توموگرافی ژئوالکتریک کارست تاقدیس آسماری (جنوب شرق مسجدسلیمان)

حمیدرضا ناصری*[۱]، فرشاد علیجانی[۲] و سیدیحیی میرزایی[۳]

پست الکترونیکی: Hamidreza_Nassery@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۸۷/۴/۲۴

چکیده

استفاده از عوارض سطحی در مطالعات هیدروژئولوژی کارست همواره نمی‌تواند به عنوان اصلی‌ترین عامل تعیین کنندهٔ مناطق با پتانسیل زیاد آب زیرزمینی باشد لذا همواره استفاده از اکتشافات زیرسطحی به عنوان مکمل این مطالعات توصیه می‌شود. در تحقیق حاضر که در محدوده تاقدیس آسماری واقع در شمال شرق خوزستان انجام گردیده تلفیقی از تحلیل‌های سطحی و اکتشافات ژئوالکتریکی با فنون نوین معکوس‌سازی استفاده شده است. این تکنیک‌ها بر پایه معکوس‌سازی داده‌های مقاومت الکتریکی استوار است. در انجام این روش از نرم‌افزار RES2DINV بهره جسته شد که با توجه به سیستم حاکم بر تاقدیس آسماری از روش الگوریتم محدودیت همواری و جهت حل ماتریکس ژاکوبی از روش عناصر محدود استفاده گردید. مدل در فرآیند معکوس‌سازی، مقاومت را با به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی تخمین می‌زند. توموگرافی الکتریکی بر روی داده‌های مقاومت ظاهری سه پروفیل T، e و GTa که با آرایه شلومبرژه داده‌برداری شده‌اند صورت گرفته است. با مقایسهٔ نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی سطح‌الارضی و ژئومورفولوژی با مطالعات تحت‌الارضی (ژئوالکتریک و حفاری‌های اکتشافی) عدم همبستگی بین نمایان‌گرهای سطحی آب زیرزمینی و کارست‌شدگی عمقی در تاقدیس آسماری محرز گردید. بر اساس شواهد سطحی، نتایج حفاری‌ها و مطالعهٔ ژئوالکتریک، تکامل کارست سطحی در تاقدیس آسماری به صورت ناقص (درجهٔ مروکارست) و تکامل کارست عمقی به صورت پیشرفته (درجهٔ هولو کارست) می‌باشد. در تعیین مناطق با کارست‌شدگی بالا در تاقدیس آسماری نمی‌توان فقط به استفاده از نمایان‌گرهای آب زیرزمینی اکتفا نمود.

واژه‌های کلیدی: *توموگرافی، کارست، معکوس‌سازی، تفاضل محدود، عناصر محدود و ژئوالکتریک*

* ۱- استادیار دانشکده علوم‌زمین- دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲- دانشجوی دکتری گروه آب‌شناسی- دانشگاه شهید بهشتی تهران

۳- مربی گروه زمین‌شناسی- دانشگاه شهید چمران اهواز

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

آثار و شواهد سطحی و ژئومورفولوژی به عنوان شاخص آب زیرزمینی در مطالعه آبخوان‌های کارستی، تاکنون به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. نقشه‌برداری خطواره‌ها و به ویژه شکستگی‌ها از طریق مطالعه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای توانسته است به عنوان یک راهبرد جهت تعیین محل چاه‌های با آبدهی بالا مورد استفاده قرار گیرد [۱]. ناصری و کی همایون توانایی تکنیک‌های سنجش از دور را در مطالعه فروچاله‌های کارستی تأیید نمودند [۲]. تحلیل‌های انجام شده به وسیلهٔ تکنیک‌های سنجش از دور و بررسی شکستگی‌های سطحی توده های آهکی به عنوان مراحل اساسی در مطالعهٔ تعیین مناطق با کارست‌شدگی پیشرفته مورد استفاده قرار گرفته است [۳] همچنین مطالعه بر روی وجود یا عدم وجود جریان سطحی و زهکشی زیرسطحی در مناطق کارستی در تعیین میزان بلوغ کارست در مناطق مختلف به عنوان معیاری از میزان منابع زیر سطحی استفاده شده است [٤].

عمده روش‌های ذکر شده و مرسوم در مطالعات و اکتشافات منابع آب زیرزمینی بر اساس نمایان‌گرهای سطحی و توسعه عوارض ژئومورفولوژی کارست در آبخوان‌ها بوده و در بسیاری از موارد این نمودهای ژئومورفولوژیکی گسترش چندانی ندارند، لذا جهت تعیین نقاط دارای پتانسیل منابع آب در این مناطق لازم است علاوه بر استفاده از شواهد سطحی و ژئومورفولوژیکی از روش‌های اکتشافی زیرسطحی نیز استفاده گردد. تاقدیس آسماری یکی از این مناطق می‌باشد که عوارض ساختاری کارست در آن توسعهٔ چندانی نداشته و وجود زهکشی سطحی و نبود عوارض انحلالی کارستی قابل توجه در این تاقدیس نشان‌گر کارست نابالغ سطحی در این منطقه می‌باشد. بنابراین در این منطقه عوارض سطحی نمی‌توانند به عنوان معرف‌های مناسب عمل نمایند. در این مطالعات به منظور تعیین وضعیت کمی و کیفی منابع زیرزمینی کارستی منطقه و تعیین محل حفاری چاه‌های اکتشافی علاوه بر تحلیل خطواره‌ها و شکستگی‌ها، عملیات ژئوالکتریک به روش شلومبرژه با حداکثر طول فرستنده AB = 1000 m در سه پروفیل همراه با توموگرافی الکتریکی انجام گردید.

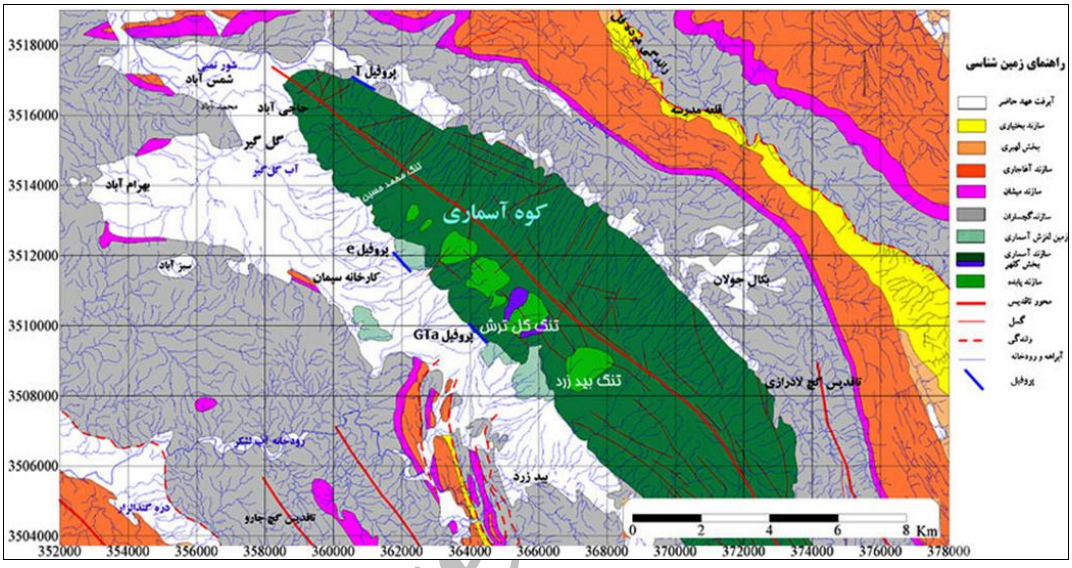
زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

تاقدیس آسماری در ۹۰ کیلومتری شمال شرق اهواز و ۲۰ کیلومتری جنوب شرق مسجدسلیمان در حوضهٔ کارون میانی قرار دارد. تاقدیس مذکور دارای ۲۷ کیلومتر طول می باشد و در ٤۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ٤۹ درجه و ٤٥ دقیقه عرض جغرافیایی و ۳۱ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ٤۸ دقیقه طول جغرافیایی واقع گردیده است. سازند پابده (ائوسن- الیگوسن) قدیمی‌ترین سازند رخنمون یافته در تاقدیس آسماری می‌باشد و بر روی آن به ترتیب سازند آهکی آسماری، سازند گچی و مارنی گچساران، سازند آهکی- مارنی میشان، سازند ماسه سنگی – مارنی آغاجاری به همراه بخش مارنی – ماسه‌سنگی لهبری، سازند کنگلومرایی بختیاری و نهشته‌های آبرفتی کواترنر قرار می‌گیرند (شکل ۱). در تنگ گل ترش واقع در کمر این تاقدیس مقطع تیپ سازند آسماری به ضخامت ۳۱٤ متر انتخاب گردیده است. از لحاظ لیتولوژی سازند آسماری شامل آهک و آهک‌های مارنی کرم رنگ تا قهوه‌ای می‌باشد که در منطقهٔ مورد مطالعه به صورت ارتفاعات مرتفع و بارز همراه با شکستگی‌ها و دره‌های عمیق به چشم می‌خورد. سازند آسماری در بخش زیرین به سازند مارنی پابده تغییر لیتولوژی می‌دهد و در بخش فوقانی آن سازند گچساران رخنمون دارد. این سازند در محدودهٔ مورد مطالعه ایجاد

Archive of SID

www.SID.ir

یک تاقدیس نامتقارن کرده و تأثیر فشارهای تکتونیکی بر منطقه باعث ایجاد سیستم‌های شکستگی در راستاهای مختلف کرده است. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده شکستگی‌های یال جنوب غربی تاقدیس نسبت به یال شمال شرقی بیش‌تر بوده و چندین گسل سرتاسری در امتداد این یال وجود دارد که عمدتاً گسل‌ها از نوع رانده می‌باشند.



شکل ۱- نقشهٔ زمین‌شناسی و موقعیت پروفیل‌های ژئوفیزیک محدودهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبریز آبخوان کارستی آسماری توسط سطح اساس فرسایش محلی[1] و کف هیدرولوژیکی منطقه کنترل می‌گردد. تراز قاعده‌ای محلی آبخوان کارستی آسماری می‌تواند بر چشمه گرو در دماغه شمال غربی یا کف رودخانه شور تمبی در محل تلاقی با رودخانهٔ شور بهلول منطبق باشد. تراز قاعده‌ای هیدرولوژیک ناحیه‌ای کارست آسماری منطبق با لبهٔ آهک آسماری می‌باشد. در تاقدیس آسماری لبهٔ مذکور بر مرز آهک رخنمون‌دار منطبق نمی‌باشد زیرا که لایه‌های شیب‌دار آهکی کارستی شده در دامنه تاقدیس آسماری در زیر آبرفت و یا سازند گچساران ادامه می یابند. عمق کارست‌شدگی تاقدیس آسماری بر سطح تماس سازندهای آسماری و پابده منطبق می‌باشد. با توجه به ضخامت ۳۳۰ متری آهک آسماری در منطقهٔ مورد مطالعه، عملاً کارست تاقدیس آسماری از نوع کارست عمیق می‌باشد [۵].

