



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آب‌نخرداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد فارس

علی‌رضا مجیدی^{۱*}، حمید حسینی‌مردی^۲

- ۱- استادیار بخش تحقیقات هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

سدهای زیرزمینی سازه‌های آبی هستند که برای مسدود یا منحرف کردن جریان‌های زیرزمینی و زیرسطحی، ساخته می‌شوند. استفاده از این فن‌آوری با هدف مدیریت، مهار، حفاظت و توسعه منابع آبی کوچک، در نواحی خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران، توصیه شده است. آبخیز سد زیرزمینی اسلام‌آباد به دلیل کوهستانی بودن بدون سفره آب زیرزمینی آبرفتی است و منابع آب زیرزمینی محدود به آب زیرسطحی در آبراهه‌ها و یا آب سازند سخت است. از این‌رو، سد زیرزمینی یکی از راه‌کارهای تأمین آب در چنین شرایطی است. ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی توده‌سنگ و آبرفت بستر آبراهه، تأثیر مستقیمی بر موفقیت، ایمنی و پایداری طرح‌های سد زیرزمینی دارد. در این پژوهش، در انتخاب محل سد، بررسی‌ها و مطالعه‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیک با هدف تعیین ساختارهای زمین‌شناسی، چینه‌شناسی و جنس سازندها، سطوح ناپیوستگی و گسل‌ها، دانه‌بندی، خصوصیات هیدرودینامیکی و ضخامت آبرفت بستر، موقعیت و شرایط آب‌های زیرزمینی در پی سد و منطقه آبرگیر، به منظور برآوردی از حجم آبرگیر و آب‌بندی آن، انجام شد. موفق نبودن و شکست طرح‌های سدسازی، اغلب ناشی از بررسی‌های ناکافی مهندسی و زمین‌شناسی در مراحل قبل از ساخت است.

مواد و روش‌ها

آبخیز سد زیرزمینی اسلام‌آباد در شهرستان ارسنجان استان فارس و در بلندی‌های پهنه زاگرس است. شکل کنونی آبخیز و شکستگی‌های پرشمار در محدوده مطالعه‌شده به تبعیت از ویژگی‌های این پهنه و متأثر از وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی منطقه است.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی: Majidi_geo@yahoo.com

استناد: مجیدی، ع.ر.؛ حسینی‌مردی، ح.؛ ۱۴۰۴. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد فارس. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۲): ۹۸-۱۱۷.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.367366.1598

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دوره ۳۸، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۹۸ تا ۱۱۷.

نویسندگان ©

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



در این پژوهش، گروه های آب شناختی خاک در سطح آبخیز، با هدف برآورد آب زیرسطحی و بررسی ویژگی های زمین شناسی مهندسی توده سنگ و آبرفت بستر در محل ساختگاه سد برای برآورد حجم و ذخیره سازی آب به وسیله سد زیرزمینی، ارزیابی شد. از این رو، ابتدا اطلاعات پایه در رابطه با منطقه، به ویژه زمین شناسی مهندسی آن جمع آوری و بر این اساس، پیشنهادی برای ساخت سد زیرزمینی در نظر گرفته شد. با استفاده از نتایج به دست آمده از گمانه ها، برداشت های میدانی، آزمون های برجا، بررسی های آزمایشگاهی و زمین شناسی ناحیه، وضعیت و ویژگی های ژئوتکنیکی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام آباد، بررسی و ارزیابی شد.

نتایج و بحث

در منطقه مطالعه شده، منابع آب زیرزمینی محدود به آب زیرسطحی در آبرفت بستر آبراهه و یا آب سازند سخت (توده سنگ های درز و شکاف دار) بود. در محل ساختگاه سد اسلام آباد، مهم ترین عامل زمین شناسی مؤثر بر ذخیره سازی آب، وضعیت و تراکم سطوح ناپیوستگی (گسل و ساختارهای درز و شکاف موجود در توده سنگ ها و دانه بندی و تراکم آبرفت بستر)، بود. نتایج بررسی های درزه نگاری مهندسی بیانگر وجود چند دسته درزه در توده سنگ های منطقه مطالعه شده به ویژه در تکیه گاه راست، با توان آگذری، بود. با بررسی های میدانی و نتایج حفاری، ضخامت هوازده سنگ در محل ساختگاه میان ۱ تا ۲ متر برآورد شد. آبرفت در بستر محل ساختگاه سد لایه بندی بود و ضخامت آن میان ۶ تا ۱۰ متر بود. آبرفت اولیه بستر با ضخامت ۱ تا ۱/۵ متر درشت دانه بود و مابقی ضخامت آبرفت از شن و ماسه همراه با درصدی ریزدانه، تشکیل شده بود. نفوذپذیری آبرفت بستر به دلیل تراکم متوسط تا نسبتاً کم (حدود 10^{-4} سانتی متر بر ثانیه) بود. چسبندگی آبرفت میان $0/03$ تا $0/3$ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و اصطکاک داخلی میان ۲۸ تا ۳۹ درجه، متغیر بود. نتایج آزمایش مکانیک خاک نمونه های آبرفت، بیانگر درشت دانه بودن آبرفت بود و سنجه های مقاومت برشی آن نشان دهنده پایداری مناسب خاک برای گودبرداری و نشست بود.

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج درزه نگاری و بررسی آماری ویژگی های مهندسی دسته درزه ها، بیانگر توان فرار آب در تکیه گاه راست بود که دلیل آن رفتار متفاوت توده سنگ ها در دو سوی بستر سد، در مقابل تنش های زمین ساخت منطقه، بود. این پدیده، به دلیل ضخامت لایه بندی، اندازه تراکم و درصد رس در بدنه توده سنگ های آهکی و تناوب لایه های سخت با میان لایه های شکل پذیر و مارن یا شیل نسبتاً نرم بود. نتایج طبقه بندی مهندسی توده سنگ با روش (RMR) نشان داد که توده سنگ های ساختگاه سد در رده سنگ های مناسب برای اجرای سازه بودند. نتایج حدود اتزبرگ و اندازه چسبندگی خاک محل ساختگاه سد، نشان داد که بیشتر ویژگی های رس های موجود در آبرفت بستر، از گروه کائولینیت و ایلیت بوده و ظرفیت تورمی و چسبندگی کمی دارند. نتایج تجزیه شیمیایی آب نشان داد، سدیم، کاتیون غالب در ترکیب شیمیایی آب زیرسطحی منطقه، بود. از این رو، این یافته نشان دهنده ظرفیت واگرایی در بخش ریزدانه آبرفت بستر بود. ضخامت، تراکم و دانه بندی آبرفت بستر و نتایج آزمایش لوفران، نشان داد که آبرفت ساختگاه، از دیدگاه ضریب ذخیره، حجم ذخیره و آب دهی، برای ساخت سد زیرزمینی در حد متوسط بود. از این رو، بر اساس این یافته ها، مناسب ترین روش بهره برداری از آبگیر، روش زهکش تحتانی با ایجاد زهکش هایی در طول آبگیر، پیشنهاد می شود و روش پمپاژ درون چاهی مناسب نخواهد بود.

