

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۶ خرداد ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: ۹ مهر ۱۳۹۹

صفحات: ۱۴۲-۱۲۵



کلید واژه‌ها:

گسل، سد کهیر، پایداری شیب، فرار آب.

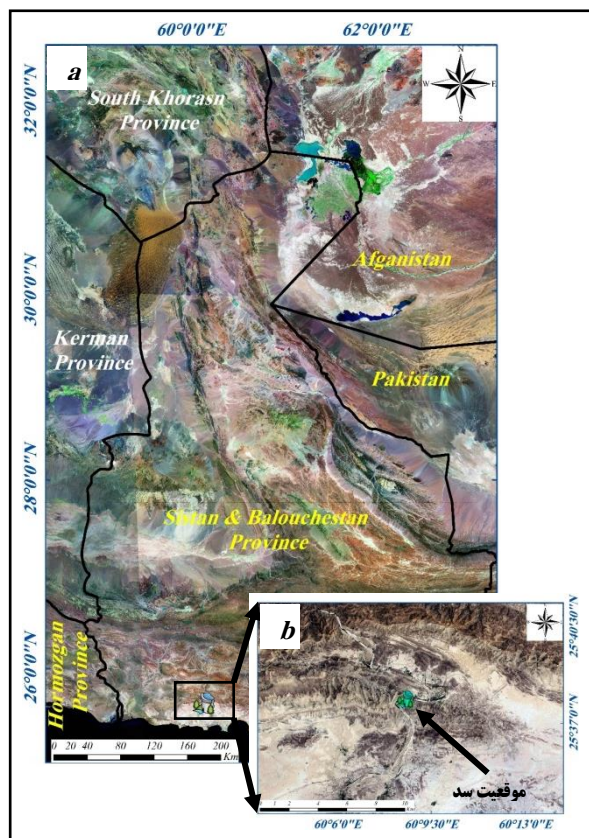
* نویسنده مسئول: دکتر محسن جامی

پست الکترونیک: M.jami@eng.usb.ac.ir

مقدمه

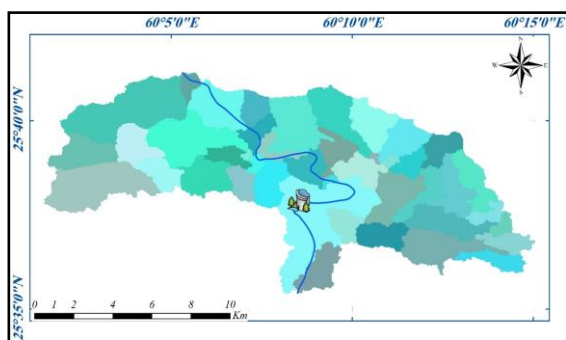
نیاز شتابنده صنایع به مواد اولیه معدنی و کشف و استخراج ذخائر طبیعی، احدث سدها و ساختمان های بزرگ، راهسازی، ضرورت پیش بینی و پیشگیری از اغلب خطرهای طبیعی چون زمین لرزه، سیل و زمین لغزه، از جمله عوامل بنیادی و نیروبخش در پیشرفت دانش و فنون زمین شناسی است. با شناخت و بررسی ناپیوستگی ها در محدوده سدها، می توان به ارتباط مهم بین ناپیوستگی ها در منطقه با خواص ژئوتکنیکی آن ها اعم از پایداری شیب و فرار آب پی ببریم (مهندسين مشاور پژوهاب- آبن، ۱۳۸۱: ۲۵). سدها یکی از مناطق مهم در بررسی لغزش ها و فرار آب محسوب می شوند؛ زیرا یکی از مهم ترین مخاطرات در آن ها ناپایداری های دامنه ای و امکان فرار آب از ناپیوستگی های محدوده سد است (معماریان، ۱۳۸۱: ۲). به دلیل اشباع شدگی خاک ها و سنگ ها در محدوده مخزن و محور سدها و رویداد زمین لغزش و باری که زمین لرزه به دامنه های ناپایدار وارد می کند، سبب افزایش ضریب ایمنی و پتانسیل ناپایداری می شود؛ بنابراین ضرورت دارد عوامل ناپایداری و ضریب ایمنی در هنگام زلزله و در شرایط عادی مورد ارزیابی و آنالیز پایداری قرار گیرد. خلیج امیرحسینی (۱۳۸۹: ۱) در مطالعه ای به تعیین ارتباط جناحین مخزن با یکدیگر و پی سد، بررسی ارتباط میان بالادست (مخزن) با پایین دست محور سد، تعیین ارتباط میان نقاط تزریق و چشمه آب گرم تونل انحرافی، تعیین جهت حرکت و سرعت نسبی جریان آب زیرزمینی بین نقاط تزریق و نمونه برداری در صورت مشاهده ردیاب پرداختند. به منظور نیل به اهداف مذکور در این عملیات اقدام به تزریق سه نوع ردیاب در پنج مرحله شد که نتایج به دست آمده بر وجود ارتباط میان ساحل راست و چپ و همچنین بالادست و پایین دست مخزن و سرعت متوسط حدود

۴/۴ تا ۷۴ متر در روز نقاط مختلف و جهت جریان تقریباً شمال- شمال غربی به سمت جنوب شرقی دلالت دارد. کردوانی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی فرار آب از سد استقلال میناب پرداخته است. در این پژوهش درزه آماری در ۱۰ ایستگاه بر روی توده سنگی جناح های سد، حاکی از وجود تعداد ۴ دسته درز اصلی است. نتایج مطالعات حاکی از این است که میزان آب گذاری برای سه حالت مختلف حداقل، میانگین و حداکثر تراز آب در مخزن به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۲ و ۰/۲۹ مترمکعب بر ثانیه است. نتایج حاضر نشان می دهد که ناپیوستگی های با روند شرقی- غربی و شمال شرقی- جنوب غرب و هم چنین پهنه برشی غسل میناب بیشترین تأثیر را در فرار آب از مخزن سد دارند. نتایج مطالعات ژئوفیزیکی در محدوده سد آب زیرزمینی حاجی قشلاق توسط مهدی خانی و همکاران، ۱۳۹۴ نشان داد که پس از تصحیح و مدل سازی، غسل زیرسطحی بزرگی طول آبراهه را قطع کرده و در صورت بی توجهی می توانست فرار آب بسیاری را ایجاد کند. در نهایت بهترین محل و موقعیت برای احدث یک بند زیرسطحی تعیین و پس از انواع آزمایشات ژئوتکنیکی، بند زیرزمینی در منطقه روستای حاجی قشلاق (آرپاچای) احدث شد. ستوده و همکار (۱۳۹۵) به بررسی فرار آب از پشت سد سارادان ایرانشهر پرداختند. با توجه به تحلیل های انجام شده، استفاده از تزریق در دو یا سه ردیف برای بیشتر نواحی طول سد بسیار مناسب است. مدل پیشنهادی برای آب بندی سد این است که دیواره نفوذناپذیری در بالادست سد احدث شود که به غشاء نفوذناپذیر اتصال یابد. این طرح از نظر فنی قابل اجرا بوده، اما در اتصال دیواره آب بند بتنی به غشاء نفوذناپذیر، نیازمند دقت بسیاری است. با برداشتن لایه ریپراپ در بالادست سد می توان غشاء نفوذناپذیر را بر روی بدنه سد اجرا کرده و پس از آن لایه ریپراپ را مجدد در سر جای خود



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه، به همراه موقعیت سد کهیر.

a: تصویر ماهواره‌ای استان سیستان و بلوچستان و موقعیت آن نسبت به کشورها و استان‌های همجوار، **b:** تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه به همراه موقعیت سد کهیر (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۲. نمایی از وضعیت حوزه آبریز سد کهیر و موقعیت سد نسبت به آن‌ها (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

قرار داد. عالی انوری و همکاران (۱۳۹۸) به مطالعه فرار آب از پی و تکیه‌گاه‌های سد آزاد کردستان با استفاده از روش زمین‌آماری پرداختند و نتایج حاصل از مدلسازی عددی نشان‌دهنده فرار آب در حدود ۴۵۰ لیتر بر دقیقه (۷/۵ لیتر بر ثانیه) از پی و تکیه‌گاه‌های سد است. از سوی دیگر، در پایین‌دست سد مقدار آب نشتی از سد و چشمه‌های پایین‌دست به‌طور مرتب اندازه‌گیری شده که در حدود ۳۵۰ لیتر بر دقیقه است که نشان‌دهنده ارتباط نزدیک میان مدل‌سازی انجام‌شده و مقادیر اندازه‌گیری‌شده است.