آبخوان کارستی آسماری از نوع محبوس (تحت فشار) می‌باشد. قسمت اعظم مخزن آب کارستی در زیر تراز چشمهٔ گرو به صورت ذخیره استاتیک جای گرفته است. به هرحال، علاوه بر کارست عمیق، کارست کم عمق نیز در تغذیهٔ چشمهٔ گرو مشارکت می‌جوید. شرایط هیدرولوژیکی کارست کم عمق با جمع شدن آب کارستی در پشت چشمهٔ گرو همراه می‌باشد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، دو سیستم آبخوان بی‌کربناته کلسیک کم عمق و کلروره سدیک عمقی برای تاقدیس آسماری درنظر گرفته شده است. مقایسهٔ نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی سطح الارضی و ژئومورفولوژی با مطالعات تحت‌الارضی (ژئوالکتریک و حفاری‌های اکتشافی) گویای عدم همبستگی بین نمایانگرهای سطحی آب زیرزمینی و

1- Local Base of Erosion

Archive

www.SID.ir

کارست‌شدگی عمقی در تاقدیس آسماری است، بنابراین نمی‌توان برای تعیین مناطق با کارست‌شدگی بالا در تاقدیس مذکور فقط به استفاده از نمایان‌گرهای آب زیرزمینی اکتفا نمود. بر اساس شواهد سطحی، نتایج حفاری‌ها، و مطالعه ژئوالکتریک، تکامل کارست سطحی در تاقدیس آسماری به صورت ناقص (درجهٔ مروکارست) و تکامل کارست عمقی به صورت پیشرفته (درجهٔ هولو کارست) می‌باشد.

چشمهٔ گرو با آبدهی حدود ۰/۵ متر مکعب در ثانیه به عنوان مهم‌ترین محل تخلیهٔ آبخوان کارستی آسماری دارای آب نوع کلروره سدیک می‌باشد. اختلاط آب بی‌کربناته کلسیک موجود در سیستم فراتیک آبخوان کارستی آسماری با شورابه نفتی بالا رونده از طریق گسل پی سنگی آسماری، باعث تخریب کیفی آب چشمه گرو شده است. رخنمون قیر در اطراف مظهر چشمهٔ گرو و وجود گاز سولفید هیدروژن محلول در آب احیایی چشمه، از نمایان‌گرهای مشارکت شورابه نفتی در تغذیه آب چشمه گرو می‌باشند. هدایت الکتریکی دهانه‌های چشمهٔ گرو در دوره مرطوب از ٤١٠٠ تا ٤٨٠٠ میکروموهس بر سانتی‌متر متغیر است. در دوره خشک، هدایت الکتریکی آب چشمهٔ گرو از ۳۷۰۰ تا ٥٤٠٠ میکروموهس بر سانتی‌متر تغییر می‌نماید. احتمالاً آب بی‌کربناته کلسیک غالب در سیستم فراتیک بالایی آبخوان کارستی آسماری در مجاورت دماغه شمال غربی تاقدیس، با شورابه نفتی بالارونده از طریق گسل‌های امتدادی موازی با گسل عمقی آسماری مخلوط شده و باعث رخداد رخسارهٔ هیدروشیمیایی کلروره سدیک در چشمهٔ گرو شده است.

روش تحقیق

به طور کلی هدف از انجام بررسی‌های ژئوالکتریکی تعیین توزیع مقاومت زیرسطحی با انجام اندازه‌گیری‌هایی در سطح زمین می‌باشد. مقدار مقاومت زیر سطحی به پارامترهای زمین‌شناسی مختلفی از قبیل محتوی سیال و کانی‌ها، تخلخل و درجه اشباع آب در سنگ بستگی دارد که جهت اندازه‌گیری این مقاومت، با القاء جریان به زمین از طریق الکترودهای جریان و اندازه‌گیری ولتاژ منتج از اختلاف دو الکترود، مقادیر مقاومت ظاهری محاسبه می‌گردد. مقدار مقاومت محاسبه شده، مقاومت واقعی لایه‌های زیرسطحی نبوده و بین مقاومت ظاهری و مقاومت واقعی، رابطه‌ای پیچیده وجود دارد که لازم است جهت محاسبه آن از یک برنامهٔ کامپیوتری مناسب استفاده و در نهایت نتایج تحلیل گردد. در حال حاضر بیشتر روش‌های تحلیل ژئوالکتریک مبتنی بر بررسی‌های سوندینگ و پروفایلینگ[1] می‌باشند. مهم‌ترین محدودیت روش سوندینگ، تغییرات مقاومت به دلیل تغییرات افقی (جانبی) در مقاومت زیر سطحی است. تغییرات جانبی در مقاومت زیرسطحی ممکن است باعث تغییرات مقادیر مقاومت ظاهری شده که اغلب به غلط به عنوان تغییرات عمقی مقاومت زیرسطحی تفسیر می‌شود. به دلیل محدودیت تجهیزات صحرایی برای داده‌برداری دو بعدی و سه بعدی، تجسس‌های سوندینگ یک بعدی بیش‌تر مورد توجه کاربران قرار می‌گیرد. برای مثال در یک تجسس سوندینگ یک بعدی در منطقه، معمولاً از ۱۰ تا ۲۰ قرائت استفاده می‌شود در حالی که انجام تجسس تصویری دو بعدی همین منطقه نیاز به ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ قرائت (قابل مقایسه با روش‌های لرزه‌ای) دارد. جهت حصول مباحث تکمیلی در مورد مزایای تجسس‌های سوندینگ و پروفایلینگ و تفسیر آن‌ها برای آرایه‌های مختلف می‌توان به مرجع [٦] رجوع نمود. در حال حاضر روش‌های جدیدی علاوه بر بررسی‌های سوندینگ و پروفایلینگ وجود دارد که در این روش‌ها تفسیر داده‌های

1- Sounding & Profiling Investigations

Archive of SID

www.SID.ir

ژئوالکتریک عمدتاً بر معکوس‌سازی داده‌های مقاومت استوار است. هدف از فرآیند معکوس‌سازی، تعیین ضخامت و مقاومت لایه‌های مدل یک بعدی است تا بتواند پاسخ مدل منطبق با مقادیر اندازه‌گیری شده را ایجاد نماید. مراحل معمول در فرآیند معکوس‌سازی[1] شامل، قرائت اولیهٔ داده‌های مقاومت ظاهری، تصحیح پارامترهای معکوس‌سازی در صورت لزوم، و انجام معکوس‌سازی می‌باشد. در این تحقیق از روش بهینه‌یابی حداقل مربعات[2] در فرآیند معکوس‌سازی استفاده شد. در این روش می‌بایست یک مدل اولیه موجود باشد، سپس سابروتین‌های بهینه‌یابی مقاومت و ضخامت لایه‌ها را آنقدر تغییر می‌دهد تا تفاضل بین مقادیر مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده و محاسباتی کاهش یابد. برای مدلی که تعداد لایه‌ها از تعداد نقاط داده خیلی کم‌تر (کم‌تر از نصف آن‌ها) باشد، روش حداقل مربعات میرا[3] مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادلهٔ این روش عبارت است از [۷]

$$(J^T J + \lambda i)\Delta q_k = J^T g$$

در این معادله q بردار پارامتری مدل، شامل لگاریتم مقاومت و ضخامت لایه‌ها، g بردار تفاضلی شامل تفاضل لگاریتم مقادیر مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده و محاسباتی، Δq تغییر پارامتری مدل، i ماتریس وجودی، λ عامل میرایی[4] و j ماتریس ژاکوبی مشتقات جزیی می‌باشند. عناصر ماتریس ژاکوبی با رابطهٔ زیر به‌دست می‌آیند [۷]:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \qquad (۲)$$

که در آن تغییر در iامین پاسخ مدل f_i ناشی از تغییر در j امین پارامتر مدل q_j است. در تجسس دو بعدی عموماً روتین معکوس به روش حداقل مربعات با محدودیت هموار[5] می‌باشد که بر اساس معادلهٔ زیر است [۸]:

$$(J^T J + uF)d = J^T g \qquad (۳)$$

در این معادله $F = FxFxT + FzFzT$ ، Fx فیلتر هموارسازی افقی، Fz فیلتر هموارسازی عمودی، j ماتریس مشتقات جزیی، u عامل میرایی، d بردار انحراف مدل، و g بردار تفاضل می‌باشند. یکی از مزایای این روش آن است که عامل میرایی و فیلترهای هموارسازی می‌توانند برای انواع مختلف داده‌ها تنظیم شوند. در این تحقیق مدل‌سازی معکوس داده‌های ژئوالکتریک با استفاده از نرم‌افزار صحت‌سنجی شده RES2DINV انجام شده است. نرم‌افزار RES2DINV طوری طراحی شده است که با حداقل داده‌های ورودی می‌تواند فرآیند مدل‌سازی معکوس را به طریق خودکار و پرقدرت انجام دهد. مشکل غیر یگانه بودن مدل در فرآیند مدل‌سازی معکوس سونداژهای ژئوالکتریک همانند دیگر داده‌های ژئوفیزیکی وجود دارد. گاهی برای یک سری داده ورودی یکسان، چندین مدل معکوس یافت گردد که مقادیر مقاومت ظاهری یکسانی را ایجاد نمایند. برای کاهش نتایج مدل می‌توان در ساختار پارامتری الگوریتم حل تفاضل محدود[6] یا عنصر محدود[7] تغییراتی ایجاد کرد و یا در هنگام تفسیر مدل بهینه را انتخاب نمود. در توموگرافی الکتریکی در صورتی که توده‌های زیرسطحی مورد بررسی، دارای مرزهای تدریجی مانند پلوم‌های آلودگی یا لایهٔ ضخیم انتقالی هوازده بر روی سنگ بستر و یا به لحاظ زمین‌شناسی دارای لایه‌های مجزا با مرزهای

1- Inversion
2- Least-square Optimization Method
3- Damped least-square Method
4- Marquardt
5- Smoothness-constrained Least-square Method
6- Finite Difference
7- Finite Element

Archive of SID

www.SID.ir

شاخص باشند از روش مدل معکوس واضح[1] و در سایر موارد از روش معکوس با محدودیت هموار[2] استفاده می‌شود. با توجه به خردشدگی شدت سازند آسماری در تاقدیس آسماری و تغییرات تدریجی بین لایه‌های آهکی و آهک مارنی این تاقدیس، سیستم حاکم بر این تاقدیس بین دو حالت مقاومت متغیر تدریجی و توده‌های زمین‌شناسی با مرز واضح قرار دارد، بنابراین عملاً استفاده از روش مدل معکوس واضح نتایج واقعی را به دست نمی‌دهد. براین اساس به منظور مدل‌سازی معکوس مشاهدات صحرایی توزیع مقاومت ظاهری پروفیل‌های منتخب تاقدیس آسماری، از روش الگوریتم محدودیت–هموار مورد استفاده شد [۹]. الگوریتم مذکور دارای ساختار تکراری بوده و کاملا خودکار می‌باشد. نظر به آن که ساختارهای هدف در توموگرافی الکتریکی پروفیل‌های منتخب در تاقدیس آسماری (همانند زون‌های خردشده گسلی و مجاری کارستی بزرگ) دارای امتداد تقریباً عمودی هستند بنابراین در انجام این مدل جهت واضح‌سازی از فیلتر پخ کننده عمودی[3] نیز استفاده شده است. در نهایت مدل مقاومت را توسط به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی تخمین می‌زند.

