

فصل چہارم  
ویدئومتري و بازيابي  
چاههاي آب

## مقدمه :

به منظور شناخت هر چه بیشتر منابع آب زیر زمینی استفاده از فن‌آوری‌های نوین و بررسی‌های اکتشافی امری کاملاً ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. پیشرفت تکنولوژی در کشورهای توسعه یافته در زمینه بررسی منابع آب توأم با ساخت دستگاهها و ابزارآلاتی بوده که سبب رشد و توسعه یافتگی این کشورها شده است.

لازمه رشد و توسعه کشور ما نیز در زمینه شنات منابع آب زیرزمینی استفاده از این فن‌آوری‌ها می‌باشد که تحقق آن در گرو استفاده از تجارب کشورهای خارجی و همچنین سعی و تلاش پژوهشگران و محققین این مرز و بوم می‌باشد.

الگوبرداری از تولیدات کشورهای پیشرفته و کوشش در جهت ساخت دستگاههای مشابه ضمن اینکه کاری منطقی است از خروج ارز از کشور نیز جلوگیری می‌کند. یکی از دستگاههایی که با استفاده از الگوهای خارجی توسط عده‌ای از پژوهشگران و محققین کشورمان ساخته شده دوربین درون چاهی (ویدئومتر) می‌باشد. هر چند این دستگاه از نظر ظاهر با مشابه خارجی تفاوت دارد. اما نتایج حاصل از کارکرد آن با نمونه خارجی، تفاوت چندانی ندارد.

\*چاههای آب به مرور زمان ظرفیت آبدهی اولیه خود را بنا به دلایلی که در مباحث بعدی به آنها اشاره خواهد شد از دست می‌دهند و با کاهش آبدهی رو به رو می‌شوند. به منظور دستیابی به علت یا علل کاهش ظرفیت آبدهی چاه‌ها، استفاده از دوربین‌های درون چاهی (ویدئومتر) توصیه می‌شود که با فیلمبرداری از اعماق مختلف در جهات افقی و قائم و قدرت چرخش ۳۶۰ درجه‌ای، عمده دلایل کاهش آبدهی را به تصویر می‌کشد تا در مراحل بعدی با استفاده از یک یا چند روش بازیابی (Rehabilitation) نسبت به رفع مشکلات ایجاد شده و افزایش ظرفیت آبدهی چاه اقدام شود.

## ۱- تعریف

- ویدئومتری عبارت است از مشاهده ساختمان داخلی چاه اعم از وضعیت فیزیکی لوله جدار (در چاههای لوله گذاری شده) و وضعیت لایه های آجوان (آبرفتی و کارستی) در چاه های لوله گذاری نشده میباشد و دستگاهی که قادر به ثبت و ارائه این وضعیت ها به صورت فیلم میباشد را ویدئومتر (دوربین درون چاهی) میگویند.

چنانچه ویدئومتر مجهز به سوندهای اندازه گیری قابلیت هدایت الکتریکی، دما PH و... باشد میتواند به مؤلفه های فیزیک و شیمیایی آب نیز پی برد. در واقع ویدئومتری یک عمل چاه پیمایی است که خروجی آن را میتوان به صورت فیلم مشاهده کرد.

### - بازیابی چاه های آب (Water Well Rehabilitation):

بازگرداندن ظرفیت آبدی چاه های آب به حالت اولیه (زمان حفر) و یا افزایش نسبی در آبدی چاه نسبت به حالت فعلی با استفاده از روشهای مختلف را بازیابی چاه های آب گویند. در واقع با استفاده از فیلم های ویدئومتری میتوان نسبت به کاربرد یک یا چند نوع از روش های بازیابی، در رفع مشکلات ناشی از کاهش آبدی چاهها اقدام کرد.

## ۲- ساختمان دستگاه ویدئومتر

یک دستگاه ویدئومتر از سه بخش به شرح زیر تشکیل شده است:

### ۱-۲- جعبه اصلی (Central Box):

در جعبه اصلی و سایل الکتریکی و دستگاه الکترونیکی ویدئومتر گنجانده شده است. مانیتور کامپیوتر و یا به نوعی تلویزیون، ویدئو همراه با صفحه کلیدهای کنترل، تقویت کننده برق و فرمانرها در این جعبه جای میگیرد.

