

## بررسی خصوصیات ساختگاه سد زیرزمینی رمشک با تاکید بر نقش گسل‌ها در محور انتخابی

ایمان آقاملایی<sup>۱</sup>، محمد رضا امینی زاده<sup>۲</sup>، شهرام شفیعی بافتی<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

مقاله برگرفته از کار پژوهشی

### چکیده

دهستان رمشک از توابع شهرستان قلعه گنج در استان کرمان، که دارای اقلیم خشک می‌باشد. یکی از راهکارهای مفید در مبارزه با بحران آب و کم آبی خصوصا در اقلیم‌های خشک، احداث سدهای زیر زمینی می‌باشد. برای اینکه یک سد زیرزمینی از بازدهی مناسب برخوردار باشد تلفیقی صحیح و بهینه از محل قرار گیری سد و مهندسی سازه سد زیرزمینی لازم می‌باشد، چرا که وجود نقصان و اشتباه در تخمین هریک از این دو عامل باعث کاهش کارایی سد زیرزمینی به نحو چشمگیر می‌گردد. در این پژوهش بر اساس مهمترین فاکتورهای مورد نیاز در انتخاب یک مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی، محور پیشنهاد شده برای سد زیرزمینی رمشک، با توجه به مطالعات دفتری، بررسی های صحرائی، انجام مطالعات زمین شناسی مهندسی و اکتشافات ژئوفیزیکی، مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های حاصل از حفاری و روش‌های ژئوفیزیکی، در محل محور انتخابی یک گسل وجود دارد که ضخامت آبرفت در محل تقاطع گسل و محور انتخابی ۳۲ متر می‌باشد. بر اساس طبقه بندی متحد آبرفت در محل محور، عمدتا SC می‌باشد که با افزایش عمق و بر اساس نتایج SPT و لوفران، بسیار متراکم شده و از نفوذ پذیری آن کاسته شده است. فشردگی عمقی آبرفت و وجود سیمان کلسیتی دانه‌ها از عمق ۱۵ متر به پایین و بالا بودن سطح آب تا ۷ متری سطح زمین، نشان دهنده این است که گسل محل محور، قدرت آبکشی زیادی نداشته و محور پیشنهاد شده اگر چه یک گزینه ایده آل نیست ولی با توجه به شرایط منطقه‌ای و اقتصادی برای ساخت سد زیرزمینی مناسب است.

واژه‌های کلیدی: سد زیرزمینی، اقلیم خشک، رمشک، گسل

۱- استاد مدعو، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، ۰۹۱۳۸۴۳۷۷۹۷، Imaneng189@gmail.com

۲- کارشناس منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمان، ۰۹۱۳۱۹۶۷۸۹۸، ab.aminizadeh@gmail.com

۳- استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، ۰۹۱۳۸۴۳۷۷۹۷، Shafiee\_shahram@gmail.com (نویسنده مسئول)



## مقدمه

بررسی محققان در مناطق مختلف جهان حاکی از این واقعیت است که کره زمین در سال‌های نه چندان دور با بحرانی جدی در ارتباط با منابع آب روبرو خواهد شد. از این رو اتخاذ روش‌های اصولی و سیاست‌های صحیح در زمینه حفاظت و بهره برداری از منابع آب و مدیریت این منابع امری اجتناب ناپذیر خواهد بود. بر این اساس لازم است روش‌های عملی استحصال آب که کمترین اثرات مخرب زیست محیطی را داشته و نیز هدررفت آب را به حداقل برسانند استفاده شود. از جمله این روش‌ها می‌توان احداث سدهای زیرزمینی را نام برد. روش ذخیره آب به وسیله‌ی مهار آب‌های زیر سطحی، در مناطق خشک دارای قدمت چند هزار ساله است.

تاریخچه استفاده از سدهای زیر زمینی در جهان، با ساختار ساده‌تر، ابعاد کوچکتر و متفاوت از نمونه‌های امروزی به تمدن‌های قدیمی بر می‌گردد. به عنوان نمونه موانع آب‌های زیر زمینی که بوسیله رومی‌ها ساخته شده‌اند هنوز در جزیره ساردینا موجود است ( Nilsson, 1988). در ایران استفاده از بند زیرزمینی به شکل پیشرفته‌تر به عصر صفویه مربوط می‌شود که برای افزایش آب مادر چاه قنوت وزوان در میمه اصفهان استفاده می‌شده است.

اولین سد بزرگ زیرسطحی دنیا که فن آوری امروزی ساخت سدهای زیرسطحی را پایه ریزی نمود، در پاکویماکریک کالیفرنیا بین سالهای ۱۸۹۰-۱۸۸۷ اجرا شد که طول آن ۲۰۰ متر، ماکزیم ارتفاع ۱۷ متر و دارای یک دیوار ساختمانی به ضخامت ۰/۶ متر است ( Nilsson, 1988).

قرن بیستم با ظهور پدیده بحران آب، علاقه دولت‌ها را برای احداث سدزیرزمینی در پی داشت. ابتدا کشورهای آفریقایی که کمبود آب بیشتری را تجربه می‌کردند به ساخت چنین سدهایی روی آوردند. قدیمی‌ترین سد زیر سطحی آفریقا در تانزانیا، سدی است نزدیک دودوما در منطقه فالی که در سال ۱۹۱۲ ساخته شده است. به طور مشابه در سال ۱۹۲۷ سدی ساده با یک دیواره سنگی و مغزه بتنی در عرض بستر شنی رودخانه دودوما ساخته

شد (Stengel, 1968). این طرح جهت تهیه آب مورد نیاز دام و شرب در مدت دوره‌های خشک احداث شد. در اروپا با آنکه کشورها از میزان بارندگی مناسبی بهره می‌برند اما تکنولوژی ساخت سدهای زیرزمینی در سال‌های حدود ۱۹۴۵ در جهت افزایش سطح آب زیرزمینی بکار گرفته شد. از دیگر توانایی‌های این سدها که بکار گرفته شده، جلوگیری از نفوذ آب دریاچه شور به سفره‌های آب شیرین بود که در یوگسلاوی (Pavlin, 1973) و یونان (Garagunis, 1981) در سال ۱۹۷۳ پیشنهاد شدند. احداث سد زیرزمینی با استفاده از تزریق سیمان در جزیره کابا (Kaba) ژاپن در سال ۱۹۷۵ نوعی دیگر از سدهای زیرزمینی را معرفی نمود. چند سال بعد در سال ۱۹۷۹ با همین روش، یک سد زیرسطحی بزرگ در نوگال دیستریکت سومالی اجرا شد.

احداث سدزیرزمینی از نوع ذخیره‌ای شنی برای اولین بار بصورت گسترده در حدود سال ۱۹۵۸ به عنوان یک روش سازگار در مناطق خشک نامبیا بکار گرفته شد که هدف از ساخت آن تامین آب شرب برای حیوانات اهلی بود.

نوعی سد زیرزمینی که یک نوع سفره مصنوعی به حساب می‌آید در سال ۱۹۷۸ در نیومکزیکو امریکا ایجاد شد و شامل یک آبگیر یا حوضه کوچک خاک‌برداری شده بود که توسط لوله‌ای از PVC یا رس پوشیده شده و سپس دوباره با شن پر شده است. آبخوان مصنوعی مشابهی نیز با اندازه بزرگتر برای ذخیره آبهای سیلابی در آکرون اوهایو اجرا شد (Helweg and Smith, 1978).

این تصور درست نیست که سدهای زیرزمینی همواره باید در مکان‌هایی که با کمبود شدید آب روبرو هستند احداث شود. در سال ۱۹۷۹ دو سطح زیرسطحی در شهر کرالا در جنوب هند در منطقه‌ای به نام پالقت گپ (Pulghat Gap) با متوسط بارش ۲۴۰۰ میلیمتر ساخته شده است که بیشترین مقدار بارش مربوط به ماه‌های ژوئن تا اکتبر بوده و کشاورزی در منطقه رایج است. آب در دسترس در فصل بارانی برای محصول برنج کافی است و در بخشی از منطقه دوبار در سال محصول می‌دهد. اما برای توسعه محصول دوم در منطقه و برای آبیاری

... از مواردی است که ساخت یک سد زیرزمینی را تجویز می‌کند (آقاملایی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به اینکه اجرای سدهای زیرزمینی در کشور ایران موضوعی نسبتاً جدید و نو می‌باشد، لذا نیازمند یک متدولوژی هماهنگ جهت برنامه ریزی و اولویت بندی تحقیقات مورد نیاز می‌باشد. در این مقاله بررسی‌های علمی و فنی جهت امکان اجرای سد زیر زمینی رمشک در استان کرمان مورد بررسی قرار گرفته است.

### سدهای زیر زمینی

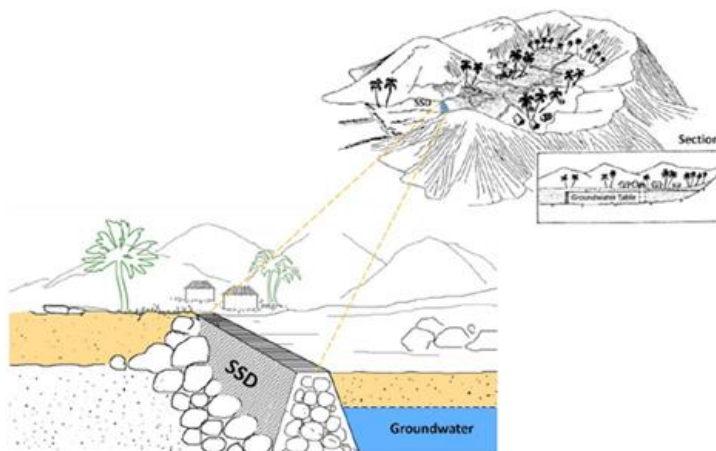
سد زیر زمینی سازه هیدرولیکی است که برای ذخیره سازی و کنترل آب زیرزمینی ساخته می‌شود. این سدها معمولاً در مناطقی که جریان‌های آب زیر سطحی دارای اختلاف پتانسیل بوده و بر اثر وجود گرادیان هیدرولیکی از منطقه خارج می‌شوند، احداث می‌گردند. اصولاً محل و موقعیت سدهای زیرزمینی در شرایط گوناگون، متفاوت است. این سدها گاهی در سواحل دریا برای جلوگیری از ورود آب زیر سطحی شیرین به دریا و گاهی در حواشی کویر نیز برای جلوگیری از ورود آب شیرین به سفره های آب شور کویری و یا در مناطقی برای جلوگیری از نشت آب زیر سطحی و یا پیش گیری از نفوذ فاضلاب و آلودگی‌های زیر سطحی از طریق جریان‌های آب زیر زمینی مطالعه و اجرا می‌گردند (Ishida et al., 2011). سدهای زیر زمینی بطور کلی به دو دسته تقسیم شده اند، سدهای زیر زمینی شکل (۱) و سدهای ذخیره ماسه ای (شکل ۲). همانطور که اشاره گردید سدهای زیرزمینی از جمله راهکارهای بسیار مناسب برای مدیریت منابع آب خصوصاً در اقلیم‌های خشک می‌باشند. با توجه به شرایط اقلیمی کشور ایران، سدهای زیرزمینی می‌توانند نقش تعیین کننده‌ای در جهت تامین منابع آب در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک ایفا کنند. در سال‌های اخیر سدهای زیرزمینی در استان‌های مختلف کشور مکانیابی و اجرا گردیده است که از جمله این سدها می‌توان به سدهای زیرزمینی کندر کهنوج، میان رود راور، گلباف، در استان کرمان اشاره کرد (جدول ۱).