کد RES2DINV برنامهٔ کامپیوتری می‌باشد که به طور خودکار مدل مقاومت دوبعدی زیرسطحی را برای داده‌های حاصل از تجسس تصویرنگاری الکتریکی تعیین می‌کند. برنامهٔ مذکور طوری طراحی شده است که بتواند مجموعهٔ داده‌های عظیم (حدود ۲۰۰ تا ۲۱۰۰۰ دادهٔ نقطه‌ای) جمع‌آوری شده توسط سیستم متشکل از تعداد زیاد الکترودها (حدود ۲۵ تا ۱۶۰۰۰ الکترود) را معکوس سازد. مقادیر مقاومت ظاهری می‌بایست ابتدا در یک فایل متنی تایپ شوند. سپس داده‌ها در فایل dat.* قالب‌بندی می‌شوند. هر دادهٔ مقاومت الکتریکی به صورت یک سطر طوری وارد می‌شود که موقعیت x فاصله الکترودی و مقدار مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده با یک فاصله از هم جدا شوند. پس از انجام تغییرات مناسب در مدل، گزینهٔ معکوس‌سازی با روش حداقل مربعات انتخاب و اجرا می‌شود. خروجی مدل به صورت شبه مقاطع مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده، محاسبه‌ای، و معکوس شده دریافت و به صورت فایل تصویری ذخیره می‌شود.

توموگرافی الکتریکی پروفیل های کارست

توموگرافی دو بعدی سوندژهای ژئوالکتریک کارست تاقدیس آسماری به منظور تعیین بهترین محل حفاری چاه آب، شناسایی حفرات، مجاری کارستی، تعیین آب‌دار بودن یا خشک بودن آن‌ها، شناخت ناهنجاری‌های عمده و بررسی احتمال کارست‌شدگی در پروفیل‌های T، E و GTa صورت گرفته است. با توجه به وجود تغییرات قابل ملاحظه در ارتفاع سطح زمین در پروفیل‌های T و E ، اثر آن با استفاده از روش تفاضل محدود لینک شده به نرم‌افزار RES2DINV ، بر روی مدل معکوس اعمال گردیده است.

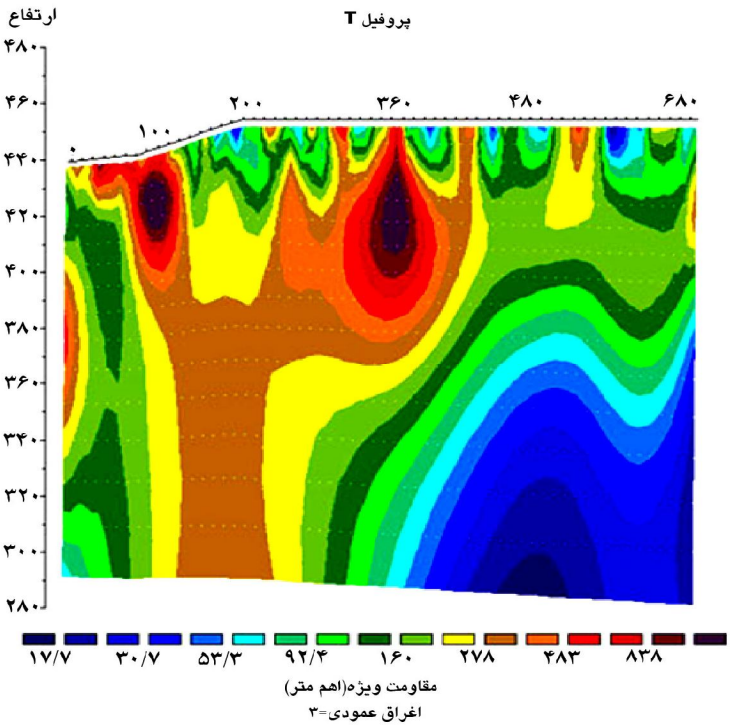
از لحاظ موقعیت و راستا، پروفیل T با طول ۶۸۰ متر در یال شمال شرقی تاقدیس آسماری قرار گرفته است (شکل ۱). این پروفیل شامل سوندژهای T1 تا T6 بوده و دو گسل عرضی موجود در سطح تاقدیس آسماری منطبق بر سوندژهای T2 و T4 می‌باشد. به منظور تفسیر عملکرد دو گسل مذکور بر روی آبخوان کارستی آسماری فرآیند معکوس‌سازی بر داده‌های پروفیل T انجام گرفته است. شبه مقطع مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده، پس از اعمال مدل توپوگرافی بر مدل معکوس، مقطع مقاومت

1- Robust Model Inversion Method
2- Smoothness-constrained Inverse Method
3- Vertical Flatness Filter

Archive of SID

www.SID.ir

واقعی پروفیل T حاصل گردید. شکل ۲ مقطع مذکور را با اغراق نمایی عمودی X3 نشان می‌دهد.

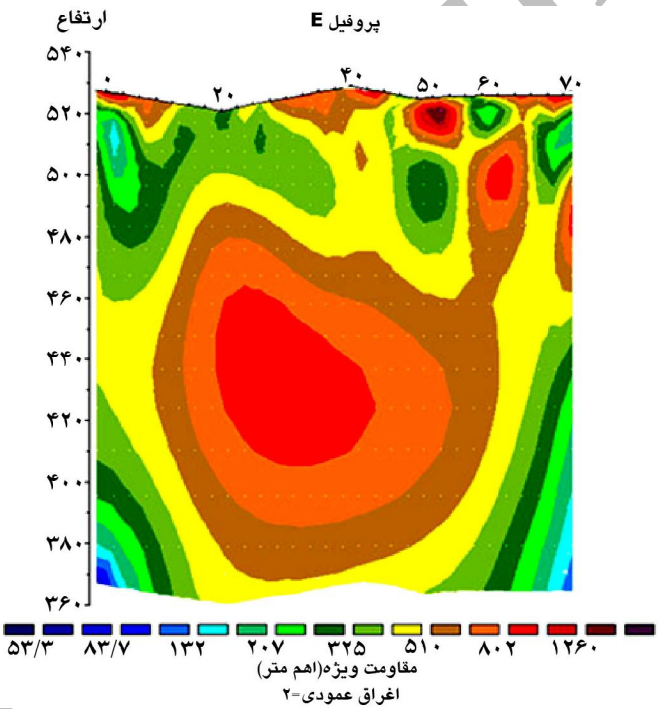


شکل ۲- مقطع مقاومت واقعی پروفیل T با اغراق نمایی عمودی X3

دامنهٔ تغییرات مقاومت الکتریکی لایه‌های زمین‌شناسی در پروفیل T از حدود ۲۰ اهم متر تا بیش از ۱۰۰۰ اهم متر متغیر می‌باشد. تغییرات مقاومت الکتریکی تا عمق حدود ۱۰ متر در طول پروفیل، نسبتاً زیاد است که این تغییر می‌تواند دال بر وجود واریزه فرسایشی خرده سنگ آهکی و مارن و در بعضی موارد گچ و مارن فرسایشی سازند گچساران باشد. مقاومت لایهٔ واریزه سطحی در بازهٔ صفر تا ۱۰۰ متری به بیش از ۸۰۰ اهم متر می‌رسد که نشانگر واریزه آهک بلوکی در کف آبراهه می‌باشد. در بازهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر، ضخامت واریزه خرده سنگ آهکی و مارن و یا احتمالاً سازند گچساران به ۴۰ متر می‌رسد. توده آهک به شدت کارستی شده و حفره‌دار در بازهٔ ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر وجود دارد که مقاومت الکتریکی آن به بیش از ۱۰۰۰ اهم متر می‌رسد. در این ناحیه احتمالاً سیستم سابکتانیوس سریع در تغذیهٔ آبخوان مشارکت می‌جوید. عملکرد دو گسل عرضی F1 و F2 با ایجاد زون خرد شده، در مقطع مقاومت الکترکی به‌خوبی مشخص می‌باشد. زون خرد شده گسل F1 به صورت تقریباً عمودی بوده که در منطقهٔ غیر اشباع دارای مقاومت الکتریکی متغیر از ۱۵۰ تا ۳۰۰ اهم متر است. عمق برخورد به آبخوان کارستی در بازهٔ صفر تا ۱۰۰ متر (که منطبق بر زون خرد شده گسل F1 می‌باشد) حدود ۱۲۰ متر است. بازهٔ ۵۰ تا ۲۰۰ متر در پروفیل T، با وجود آهک متراکم و با کارست شدگی ناچیز مشخص می‌گردد که مقاومت الکتریکی آن حدود ۴۵۰ اهم متر بوده و آبدهی آبخوان در این بازه کم می‌باشد. زون خرد شده حاصل

Archive
www.SID.ir

گسل F2 در عمق بیش از ۱۰۰ متر در بازهٔ ۳۰۰ تا ۶۸۰ متر مشخص گردیده است. آهک مارنی به شدت خرد شده و برشی دارای مقاومت ۵۰ تا ۱۰۰ اهم متر در بازهٔ ۴۰۰ تا ۶۷۰ متر است. عمق برخورد به آب در این بازه از ۱۰۰ تا ۱۳۰ متر متغیر است. مقاومت الکتریکی لایهٔ آب‌دار منطبق بر گسل F2 کمتر از ۳۰ اهم متر است که دال بر وجود آب شور در آبخوان کارستی آسماری می‌باشد. این امر می‌تواند نشان‌گر آن باشد که گسل F2 از اعماق آب شور را وارد سیستم کارست تاقدیس آسماری می‌نماید. با توجه به مجاورت رودخانهٔ شور تمبی با زون خرد شده گسل F2، می‌توان تغذیه کارست از رودخانهٔ شور را نیز متصور بود. زون تدریجی تغییر کیفی آب کارست در بازهٔ ۲۰۰ تا ۳۵۰ متر با مقاومت الکتریکی ۵۰ تا ۱۲۰ اهم متر مشخص می‌گردد که احتمالاً دارای آب لبشور می‌باشد. با توجه به موارد یاد شده، حفاری چاه آب در پروفیل مذکور پیشنهاد نمی‌گردد.