واژگان کلیدی

آبرفت، آزمایش لوفران، طبقه بندی مهندسی توده سنگ، فرار آب، نفوذپذیری

مقدمه

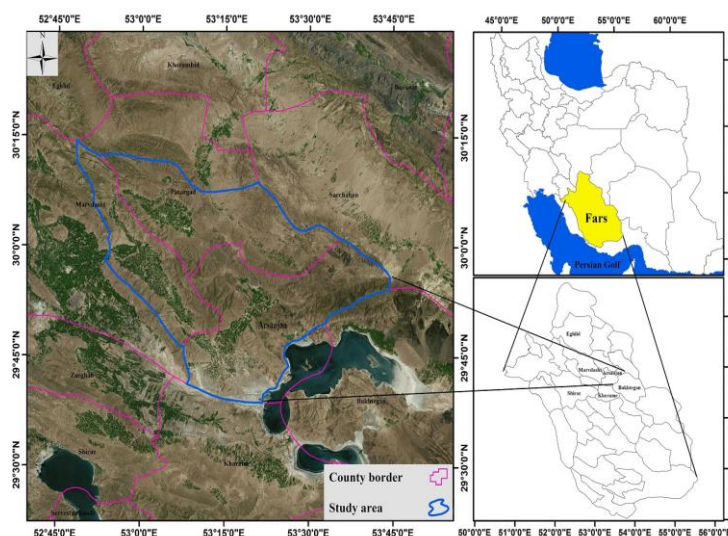
ضرورت توسعه و نیاز به منابع آبی به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد. روش‌های مختلفی برای توسعه منابع آبی مطرح شده است. یکی از مهمترین روش‌ها، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، مهار، ذخیره‌سازی و توسعه منابع آب زیرزمینی و مدیریت و بهینه‌سازی مصرف آن است. سدها می‌توانند به‌طور مؤثری توزیع جغرافیایی و زمانی منابع آب را مهار کنند. یکی از جدی‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی که بسیاری از کشورها با آن مواجه هستند، کمبود منابع مناسب آب است. غیرقابل پیش‌بینی بودن اندازه و زمان بارش باران، همراه با طولانی بودن دوره‌های خشک‌سالی، بر امنیت غذایی و آبی در نواحی خشک و نیمه‌خشک تأثیرگذار است (سردسرنی و همکاران ۲۰۱۷، کوتیر ۲۰۱۱). راه‌حل‌های خردمندانه در انتخاب محل، تعادل میان بوم‌شناسی و انرژی را ایجاد می‌کند و همچنین آسیب‌های زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. در مقابل، انتخاب نادرست محل می‌تواند پیامدهای منفی داشته باشد (آدهیکاری و همکاران ۲۰۱۹). سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که جریان‌های زیرقشری و یا آب‌های زیرزمینی را منحرف، مسدود و یا مهار کرده و سبب ایجاد آبگیرهای آبی مهارشونده در زیرزمین و در محیطی متخلخل و دور از آلودگی و تبخیر، می‌شوند. با توجه به عملکرد سد زیرزمینی، اساسی‌ترین عامل در موفقیت ساخت و بهره‌برداری سد زیرزمینی، تعیین مکان مناسب برای ساخت این سازه است. سنج‌ها و شرایط زمین‌شناسی و هندسی مکان، نقش بسیار مهمی در طراحی، شیوه اجرا و اندازه بهره‌وری سد زیرزمینی خواهند داشت. در میان ویژگی‌های محیطی و طبیعی، مهمترین آن ویژگی زمین‌شناسی است (ایچیکاوا ۱۹۹۹). بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی برای انتخاب محل سد با هدف تعیین ساختارهای زمین‌شناسی، جنس سازندها، لایه‌بندی، سطوح ناپیوستگی و گسل‌ها، چینه‌شناسی و توالی لایه‌ها، دانه‌بندی، موقعیت و شرایط آب‌های زیرزمینی در پی سد و منطقه آبگیر، انجام می‌شود. در پژوهشی سپاسکیان و همکاران (۲۰۲۰)، بررسی‌های

زمین‌شناسی و ژئوتکنیک را در چهار گروه اصلی انجام دادند. این ۴ گروه شامل: (۱) زمین‌شناسی المان‌های سد و سازه‌های جانبی (پی‌سد، سرریزها و محل استقرار ساختار بهره‌برداری)، (۲) زمین‌شناسی منطقه آبگیر و پی (آب‌بندی، ضریب ذخیره، نشست)، (۳) پایداری شیب‌ها در محل سد، آبگیر و تکیه‌گاه‌ها، (۴) پی‌جویی منابع مصالح و منابع قرضه که هم از دیدگاه فنی و هم اقتصادی مناسب باشند، بود. ویژگی‌های سازندهای زمین‌شناسی به‌طور کلی تأثیر قابل توجهی بر طراحی و ساخت و بهره‌برداری سدها دارند. چون، این ویژگی‌ها، افزون بر ویژگی‌های و رفتار پی، دسترسی به مصالح ساختمانی را مهار می‌کنند. نتایج بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی سد، برای آگاهی و شناخت ویژگی‌های فضایی نظیر، وضعیت و شرایط سطوح ناپیوستگی (درز و شکاف‌ها) و ارتباط آنها با پایداری تکیه‌گاه‌ها و پی و همچنین، نفوذپذیری، فرار آب و ارتباط آبی آبگیر با توده‌سنگ پی، بسیار مهم است (آدهیکاری و همکاران ۲۰۱۹، گارو و متن ۲۰۲۱، جیانگ و همکاران ۲۰۱۹). یکی از مباحث مربوط به بررسی‌های زمین‌شناسی در انتخاب مکان، نقش مهارکنندگی این عامل‌ها در شیوه ایجاد شکل‌ها، ریخت‌شناسی و پستی‌بلندی سطح زمین از جمله شیب زمین، ریخت‌شناسی رود، تغییرات عرض و راستای بستر، شکل دره و شیب دامنه‌ها، ژرفای سنگ بستر و لایه‌بندی آبرفت بستر و ... است (مون ۲۰۱۸). عامل‌های زمین‌شناسی با تأثیرگذاری بر ویژگی‌های خاک و سنگ‌ها، شرایط ژئوتکنیکی، ایمنی طرح، طراحی، ساخت، فرآیندهای زمین‌ریخت‌شناختی و منابع مصالح طبیعی برای ساخت، در انتخاب محل ساخت، تأثیرگذارند (برهان و وال‌راون ۲۰۱۳). ویژگی‌های زمین‌شناسی در محل سد بسیار مهم است و تأثیر مستقیمی بر موفقیت، ایمنی و پایداری طرح دارد. معیارهای زمین‌شناسی تا حدود زیادی در انتخاب نوع سد، مصالح ساخت، روش اجرا و بهره‌برداری سد، تأثیرگذارند (لیو و همکاران ۲۰۱۹، روی و بهالا ۲۰۱۷، ژانگ و همکاران ۲۰۱۵). ساختگاه سد از دیدگاه زمین‌شناسی و ژئوتکنیک (مانند غیر

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد
آبخیز سد زیرزمینی اسلام‌آباد از توابع شهرستان ارسنجان استان فارس است که در میان طول جغرافیایی 53° و $20'$ تا 53° و $40'$ شرقی و عرض جغرافیایی 29° و $58'$ تا 30° و $10'$ شمالی، واقع است (شکل ۱). جایگاه پیشنهادی این سد زیرزمینی در دره‌ای در ۳۵ کیلومتری شرق شهر ارسنجان و در مختصات (UTM) ۷۴۸۳۰۸ ، ۳۳۱۵۰۵۰، است. روستای اسلام‌آباد ۵۴ خانوار و ۲۹۰ نفر جمعیت دارد. در منطقه مطالعه‌شده، روستاهای اسلام‌آباد و بیکهدان با اسکان تعدادی از خانوارهای عشایر، به‌وجود آمده است. مساحت زمین‌های کشاورزی روستای اسلام‌آباد حدود ۱۱۰ هکتار است که حدود ۳۰ هکتار آن به‌شکل باغ و حدود ۸۰ هکتار نیز به کشت محصولات زراعی اختصاص دارد. یکی دیگر از فعالیت‌های مهم این منطقه دامداری است. بررسی نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان داد که زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سدهای زیرزمینی و به‌ویژه بررسی‌های ژئوتکنیکی چندان سابقه‌ای نداشته و بطور کلی جدا از بررسی‌های معمول دیگر سدها دیده‌نشده است. با توجه به ضرورت بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی در ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد و از آنجایی که در این زمینه تاکنون بررسی انجام‌نشده بود، این پژوهش، برنامه‌ریزی و انجام شد. در این پژوهش تلاش شد تا با بررسی و تحلیل زمین‌شناسی مهندسی جایگاه پیشنهادی برای ساخت این سد زیرزمینی، الگویی کاربردی برای این نوع پژوهش‌ها نیز ارائه شود.

قابل نفوذ بودن سنگ پی، تخلخل و ضریب ذخیرهٔ آبرفت، دوری از منطقه گسلی، نشست نکردن پی، نزدیکی به منابع مصالح بهینه و ... باید شرایط فنی داشته باشد (مرا ۲۰۱۸). ویژگی‌های آبی و سازه‌ای توده‌های سنگی که متأثر از عامل‌ها و شرایط زمین‌شناسی و درز و شکاف‌ها هستند، از مهم‌ترین معیارها در بهره‌برداری، طراحی و ساخت سدها و دیگر سازه‌های آبی، هستند (برهان و همکاران ۲۰۱۷). موفق نبودن و شکست طرح‌های سدسازی، اغلب ناشی از بررسی‌های ناکافی مهندسی و زمین‌شناسی در مراحل قبل از ساخت است. بررسی و ارزیابی‌های دقیق زمین‌شناسی و ژئوتکنیک پیش از ساخت به‌ویژه روی ویژگی‌های هدایت آبی و زمین‌سازه‌ای توده‌سنگ‌ها و نهشته‌های آبرفتی، تضمینی در ایمنی سد هستند (سیساکیان و همکاران ۲۰۲۰، گورکاک و همکاران ۲۰۱۲). تجربیات جهانی در ساخت سدها چالش‌های زمین‌شناسی رایجی مانند نشست و ناپایداری را نشان می‌دهد که در زمان بلایای طبیعی، خطر شکست را افزایش می‌دهد (اسفائو و همکاران ۲۰۲۲). در اتیوپی، میکروسدهایی که از دهه ۱۹۷۰ برای مبارزه با خشک‌سالی و تقویت امنیت غذایی ساخته شده‌اند، به‌دلیل غفلت از بررسی‌های زمین‌شناسی و مهندسی، با شکست‌ها و مشکلات عملیاتی مواجه شده‌اند (تیرونه ۲۰۰۵، برهان و همکاران ۲۰۱۶). بررسی‌های جامع مهندسی زمین‌شناسی برای ایمنی و کارایی سدها بسیار مهم هستند (اسفائو و همکاران ۲۰۲۲).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه‌شده.
Figure 1- Location of the studied area.