ساختگاه این سد در فاصله ۱۱۰ کیلومتری غرب شهر چابهار و در ۴ کیلومتری شمال روستای کهیر واقع شده است (شکل ۱). این سد به‌عنوان سد مخزنی دومنظوره، قسمت عمده نیازهای آب شرب درازمدت شهرها و روستاهای چابهار، کنارک و آب کشاورزی مورد نیاز دشت کهیر را تأمین خواهد کرد. هدف از مطالعه حاضر، تحلیل هندسی ساختاری محدوده سد و مشخص کردن ساختارهایی که موجب ناپایداری تکیه‌گاه‌ها و دیواره‌های مخزن سد و تعیین روندهای غالب منطقه است که می‌تواند باعث فرار آب از مخزن سد شود. میزان نزولات جوی در منطقه با توجه به میانگین بارندگی مطابق با آمار ارائه‌شده توسط اداره هواشناسی چابهار در یک دوره ده ساله از ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹ حدود ۱۷۹ میلی‌متر است (هواشناسی چابهار، ۱۳۹۹). شکل (۲) وضعیت حوزه آبریز سد کهیر را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر به منظور بررسی روند اصلی شکستگی‌های حاکم بر منطقه، نیاز به انجام بررسی‌هایی در مورد گسل‌های منطقه است؛ از این رو با نرم‌افزار Sterionet و Dips اقدام به ترسیم نمودار گل‌سرخ‌ی از آن‌ها شده است. برای تهیه این نمودارها ابتدا اقدام به برداشت مشخصات گسل‌های منطقه‌ای و همچنین گسل‌های محدوده مورد مطالعه از جمله امتداد آن‌ها شد (مارشاک و همکار، ۱۳۸۱: ۲۸). با استفاده از نرم‌افزارهای مذکور برای درک بهتر خواننده از وضعیت ساختارهای در محدوده سد، نمودار گل‌سرخ‌ی برای گسل‌های منطقه و محدوده مورد مطالعه ترسیم شد (شکل ۷). براساس معیارهای تجربی، گسیختگی صفحه‌ای در شرایطی رخ می‌دهد که شیب صفحه ناپیوستگی کمتر از شیب تکیه‌گاه و اختلاف امتداد آن‌ها کمتر از ۲۰ درجه باشد (شریعت جعفری، ۱۳۷۵: ۱۳۵). ضمن آنکه زاویه اصطکاک داخلی سطح ناپیوستگی باید کمتر از زاویه شیب ناپیوستگی باشد؛ به منظور تعیین زون گسیختگی صفحه‌ای بر روی شبکه استریوگرافی، قطب ناپیوستگی‌ها و قطب صفحه دیواره بر روی شبکه استریونت ترسیم می‌شود. در تعیین گسیختگی صفحه‌ای از نرم‌افزار Roc Plane استفاده شده است. با توجه به شرایط لغزش صفحه‌ای با استفاده از نرم‌افزار Dips محدوده‌ای بین قطب صفحه تکیه‌گاه و مرکز استریونت تعیین می‌شود. کلیه قطب‌هایی که در آن محدوده قرار می‌گیرند دارای شیب کمتر از شیب تکیه‌گاه و دارای امتدادی با اختلاف حداکثر $\pm 20^\circ$ با امتداد تکیه‌گاه هستند. محدوده‌ای که بین ناحیه فوق و دایره اصطکاک قرار دارد، محدوده گسیختگی صفحه‌ای است. محدوده گسیختگی گوه‌ای، ناحیه بین صفحه تکیه‌گاه و دایره اصطکاک است. ناپیوستگی‌هایی که تقاطع صفحات آن‌ها در این محدوده قرار گیرد،

پتانسیل گسیختگی گوه‌ای دارند (میر زینلی یزدی، ۱۳۸۵: ۷۳). در بررسی وضعیت ساختگاه نیاز است که به بررسی تحلیل تعادل حدی گسیختگی‌های صفحه‌ای پرداخته شود. ضریب اطمینان گسیختگی صفحه‌ای با استفاده از روش تعادل حدی از رابطه زیر به دست می‌آید (معماریان، ۱۳۸۱: ۵۶):

$$F = \frac{CA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p} S$$

که در جدول (۳) توضیحات هر پارامتر به صورت جداگانه آورده شده است.

جدول ۱. توضیحات پارامترهای ذکر شده در فرمول بالا

SF = فاکتور ایمنی
U = نیروی آب منفذی ایجاد شده در صفحه لغزش (تن)
W = وزن بلوکی که جابه‌جا می‌شود (تن)
ϕ = ضریب اصطکاک سطح لغزش (درجه)
C = چسبندگی (تن بر مترمربع)
V = نیروی آب منفذی در ترک کششی (تن)
A = سطح لغزش (مترمربع)
ψ_p = زاویه شیب ناپیوستگی با افق (درجه)

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

در ادامه شرح مختصری درباره گسل‌های برداشت شده در محدوده ساختگاه سد کهیر و بررسی خصوصیات آن‌ها پرداخته شده است. به منظور تحلیل شکستگی‌های منطقه، سیستم درزهای محدوده در مناطق مختلفی از تکیه‌گاه‌ها که دسته درزهای اصلی وجود داشته‌اند، برداشت شده است. در مرحله بعد سعی شده است با انجام بررسی‌های آماری بر روی آن‌ها و با ترسیم نمودار گل‌سرخ‌ی درزها در محدوده مورد نظر، تحلیل ساختاری برای محدوده مورد بررسی ارائه شود. بدین منظور با پیاده کردن درزهای برداشتی بر روی شبکه استریوگرافی و بررسی تمرکز آن‌ها، دو سیستم درز اصلی برای تکیه‌گاه راست و دو سیستم درز اصلی برای تکیه‌گاه چپ تشخیص داده شده است.

مشخصات سازه‌های سد

سد کهیر از نوع بتن غلطکی و به ارتفاع ۵۲/۵ متر از پی احداث شده است. تراز عادی آب دریاچه در رقوم ۵۶ متر از سطح دریا است و گنجایش سد در حدود ۲۶۷ میلیون مترمکعب خواهد بود (مهندسیین مشاور پژوهاب- آیفن، ۱۳۸۱: ۲۰). به منظور تأمین آب شهرهای چابهار و کنارک و روستاهای اطراف و همچنین تأمین آب مورد نیاز کشاورزی دشت کهیر، احداث یک سد مخزنی بر روی رودخانه کهیر و خطوط انتقال آب از سد مخزنی کهیر به شهرهای و روستاهای مذکور در نظر گرفته شده است.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه مورد مطالعه بین این دو نوار افیولیتی متشکل از پوسته قاره‌ای پرکامبرین محصور است که در زمان قبل از ژوراسیک میانی بخشی از توده پلاتفرمی ایران را می‌ساخته و در زمان تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین مشخصات کرانه جنوبی اوراسیا را داشته است (King et al, 1975: 422). قطعات سنگی بیگانه شامل بلوک‌های افیولیتی و رسوبات اقیانوسی در توالی مربوط به میوسن مکران هستند (آقانباتی، ۱۳۸۳: ۱۱۶). این ناحیه از کشور در نوشته‌های بیشتر زمین‌شناسان به عنوان بخشی از اقیانوس تتیس قلمداد شده که در موارد بسیاری ادامه زون افیولیتی زاگرس را از آن عبور داده و به افیولیت‌های چمن در پاکستان وصل می‌کنند. این محور در نوشته‌های مختلف (Berberin, 1981: 235) بقایای پوسته اقیانوسی تتیس محسوب شده و محل اتصال ابرقاره‌های گندوانا و اوراسیا به شمار رفته است. بررسی واحدهای سنگ‌چینه‌ای، سنگ‌شناسی و پدیده‌های ماگمایی این ناحیه نشان می‌دهد که از جنبه‌های مختلف، این بخش از کمربند زمین‌ساختی، با نواحی همجوار تفاوت‌هایی دارد (Snead, 1970: 324). مرز این اختلاف‌ها در روند

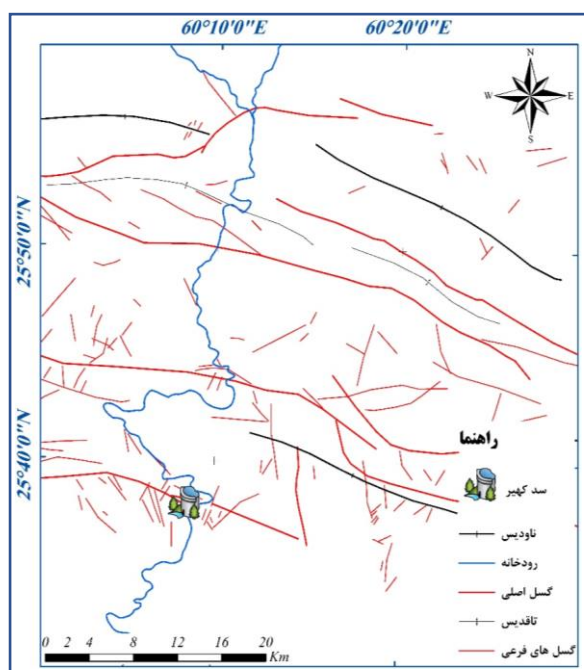
عمومی عمان (خطواره دیبا) - میناب (عمان - اورال) است که به طور نسبی منطبق بر گسل میناب و جداکننده رشته کوه‌های زاگرس و کوه‌های مکران است (Berberin 1981:242; Stocklin 1984:5). در ناحیه مکران، چین‌ها روند تقریبی شرقی - غربی دارند که با جهت پیشینه کوتاه‌شدگی و فشار پیشینه در راستای شمال خاور، هماهنگی دارد (Farhoudi, 1977:666). بیشتر با راندگی همراه است؛ به گونه‌ای که به تقریب مرز بسیاری از واحدهای سنگ‌چینه‌ای از نوع راندگی است (آقانباتی، ۱۳۸۳: ۴۳۵). راندگی‌ها سبب شده‌اند تا پوسته مکران از ۵۰ تا ۷۰ درصد کوتاه شود (Glennie et al, 1990:780). گسل‌های مکران، از نظر زمان پیدایش و نقش، از چند نوع‌اند: گسل‌های طولی^۱ که در آغاز از نوع گسل‌های عادی بوده و همزمان با شکل‌گیری حوضه به وجود آمده‌اند؛ ولی در رژیم‌های فشارشی بعدی به گسل‌های راندگی با شیب تند به سمت شمال و شمال شرقی تبدیل شده‌اند (درویش‌زاده، ۱۳۷۰: ۴۸). از ادامه گسل‌ها در ژرفا اطلاعی در دست نیست، ولی کینگ و همکاران (۱۹۷۵)، ادامه گسل‌ها را تا عمق ۲۰ کیلومتر می‌دانند (King et al, 1975:8). گسل‌های مزدوج^۲ از نظر روند و نوع به دو گروه قابل تقسیم‌اند؛ گروه نخست، دارای روند شمال باختری هستند که سازوکار امتدادلغز راستگرد دارند. گروه دوم، دارای روند شمال خاوری با سازوکار حرکتی امتدادلغز چپ‌گردند. گسل‌های مزدوج، روند شرقی - غربی ساختارها را قطع می‌کنند و به یک همگرایی به طرف شمال، در داخل منشور بر افزایشده اشاره دارند (آقانباتی، ۱۳۹۲: ۳۲۷). زمان پیدایش گسل‌های عادی^۳ که در ساحل مکران دیده می‌شوند (شکل ۳)، کواترن

1- Longitudinal Faults

2- Conjugated Faults

3- Normal Fault

شمال غرب - جنوب شرق است. محدوده مخزن از رسوبات مولاسی میوسن - پلیوسن تشکیل شده است. قسمت‌های تپه ماهوری و کم ارتفاع داخل مخزن ناشی از فرسایش رسوبات مارنی است که این فرسایش کماکان ادامه دارد. همچنین در محدوده مخزن دشت‌های کوچکی تشکیل شده است که در سطح آن کشاورزی انجام می‌شود (نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کهریز).