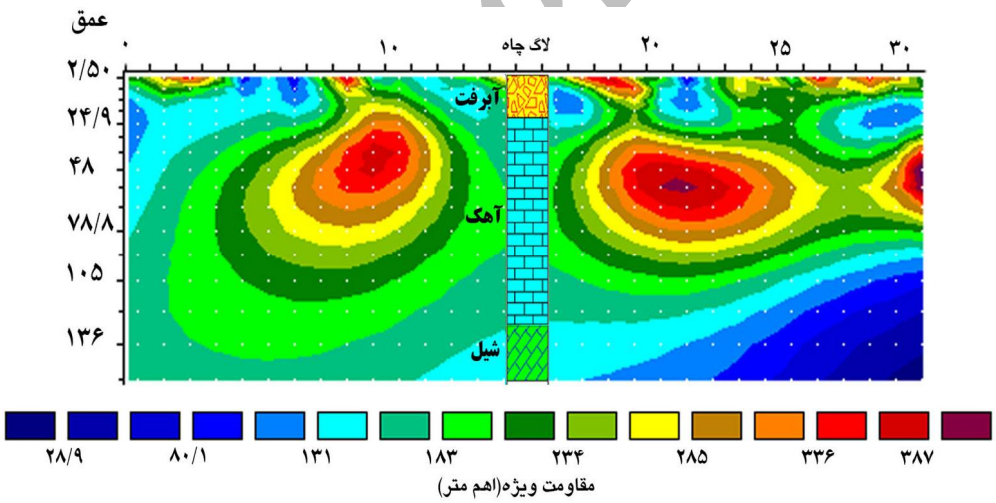
شکل ۳- مقطع مقاومت واقعی پروفیل E با اغراق نمایی افقی X1.5

پروفیل E در یال جنوب غربی تاقدیس آسماری و در ۱/۵ کیلومتری شرق کارخانهٔ سیمان مسجدسلیمان و ۳ کیلومتری جنوب شرق چاه آهکی AsExp1 واقع گردیده است (شکل ۱). طول پروفیل مذکور برابر ۷۰ متر و داده‌برداری ژئوالکتریک با آرایهٔ شلومبرژه با عمق نفوذ برابر ۱۷۵ متر انجام شده است. شبه مقطع مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده، پس از اعمال مدل‌سازی توپوگرافی مقطع مقاومتی معکوس، مقطع مقاومت واقعی پروفیل e را ایجاد کرده که شکل ۳ این مقطع با اغراق نمایی افقی X1.5 نشان می‌دهد. ضخامت واریزهٔ سطحی در این پروفیل بین ۲ تا ۸ متر متغیر و در اعماق ۱۰ تا ۴۰ متری آهک مارنی به شدت خرد شده با مقاومت الکتریکی متغیر از ۲۰۰ تا ۵۰۰ اهم متر وجود دارد. حداقل مقاومت الکتریکی در لایه آهکی بالایی در بازهٔ صفر تا ۵۰ متر

www.SID.ir

است که احتمالا در این ناحیه نسبت مارن، آهک افـزایش یافته و در بازهٔ ۵۰ تا ۵۵ متر وجود غار کارستی خشک از عمق ۳ تا ۱۰ متری مشخص گردیـده اسـت همچنـین در بازهٔ ٦۰ تا ٦۵ متری نیز زون حفره‌دار از عمـق ۲۰ تـا ٤۰ متری محرز شده است. در قسمت میانی پروفیل و در بازهٔ طولی ۲۰ تا ۵۰ متری و از عمق ۸۰ تا ۱۳۰ متـر تـوده‌ای بزرگ و نسبتاً هموژن با مقاومت الکتریکـی حـدود ۱۰۰۰ اهم متر وجود دارد که می‌تواند نشان‌گر یک زون کارستی به شدت حفره‌دار باشـد. عمـق برخـورد بـه آب سیـستم کارست فراتیک در پروفیل e بین ۱٤۰ تا ۱٦۰ متـر متغیـر می‌باشد. قسمت میانی پروفیل مذکور (یعنی بازهٔ ۲۰ تا ٤۰ متر) به عنوان مناسب‌ترین محل جهـت حفـاری چـاه آب پیشنهاد می‌گردد. با توجه به مقاومت الکتریکی لایهٔ آب‌دار در پروفیل e، استنباط می‌گردد که کیفیت آب کارسـت در آبخوان آسماری در این ناحیه مطلوب باشد.

پروفیـل GTa در یـال جنـوب غربـی تاقـدیس آسماری و در پای تنگ گل تـرش واقـع گردیـده اسـت. پروفیل مذکور از میان آبراهه وسط تنگ تا پای آهک واقع در مجاورت تنگ ادامه دارد (شکل ۱). پروفیـل GTa بـا هدف تعیین زون با حداکثر کارست‌شدگی برای حفر چاه آهکی داده برداری گردیده اسـت. طـول پروفیـل مـذکور برابر ۳۰ متر می‌باشد و داده‌برداری ژئوالکتریـک بـا آرایـه شلومبرژه با عمق نفوذ برابر ۱٦۱ متر انجـام شـده اسـت. شبه مقطـع مقاومـت ظـاهری انـدازه‌گیـری شـده، مقطـع مقاومت الکتریکی مدل معکوس پروفیل GTa در شکل ٤ نشان داده شده است.



شکل ٤- مقطع مقاومت الکتریکی مدل معکوس پروفیل GTa

با توجه به نبـود اخـتلاف تـراز ارتفـاعی قابـل ملاحظه در طول پروفیـل مـذکور، از انجـام مـدل‌سـازی توپوگرافی خودداری شده است. ضخامت واریزه سـطحی آهک خردشده و مارن در طول‌های ۱۰ و ۲۰ متر حـداقل می‌باشد. بازهٔ مذکور در پای لایه‌هـای آهکـی واقـع شـده است. با توجه به آن که امتـداد پروفیـل GTa، بـا امتـداد لایه‌بندی آهک آسماری متقاطع بوده و شـیب لایـه‌بنـدی حدود ٤۵ درجه می‌باشد، بدین جهت با فاصله گـرفتن از پای آهک ضخامت واریـزه سـریعاً افـزایش مـی‌یابـد. در ابتدای پروفیل GTa، ضخامت واریزه حدود ۳۰ متر است. سه زون آهک کارستی با مقاومت الکتریکی بـیش از ۳۰۰ اهم متر در بازه های طولی ۱۰، ۲۰، و ۳۰ متر وجود دارد که از عمق ۳۰ تا ٦۰ متری ادامه دارند. مقاومت الکتریکی آهک آسماری در پروفیل تنگ گل تـرش از ۱۵۰ تـا ۲۵۰

www.SID.ir

اهم متر متغیر است. مقاومت مذکور نشان‌دهندهٔ آن است که سازند آسماری در این مقطع عمدتاً از آهک مارنی تشکیل شده است. روند ملایم در الگوی مقاومت الکتریکی معکوس پروفیل GTa نشان‌گر آن است که آهک آسماری خردشدگی کمی دارد و کارست‌شدگی عمدتاً در امتداد لایه‌بندی روی داده است. کاهش ناگهانی مقاومت الکتریکی در بازهٔ ۲۰ تا ۳۰ متری تا حدودی مشتبه کننده است. احتمالاً مقاومت الکتریکی کم لایهٔ مذکور که دارای شیب به سمت شمال غرب می‌باشد مربوط به آهک شیلی برشی شده است. این لایه می‌تواند بیان‌گر خردشدگی در زون گسله باشد. احتمال ممکن دیگر آن است که برشی شدن آهک آسماری در اثر زمین لغزش روی داده است. با توجه به مقطع مقاومتی موجود، برخورد به آب زیرزمینی کارست تا عمق تجسس ۱۶۰ متری روی نداده است. بر این اساس موقعیت منطبق با طول ۱۰ متر به عنوان مناسب‌ترین محل برای حفاری چاه آهکی پیشنهاد گردید. بر این اساس در اسفند ماه ۱۳۸۱ یک حلقهٔ پیزومتر آهکی در بازهٔ ۱۵ متر در پروفیل GTa حفاری گردید که لوگ آن در شکل ٤ آورده شده است. چاه مذکور به عمق ٤۳۰ متر حفاری گردید. با توجه به برخورد به غار در عمق ۱۵۵ متری در چاه مذکور برگشتی مواد خرد شده از این عمق به بعد وجود نداشت. برخورد به آب در چاه مذکور در عمق ۳۰۰ متری رخ داده است.

نتیجه‌گیری

به دلیل عدم همخوانی ژئومرفولوژی و ساختارهای سطحی با وضعیت هیدروژئولوژی در تاقدیس آسماری، عمده نتایج حاصل از مطالعات شناخت بر اساس نتایج عملیات ژئوالکتریک جهت تعیین محل حفاری چاه‌های اکتشافی مورد بازبینی واقع شده است. توموگرافی الکتریکی بر روی داده‌های مقاومت ظاهری سه پروفیل T، E و GTa که با آرایه شلومبرژه داده‌برداری شده‌اند صورت گرفته است. داده‌برداری با آرایه شلومبرژه به دلیل سهولت داده‌برداری صحرایی، حساسیت نسبت به تغییرات مقاومت حفرات و مجاری کارستی، و عمق نفوذ زیاد صورت گرفته است. سپس توموگرافی دو بعدی سونداژهای ژئوالکتریک کارست تاقدیس آسماری به منظور تعیین بهترین محل حفاری چاه آب، شناسایی حفرات، مجاری کارستی، تعیین آب‌دار بودن یا خشک بودن آن‌ها، شناخت ناهنجاری‌های عمده و بررسی احتمال کارست‌شدگی در پروفیل‌های صورت گرفته است. با توجه به وجود تغییرات قابل ملاحظه در ارتفاع سطح زمین در پروفیل‌های T و e اثر آن با استفاده از روش تفاضل محدود مرتبط شده به نرم‌افزار RES2DINV، بر روی مدل معکوس اعمال گردیده است ولی این کار برای پروفیل GTa انجام نشده است.

تفسیر مقاطع توموگرافی شده مشخص نمود که حفاری چاه آب در پروفیل T به علت برخورد به آب لب‌شور مناسب نمی‌باشد. عمق برخورد به آب سیستم کارست فراتیک در پروفیل E بین ۱٤۰ تا ۱٦۰ متر متغیر می باشد. قسمت میانی پروفیل E (یعنی بازهٔ ۲۰ تا ٤۰ متر) به عنوان مناسب‌ترین محل جهت حفاری چاه آب پیشنهاد گردیده است. با توجه به مقاومت الکتریکی لایهٔ آب‌دار در پروفیل e، استنباط می‌گردد که کیفیت آب کارست در آبخوان آسماری در این ناحیه مطلوب باشد. روند ملایم در الگوی مقاومت الکتریکی معکوس پروفیل GTa واقع در تنگ گل ترش (مقطع نمونهٔ سازند آسماری) نشان‌گر آن است که آهک آسماری خردشدگی کمی دارد و کارست‌شدگی عمدتاً در امتداد لایه‌بندی روی داده است. با توجه به مقطع مقاومتی موجود، برخورد به آب زیرزمینی کارست تا عمق تجسس ۱٦۰ متری روی نداده است.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[1] Lattman, L.H. and Parizek, R.R., Relationship between fracture traces and the occurrence of groundwater in carbonate rocks. Journal of Hydrology, 2 (1964) 73-91.

[۲] ناصری، ح، ر، و ز، کی همایون، دورسنجی فروچاله‌های کارستی (مطالعهٔ موردی: کارست کوهرنگ)، هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اصفهان، ۱۳۸۲.

[3] Degnan, J.R. and Clarck, S.F., Fracture-correlated lineaments at Great Bay, Southeastern New Hampshire. U.S. Geological Survey, Open File-Report, (2002) 02-13.

[4] Kaufmann, G. and Braun, J., Karst aquifer evolution in fractured rocks. Water Resources Reseach, 35, 11 (1999) 3223-3238.

[۵] ناصری، ح، ر، و ف، علیجانی، عدم تطابق ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی کارست تاقدیس آسماری، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، ۱۳۸٤.

[6] Loke, M.H., Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software, Malaysia, (2001).

[7] Loke, M.H., Topographic modelling in resistivity imaging inversion. 62nd EAGE Conference & Technical Exhibition Extended Abstracts, D-2, (2000).

[8] Sasaki, Y., Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. Geophysical Prospecting, 40 (1992) 453-464

[9] Tsourlos, P., Modelling interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data. Unpublished Ph.D. Thesis, University of York, (1995).

