

ارزیابی ایمنی سد با استفاده از بررسی ژئوفیزیکی مقاومت الکتریکی دوبعدی و

نقشه برداری زمین شناسی

مجتبی بابایی^۱. آرمان ختار^۲

۱- دانشجو کارشناسی مهندسی عمران

۲- استادیار

آدرس پست الکترونیک: mojtabababayee13766@gmail.com

چکیده:

ترکیبی از نقشه برداری زمین شناسی و بررسی های مقاومت الکتریکی دوبعدی (D-ER۲) برای مطالعه سد Unilorin و محیط آن استفاده شد. هدف از این مطالعه بررسی سد از نظر ناهنجاری های ساختاری است که ممکن است هدف و ایمنی سد را به خطر بیندازد. تجهیزات میدانی برای این مطالعه شامل یک دستگاه مقاومت سنج چند الکتروود SuperSting R8/IP. 84 الکتروود فلزی و لوازم جانبی، کلینومتر قطب نما و تجهیزات GPS قابل حمل بود. داده های زمین شناسی پردازش و رسم شد تا نقشه زمین شناسی و نمودار روزت به دست آید که برای تفاسیر ساختاری مورد استفاده قرار گرفت. سازه های تفسیر شده شامل یک چین نامتقارن و یک گسل امتداد لغز است. داده های مقاومت دوبعدی پردازش و از نظر توموگرافی معکوس شدند تا مدل های مقاومت زیرسطحی در اطراف سد به دست آید. تفاسیر مدل های مقاومت دوبعدی نشان داد که کف مخزن سد توسط سنگ های زیرزمینی است، با این حال، سنگ زیرزمین در برخی مکان ها هوازدگی می کند. تکه های سازه های با مقاومت کم که به عنوان تراوش، شکستگی و حفره اشباع از آب تفسیر می شوند در بخش های مختلف سد ترسیم شدند. عناصر ساختاری سطحی از پشتیبانی مطالعات زمین شناسی، ساختارهای زیرسطحی که در مدل های مقاومت دوبعدی تفسیر شده اند. سازه های فرسوده، شکستگی ها و نشت در کف مخزن مناطقی را تشکیل می دهند که آب بیش از حد در سد از دست می رود. حفره ترسیم شده در پایه سد یک تهدید بالقوه برای ایمنی سد است. مقطع سد با حفره برای مطالعه دقیق به مهندسان سازه ارجاع داده شده است.



۱. معرفی

تست ارزیابی ایمنی در سازه‌های مهندسی عمران مانند سدها، تونل‌ها و پل‌ها یک تلاش ضروری برای جلوگیری از شکست ناگهانی و فروریختن زیرساخت‌های مهندسی است.

خواص مکانیکی سدهای قدیمی که عمرشان بیشتر شده است دهانه یا سدهای جدید متاثر از مخاطرات طبیعی ممکن است آسیب دیده باشند تخریب که می‌تواند باعث ایجاد برخی آسیب‌های ساختاری شود که ممکن است در سطح آشکار نباشد. اگر چنین آسیب‌هایی با بررسی‌های ایمنی معمول شناسایی و به موقع رسیدگی نشود، ممکن است خراب شود و در نتیجه منجر به شکست سد شود.

هدف از ساخت سد شامل آبیاری، تامین آب برای مصارف انسانی و صنعتی، تولید برق آبی، کنترل سیل، پرورش ماهی، تفریح و نوابری (بیسواس و چارترجی، ۱۹۷۱؛ پلاتا و ایراگوئن، ۱۹۹۲). علاوه بر کمبود آب، شکست سد می‌تواند منجر به سیل و تلفات جانی و مالی شود. روش قدیمی آزمایش سد برای آسیب‌های سازه‌ای شامل حفاری و آزمایش نمونه بود. معمولاً سوراخ (S) ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی متری در برخی از قسمت‌های سد حفر می‌شود و نمونه‌های جمع‌آوری شده از نظر ساختاری بررسی و در آزمایشگاه آزمایش می‌شوند.

علیرغم هزینه و زمان مورد نیاز، حفاری اطلاعات محدودی در مورد ناهنجاری‌ها/خسارت‌های احتمالی ساختاری در سدها ارائه می‌دهد (کپلر و همکاران، ۲۰۰۰). روش‌های ژئوفیزیکی که معمولاً برای بررسی سد استفاده می‌شوند عبارتند از لرزه‌ای، رادار نفوذی زمین (GPR) و مقاومت الکتریکی روش (ویلی و همکاران، ۱۹۵۶؛ زلت و اسمیت، ۱۹۹۲؛ یوهانسون و داهلین، ۱۹۹۶؛ Sjö Dahl و همکاران، ۲۰۱۰؛ ۲۰۰۵؛ پانتولو و همکاران، ۲۰۰۱؛ کاراستاتیس و همکاران، ۲۰۰۲؛ اوه و همکاران، ۲۰۰۳؛ لیم و همکاران، ۲۰۰۴؛ ابوبکر و همکاران، ۱۳۹۳؛ راجی و ابراهیم، ۲۰۱۷). این روش‌ها قابلیت روشن‌سازی ناهنجاری‌های سازه‌ای مانند شکستگی‌ها، گسل‌ها، ترک‌ها، لوله‌ها، حفره‌ها، تله‌گذاری، تراوش، فروپاله‌های کانال، حفره و غیره را دارند که ممکن است پیامدهای منفی بر ایمنی سد داشته باشد. از جمله روش‌های ژئوفیزیک، مقاومت الکتریکی (ER) است. برای بررسی سد بهترین روش است (Sjö Dahl et al., 2010; Panthulu et al., 2001; Karastathis et al., 2002; Kim et al., 2007; لیم و همکاران، ۲۰۱۳).

به دلیل مشکل تفکیک، GPR ممکن است در مواردی که فونداسیون عمیق زیر ستون آب باشد، نتیجه غیر قابل اعتمادی به همراه داشته باشد. در روش لرزه‌ای اغلب از منابع مخرب (مانند مواد منفجره، چکش سنگین) استفاده می‌شود که ممکن است باعث تضعیف بیشتر پایه سد یا سنگ‌های زیرزمین اطراف سد شود. مقاومت الکتریکی دو بعدی، D-ER₂ یک غیر مخرب است، روش ژئوفیزیکی با وضوح بالا که مناسب‌ترین روش برای بررسی و پایش است.

این روش مقرون به صرفه است که با موفقیت برای ارزیابی شایستگی سنگ پایه قبل از ساخت سد و برای آزمایش ایمنی پس از ساخت سد استفاده شده است (اوسازووا و چیندو، ۲۰۰۸؛ بورک و همکاران، ۲۰۱۱؛ چیندو و اوگاه، ۲۰۱۳؛ سومت آل، ۱۹۹۶؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۲؛ ابوشاریه، ۲۰۰۹؛ واپیراتینچایت همکاران، و ابراهیم راجی ۲۰۱۷).