شکل ۳. نقشه ساختاری منطقه به همراه موقعیت محور سد کهریز (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

وضعیت گسل‌ها و درزها

در بحث زمین‌شناسی ساختمانی، گسل‌ها آن دسته از ساختارهایی هستند که باعث گسیختگی و به دنبال آن جابه‌جایی واحدهای دو سوی خود می‌شوند. گسل‌ها در اندازه‌های متفاوتی وجود دارند. طی بررسی‌های انجام شده حدود ۱۳ گسل در تکیه‌گاه‌های سد برداشت و مورد شناسایی قرار گرفته است (شکل ۶) که اکثر این گسل‌ها از سازوکاری نرمال تبعیت می‌کنند (شکل‌های ۴ و ۵).

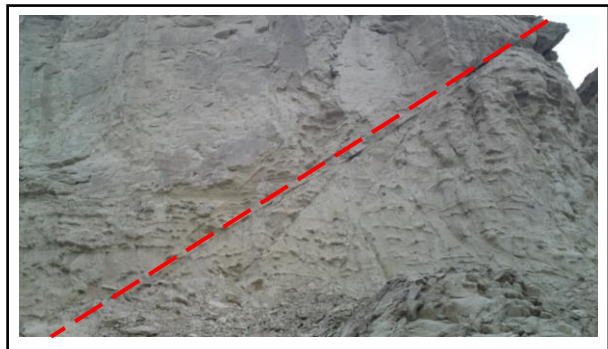
دانسته شده (نبوی، ۱۳۵۵: ۸۷) و پذیرفته شده است که خطی بودن حاشیه شمالی پادگانه‌های دریایی و همچنین بالآمدن سواحل مکران نتیجه عملکرد این گسل‌هاست و حرکت‌های قائم این گسل‌ها سبب شده تا پادگانه‌های دریایی در سطوح تراز گوناگون سامان گیرند (آقابات، ۱۳۸۳: ۲۷۸).

ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی محدوده سد

در محل سد کهریز رودخانه از شرق به سمت غرب جریان دارد. تراز کف رودخانه در محل محور سد حدود ۲۴ متر بالاتر از سطح دریا است. دره محل سد V شکل بوده و شیب دامنه‌های آن نامتقارن است. شیب توپوگرافی در هر دو تکیه‌گاه از محدوده بستر تا حدود ۶۰ تا ۷۰ متر بالاتر از سطح دریا حدود ۲۶ درجه و سپس در تکیه‌گاه راست در تراز حدود ۷۰ متر از سطح دریا بسیار ملایم شده و به صورت یک تراس مرتفع نمود می‌یابد. چنین شرایطی تا حدود ۷۰ متر (به صورت افقی) ادامه داشته و پس از آن شیب توپوگرافی به بیش از ۶۰ درجه افزایش می‌یابد. در تکیه‌گاه چپ برخلاف تکیه‌گاه راست ابتدا شیب توپوگرافی از تراز ۶۰ متر تا حدود ۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا به بیش از ۶۰ درجه (به صورت موضعی قائم) رسیده و پس از آن به صورت یک تراس دیده می‌شود. عرض بستر جاری رودخانه در محل سد بین ۲۰ تا ۳۰ متر و عرض بستر سیلابی آن بالغ بر ۱۲۰ متر است (مهندسین مشاور پژوهاب - آیفن، ۱۳۸۱: ۳۵). به طور کلی محدوده سد از نظر ریخت‌شناسی به سه بخش تقسیم می‌شود: الف - رشته‌کوه جنوبی که محل احداث سد در آن انتخاب شده است؛ ب - رشته‌کوه شمالی که در منتهی‌الیه مخزن سد واقع می‌شود؛ ج - منطقه تپه ماهوری و کوه‌های کم ارتفاع که بخش اصلی مخزن در این قسمت واقع می‌شود. روند دو رشته‌کوه جنوبی - شمالی، شرقی - غربی تا

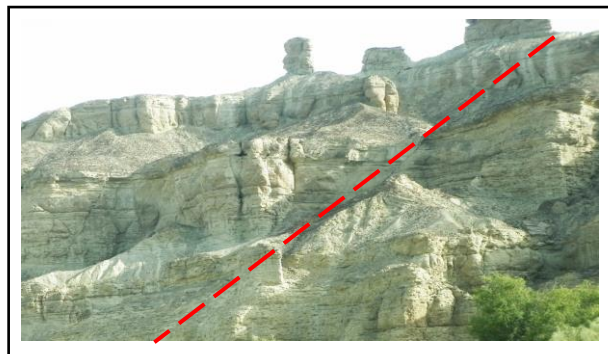
بحث و نتایج

در واحدهای سنگی کل پهنه مورد بررسی، گسل‌ها با طول و عملکردهای متفاوتی قابل مشاهده هستند که هر یک وضعیت هندسی خاص دارند. نمودارهای گل سرخی درزهای محدوده مورد مطالعه (تکیه‌گاه راست و چپ) نیز در شکل (شکل ۷) نشان داده شده است. براساس این نمودارهای گل سرخی، ما ابتدا به تحلیل و مقایسه ساختارهای محدوده مورد مطالعه با هم (گسل و درز) و سپس مقایسه آن‌ها با ساختارهای کلان منطقه پرداخته‌ایم. ابتدا به مقایسه نمودارهای ترسیم شده ساختارهای مورد مطالعه پرداختیم که با مقایسه اشکال ذکر شده این نتیجه حاصل می‌شود که درزهای منطقه روندی مشابه با گسل‌های محدوده سد ندارند؛ اما به نظر می‌رسد که در میدان تنشی مشابه با میدان تنش گسل‌ها به وجود آمده است. در مرحله بعد به مقایسه ساختارهای منطقه‌ای با ساختارهای محدوده مورد مطالعه پرداخته شد (شکل ۷) و مشخص گردید که گسل‌های منطقه‌ای دارای روند غالب شمال غرب - جنوب شرق هستند؛ در صورتی که گسل‌های محدوده مورد مطالعه دارای روند غالب شمالی - جنوبی هستند؛ بنابراین با توجه به بررسی‌های انجام شده و شباهت تقریباً نسبی نمودارهای گل سرخی و نیز وجود گسل‌هایی با روند خاص در این نمودارها می‌توان به نتایجی در مورد وضعیت شکستگی‌های ناحیه دست‌یافت. این نتایج در ادامه و در بخش تحلیل ساختاری منطقه مورد مطالعه ذکر خواهد شد.

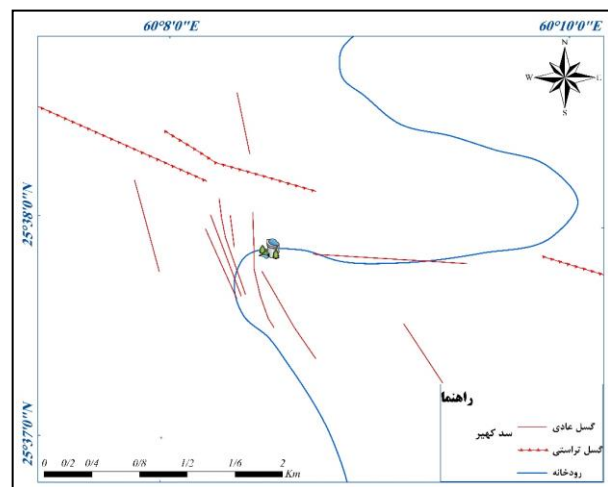


شکل ۴. تصویر اثر گسل F₆ (دید به سمت شمال)
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

در این بخش با ترسیم نمودارهای گل سرخی در کل محدوده سد، تحلیل آماری گسل‌ها و درزها انجام شده است. همچنین سازوکار حرکتی گسل‌ها و در ادامه خواص زمین‌ساختی تنش‌های مؤثر بر الگوی ساختاری کلی منطقه نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

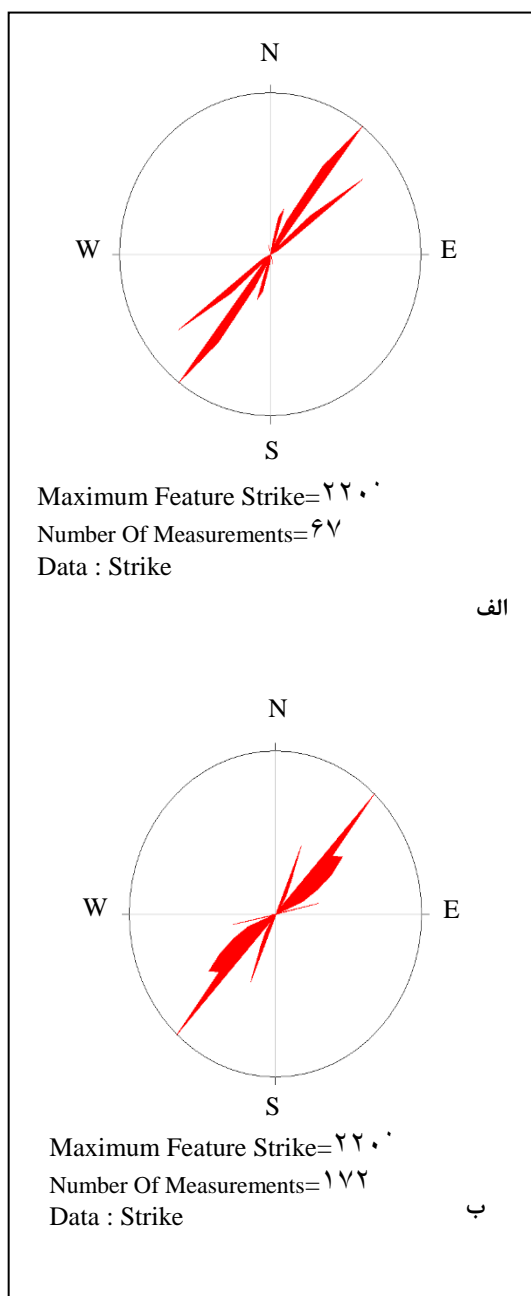


شکل ۵. تصویر اثر گسل F₇ (دید به سمت شمال غرب)
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