Archive of SID

www.SID.ir

توموگرافی ژئوالکتریک کارست تاقدیس آسماری (جنوب شرق مسجدسلیمان)

حمیدرضا ناصری*[۱]، فرشاد علیجانی[۲] و سیدیحیی میرزایی[۳]

پست الکترونیکی: Hamidreza_Nassery@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۸۷/۴/۲۴

چکیده

استفاده از عوارض سطحی در مطالعات هیدروژئولوژی کارست همواره نمی‌تواند به عنوان اصلی‌ترین عامل تعیین کنندهٔ مناطق با پتانسیل زیاد آب زیرزمینی باشد لذا همواره استفاده از اکتشافات زیرسطحی به عنوان مکمل این مطالعات توصیه می‌شود. در تحقیق حاضر که در محدوده تاقدیس آسماری واقع در شمال شرق خوزستان انجام گردیده تلفیقی از تحلیل‌های سطحی و اکتشافات ژئوالکتریکی با فنون نوین معکوس‌سازی استفاده شده است. این تکنیک‌ها بر پایه معکوس‌سازی داده‌های مقاومت الکتریکی استوار است. در انجام این روش از نرم‌افزار RES2DINV بهره جسته شد که با توجه به سیستم حاکم بر تاقدیس آسماری از روش الگوریتم محدودیت همواری و جهت حل ماتریکس ژاکوبی از روش عناصر محدود استفاده گردید. مدل در فرآیند معکوس‌سازی، مقاومت را با به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی تخمین می‌زند. توموگرافی الکتریکی بر روی داده‌های مقاومت ظاهری سه پروفیل T، e و GTa که با آرایه شلومبرژه داده‌برداری شده‌اند صورت گرفته است. با مقایسهٔ نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی سطح‌الارضی و ژئومورفولوژی با مطالعات تحت‌الارضی (ژئوالکتریک و حفاری‌های اکتشافی) عدم همبستگی بین نمایان‌گرهای سطحی آب زیرزمینی و کارست‌شدگی عمقی در تاقدیس آسماری محرز گردید. بر اساس شواهد سطحی، نتایج حفاری‌ها و مطالعهٔ ژئوالکتریک، تکامل کارست سطحی در تاقدیس آسماری به صورت ناقص (درجهٔ مروکارست) و تکامل کارست عمقی به صورت پیشرفته (درجهٔ هولو کارست) می‌باشد. در تعیین مناطق با کارست‌شدگی بالا در تاقدیس آسماری نمی‌توان فقط به استفاده از نمایان‌گرهای آب زیرزمینی اکتفا نمود.

واژه‌های کلیدی: *توموگرافی، کارست، معکوس‌سازی، تفاضل محدود، عناصر محدود و ژئوالکتریک*

* ۱- استادیار دانشکده علوم‌زمین- دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲- دانشجوی دکتری گروه آب‌شناسی- دانشگاه شهید بهشتی تهران

۳- مربی گروه زمین‌شناسی- دانشگاه شهید چمران اهواز

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

آثار و شواهد سطحی و ژئومورفولوژی به عنوان شاخص آب زیرزمینی در مطالعه آبخوان‌های کارستی، تاکنون به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. نقشه‌برداری خطواره‌ها و به ویژه شکستگی‌ها از طریق مطالعه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای توانسته است به عنوان یک راهبرد جهت تعیین محل چاه‌های با آبدهی بالا مورد استفاده قرار گیرد [۱]. ناصری و کی همایون توانایی تکنیک‌های سنجش از دور را در مطالعه فروچاله‌های کارستی تأیید نمودند [۲]. تحلیل‌های انجام شده به وسیلهٔ تکنیک‌های سنجش از دور و بررسی شکستگی‌های سطحی توده های آهکی به عنوان مراحل اساسی در مطالعهٔ تعیین مناطق با کارست‌شدگی پیشرفته مورد استفاده قرار گرفته است [۳] همچنین مطالعه بر روی وجود یا عدم وجود جریان سطحی و زهکشی زیرسطحی در مناطق کارستی در تعیین میزان بلوغ کارست در مناطق مختلف به عنوان معیاری از میزان منابع زیر سطحی استفاده شده است [٤].

عمده روش‌های ذکر شده و مرسوم در مطالعات و اکتشافات منابع آب زیرزمینی بر اساس نمایان‌گرهای سطحی و توسعه عوارض ژئومورفولوژی کارست در آبخوان‌ها بوده و در بسیاری از موارد این نمودهای ژئومورفولوژیکی گسترش چندانی ندارند، لذا جهت تعیین نقاط دارای پتانسیل منابع آب در این مناطق لازم است علاوه بر استفاده از شواهد سطحی و ژئومورفولوژیکی از روش‌های اکتشافی زیرسطحی نیز استفاده گردد. تاقدیس آسماری یکی از این مناطق می‌باشد که عوارض ساختاری کارست در آن توسعهٔ چندانی نداشته و وجود زهکشی سطحی و نبود عوارض انحلالی کارستی قابل توجه در این تاقدیس نشان‌گر کارست نابالغ سطحی در این منطقه می‌باشد. بنابراین در این منطقه عوارض سطحی نمی‌توانند به عنوان معرف‌های مناسب عمل نمایند. در این مطالعات به منظور تعیین وضعیت کمی و کیفی منابع زیرزمینی کارستی منطقه و تعیین محل حفاری چاه‌های اکتشافی علاوه بر تحلیل خطواره‌ها و شکستگی‌ها، عملیات ژئوالکتریک به روش شلومبرژه با حداکثر طول فرستنده AB = 1000 m در سه پروفیل همراه با توموگرافی الکتریکی انجام گردید.

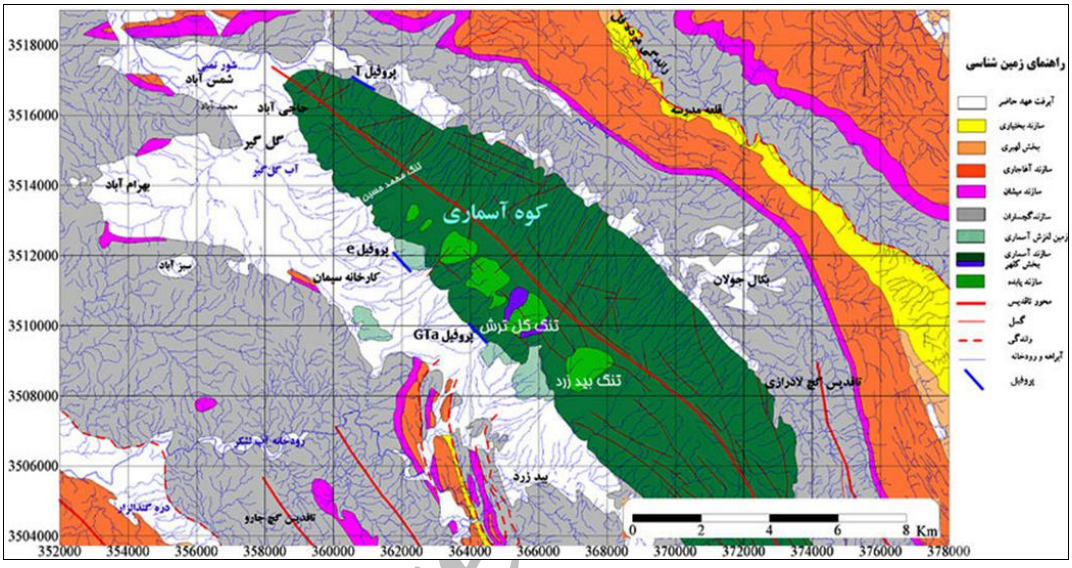
زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

تاقدیس آسماری در ۹۰ کیلومتری شمال شرق اهواز و ۲۰ کیلومتری جنوب شرق مسجدسلیمان در حوضهٔ کارون میانی قرار دارد. تاقدیس مذکور دارای ۲۷ کیلومتر طول می باشد و در ٤۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ٤۹ درجه و ٤٥ دقیقه عرض جغرافیایی و ۳۱ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ٤۸ دقیقه طول جغرافیایی واقع گردیده است. سازند پابده (ائوسن- الیگوسن) قدیمی‌ترین سازند رخنمون یافته در تاقدیس آسماری می‌باشد و بر روی آن به ترتیب سازند آهکی آسماری، سازند گچی و مارنی گچساران، سازند آهکی- مارنی میشان، سازند ماسه سنگی – مارنی آغاجاری به همراه بخش مارنی – ماسه‌سنگی لهبری، سازند کنگلومرایی بختیاری و نهشته‌های آبرفتی کواترنر قرار می‌گیرند (شکل ۱). در تنگ گل ترش واقع در کمر این تاقدیس مقطع تیپ سازند آسماری به ضخامت ۳۱٤ متر انتخاب گردیده است. از لحاظ لیتولوژی سازند آسماری شامل آهک و آهک‌های مارنی کرم رنگ تا قهوه‌ای می‌باشد که در منطقهٔ مورد مطالعه به صورت ارتفاعات مرتفع و بارز همراه با شکستگی‌ها و دره‌های عمیق به چشم می‌خورد. سازند آسماری در بخش زیرین به سازند مارنی پابده تغییر لیتولوژی می‌دهد و در بخش فوقانی آن سازند گچساران رخنمون دارد. این سازند در محدودهٔ مورد مطالعه ایجاد

Archive of SID

www.SID.ir

یک تاقدیس نامتقارن کرده و تأثیر فشارهای تکتونیکی بر منطقه باعث ایجاد سیستم‌های شکستگی در راستاهای مختلف کرده است. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده شکستگی‌های یال جنوب غربی تاقدیس نسبت به یال شمال شرقی بیش‌تر بوده و چندین گسل سرتاسری در امتداد این یال وجود دارد که عمدتاً گسل‌ها از نوع رانده می‌باشند.



شکل ۱- نقشهٔ زمین‌شناسی و موقعیت پروفیل‌های ژئوفیزیک محدودهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبریز آبخوان کارستی آسماری توسط سطح اساس فرسایش محلی[1] و کف هیدرولوژیکی منطقه کنترل می‌گردد. تراز قاعده‌ای محلی آبخوان کارستی آسماری می‌تواند بر چشمه گرو در دماغه شمال غربی یا کف رودخانه شور تمبی در محل تلاقی با رودخانهٔ شور بهلول منطبق باشد. تراز قاعده‌ای هیدرولوژیک ناحیه‌ای کارست آسماری منطبق با لبهٔ آهک آسماری می‌باشد. در تاقدیس آسماری لبهٔ مذکور بر مرز آهک رخنمون‌دار منطبق نمی‌باشد زیرا که لایه‌های شیب‌دار آهکی کارستی شده در دامنه تاقدیس آسماری در زیر آبرفت و یا سازند گچساران ادامه می یابند. عمق کارست‌شدگی تاقدیس آسماری بر سطح تماس سازندهای آسماری و پابده منطبق می‌باشد. با توجه به ضخامت ۳۳۰ متری آهک آسماری در منطقهٔ مورد مطالعه، عملاً کارست تاقدیس آسماری از نوع کارست عمیق می‌باشد [۵].