### ۲-۲- سنسور دستگاه:

شامل یک یا دو دوربین با توانایی فیلمبرداری در جهت افقی و قائم (دوربین افقی قدرت چرخش تا ۳۶۰ درجه را دارد)، شیشه محافظ و قابهای نگهدارنده شیشه ای میباشد. شیشه محافظ، تحمل ۲۰ اتمسفر فشار را دارد. بدین معنی که میتواند ستون آبی معادل ۲۰۰ متر را تحمل نماید.

۲-۳- وینچ:

وینچ شامل کابل، موتور و قرقره می‌باشد. قرقره دستگاه معمولاً ظرفیت پذیرش ۲۵۰ متر کابل را دارد. سنسور به سر کابل متصل و به داخل چاه فرستاده می‌شود. اطلاعات دریافتی توسط یک کابل را بط به جعبه مرکزی منتقل می‌گردد.

### ۳- کاربرد ویدئومتر در چاههای آب

مشکلات عمده‌ای که پس از گذشت چند سالی از حفر چاهها ایجاد می‌شود متعدد هستند که به منظور آگاهی از این مشکلات و نحوه رفع آنها، نیاز به انجام عملیات ویدئومتری می‌باشد. عدم رعایت نکات فنی در هنگام حفر و بهره‌برداری از چاه و از طرف دیگر رسوبزا بودن و یا خورنده بودن آب‌های زیرزمینی، عملاً منجر به کاهش شدید آبدهی چاهها و حتی از رده خارج شدن آنها می‌شود. به منظور جلوگیری از صرف هزینه‌های سنگین حفر چاه جدید جایگزین و تجهیز آن، انجام عملیات ویدئومتری در چاههای آب که با کاهش شدید آبدهی مواجهند و یا مشکلاتی از قبیل شکستگی و پوسیدگی لوله جدار دارند، توصیه می‌شود. چه بسا بتوان توسط ویدئومتری بسیاری از مشکلات چاه را بدون تحمل این هزینه‌ها مرتفع نمود.

بطور کلی می‌توان دستگاه ویدئومتری را در دو دسته از چاههای آب به شرح زیر به کار گرفت:

### ۳-۱- کاربرد ویدئومتر در چاههای لوله گذاری شده

۳-۱-۱- تشخیص پوسیدگی و خوردگی لوله‌های جدار و اسکرین‌ها: اکثر لوله‌های جدار در تماس مستقیم با آب‌های خورنده، دچار خوردگی می‌شوند. خوردگی لوله جدار در آب‌های با PH پایین که عمدتاً نزدیک و یا در مجاورت مناطق آتشفشانی قرار دارد، اتفاق می‌افتد.

۳-۱-۲- تشخیص گرفتگی شبکه‌های لوله جدار و یا اسکرین‌های موجود در چاه

به منظور تسهیل ورود آب سفره به داخل چاه با توجه به ترکیب لیتولوژی آبخوان قسمت‌هایی از لوله جدار را مشبک نموده و یا از اسکرین‌های کارخانه‌ای استفاده می‌کنند.

شبکه‌ها و اسکرین‌ها در مقابل آب‌های رسوب‌زا که عمدتاً در مناطق آهکی و یا نزدیک این مناطق یافت می‌شوند، مسدود گشته و مانع ورود آب به داخل چاه می‌شوند که نهایت امر کاهش آبدی چاه را به همراه دارد. تشخیص شبکه‌ها و اسکرین‌های مسدود شده با استفاده از ویدئومتری بسیار آسان است.

۳-۱-۳- تعیین دقیق متراژ لوله جدار اعم از مشبك و کور  
۳-۱-۴- تشخیص کج شدگی و انحراف لوله جدار: در زمان حفاری به علت تراز نبودن دستگاه و یا ناجور بودن مواد تشکیل دهنده زمین، امکان دارد چاه از امتداد قائم منحرف شود که در زمان لوله‌گذاری عمدتاً با مشکل مواجه می‌گردد. این انحراف چاه و یا لوله‌ها، توسط دستگاه ویدئومتری قابل تشخیص است. از طرف دیگر در برخی مناطق حرکات مداوم زمین (زمین لرزه) باعث شکستگی و یا کج شدگی لوله جدار می‌شود که به منصوبات چاه اعم از لوله جدار و پمپ خسارت وارد می‌کند.

