



پی جویی ژئوالکتریکی زونهای کارستی آبدار در منطقه اردستان به روش آزیموتال

محمد باقر فتحی^{۱*}، یوسف شرقی^۲، جعفر کیمیا قلم^۳، حمید رضا رمضی^۴

۱- دانشجوی رشته مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

۲- دانشجوی دکترای ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دکترای ژئوفیزیک، شرکت زمین فیزیک تهران

۴- عضو هیات علمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

E-mail: m_b_fathi@yahoo.com

چکیده

امروزه یکی از موثرترین روشها در کاوش و پی جوئی هیدروژئولوژیکی، استفاده از روشهای ژئوفیزیکی بویژه روشهای ژئوالکتریک می باشد که یکی از زیر مجموعه های آن، روش مقاومت ویژه است. این روش در مطالعه ناپیوستگیهای قائم و افقی در خواص الکتریکی زمین و همچنین در اکتشاف توده های ناهنجار رسانا به کار می رود و نیز امروزه به طور وسیع در مطالعات و تحقیقات هیدروژئولوژیکی به منظور بررسی زیر سطحی و علی الخصوص در اکتشافات سفره های زیرزمینی بکار برده می شود.

در مقاله حاضر زونهای کارستی احتمالی و گسلهای منطقه اردستان برای اکتشاف آب مورد نیاز صنایع سیمان منطقه مورد مطالعه و ردیابی قرار گرفته است. نتایج تعبیر و تفسیر مقاطع ژئوالکتریک حاصل از ۱۴۳ گمانه الکتریکی با آرایش ۳ الکترودی که بصورت رفت و برگشت انجام شد منعکس گردیده است. از آنجایی که زونهای کارستی و خرد شده از جمله مناطق پر اهمیت برای وجود آب می باشند لذا برای انجام مطالعات تکمیلی در ۲ مقطع به تعداد ۱۶ گمانه الکتریکی بصورت آزیموتال اجراء گردیده است. بررسی و تفسیر نتایج بدست آمده از برداشتهای الکتریکی حضور یک سری زونهای کارستی در عمق حدود ۲۰۰ متر با روند شمالی جنوبی را نشان می دهد. در ادامه با توجه به نتایج مطالعات، حفر سه حلقه چاه با عمق حدود ۲۵۰ متر در نقاط مستعد جهت دسترسی به زونهای آبدار پیشنهاد گردید. در این مقاله چگونگی پیاده و استفاده از داده های روش آزیموتال و تعبیر و تفسیر داده های حاصل از آن پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: مقاومت ویژه الکتریکی، انیزوتروپی، هیدروژئولوژیکی، زونهای کارستی، گسل، آزیموتال



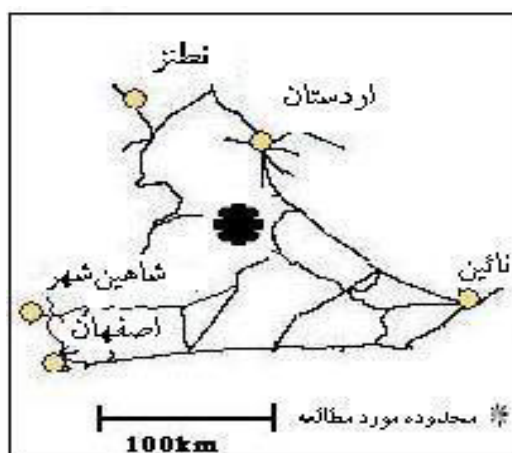
مقدمه

بدون تردید برای اکتشاف منابع مدفون زیرزمین نمی توان فقط بر اطلاعات زمین شناسی تکیه کرد و به ناچار می بایست به نحوی آثار این منابع در روی سطح زمین آشکار سازی شوند. روشهای ژئوفیزیکی از جمله تکنیکهایی هستند که در پی جویی این ذخایر کمک شایانی می کنند و شامل روشهای متعددی است که از آن جمله می توان متد ژئوالکتریکی را نام برد.