محصول سوم احتیاج به آب مازاد بود که منجر به ساخت چنین سدهایی شد و با اینکار به اقتصاد منطقه کمک شایانی شد (Nilsson, 1988).

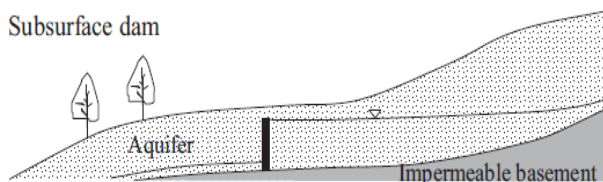
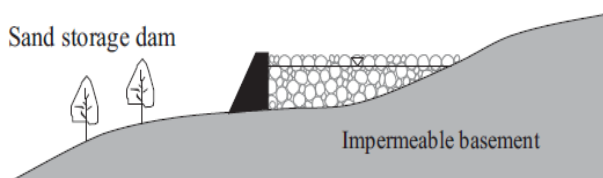
در دهه ۹۰ ساخت سدهای زیرزمینی جهش زیادی یافت و در اکثر نقاط جهان فعالیت‌هایی انجام گرفت که از آن جمله می‌توان به اجرای سدهای زیرسطحی تزریقی نیویورک و دلاور در ایالات متحده ( Helweg and Smith, 1978) و برزیل در سال ۱۹۸۱، سدهای زیرزمینی موزامبیک شمالی و زیمبابوه ( Dahlin et al., 1984) و سری جدید سدهای ذخیره‌ای شنی ماچاکوس کنیا در سال ۱۹۸۲، سدهای زیرسطحی بولیوی، غرب عربستان سعودی به طراحی باسماکی ( Basmaci, 1983) و سیسیل در سال ۱۹۸۳، سدهای ذخیره‌ای شنی مناطق کوهستانی استرالیا، سدهای زیرسطحی در بوتسوانا افریقا و منطقه هارانی اتیوپی در سال ۱۹۸۴ اشاره نمود (Hansson and Nilsson, 1986).

همزمان با پیشرفت‌های سایر کشورهای دنیا در ساخت سدهای زیرزمینی، در کشور ایران نیز کمابیش فعالیت‌هایی وجود داشته اما به صورت گسترده پیگیری نمی‌شد. ایران در بسیاری از نقاط مرکزی، جنوبی و شرقی دارای اقلیمی خشک تا نیمه خشک می‌باشد. بارندگی در این نقاط از کشور در فصول خاصی از سال و غالباً بصورت نامنظم و در مواردی شدید و رگباری می‌باشد. ذخیره آب در چنین مناطقی باید به نحوی مدیریت گردد تا بتوان از آب فصل بارندگی در فصول خشک و همینطور آب ذخیره شده در سال‌های پر باران برای سال‌های کم باران استفاده نمود. از اولین پروژه های ساخت این سدها در ایران می‌توان به ساخت سد زیر زمینی کهنوج در استان کرمان (امینی زاده، ۱۳۷۹) و کوه زر در استان سمنان اشاره نمود.

اجرای سدهای زیرزمینی بلحاظ فنی و اقتصادی بایستی دارای شرایط مشخصی باشد تا پروژه اقتصادی و مقرون به صرفه شود. مثلاً ضخامت آبرفت، عمق و جنس سنگ کف، ابعاد دره، وجود جریان زیرگذر دائمی یا فصلی مناسب، پتانسیل ذخیره آب درون منافذ مخزن آبرفتی و



شکل (۱): نمایش شماتیک از یک محل مناسب برای ساخت سد زیرزمینی (Dortaj et al., 2019; Frontieres, 2006; Forzieri et al. 2008)



شکل (۲): سد ذخیره‌ای ماسه‌ای و سد زیرزمینی (Ishida et al., 2011)

جدول (۱): سدهای زیرزمینی اجرا شده در استان کرمان

استان	نام سد	نوع سد	سال ساخت	ارتفاع سد (متر)	طول سد (متر)	حجم مخزن آبرفتی (m <sup>3</sup> )	شیوه ساخت
کرمان	کندر کهنوج	سد زیر زمینی	۱۳۶۹	۹	۸۰	۱۲۰۰۰۰	خاک‌برداری
کرمان	میان رود راور	سد زیر زمینی	۱۳۸۳	۱۰	۷۰	۱۱۰۰۰۰	خاک‌برداری
کرمان	حرمک گلیاف	سد زیر زمینی	۱۳۸۵	۱۱	۱۴۰	۴۲۰۰۰۰	خاک‌برداری
کرمان	توتک راین	سد زیر زمینی	۱۳۸۹	۱۰	۹۰	۳۱۵۰۰۰	خاک‌برداری
کرمان	گشمیران منوجان	سد زیر زمینی	۱۳۹۶	۵	۴۰	۱۰۰۰۰	خاک‌برداری
کرمان	مغ محمد آباد	سد زیر زمینی	۱۳۹۶	۵	۳۰	۷۰۰۰۰	خاک‌برداری

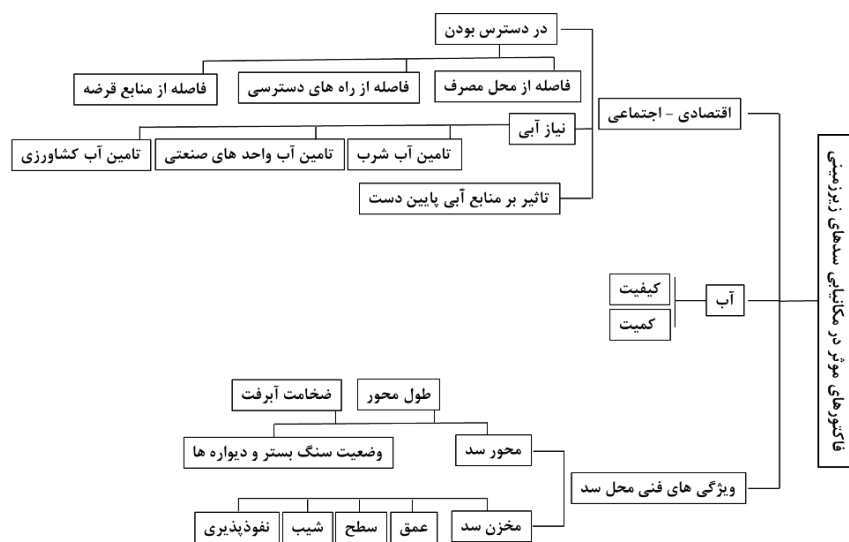
سد و مهندسی سازه سد زیرزمینی لازم می باشد چرا که وجود نقصان و اشتباه در تخمین هریک از دو عامل فوق کارایی سد زیرزمینی به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد (Giovanni et al., 2008 & Ouerdachi et al., )

#### مواد و روش‌ها

برای اینکه یک سد زیرزمینی از بازدهی مناسب برخوردار باشد تلفیقی صحیح و بهینه از محل قرار گیری

به شرایط خاص اقلیمی، مرفولوژیکی، هیدرولوژیکی و جریانات زیربستری، محور سد زیرزمینی، مورد بررسی قرار گرفته است. برای تهیه نقشه‌های مورد نیاز از نرم افزارهای Arc GIS و CorelDRAW استفاده شده است. جهت تکمیل مطالعات اولیه با حفر گمانه‌های دستی در بستر رودخانه، عمق تقریبی سنگ کف، ضخامت آبرفت و نیز وضعیت جریان آب زیرزمینی مشخص گردید سپس با انجام عملیات حفاری ماشینی و به روش دورانی، گمانه‌ای به عمق ۳۵/۵ متر حفر شد که این گمانه ۳/۵ متر در سنگ کف هم ادامه یافت تا بتوان علاوه بر مشخص شدن عمق سنگ کف میزان سلامت سنگ کف را نیز بررسی کرد. بعلاوه سونداژهای ژئوالکتریک در مخزن و محور سد انجام که عمق سنگ کف و توپوگرافی سنگ کف با استفاده از اطلاعات ژئوالکتریک نیز مشخص شدند. جهت تحلیل داده های ژئوفیزیکی از نرم افزارهای RES2DINV و Auto CAD استفاده شده است.

گام اول در احداث یک سد زیرزمینی شناسایی مکان‌های مناسب برای احداث سد می‌باشد. این مرحله به دلیل اینکه سود یا زیان پروژه را در بطن خود دارد باید بطور دقیق انجام شود چرا که در صورت انتخاب مکان‌های نامناسب جهت احداث سد زیرزمینی از یک سو هزینه اجرایی طرح افزایش می‌یابد و از سوی دیگر میزان بازدهی سد زیرزمینی کاهش می‌یابد. در انجام این پژوهش جهت بررسی خصوصیات مهندسی محور انتخاب شده برای سد زیرزمینی رمشک از عکس‌های هوایی با مقیاس 1:20000 تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور، تصاویر ماهواره‌ای TM لندست ۴، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین شناسی 1:250000 و 1:100000 و نقشه زمین شناسی 1:500000 استان کرمان استفاده شده است. با توجه به موضوع طرح تحقیقاتی، جهت مشخص شدن محل مناسب با موضوع طرح، در مرحله اول بر اساس عکس‌های هوایی و سپس در مرحله بعد با مطالعات صحرایی و بر اساس معیارهای مختلف شکل (۳) و با توجه



شکل (۳): فاکتورهای موثر در انتخاب مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی

مکران قرار گرفته است. حوضه آبخیز رمشک در محدوده جغرافیایی  $58^{\circ} 41' 15''$  تا  $58^{\circ} 56' 19''$  طول جغرافیایی و  $26^{\circ} 39' 35''$  تا  $26^{\circ} 54' 13''$  عرض جغرافیایی واقع شده است و مساحت حوضه در حدود

زمین شناسی و ساختار منطقه مورد مطالعه دهستان رمشک از توابع شهرستان قلعه گنج در استان کرمان، در حدود ۵۴۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر کرمان و بر اساس تقسیم‌بندی زمین‌ساختی، در پهنه

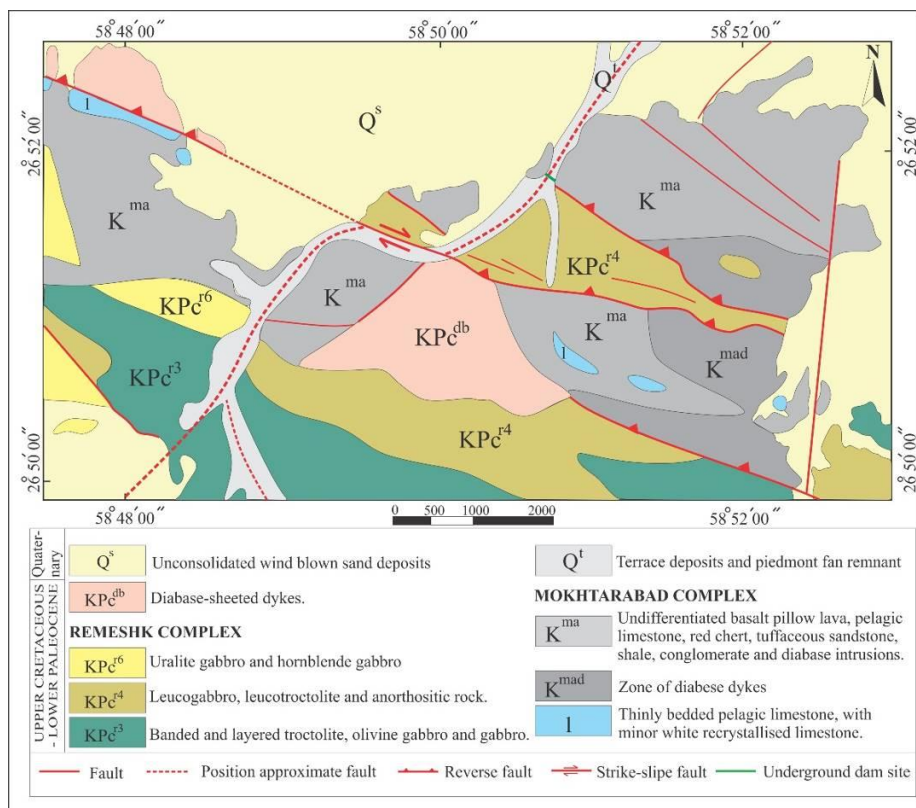
منظور براساس بررسی تصاویر ماهواره‌ای، روند و موقعیت جایگیری گسل‌های واقع در این منطقه نسبت به محور پیشنهادی سد، مورد مطالعه قرار گرفته شده است (شکل ۵ و ۶).