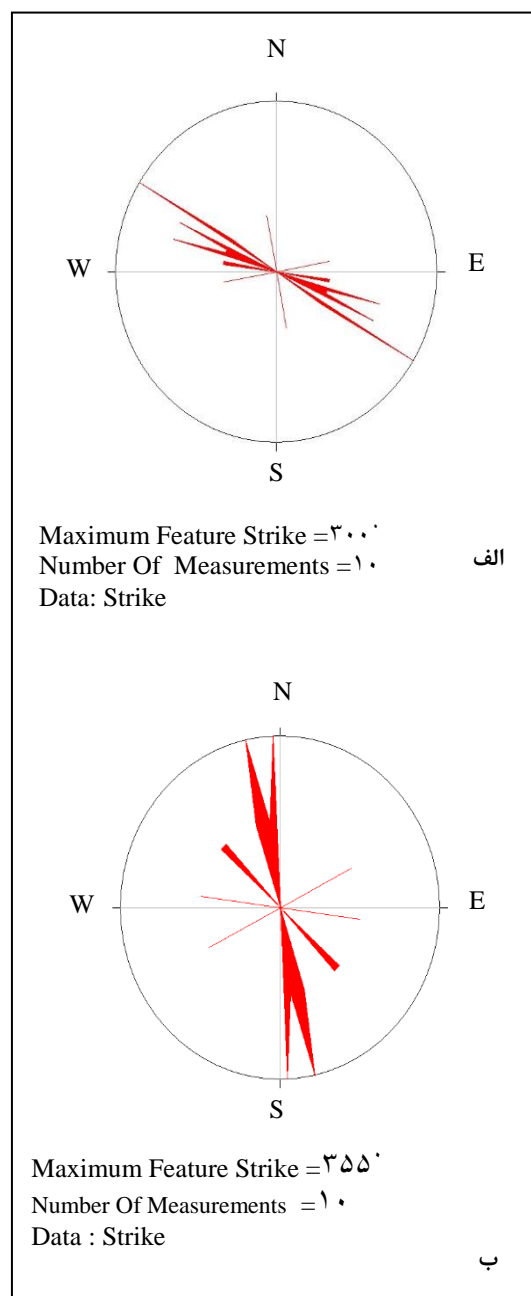
شکل ۶. نقشه گسل‌های محدوده مورد مطالعه

(اصلاح شده پس از مهندسین مشاور پژوهاب-آیفن، ۱۳۸۱)



شکل ۸. الف) نمودار ترسیمی بر مبنای پارامتر امتداد درزهای تکیه‌گاه راست محدوده مورد مطالعه. ب) نمودار ترسیمی بر مبنای پارامتر امتداد درزهای تکیه‌گاه چپ محدوده مورد مطالعه.

(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۷. الف) نمودار ترسیمی بر مبنای پارامتر امتداد گسل‌های منطقه ای (ب) نمودار ترسیمی بر مبنای پارامتر امتداد گسل‌های محدوده سد

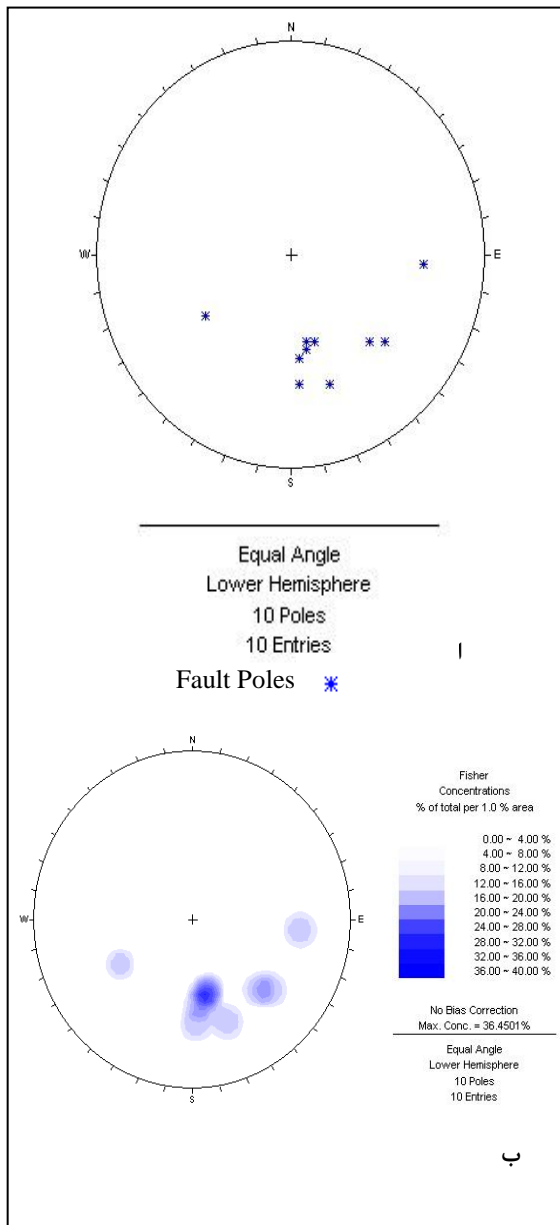
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

بررسی‌های سینماتیکی

بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، در مجموع ۱۳ گسل در محدوده مورد مطالعه شناسایی شده‌است. هر یک از گسل‌ها و دسته درزهای منطقه با توجه به مشخصات شیب و جهت شیب، به‌تنهایی یا در ارتباط با یکدیگر می‌توانند بر روی پایداری تکیه‌گاه‌های سد کهیر تأثیر گذاشته و گسیختگی‌های صفحه‌ای یا گوه‌ای ایجاد کنند؛ بنابراین شناسایی گسل‌ها و دسته درزها با پتانسیل ایجاد ناپایداری، ضروری است. در ادامه نتایج حاصل از بررسی‌های سینماتیکی آورده شده‌است. بدین منظور ابتدا قطب و تمرکز شیب و جهت شیب ناپیوستگی‌ها (درزها و گسل‌ها) و صفحات دسته درزها بر روی شبکه استریونت مشخص شده و سپس محدوده گسیختگی صفحه‌ای و گوه‌ای برای هر دیواره تعیین شده‌است.

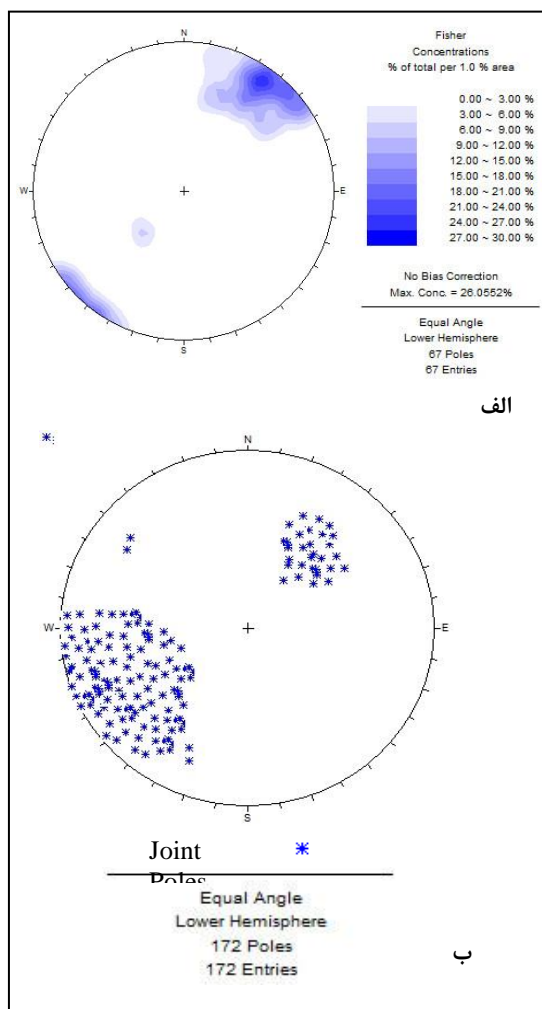
بررسی تمرکز شیب و جهت شیب ناپیوستگی‌های تکیه‌گاه‌های سد

در شکل (۹) قطب و تمرکز شیب و جهت شیب گسل‌های محدوده مورد مطالعه مشخص است. (شکل ۱۰، الف) نیز روند اصلی گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

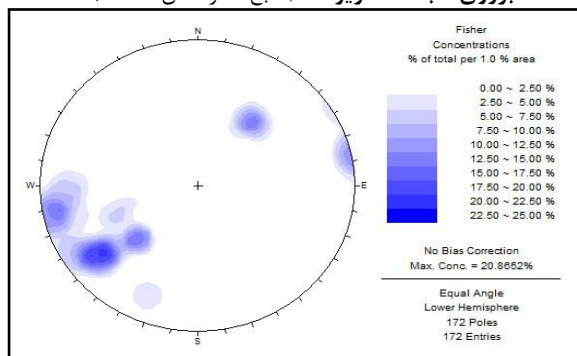


شکل ۹. الف) قطب گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه بر روی شبکه استریونت. ب) تمرکز شیب و جهت شیب گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه بر روی شبکه استریونت (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