اساس استفاده از روش مقاومت الکتریکی برای آزمایش مواد بتن و سنگ، آزمایش انتقال یونی از طریق رطوبت موجود در حفره‌های سیمانی یا بخش هوای سنگ پی است. وجود شکستگی‌ها، سوراخ‌ها، حفره‌ها، پرکننده‌های رسی و غیره که



مستعد نفوذ آب یا نشت در پی های بتنی یا سنگ بستر هستند معمولاً با مقاومت کم (یا رسانایی بالا) نشان داده می شود. در مقابل، فونداسیون بتنی و سنگ بستر مناسب بدون خلاء یا عیب ساختاری دارای مقاومت بالا (یا هدایت کم) به دلیل کمبود رطوبت هستند. بسته به محتوای سیال و ماهیت مایع، مقاومت الکتریکی بتن از ۱۰ تا ۱۰۰۰۰۰ Xm متغیر است (Gjorv et al., 1977; Polder, 2001).

مقدار مقاومت کمتر از ۵۰ Xm در پی بتنی یا سنگ های کریستالی معمولاً مناطق ضعف را نشان می دهد (جوهانسون و دالین، ۱۹۹۶؛ کاراستاتیس و همکاران، ۲۰۰۲؛ راجی، ۲۰۱۴). چیندو و اوگا (۲۰۱۳) از بررسی مقاومت الکتریکی دوبعدی برای مطالعه سدی در زاریا، نیجریه استفاده کردند.

تصاویر توموگرافی داده های مقاومت، تکه های مقاومت کم با اندازه های مختلف را در اطراف سنگ با مقاومت بالا نشان داد. لکه های مقاومت کم به عنوان مناطق ضعیف و مناطق بالقوه نشت در سد تفسیر شدند. (Karastathis و همکاران ۲۰۰۲) ترکیبی از مقاومت الکتریکی دو بعدی، رادار نفوذ به زمین و روش لرزه ای را برای مطالعه وضعیت سد ماراتون (بتنی) در یونان پس از وقوع زلزله ۵٫۹ Ms در سال ۱۹۹۹ به کار بردند.

نتایج مطالعه مقاومت الکتریکی نشان داد که برخی از مناطق با مقاومت کم مقاومت نشان دهنده مناطق ضعیف و نقاط بالقوه شکست سازه در سد است. این مطالعه توصیه می کند که نقاط مشکوک در فونداسیون توسط مهندسان متخصص بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. هدف از این مطالعه بررسی احتمالی سد یونیولورین می باشد ناهنجاری های ساختاری که ممکن است باعث شکست سد شود.

این مطالعه یک بررسی تضمین کیفیت در سد به دلایل زیر است: (۱) فعالیت معدنچیان، که گاهی اوقات شامل استفاده از مواد منفجره برای انفجار سنگها به مصالح ساختمانی در همسایگی سد است، تهدیدی برای ایمنی سد است. (ii) زمین لرزه اخیر که در منطقه فدرال پایتخت (FCT) روی داد، بر برخی از تاسیسات مهندسی در ایالت های همسایه تأثیر منفی گذاشته است. و (iii) سد از زمان ساخت آن از نظر ایمنی بررسی نشده است. این سه دلیل در کنار هم، مطالعه را به منظور بررسی شکست ساختاری که ممکن است توسط (i) و / یا (ii) ایجاد شود، ضروری کرد. هدف از این مطالعه استفاده از نقشه برداری D-ER۲ و زمین شناسی برای ارزیابی سد برای سازه های سطحی و زیرسطحی است که ممکن است پیامدهای منفی بر روی سد داشته باشد. بررسی مقاومت الکتریکی دوبعدی برای این مطالعه به دلیل پوشش جانبی و عمودی بالای آن است که چندین مرتبه بالاتر از بررسی ۱ بعدی است و توانایی D-ER۲ برای آشکار کردن ویژگی های زمین شناسی عمیق که دارای مقاومت متضاد با سنگ میزبان است. آرایه دوقطبی-دوقطبی به دلیل برنامه ریزی برای انجام بررسی سه بعدی در آینده برای این مطالعه انتخاب شد. آرایه دوقطبی-دوقطبی بهترین پوشش و وضوح را در لبه شبکه های سه بعدی دارد.



۲. شرح منطقه مورد مطالعه

سد یونیلورین یک خاکریز خاکی با سرریز بتنی است. این سد در بخش جنوبی دانشگاه *lorin, lorincampus* در شمال مرکزی نیجریه واقع شده است (شکل a1). پردیس در طول جغرافیایی $4^{\circ} 42' - 4^{\circ} 39'$ و عرض جغرافیایی $8^{\circ} 29' - 8^{\circ} 27'$ قرار دارد. این سد دارای حوضه آبریز ۵۷۳ متر مربع و ظرفیت مخزن است از 1.86^6 متر مکعب (سوله و همکاران، ۲۰۱۱). این سد بر روی رودخانه اویون ساخته شده است (شکل a2). رودخانه اویون در جهت تقریبی شمال شرقی- جنوب غربی جریان دارد و طول کلی آن حدود ۴۸,۳۰ کیلومتر است. الگوی زهکشی از نظر ساختاری کنترل می شود.

۳. مواد و روش ها

۱,۳. نقشه برداری میدانی زمین شناسی در منطقه مورد مطالعه پردیس دانشگاه ایلورین در بخش زمین شناسی Sheet223 *lorin* در جنوب شرقی در مجتمع زیرزمین نیجریه قرار دارد. مجموعه زیرزمین نیجریه از نظر سنی پرکامبرین تا پالئوزوئیک پایین در نظر گرفته می شود (Oyawoye, 1964; 1972; Rahaman, 1976; Annor et al., 1987). منطقه مورد مطالعه نقشه برداری شد و نقشه زمین شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ متر تهیه شد. زمین شناسی شامل سنگ های آذرین دگرگونی و دگرگونی سن پرکامبرین است. رابطه چینه شناسی واقعی در سطح به دلیل قرار گرفتن در معرض ضعیف به خوبی درک نشده است. رابطه مقطعی مشاهده شده در مزرعه برای استنباط سن نسبی سنگ ها مورد استفاده قرار گرفت. چهار واحد سنگ شناسی اصلی اطراف منطقه مورد مطالعه عبارتند از گرانیت گنیس، بیوتیت گنیس، اوژن گنیس و کوارتزیت. اجسام کوچکی از پگماتیت ها و رگه های کوارتز به داخل سنگ ها نفوذ کردند. سنگ گرانیت گنیس فراوان ترین نوع سنگ در منطقه است.