۳-۱-۵- تعیین دقیق عمق سطح آب زیرزمینی در حد سانتیمتر  
۳-۱-۶- تعیین میزان ضخامت ستون آب داخل چاه  
۳-۱-۷- اندازه‌گیری بعضی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی (درجه حرارت، PH، هدایت الکتریکی و...) بکمک سنسورهای مربوطه.

۳-۱-۸- تعیین حد انترفاز و زونهای آب شور و شیرین توسط سنسور مربوطه.

### ۳-۲- کاربرد ویدئومتر در چاههای بدون لوله

۳-۲-۱- عمده چاههایی که در سازندهای سخت بویژه سازندهای کربناته حفر گردند، به دلیل استحکام زمین، لوله‌گذاری نمی‌شوند. کاربرد ویدئومتر در این چاهها به منظور تشخیص جنس لایه‌ها و همچنین آگاهی از وضعیت درزه‌ها، شکافها و پدیده‌های انخلالی صورت گرفته، بسیار مفید خواهد بود. عمق زون‌های خرد شده و کارستیک را می‌توان با استفاده از دستگاه تشخیص داد.

۳-۲-۲- تشخیص زون‌های فرار آب و لایه‌های آبدار: به علت ناهمگنی و آنیزوتروپی سازندهای سخت به ویژه سازندهای کربناته، شرایط ورود آب به داخل چاه و یا فرار آب در

کل ستون چاه، یکسان نبوده که این نا همسانی را می‌توان با استفاده از ویدئومتر در نقاط مختلف چاه تشخیص داد. وجود حفرات انحلائی در سازندهای کربناته، گاهاً امکان فرار آب از چاه را میسر می‌سازد که با کاربرد دستگاه ویدئومتری می‌توان با ارائه راهکار مناسب نسبت به مسدود کردن محل‌های فرار آب و استفاده بهینه از آبخوان، اقدام کرد.

۳-۲-۳- تشخیص دانه‌بندی ستون زمین‌شناسی در چاه‌های آبرفتی: در چاه‌های آبرفتی بعد از برقراری زدن و قبل از لوله‌گذاری، می‌توان به وضعیت لایه‌های تشکیل دهنده ستون چاه پی برد و نسبت به انتخاب لوله مشبک و یا اسکری‌ن در اعماق مناسب اقدام کرد. این عمل باعث کاهش هزینه تجهیز چاه می‌شود.

۳-۲-۴- تشخیص وجود یا عدم وجود انحراف چاه در زمان حفر. ضمناً تشخیص موارد بندهای ۳-۱-۵ تا ۳-۱-۸ در چاه‌های لوله‌گذاری شده، نیز در مورد این چاه‌ها با استفاده از ویدئومتر امکان‌پذیر است.

#### **۴- کاربرد ویدئومتر در گمانه‌های اکتشافی و مطالعاتی محل سدها**

قبل از احداث سد، بررسی وضعیت سیستم‌های درز و شکاف و پدیده‌های انحلائی به منظور آگاهی از تراوایی (آب‌گذری) سازندهای پی سد و طراحی پرده تزریق، لازم و ضروری است که این امر با حفر تعدادی گمانه اکتشافی از نوع مغزه‌\_\_\_\_\_ی

(Core drilling) و عملیات چاه پیمایی و آزمایش نفوذپذیری انجام شود. هر چند که از مغزه‌ها و آزمایش‌های مختلف می‌توان اطلاعات ذی‌قیمتی به دست آورد، اما با استفاده از ویدئومتر می‌توان از وضعیت و میزان خردشدگی، میزان بازشدگی درزه‌ها و وجود حفرات و کانال‌های انحلائی، اطلاعات بیشتری به دست آورد که در تعیین دقیق‌تر حجم سیمان تزریقی و طراحی پرده تزریق کمک مؤثری است. نظر به اینکه قطر حفاری این گونه گمانه‌ها ۷۶ و یا ۱۱۰ میلی‌متر است سنسورهای مورد استفاده در این گمانه‌ها بایستی قطری بین ۲ تا ۲/۵ اینچ داشته باشند.