در این روش با عبور جریان الکتریکی از درون زمین، روی سطح زمین آثار قابل ثبت مشاهده می شود. واضح است که ویژگی این آثار متناسب با ویژگیهای درونی زمین تغییر می کند. روش اندازه گیری این آثار برپتانسیل های الکتریکی یا میدان های الکترومغناطیسی متکی است که در زمین به طور مصنوعی و یا طبیعی ایجاد می شوند در حقیقت امکان آن بر رسانایی یا قابلیت هدایت الکتریکی سنگها و کانیها استوار است. در پی اکتشافات منابع آب، در فاز اول ارتفاعات کوه پیناوند مورد اکتشاف قرار گرفت که براساس تفسیرهای انجام شده علیرغم مشخص کردن گسلهای مهم بعلت موقعیت زمین شناسی منطقه و احتمال پرشدگی زونهای خرد شده و گسلی از مواد دانه ریز، محدوده هایی که بتوان پیشنهاد حفاری و اکتشافی را ارائه نمود میسر نشد ولی در مرحله دوم به این دلیل که محدوده شمالغرب این منطقه (کوههای زاباگون) از نظر وجود آهکهای کرتاسه و عوامل هیدرولوژی برای اکتشاف آب مناسب بود عملیات بر روی این محدوده متمرکز شد.

موقعیت جغرافیایی منطقه

محدوده مورد مطالعه در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان بین شهرستانهای اردستان و باقرآباد و در مختصات جغرافیایی "۲۲° ۵۲' طول شرقی و "۲۰° ۳۳' عرض شمالی قرار دارد. شکل (۱)



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه [۱]



لیتولوژی محدوده مطالعات

محدوده هایی که مطالعات ژئوفیزیک در آن انجام گرفته بطور کلی شامل آهکهای کرتاسه می باشد. مجموعه سازندهای آهکی این محدوده شامل آهکهای توده‌ای، آهکهای مارنی و مارن‌ها بوده که در داخل آهکهای توده ای لایه‌های مارنی وجود دارد. [۲]

آرایش آزیموتال و نمودار رز دیاگرام

چنانکه در بررسی مقاطع ژئوالکتریک، از طریق ناهنجاریهای ایجاد شده در مقدار مقاومت ویژه اعماق مختلف، احتمال وجود زون کارستی و زون خردشده داده شود برای مطالعه و تحقیقات تکمیلی هر مقطع از آرایش آزیموتال استفاده می‌شود که اطلاعات و داده‌های حاصل از این آرایش به صورت رز دیاگرام و نمودار (λ, φ) به ترتیب جهت گسترش و امتداد یعنی (φ) و شدت انیزوتروپی یعنی (λ) زون کارستی احتمالی زیر سطحی را نمایان می‌سازد. از آنجاییکه حفره‌ها یا شکستگیهای دارای آب زیرمینی (که در یک امتداد به خصوص جهتدار شده اند) جریان الکتریکی بیشتری از خود عبور می‌دهند، تراکم جریان الکتریکی و در نتیجه مقاومت ویژه ظاهری در سونداژ گسترش یافته، در طول امتداد حفره‌ها (یا شکستگیها) با مقادیر نظیر در سونداژ گسترش یافته در عرض امتداد متفاوت خواهد بود هر چه تراکم جریان زیادتر باشد، مقادیر مقاومت ویژه در طول امتداد شکستگیها یا حفره‌های اشباع، از مقادیر نظیر در عرض امتداد کمتر می‌شود. و در حالتی که شکستگیها ی حفره‌ها فاقد آب باشند تراکم جریان در آن مسیر بشدت کاهش یافته و مقاومت ویژه در آن جهت زیاد خواهد شد.

مکان هندسی مقادیر مقاومت ویژه ظاهری برای فاصله معینی از الکترودهای جریان یک بیضی است. محور اقصر بیضی امتداد شکستگیها یا حفره‌های اشباع شده از آب را نشان می‌دهد. حفره‌های خشک در طول طول بیضی جهتدار خواهد بود. کاربرد این فن در کشف شکستگیها و تعیین الگوی آنها در مناطق آهکی و گرانیتهی موفق بوده است. [۳، ۴، ۵، ۶]

نحوه پیاده کردن آرایش آزیموتال، رسم و تفسیر رز دیاگرام

در پیاده کردن آرایش آزیموتال روی زونهای مشخص شده کارستی مراحل زیر به ترتیب انجام می‌گیرد:

مرحله اول: بر روی یک نقطه که دارای کمترین فاصله افقی تا مرکز زون کارستی می باشد ۴ مقطع در امتداد مختلف، با زاویه مشخص در خلاف جهت عقربه‌های ساعت نسبت به شمال در نظر گرفته می‌شود در انتخاب این امتدادها باید مد نظر داشت که زاویه تعیین شده در محدوده $(0N, 180N)$ قرار داشته و طوری انتخاب شوند که تقریباً ناحیه ۹۰ دایره مثلثاتی را پوشش دهند.