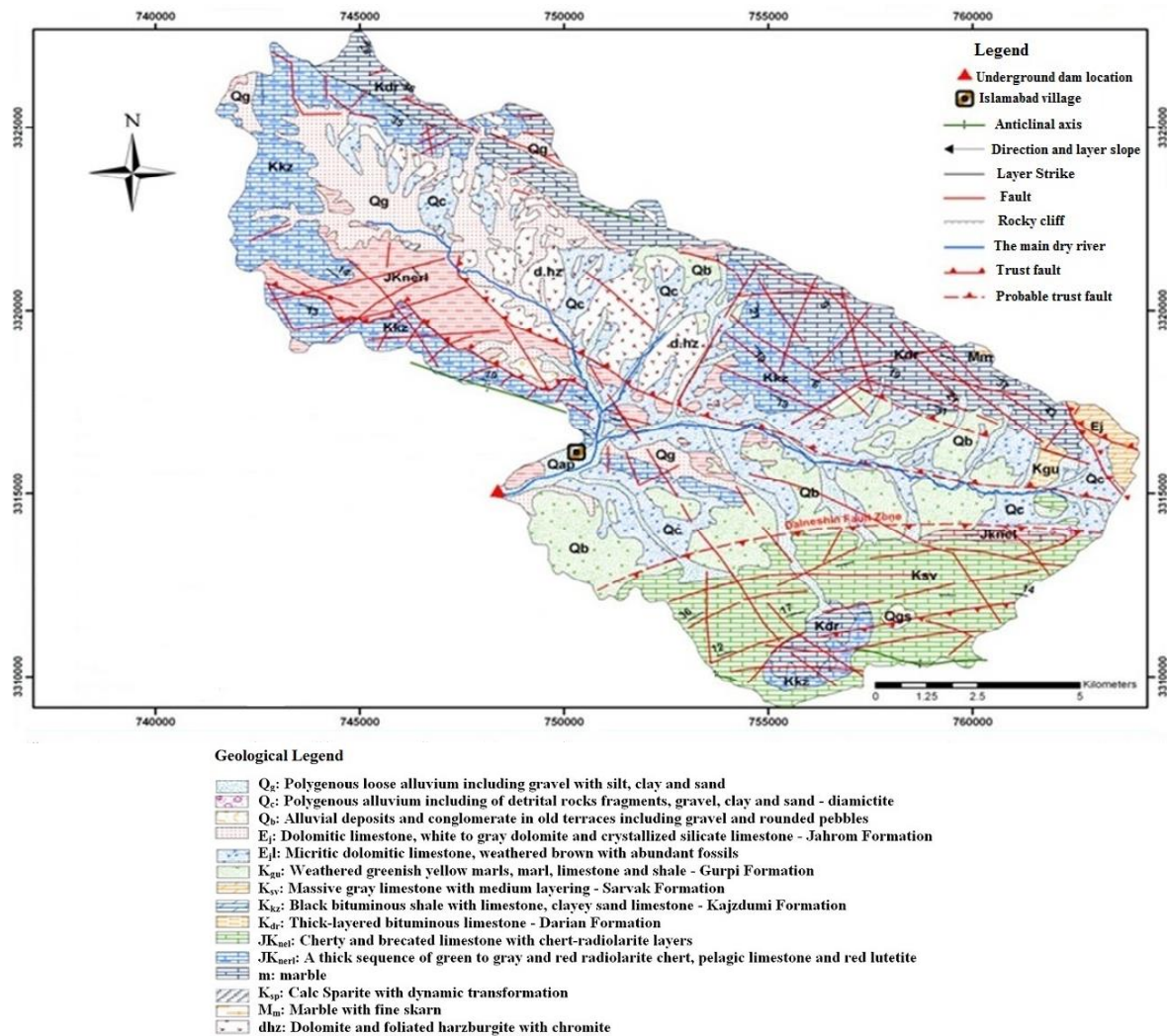
ویژگی‌های اقلیمی

براساس آمار دوره ۲۸ ساله (۶۱-۱۳۶۰ تا ۸۸-۱۳۸۷) ایستگاه هواشناسی ارسنجان، میانگین بارندگی ۳۱۲/۱ میلی‌متر است. میانگین ماهانه دما $12/5^{\circ}\text{C}$ است. بیشترین و کمترین دما به ترتیب 42°C (تیرماه) و 22°C (دی‌ماه) است. در دوره آماری تبخیر کل سالانه ۱۷۹۷ میلی‌متر است. میانگین ماهانه رطوبت نسبی از ۴۶/۵ در مردادماه تا ۶۹/۵ در دی‌ماه متغیر است. میانگین سالانه رطوبت نسبی ۵۷/۸ است (آمار ایستگاه مادر سلیمان). بر اساس روش دومارتن منطقه مطالعه‌شده با ضریب خشکی ۱۳/۹ در محدوده نیمه‌خشک است. بر اساس نمودار آمبرژه اقلیم این محدوده خشک و سرد است.

زمین‌شناسی

آبخیز سد زیرزمینی اسلام‌آباد در پهنه زاگرس مرتفع است. وجود شکستگی‌های پرشمار در منطقه مطالعه‌شده نیز به تبعیت از ویژگی‌های این پهنه می‌باشد. شکل کنونی آبخیز متأثر از وضعیت ساختارهای زمین‌شناسی منطقه است. با توجه به موقعیت این منطقه در پهنه ساختاری ایران و عملکرد نیروهای زمین‌ساختی و وضعیت فشارشی، محور چین‌خوردگی در راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، است. به این دلیل رشته کوه‌هایی در این راستا شکل

گرفته‌اند و مرزهای آبخیز را به‌وجود آورده‌اند. اگر از بلندی‌های مرز جنوب‌شرقی آبخیز صرف‌نظر شود، دیگر بخش‌های آبخیز شیب نسبتاً ملایمی دارند. این وضعیت بیانگر وجود سنگ‌های فرسایش‌پذیر در محدوده آبخیز است. در آبخیز، سازندهای زمین‌شناسی پرشماری رخمون دارند که با توجه به سن آنها و براساس نقشه زمین‌شناسی منطقه، از قدیم به جدید، به این شرح هستند (نقشه شکل ۲). الف- سنگ‌های آهکی (Jls)، در تکیه‌گاه چپ و راست سد رخمون دارند. ب- رادیولاریت (Jra)، نیز در تناوب با لایه‌های آهکی در تکیه‌گاه چپ و راست سد برونزد دارند. ج- تراس‌های آبرفتی قدیمی (Qt) و د- تراس‌های آبرفتی جوان (Qap)، در حاشیه بستر رود تشکیل شده‌اند و مصالح سنگدانه‌ای نسبتاً تثبیت‌شده و سیمانی‌شده با درصدی ریزدانه هستند. این نهشته‌ها نسبتاً تراوا تا تراوا می‌باشند. تراس‌های آبرفتی خیلی جوان یا رسوبات رودی (Qg)، در بلندی‌های کم و معمولاً در مجاورت بلافصل بستر آبراهه اصلی نهشته شده‌اند. مصالح درشت‌دانه و تقریباً مصالح شسته‌شده هستند که در مقایسه با تراس‌های جوان (Qap) تثبیت‌شدگی خیلی کمی دارند. از نظر دانه‌بندی نیز درصد رسوبات رسی در ساختار آنها کمتر است. به این دلیل انتظار می‌رود که تراوایی بیشتری داشته باشند.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی آبخیز بالادست سد زیرزمینی اسلام‌آباد و موقعیت سد.

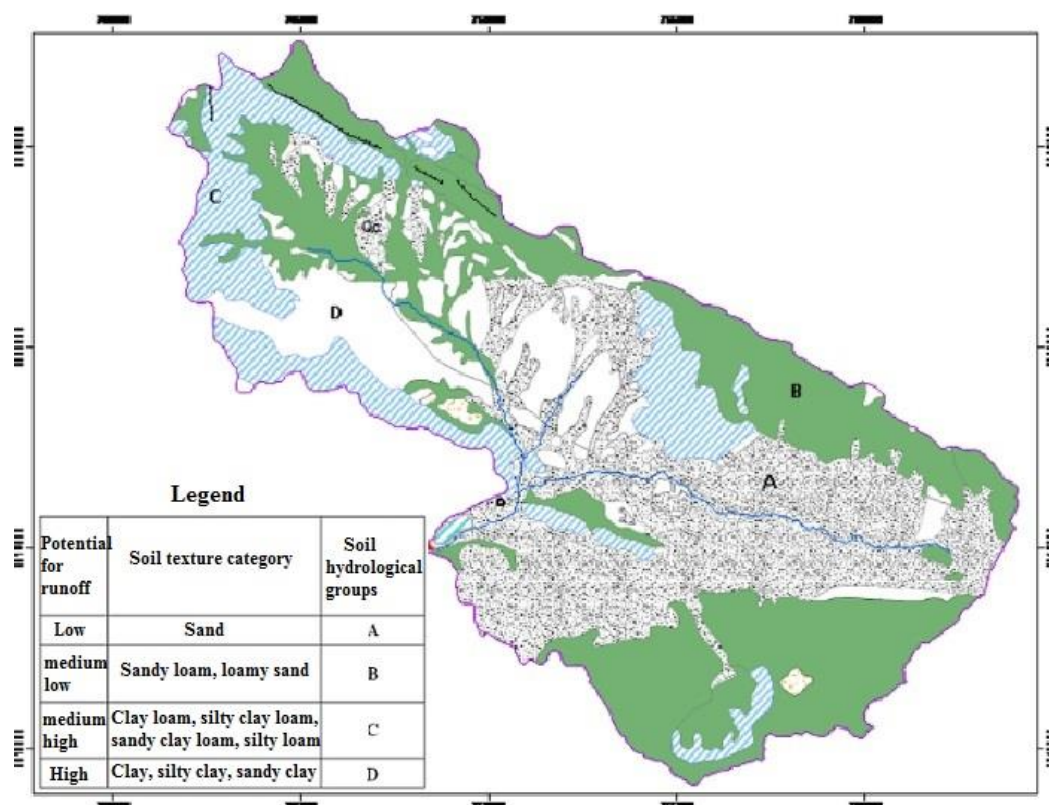
(اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی)