گسل‌ها در این محدوده در دو روند اصلی شمال‌غرب- جنوب‌شرق (متمایل به روند شرقی- غربی) و شمال‌شرق- جنوب‌غرب تشکیل شده‌اند. با توجه به شواهد موجود می‌توان گفت رودخانه بهارک در راستای یکی از گسل‌های شمال‌شرقی- جنوب‌غربی جریان پیدا کرده است. همچنین تعدادی گسل با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق در این منطقه تشکیل شده که برخی از آنها حتی موجب جابجایی در مسیر جریان رودخانه‌های اصلی و شاخه‌های فرعی آنها شده است. در بخش غربی محل پیشنهادی سد، حضور تپه‌های ماسه‌بادی موجب رخنمون پیدا نکردن اثر گسل‌ها شده که به‌موجب آن، بررسی‌های ساختاری در این منطقه امکان پذیر نمی‌باشد. در محل مخزن سد پیشنهادی در این پژوهش، گسلی با روند شمال‌شرق- جنوب‌غرب وارد شده است و با توجه به اینکه گسل‌های با این روند احتمال می‌رود که به موازات راستای حداکثر تنش باشند، در نتیجه می‌توانند دارای سازوکاری کششی بوده و این حرکت کششی موجب بازشدگی در واحدهای سنگی و ایجاد فضای خالی برای خروج آب از محل مخزن شود (شکل‌های ۵ و ۶).

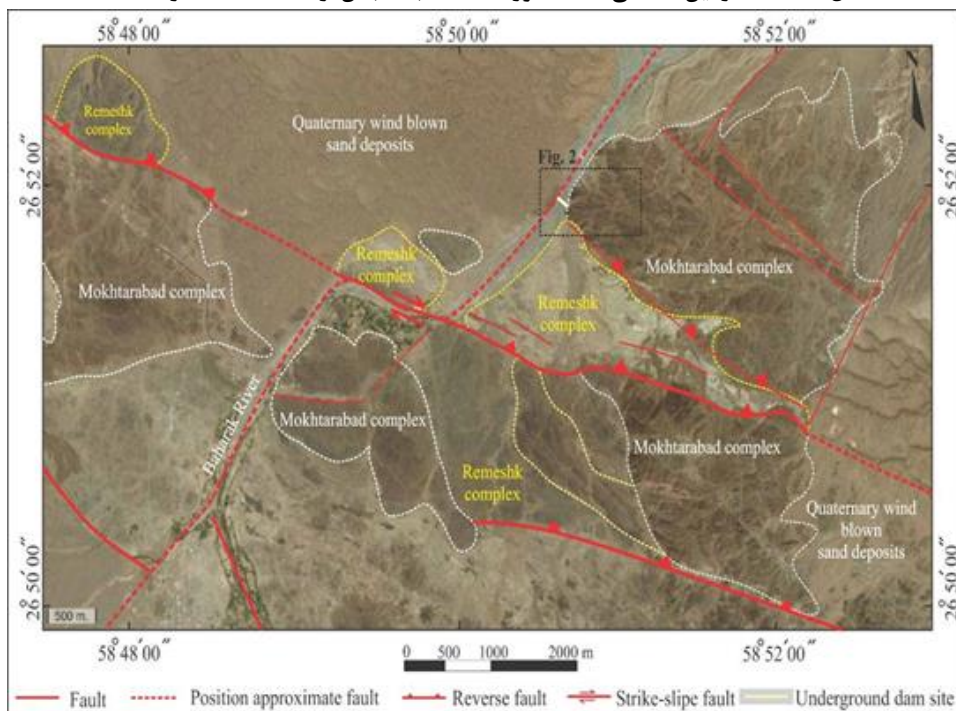
۳۴۳/۵۸ کیلومتر مربع می‌باشد. محدوده مورد مطالعه که بخشی از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ رمشک می‌باشد در بخش شمال غربی شیت رمشک واقع شده و دارای ۴ کمپلکس ساختمانی به نام‌های: مختارآباد، دورکان، کالرد ملانج، رمشک و واحد چینه‌ای گور داک می‌باشد.

واحدهای سنگی رخنمون یافته در بخشی از مسیر رودخانه که به این منطقه منتهی می‌شود شامل نفوذی- های اولترامافیک و مافیک مربوط به کمپلکس رمشک به سن کرتاسه فوقانی- پالتوسن تحتانی و سنگ‌های آتشفشانی کمپلکس مختارآباد به سن کرتاسه فوقانی می‌باشند (شکل ۴). این واحدها به دلیل عملکرد گسلش‌های معکوس با راستاهای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و شرقی- غربی، نسبت به نواحی مجاور واقع در شمال‌شرق منطقه مورد مطالعه، ارتفاع بیشتری دارند. این اختلاف ارتفاع باعث به جریان افتادن آبراهه‌هایی از نواحی مرتفع به سمت نواحی کم ارتفاع شمال شرقی شده است. علاوه بر تغییرات لیتولوژیکی، شکستگی‌ها نیز در تعیین مسیر آبراهه‌ها نقش بسیار مهمی دارند.

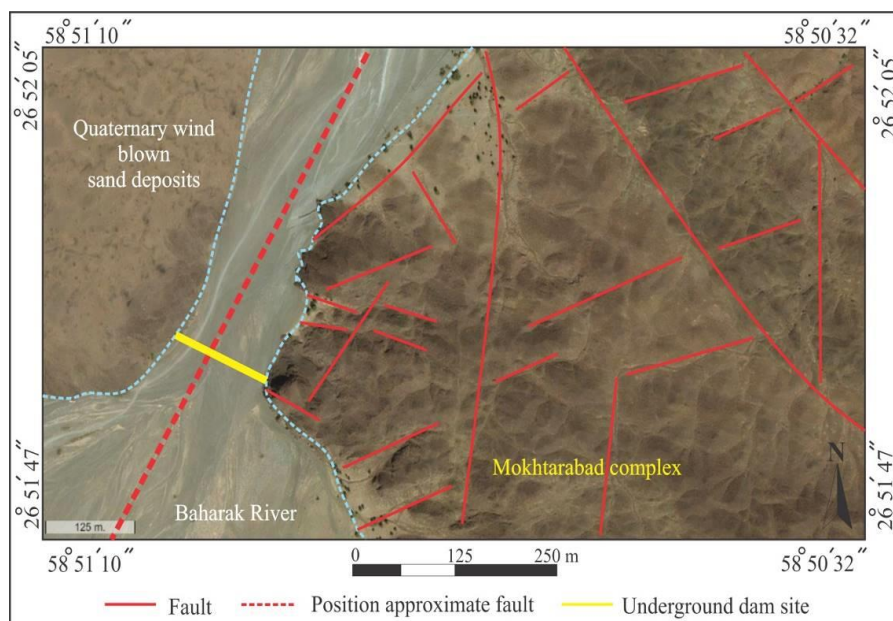
با توجه به قرارگیری محدوده مورد مطالعه در پهنه مکران و فعال بودن این پهنه به دلیل حرکت صفحه عمان به سمت ایران و فرورانش آن به زیر مکران و همچنین نزدیک بودن این محدوده به گسل‌های فعالی چون میناب، رودان، فنوج و گسل جنوبی جازموریان، مطالعات ساختاری جزو ضروریات این پژوهش بشمار می‌آید. بدین



شکل (۴): نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (با اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ رمشک).



شکل (۵): وضعیت ساختاری محدوده مورد مطالعه (برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth).



شکل (۶): وضعیت گسل‌ها در دیواره و محور انتخابی (برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth).

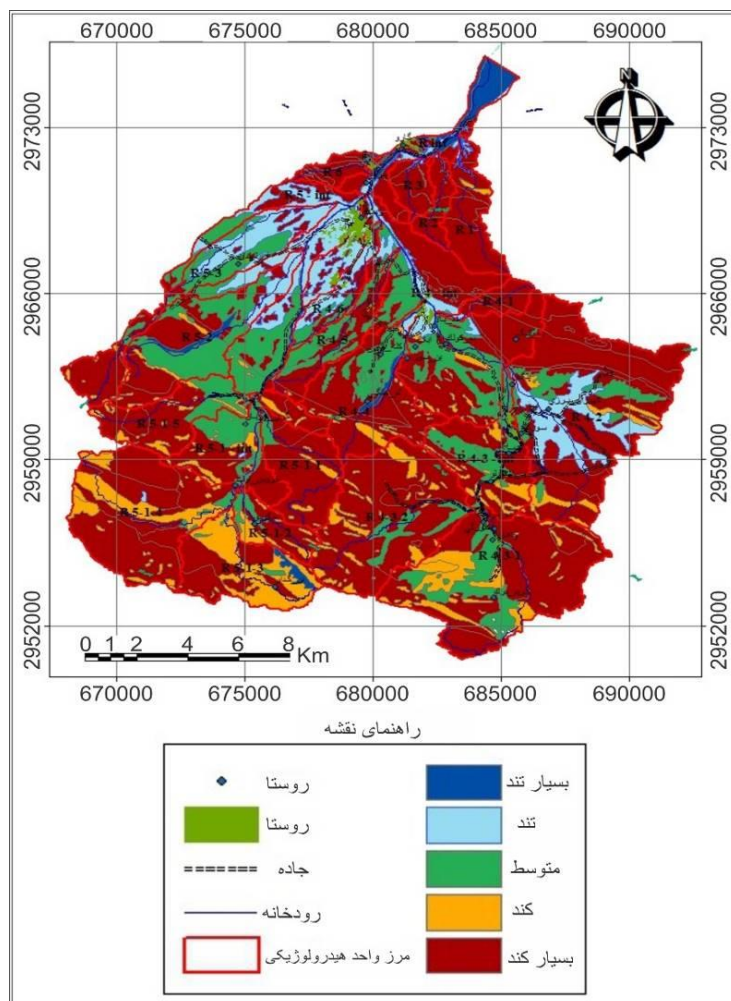
#### بحث و بررسی

ساختاری حوضه رمشک و بر اساس تقسیم بندی در قالب پنج کلاس مورد ارزیابی، نقشه کلاس‌های نفوذ پذیری حوضه و قابلیت نفوذپذیری واحدهای مختلف زمین شناسی مورد ارزیابی واقع گردید. بر اساس این تقسیم بندی، واحدهای هیدرولوژیکی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه از نقطه نظر شدت نفوذپذیری تفکیک شد و نقشه قابلیت نفوذپذیری واحدهای مختلف هیدرولوژیکی و زمین شناسی در شکل (۷) نشان داده شده است

خواص هیدرولیکی مواد تشکیل دهنده آبخوان‌ها یا محل‌های تجمع آب‌های زیرزمینی تابعی از تخلخل و اندازه منافذ، ارتباط منافذ باهم، اندازه ذرات، شکل و بافت مواد می‌باشد. نفوذ پذیری از مهمترین عوامل در تعیین موقعیت مکانی محل‌های سد زیرزمینی به روش تغذیه سطحی است.