آبخوان کارستی آسماری از نوع محبوس (تحت فشار) می‌باشد. قسمت اعظم مخزن آب کارستی در زیر تراز چشمهٔ گرو به صورت ذخیره استاتیک جای گرفته است. به هرحال، علاوه بر کارست عمیق، کارست کم عمق نیز در تغذیهٔ چشمهٔ گرو مشارکت می‌جوید. شرایط هیدرولوژیکی کارست کم عمق با جمع شدن آب کارستی در پشت چشمهٔ گرو همراه می‌باشد. بر اساس بررسی‌های انجام شده، دو سیستم آبخوان بی‌کربناته کلسیک کم عمق و کلروره سدیک عمقی برای تاقدیس آسماری درنظر گرفته شده است. مقایسهٔ نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی سطح الارضی و ژئومورفولوژی با مطالعات تحت‌الارضی (ژئوالکتریک و حفاری‌های اکتشافی) گویای عدم همبستگی بین نمایانگرهای سطحی آب زیرزمینی و

1- Local Base of Erosion

Archive

www.SID.ir

کارست‌شدگی عمقی در تاقدیس آسماری است، بنابراین نمی‌توان برای تعیین مناطق با کارست‌شدگی بالا در تاقدیس مذکور فقط به استفاده از نمایان‌گرهای آب زیرزمینی اکتفا نمود. بر اساس شواهد سطحی، نتایج حفاری‌ها، و مطالعه ژئوالکتریک، تکامل کارست سطحی در تاقدیس آسماری به صورت ناقص (درجهٔ مروکارست) و تکامل کارست عمقی به صورت پیشرفته (درجهٔ هولو کارست) می‌باشد.

چشمهٔ گرو با آبدهی حدود ۰/۵ متر مکعب در ثانیه به عنوان مهم‌ترین محل تخلیهٔ آبخوان کارستی آسماری دارای آب نوع کلروره سدیک می‌باشد. اختلاط آب بی‌کربناته کلسیک موجود در سیستم فراتیک آبخوان کارستی آسماری با شورابه نفتی بالا رونده از طریق گسل پی سنگی آسماری، باعث تخریب کیفی آب چشمه گرو شده است. رخنمون قیر در اطراف مظهر چشمهٔ گرو و وجود گاز سولفید هیدروژن محلول در آب احیایی چشمه، از نمایان‌گرهای مشارکت شورابه نفتی در تغذیه آب چشمه گرو می‌باشند. هدایت الکتریکی دهانه‌های چشمهٔ گرو در دوره مرطوب از ٤١٠٠ تا ٤٨٠٠ میکروموهس بر سانتی‌متر متغیر است. در دوره خشک، هدایت الکتریکی آب چشمهٔ گرو از ۳۷۰۰ تا ٥٤٠٠ میکروموهس بر سانتی‌متر تغییر می‌نماید. احتمالاً آب بی‌کربناته کلسیک غالب در سیستم فراتیک بالایی آبخوان کارستی آسماری در مجاورت دماغه شمال غربی تاقدیس، با شورابه نفتی بالارونده از طریق گسل‌های امتدادی موازی با گسل عمقی آسماری مخلوط شده و باعث رخداد رخسارهٔ هیدروشیمیایی کلروره سدیک در چشمهٔ گرو شده است.

روش تحقیق

به طور کلی هدف از انجام بررسی‌های ژئوالکتریکی تعیین توزیع مقاومت زیرسطحی با انجام اندازه‌گیری‌هایی در سطح زمین می‌باشد. مقدار مقاومت زیر سطحی به پارامترهای زمین‌شناسی مختلفی از قبیل محتوی سیال و کانی‌ها، تخلخل و درجه اشباع آب در سنگ بستگی دارد که جهت اندازه‌گیری این مقاومت، با القاء جریان به زمین از طریق الکترودهای جریان و اندازه‌گیری ولتاژ منتج از اختلاف دو الکترود، مقادیر مقاومت ظاهری محاسبه می‌گردد. مقدار مقاومت محاسبه شده، مقاومت واقعی لایه‌های زیرسطحی نبوده و بین مقاومت ظاهری و مقاومت واقعی، رابطه‌ای پیچیده وجود دارد که لازم است جهت محاسبه آن از یک برنامهٔ کامپیوتری مناسب استفاده و در نهایت نتایج تحلیل گردد. در حال حاضر بیشتر روش‌های تحلیل ژئوالکتریک مبتنی بر بررسی‌های سوندینگ و پروفایلینگ[1] می‌باشند. مهم‌ترین محدودیت روش سوندینگ، تغییرات مقاومت به دلیل تغییرات افقی (جانبی) در مقاومت زیر سطحی است. تغییرات جانبی در مقاومت زیرسطحی ممکن است باعث تغییرات مقادیر مقاومت ظاهری شده که اغلب به غلط به عنوان تغییرات عمقی مقاومت زیرسطحی تفسیر می‌شود. به دلیل محدودیت تجهیزات صحرایی برای داده‌برداری دو بعدی و سه بعدی، تجسس‌های سوندینگ یک بعدی بیش‌تر مورد توجه کاربران قرار می‌گیرد. برای مثال در یک تجسس سوندینگ یک بعدی در منطقه، معمولاً از ۱۰ تا ۲۰ قرائت استفاده می‌شود در حالی که انجام تجسس تصویری دو بعدی همین منطقه نیاز به ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ قرائت (قابل مقایسه با روش‌های لرزه‌ای) دارد. جهت حصول مباحث تکمیلی در مورد مزایای تجسس‌های سوندینگ و پروفایلینگ و تفسیر آن‌ها برای آرایه‌های مختلف می‌توان به مرجع [٦] رجوع نمود. در حال حاضر روش‌های جدیدی علاوه بر بررسی‌های سوندینگ و پروفایلینگ وجود دارد که در این روش‌ها تفسیر داده‌های

1- Sounding & Profiling Investigations

Archive of SID

www.SID.ir

ژئوالکتریک عمدتاً بر معکوس‌سازی داده‌های مقاومت استوار است. هدف از فرآیند معکوس‌سازی، تعیین ضخامت و مقاومت لایه‌های مدل یک بعدی است تا بتواند پاسخ مدل منطبق با مقادیر اندازه‌گیری شده را ایجاد نماید. مراحل معمول در فرآیند معکوس‌سازی[1] شامل، قرائت اولیهٔ داده‌های مقاومت ظاهری، تصحیح پارامترهای معکوس‌سازی در صورت لزوم، و انجام معکوس‌سازی می‌باشد. در این تحقیق از روش بهینه‌یابی حداقل مربعات[2] در فرآیند معکوس‌سازی استفاده شد. در این روش می‌بایست یک مدل اولیه موجود باشد، سپس سابروتین‌های بهینه‌یابی مقاومت و ضخامت لایه‌ها را آنقدر تغییر می‌دهد تا تفاضل بین مقادیر مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده و محاسباتی کاهش یابد. برای مدلی که تعداد لایه‌ها از تعداد نقاط داده خیلی کم‌تر (کم‌تر از نصف آن‌ها) باشد، روش حداقل مربعات میرا[3] مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادلهٔ این روش عبارت است از [۷]

$$(J^T J + \lambda i)\Delta q_k = J^T g$$

در این معادله q بردار پارامتری مدل، شامل لگاریتم مقاومت و ضخامت لایه‌ها، g بردار تفاضلی شامل تفاضل لگاریتم مقادیر مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده و محاسباتی، Δq تغییر پارامتری مدل، i ماتریس وجودی، λ عامل میرایی[4] و j ماتریس ژاکوبی مشتقات جزیی می‌باشند. عناصر ماتریس ژاکوبی با رابطهٔ زیر به‌دست می‌آیند [۷]:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \qquad (۲)$$

که در آن تغییر در iامین پاسخ مدل f_i ناشی از تغییر در j امین پارامتر مدل q_j است. در تجسس دو بعدی عموماً روتین معکوس به روش حداقل مربعات با محدودیت هموار[5] می‌باشد که بر اساس معادلهٔ زیر است [۸]:

$$(J^T J + uF)d = J^T g \qquad (۳)$$

در این معادله $F = FxFxT + FzFzT$ ، Fx فیلتر هموارسازی افقی، Fz فیلتر هموارسازی عمودی، j ماتریس مشتقات جزیی، u عامل میرایی، d بردار انحراف مدل، و g بردار تفاضل می‌باشند. یکی از مزایای این روش آن است که عامل میرایی و فیلترهای هموارسازی می‌توانند برای انواع مختلف داده‌ها تنظیم شوند. در این تحقیق مدل‌سازی معکوس داده‌های ژئوالکتریک با استفاده از نرم‌افزار صحت‌سنجی شده RES2DINV انجام شده است. نرم‌افزار RES2DINV طوری طراحی شده است که با حداقل داده‌های ورودی می‌تواند فرآیند مدل‌سازی معکوس را به طریق خودکار و پرقدرت انجام دهد. مشکل غیر یگانه بودن مدل در فرآیند مدل‌سازی معکوس سونداژهای ژئوالکتریک همانند دیگر داده‌های ژئوفیزیکی وجود دارد. گاهی برای یک سری داده ورودی یکسان، چندین مدل معکوس یافت گردد که مقادیر مقاومت ظاهری یکسانی را ایجاد نمایند. برای کاهش نتایج مدل می‌توان در ساختار پارامتری الگوریتم حل تفاضل محدود[6] یا عنصر محدود[7] تغییراتی ایجاد کرد و یا در هنگام تفسیر مدل بهینه را انتخاب نمود. در توموگرافی الکتریکی در صورتی که توده‌های زیرسطحی مورد بررسی، دارای مرزهای تدریجی مانند پلوم‌های آلودگی یا لایهٔ ضخیم انتقالی هوازده بر روی سنگ بستر و یا به لحاظ زمین‌شناسی دارای لایه‌های مجزا با مرزهای

1- Inversion
2- Least-square Optimization Method
3- Damped least-square Method
4- Marquardt
5- Smoothness-constrained Least-square Method
6- Finite Difference
7- Finite Element

Archive of SID

www.SID.ir

شاخص باشند از روش مدل معکوس واضح[1] و در سایر موارد از روش معکوس با محدودیت هموار[2] استفاده می‌شود. با توجه به خردشدگی شدت سازند آسماری در تاقدیس آسماری و تغییرات تدریجی بین لایه‌های آهکی و آهک مارنی این تاقدیس، سیستم حاکم بر این تاقدیس بین دو حالت مقاومت متغیر تدریجی و توده‌های زمین‌شناسی با مرز واضح قرار دارد، بنابراین عملاً استفاده از روش مدل معکوس واضح نتایج واقعی را به دست نمی‌دهد. براین اساس به منظور مدل‌سازی معکوس مشاهدات صحرایی توزیع مقاومت ظاهری پروفیل‌های منتخب تاقدیس آسماری، از روش الگوریتم محدودیت–هموار مورد استفاده شد [۹]. الگوریتم مذکور دارای ساختار تکراری بوده و کاملا خودکار می‌باشد. نظر به آن که ساختارهای هدف در توموگرافی الکتریکی پروفیل‌های منتخب در تاقدیس آسماری (همانند زون‌های خردشده گسلی و مجاری کارستی بزرگ) دارای امتداد تقریباً عمودی هستند بنابراین در انجام این مدل جهت واضح‌سازی از فیلتر پخ کننده عمودی[3] نیز استفاده شده است. در نهایت مدل مقاومت را توسط به حداقل رساندن اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی تخمین می‌زند.