Figure 2. Geological map of the watershed upstream of the Islamabad underground dam and the location of the dam (Adapted from the geological map, sheet 1/100000 of the Geological Organization).

ویژگی‌های خاک در آبخیز بالادست ساختگاه

گیاهی پراکنده تا متوسط، رواناب کم، نفوذپذیری زیاد. گروه B، سنگ‌های کربناته با گسل و درزه‌های فراوان، شیب متوسط، پوشش گیاهی کم، رواناب کم تا متوسط، نفوذپذیری متوسط. گروه C، شیل با میان لایه‌هایی از آهک و آهک مارنی و آهک ماسه‌ای، شیب دامنه متوسط تا زیاد، بدون پوشش گیاهی تا پراکنده، رواناب نسبتاً زیاد، نفوذپذیری نسبتاً کم تا کم. گروه D، سنگ‌های آذرین و دگرگونی، رادیولاریت‌های چرتی، شیب متوسط و گاهی کم، بدون پوشش گیاهی تا پراکنده، رواناب زیاد، نفوذپذیری کم.

در این پژوهش، گروه‌های آب‌شناختی خاک در سطح آبخیز و جایگاه سد، براساس جنس خاک و سنگ‌های رخنمون یافته و درزه‌داری آنها و نوع و تراکم پوشش گیاهی و شیب سطح زمین، مشخص شد. این کار با هدف ایجاد برآوردی از ظرفیت رواناب و اندازه نفوذ و جریان زیرسطحی، انجام شد. محدوده گسترش این گروه‌ها در نقشه شکل ۳ نشان داده شده است. گروه A، رسوبات رودی بدون پوشش گیاهی و شیب خیلی کم، رسوبات واریزه‌ای- تراس‌های آبرفتی- رسوبات کوهپایه‌ای با شیب کم تا متوسط با پوشش



شکل ۳- گروه‌های آب‌شناختی خاک در آبخیز سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Figure 3- Soil hydrological groups in the watershed of Islamabad underground dam in the Islamabad.

آب شرب روستا و ۱ حلقه چاه نیز برای آبخیز دام حفر شده است. در پایین‌دست روستای اسلام‌آباد دو رشته قنات به نام قنات محمدآباد و قنات محمودآباد وجود دارد که حدود ۵۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی منطقه را آبیاری می‌کند. خشک‌سالی‌های سال‌های گذشته موجب کاهش شدید آب‌دهی قنات‌های نامبرده شده است (افت سطح آب) و از سال ۱۳۸۷ به بعد نیز کاملاً خشک شده‌اند. در بالادست روستای اسلام‌آباد و در حوالی آبادی بیکهدان نیز دو رشته قنات وجود دارد که هنوز فعال هستند ولی اندازه آب‌دهی آنها در مقایسه با سال‌های گذشته بسیار کاهش یافته است.

زمین ساخت محل سد

مهمترین عامل زمین‌ساختی در محل ساختگاه سد، سطوح ناپیوستگی از جمله، گسل و ساختارهای درز و شکاف موجود در توده‌سنگ‌ها می‌باشد. باید توجه داشت که درز و شکاف‌های زمین‌ساختی به‌دلیل

ویژگی‌های منابع آب در آبخیز بالادست ساختگاه منابع آب سطحی

شهرستان ارسنجان از دیدگاه منابع آب در محدوده آبخیز بختگان است و فاقد هرگونه منابع آب سطحی دائمی است. منابع آب سطحی شهرستان را عمدتاً مسیل‌های اصلی در بر می‌گیرند که معمولاً بیشتر در فصل زمستان فعال می‌شوند.

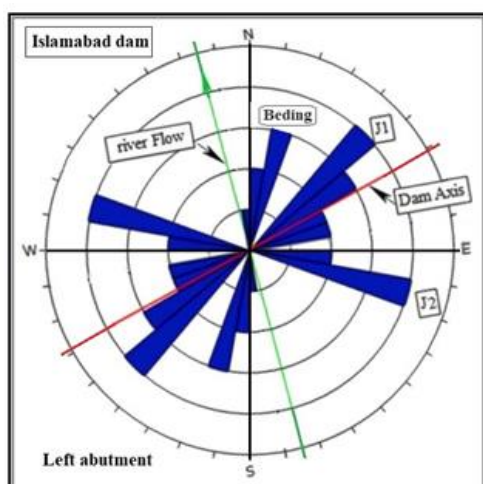
آب‌های زیرزمینی

آبخیز مطالعه‌شده، به‌دلیل کوهستانی بودن بدون سفره آب زیرزمینی آبرفتی است. منابع آب زیرزمینی محدود به آب زیرسطحی در آبرفت بستر آبراهه و یا آب سازند سخت (توده‌سنگ‌های درز و شکاف‌دار) است. ضخامت آبرفت در طول بستر آبراهه اصلی از روستای اسلام‌آباد به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد. در خروجی آبخیز مطالعه‌شده تراز سنگ کف بالا آمده و ضخامت آبرفت به حدود ۱۰ متری می‌رسد. در روستای اسلام‌آباد ۵ حلقه چاه کشاورزی ۱ حلقه چاه

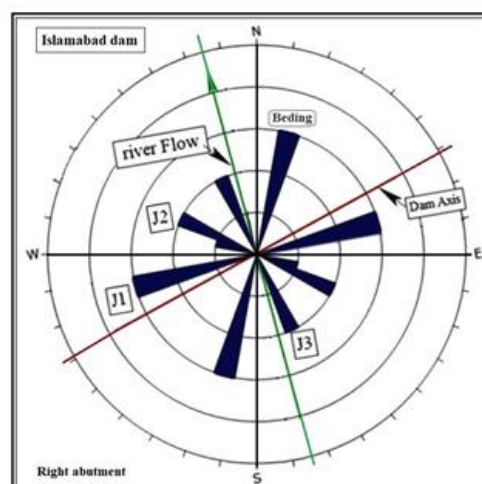
وضعیت تکیه‌گاه چپ نیز از دیدگاه درز و شکاف و تراکم و ویژگی‌های مهندسی آنها، بررسی شد. با توجه به تحلیل‌های انجام‌شده و نمودار گلسرخی در تکیه‌گاه چپ، دو دسته سطوح ناپیوستگی با دسته درزه‌های اصلی (بیش از ۱۰٪ تراکم)، به‌ترتیب (J1, J2) تشخیص‌داده شد (شکل ۵). ویژگی‌های مهندسی و امتداد، شیب و جهت شیب دسته درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی در جدول ۱ و ۲، نشان‌داده شده است. بیشترین تراکم درزه‌ها، مربوط به دسته درزه (J1) با امتداد میانگین N044 بود که با محور سد زاویه ۱۶ درجه داشت. درزه‌های فرعی با تراکم کمتر از ۱۰٪ که بیشتر ناشی از هوازدگی و سطحی بودند، نیز در سطح توده‌سنگ‌های این تکیه‌گاه مشاهده شد. دسته درزه (J3) و لایه‌بندی در تکیه‌گاه راست هم‌راستا با جهت راستای جریان رود بود و به این دلیل به‌منظور فرار آب باید بیشتر بررسی شود.

بیشتر درزه‌ها در این تکیه‌گاه سطح زیر تا نسبتاً زیر داشته و بدون آثار خردشدگی بودند. از دیدگاه بازشدگی دهانه، بیشتر بسته بودند و دهانه بازشدگی آنها کم (کمتر از ۲ میلی‌متر) برآورد شد. همچنین، تا حدودی آثار پرشدگی و هماتی‌شده (آثار هوازدگی) در درزه‌ها مشاهده شد. نتایج تحلیل ویژگی‌های مهندسی دسته درزه‌ها نشان داد که احتمال فرار آب و آبگذری پی و تکیه‌گاه‌ها در محل ساختگاه سد، نسبتاً کم بود. اما، خطر فرار آب در تکیه‌گاه راست بیش از تکیه‌گاه چپ برآورد شد.