با انطباق نقشه واحدهای هیدرولوژیکی بر روی نقشه زمین شناسی و زمین ساخت حاوی اطلاعات عناصر





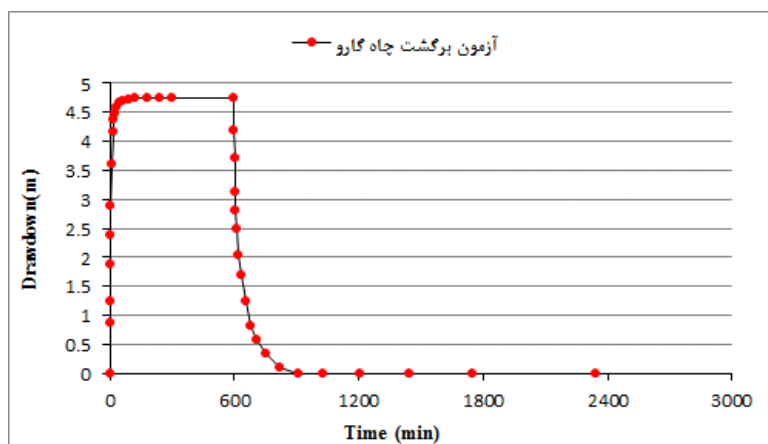
شکل ۷. نقشه شدت نفوذپذیری واحد های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز رمشک

اطلاعات اندازه گیری شده از آزمون پمپاژ در چاه گارو به همراه مشخصات چاه و آبخوان به مدل Aquifer test وارد شد و با انتخاب فرضیات حاکم بر آبخوان و نوع تست صورت گرفته اقدام به برازش منحنی بر داده ها شد تا مقدار ضریب قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی محدوده اطراف چاه برآورد شود.

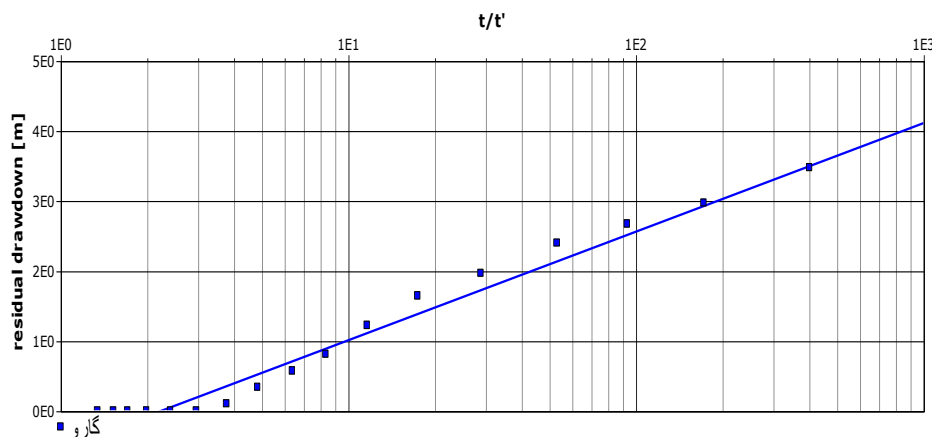
شکل (۹) برازش افت باقیمانده در مقابل زمان را برای داده های اندازه گیری شده و خط برازش در چاه گرو نشان می دهد. مقادیر ضرایب هیدرولیکی بهینه شده پس از ۱۰ مرتبه اجرای مدل بدست آمد. مقدار قابلیت انتقال آبخوان در محدوده این چاه ۱۸۳ متر مربع در روز و هدایت هیدرولیکی ۶,۱ متر در روز تخمین زده می شود.

به منظور تخمین خصوصیات هیدرولیکی و هیدرودینامیکی آبرفت های محل پیشنهادی سد، از چاه های پمپاژ منطقه جهت آزمایش پمپاژ استفاده شد. آزمایش پمپاژ دقیقترین و قابل اعتمادترین روش برآورد پارامترهای هیدرولیکی و هیدرودینامیکی آبخوان نظیر هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال و ضریب ذخیره می باشد.

تخمین پارامترهای هیدرولیکی با آزمون برگشت در چاه گارو انجام پذیرفت، برای این منظور بمدت ۱ و ۱۰ ساعت پمپاژ شد و مقدار افت در چاه به شکل منظم اندازه گیری شد (شکل ۸). پس از ایجاد افت در چاه و پایدار شدن آبدهی چاه با مقدار افت، پمپ خاموش شد و مقدار بازیافت افت تا رسیدن به سطح آب اولیه اندازه گیری شد (شکل ۸).



شکل (۸): افت سطح آب در مراحل پمپاژ و بازیافت در چاه گارو



شکل (۹): برازش داده های بازیافت افت با منحنی تیپیک در چاه گارو

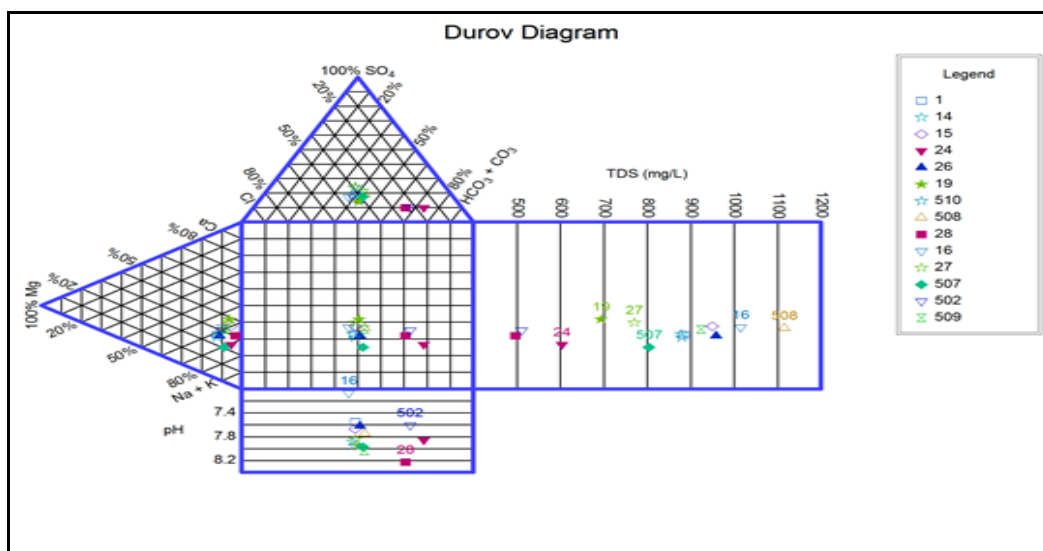
بدین منظور در طول بازدید صحرایی از منطقه اقدام به نمونه برداری از برخی منابع آب درون حوضه مطالعاتی گردید. در این اقدام جمعا تعداد ۱۴ نمونه از منابع آبی مختلف از چاه و قنوات حوضه مطالعاتی، نمونه برداری کیفی صورت پذیرفت. خلاصه ای از وضعیت کلی نمونه های آب منطقه مورد مطالعه در شکل (۱۰) ارائه شده است. این شکل که به نمودار Durov شناخته شده است نمای کلی از وضعیت کاتیون و آنیون های اصلی آب و همچنین کل مواد جامد محلول و قلیائیت آب را نشان می دهد.

بطور کلی کیفیت نمونه ها جهت مصارف شرب مشکل خاصی ندارند و هیچ نمونه ای در رده کیفی نامناسب نمی باشد. مطابق نتایج، نمونه های آب منتخب می تواند سبب رسوب گذاری در داخل لوله های انتقال آب و همچنین

با توجه به اینکه عناصر و ترکیب های مختلفی در داخل زمین وجود دارند که روی کیفیت شیمیایی و فیزیکی آب مؤثر می باشند لذا کیفیت آب های زیرزمینی تحت تأثیر مجموعه عوامل مختلف از قبیل کیفیت آب های سطحی کیفیت آب نزولات جوی، کیفیت آب های زیرزمینی ورودی از واحدهای سنگی اطراف آبرفت و همچنین کیفیت خود آبرفت می باشد. به عبارتی در صورت وجود واحدهای سنگی حاوی کانیهایی تبخیری حوضه تغذیه کننده سفره ها (چه به صورت سطحی و چه به صورت زیرزمینی) کیفیت آب کاهش خواهد یافت. اما حتی در صورت مناسب بودن کیفیت آب های یاد شده اگر آبرفت غیراشباع نیز دارای املاح زیادی باشد آب عبوری از آن بر کیفیت آب سفره زیرزمینی تأثیر منفی فراوانی خواهد داشت.

سیستم اسید شویی خواهد بود.

قطره چکان‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای شود. از این رو در صورت اجرای طرح‌های آبیاری قطره‌ای نیاز به طراحی



شکل (۱۰): وضعیت کلی نمونه های آب منطقه مطالعاتی در نمودار Durov

همینطور نتایج آزمایش لوفران، با افزایش عمق، خاک بسیار متراکم شده و نفوذ پذیری نیز کاهش پیدا کرده است. این نهشته‌های آبرفتی با افزایش عمق ضمن متراکم‌تر شدن، دارای سیمان کلسیتی بوده که باعث کاهش نفوذ پذیری نیز شده است.

با انجام سونداژهای الکتریکی در منطقه و آنالیز و تفسیر نتایج بدست آمده از این برداشت‌ها و با توجه به اطلاعات گمانه‌ای که در منطقه حفر گردید و رخنمون سازندهای حاشیه رودخانه که در محل مورد بررسی، قرار داشت، گستره مقاومت‌های ویژه الکتریکی لایه‌های تشکیل دهنده پهنه مطالعاتی با توجه به شرایط زمین شناسی، در جدول (۳) آورده شده است.

جهت انجام مطالعات ژئوتکنیک (جدول ۲) در مخزن محور پیشنهادی دو گمانه حفاری گردیده است. که یکی از گمانه‌ها در امتداد محور پیشنهادی توسط دستگاه حفاری تا عمق ۳۵/۵- متری و گمانه دیگر به صورت دستی و تا عمق ۹/۵ متری حفر گردیده است. آبرفت‌های نهشته شده در محل گمانه ماشینی بیشتر شامل توالی از رسوبات ریز و درشت دانه آبرفتی با درصد‌های مختلفی از ذرات ریزدانه و با میان لایه های رسی و سیلتی می‌باشد (عمق برخورد به سطح آب در گمانه حفاری شده توسط دستگاه حفاری ۷ متر می‌باشد).