کد RES2DINV برنامهٔ کامپیوتری می‌باشد که به طور خودکار مدل مقاومت دوبعدی زیرسطحی را برای داده‌های حاصل از تجسس تصویرنگاری الکتریکی تعیین می‌کند. برنامهٔ مذکور طوری طراحی شده است که بتواند مجموعهٔ داده‌های عظیم (حدود ۲۰۰ تا ۲۱۰۰۰ دادهٔ نقطه‌ای) جمع‌آوری شده توسط سیستم متشکل از تعداد زیاد الکترودها (حدود ۲۵ تا ۱۶۰۰۰ الکترود) را معکوس سازد. مقادیر مقاومت ظاهری می‌بایست ابتدا در یک فایل متنی تایپ شوند. سپس داده‌ها در فایل dat.* قالب‌بندی می‌شوند. هر دادهٔ مقاومت الکتریکی به صورت یک سطر طوری وارد می‌شود که موقعیت x فاصله الکترودی و مقدار مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده با یک فاصله از هم جدا شوند. پس از انجام تغییرات مناسب در مدل، گزینهٔ معکوس‌سازی با روش حداقل مربعات انتخاب و اجرا می‌شود. خروجی مدل به صورت شبه مقاطع مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده، محاسبه‌ای، و معکوس شده دریافت و به صورت فایل تصویری ذخیره می‌شود.

توموگرافی الکتریکی پروفیل های کارست

توموگرافی دو بعدی سوندژهای ژئوالکتریک کارست تاقدیس آسماری به منظور تعیین بهترین محل حفاری چاه آب، شناسایی حفرات، مجاری کارستی، تعیین آب‌دار بودن یا خشک بودن آن‌ها، شناخت ناهنجاری‌های عمده و بررسی احتمال کارست‌شدگی در پروفیل‌های T، E و GTa صورت گرفته است. با توجه به وجود تغییرات قابل ملاحظه در ارتفاع سطح زمین در پروفیل‌های T و E ، اثر آن با استفاده از روش تفاضل محدود لینک شده به نرم‌افزار RES2DINV ، بر روی مدل معکوس اعمال گردیده است.

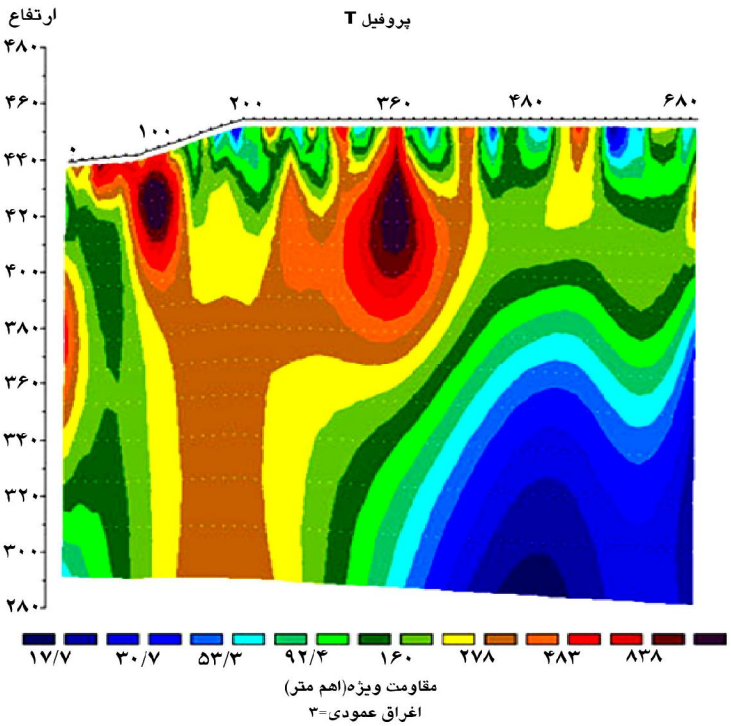
از لحاظ موقعیت و راستا، پروفیل T با طول ۶۸۰ متر در یال شمال شرقی تاقدیس آسماری قرار گرفته است (شکل ۱). این پروفیل شامل سوندژهای T1 تا T6 بوده و دو گسل عرضی موجود در سطح تاقدیس آسماری منطبق بر سوندژهای T2 و T4 می‌باشد. به منظور تفسیر عملکرد دو گسل مذکور بر روی آبخوان کارستی آسماری فرآیند معکوس‌سازی بر داده‌های پروفیل T انجام گرفته است. شبه مقطع مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده، پس از اعمال مدل توپوگرافی بر مدل معکوس، مقطع مقاومت

1- Robust Model Inversion Method
2- Smoothness-constrained Inverse Method
3- Vertical Flatness Filter

Archive of SID

www.SID.ir

واقعی پروفیل T حاصل گردید. شکل ۲ مقطع مذکور را با اغراق نمایی عمودی X3 نشان می‌دهد.

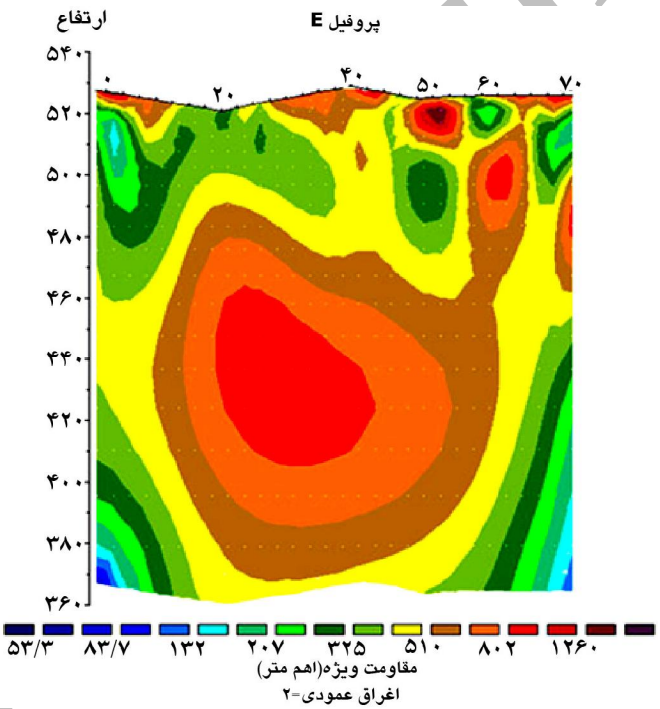


شکل ۲- مقطع مقاومت واقعی پروفیل T با اغراق نمایی عمودی X3

دامنهٔ تغییرات مقاومت الکتریکی لایه‌های زمین‌شناسی در پروفیل T از حدود ۲۰ اهم متر تا بیش از ۱۰۰۰ اهم متر متغیر می‌باشد. تغییرات مقاومت الکتریکی تا عمق حدود ۱۰ متر در طول پروفیل، نسبتاً زیاد است که این تغییر می‌تواند دال بر وجود واریزه فرسایشی خرده سنگ آهکی و مارن و در بعضی موارد گچ و مارن فرسایشی سازند گچساران باشد. مقاومت لایهٔ واریزه سطحی در بازهٔ صفر تا ۱۰۰ متری به بیش از ۸۰۰ اهم متر می‌رسد که نشانگر واریزه آهک بلوکی در کف آبراهه می‌باشد. در بازهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر، ضخامت واریزه خرده سنگ آهکی و مارن و یا احتمالاً سازند گچساران به ۴۰ متر می‌رسد. توده آهک به شدت کارستی شده و حفره‌دار در بازهٔ ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر وجود دارد که مقاومت الکتریکی آن به بیش از ۱۰۰۰ اهم متر می‌رسد. در این ناحیه احتمالاً سیستم سابکتانیوس سریع در تغذیهٔ آبخوان مشارکت می‌جوید. عملکرد دو گسل عرضی F1 و F2 با ایجاد زون خرد شده، در مقطع مقاومت الکترکی به‌خوبی مشخص می‌باشد. زون خرد شده گسل F1 به صورت تقریباً عمودی بوده که در منطقهٔ غیر اشباع دارای مقاومت الکتریکی متغیر از ۱۵۰ تا ۳۰۰ اهم متر است. عمق برخورد به آبخوان کارستی در بازهٔ صفر تا ۱۰۰ متر (که منطبق بر زون خرد شده گسل F1 می‌باشد) حدود ۱۲۰ متر است. بازهٔ ۵۰ تا ۲۰۰ متر در پروفیل T، با وجود آهک متراکم و با کارست شدگی ناچیز مشخص می‌گردد که مقاومت الکتریکی آن حدود ۴۵۰ اهم متر بوده و آبدهی آبخوان در این بازه کم می‌باشد. زون خرد شده حاصل

Archive
www.SID.ir

گسل F2 در عمق بیش از ۱۰۰ متر در بازهٔ ۳۰۰ تا ۶۸۰ متر مشخص گردیده است. آهک مارنی به شدت خرد شده و برشی دارای مقاومت ۵۰ تا ۱۰۰ اهم متر در بازهٔ ۴۰۰ تا ۶۷۰ متر است. عمق برخورد به آب در این بازه از ۱۰۰ تا ۱۳۰ متر متغیر است. مقاومت الکتریکی لایهٔ آب‌دار منطبق بر گسل F2 کمتر از ۳۰ اهم متر است که دال بر وجود آب شور در آبخوان کارستی آسماری می‌باشد. این امر می‌تواند نشان‌گر آن باشد که گسل F2 از اعماق آب شور را وارد سیستم کارست تاقدیس آسماری می‌نماید. با توجه به مجاورت رودخانهٔ شور تمبی با زون خرد شده گسل F2، می‌توان تغذیه کارست از رودخانهٔ شور را نیز متصور بود. زون تدریجی تغییر کیفی آب کارست در بازهٔ ۲۰۰ تا ۳۵۰ متر با مقاومت الکتریکی ۵۰ تا ۱۲۰ اهم متر مشخص می‌گردد که احتمالاً دارای آب لبشور می‌باشد. با توجه به موارد یاد شده، حفاری چاه آب در پروفیل مذکور پیشنهاد نمی‌گردد.