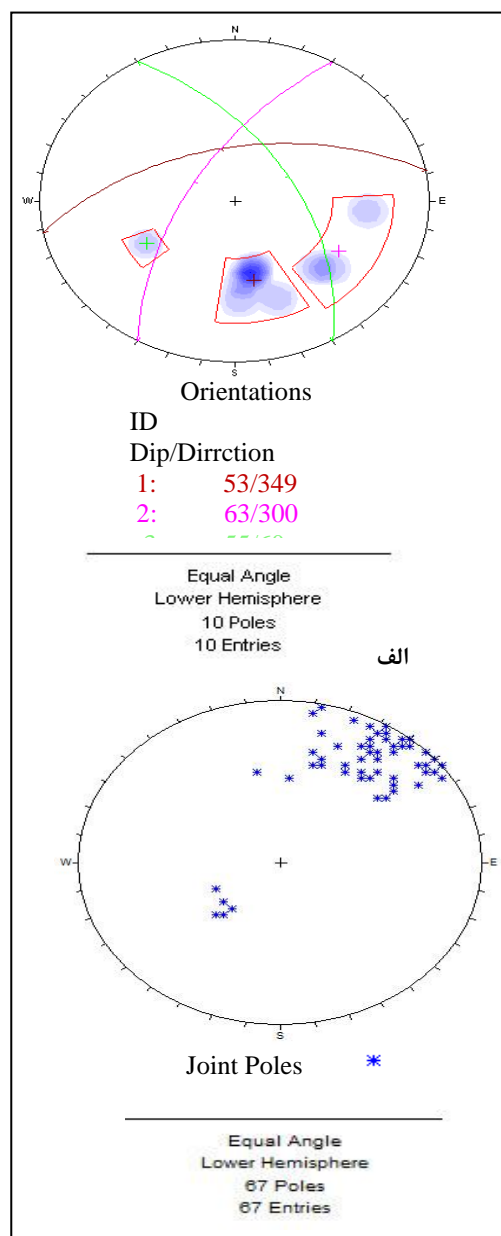
۲۲۰/۸۹ (دسته درز ۱)، ۰۳۹/۴۲ (دسته درز ۲) و در تکیه‌گاه چپ دارای مختصات شیب و جهت شیب ۲۱۷/۵۶ (دسته درز ۱)، ۰۶۱/۷۱ (دسته درز ۲) است.



شکل ۱۱. الف) تمرکز شیب و جهت شیب درزهای تکیه‌گاه راست روی شبکه استریونت. ب) قطب درزهای دیواره چپ بر روی شبکه استریونت. (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۱۲. تمرکز شیب و جهت شیب درزهای تکیه‌گاه چپ بر روی شبکه استریونت (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۱۰. الف) روندهای اصلی گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه بر روی شبکه استریونت. ب) قطب درزهای تکیه‌گاه راست بر روی شبکه استریونت (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

قطب و تمرکز شیب و جهت شیب درزها نیز به ترتیب در شکل‌های (۱۰، ب)، (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده‌اند. همچنین در (شکل ۱۳) صفحات اصلی درزها در تکیه‌گاه‌های راست و چپ ارائه شده‌است. براساس این شکل‌ها دسته درزهای محدوده مورد مطالعه در تکیه‌گاه راست دارای مختصات شیب و جهت شیب

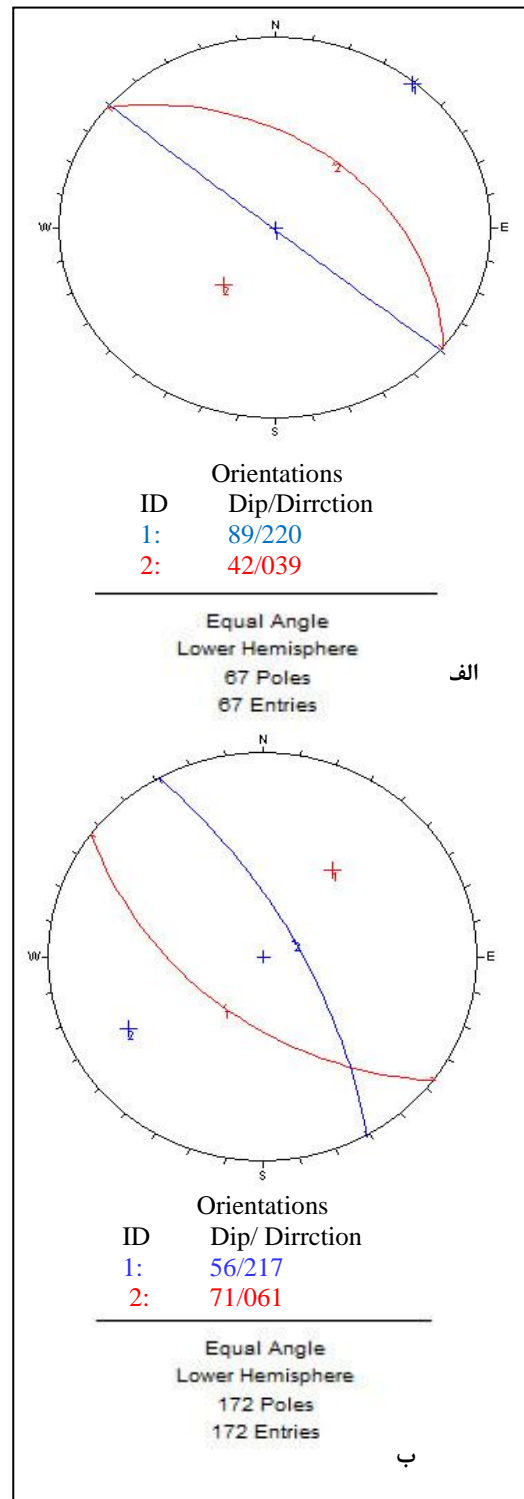
بررسی پتانسیل گسیختگی‌ها در تکیه‌گاه‌های

سد

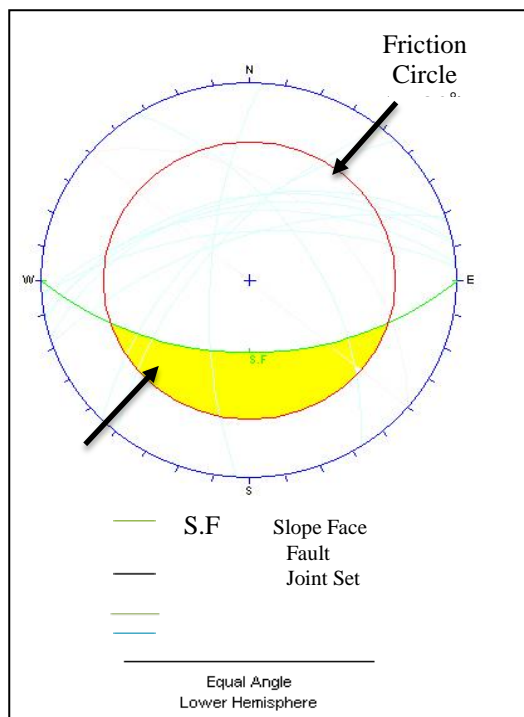
بررسی‌های سینماتیکی انجام شده در این بخش شامل بررسی پتانسیل گسیختگی‌های صفحه‌ای و گوه‌ای حاصل از گسل‌ها و دسته درزهای محدوده مورد مطالعه است. در بررسی پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای، قطب گسل‌ها و دسته درزها به همراه قطب و صفحه دیواره بر روی استریوگرافی ترسیم شده و سپس ناپیوستگی‌های دارای پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای مشخص شده است. در این بررسی‌ها، تکیه‌گاه‌های راست و چپ به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. به منظور بررسی گسیختگی گوه‌ای، صفحات گسل‌ها و دسته درزها به همراه صفحه تکیه‌گاه بر روی شبکه استریوگرافی ترسیم و محدوده گسیختگی گوه‌ای تعیین شده است. به دلیل اینکه در هر تکیه‌گاه تعداد قابل توجهی تقاطع صفحات ناپیوستگی در محدوده گسیختگی گوه‌ای قرار می‌گیرد؛ تعداد صفحات ناپیوستگی بر روی شبکه استریوگرافی برای مشخص کردن ناپیوستگی‌هایی که با هم تقاطع دارند، دشوار و همراه با خطا است؛ بنابراین در این بخش تنها محدوده گسیختگی گوه‌ای برای هر دیواره بر روی شبکه استریونت نشان داده شده است. در بخش تحلیل تعادل حدی کلیه ناپیوستگی‌هایی که با یکدیگر تقاطع دارند، مشخص شده و به صورت جداگانه پتانسیل گسیختگی گوه‌ای آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نتایج حاصل از بررسی سینماتیکی پتانسیل گسیختگی‌های گوه‌ای و صفحه‌ای در تکیه‌گاه‌های سد ارائه می‌شود.

تکیه‌گاه راست

جهت شیب این تکیه‌گاه برابر با ۱۸۰ درجه بوده و شیب آن ۵۰ درجه است. پس از مشخص کردن قطب صفحات گسل و دسته درزها و صفحه شیب تکیه‌گاه بر روی صفحه استریونت، با استفاده از نرم‌افزار Dips



شکل ۱۳. الف) تصویر صفحات اصلی سیستم درزهای تکیه‌گاه چپ بر روی شبکه استریونت. ب) تصویر صفحات اصلی سیستم درزهای تکیه‌گاه راست بر روی شبکه استریونت
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۱۵. محدوده گسیختگی گوه‌ای تکیه‌گاه راست
($\alpha = 50^\circ$)

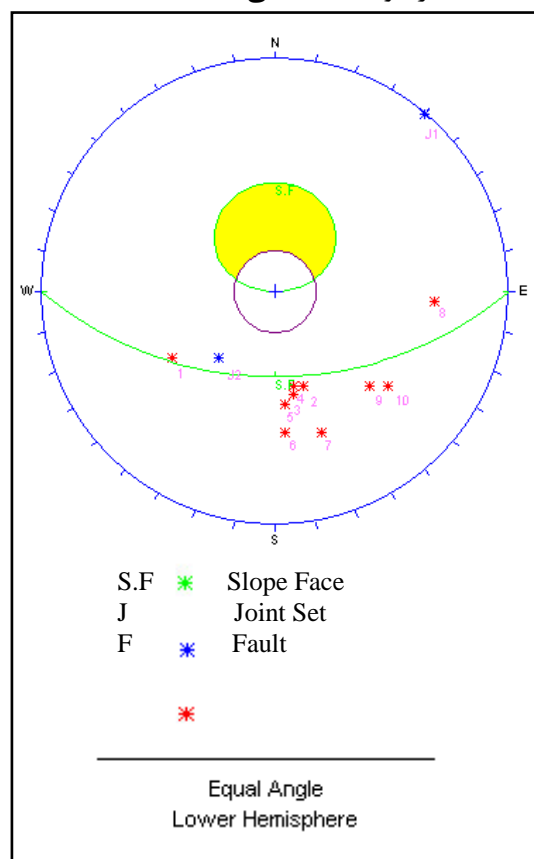
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

بنابراین با توجه به (شکل ۱۴) هیچ‌کدام از ناپیوستگی‌های تکیه‌گاه راست، پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای را ندارند. (شکل ۱۵) محدوده گسیختگی گوه‌ای در تکیه‌گاه راست را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل، پتانسیل گسیختگی گوه‌ای برای ناپیوستگی‌های متعددی در این تکیه‌گاه وجود دارد که به دلیل تعداد زیاد صفحات، نتیجه‌گیری براساس این شکل به راحتی مقدور نیست؛ به همین دلیل پتانسیل گسیختگی گوه‌ای بر روی صفحات ناپیوستگی به وسیله نرم افزار Swedge انجام شده است که نتایج آن ارائه خواهد شد.