نتایج مطالعات ژئوتکنیک جدول (۲) نشان می‌دهد که، آبرفت محل محور انتخابی بر اساس طبقه بندی متحد عمده تا SC می‌باشد که با توجه به نتایج آزمون SPT و

جدول (۲): نتایج مطالعات ژئوتکنیک در محل محور پیشنهادی

No	Sample	Depth	USCS	PI	Direct Shear Test		SPT	Kc (cm/sec)
					C (kg/cm <sup>2</sup> )	φ (deg)		
1	BR1	2	SC	14			19	1.6E-02
2	BR2	4	SC	10	0.05	42	24	1.2E-02
3	BR4	8	SC	13			39	6.8E-03
4	BR5	12	SC	14			>50	8.2E-05
5	BR6	15	SC	10	0.03	45	>50	5.1E-06
6	BR7	18	SC	12			>50	
7	BR8	20	SC	11			>50	
8	BR9	22	SC	14			>50	6.3E-04
9	BR10	24	SC	12			>50	
10	BR11	26	SC	14			>50	
11	BR12	27	GC	10			>50	
12	BR13	30	SC	13			>50	

جدول (۳): گستره مقاومت ویژه الکتریکی نهشته های رسوبی در محل محور سد پیشنهادی

ردیف	ویژگیهای لایه های زمین شناسی	گستره مقاومت ویژه الکتریکی (Ω/m)	توضیحات
۱	رسوبات شن ماسه شسته شده رودخانه ای	۱۰۰-۵۰۰	لایه سطحی
۲	رسوبات ماسه ای با شن کم، حاوی رس، کمی متراکم	۴۰۰-۱۲۰۰	لایه نسبتاً متراکم آبرفت خشک
۳	لایه به نسبت درشت دانه شامل مخلوطی از شن و ماسه و رس	۵۰-۲۰۰	بصورت بین لایه با درصد متفاوت
۴	لایه به نسبت درشت دانه شامل مخلوطی از شن و ماسه و رس مرطوب	۵۰-۳۰	لایه آبدار سطحی آبرفت مرطوب
۵	لایه به نسبت درشت دانه شامل مخلوطی از شن و ماسه با رس کمتر و آبدار	۶۰-۳۰	لایه آبدار آبرفت اشباع
۶	سنگ بازالت	۵۰۰-۱۳۰۰	سنگ کف

در این ستون چینه‌ای وضعیت نهشته‌های رسوبی به گونه‌ای است که در مجموع ۵ نهشته رسوبی دارای بافت متفاوت و درصد مختلفی از ذرات ریزدانه و درشت دانه و درصد متفاوت تراکمی وجود دارد.

با توجه به تنوع نه چندان در محدود سازندی در منطقه، سنگ کف منطقه مطالعاتی از نوع بازالت می‌باشد و نهشته‌های دیگر (۵ نهشته رسوبی) را می‌توان مربوط به

آبرفت منطقه دانست که نقش لایه های ۲، ۳ و ۵ در منطقه بارزتر می‌باشند و لایه‌های دیگر بخش کوچکی را به خود اختصاص داده اند. در بین این نهشته‌ها در برخی افق‌ها، بین لایه‌های سیلتی - رسی به صورت پهنه‌های نازک لایه‌ای در منطقه دیده می‌شوند.

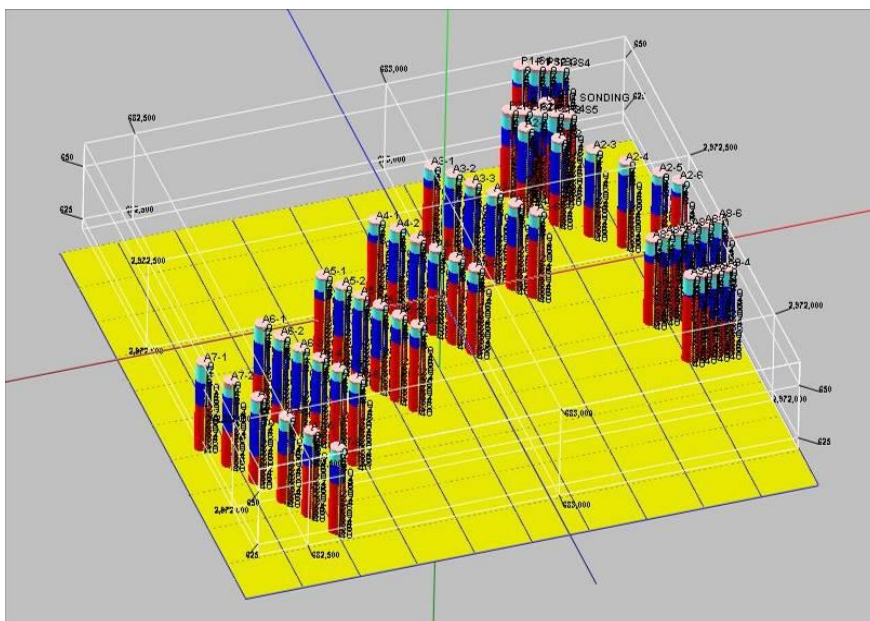
پس از تفسیر و آنالیز سونداژها با توجه به دو گمانه کم عمق ابتدا و انتهای محدوده مطالعاتی و رخنمونهای

امتدادهای تقریباً شرقی - غربی در منطقه ارائه گردیده است که این مقاطع بیانگر عمق قرارگیری سطح آب و سنگ کف و جنس لایه‌های زیر سطحی می‌باشد

حاشیه رودخانه‌ها و سازندها که در محدوده مطالعاتی رخنمون داشتند نتایج حاصل از مطالعات کمی، در قالب یکسری مقاطع عرضی عمود بر مسیر رودخانه و در (شکل ۱۱ و ۱۲).



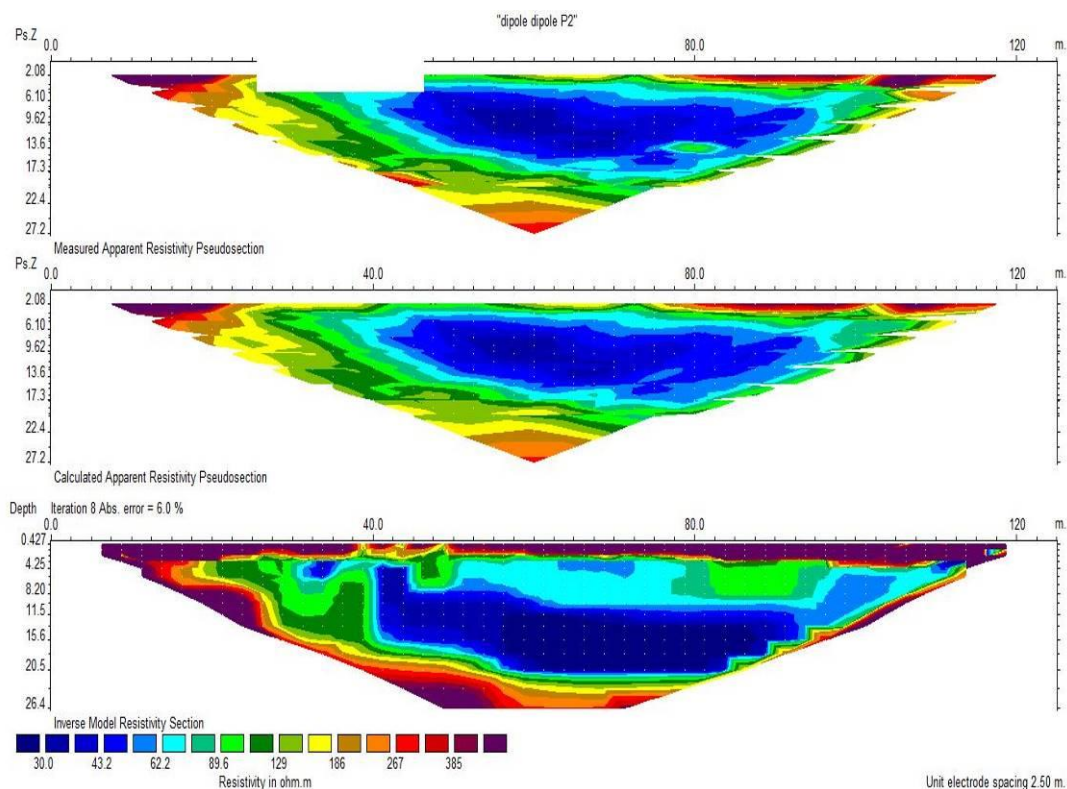
شکل (۱۱): الف) موقعیت محور پیشنهادی (ب) جناح راست (ج) جناح چپ (د) موقعیت قرارگیری سونداژها در محور سد (پروفیل P2) (نگاه به سمت جنوب)



شکل (۱۲): وضعیت قرارگیری مقاطع عرضی و موقعیت سونداژهای الکتریکی در محدوده مطالعاتی (۱۰ مقطع و ۵۵ سونداژ)

تقارن نسبی در پروفیل حاکم می‌باشد و مقایسه نسبی این پروفیل با مقطع الکتریکی حاصل سونداژها هر دو بیانگر موضوعی واحد می‌باشد که نتیجه آن صحت نتایج برداشتی را به دنبال داشته است. لازم به ذکر است در اواسط پروفیل دایپیل به سبب نرسیدن به لایه مقاومت بالا در این منطقه نشان دهنده عبور گسلش در این امتداد است که مطالعات عکس‌های هوایی و همچنین نتایج حفاری در این محور (P۲)، وجود گسل را تایید می‌کند.