گسترش عمقی و سطحی، نقش اساسی در زهکش سطحی و عمقی دارند. درز و شکاف‌های هوازدگی، سطحی است و نقش مهمی در زهکش زیرسطحی ندارند. در این پژوهش، به‌منظور تعیین ویژگی‌های ساختاری و مهندسی توده‌سنگ‌ها و برای برآورد تراوایی و مقاومت سازه‌ای آنها، سنجه‌های مهندسی درزه شامل، شیب، جهت شیب، فاصله‌داری، بازشدگی دهانه و پرشدگی و سطح درزه‌ها بر اساس استاندارد (ISRM, ۱۹۸۱) در ساختگاه سد، تعیین شد. سپس، برای تحلیل، رسم و تفسیر آماری ناپیوستگی‌ها و مشخص شدن دسته درزه‌های غالب (با تراکم بیش از ۱۰٪)، از نرم افزار Dips، و نمودار گلسرخی بهره‌برده شد. بر اساس نتایج تحلیل‌های انجام‌شده و نمودار گلسرخی در تکیه‌گاه راست، سه دسته سطوح ناپیوستگی با دسته درزه‌های اصلی (بیش از ۱۰٪ تراکم)، به‌ترتیب (J1, J2, J3) تشخیص‌داده شد (شکل ۴). ویژگی‌های مهندسی و امتداد، شیب و جهت شیب دسته درزه‌ها و سطوح لایه‌بندی^۱، در جدول ۱ و ۲، نشان‌داده شده است. بیشترین تراکم درزه‌ها، مربوط به دسته درزه (J1) با امتداد میانگین N072 بود که با محور سد زاویه ۱۰ درجه داشت. درزه‌های فرعی با تراکم کمتر از ۱۰٪ که بیشتر ناشی از هوازدگی و سطحی بودند، نیز مشاهده شد. نتایج تحلیل ویژگی‌های درزه‌ها نشان داد که بیشتر درزه‌ها در این تکیه‌گاه سطح نسبتاً زیر تا صاف داشته و بدون آثار خردشدگی بودند و دهانه بازشدگی آنها میان ۱ تا ۵ میلی‌متر برآورد شد. همچنین، تا حدودی آثار پرشدگی ثانویه مشاهده شد.



شکل ۵- نمودار گل‌رخی سطوح ناپیوستگی تکیه‌گاه چپ.
Figure 5- The red flower diagram of the left abutment discontinuity.



شکل ۴- نمودار گل‌رخی سطوح ناپیوستگی تکیه‌گاه راست.
Figure 4- The red flower diagram of the right abutment discontinuity.

جدول ۱- ویژگی‌های مهندسی سطوح ناپیوستگی در تکیه‌گاه‌های سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 1- Engineering characteristics of discontinuity in the Islamabad underground dam in the Islamabad.

Abutment	Joint set	Aperture (cm)	Spacing (cm)	Roughness	Infill material
Left	J1	0.00–0.2	15–24	Rough	Clean
	J2	0.00–0.1	20–30	Rough	Fine soil
	Bed.	-----	-----	-----	-----
Right	J1	0.1–0.5	20–30	Rough	Clean
	J2	0.1–0.3	10–15	Mod. rough	Clean
	J3	0.00–0.3	15–40	Sligh. rough	Fine soil
	Bed.	-----	-----	-----	-----

جدول ۲- موقعیت فضایی (امتداد و شیب) سطوح ناپیوستگی در تکیه‌گاه‌های سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 2- Spatial location (azimuth and slope) of discontinuity in the Islamabad underground dam in the Islamabad.

Abutment	Joint set	azimuth	slope	Slop direction
Left	J1	N044	46	N134
	J2	N106	37	N016
	Bed.	N017	35	N287
Right	J1	N072	58	N162
	J2	N115	37	N016
	J3	N158	42	N068
	Bed.	N017	35	N287

لایه‌بندی، نفوذپذیری، تراکم و سنجه‌های مقاومتی
آبرفت و تشخیص خردشدگی، آبگذری و ضخامت
هوازده سنگ کف و وضعیت آب زیرسطحی بود. مکان
دقیق گمانه‌ها، پس از مشخص شدن محدوده محور و
آبگیر سد، بر اساس نقشه سنگ کف ارائه شده

بررسی‌های زیرسطحی، حفاری گمانه و نمونه‌برداری
به‌منظور بررسی زیرسطحی و لایه‌بندی و ویژگی‌های
آنها، افزون بر برداشت‌های زمین‌الکترونیک، حفاری
گمانه، نمونه‌برداری و آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی،
انجام شد. هدف از این بررسی‌ها، تعیین ضخامت،

به‌وسیله گروه مطالعات زمین‌فیزیک، با توجه به موقعیت سنگ بستر و هندسه بستر آبراهه، تعیین شد. مشخصات گمانه‌های حفاری شده در جدول ۳، نشان‌داده شده است.

جدول ۳- مشخصات گمانه‌های اکتشافی در محل ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 3- specifications of exploratory boreholes at the construction site of the underground dam in the Islamabad.

Thikness of weathered rock (m)	Depth of bedrock (m)	Hight (m)	(UTM) Cordinate		Depth (m)	Borehole
			x	y		
--	--	1945	78984	3315072	7	BH1
--	--	1943	748935	3315059	10	BH2
1.5	9.5	1941	748633	3314949	15	BH3
1	8	1934	748442	3314955	12.5	BH4
2.5	7	1935	748416	3314924	12.5	BH5
--	--	1936	748402	3315002	7	BH6

نتایج و بحث

مکان‌یابی و موفقیت سد زیرزمینی وابسته به دو عامل، وجود آب با کیفیت و وجود قابلیت ذخیره‌سازی آب است. بیشترین معیارها و شرایطی که قابلیت ذخیره‌سازی آب را در یک ساختگاه مشخص می‌کند، عامل‌ها و ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی است. از این‌رو، بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه برای ارزیابی قابلیت ذخیره‌سازی آب، بسیار مهم و حیاتی و تعیین‌کننده است. نتایج بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی منطقه‌ای و محلی، نقش مهمی در برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و انتخاب ساختگاه و شیوه بهره‌برداری سد زیرزمینی دارند.

بررسی زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد

محل محور در نظر گرفته‌شده برای ساخت سد زیرزمینی در میان دو تپه آهکی بود. بازشدگی و پهنای دره در محل جایگاه حدود ۱۰۰ متر بود. شیب تقریبی بستر آبراهه نیز یک درصد بود. در تکیه‌گاه چپ، دو بخش آهکی جدا از هم بودند و در تکیه‌گاه راست نیز آهک‌ها به‌شکل برونزدگی مشاهده شدند. در ساختگاه سد، چین‌خوردگی و یا شکستگی بزرگی در حد گسل مشاهده نشد. ساختار قابل بررسی در محل جایگاه، فقط دسته درزه‌ها بودند. با بررسی نتایج آزمایش‌های انجام‌شده روی نمونه‌های توده‌سنگ (سطحی و مغزه‌های حفاری) و ویژگی‌های مهندسی دسته درزه‌ها، طبقه‌بندی زمین‌سازهای توده‌سنگ‌ها انجام شد. مقاومت فشارشی تک محوری توده‌سنگ‌ها

در هر دو تکیه‌گاه، بیش از ۱۵۰ مگاپاسکال به‌دست آمد. بر مبنای بررسی مغزه‌های حفاری و همچنین، تراکم درزه‌ها در واحد سطح توده‌سنگ‌ها، اندازه کیفیت توده‌سنگ (RQD)، برای آهک‌های بخش غربی و شرقی تکیه‌گاه چپ، ۸۰ تا ۹۰٪ و برای آهک‌های تکیه‌گاه راست نیز، حدود ۸۰٪ برآورد شد. میانگین فاصله درزه‌ها و سطوح ناپیوستگی در سطح توده‌سنگ، در تکیه‌گاه راست و آهک‌های بخش غربی و شرقی تکیه‌گاه چپ به‌ترتیب ۵/۰ و ۴/۰ متر بود. بر اساس نتایج بررسی ویژگی‌های دسته درزه‌ها و از دیدگاه امتداد، شیب و اندازه دهانه و پرشدگی و سطح درزه که توضیح داده شد، رده‌بندی توده‌سنگ‌های ساختگاه سد زیرزمینی بر اساس سامانه (RMR) انجام شد. چکیده رده‌بندی (RMR) در جدول ۴ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج این جدول و بر اساس موقعیت محور سد با جهت و امتداد دسته درزه غالب در تکیه‌گاه‌های راست و چپ، ضریب تعدیل برای هریک از دو تکیه‌گاه به‌ترتیب برابر امتیاز ۷- و ۱۵- محاسبه شد. بر اساس امتیاز نهایی محاسبه‌شده برای (RMR) در دو تکیه‌گاه، توده‌سنگ‌های پی و تکیه‌گاه‌ها از دیدگاه پایداری و مقاومت زمین‌سازهای، در رده سنگ‌های خوب طبقه‌بندی شدند. نتایج بررسی شدت و تراکم درزه‌داری، جهت شیب سطوح ناپیوستگی و شیب دامنه در تکیه‌گاه‌ها در محدوده ساختگاه نشان داد که احتمال رخداد لغزش و ایجاد شرایط بحرانی، بسیار کم است. با توجه به بازشدگی

دهانه درزه‌ها و اندازه پرشدگی و تراکم درزه‌ها، برآورد شد آبگذری و فرار آب از دسته درزه‌های نسبتاً کم تا متوسط، رخ می‌دهد.