## ۵- مشکلات چاه‌های آب و عوامل ایجاد این مشکلات

چاه‌های آب تحت تأثیر عوامل مختلف فیزیکی و شیمیایی مثل ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی، گازهای محلول، PH آب، سرعت جریان آب، تغییرات دما، نوسان‌های سطح آب زیرزمینی و فعالیت انواع باکتری‌ها، دچار جرم‌گرفتگی و خوردگی شده که مشکلات ناشی از این عوامل عمدتاً به شکل کاهش بازدهی چاه بروز می‌کند. شناخت این عوامل و نحوه تأثیر هر کدام بر ساختمان چاه‌های آب می‌تواند تا حد زیادی در کاهش بروز مشکلات حتی جلوگیری از تأثیر بیشتر آنها بر چاه‌های آب و افزایش طول عمق مفید آنها مؤثر باشد. از مهمترین مشکلات چاه‌های آب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۵-۱- کاهش آبدهی چاه: چاه‌های آب پس از حفر، تجهیز و بهره‌برداری تا مدتی ظرفیت آبدهی اولیه خود را حفظ می‌کنند. با گذشت زمان بنا به دلایل متعددی آبدهی چاه کاهش می‌یابد. از دلایل عمده کاهش آبدهی چاه می‌توان به کاهش سطح آب زیرزمینی در آبخوان، رسوب مواد محلول آب در بخش فیلتر شنی (گراول پک) و شبکه‌های لوله‌دار، رشد باکتری و نهایتاً انسداد بیولوژیکی، ماسه‌دهی و فرسوده شدن تجهیزات چاه اشاره کرد.

۵-۲- تغییر کیفیت آب چاه: تغییر کیفیت آب چاه می‌تواند به سه حالت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی باشد. در حالت فیزیکی رنگ آب می‌تواند به دلایل مختلفی مثل وجود مواد معلق، باکتری‌ها، شن و ماسه تغییر کند که نتیجتاً کدورت آب را در پی دارد.

تغییر کیفیت شیمیایی آب می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد. در برخی حالات به علت برداشت بیش از حد سفره‌های آبدار، هجوم آب‌های شور مجاور آبخوان را به همراه دارد. این موضوع که در مناطق ساحلی دریاها و دریاچه‌های آب شور بیشتر اتفاق می‌افتد، ناشی از افزایش مواد محلول در آب به ویژه کلرید سدیم می‌باشد.

تغییر در بو و مزه آب بیشتر به خاطر نوعی رشد بیولوژیک است. بوهای معمولی عبارت از بوی تخم مرغ گندیده، بوی مواد نفتی، بوی خاک، بوی ماهی و بوی مرداب می‌باشد و

خود گاز  $H_2S$  (سولفید هیدروژن) در آب باعث بوی تخم مرغ گندیده می‌شود که ناشی از فعالیت باکتری‌های احیا کننده سولفات در آبهای زیرزمینی است. به علت اینکه این باکتری‌ها در زیر لایه رسوبات تشکیل شده فعالیت می‌کنند، با کلرزنی از بین نمی‌روند. از بین بردن این باکتری‌ها ابتدا مستلزم خروج مواد رسوب کرده و سپس عمل کلرزنی است.

باکتری‌هایی مثل اکتینومایست و استروپتومایست عامل ایجاد بوی خاک در آب می‌باشند. به علت اینکه این باکتری‌ها تولید هاگ می‌کنند از بین بردن آنها مشکل است ولی با چند بار استفاده از مواد شیمیایی می‌توان هم باکتری‌ها و هم هاگ‌های تازه روئیده شده این باکتری‌ها را از بین برد. بوی مواد نفتی در نمونه آب چاه چنانچه ناشی از نشت هیدروکربن‌ها به آب زیرزمینی نباشد می‌تواند به دلیل وجود نوعی باکتری به نام سودوموناس باشد.