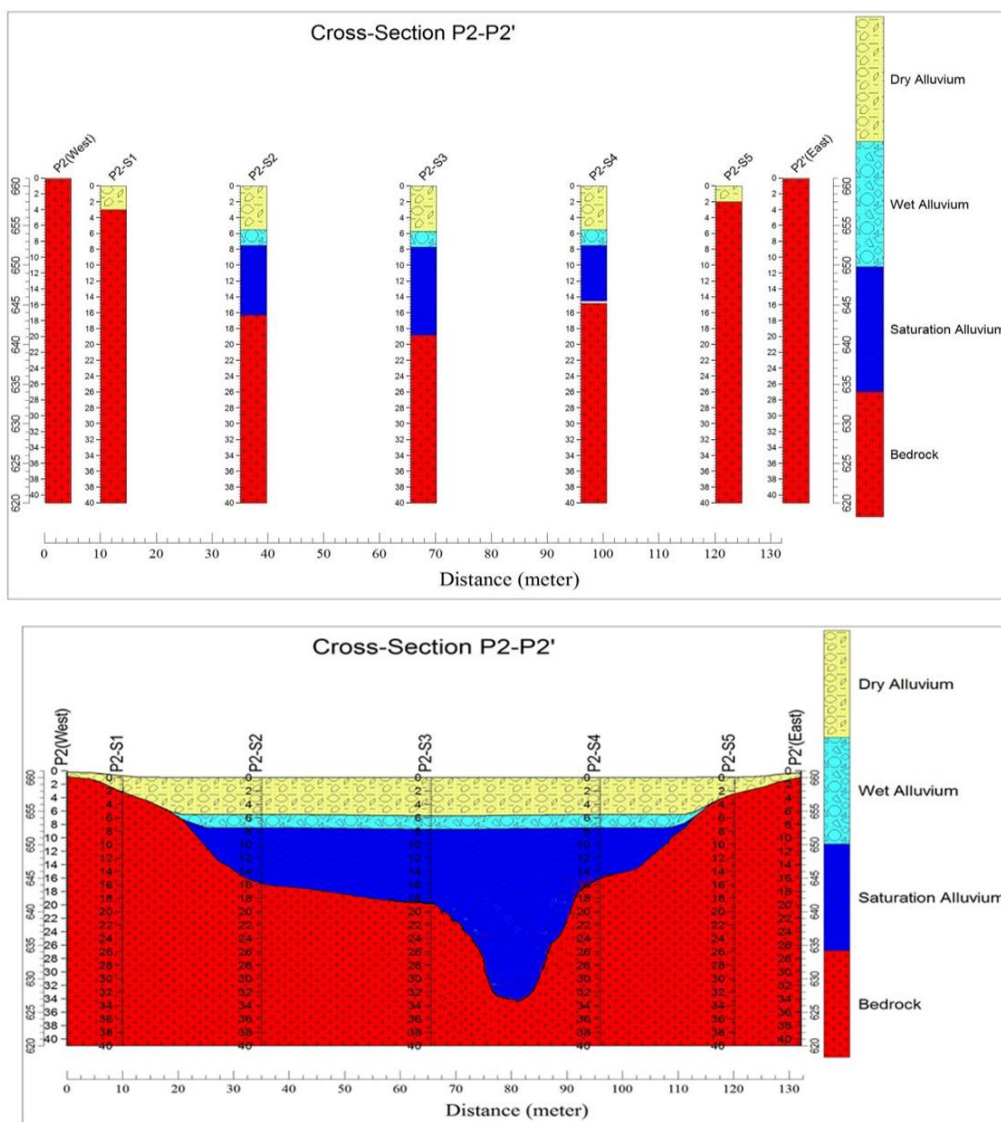
مقطع الکتریکی در محل محور سد (شکل ۱۱-د) دارای ۱۲۵ متر طول و شامل ۵ عدد سونداژ S1, S2, S3, S4, S5 به فواصل حداکثر ۲۵ متر از یکدیگر می‌باشد. علاوه بر این پنج سونداژ، دو پروفیل دو قطبی - دوقطبی با فاصله الکترودی ۵ و ۱۰ متر جهت تکمیل و تدقیق اطلاعات در این محور انجام شده است. که تلفیق اطلاعات این دو پروفیل که یکی جهت بررسی تدقیق جانبی اطلاعات پروفیل و دیگری جهت بررسی‌های عمقی پروفیل انجام گردید، در شکل (۱۳) ارائه گردیده است که



شکل (۱۳): مقطع دوقطبی - دوقطبی ژئوالکتریک P2

می‌باشد. در این مقطع سنگ کف تقریباً از عمق ۱۵- متر در محل سونداژهای P2-S4 و P2-S5 تا عمق ۱۹- متری در محل سونداژ P2-S3 می‌رسد

بر اساس تفسیر اطلاعات حاصل از برداشت‌های صحرائی سونداژهای P2-S1 الی P2-S5 مقطع مقاومت الکتریکی P2 به دست آمده است. هم چنانکه در شکل (۱۴) دیده می‌شود راستای این مقطع تقریباً شرقی- غربی



شکل (۱۴): موقعیت قرار گیری سونداژها در مقطع P2

به منظور بررسی وضعیت رودخانه در طول مسیر از انتهای مخزن تا پایین دست محور پیشنهادی، مبادرت به برداشت یکسری مقاطع عرضی به فواصل ۲۰۰ متر از همدیگر از مخزن سد گردید که جهت شناخت وضعیت رودخانه از حیث طولی آن، از ادغام ۹ مقطع (۱۵۰ متر پایین تر از محور اصلی تا ۱۰۰۰ متر بالادست محور پیشنهادی) که انجام پذیرفت منجر به ترسیم سه پروفیل طولی یکی در جناح چپ رودخانه، که بیانگر وضعیت حاشیه غربی مخزن و دیگری در مرکز مخزن سد مطالعاتی که سعی گردیده است که وضعیت عمیق‌ترین نقاط در

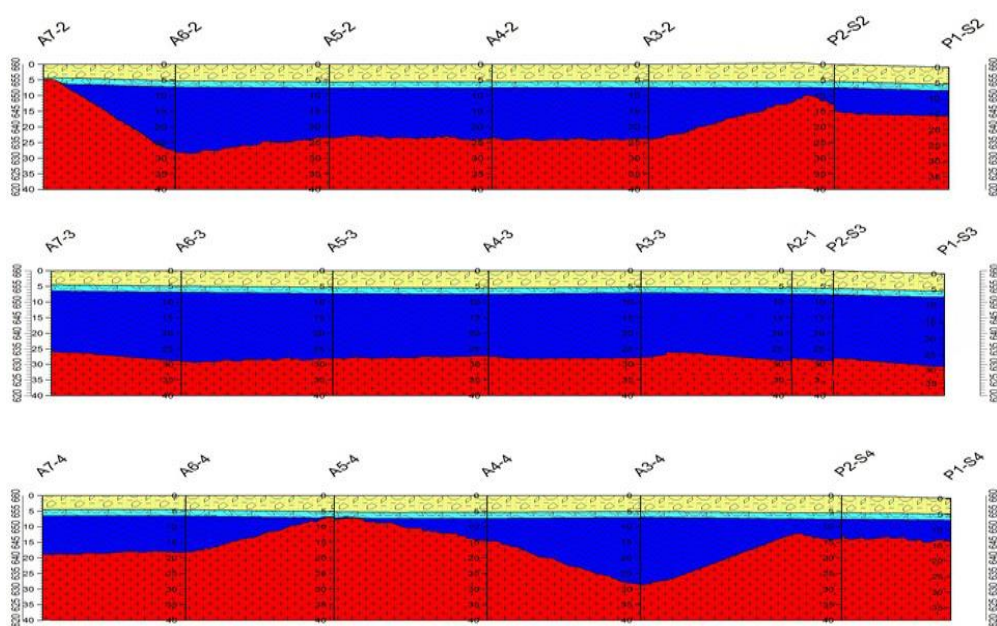
سنگ کف در این مقطع از نوع بازالتی می‌باشد. با روند حرکتی از عمق به سطح بعد از سنگ کف بازالتی به دنبال آن آبرفت‌های تقریباً درشت دانه قرارداد که مرز آب در لایه آبرفتی و در عمق ۷- متر نمایانگر می‌باشد و از ضخامت این لایه به طرفین محور به تدریج کاسته می‌شود و شکل مقطع به گونه‌ای است که مقطع شکل متقارنی به خود می‌گیرد و با توجه به نتایج در این محور، زبانه ورودی و تمرکز آب در سمت غرب محور مشهودتر می‌باشد. ضمناً در فاصله بین سونداژهای S3 و S4 عبور گسلش در این امتداد قابل مشاهده است.



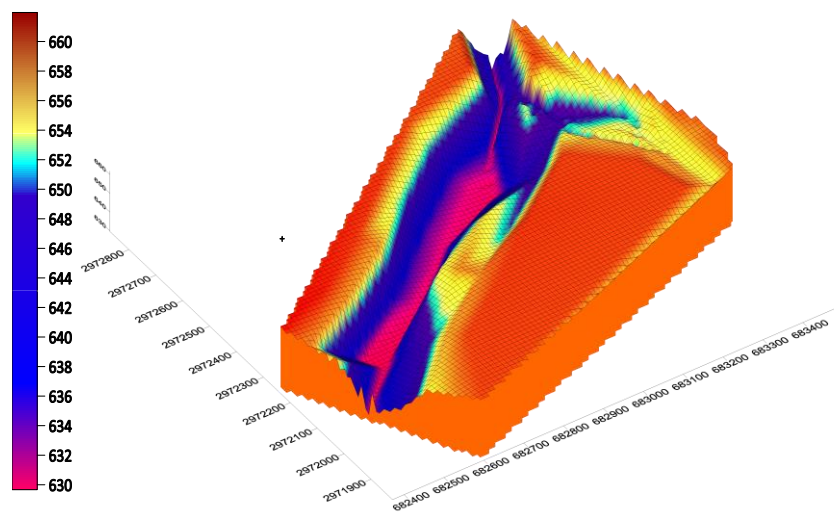
حدود ۳۲- متر را نشان میدهد مابقی سطح مقطع به صورت قابل توجهی بالا آمدگی در حدود ۱۳ متر را نسبت به عمیق ترین نقطه مخزن را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده مدل سه بعدی سنگ کف در محدوده مخزن و محور پیشنهادی در شکل (۱۶) نشان داده شده است

طول پروفیل در مخزن به تصویر کشیده شود و دیگری در جناح راست رودخانه که بیانگر وضعیت شرقی بستر سنگی و آبرفت رودخانه در مخزن و محور مطالعاتی گردد.

همانگونه در این مقاطع شکل (۱۵) و در سه پروفیل طولی به وضوح قابل مشاهده است، در محل مقاطع P1- P2، بستر رودخانه بجز بازه عبوری گسلش که عمقی در



شکل (۱۵): وضعیت قرارگیری پروفیلها طولی در سایت مطالعاتی



شکل (۱۶): بلوک دیاگرام منطقه مطالعاتی

## نتیجه گیری

متراکم شده با سیمان کلسیتی وجود دارند که می‌توانند در آب بند کردن آبرفت موثر باشند.

نتایج حاصل از آزمایش SPT نیز نشان داده است که با افزایش عمق، آبرفت متراکم شده و با نتایج آزمایش لوفران همخوانی دارد و از نفوذ پذیری آن کاسته شده است، لذا آب بندی پی سد تقویت شده است.

بر اساس فاکتورهای اجتماعی و اقتصادی محل محور انتخابی در پایین دست دهستان رمشک و در محلی است که خروجی حوضه می باشد و آب قابل توجهی از این محل به پایین دست زهکشی می‌شود. اما نبود آب و زمین مناسب باعث شده که کشاورزی رونق خوبی نداشته باشد و سایر مشاغل نیز زمینه فعالیت ندارند. لذا با اجرای این سد می‌توان آب قابل توجهی را به صورت ثقلی به پایین دست منتقل کرده و مجموعه ایی از گلخانه ها را فعال کرد.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان این پژوهش، از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمان و همچنین پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، جهت همکاری و در اختیار قرار دادن اطلاعات لازم کمال تشکر و قدردانی را دارند.

از نتایج تفسیر و آنالیز داده های ژئوفیزیکی سنگ کف موجود در منطقه از نوع بازالت می‌باشد. عمق متوسط سنگ کف در مخزن رنجی از ۱۵- تا ۳۵- متر را داراست که در قسمت مرکزی مخزن سد عمق حداکثری ۳۵- متر و در حاشیه محور مطالعاتی کمترین مقدار ۱۵- متر را داراست و در وسط محور پیشنهادی با توجه به نتایج لوگ حفاری، به سبب عبور گسل در این محدوده، در امتداد گسلش عمقی در حدود ۳۲- متر را نماینگر می‌باشد.

نتایج ژئوفیزیک و حفاری نشان داده اند که سطح آب زیرزمینی در عمق ۷ متر است. لذا اگر گسل فعال، و فرار آب وجود داشت امکان وجود ضخامت ۲۵ متر از آبرفت اشباع وجود نمی‌داشت. نتایج حاصل از آزمایش نفوذ پذیری لوفران نشان داده است که از عمق بیشتر از ۱۵ متر مصالح بستر رودخانه دارای نفوذ پذیری کم بوده و حالت آب بند را دارند. لذا خروجی از زیر پرده آب بند در حدی نیست که بتواند مشکلی در اشباع شدن آبرفت داخل مخزن سد ایجاد کند.