بارزترین ویژگی گنیس در این منطقه، ساختارهای انقباض و متورم، شکستگی و گسل است. ساختار پیچ و خم شواهدی از تغییر شکل است. بیوتیت گنیس به طور متغیری میگماتیزه می شود و در برخی نقاط با گنیس گرانیتی در هم قرار می گیرد. بیوتیت گنیس به دلیل فراوانی تیره تر از گنیس گرانیتی است از کانی های فرومگنزی بیوتیت گنیس به خوبی در امتداد رودخانه اویون و شاخه های آن قرار دارد. نوارها و عدسی های کوارتزیت در برخی مکان ها ایجاد می شود.

کوارتزیت معادل دگرگونی کوارتز اصلی در نظر گرفته می شود که شکستگی ها و گسل های از پیش موجود در منطقه را پر کرده است. وجود کوارتزیت در اطراف سد حاکی از وجود شکستگی و گسل در منطقه است. برخی از شکستگی ها و گسل ها بر روی سنگ آشکار شده مشاهده شد. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه حاصل از نقشه برداری میدانی در شکل b1 ارائه شده است. سطح مقطع (شکل C1) وجود یک اندام نامتقارن با اندام ضعیف شده کوتاه را نشان می دهد.

آنتی فرم نامتقارن اندام ضعیف شده کوتاه معمولاً در مناطق تغییر شکل یافت می شود (آنور و فریث، ۱۹۸۵). پادفرم نمایانگر عناصر ساختاری اصلی در ناحیه مورد مطالعه است.

-ساختار متورم، گسل ها و شکستگی ها (شکل d1). سنگ ها به سمت غرب و شرق با زاویه ۳۲ تا ۴۶ فرو می روند.

ضربه و شیب اندازه گیری شده در ناحیه در نمودار روزت رسم شده است (شکل e1). تفسیر نمودار روزت دو جهت اصلی شکست را نشان می دهد: شکستگی های NW-SE و SE-NW که در نتیجه دو قسمت تغییر شکل را نشان می دهد.

۲،۳. اکتساب و پردازش داده های ژئوفیزیکی

ابزار ژئوفیزیکی شامل یک مقاومت سنج چند الکتروود SuperSting R8/IP، 84 الکتروود فلزی، یک جعبه سوئیچ چند کاناله، ۱۲ کابل غیرفعال - هر کدام ۷۰ متر طول، شامل هفت پایه برای هفت الکتروود، یک باتری DC، تجهیزات GPS قابل حمل، و کلینومتر قطب نما است. پنج پروفیل (۵) در شکل a۲ نشان داده شده است تا سد و سنگ بستر زیر کف مخزن سد را بررسی کنند. هر نمایه بر روی یک خط مستقیم با استفاده از آرایه دوقطبی-دوقطبی ایجاد شد. روش آرایه دوقطبی-دوقطبی به دلیل حساسیت آن به ساختارهای عمودی برای مطالعه انتخاب شد. موقعیت مختصات اولین و آخرین الکتروود با استفاده از تجهیزات GPS اندازه گیری شد.

پروفیل های ۱، ۲ و ۳ دارای طول ۲۴۹ متر با جداسازی الکتروود ۳ متر بودند، در حالی که پروفیل ۴ و ۵ دارای طول ۴۱۵ متر با جداسازی الکتروود ۵ متر بودند. پروفیل های ۱، ۲ و ۳ برای بررسی شالوده سد برای ناهنجاری های ساختاری احتمالی ایجاد شدند، در حالی که پروفیل های ۴ و ۵ برای جستجوی سازه های زیرسطحی که ممکن است باعث اتلاف آب بیش از حد در منطقه مخزن شوند، ایجاد شدند (شکل ۲ را ببینید). نمایه ۱ در قسمت بالادست و نمایه ۲ در قسمت پایین دست قرار داشت. نمایه ۳ خط متقاطع پروفیل های ۱ و ۲ است. بخش بالادست برای توصیف قسمتی از دیوار سد در تماس با آب مخزن قبل از بتن استفاده می شود. بخش برای توصیف طرف دیگر دیوار سد استفاده می شود (شکل b۲).

هنگام اندازه گیری داده های مقاومت در امتداد پروفیل ۱، الکتروودها در امتداد محور سد به آب وارد شدند زیرا آب سطح بالاتر از ارتفاع الکتروودها بود. خدمه میدانی از دو قایق برای حرکت از یک سر سد به انتهای دیگر در حین گذاشتن کابل ها/الکتروودها استفاده کردند (شکل c۲) و زمانی که کابل ها پایدار بودند اندازه گیری ها انجام شد.

عملی بودن تخمگذار الکتروود در منطقه تحت پوشش آب برای بررسی مقاومت دو بعدی و آن پردازش داده در (Loke and Lane (2004) توضیح داده شده است (لاگمنسون (۱۹۹۸).

در پروفیل ۲ سطح آب کمتر از ارتفاع الکتروودها است اما الکتروودها با آب در تماس هستند (شکل b۲). برای پروفیل های ۳، ۴ و ۵ الکتروودها به صورت زیر زمینی می شوند

رویه مرسوم پروفیل های ۱ و ۲ در جهت تقریبی شمال به جنوب، در حالی که پروفیل های ۳، ۴ و ۵ در جهت تقریبی شرق به غرب گذاشته شدند. این بررسی برای نفوذ به عمق بیش از ۳۰ متر، که حداکثر عمق به سنگ زیرزمین در منطقه است، طراحی شده است (اولاسهینده و راجی، ۲۰۰۷؛ راجیانند ابراهیم، ۲۰۱۷).

این بررسی در ژانویه ۲۰۱۷ در اوج فصل خشک زمانی که آب سد به حداقل رسیده است انجام شد. علاوه بر این، بخشی از آب سد تخلیه شد تا امکان اندازه گیری مقاومت فراهم شود. داده های میدانی در قالب نمایه برای بازرسی بصری و کنترل کیفیت ترسیم شد. سپس، داده ها برای کاهش نویز و حذف مقادیر کاذب از قبل پردازش شدند.