تکیه‌گاه چپ

جهت شیب این تکیه‌گاه برابر با ۰۰۰ درجه بوده و شیب آن ۶۵ درجه است. برای تکیه‌گاه چپ نیز با توجه به مشخصات شیب و جهت شیب صفحات گسل و دسته درزها، محدوده پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای

5.0، محدوده گسیختگی صفحه‌ای تعیین شد. (شکل ۱۴) محدوده گسیختگی صفحه‌ای در تکیه‌گاه راست را نشان می‌دهد که در این محدوده هیچ‌گونه پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای موجود نیست؛ در نتیجه تکیه‌گاه راست فاقد هر گونه گسیختگی صفحه‌ای است.

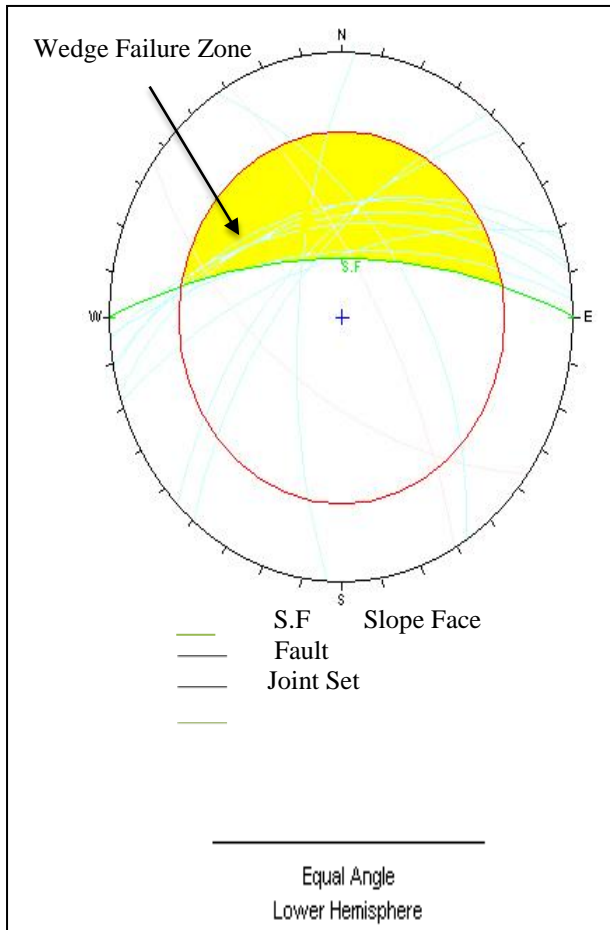


شکل ۱۴. محدوده گسیختگی صفحه‌ای تکیه‌گاه راست
($\alpha = 50^\circ$)

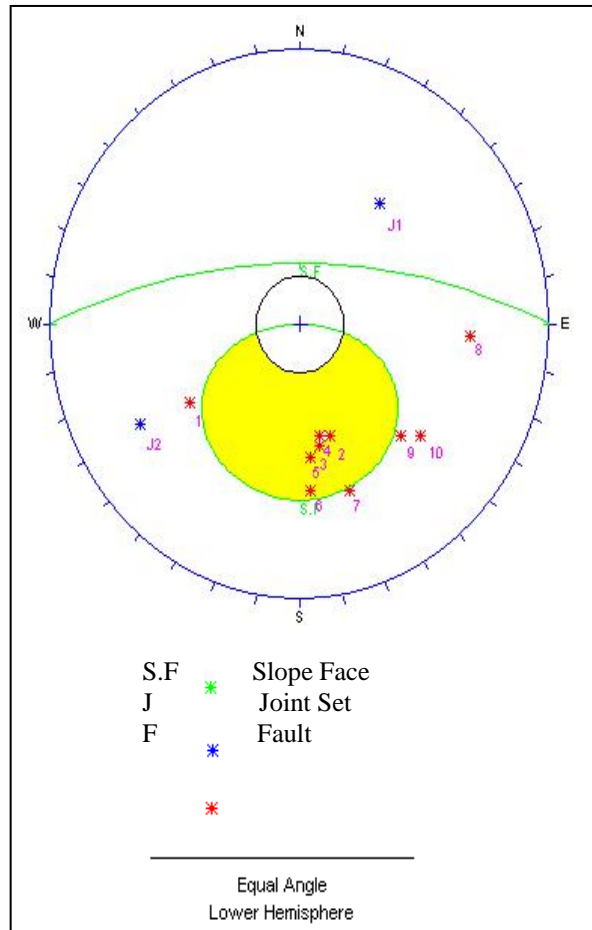
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

می‌باشند. پتانسیل گسیختگی گوه‌ای ناپیوستگی‌های این تکیه‌گاه نیز بررسی خواهد شد.

و گوه‌ای تعیین شده‌است. (شکل ۱۶) محدوده گسیختگی صفحه‌ای در تکیه‌گاه چپ را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷. محدوده گسیختگی گوه‌ای تکیه‌گاه چپ ($\alpha = 65^\circ$).
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۱۶. محدوده گسیختگی صفحه‌ای تکیه‌گاه چپ ($\alpha = 65^\circ$).
(منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

جمع بندی نتایج بررسی های سینماتیکی

در این بخش پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای در تکیه‌گاه‌های راست و چپ در محدوده مورد مطالعه (سد کهیر) تعیین شده و ناپیوستگی‌های (گسل و درز) دارای پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای مشخص شده‌اند. در جدول‌های ۲ و ۳ خلاصه‌ای از بررسی پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای در تکیه‌گاه‌های سد نشان داده شده‌است.

همان‌طور که در شکل (۱۷) مشاهده می‌شود، گسل‌ها و دسته درزهایی که پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای دارند، به شرح زیر می‌باشد: - گسل‌های F_7, F_6 در محدوده گسیختگی صفحه‌ای تکیه‌گاه چپ واقع شده‌اند. شکل (۱۷) محدوده گسیختگی گوه‌ای را در تکیه‌گاه چپ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گسل‌ها و دسته درزهای این تکیه‌گاه دارای پتانسیل متعدد گسیختگی گوه‌ای روی تکیه‌گاه چپ

جدول ۲. نتایج حاصل از بررسی پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای در تکیه‌گاه راست به دلیل حجم بالا فقط تعدادی از داده‌ها آورده شده‌است

ردیف	ناپیوستگی شیب / جهت شیب	شیب تکیه‌گاه
۱	$F_1 = ۶۱/۶۶$	*
۲	$F_3 = ۳۴۹/۵۵$	*
۳	$F_5 = ۳۵۴/۵۲$	*
۴	$F_6 = ۳۵۶/۶۱$	*
۵	$J_1 = ۲۱۸/۸۷$	*
۶	$J_2 = ۴۰/۴۱$	*
* فاقد لغزش صفحه‌ای ✓ دارای لغزش صفحه‌ای		

(اصلاح شده پس از مهندسی مشاور پژوهاب- آبن، ۱۳۸۱).

جدول ۳. نتایج حاصل از بررسی پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای در تکیه‌گاه چپ، به دلیل حجم بالا فقط تعدادی از داده‌ها آورده شده‌است

ردیف	ناپیوستگی شیب / جهت شیب	شیب تکیه‌گاه
۱	$F_1 = ۶۰/۵۵$	*
۲	$F_3 = ۳۴۸/۵۴$	*
۳	$F_5 = ۳۵۵/۵۳$	*
۴	$F_6 = ۳۵۸/۶۳$	✓
۵	$J_1 = ۲۱۷/۵۶$	*
۶	$J_2 = ۶۱/۷۱$	*
* فاقد لغزش صفحه‌ای ✓ دارای لغزش صفحه‌ای		

(اصلاح شده پس از مهندسی مشاور پژوهاب- آبن، ۱۳۸۱).