مطالعات ژئوتکنیک نشان داده است که در عمق بیش از ۱۵ متر درون آبرفت عدسی‌ها و لایه‌هایی از مواد آبرفتی

## منابع

- آقاملایی، ا.، غ.ر. لشکری پور. م. غفوری. ۱۳۹۳. بررسی فاکتورهای مؤثر در اجرای سدهای زیرزمینی (مطالعه موردی: سد زیرزمینی میان رود راور در استان کرمان). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۱۷ ص ۸۲-۶۷.
- امینی زاده بزنجانی، م. ر. ۱۳۷۹. سد خاکی زیر زمینی کندر کهنوج الگویی مناسب جهت کاهش اثرات خشکسالی، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی. صفحه ۵۱۹-۵۰۹.
- Basmaci, Y. 1983. Underground dams for groundwater development, Summary of paper to be presented at the groundwater technology divisions education section, International water well exposition St Louis, USA, Ground Water, 522 PP.
- Dahlin, t., M. hallberg and C. Hasteen. 1984. The water situation around Chabwira. mberengwa district.-Midlands province, Zimbabwe. University of lund, LUTWDG/ TVTG, 80 PP.
- Dortaj, A., S. Maghsoudy, F. Doulati Ardejani and Z. Eskandari. 2019. A hybrid multi-criteria decision making method for site selection of subsurface dams in semi-arid region of Iran. Groundwater for Sustainable Development.



Forzieri, G, Gardenti, M, Caparrini, F and Castelli, F., 2008. "A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal", Mali. *Physics and Chemistry of the Earth* 33, pp 74–85.

Garagunis, C.N. 1981. Construction of an impervious diaphragm for improvement of a Subsurface water reservoir and simulations protection from migrating salt water, *Bulletin of International Association Engineering Geology*, 24, 169-172.

Giovanni, F., G. Marco and C. Fabio. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas, A case study in the region of Kidal, Mali. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 74–85.

Hansson, G. and A. Nilsson. 1986. Groundwater dams for rural supplies in developing countries. *Ground water*, 24, 497-506.

Helweg, O.J. and G. Smith. 1978. Appropriate technology for artificial aquifers. *Ground water*, 16, 144-148.

Ishida, S., T. Tsuchihara, S. Yoshimoto and M. Imaizumil. 2011. Review Sustainable Use of Groundwater with Underground Dams. *JARQ* 45, 51 – 61.

Nilsson, A. 1988. Ground water dam for small-scale water supply. Intermediate technology publication ltd.

Ouerdachi, L., H. Boutaghane, R. Hafsi, T. Boulmaiz Tayeb. And F. Bouzahar. 2012. Modeling of underground dams Application to planning in the semiarid areas (Biskra, Algeria). *Energy Procedia* 18, 426 – 437.

Pavlin, B. 1973. Establishment of subsurface Dams and utilization of natural subsurface Barriers for realization of underground storage in the coastal karst spring zones and their protection against seawater intrusion. In *Trans. 11 th Int. Congress on large dams*, 1, 487- 501.

Stengel, H.V. 1968. Wasserspeicherung inden sanden eines riuers, *Wissenschaftliche forschung in sudwestafrika* (7. Folge). John Meinert (Pty) Ltd., Windhoek, S.W.A., 54 pp.



## Investigating the Characteristics of Rameshk Underground Dam Site with an emphasis on the faults' role in the selected axis

Iman Aghamolaie<sup>1</sup>, Mohammad Reza Aminizadeh<sup>2</sup>, Shahram Shafiee Bafti<sup>3</sup>

### Abstract

Rameshk is one of the villages of Ghaleh Ganj city in Kerman province. Construction of underground dams is one of the most effective ways to deal with water crisis and dehydration, especially in arid climates such as this village. For an underground dam to have an efficient yield, an accurate and optimal combination of the location of the dam and the engineering of the underground dam is necessary. In this regard, the failure and error in estimating either of these factors significantly lower the efficiency of the underground dam. In this study, considering the most important factors required in selecting a suitable site for underground dam construction, the proposed axis for Rameshk Dam underground is investigated through desktop studies, field surveys, engineering geological studies, and geophysical exploration. According to the satellite images and data from drilling and geophysical methods, there is a fault at the selected axis. Also, the thickness of the alluvium at the intersection of the fault and the selected axis is 32 m. The results show that the alluvial in the location of the selected axis is mainly of SC type. Based on SPT and Lefranc test data, the results show that with increasing the depth, the dam site is highly dense and permeability is reduced. Alluvial compaction with increasing depth, calcite cement between grains from depths of 15 m and below, and the water table at a depth of 7 m indicate that the probable fault location of the proposed axis does not have much drainage power. Although it is not an ideal option, it is suitable for constructing an underground dam regarding the regional and economic conditions of the study area.

**Keywords:** Underground Dam, Arid climate, Rameshk, Fault.

<sup>1</sup> Invited Master, Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University, Imaneng189@gmail.com.

<sup>2</sup> Natural Resources Organization of Kerman, Kerman, Iran.

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. Corresponding Author Email: Shafiee\_shahram@gmail.com



## Investigating the Characteristics of Rameshk Underground Dam Site with an emphasis on the faults' role in the selected axis

Iman Aghamolaie<sup>1</sup>, Mohammad Reza Aminizadeh<sup>2</sup>, Shahram Shafiee Bafti<sup>3</sup>

### Introduction

An underground dam is a hydraulic structure that is constructed to store and control groundwater. These dams are typically made in areas with high differences in groundwater flows caused by the hydraulic gradients. Generally, the construction site of underground dams is different for different conditions. These dams are occasionally investigated and implemented on the coasts to prevent the entry of fresh groundwater into the sea, on the desert boundaries to prevent the entry of freshwater into the desert saline aquifers, or in some areas to prevent surface water leakage or infiltration of sewage and subsurface contaminants through groundwater streams (Ishida et al., 2011; Dortaj et al., 2019).

To improve the efficiency of an underground dam, it is essential to integrate accurately the location and the structural engineering of the underground dam since the existence of defects and errors in the estimation of these factors significantly reduces the underground dam efficiency (Giovanni et al., 2008; Ouerdachi et al., 2012). The present work reviews with scientific and technical studies on the possibility of implementing the Rameshk underground dam in Kerman province, Iran.

### Methodology

The first step in constructing an underground dam is to identify appropriate locations for construction. This step must be performed precisely since it mainly causes the benefit or loss of the project. Moreover, selecting the inappropriate locations for constructing the underground dams will increase the cost and the efficiency of the project. Considering the subject of the research plan, the axis of the underground dam was studied to determine the suitable place in the first stage based on aerial photographs. Afterward, it was investigated based on field studies and specific climatic, morphological, hydrological, and underground flows. ArcGIS and CorelDRAW programs were utilized to prepare the required maps. To complete the preliminary studies, the approximate depth of the bedrock, alluvial thickness, and groundwater flow stated were determined by excavating manual boreholes in the riverbed. Then, through rotary drilling operations, a borehole was drilled with a depth of 35.5 m and continued up to 3.5 m in the bedrock to assess the health of the bedrock with depth. Moreover, geoelectrical sounding was performed in the reservoir and the axis of the dam to determine the depth and the topography of the bedrock through geoelectrical information. RES2DINV and AutoCAD programs were used to analyze geophysical data.

### Discussion and Conclusion

Structural studies are considered in the present research regarding the location of the study area in the Makran zone. The activity of this structural zone is caused by the movement of the Oman plate toward Iran and its subduction under Makran, as well as its proximity to active faults such as Minab, Rudan, Fanuj, and southern Jazmourian faults. Thus, the trend and location of faults in this area were studied relative to the proposed axis of the dam based on the satellite images (Figs. 1 and 2).

There is an NE-SW fault at the site of the reservoir for the dam proposed in this study. Since these faults are likely to be parallel to the direction of maximum stress, they can involve a tensile mechanism leading to opening in the rock units and creating voids for water outflow from the reservoir.

<sup>1</sup> Invited Master, Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University, Imaneng189@gmail.com.

<sup>2</sup> Natural Resources Organization of Kerman, Kerman, Iran.

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. Corresponding Author Email: Shafiee\_shahram@gmail.com

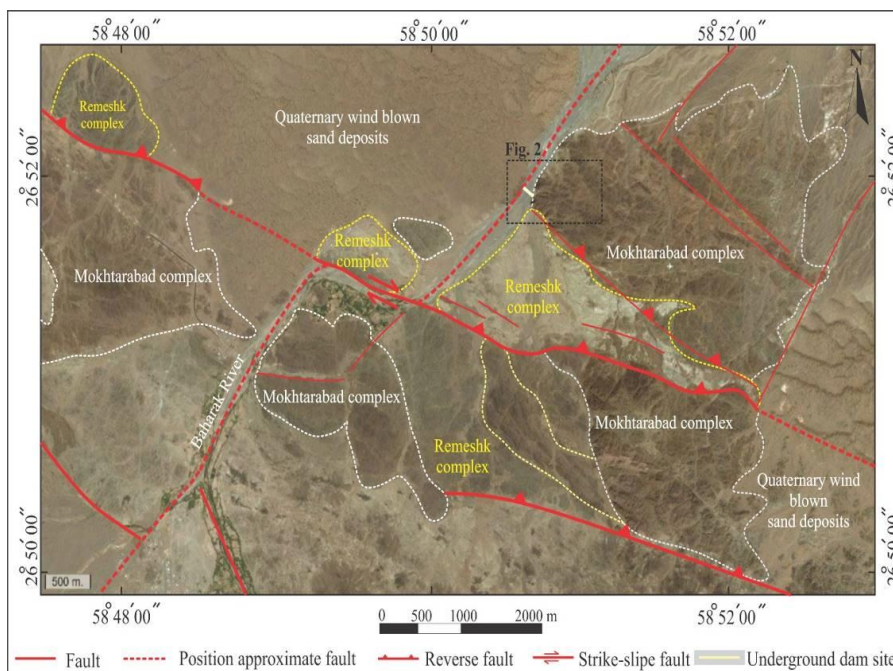


Fig. 1. The structural status of the study area (based on Google Earth satellite images)

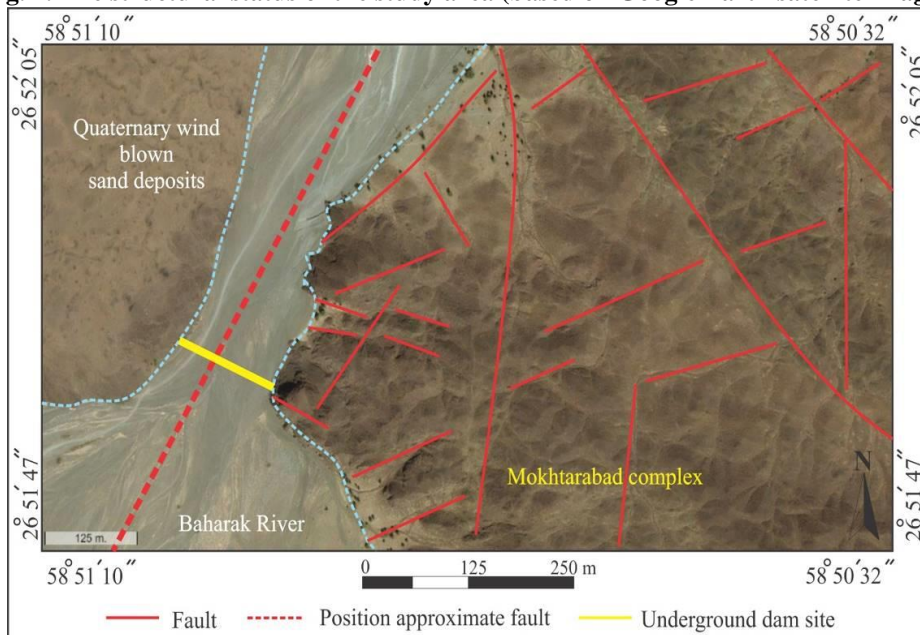


Fig. 2. The status of faults in the selected wall and axis (based on Google Earth satellite images)