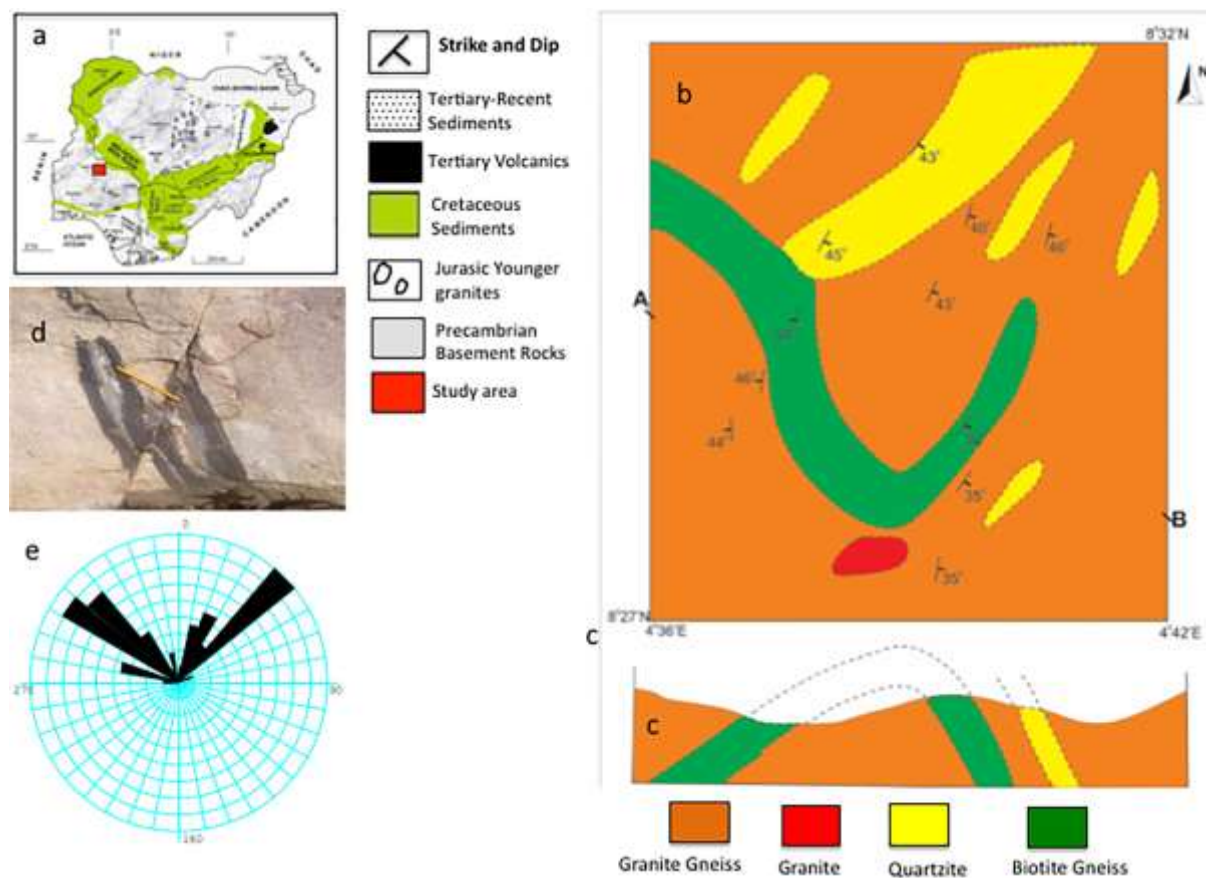
وارونگی توموگرافی مدل زمین شناسی مبتنی بر مقاومت مقاومتی در امتداد هر پروفیل با استفاده از تکنیک تفاضل محدود بهینه شده (Loke and Barker, 1996; Loke et al., 2013) با طرح قوی ترین مربع انجام شد.

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

ابتداء، توزیع مقاومت در زمین به صورت نظری محاسبه شد. سپس مدل زمین شناسی مبتنی بر مقاومت به صورت تکراری معکوس شد با مقایسه داده های میدانی با داده های محاسبه شده تا رسیدن به حداقل خطای RMS. طرح وارونگی برای پنج تکرار تنظیم شد. برای کاهش ابهام و بهبود منحصربه فرد بودن مدل های مقاومت معکوس، فرآیند وارونگی با موارد زیر محدود شد: (۱) با فرض اینکه داده ها حاوی خطاهایی به شکل توزیع گاوسی هستند و صافی گرادیان بدون به خطر انداختن تضاد مقاومتی که ممکن است در تماس سنگ زیرزمین مناسب و کف آب وجود داشته باشد. (۲) زمین شناسی پیشینی از مطالعات ژئوفیزیکی و زمین شناسی قبلی (اولاسهینده و راجی، ۲۰۰۷؛ راجی و ابراهیم، ۲۰۱۷) در طرحواره های وارونگی، مدل آغازین وارونگی، با فرض توپوگرافی نسبتاً مسطح و ساختارهای بلوکی، گنجانده شد.

برای مورد بررسی در منطقه تحت پوشش آب (پروفایل ۱)، یک ساختار مقاومتی بلوکی که سه لایه متضاد ژئومقاومت را نشان می دهد - ستون آب با مقاومت بسیار کم، ماسه رسی با مقاومت متوسط کم، و سنگ میزبان شایسته با مقاومت بالا به عنوان شروع استفاده شد. مدل (همچنین نگاه کنید به لوک، ۲۰۰۱؛ لاگمنسون، ۱۹۹۸).

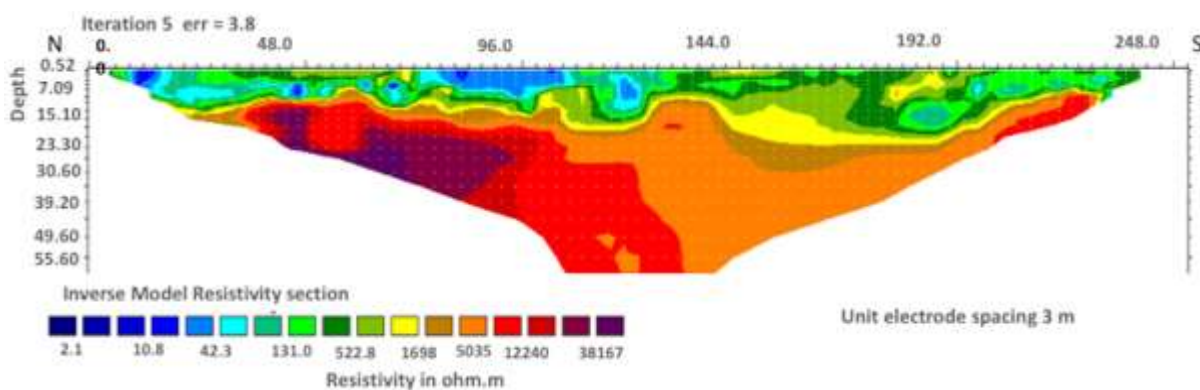
مدل های مقاومت نهایی در امتداد خطوط پروفیل در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. خطای RMS بین ۳٫۲ تا ۵٫۸ درصد است. پردازش و وارونگی داده ها با استفاده از (RES2DINV (AGI, 2010) و اسکریپت های MATLAB داخلی انجام شد.