جدول ۴- رده‌بندی توده‌سنگ‌های ساختگاه سد زیرزمینی بر اساس سامانه (RMR).

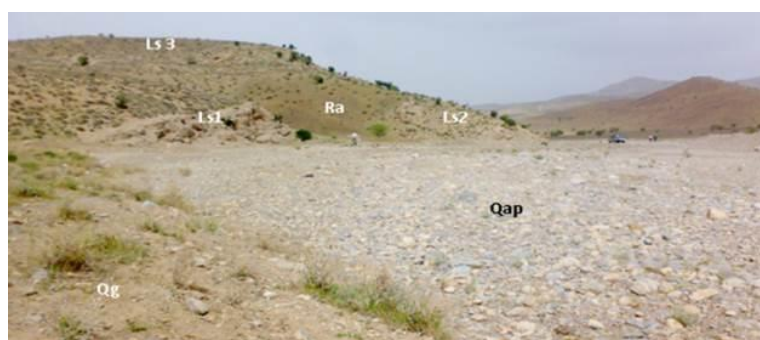
Table 4- Classification of underground dam construction rocks based on system (RMR).

Parameter	Right abutment		Left abutment	
	Score	quantity	Score	quantity
Uniaxial compressive strength (Mpa)	10	100 – 250	10	100 – 250
Rock quality index (RQD) (%)	15	75 – 90	15	75 – 90
state of discontinuity	10	Smooth surface, little filling, Opening aperture(1-5 mm)	25	Rough surface, Small aperture, A little weathered
Spacing discontinuity (Cm)	10	20 – 60	10	15 – 55
Wet	15	Dry	15	Dry
Score adjustment (Joint set orientation)	- 7	Moderately good	- 15	Unfavorable
Sum Score		53		60
Rock group		III		III
Description of the rock mass		Suitable rock mass		Suitable rock mass

سنگ کف

نشان داد که برداشت‌های زمین‌الکتریک، وضعیت و جنس توده‌سنگ‌های رخنمون‌یافته در دو سوی آبراهه و شیب دامنه‌ها، سنگ کف در محدوده محور و آبگیر سد زیرزمینی اسلام‌آباد، شامل سنگ‌های آهکی با میان‌لایه‌های مارنی است. نمایی از ساختگاه سد و دانه‌بندی آبرفت بستر و برخی ویژگی‌های مشاهده‌ای زمین‌شناسی مهندسی جایگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد در شکل ۶ نشان داده شده است.

ویژگی‌های سنگ کف از دیدگاه جنس، ژرفای هوازدگی، اندازه خردشدگی و درزه‌داری، از عامل‌های بسیار مهم در برآورد ذخیره‌سازی آب در آبگیر و همچنین، طراحی و اجرای سد زیرزمینی است. بر اساس گزارش زمین‌فیزیک سد اسلام‌آباد، مقاومت الکتریکی سنگ کف ۱۱۶ تا ۷۷۰ اهم متر گزارش شده است. همچنین با توجه به داده‌های به‌دست آمده از حفاری گمانه‌ها، مشخص شد که جنس سنگ کف در محل حفر گمانه‌ها، آهکی است. نتایج حفاری گمانه‌ها



شکل ۶- نمایی از ساختگاه سد و دانه‌بندی آبرفت بستر.

Figure 6- A view of the dam construction and bed alluvium granulation.

دانه بندی آبرفت بستر

نتایج آزمایش دانه‌بندی و چگالی‌سنجی، تعیین حدود اتربرگ و مقاومت برشی (چسبندگی و اصطکاک داخلی) روی نمونه‌های آبرفت از ژرفاهای گوناگون گمانه‌های BH1، BH2 و BH6 در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از نمونه‌برداری از ژرفاهای گوناگون در حفاری، ضخامت آبرفت در محدوده ساختگاه سد میان ۶ تا ۸ متر متغیر بود. همچنین، نتایج دانه‌بندی خاک سطحی نشان داد که حدود ۱ تا ۱/۵ متر

اولیه خاک شسته‌شده است و بافت آن درشت‌دانه و مابقی ضخامت آبرفت از شن و ماسه و یا ماسه و شن با درصدی ریزدانه تشکیل شده است که با افزایش ژرفا به درصد ریزدانه و تراکم خاک افزوده می‌شود. افزون بر این، بر اساس نتایج آزمایش دانه‌بندی، چگالی‌سنجی و تعیین حدود اتربرگ، لایه‌های خاک طبقه‌بندی شد. بررسی آماری طبقه‌بندی خاک و میانگین درصد عبور داده شده از الک شماره ۲۰۰ در تمام نمونه‌های گمانه‌ها در جدول ۶، ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج آزمایش دانه‌بندی در محل سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 5- Results of granulation test at the underground dam in the Islamabad.

Borehole	Depth (m)	Grading name	Grading (USCS) ²	Depth (m)	Liquid limit (%)LL	Plasticity limit (%)PL	Plasticity index (%)PI
BH1	0-2	Manual soil	-	5	27	6	21
	2-7	Clay sand and Gravel	SC ³				
	0-2	Manual soil	-				
BH2	2-5	Gravel with bad maturity and sand and clay	GP ⁴ -GC ⁵	6	32	14	18
	5-8	Clay Gravel and sand	GC				
	0-1	Manual soil	SC				
BH3	1-3	Clay sand and Gravel	GC	6.5	41	19	22
	3-7.5	Clay Gravel and sand	GC				
	0-1	Manual soil	-				
BH4	1-3	Clay sand and Gravel	SC	5.5	30	13	17
	3-5	Clay Gravel and sand	GC				
	5-6.5	Clay sand	SC				
	0-1	Manual soil	-				
BH5	1-4	Silty Gravel and sand	GS ⁶	5	22	7	15
	4-6	Clay Gravel and sand	GC				
BH6	0-2	-	-	5	30	13	13
	2-7	Clay Gravel and sand	GC				

2- Unified Soil Classification System

3- Clay Sand

4- Poorly Graded Gravel

5- Clay Gravel

6- Silty Gravel

این جدول چسبندگی آبرفت میان ۰/۳ تا ۰/۳۰ (kg/cm²) و اصطکاک داخلی میان ۲۸ تا ۳۹ درجه، متغیر بود. نتایج بیانگر درشت‌دانه بودن خاک بود. نتایج سنجش‌های مقاومت برشی بیانگر پایداری مناسب خاک در گودبرداری و نشست بود.

به‌منظور بررسی آبرفت ساختگاه سد از دیدگاه مقاومت برشی و پایداری در مراحل گودبرداری، آزمایش برش مستقیم روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج این آزمایش روی نمونه‌های بازسازی‌شده آبرفت بستر در ژرفاهای گوناگون در جدول ۷ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج

جدول ۶ - نتایج دانه‌بندی و رده‌های خاک در محل سد زیرزمینی اسلام‌آباد.

Table 6- Results of grading and soil categories at the underground dam in the Islamabad.

Borehole	Depth (m)	Classification of layers (Alluvium / Bedrock)				The average percentage rejected from mesh (200)
BH1	7	SC-SM ⁷		SC		29.4
		80%		20%		
BH2	10	GP-GC	GC	marl	Limestone	15
		37.5%	37.5%	12.5%	12.5%	
BH3	15	SC	GC	Weathered rock	Limestone	23.1
		14.3%	32.2%	12.8%	40.7%	
BH4	12.5	SC		GC	Lime stone	22
		30.4%		17.4%	52.2%	
BH5	12.5	GM		GC	Limestone	16.6
		26%		17%	57%	
BH6	5	GC				18
		100%				

جدول ۷- نتایج آزمایش برش مستقیم روی برخی نمونه‌های محل سد.

Table 7- results of direct cutting test performed on some samples of the dam site.