Geotechnical and geophysical studies were conducted to explore the characteristics of deposits, bedrock, and faults. Two boreholes were drilled in the proposed axis reservoir for geotechnical studies, one along the proposed axis by the drilling machine to a depth of -35.5 m, and the other one was manually drilled to a depth of 9.5 m. The alluviums at the site of the machine borehole mostly are comprised of a sequence of fine and coarse-grained alluvial sediments with different percentages of fine-grained particles and interlayers of clay and silt (depth of impact with the water surface in the machine-drilled borehole was 7 m). According to the results of geotechnical studies (Table 1), the alluviums in the selected axis are mainly SC according to the Unified Soil Classification System (USCS). Moreover, according to the results of the SPT test and Lefranc test, with increasing depth, the



soil has been very compacted and permeability has decreased. With increasing depth and becoming denser, these alluvial deposits show calcite cement in their structure that reduces their permeability. The electrical resistivity range of the layers constituting the study area regarding the geological conditions is presented in Table 2. These data are obtained based on the electrical sounding in the area, analyzing and interpreting the results, the drilled borehole information, and the outcrop of the riverside formations in the studied area.

**Table 1. The results of geotechnical studies at the proposed axis location**

No	Sample	Depth	USCS	PI	Direct Shear Test		SPT	Kc (cm/sec)
					C (kg/cm <sup>2</sup> )	φ (deg)		
1	BR1	2	SC	14			19	1.6E-02
2	BR2	4	SC	10	0.05	42	24	1.2E-02
3	BR4	8	SC	13			39	6.8E-03
4	BR5	12	SC	14			>50	8.2E-05
5	BR6	15	SC	10	0.03	45	>50	5.1E-06
6	BR7	18	SC	12			>50	
7	BR8	20	SC	11			>50	
8	BR9	22	SC	14			>50	6.3E-04
9	BR10	24	SC	12			>50	
10	BR11	26	SC	14			>50	
11	BR12	27	GC	10			>50	
12	BR13	30	SC	13			>50	

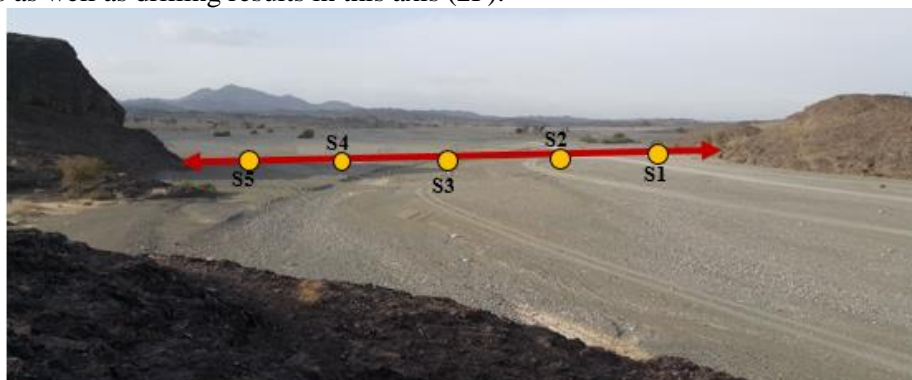
**Table 2. The range of electrical resistivity of sedimentary deposits at the proposed dam axis**

Row	Properties of geological layers	Electrical resistivity range (Ω / m)	Explanations
1	Washed river sand deposits	100-500	Surface layer
2	Lower sand clay-containing sediments, slightly dense	400-1200	Relatively dense regional layer
3	A relatively coarse-grained layer consisting of a mixture of sand and clay	50-200	An interlayer with different percentages
4	A relatively coarse-grained layer consisting of a mixture of sand and wet clay	30-50	Surface wet layer
5	A relatively coarse-grained layer consisting of a mixture of sand and lower wet clay	30-60	Wet layer
6	basalt	500-1300	bedrock

The results of quantitative studies were presented in the form of some cross-sections perpendicular to the river route and almost in east-west directions in the region. These results were obtained through interpretation and analysis of sounding considering the shallow boreholes at the beginning and end of the study area, the outcrops of riversides, and the formations in the study area. These cross-sections indicate the depth of the water surface, the bedrock, and the materials of the subsurface layers.

The electrical section at the dam axis site (Fig. 3) has a length of 125 m and includes 5 soundings of S1, S2, S3, S4, and S5 at distances of up to 25 m from each other. In addition to these five soundings, two bipolar-bipolar profiles with electrode distances of 5 and 10 m were performed to complete and verify the information in this axis. The combined information of these two profiles (one for checking

the side scrutinizing the information of the profile and the other for performing in-depth studies of the profile) is presented in Fig. 4. The profile shows a relative symmetry and comparing this profile with the electrical cross-section of the sounding both indicates the accuracy of the obtained results. It is worth noting that the fault passes along this direction in the middle of the dipole profile due to not reaching the high resistance layer in this area. The existence of faults is confirmed by the aerial photographs as well as drilling results in this axis (2P).



**Fig. 3. The position of the soundings in the axis of the dam (profile P2) (toward the south).**

The electrical resistance section of P2 was obtained by interpreting the information obtained from field gatherings of P2-S1 to P2-S5 soundings. According to Fig.5, this section lies almost in the east-west direction. At this point, the bedrock reaches a depth of -15 m at the site of P2-S5 and S4-P2 soundings to a depth of -19 m at the site of S3-P2 sounding.

Based on the interpretation and analysis of results of geophysical data, the bedrock in the region is basalt. The average depth of the bedrock in the reservoir is within a range of -15 to -35 m, which is a maximum of -35 m in the central part of the reservoir of the dam and a minimum of -15 m in the margin of the study dam axis. According to the results of the drilling log in the middle of the proposed axis, a depth of about -32 m is represented caused by the passage of the fault in this area.

Geophysical and drilling results indicated that the groundwater level is 7 m. Thus, a thickness of 25 m of saturated alluvium would not be possible when there is an active fault and water outflow in the dam site. The results of the Lefranc permeability test revealed that from a depth of more than 15 m, the riverbed materials have lower permeability and serve as a water curtain. Therefore, the outlet under the water curtain is not enough to cause a problem in alluvium saturation within the dam reservoir.



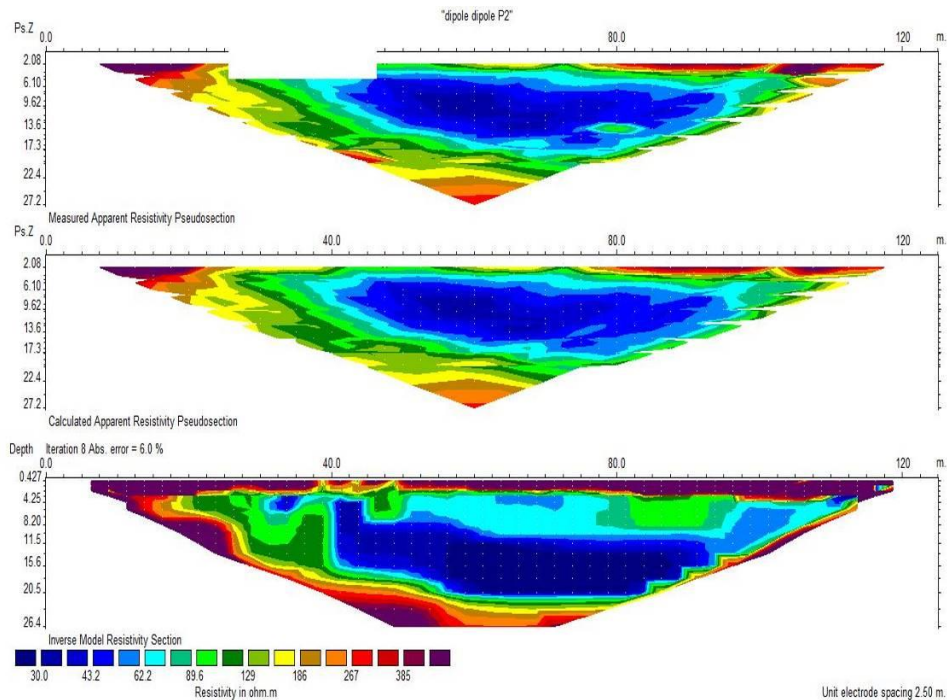


Fig. 4. The P2 dipole-dipole geoelectrical section.

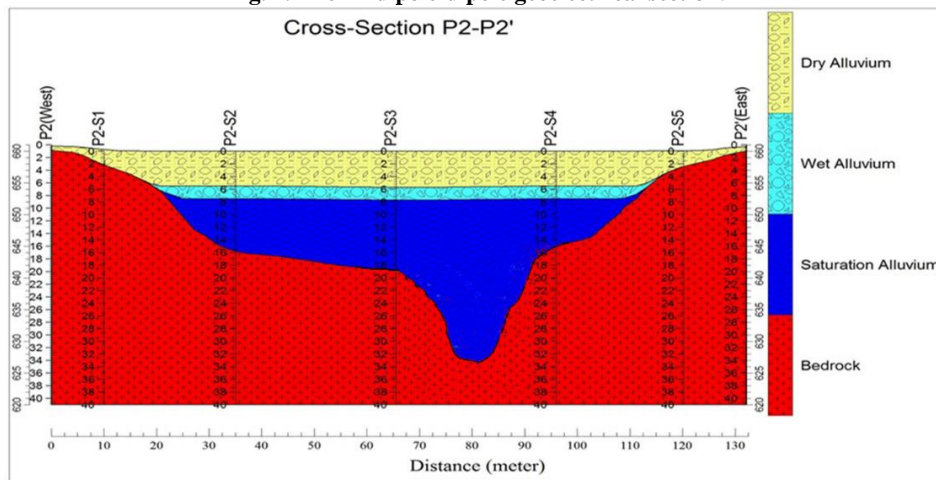


Fig. 5. The position of sounding in section P2

**References**

Dortaj, A., S. Maghsoudy, F. Doulati Ardejani and Z. Eskandari. 2019. A hybrid multi-criteria decision making method for site selection of subsurface dams in semi-arid region of Iran. *Groundwater for Sustainable Development*.

Giovanni, F., G. Marco and C. Fabio. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas, A case study in the region of Kidal, Mali. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 74–85.

Ishida, S., T. Tsuchihara, S. Yoshimoto and M. Imaizumi. 2011. Review Sustainable Use of Groundwater with Underground Dams. *JARQ* 45, 51 – 61.

Ouerdachi, L., H. Boutaghane, R. Hafsi, T. Boulmaiz Tayeb. and F. Bouzahar. 2012. Modeling of underground dams Application to planning in the semiarid areas (Biskra, Algeria). *Energy Procedia* 18, 426 – 437.