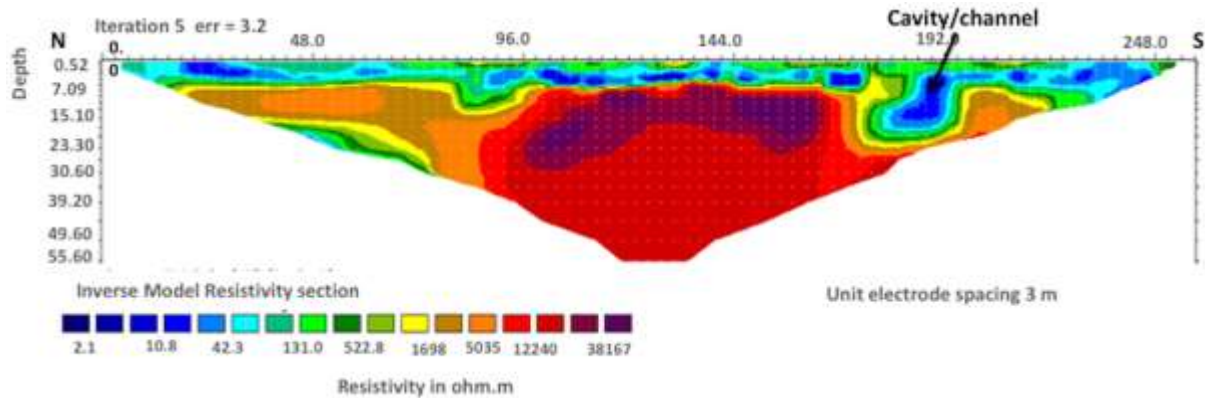
شکل ۱. داده های نقشه برداری میدانی زمین شناسی. (الف) نقشه زمین شناسی نیجریه (Obaje, 2009) که موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. (ب) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه. (ج) سطح مقطع AE نشان دهنده چین نامتقارن. (د) گسل سینیسترال در کوارتزیت، (ه) نمودار روزت که جهت های شکست عمده را در منطقه نشان می دهد.



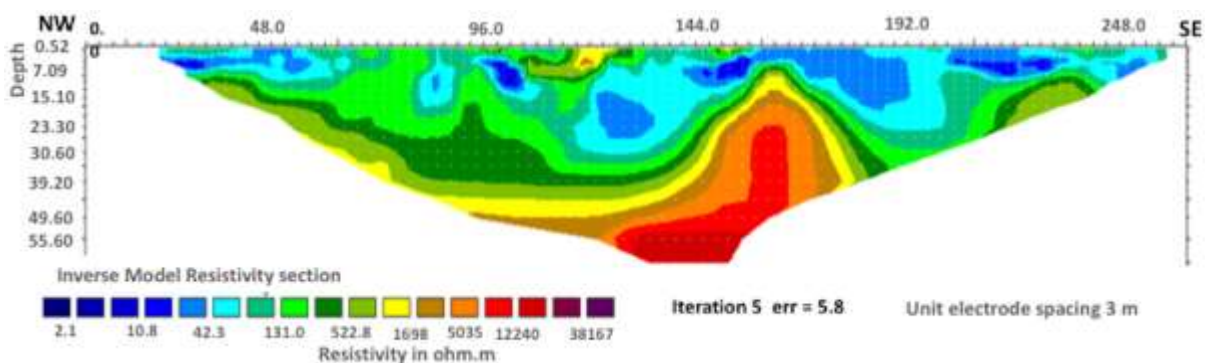
شکل ۲. عکس های هوایی و دوربینی از محیط سد. (الف) عکس هوایی که محل سد و پروفیل های مقاومت دوبعدی را نشان می دهد. (ب، ج، و د) عکس های دوربین که بخش های مختلف سد را نشان می دهد.



شکل ۳. مدل مقاومت الکتریکی دوبعدی در زیر پروفیل ۱ که شالوده سد را در بالادست نشان می دهد. بخش مقاومت بالا (رنگ قرمز) پایه بتنی را در زیر سطح آب نشان می دهد.



شکل ۴. مدل مقاومت الکتریکی دوبعدی در زیر پروفیل ۲ که شالوده سد را در پایین دست نشان می دهد. قسمت آبی با فلش حفره در پی اشباع شده از آب را نشان می دهد.



شکل ۵. مدل مقاومت الکتریکی دوبعدی در زیر پروفیل ۳ که چند بخش هوازده (رنگ آبی بوق) را در کف مخزن سد و لبه بیرون زده پایه سد (قرمز) نشان می دهد.

۴. بحث در مورد نتایج

انتخاب روش مقاومت الکتریکی برای این مطالعه بر اساس دانش هوازدگی سنگ‌ها، سنگ‌های اشباع از سیال، گسل‌ها، تراوش، فروچاله و غیره است. که معمولاً نقاط تلفات بیش از حد آب در سدها را نشان می دهند، دارای ویژگی‌های مقاومت الکتریکی قابل تشخیص هستند که به طور متضادی کمتر از مقاومت سازه‌های بتنی و سنگ میزبان مناسب در اطراف سد است. مدل‌های زمین‌شناسی مبتنی بر مقاومت معکوس (شکل‌های ۳-۷) بر اساس تغییرات مقاومت مشاهده شده در مدل‌های مقاومت، ویژگی‌های مقاومتی مواد زمین، دانش زمین‌شناسی پیشینی منطقه مورد مطالعه از مطالعات قبلی، و برش سنگ‌شناسی از گمانه‌ها تفسیر شدند. محوطه مدل مقاومت معکوس مقاومت‌های مختلفی را ارائه می دهد که از ۲،۱ تا ۳۸۱۶۷ Xm متغیر است.

این مقادیر مقاومت نشان دهنده انواع مختلف سنگ و شرایط اشباع هستند (Gjorv et al., 1977; Telford et al., 1990). در مقایسه با سنگ‌های خشک، سنگ‌های اشباع شده با آب مقاومت کمتری خواهند داشت، در حالی که سنگ‌های اشباع شده با نفت مقاومت بالاتری خواهند داشت (آلوکو و همکاران، ۲۰۱۷؛ راجی و آدئویه، ۲۰۱۷؛ راجی و همکاران، ۲۰۱۸).

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

از نظر توزیع مقاومت، ویژگی های مشخصه مدل مقاومت در شکل ۱. ۳-۵، (پروفایل ۱-۳) مربوط به پایه سد، مشابه و متفاوت از مدل های مقاومت معکوس شده از پروفیل های ۴-۵ (شکل های ۶ و ۷) در اطراف کف مخزن سد هستند. مقاومت زمینه در منطقه حدود ۵۰۰ Xm است - که به رنگ سبز نشان داده شده است، مطابق با مقاومت گرانیت گنیس - سنگ غالب در منطقه است. رنگ قرمز در مدل مقاومت پروفیل ۱ (شکل ۳) نمایانگر سدسازی در بخش بالادست است. ساختار فونداسیون با مقاومت بالا (بیش از ۱۲۰۰۰ Xm) توسط پرکننده گرانیتی با مقاومت متوسط پوشانده شده است.