مرحله دوم: در این مرحله اطلاعات حاصل از مرحله دوم روی نمودار پیاده می گردد. هر ۴ مقطع تعیین شده را بر روی صلیب (NS-WE) مشخص واز مرکز نسبت به طرفین امتداد می دهیم. مرکز این صلیب همان نقطه ایست که در مرحله اول انتخاب شده است. برای رسم نمودار رزیدیاگرام، با تعیین یک مقیاس، مقدار مقاومت مختص هر امتداد مربوط به فاصله الکتروودی جریان ($AB/2 = 50$) را بر روی آن امتداد از ۲ طرف مرکز جدا و علامت می زنیم. بعد از اینکه این عمل برای تمامی پروفیلها انجام ونقاط مشخص شد آنها را به هم وصل می کنیم، عملیات فوق عیناً برای فواصل الکتروودی جریان (۴۰۰ و ۳۰۰ و ۲۰۰ و ۱۵۰ و ۱۰۰ و ۷۰) ($AB/2 =$) تکرار می شود. در پایان هر مرحله با وصل نقاط مشخص شده به هم یک ۸ ضلعی بوجود می آید که تعداد آن بعد از اعمال برای تمامی فواصل الکتروودی ۶ عدد خواهد بود در پایان با تکمیل شدن رزیدیاگرام حاصل، امتداد اصلی دیاگرام نشاندهنده امتداد تشکیل وگسترش زون کارستی خشک خواهد بود. [۱]

تفسیر نمودار (λ و ϕ)

از آنجاییکه در مرحله رسم رزیدیاگرام ۸ ضلعی تشکیل شده در هر مرحله، مختص یک ($AB/2$) می باشد بنابراین می توان با استفاده از خصوصیات چند ضلعی مرسوم در هر مرحله، به امتداد و گسترش و شدت انیزوتروپی دست یافت. مقدار (λ) برای هر فاصله الکتروودی جریان یعنی ($AB/2$) از فرمول زیر بدست می آید:

$$\lambda = \sqrt{\frac{d_{long}}{d_{low}}} \quad (1)$$

که در آن d_{low} و d_{long} به ترتیب طول بزرگترین و کوچکترین قطر مربوط به چند ضلعی رسم شده در هر مرحله می باشد. مقدار (ϕ) برای هر فاصله الکتروودی جریان ($AB/2$) برابر امتدادی است که در آن چند ضلعی نسبت به آن کشیدگی نشان می دهد. [۳]

برداشت‌های صحرائی:

در طی عملیات صحرائی تعداد ۱۴۳ گمانه الکتریکی با طول خط جریان ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر با آرایش شلومبرگر و همچنین ۳۰۳۰ اندازه گیری مقاومت الکتریکی با آرایش سه الکتروودی و بصورت رفت و



برگشت در ۵۰۵ ایستگاه انجام گرفت این برداشت هادرمقاطععی باشماره‌های (A,B,C,C',D,E,F) مطابق جدول شماره ۱ قرار گرفته و نقشه‌های مقاطع ژئوالکتریک آنها نیز با همین اسامی نامگذاری شده اند.

جدول ۱ - شماره مقاطع به همراه تعداد گمانه‌های برداشت شده [۷]

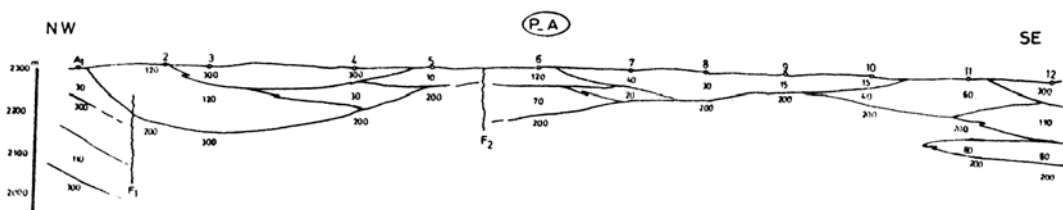
مقطع	A	B	C	C	D	E	F
تعداد گمانه الکتریکی	12	23	24	5	26	18	7