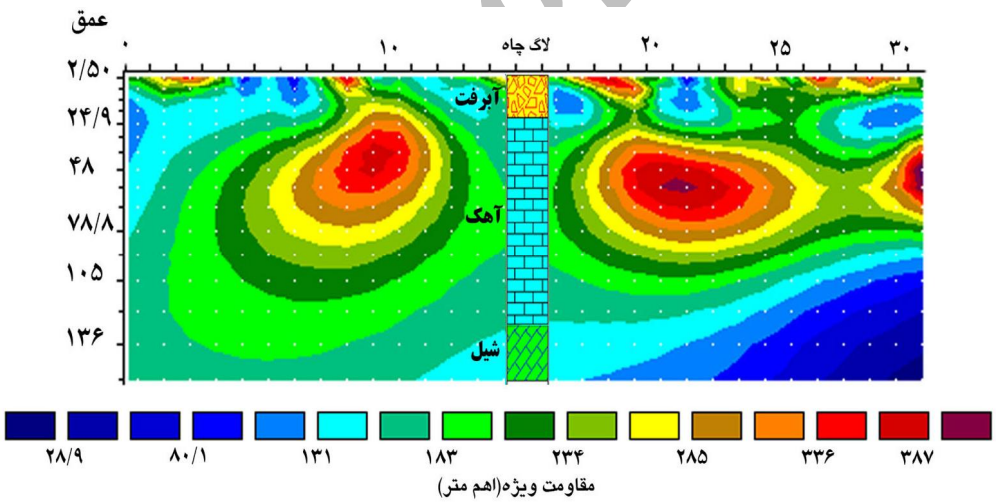
شکل ۳- مقطع مقاومت واقعی پروفیل E با اغراق نمایی افقی X1.5

پروفیل E در یال جنوب غربی تاقدیس آسماری و در ۱/۵ کیلومتری شرق کارخانهٔ سیمان مسجدسلیمان و ۳ کیلومتری جنوب شرق چاه آهکی AsExp1 واقع گردیده است (شکل ۱). طول پروفیل مذکور برابر ۷۰ متر و داده‌برداری ژئوالکتریک با آرایهٔ شلومبرژه با عمق نفوذ برابر ۱۷۵ متر انجام شده است. شبه مقطع مقاومت ظاهری اندازه‌گیری شده، پس از اعمال مدل‌سازی توپوگرافی مقطع مقاومتی معکوس، مقطع مقاومت واقعی پروفیل e را ایجاد کرده که شکل ۳ این مقطع با اغراق نمایی افقی X1.5 نشان می‌دهد. ضخامت واریزهٔ سطحی در این پروفیل بین ۲ تا ۸ متر متغیر و در اعماق ۱۰ تا ۴۰ متری آهک مارنی به شدت خرد شده با مقاومت الکتریکی متغیر از ۲۰۰ تا ۵۰۰ اهم متر وجود دارد. حداقل مقاومت الکتریکی در لایه آهکی بالایی در بازهٔ صفر تا ۵۰ متر

www.SID.ir

است که احتمالا در این ناحیه نسبت مارن، آهک افـزایش یافته و در بازهٔ ۵۰ تا ۵۵ متر وجود غار کارستی خشک از عمق ۳ تا ۱۰ متری مشخص گردیـده اسـت همچنـین در بازهٔ ٦۰ تا ٦۵ متری نیز زون حفره‌دار از عمـق ۲۰ تـا ٤۰ متری محرز شده است. در قسمت میانی پروفیل و در بازهٔ طولی ۲۰ تا ۵۰ متری و از عمق ۸۰ تا ۱۳۰ متـر تـوده‌ای بزرگ و نسبتاً هموژن با مقاومت الکتریکـی حـدود ۱۰۰۰ اهم متر وجود دارد که می‌تواند نشان‌گر یک زون کارستی به شدت حفره‌دار باشـد. عمـق برخـورد بـه آب سیـستم کارست فراتیک در پروفیل e بین ۱٤۰ تا ۱٦۰ متـر متغیـر می‌باشد. قسمت میانی پروفیل مذکور (یعنی بازهٔ ۲۰ تا ٤۰ متر) به عنوان مناسب‌ترین محل جهـت حفـاری چـاه آب پیشنهاد می‌گردد. با توجه به مقاومت الکتریکی لایهٔ آب‌دار در پروفیل e، استنباط می‌گردد که کیفیت آب کارسـت در آبخوان آسماری در این ناحیه مطلوب باشد.

پروفیـل GTa در یـال جنـوب غربـی تاقـدیس آسماری و در پای تنگ گل تـرش واقـع گردیـده اسـت. پروفیل مذکور از میان آبراهه وسط تنگ تا پای آهک واقع در مجاورت تنگ ادامه دارد (شکل ۱). پروفیـل GTa بـا هدف تعیین زون با حداکثر کارست‌شدگی برای حفر چاه آهکی داده برداری گردیده اسـت. طـول پروفیـل مـذکور برابر ۳۰ متر می‌باشد و داده‌برداری ژئوالکتریـک بـا آرایـه شلومبرژه با عمق نفوذ برابر ۱٦۱ متر انجـام شـده اسـت. شبه مقطـع مقاومـت ظـاهری انـدازه‌گیـری شـده، مقطـع مقاومت الکتریکی مدل معکوس پروفیل GTa در شکل ٤ نشان داده شده است.



شکل ٤- مقطع مقاومت الکتریکی مدل معکوس پروفیل GTa

با توجه به نبـود اخـتلاف تـراز ارتفـاعی قابـل ملاحظه در طول پروفیـل مـذکور، از انجـام مـدل‌سـازی توپوگرافی خودداری شده است. ضخامت واریزه سـطحی آهک خردشده و مارن در طول‌های ۱۰ و ۲۰ متر حـداقل می‌باشد. بازهٔ مذکور در پای لایه‌هـای آهکـی واقـع شـده است. با توجه به آن که امتـداد پروفیـل GTa، بـا امتـداد لایه‌بندی آهک آسماری متقاطع بوده و شـیب لایـه‌بنـدی حدود ٤۵ درجه می‌باشد، بدین جهت با فاصله گـرفتن از پای آهک ضخامت واریـزه سـریعاً افـزایش مـی‌یابـد. در ابتدای پروفیل GTa، ضخامت واریزه حدود ۳۰ متر است. سه زون آهک کارستی با مقاومت الکتریکی بـیش از ۳۰۰ اهم متر در بازه های طولی ۱۰، ۲۰، و ۳۰ متر وجود دارد که از عمق ۳۰ تا ٦۰ متری ادامه دارند. مقاومت الکتریکی آهک آسماری در پروفیل تنگ گل تـرش از ۱۵۰ تـا ۲۵۰

www.SID.ir

اهم متر متغیر است. مقاومت مذکور نشان‌دهندهٔ آن است که سازند آسماری در این مقطع عمدتاً از آهک مارنی تشکیل شده است. روند ملایم در الگوی مقاومت الکتریکی معکوس پروفیل GTa نشان‌گر آن است که آهک آسماری خردشدگی کمی دارد و کارست‌شدگی عمدتاً در امتداد لایه‌بندی روی داده است. کاهش ناگهانی مقاومت الکتریکی در بازهٔ ۲۰ تا ۳۰ متری تا حدودی مشتبه کننده است. احتمالاً مقاومت الکتریکی کم لایهٔ مذکور که دارای شیب به سمت شمال غرب می‌باشد مربوط به آهک شیلی برشی شده است. این لایه می‌تواند بیان‌گر خردشدگی در زون گسله باشد. احتمال ممکن دیگر آن است که برشی شدن آهک آسماری در اثر زمین لغزش روی داده است. با توجه به مقطع مقاومتی موجود، برخورد به آب زیرزمینی کارست تا عمق تجسس ۱۶۰ متری روی نداده است. بر این اساس موقعیت منطبق با طول ۱۰ متر به عنوان مناسب‌ترین محل برای حفاری چاه آهکی پیشنهاد گردید. بر این اساس در اسفند ماه ۱۳۸۱ یک حلقهٔ پیزومتر آهکی در بازهٔ ۱۵ متر در پروفیل GTa حفاری گردید که لوگ آن در شکل ٤ آورده شده است. چاه مذکور به عمق ٤۳۰ متر حفاری گردید. با توجه به برخورد به غار در عمق ۱۵۵ متری در چاه مذکور برگشتی مواد خرد شده از این عمق به بعد وجود نداشت. برخورد به آب در چاه مذکور در عمق ۳۰۰ متری رخ داده است.

نتیجه‌گیری

به دلیل عدم همخوانی ژئومرفولوژی و ساختارهای سطحی با وضعیت هیدروژئولوژی در تاقدیس آسماری، عمده نتایج حاصل از مطالعات شناخت بر اساس نتایج عملیات ژئوالکتریک جهت تعیین محل حفاری چاه‌های اکتشافی مورد بازبینی واقع شده است. توموگرافی الکتریکی بر روی داده‌های مقاومت ظاهری سه پروفیل T، E و GTa که با آرایه شلومبرژه داده‌برداری شده‌اند صورت گرفته است. داده‌برداری با آرایه شلومبرژه به دلیل سهولت داده‌برداری صحرایی، حساسیت نسبت به تغییرات مقاومت حفرات و مجاری کارستی، و عمق نفوذ زیاد صورت گرفته است. سپس توموگرافی دو بعدی سونداژهای ژئوالکتریک کارست تاقدیس آسماری به منظور تعیین بهترین محل حفاری چاه آب، شناسایی حفرات، مجاری کارستی، تعیین آب‌دار بودن یا خشک بودن آن‌ها، شناخت ناهنجاری‌های عمده و بررسی احتمال کارست‌شدگی در پروفیل‌های صورت گرفته است. با توجه به وجود تغییرات قابل ملاحظه در ارتفاع سطح زمین در پروفیل‌های T و e اثر آن با استفاده از روش تفاضل محدود مرتبط شده به نرم‌افزار RES2DINV، بر روی مدل معکوس اعمال گردیده است ولی این کار برای پروفیل GTa انجام نشده است.

تفسیر مقاطع توموگرافی شده مشخص نمود که حفاری چاه آب در پروفیل T به علت برخورد به آب لب‌شور مناسب نمی‌باشد. عمق برخورد به آب سیستم کارست فراتیک در پروفیل E بین ۱٤۰ تا ۱٦۰ متر متغیر می باشد. قسمت میانی پروفیل E (یعنی بازهٔ ۲۰ تا ٤۰ متر) به عنوان مناسب‌ترین محل جهت حفاری چاه آب پیشنهاد گردیده است. با توجه به مقاومت الکتریکی لایهٔ آب‌دار در پروفیل e، استنباط می‌گردد که کیفیت آب کارست در آبخوان آسماری در این ناحیه مطلوب باشد. روند ملایم در الگوی مقاومت الکتریکی معکوس پروفیل GTa واقع در تنگ گل ترش (مقطع نمونهٔ سازند آسماری) نشان‌گر آن است که آهک آسماری خردشدگی کمی دارد و کارست‌شدگی عمدتاً در امتداد لایه‌بندی روی داده است. با توجه به مقطع مقاومتی موجود، برخورد به آب زیرزمینی کارست تا عمق تجسس ۱٦۰ متری روی نداده است.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[1] Lattman, L.H. and Parizek, R.R., Relationship between fracture traces and the occurrence of groundwater in carbonate rocks. Journal of Hydrology, 2 (1964) 73-91.

[۲] ناصری، ح، ر، و ز، کی همایون، دورسنجی فروچاله‌های کارستی (مطالعهٔ موردی: کارست کوهرنگ)، هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اصفهان، ۱۳۸۲.

[3] Degnan, J.R. and Clarck, S.F., Fracture-correlated lineaments at Great Bay, Southeastern New Hampshire. U.S. Geological Survey, Open File-Report, (2002) 02-13.

[4] Kaufmann, G. and Braun, J., Karst aquifer evolution in fractured rocks. Water Resources Reseach, 35, 11 (1999) 3223-3238.

[۵] ناصری، ح، ر، و ف، علیجانی، عدم تطابق ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی کارست تاقدیس آسماری، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، ۱۳۸٤.

[6] Loke, M.H., Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Geotomo Software, Malaysia, (2001).

[7] Loke, M.H., Topographic modelling in resistivity imaging inversion. 62nd EAGE Conference & Technical Exhibition Extended Abstracts, D-2, (2000).

[8] Sasaki, Y., Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. Geophysical Prospecting, 40 (1992) 453-464

[9] Tsourlos, P., Modelling interpretation and inversion of multielectrode resistivity survey data. Unpublished Ph.D. Thesis, University of York, (1995).

Archive of SID

www.SID.ir