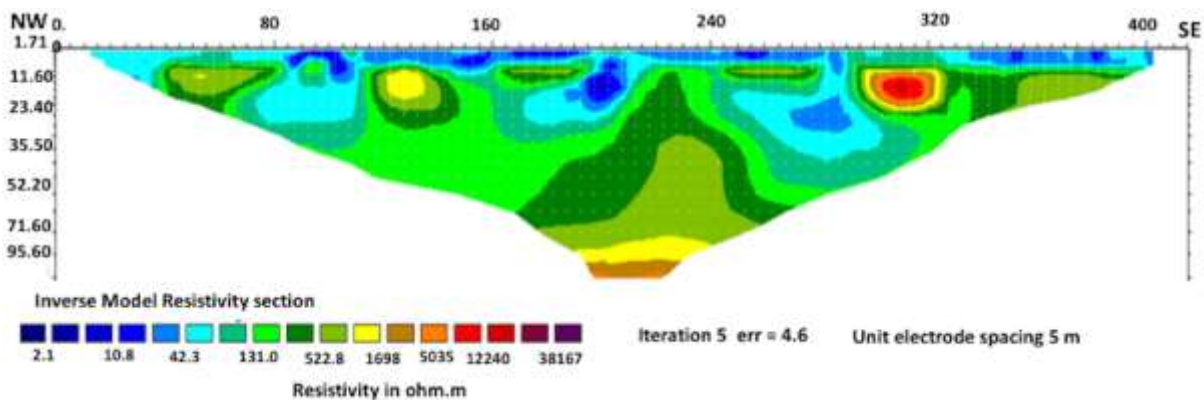
رنگ آبی با مقاومت بسیار کم نشان دهنده رسوبات اشباع از آب است. رسوبات توسط آب روان هنگام پر شدن سد در فصل بارندگی منتقل می شوند.

تغییر رنگ تدریجی، از قرمز-زرد-سبز، در بالای فونداسیون سد، نتیجه احتمالی صاف شدن گرادیان در مرزهای مواد با مقاومت بالا و پایین است.

نمایه ۲ (شکل ۴) مدل مقاومت پایه سد در بخش پایین دست را نشان می دهد. بخش مقاومتی بالا (قرمز) مدل مقاومت نشان دهنده شالوده سد در زیر سطح است. فونداسیون توسط گرانیت های پشتیبان با مقاومت متوسط در پایین سرریز پوشیده شده است. مقاومت کم پیوسته جانبی (رنگ آبی) به عنوان مواد شنی که به لایه های گرانیتی نفوذ می کنند تفسیر می شود. مواد شنی از رسوبات منتقل شده توسط آب از خشکی به دست آمده است.

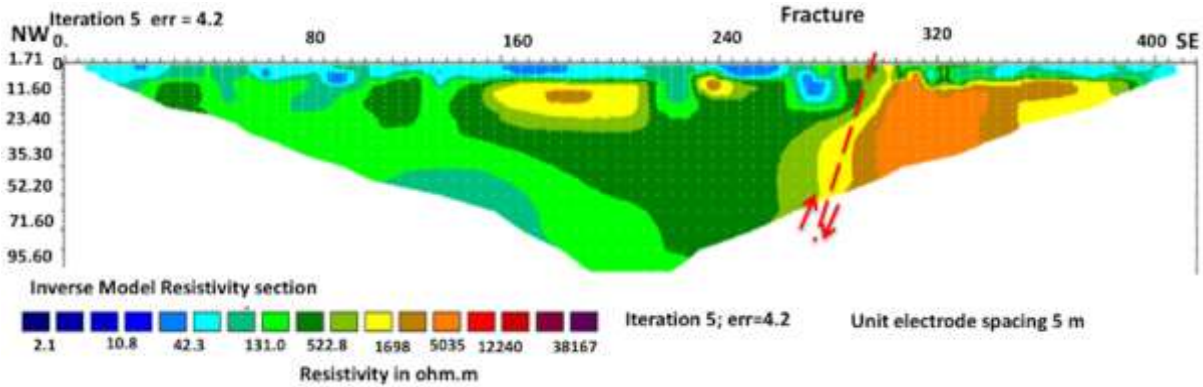
سازه با مقاومت کم در حدود ۱۹۲ متر در شکل ۴ یک ناحیه ضعیف را در بخش پایین دست سد نشان می دهد. ساختار به عنوان یک حفره یا یک کانال تفسیر می شود.

زون ضعیف منبع تهدیدی برای پی سد است که می تواند ناشی از خلأ در پی سد باشد که در طول زمان به دلیل نفوذ آب رشد کرده است.



شکل ۶: مدل مقاومت الکتریکی ۲ بعدی در زیر پروفیل ۴ که کف مخزن سد را نشان می دهد. لکه های آبی سنگ های فرسوده اشباع از آب را نشان می دهند.

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل ۷. مدل مقاومت الکتریکی دوبعدی در زیر پروفیل ۵ که گسلی را در کف مخزن سد شبیه سازه ترسیم شده روی سطح (شکل ۱) در طول نقشه برداری زمین شناسی نشان می دهد.

برای اطمینان از این موضوع، تیم علوم زمین برنامه ریزی کرد تا در آینده نزدیک بررسی مقاومت دو بعدی را تکرار کند. اعتقاد بر این است که تصویر تایم لپس از سد تغییراتی را در اندازه کانال نشان می دهد و در نتیجه امکان تفسیر بهتر سازه را فراهم می کند. با این حال، ارتباط شخصی با یک مهندس سازه اطلاع داد که کانال در حال حاضر خطر جدی برای سد ایجاد نمی کند، زیرا در قسمت پایین دست (دیوار خارجی) سد قرار دارد. اگر حفره در طول زمان منبسط شود، ممکن است دیواره داخلی سد را تحت تاثیر قرار دهد.

ساختارهایی مانند حفره و کانال ممکن است با انحلال مواد معدنی یا سنگها تشکیل شوند و ممکن است به دلیل نفوذ آب بزرگتر شوند (اوون، ۱۹۸۳؛ متوالی و آلفوزان، ۲۰۱۳). قطعه سد برای مطالعات بیشتر به مهندسان خبره ارجاع داده شده است. نمایه ۳ (شکل ۵) لبه سمت راست فونداسیون سد (مقاومت بالا) و برخی از قسمت های سنگ بستر در زیر کف مخزن را در بخش های بالادست و پایین دست نشان می دهد. لبه سد با مقادیر مقاومت بالا (رنگ قرمز) در مرکز مدل مقاومت نشان داده می شود. مقادیر مقاومت پایین در سمت چپ و راست مدل مقاومت، سنگ بستر اطراف لبه سد را نشان می دهد. سنگ بستر با مقاومت کمتری مشخص می شود که نشان دهنده وجود سنگ های هوازده و اشباع از آب است. پروفیل های ۴ و ۵ (شکل های ۶ و ۷) خاصیت مقاومت الکتریکی سنگ ها را در زیر کف مخزن نشان می دهند. تصاویر دو توموگرافیک تحت سلطه مقاومت های کم از ۲ تا ۱۶۹۸ Xm قرار دارند.