Borehole	Depth sample (m)	(cm) Sample	Sample type	Fast/Slow	Internal friction angle (degree) ϕ	Cohesion C (kg/cm ²)
BH1	2.5-3.0	10×10	remolded	slow	33	0.20
	6.5-7.0	10×10	remolded	fast	31	0.25
BH2	2.0-3.0	30×30	remolded	slow	37	0.04
BH3	1.0-2.0	10×10	remolded	slow	32	0.20
	6.0-7.0	30×30	remolded	fast	36	0.06
BH4	1.0-2.0	10×10	remolded	slow	30	0.28
	3.0-4.0	30×30	remolded	slow	28	0.03
	5.0-6.0	10×10	remolded	fast	30	0.30
BH5	1.0-2.0	30×30	remolded	slow	39	0.03
	4.0-5.0	30×30	remolded	fast	36	0.06
BH6	5.0-6.0	30×30	remolded	fast	37	0.05

آزمایش‌های برجا و درون چاهی

اسلام‌آباد و در ژرفاهای گوناگون آبرفت بستر در جدول ۸ ارائه شده است. نتایج لوفران و نتایج آزمایش نفوذ مخروط استاندارد بیانگر آن بود که نفوذپذیری آبرفت بستر به دلیل تراکم و اندازه احتمالی ماتریس در بدنه آبرفت، از متوسط تا نسبتاً کم (حدوداً 10^{-4} سانتی‌متر بر ثانیه) متغیر است. به منظور برآورد آبگذری توده سنگ بستر، در ضخامت اولیه سنگ کف بعد از ۱ متر نفوذ در سنگ، آزمایش نفوذپذیری با روش لوفران در سنگ خرد شده انجام شد. نتایج این آزمایش نیز در جدول ۸ ارائه شده است.

به منظور بررسی‌های زیرسطحی، آزمایش‌های نفوذپذیری با روش لوفران و نفوذ مخروط استاندارد (CPT) انجام شد و نمونه‌برداری در هر تغییر دانه‌بندی در گمانه‌های حفاری شده نیز انجام شد. نتایج تعداد ضربات برای نفوذ مخروط استاندارد و محاسبه تعداد ضربات اصلاحی برای تمام گمانه‌ها و در تمام لایه‌ها، بیش از ۵۰ ضربه به دست آمد. این نتایج بیانگر آن بود که آبرفت بستر درشت‌دانه و بسیار متراکم است و از دیدگاه تراکم و پایداری در دسته خاک‌های خوب و مناسب طبقه‌بندی شد. نتایج آزمایش نفوذپذیری لوفران با هر دو روش (بار افتان و بار ثابت) در قطعه‌های با طول گوناگون در جایگاه سد زیرزمینی

جدول ۸- نتایج آزمایش نفوذپذیری در محل سد.

Table 8- Results of permeability test at the dam site.

Borehole	Depth (m)	K (cm/s)	
		Constant load	Burden load
BH3	2.0-3.0	2.0×10^{-4}	3.6×10^{-5}
	4.0-5.0	8.7×10^{-5}	3.8×10^{-5}
	9.0-15.0	1.8×10^{-5}	2.4×10^{-6}
BH4	2.0-3.0	4.3×10^{-4}	4.1×10^{-5}
	4.0-5.0	2.5×10^{-4}	5.1×10^{-5}
	7.0-12.5	1.9×10^{-5}	3.8×10^{-6}
BH5	3.0-4.0	2.4×10^{-4}	2.0×10^{-5}
	6.0-10.0	3.5×10^{-4}	5.4×10^{-5}

شیمی آب زیرسطحی

زیرسطحی رسیده است مندرج می‌باشد. این آب نسبتاً قلیایی و دارای تیپ بی‌کربناته سدیک می‌باشد.

در جدول (۹)، نتایج تجزیه شیمیایی آب زیرسطحی مربوط به میانه ضخامت آبدار گمانه شماره ۶ در محل ساختگاه و آبگیر سد زیرزمینی اسلام‌آباد که به آب

جدول ۹- نتایج تجزیه شیمیایی آب گمانه BH6 (در محل سد).

Table 9- Results of water chemical analysis of BH6 borehole (in the dam site).

Anion / Cation (mg/l)						Soluble solutes(mg/l)	Hardness caco3	Acidity	Saltiness (mp/cm)
HC0 ₃ ⁻	Cl ⁻	So ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	TDS	TH	pH	EC
360	195	181.5	64.1	92.4	133.8	643	540.6	7.7	150.7

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

توجهی از ریزدانه‌های آبرفت بستر در رده سیلت است و ویژگی‌های رس‌های موجود در این خاک‌ها نیز، بیشتر شبیه رس‌های گروه کائولینیت و ایلیت است. از این رو، ظرفیت تورمی و چسبندگی بخش ریزدانه خاک‌ها کم بود. سدیم، کاتیون غالب در ترکیب شیمیایی آب زیرسطحی منطقه بود. از این رو، می‌توان گفت که درصد سدیم در خاک‌های منطقه نیز، قابل توجه است و این خاک‌ها در رده خاک‌های واگرا خواهند بود. بر اساس نتایج اندازه تراکم آبرفت بستر مبتنی بر نتایج آزمایش نفوذ مخروط استاندارد و نتایج دانه‌بندی و درصد ریزدانه آبرفت و نتایج آزمایش لوفران و ضخامت کمتر از ۱۰ متر، می‌توان نتیجه گرفت که آبرفت بستر آبراهه ساختگاه، از دیدگاه ضریب ذخیره، حجم ذخیره و آب‌دهی برای ساخت سد زیرزمینی با هدف توسعه منابع آب، در حد متوسط است. از این رو، بر اساس این یافته‌ها و با توجه به وضعیت آبرفت بستر مناسب‌ترین روش بهره‌برداری از آبگیر، روش زهکش تحتانی با ایجاد زهکش‌هایی در طول آبگیر، پیشنهاد می‌شود و روش پمپاژ درون‌چاهی مناسب نخواهد بود. با توجه به درصد ریزدانه در بدنه آبرفت بستر و شیمی آب زیرسطحی، به‌ویژه اندازه املاح محلول و درصد بی‌کربنات، پیشنهاد می‌شود در زمینه احتمال تغییر ترکیب شیمیایی آب و

نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های محل محور سد (پی و تکیه‌گاه) و آبگیر سد (بستر و مصالح آبگیر) تابع زمین‌شناسی منطقه بود و رفتار این مصالح از دیدگاه پایداری، آب‌بندی و حجم ذخیره و جریان آبی، تابع ویژگی‌های مهندسی و ژئوتکنیکی سازندها و آبرفت موجود بود. درز و شکاف‌ها و گسل‌ها (سطوح ناپیوستگی)، از عامل‌های مهم در فرار آب و نشت بود و از مهمترین عامل‌ها در انتخاب محل سد زیرزمینی و تمهیدات لازم برای آب‌بند کردن ساختگاه، به‌شمار می‌آیند. نتایج درزنگاری و بررسی آماری ویژگی‌های مهندسی دسته درزه‌ها در محل ساختگاه سد زیرزمینی اسلام‌آباد، نشان داد که رفتار توده‌سنگ‌ها در دو سوی بستر، در مقابل تنش‌های زمین‌ساخت منطقه، کمی متفاوت است. این یافته، بیشتر به‌دلیل ضخامت لایه‌بندی، اندازه تراکم و درصد رس در بدنه توده‌سنگ‌های آهکی و تناوب لایه‌های سخت با میان لایه‌های شکل‌پذیر و نسبتاً نرم مارن یا شیل بود. با توجه به تعداد، ویژگی‌ها و تراکم دسته درزه‌ها در دو سوی بستر، توان آبگذری در جناح راست بیش از جناح چپ برآورد شد. بر اساس تحلیل نتایج حدود اثربرگ (حد خمیری و شاخص خمیری) و اندازه چسبندگی خاک‌های محل ساختگاه سد، می‌توان گفت بخش قابل

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در راستای نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

علی‌رضا مجیدی: نگارش، تهیه پیش‌نویس اولیه، تحلیل و بررسی، مفهوم‌سازی، روش‌شناسی.
حمید حسینی‌مردی: بررسی منابع، نرم‌افزار، ویرایش، مصورسازی، نظارت.

افزایش شوری (EC) آن و همچنین، ترسیب و تبلور املاح در میان خلل و فرج آبرفت بستر در اثر ساکن شدن آب زیرسطحی به واسطه ساخت سد زیرزمینی، بررسی و پژوهش‌های بیشتری در آینده انجام شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس که در راستای انجام این پژوهش همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

فهرست منابع

Adhikari B, Acharya U, Acharya KK, Ghimire S. 2019. Engineering geological investigation of dam site of proposed sunkoshi-2 hydropower project, khurkot area, eastern Nepal. Journal of Nepal Geological Society. pp. 181–188.

Asfaw L, Meten M, Garo T. 2022. Leakage and abutment slope stability analysis of Arjo Didesa dam site, western Ethiopia. Arabian Journal of Geosciences. 15:1540.

Doi: 10.1007/s12517-022-10827-7

Berhane G, Amare M, Gebreyohannes T, Walraevens K. 2017. Geological and geophysical investigation of water leakage from two micro-dam reservoirs: implications for future site selection, Northern Ethiopia. Journal of African Earth Sciences. pp. 82–93.

Doi: 10.1016/j.jafrearsci.2016.12.015

Berhane G, Gebreyohannes T, Martens K, Walraevens K. 2016. Overview of micro-dam reservoirs (MDR) in Tigray (Northern Ethiopia): challenges and benefits. Journal of African Earth Sciences. pp. 210–222.