نقشه‌های مقاطع موجود بر اساس اطلاعات گمانه‌های زده شده در هر پروفیل تهیه شده است. دستیابی به زونهای با مقاومت الکتریکی متفاوت از سایر زونهای درونگیر، پی جوئیهای ژئوالکتریکی رابه سمت خاستگاه واقعی آب وسفره‌های زیر زمینی سوق خواهد داد. معمولاً بر اثر عملکرد یک گسل، زونها و لایه‌هایی با خصوصیات فیزیکی متفاوت (همانند زونهای کارستی) می توانند مجاور هم قرار بگیرند بر این اساس زمانیکه در مقدار مقاومت لایه‌ها به طور جانبی تغییر فاحشی ایجاد گردد، در این حالت به احتمال زیاد لایه‌ها تحت تاثیر فرایند گسلش بوده اند.

تفسیر داده‌های مقاطع موجود

- مقطع A

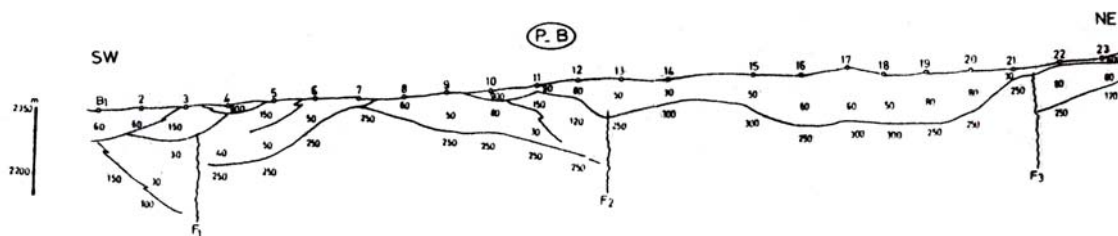
این مقطع شامل ۱۲ گمانه الکتریکی با فاصله الکترودی ۲۰۰ متر می باشد. همانگونه که در مقطع ملاحظه میشود تغییرات جانبی مقاومت الکتریکی سازند آهکی، احتمال وجود یک گسل را در بین گمانه الکتریکی ۵ و ۶ بدست می دهد که این گسل در مقطع با حرف F نشان داده شده است. شکل (۲)



شکل (۲). مقطع ژئوالکتریکی پروفیل A [۷]

- مقطع B

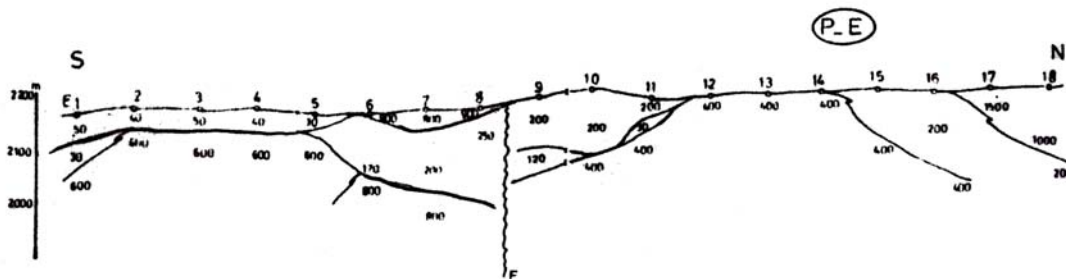
در این مقطع ۲۳ گمانه الکتریکی برداشت گردیده است. لازم به ذکر است که در محدوده مورد برداشت در برخی نقاط مقطع سنگهای آذرین دارای رخنمون بودند که تغییرات مقاومت الکتریکی در پروفیل تهیه شده می تواند با این پدیده مرتبط باشد. در مقطع گسلهای F_1, F_2, F_3 بر مبنای تغییرات جانبی مقاومت الکتریکی احتمال داده شده است. شکل (۳)



شکل (۳). مقطع ژئوالکتریکی پروفیل B [۷]

- مقطع E

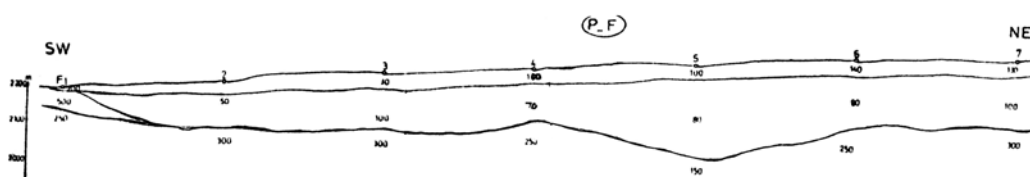
در طول این مقطع لایه‌های مختلف که کلا آهک‌های با مقاومت بالا می باشند مشخص شد و در داخل آنها بر اساس تغییرات جانبی مقاومت، گسل احتمالی F_1 ردیابی گردیده ولی منحنی‌های برداشت هیچ کدام وجود زون کارست یا خرد شده ای را نشان نمی دهد. شکل (۴)