مقادیر بسیار کم مقاومت نشان می دهد که سنگ ها هوازده شده و توسط آب نفوذ کرده اند. لکه های آبی در رنگ سبز پس زمینه مناطق احتمالی فرسایش داخلی و نشت آب را نشان می دهد. فرسایش داخلی و تراوش نقاط اشتعال ناشی از تلفات بیش از حد آب هستند.

تکه های آبی روی تصویر توموگرافی پروفیل ۴ (شکل ۶) در فواصل جانبی معادل ۸۵-۱۰۰ متر، ۱۹۰-۲۱۰ متر برجسته هستند. یک شکستگی در کف مخزن در امتداد پروفیل ۵ (شکل ۷) در حدود ۳۰۰ متر مشخص شده است.

شکستگی با کنتراست مقاومت عمودی (که با خطوط عمودی زرد-سبز نشان داده می شود) پیشنهاد می شود که ساختارهای عظیم سبز در سمت چپ را از ساختار عظیم قهوه ای در سمت راست جدا می کند. شکستگی به صورت عمودی است و در NE-SW روندی دارد.

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

جهت. شکستگی مشخص شده در مدل مقاومتی توسط شکستگی های نقشه برداری شده در طول کار میدانی زمین شناسی پشتیبانی می شود (شکل d۱). جهت شکستگی نیز با جهت شکست تفسیر شده از نمودار روزت مطابقت دارد.

۵. نتیجه گیری

بررسی های ژئوفیزیکی زیرسطحی و نقشه برداری زمین شناسی سطحی اطراف سد دانشگاه ایلورین موارد جالبی را نشان داد. ویژگی های زمین شناسی و ساختارهایی که نشان دهنده مناطق ضعف و ناهنجاری های ساختاری است که ممکن است باعث از دست دادن بیش از حد آب از سد شود.

برخی از ساختارها/ویژگی های نشان داده شده توسط مدل های مقاومت دوبعدی با مقاومت های کم غیرعادی در داخل سنگ میزبان شایسته با مقاومت بالا مشخص شدند. کانال های فرسایشی و یک شکستگی مشخص شده در منطقه مخزن سد نشان دهنده نقاط نشت آب در سد است. یک حفره در بخش پایین دست سد ترسیم شد.

حفره یک تهدید بالقوه برای سد است و برای مطالعه دقیق به مهندسان سازه ارجاع شده است. یافته های نقشه برداری زمین شناسی از نتایج تحقیقات ژئوفیزیک پشتیبانی می کند.

به طور کلی مطالعه مناسب بودن بررسی مقاومت الکتریکی برای بررسی سد و زیرساخت های مهندسی مشابه را تأیید می کند. روش ها و روش های مورد استفاده برای مطالعه را می توان برای هر موردی اعمال کرد.

سد و سایر زیرساخت های مهندسی مشابه برای ارزیابی وضعیت ایمنی آنها و ارائه اقدامات اصلاحی در صورت لزوم، به منظور جلوگیری از ریزش ناگهانی زیرساخت می باشد.

منابع

- Abu-Shariah, M.I.I., 2009. Determination of cave geometry by using a geoelectrical resistivity inverse model. *Eng. Geol.* 105, 239e244.
- Aluko, K.O., Raji, W.O., Ayolabi, E.A., 2017. Application of 2-D resistivity survey to groundwater aquifer delineation in a sedimentary terrain: a case study of south-western Nigeria. *Water Util. J.* 17, 71–79.
- AGI, 2010. EarthImagerTM 2D and 3D, Resistivity and IP inversion software: Advanced Geosciences Incorporated, www.Agiusa.com.
- Annor, A.E., Freeth, S.J., 1985. Thermo-tectonic evolution of the basement complex around Okene, Nigeria with special reference to the deformation mechanism. *Precambrian Res.* 28, 73–77.
- Annor, A.E., Olasehinde, P.I., Pal, P.C., 1987. Basement fracture pattern in the control of river channels. An example from central Nigeria. *J. Min. Geol.* 26 (1), 5–11.
- Biswas, A.K., Charttergee, S., 1971. Dam disasters – an assessment. *Eng. J. (Canada)* 54 (3), 3–8.
- Burke, J., Minsley, L., Bethany, L., Burton, A., Scott, I., Michael, H.P., 2011. Hydrogeophysical Investigations at Hidden Dam, Raymond, California. *J. Environ. Eng. Geophys.* 16 (4), 145–164.
- Chinedu, A.D., Ogah, A.J., 2013. Electrical Resistivity Imaging of suspected seepage channels in an Earthen Dam in Zaria, North – Western Nigeria. *Open J. Appl. Sci.* 3, 145–154.
- Abubakar, H.O., Raji, W.O., Bayode, S., 2014. Direct current resistivity and very low frequency electromagnetic studies for groundwater development in a basement complex area of Nigeria. *Sci. Focus* 19 (1), 1–10.
- Cho, I.K., Yeom, J.Y., 2007. Crossline resistivity tomography for the delineation of anomalous seepage pathways in an embankment dam. *Geophysics* 72, 31–38.
- Gjorv, O.E., Vennesland, O., El-Busaidy, A.H.S., 1977. Electrical resistivity of concrete in the oceans. In: 9th Annual Offshore Technology Conference 2803, Houston, pp. 581–588.
- Johansson, S., Dahlin, T., 1996. Seepage monitoring in an earth embankment damrepeated resistivity measurements. *Eur. J. Environ. Eng. Geophys.* 1, 229–247.
- Karastathis, V.K., Karmis, P.N., Drakatos, G., Stavrakakis, G., 2002. Geophysical methods contributing to the testing of concrete dams, application at the Marathon Dam. *J. Appl. Geophys.* 50, 247–260.
- Kepler, W.F., Bond, L.J., Frangopol, D.M., 2000. Improved assessment of mass concrete dams using acoustic travel time tomography: Part II. Application. *Constr. Build. Mater.* 14, 147–156.
- Kim, J.H., Yi, M.J., Song, Y., Seol, S.J., Kim, K.S., 2007. Application of geophysical methods to the safety analysis of an earth dam. *J. Environ. Eng. Geophys.* 12, 221–235.
- Lagmansson, M., 1998. Marine resistivity survey. Advanced Geosciences Inc.. web site (www.agiusa.com).