Doi: 10.1016/j.jafrearsci.2016.07.022

Berhane G, Walraevens K. 2013. Geological challenges in constructing the proposed Geba dam site, northern Ethiopia. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. pp. 339–352.

Sissakian VK, Adamo N, Al-Ansari N. 2020. The role of geological investigations for dam siting: Mosul Dam a Case Study. Geotechnical and Geological Engineering. pp. 2085–2096.

Gurocak Z, Alemdag S. 2012. Assessment of permeability and injection depth at the Atasu dam site (Turkey) based on experimental and numerical analyses. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. pp. 221–229.

Doi: 10.1007/s10064-011-0400-9

Garo T, Meten M. 2021. Engineering geological characterization for evaluation of seepage and geomechanically properties of Chalchal Dam Site, Bale Zone, Southeastern Ethiopia. Arabian Journal of Geosciences. 14 (23): 25–49.

Doi:10.1007/s12517-021-08881-8

Ichikawa K. 1999. Geological investigation of dams. Proceedings of 2nd Asian Symposium on Engineering Geology and the Environment, Malaysian National Group, Bangi, Malaysia. pp. 44–57.

Jiang Q, Yan F, Wu J, Fan Q, Li S, Xu DJEG. 2019. Grading opening and shearing deformation of deep outward-dip shear belts inside High Slope (A case study). Engineering Geology Journal. pp. 113–129.

Doi: 10.1016/j.enggeo.2019.01.018

Kotir.H. 2011. Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: a review of current and future trends and impacts on agriculture and food security. *Environment, Development and Sustainability*. pp. 587–605.

Lyu Z, Chai J, Xu Z, Qin Y, Cao J. 2019. A comprehensive review on reasons for tailings dam failures based on case history. John Wiley and Sons, Inc. *Advances in Civil Engineering*; New York. 2019. Article ID 4159306. 18 p.

Doi: 10.1155/2019/4159306

Mera GA. 2018. Drought and its impacts in Ethiopia, *Weather Clim. Extreme*. pp. 24–35.

Doi: 10.1016/j.wace.2018.10.002

Mun K. 2018. Development of a decision support system for dam type and design, and floristic evaluation. Doctoral thesis, University Putra Malaysia. 139 p.

Roy S, Bhalla SK. 2017. Role of geotechnical properties of soil on civil

engineering structures. *Resources and Environment*. 7(4): 103–109.

Serdeczny O, Adams S, Baarsch F, Coumou D, Robinson A, Hare W, Schaeffer M, Perrette M, Reinhardt J. 2017. Climate change impacts in Sub-Saharan Africa: from physical changes to their social repercussions. *Regional Environmental Change*. pp. 1585–1600.

Doi: 10.1007/s10113-015-0910-2

Tiruneh A.T. 2005. Water quality monitoring in Lake Abaya and Lake Chamo region: A research based on water resources of the Abaya-Chamo Basin-South Ethiopia. Doctoral Thesis. Universität Siegen. 126 p.

Zhang JM, Yang Z, Gao X, Zhang J. 2015. Geotechnical aspects and seismic damage of the 156-m-high Zipingpu concrete-faced rockfill dam following the Ms 8.0 Wenchuan earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. pp. 145–156.

Doi:10.1016/j.soildyn.2015.03.014



Investigating of the Engineering Geological Features of the Underground Dam Construction in the Islamabad, Fars

Ali Reza Majidi^{1*} , Hamid Hosseini Marandi²

1- Assistant Professor of Hydrology Research and Water Resources Development Department, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2- Assistant Professor of Soil and Watershed Protection Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

Underground dams are water structures that are built to block or divert underground and subsurface flows. The use of this technology is recommended for the management, control, protecting and developing small water resources in arid and semi-arid areas such as Iran. The watershed of the Islamabad Underground Dam, due to its mountainous location, lacks an alluvial groundwater aquifer, and groundwater resources are limited to subsurface water in the alluvial deposits of the streambeds or hard formations water. Therefore, the underground dam is one of the solutions for providing water in such conditions. The engineering geological characteristics of the rock mass and alluvium of the streambeds have a direct impact on the success, safety, and sustainability of underground dam projects. Therefore, in the selection of the dam site, geological and geotechnical investigations and studies are carried out with the aim of determining the geological structures, stratigraphy and lithology of formations, discontinuity and faults, grain size, hydrodynamic characteristics and thickness of bed alluvium, the location and conditions of underground water at the dam site and its reservoir area, in order to estimate the volume of the reservoir and its sealing. The inefficiency and failure of dam projects are often caused by insufficient engineering and geological investigations in the pre-construction stages.

Materials and Methods

The catchment area of the Islamabad Underground Dam is located in Arsanjan County, Fars Province, in the high Zagros zone. The current shape of the basin and the numerous fractures in the study area depends on the characteristics of this zone and are affected by the state of the geological structures of the region.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author's E-mail: Majidi_geo@yahoo.com

Citation: Majidi, A.R., Hosseini Marandi, H. 2025. Investigating the Engineering Geological Features of the Underground Dam Construction in the Islamabad, Fars. Watershed Management Research. 38(2): 98-117.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.367366.1598

Received: 22 October 2024, **Received in revised form:** 08 December 2024, **Accepted:** 19 December 2024

Published online: 22 June 2025

Watershed Management Research, Vol. 38, No. 2, Ser. No:147, Summer 2025, pp. 98-117.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)



In this research, the hydrological groups of the soil in the watershed were evaluated with the aim of estimating the subsurface water and investigating the geological characteristics of rock mass engineering and bed alluvium at the dam site in order to estimate the volume and storage of water by the underground dam. Therefore, Initially, baseline information related to the region, especially its engineering geology, was collected and based on that, a proposal for the construction of the underground dam was considered. Using the results obtained from boreholes, field sampling, in situ tests, laboratory investigations and geology of the area, the geotechnical status and characteristics of the Islamabad underground dam construction site were investigated and evaluated.

Results and Discussion

In the study area, groundwater resources are limited to subsurface water in the alluvium of the streambed or hard rock formation water (fractured rock mass). At the site of the Islamabad underground dam, the most important geological factors affecting water storage was the condition and density of discontinuity surfaces (such as: faults and existing joint sets in the rock mass, as well as the grain size and density of the underlying alluvium). The result of the engineering fracturing investigations indicates the presence of several categories of fractures in the rock mass of the study area, particularly in the right abutment, with water flow potential. Field surveys and drilling results estimate the thickness of weathered rock at the site to be between 1 to 2 m. The alluvium at the dam site exhibits layering and has a thickness ranging from 6 to 10 m. The initial alluvium foundation, with a thickness of 1 to 1.5 m was coarse-grained, while the remaining thickness of the alluvium consisted of sand and gravel with a percentage of fine particles. The permeability of the alluvium foundation was due to moderate to relatively low compaction (approximately 10-4 cm/s). The cohesion of the alluvium varies between 0.3 and 0.3 (kg/cm²), and the internal friction angle ranges from 28 to 39 degrees. The results of soil mechanical tests on alluvial samples indicate that the alluvium is coarse-grained, and its shear strength parameters suggest adequate soil stability concerning excavation and settlement.

Conclusion and Suggestions

The results of the fracturing analysis and statistical of the engineering characteristics of fracturing not only reveal the potential for water escape in the right abutment but also indicate that the behavior of the rock masses on the sides of the dam foundation is somewhat different in response to the tectonic stresses of the region. This phenomenon was due to the thickness of the layering, the degree of compaction, and the percentage of clay in the body of the limestone rock masses, as well as the alternation of hard layers with pliable and relatively soft marl or shale interlayers. The results of the engineering classification of the rock mass using the RMR method show that the rock masses at the dam site fall into the category of suitable rocks for construction purposes. The Atterberg limits and the cohesion of the soil at the dam site indicate that the clays present in the alluvial foundation primarily exhibit the characteristics of kaolinite and illite, with limited swelling and cohesion potential. The results of the chemical analysis of the water shows that sodium was dominant cation in the chemical composition of the groundwater in the region. Therefore, this finding indicates the potential for divergence in the fine-grained alluvium foundation. The thickness, density, and grain size of the alluvial foundation, along with the results from the Luferan test, indicated that the alluvial material foundation has moderate quality in terms of storage coefficient, storage volume, and water yield for the construction of an underground dam. Therefore, based on these findings, the most suitable method for utilizing the water catchment is the sub-drainage method by creating drains along the catchment, and the well pumping method would not be appropriate.

Keywords: Alluvium, Lefranc test, rock mass engineering classification, water leakage

Article Type: Research Article

Acknowledgements

The authors would like to thank the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute and the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Fars Province for their support in conducting this research.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that they do not have any conflict of interest in writing and publishing the contents and results of this research.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Author's Contribution

Ali Reza Majidi: Writing - original draft preparation, Formal analysis and investigation, Conceptualization, methodology

Hamid Hosseini Marandi: Resources, Software, Manuscript editing, Visualization, Supervision