شکل (۴). مقطع ژئوالکتریکی E [۷]

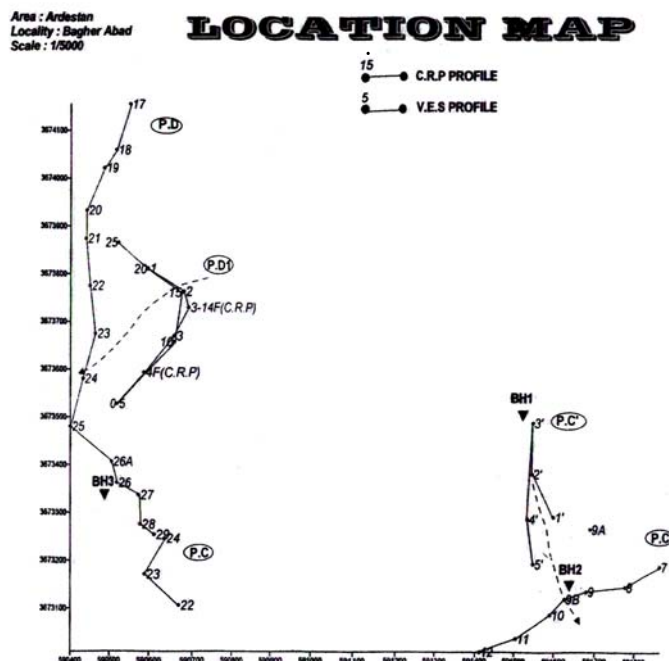
- مقطع F

این مقطع شامل ۷ گمانه الکتریکی با فاصله الکترودی ۴۰۰ متر از یکدیگر می باشد. همانگونه که در مقطع دیده می شود آهکهای با مقاومت بالا به طور پیوسته در امتداد شرقی- جنوب غربی در زیر آهکهای مارنی قرار داشته که هیچ کدام آثار کارست و خردشدگی را نشان نمی دهد شکل (۵)



شکل (۵). مقطع ژئوالکتریکی پروفیل F [۷]

با توجه به اینکه در ۳ مقطع (C,C',D) زونهای کارستی احتمالی شناسایی شده است به همین دلیل در ادامه این مقاله این مقاطع به طور تفصیلی مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۶) موقعیت مقاطع فوق را در روی نقشه نشان می دهد.



شکل (۶). موقعیت مقاطع (C,C',D) روی نقشه [۷]

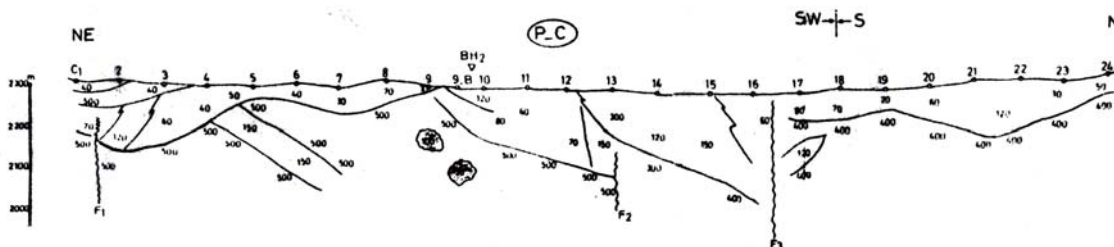


بررسی تفصیلی مقاطع (C,C',D)

- مقطع C

برداشتهای این مقطع که اکثرا روی رخنمون آهک است از دره شرقی تا دره غربی محدوده مطالعات می باشد. در طول مقطع، ۳۱ گمانه الکتریکی برداشت شده که ۷ برداشت آن بصورت گمانه های الکتریکی تکمیلی آزیموتال می باشد.