تحلیل پایداری در تکیه‌گاه‌های سد

تحلیل پایداری در تکیه‌گاه‌های سد تحت شرایط استاتیکی یا همراه با لرزش و نیروهای دینامیکی، از مسائل با اهمیت در پایداری شیب تکیه‌گاه‌های سد است. اهمیت این تحلیل زمانی بیشتر می‌شود که نتیجه تحلیل پایداری دیواره‌های یک سد منجر به ناپایداری تکیه‌گاه‌ها شود. به‌طور کلی تحلیل پایداری شیب، مقایسه‌ای بین تنش‌های القایی ناشی از ثقل یا زلزله در دامنه شیب‌دار و مقاومت برشی آن به‌علاوه

نیروی‌های مقاوم اضافه‌شده به آن است. روش‌های تعادل حدی موجود یک، دو یا سه معادله از معادلات تعادل بین نیروهای افقی، نیروهای قائم و گشتاور را اغناء کرده و براساس آن‌ها عمل می‌کنند. تحلیل مناسب یک شیب تحت شرایط استاتیکی نیازمند عواملی از قبیل ترکیب تکیه‌گاه‌ها، شرایط بارگذاری خارجی، توزیع مصالح زمین، شرایط آب زیرزمینی، وزن مخصوص مصالح و مقاومت آن‌هاست؛ بنابراین روش‌های تعادل حدی تحت شرایط استاتیکی، با ارضاء کردن معادلات تعادلی ضریب ایمنی شیب را محاسبه می‌کند. ضریب ایمنی شیب «نسبت بین مقاومت برشی بسیج‌شده در راستای سطح گسیختگی و تنش برشی حدی در شیب» است. به‌طور کلی با افزایش ضریب ایمنی، احتمال گسیختگی کاهش می‌یابد. از آنجاکه پارامترهای ورودی برای به‌دست‌آوردن ضریب ایمنی از یک محل تا محل دیگر بسیار متفاوت است، نمی‌توان به‌سادگی یک رابطه معین بین احتمال گسیختگی و ضریب ایمنی ارائه کرد. در اغلب موارد، عامل اصلی ابهام در تغییر پایداری شیب، مقاومت توده سنگ و شرایط آب زیرزمینی است. عوامل دیگری که سبب ابهام در تعیین ضریب ایمنی و جلوگیری از توان مقایسه یک منطقه با منطقه دیگر می‌شود، شامل محدودیت‌های موجود در مدل‌سازی و همچنین میزان دقت کاربر در تعیین نقاط بحرانی گسیختگی است (وتوکوری و همکاران، ۱۳۷۹: ۲۲) و (شریعت جعفری، ۱۳۷۵: ۱۵). در مطالعات انجام‌شده، وزن حجمی توده سنگ برابر با ۲۰۷ و چسبندگی و زاویه اصطکاک مواد پرکننده ناپیوستگی‌ها براساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایشات به ترتیب برابر با $C=200\text{Kpa}$ و $\varphi=20$ در نظر گرفته شده‌است (معماریان، ۱۳۸۱: ۶۴).

جدول ۴. نتایج حاصل از بررسی پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای در تکیه‌گاه راست، به دلیل حجم بالا فقط تعدادی از داده‌ها آورده شده‌است (اصلاح شده پس از مهندسين مشاور پژوهاب- آيفن، ۱۳۸۱).

ردیف	ناپيوستگي شيب / جهت شيب	ضريب ايمني
۱	$F_6 = 358/63$	۱/۳۵
۲	$F_7 = 340/65$	۱/۹۶
۳	$F_8 = 275/68$	*
۴	$F_9 = 315/60$	*
۵	$J_1 = 217/56$	*
۶	$J_2 = 61/71$	*
* : ناپيوستگي‌هاي بدون گسيختگي صفحه‌اي n: گسيختگي صفحه‌اي پايدار (ضريب ايمني < ۱/۳)		

بررسی پایداری شیب تکیه‌گاه چپ

مطابق با جدول (۵)، برای دو گسل F_6 و F_7 با مشخصات شیب و جهت شیب $358/63$ و $340/65$ احتمال وقوع لغزش صفحه‌ای وجود دارد. شیب ظاهری این ناپيوستگي‌ها محاسبه شده و وضعیت پایداری این تکیه‌گاه توسط نرم‌افزار Roc Plane مورد بررسی قرار گرفته‌است که نتایج آن در شکل‌های (۱۸ و ۱۹) مشاهده می‌شود. براساس شکل‌های مذکور، ضریب ایمنی محاسبه شده برای گسل‌های F_6 و F_7 به ترتیب برابر با $1/35$ و $1/96$ است.

جدول ۵. نتایج حاصل از بررسی پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای در تکیه‌گاه چپ

ردیف	ناپيوستگي شيب / جهت شيب	ضريب ايمني
۱	$F_1 = 61/66$	*
۲	$F_3 = 349/55$	*
۳	$F_5 = 354/52$	*
۴	$F_6 = 356/61$	*
۵	$J_1 = 218/87$	*
۶	$J_2 = 40/41$	*
* : ناپيوستگي‌هاي بدون گسيختگي صفحه‌اي n: گسيختگي صفحه‌اي پايدار (ضريب ايمني < ۱/۳)		

(اصلاح شده پس از مهندسين مشاور پژوهاب- آيفن، ۱۳۸۱).

تحلیل تعادل حدی گسیختگی‌های صفحه‌ای

همان‌طور که ذکر شد، در حالتی که امتداد صفحه دیواره و امتداد ناپيوستگي موازی یا تقریباً موازی و همچنین شیب ناپيوستگي کمتر از شیب دیواره باشد، پتانسیل وقوع گسیختگی صفحه‌ای وجود دارد. با فرض اینکه اختلاف بین امتداد صفحه دیواره و امتداد ناپيوستگي کمتر از 30° درجه باشد، ضریب اطمینان برای زوایای شیب مختلف ناپيوستگي با استفاده از رابطه فوق محاسبه شده‌است. با توجه به نتایج بررسی‌های سینماتیکی و تعیین ناپيوستگي‌های دارای پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای، این نتیجه به دست آمد که در تکیه‌گاه‌های سد گسیختگی صفحه‌ای روی خواهد داد. به کمک تحلیل تعادل حدی می‌توان ضریب ایمنی گسیختگی‌های پیش‌بینی شده را تعیین و در مورد پایداری و احتمال وقوع ریزش قضاوت کرد. در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار Roc Plane v.2.0، ناپيوستگي‌هایی که پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای دارند، به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای هر دیواره با توجه به شیب و جهت شیب ناپيوستگي‌ها، زاویه شیب ظاهری ناپيوستگي‌ها محاسبه شده و در تحلیل‌ها این زاویه ملاک قرار گرفته‌است. نتایج حاصل از بررسی پایداری ناپيوستگي‌های با پتانسیل لغزش صفحه‌ای بر روی تکیه‌گاه‌های سد در جدول (۴ و ۵) ارائه شده‌است.

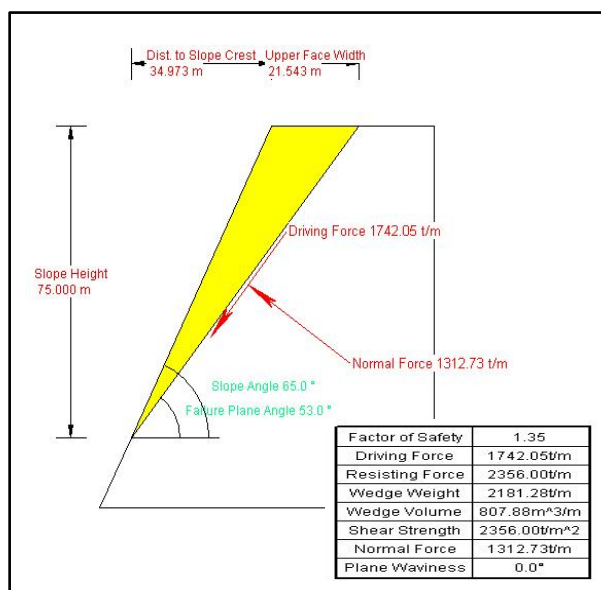
بررسی پایداری شیب تکیه‌گاه راست

براساس بررسی‌های انجام شده در در پیش‌تر مشخص شد که در تکیه‌گاه راست احتمال بروز لغزش صفحه‌ای وجود ندارد. در نتیجه تمامی ناپيوستگي‌های موجود در تکیه‌گاه راست فاقد لغزش صفحه‌ای هستند. (جدول ۴) نتایج حاصل از بررسی پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای در تکیه‌گاه راست را نشان می‌دهد.

در نتیجه منطقه مورد مطالعه از لحاظ گسیختگی صفحه‌ای پایدار است، اما در مورد گسیختگی گوه‌ای بررسی‌های انجام شده با نرم‌افزار Swedge نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه گوه‌های تشکیل شده دارای گسیختگی پایدار است. که این نشان می‌دهد محدوده سد منطقه‌ای امن در برابر گسیختگی گوه‌ای است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تکیه‌گاه‌های سد از لحاظ پتانسیل وقوع ریزش اعم از گسیختگی صفحه‌ای و گوه‌ای پایدار است؛ از این رو ناپیوستگی‌های موجود در تکیه‌گاه‌های سد از این نظر دارای ضریب مورد اطمینان هستند. همچنین بررسی‌های انجام شده بر روی امکان فرار آب از ناپیوستگی‌های موجود در تکیه‌گاه‌های سد نیز نشان داد که در منطقه مورد مطالعه روند گسل‌ها تقریباً موازی با محور سد است؛ بنابراین فاقد هر گونه فرار آب است، ولی دسته درزها در هر دو تکیه‌گاه روندی عمود بر محور سد دارند و امکان فرار آب در آن‌ها وجود دارد که با بررسی ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها این امکان نیز کاهش می‌یابد.

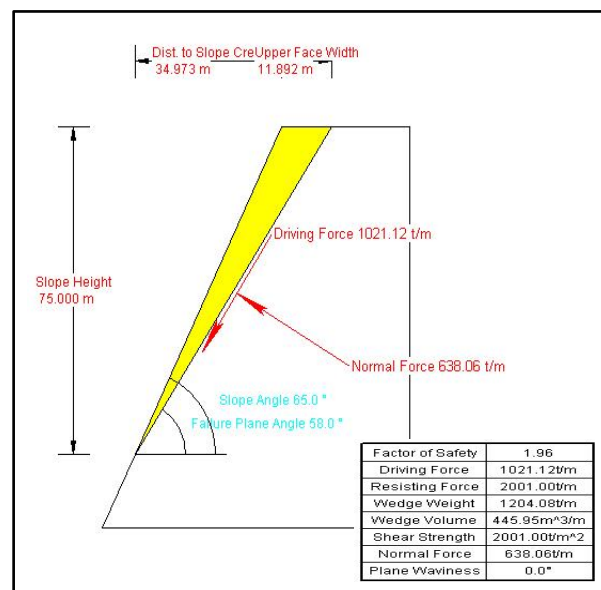
نتیجه‌گیری

به‌طور کلی سازوکار گسل‌های محدوده مورد مطالعه به استثناء سه مورد که دارای سازوکار فشارشی است، کششی است. درزهای منطقه نیز دارای سازوکار کششی هستند. با مقایسه سازوکار گسل‌های منطقه‌ای با سازوکار ناپیوستگی‌های محدوده مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که گسل‌های منطقه متأثر از فرورانش زون مکران است. تحلیل‌های سینماتیکی به‌منظور بررسی وقوع ریزش در تکیه‌گاه‌های راست و چپ سد کهیر انجام گرفت و نتایج آن نشان داد که تکیه‌گاه راست ریزش صفحه‌ای نخواهیم داشت؛ اما در تکیه‌گاه چپ گسل‌های F_6 و F_7 پتانسیل وقوع ریزش صفحه‌ای دارند. پس از بررسی به روش تعادل حدی



شکل ۱۸. ضریب ایمنی لغزش صفحه‌ای گسل F_6 بر روی تکیه‌گاه چپ

(بررسی شده پس از مهندسین مشاور پژوهاب- آیفن، ۱۳۸۱).