Lim, H.D., Kim, K.S., Kim, J.H., Kwon, H.S., Oh, B.H., 2004. Leakage detection of earth dam using geophysical methods. In: International Commission on Large Dams, 72th Annual Meeting, pp. 212–224

Lin, C., Hung, Y., Yu, H., Wu, P., 2013. Investigation of abnormal seepages in an earth dam using resistivity tomography. *J. GeoEng.* 8 (2), 61–70.

Loke, M.H., Barker, R.D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosection by a quasi-Newton method. *Geophys. Prospect* 44, 131–152.

Loke, M. H. (2001) Tutorial: 2D and 3D electrical imaging surveys. lecture note/tutorial.

Loke, M.H., Lane, J.W., 2004. Inversion of data from electrical resistivity imaging surveys in water-covered areas. *Explor. Geophys.* 35, 266–271.

Loke, M.H., Chambers, J.E., Rucker, D.F., Kuras, O., Wilkinson, P.B., 2013. Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *J. Appl. Geophys.* 95, 135–156.

Metwaly, M., Alfouzan, F., 2013. Application of 2-D geoelectrical resistivity tomography for subsurface cavity detection in the eastern part of Saudi Arabia. *Geosci. Front.* 4, 469–476.

Obaje, N.G., 2009. *Geology and Mineral Resources of Nigeria*, Lecture Notes in Earth Sciences 120. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 221.

Oh, Y.C., Jeong, H.S., Lee, Y.K., Shon, H., 2003. Safety evaluation of rock-fill dam by seismic (MASW) and resistivity method. In: Proceedings of the 16th Annual Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, pp. 1377–1386.

Olasehinde, P.I., Raji, W.O., 2007. Geophysical studies on fractures of basement rocks at University of Ilorin, Southwestern Nigeria: application to groundwater exploration. *Water Resour.* 17, 3–10.

Osazuwa, B., Chinedu, A.D., 2008. Seismic refraction tomography imaging of high permeability zones beneath an Earthen Dam, in Zaria Area, Nigeria. *J. Appl. Geophys.* 66, 44–58.

Owen, T.E., 1983. Detection and mapping of tunnels and caves. In: Fitch, A.A. (Ed.), *Developments in Geophysical Exploration Methods-5*. Applied Science Publishers Ltd, pp. 161–258.

Oyawoye, M.O., 1964. The geology of Nigerian basement complex – a survey of our present knowledge of them. *J. Nigerian Min. Geol. Metall. Soc.* 1 (2), 87–102.

Oyawoye, M.O., 1972. The basement complex of Nigeria. In: Dessauvague, T.F.J., Whiteman, A.J. (Eds.), *African Geology*. Ibadan University Press, pp. 66–102.

Panthulu, T.V., Krishnaiah, C., Shirke, J.M., 2001. Detection of seepage paths in earth dams using self-potential and electrical resistivity methods. *Eng. Geol.* 59 (3–4), 281–295. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00082-X).

Plata, B.A., Araguás, A.L., 2002. *Detection and Prevention of Leaks from Dams*. A.A. Balkema Publishers, pp. 1–419.

Plata, A., Iragüen, E., 1992. Leakage Study at Lake LaLaja Chile. In: Hötzl, Werner (Eds.), *Tracer Hydrology*. Balkema, pp. 378–396.

- Polder, R.B., 2001. Test methods for on site measurement of resistivity of concrete—a RILEM TC-154 technical recommendation. *Constr. Build. Mater.* 15, 125–131.
- Rahaman, M.A., 1976. Review of the basement geology of southwestern Nigeria. In: Kogbe, C.A. (Ed.), *Geology of Nigeria*. 2nd ed. Elizabethan Publication, Lagos, pp. 41–58.
- Raji, W.O., 2014. Review of electrical and gravity methods of near surface exploration for groundwater. *Nigerian J. Technol. Dev.* 11 (2), 31–38.
- Raji, W.O., Ibrahim, O.K., 2017. Geophysical investigation for Basement Rock Structures around a proposed Dam site. *Adamawa State Univ. J. Sci. Res.* 5 (2), 38–49.
- Raji, W.O., Adeoye, T.O., 2017. Geophysical mapping of contaminant leachate around a reclaimed open dumpsite. *J. King Saud Univ. – Sci.* 29, 348–359.
- Raji, W.O., Obadare, G.I., Odukoya, M.A., Johnson, L.M., 2018. Electrical resistivity mapping of oil spills in a coastal environment of Lagos, Nigeria. *Arab. J. Geosci.* 11, 144. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3470-1>.
- Sjödahl, P., Dahlin, T., Johansson, S., 2010. Using the resistivity method for leakage detection in a blind test at the Røssvation embankment dam test facility in Norway. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 69, 643–658.
- Sjödahl, P., Dahlin, T., Johansson, S., 2005. Using resistivity measurements for dam safety evaluation at Enemossen tailings dam in southern Sweden. *Environ. Geol.* 49, 267–273.
- Song, S.H., Song, Y.H., Kwon, B.D., 2005. Application of hydrogeological and geophysical methods to delineate leakage pathways in an earth fill dam. *Explor. Geophys.* 36, 92–96.
- Sule, B.F., Salami, A.W., Bilewu, S.O., Adeleke, O.O., Ajimotokan, H.A., 2011. Hydrology of river Oyun and hydropower potential of Unilorin Dam, Ilorin, Kwara State, Nigeria. *New York Sci. J.* 4 (1), 69–78.
- Sum, C.W., Othman, J., Loganathan, P., 1996. *Geotechnical Problems in Limestone Terrain with Emphasis on Cavities and Sinkholes*. Seminar Geologi dan Sekitarn. UKM, Puri Pujangga, Bangi, pp. 102–117.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, New York. doi: 10.1017/CBO9781139167932.
- Tejero, A., Chávez, R.E., Urbieta, J., Flores- Márquez, E.L., 2002. Cavity detection in the south-western hilly portion of Mexico City by resistivity imaging. *J. Eng. Environ. Geophys.* 7 (3), 130–139.
- Vachiratienchai, C., Songkhun, B., Weerachai, S., 2010. A hybrid finite difference finite element method to incorporate topography for 2D direct current (DC) resistivity modeling. *Phys. Earth Planet. Inter.* 183, 426–434.
- Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R., Gardner, L.W., 1956. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. *Geophysics* 21, 41–70.
- Zelt, C.A., Smith, R.B., 1992. Seismic travel time inversion for 2-D crustal velocity structure. *Geophys. J. Int.* 108, 16–34.
- Zhou, W., Beck, B.F., Adams, A.L., 2002. Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography. *Environ. Geol.* 42, 922–928.



Archiv SID

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