آهکهای توده ای با مقاومت ۴۰۰ تا ۵۰۰ اهم متر در زیر آهکهای مارنی یا مارنهای آهکی ردیابی شده است. با توجه به مقطع تهیه شده، در محدوده گمانه الکتریکی شماره ۹ آثار زون کارستی دیده می شود که برای مطالعه بیشتر وضعیت زونهای زیر سطحی این محدوده، گمانه الکتریکی ۹b زده شده که نتیجه آن تائید اطلاعات گمانه شماره ۹ در عمق بیشتر می باشد. همچنین در این مقطع با توجه به گمانه شماره ۱۷ که احتمال وجود یک زون کارستی را نشان میدهد نتایج گمانه دیگری که در ۵ متری شمال آن و در دامنه آهکها زده شده است این احتمال را رد و بنظر می رسد که عامل این ناهنجاری مارنهای میان لایه ای باشد. شکل (۷)



شکل (۷). مقطع ژئوالکتریکی پروفیل C [۷]

- مقطع C'

در این مقطع برداشتها در محدوده شمال گمانه های الکتریکی ۹b و ۱۰ از مقطع C و در داخل دره، در دامنه رخنمون آهکها برداشت شده است. همانگونه که در مقطع مربوطه دیده می شود به دلیل تغییرات جانبی مقاومت، گسل احتمالی F برای لایه ها اثر کرده است. آنچه که در این مقطع قابل توجه است وجود یک زون کارست احتمالی با مقاومت ۳۰۰ اهم متر در میان لایه درونگیر خود با مقاومت ۱۰۰۰ اهم متر می باشد. این زون در محدوده گمانه الکتریکی (3') و در عمق ۱۹۰ تا ۲۳۰ متر شناسایی شده که در این مورد اندازه گیری های تکراری، وجود این زون را مورد تائید قرار داده است. شکل (۸)



۴۰۰ متر انجام گرفته است، نتایج بصورت مقاطع ژئو الکتریک حاصل ارائه گردیده که در این مقاطع سازندهای آهکی، آهک‌های مارنی و مارنها از یکدیگر تفکیک شده و در ادامه زونهای کارست احتمالی مشخص شده اند که مشخصات آنها درمقاطع مختلف در جدول شماره ۲ زیر نشان داده شده است.

جدول شماره ۲- مشخصات زونهای کارستی در مقاطع موجود [۷]

شماره مقطع	شماره گمانه الکتریکی	عمق زون کارست احتمالی
مقطع C	.۱۷C	۱۰۰ تا ۱۷۵
	C.۹	۱۰۰ تا ۱۵۰
	ط C.۹	۱۹۰ تا ۲۳۰
مقطع C'	(۳)C'	۱۹۰ تا ۲۳۰
مقطع D	۱۹D.	۲۰۰ تا ۲۵۰
	۲۶D.	۱۳۰ تا ۲۱۰

از آنجاکه در پی جویی و اکتشاف آب زونهای کارستی و خرد شده از اهمیت زیادی برخوردار هستند به همین منظور برای بررسی دقیق وجود واقعی این زونها آرایش آزیموتال بر روی آنها پیاده شده که در نهایت برخی از زونهای خرد شده و کارستی به دلایل مختلف از جمله تکرار مجدد برداشتها و یا عمق کم آنها که احتمال پرشدگی از مواد دانه ریز دارند مردود شناخته شده است که از آن جمله می توان گمانه الکتریکی C.۹ و D.۱۹ را ذکر نمودولی در بین زونهای کارست احتمالی که می توانند مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