شکل ۱۹. ضریب ایمنی لغزش صفحه‌ای گسل F_7 بر روی تکیه‌گاه چپ

(بررسی شده پس از مهندسین مشاور پژوهاب- آیفن، ۱۳۸۱).

در بررسی‌های انجام شده با نرم‌افزار Roc Plane که نتایج حاصل از آن‌ها در (جدول‌های ۴ و ۵) آمده است، مشخص شد که گسل‌ها و دسته درزهای محدوده سد دارای پتانسیل گسیختگی صفحه‌ای پایدار هستند؛

آقناباتی، علی. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

http://s2.picofile.com/file/7215614294/Geology_of_Iran.pdf.html

خلج امیرحسینی، یوسف. (۱۳۸۹). بررسی فرار آب از مخازن سدها (مطالعه موردی: ساختگاه سد سلمان فارسی). نخستین همایش منطقه‌ای آب. کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه.

https://www.civilica.com/Paper-INCWR01-INCWR01_202.html

درویش‌زاده، علی. (۱۳۷۰). زمین‌شناسی ایران: چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسیم. انتشارات امیرکبیر، تهران.

<https://www.gisoom.com/book/11184894>

ستوده، مهدیه؛ رهنما، جعفر. (۱۳۹۵). بررسی فرار آب از پشت سد سارادان ایرانشهر، کنفرانس ملی دیده‌بانی آینده زمین با محوریت آب و هوا، کشاورزی و محیط زیست. شیراز، مرکز توسعه آموزش‌های نوین ایران (متانا)، (۱۳۹۵).

https://www.civilica.com/Paper-HSEESAE01-HSEESAE01_040.html

شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، مهندسی مشاور پژوهاب- آبفن، مطالعات مرحله دوم سد کهیر، گزارش زمین‌شناسی مهندسی و مکانیک سنگ، ۱۳۸۱.

abfan.ir

شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، مهندسی مشاور پژوهاب- آبفن، مطالعات مرحله دوم سد کهیر، گزارش لرزه‌خیزی- لرزه‌زمین ساخت و تحلیل خطر زمین‌لرزه و برآورد پارامترهای طراحی لرزه‌ای دینامیکی سد، مهر ۱۳۸۱، ۱۶۰ ص.

abfan.ir

شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، مهندسی مشاور پژوهاب- آبفن، مطالعات ساختاری و نوزمین‌ساختی در محدوده ساختگاه سد کهیر، اردیبهشت ۱۳۹۱، ۵۰ ص.

abfan.ir

شریعت جعفری، محسن. (۱۳۷۵). زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایدار شیب‌های طبیعی). انتشارات سازه. ۲۱۸ ص.

<http://www.lib.ir/book/70591879>-و-<http://www.lib.ir/book/70591879> زمین-لغزش-مبانی-و-اصول-پایداری-شیبهای-طبی

ضریب ایمنی پتانسیل وقوع ریزش صفحه‌ای برای گسل‌های F₆ و F₇ به ترتیب برابر با ۱/۳۵ و ۱/۹۶ است؛ از این رو گسل F₇ دارای موقعیت بحرانی است. از لحاظ پتانسیل گسیختگی گوه‌ای، گسل‌های متقاطع دیواره راست فاقد گسیختگی گوه‌ای هستند. پتانسیل گسیختگی گوه‌ای در دیواره راست فقط بین دسته درز J₁ و گسل F₁ وجود دارد که آن هم دارای ضریب ایمنی مورد اطمینانی است. ناپیوستگی‌های محدوده مورد مطالعه از لحاظ امکان فرار آب نیز مورد بررسی قرار گرفت که در بررسی گسل‌های محدوده مورد مطالعه مشخص شد که روند غالب این گسل‌ها موازی با محور سد است؛ به همین دلیل گسل‌های منطقه از لحاظ امکان فرار آب منطقه‌ای امن محسوب می‌شوند. بررسی درزه‌ها در تکیه‌گاه راست نشان داد که درزه‌ها در تکیه‌گاه راست به صورت عمود بر محور سد قرار می‌گیرند که این نشان‌دهنده پتانسیل امکان فرار آب از درزه‌های تکیه‌گاه راست است. با بررسی ویژگی‌های ناپیوستگی‌های منطقه پی بردیم که در تکیه‌گاه راست امکان فرار آب کم خواهد بود. درزه‌های تکیه‌گاه چپ نیز شرایطی مشابه با تکیه‌گاه راست داشتند. به‌طور کلی امکان فرار آب در محدوده مورد مطالعه کم است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود واجب می‌دانند، از مدیریت وقت اداره آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان به دلیل همکاری و در اختیار قراردادن گزارش‌ها و هماهنگی در جهت بازدید از محل احداث سد کهیر و همچنین از شرکت مهندسی مشاور پژوهاب آبفن قدردانی کنند.

منابع

اداره هواشناسی چابهار. (۱۳۹۹). خلاصه آمار استان سیستان و بلوچستان.

<https://sbmet.ir>

<https://lib1.ut.ac.ir:8443/site/catalogue/846697>

وتوکوری، ویان اسنان؛ کاتسویاما، کونیهیسا. (۱۳۷۹). درآمدی بر مکانیک سنگ. ترجمه محمد فاروق حسینی، نشر کتاب دانشگاهی.، ۲۹۶ ص.

<https://www.adinehbook.com/gp/product/9646904106>

Berberian, M. and King, G.C. P. (1981), Towards a paleogeography and tectonic evaluation of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences, volume 18, number2. PP .210- 265.

https://www.researchgate.net/publication/237172097_Toward_a_paleogeography_and_tectonic_evolution_of_Iran

Glennie, K. W. clarke, M. W. H. boeuf, M. G. A. pillar, W. F. H. and reinhardt, B. M. (1990), Intrrelationship of Makran – Oman Mountains belt of convergence. From Robertson, Searle and Ries, A.c. (eds). The Geology and Tectonics of Oman Region. Geological society, London, Special publication. No. 49, pp. 773-786.

https://sp.lyellcollection.org/content/49/1/773?ck=nc_k

Snead, R.E. (1970), Physical geography of the Makran coastal plain of Iran. final report., U.S. off. Nav. Res., Geogr. Programs. 715p.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Physical-Geography-of-the-Makran-Coastal-Plain-of-Falcon-Snead/256f70b4fa2f2674ed5f34b4e2adc6ee7e78c048>

King, G. C. P. bilhaam, R. G. campbell, J. W. mckenzie. D. P., niazi, M. (1975), Detection of elastic strainfields caused by fault creep events in Iran. NATURE., G. B., D. A. VOL.253, N 5491; PP. 420- 423

<https://www.nature.com/articles/253420a0>

Farhoudi, G., karig, D.E. (1977), Mkran of Iran and Pakistan as an active arc system. Geology, 5(11), PP. 664-668.

<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/5/11/664/198712/Makran-of-Iran-and-Pakistan-as-an-active-arc?redirectedFrom=PDF>

میر زینلی یزدی، سید حسین؛ پور کرمانی، محسن؛ کارخیران، اعظم. (۱۳۸۵). تحلیل پایداری معدن سنگ آهن سه چاهون. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی. دوره ۱۶، شماره ۶۱، ص ۶۳-۷۴.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=63526>

عالی انوری، علی؛ سلطانی محمدی، سعید؛ میری، مریم. (۱۳۹۸). برآورد فرار آب از پی و تکیه‌گاه‌های سد آزاد کردستان با استفاده از روش زمین‌آماری شاخص چندگانه و مقایسه آن با مقادیر واقعی، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین. ۲۸ (۱۱۱)، ۱۹۵-۲۰۲.

http://www.gsjournal.ir/article_88038_8823.html

کردوانی، موسی؛ حافظی مقدس، ناصر؛ رضانی اومالی، رمضان. (۱۳۹۳). ارزیابی پهنه‌های فرار آب از سد استقلال میناب، نشریه زمین‌شناسی مهندسی. جلد هشتم، شماره ۴.

<https://jeg.khu.ac.ir/article-1-1712-fa.pdf>

مارشاک، هیندا؛ میترا، گوتمام. (۱۳۸۱). روش‌های اساسی زمین‌شناسی ساختمانی. ترجمه محسن پور کرمانی و حسین معتمدی. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی. ۵۰۳ ص.

<https://www.adinehbook.com/gp/product/9644570510>

معماریان، حسین. (۱۳۸۱). زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک. انتشارات دانشگاه تهران. ۹۵۳ ص.

<https://www.adinehbook.com/gp/product/9640340006>

مهدیخانی، بهنام؛ مهدیخانی، فرزاد؛ حاجی‌زاده، فرنوش. امکان‌سنجی و تعیین موقعیت احداث سد آب زیرزمینی حاجی قشلاق با استفاده از مطالعات ژئوفیزیکی، کنگره بین‌المللی تخصصی علوم و زمین. انجمن علمی علوم و زمین (۳ تا ۵ اسفند ۱۳۹۴).

<https://www.sid.ir/fa/Seminar/ViewPaper.aspx?ID=34971>

نبوی، محمدحسن. (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور. ۱۰۹ ص.