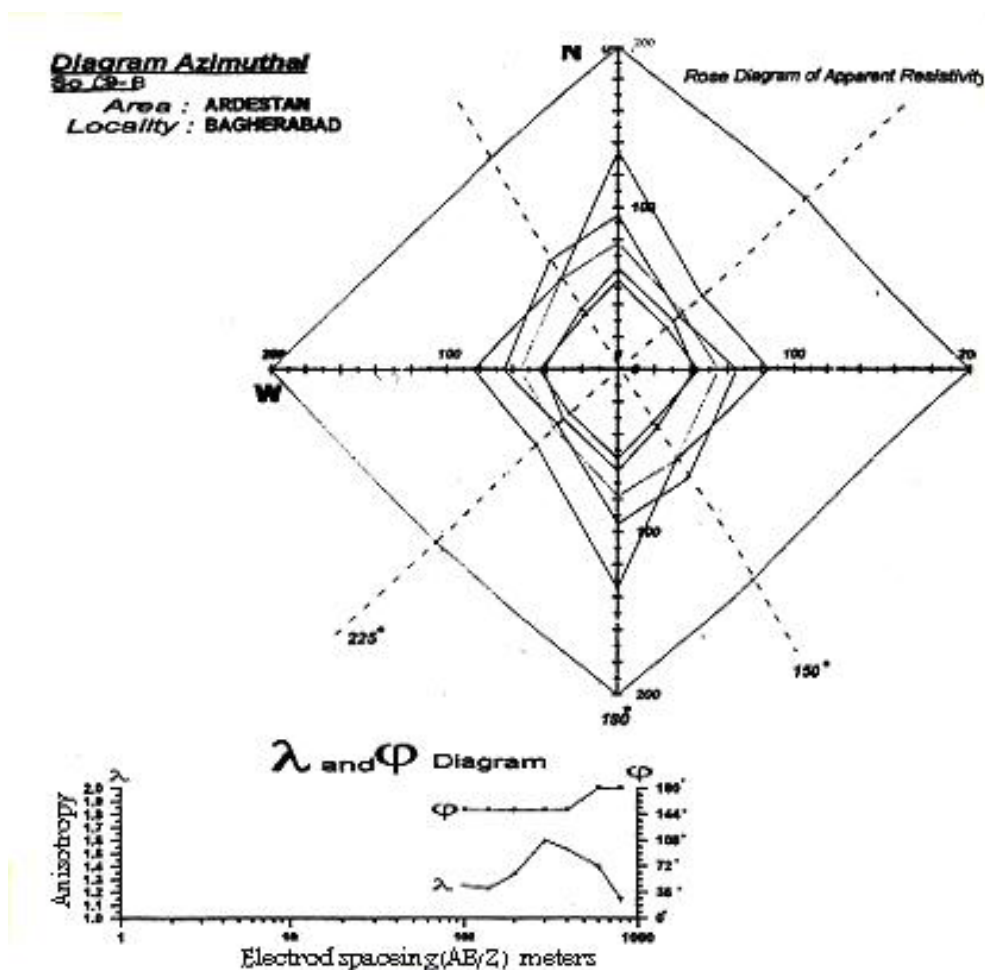
محدوده گمانه الکتریکی (۳)C'

این گمانه الکتریکی در شمال گمانه‌های الکتریکی C.۹B و C.۱۰ واقع شده که منحنی تغییرات مقاومت الکتریکی آن یک زون کارست و خرد شده را نشان می دهد. با توجه به موقعیت این مقطع که در دره واقع می باشد امکان اندازه‌گیری گمانه‌های الکتریکی بصورت آزیموتال را نداده است. زون خرد شده و کارست احتمالی در عمق ۱۹۰ تا ۲۳۰ متر قرار داشته و با توجه به موقعیت آن نسبت به سایر موارد می تواند حفاری اکتشافی در این محل انجام گیرد.



محدوده گمانه الکتریکی C.۹B

این زون در بین گمانه الکتریکی C.۹ و C.۱۰ قرار داشته و کارست احتمالی در عمق ۱۹۰ تا ۲۳۰ متر پی جویی شده است. برحسب برداشت گمانه‌های الکتریکی آزیموتال جهت خردشده در امتداد (N45E) شناسایی شده که همین بی‌هنجاری خود را بصورت انیزوتروپی در منحنی تغییرات λ, φ نشان داده است. بیشترین مقادیر λ در $(AB/2 = 300)$ متر مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد زون کارستی در عمق حدود ۲۰۰ متری واقع شده است. شکل (۱۰)

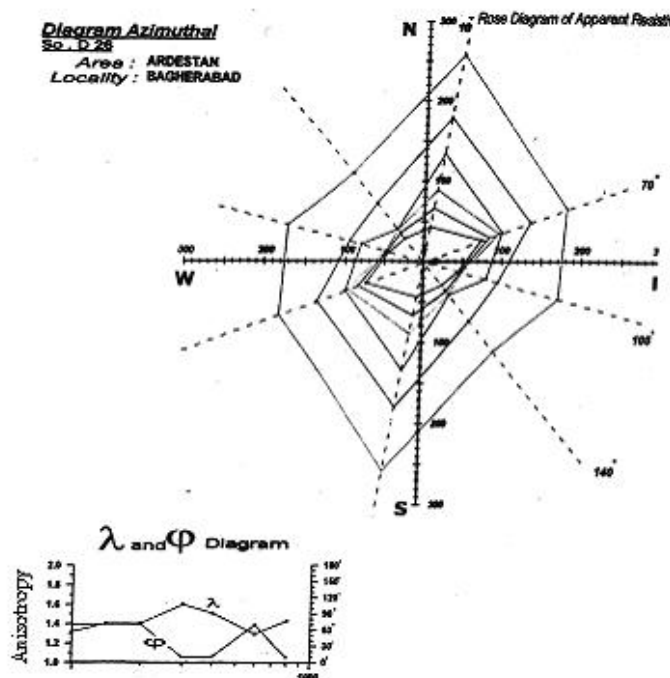


شکل (۱۰). نمودار رزیدیاگرام و (λ, φ) محدوده گمانه الکتریکی C.۹B [۱]



محدوده گمانه الکتریکی D.۲۶

در این محدوده یک زون خرد شده در عمق ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر رد یابی شده که نمودار گمانه الکتریکی آن گسترش این زون را در امتداد N۹۰W نشان داده است. همچنین این زون یک ناهنجاری انیزوتروپی در منحنی تغییرات (λ , $AB/2$) ایجاد نموده است. بیشترین مقادیر λ در $400 < (AB/2) < 300$ بدست آمده است که به همراه مقادیر λ حاصل از محدوده C.۹B نشان می دهد زونهای کارستی اغلب در اعماق حدود ۲۰۰ متری گسترش یافته اند. شکل (۱۱)



شکل (۱۱). نمودار رزداگرام و λ , ϕ محدوده گمانه الکتریکی D.۲۶ [۱]

نتیجه گیری و پیشنهادها

با توجه به موقعیت منطقه، بارندگی کم و نتیجتاً تغذیه محدود زونها، آبدار بودن زونهای کارستی را به حداقل رسانده است. با این وجود چند محدوده که منحنی تغییرات مقاومت الکتریکی و رزداگرامی آثاری از زونهای خرد شده و کارست آبدار احتمالی را در آنها نشان می دهد در زیر عنوان می گردد:

- با توجه به وجود زون کارستی احتمالی در محل نزدیک گمانه الکتریکی C'۳ واقع در مقطع C' در اعماق حدود ۲۰۰ تا ۲۳۰ متری، پیشنهاد می شود یک حلقه چاه در نقطه ای با مختصات زیر زده شود.



$$\{y = 3673482 * x = 591636\}$$

- احتمال می رود یک زون کارستی در نزدیکی گمانه الکتریکی ۹.B واقع در مقطع C و در اعماق ۲۰۰ تا ۲۳۰ متری موجود باشد. لذا پیشنهاد می گردد یک حلقه چاه BH₂ در نقطه $\{y = 3673121 * x = 591625\}$ حفر گردد.

- با توجه به احتمال وجود زون کارستی دیگر در محل گمانه الکتریکی ۲۶ از مقطع D در عمق ۱۷۰ تا ۲۲۰ متری، پیشنهاد می گردد یک حلقه چاه BH₃ در نقطه ای با مختصات $\{y = 3673361 * x = 590520\}$ حفر گردد.

قدردانی

در پایان از آقایان دکتر طباطبایی و مهندس سید هادی حسینی به خاطر راهنماییهای ارزنده شان کمال تشکر را دارم.

مراجع

- [۱] فتحی، محمد باقر، (۱۳۸۳)، "گزارش کارآموزی" دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند.
 [۲] قندچی، رضا و دیگران، (۱۳۶۲)، "نقشه زمین شناسی اردستان" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[3] Bindu Madhav, Satyanarayana, S., Ramam, K., (1980) "Geophysical studies" CGW Technical Report of SIDA Project.

[4] Dutta, N.P., Bose, R.N., Saikia, B.C., (1970) "Detection of solution channels in limestone by electrical resistivity method.", "Geophysics. prospect, pp405-414

[5] Hira Singh, Chandra, P.C, Meanchthon, v.j., Ramakrishna, A., Raju, V.N., Mohd. Adil, "Resistivity and bandalaguda" (1983), surveys for delineating fracture zones in a part of GSI complex hyderabad. CGWB,

[6] Report of Geophysical Investigations in Vedavati River Basin, (1979) "Vedavati River Basin Ground water Project". CGWB, Technical Report - B, No.4,

- [۷] مهندسین مشاور و خدمات زمین فیزیک، (۱۳۸۳)، "گزارش مطالعات ژئوفیزیک در محدوده کوهستانی زاباگون (اردستان - باقر آباد)" شرکت زمین فیزیک