۵-۳-۳- جرم‌گرفتنی تجهیزات چاه‌های آب (Well Incrustation): رسوب و تجمع مواد ارگانیک و غیرارگانیک بر روی لوله جدار، اسکرین‌ها و فضای بین عناصر تشکیل دهنده لایه آبخوان اطراف چاه را که تحت شرایط مناسبی به وقوع می‌پیوندد، جرم‌گرفتنی یا پوسته‌بندی می‌گویند. رسوبات حاصل ابتدا با ایجاد ناهمواری‌هایی در محل‌های ورودی آب به چاه، افزایش موضعی سرعت جریان و تلاطم و آشفتنی آب را به همراه داشته و نهایتاً باعث کاهش آبدهی چاه می‌شوند. جرم‌گرفتنی می‌تواند از نوع شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی باشد.

۵-۳-۱- جرم‌گرفتنی شیمیایی (Chemical Incrustation): چنانچه تغییری در درجه حرارت و فشار گاز دی‌اکسید کربن محلول در آب ایجاد شود برخی ترکیبات شیمیایی محلول مثل بی‌کربنات کلسیم  $[Ca(HCO_3)_2]$  و بی‌کربنات آهن  $[Fe(HCO_3)_2]$  به مواد نامحلول مثل کربنات کلسیم  $(CaCO_3)$  و کربنات آهن  $FeCO_3$  تبدیل شده و به صورت پوسته‌ای بر روی لوله جدار، شبکه‌ها (اسکرین‌ها) و گراول‌های پشت لوله جدار رسوب می‌کنند و نتیجتاً باعث کاهش آبدهی چاه می‌شوند.







ترکیببات آهن در اکثر چاه های آب با غلظت هایی متفاوت یافت می شود. با افزایش میزان غلظت این ترکیببات امکان تشکیل رسوب نیز بیشتر می شود. رسوب آهن چنانچه به دلایلی از محل رسوب کرده جدا شود، به نوعی در تغییر رنگ آب مؤثر است به طوری که رنگ آب را به سمت قهوه ای تا قرمز تغییر می دهد. این موضوع غالباً در مراحل اولیه پمپاژ در چاه دیده می شود و ممکن است پس از چند دقیقه یا در چند ساعت، آب صاف گردد و به رنگ طبیعی برسد. این موضوع مشکلاتی را به ویژه در چاه های آب شرب به وجود می آورد. جدا شدن رسوب آهن می تواند به دلیل مکش و روشن و خاموش کردن پمپ به دفعات باشد.

۵-۳-۲- جرم گرفتگی بیولوژیکی (Biological Incrustation): رسوب مواد حاصل از فعالیت باکتری های احیا کننده سولفات و باکتری های آهن خوار جرم گرفتگی باکتریایی یا بیولوژیکی نامیده می شود که شامل رسوبات ژله ای سفت و بقایای موجودات ذره بینی و همچنین جن حاصل از عملکرد موجودات تک یاخته ای است که از آمونیاک و مواد آلی تغذیه می کنند. باکتری های طبیعی آهن موجود در چاه باعث آلودگی آب نمی شوند، وقتی چاه حفر می گردد در حقیقت مجرای فعالی در زمین ایجاد می شود که از طریق آن اکسیژن به اعماق زمین یعنی جایی که قبلاً اکسیژنی وجود نداشته است نفوذ می کند. با بهره برداری از چاه، میکروارگانیزم های طبیعی موجود شروع به فعالیت در اطراف چاه می کنند. هر چقدر میزان بهره برداری بیشتر باشد، مقدار بیشتری مواد آلی و غیر آلی وارد محیط آب های زیرزمینی می شود که می تواند پتانسیل رشد باکتری و رسوب مواد را افزایش دهد. به طور کلی بایستی به این نکته اشاره کرد که باکتری ها به طور طبیعی در چاه وجود دارند که فراوانی آنها توسط عواملی از قبیل کربن آلی قابل دسترس، نیتروژن، فسفر، گوگرد، رطوبت، اکسیژن، PH گیرنده های الکترون، خورده شدن توسط موجودات شکارچی، مهاجرت و همچنین عوامل زمین شناسی مثل قابلیت هدایت هیدرولیکی آبخوان، ترکیب

لیتولوژی لایه آبدار، نوع کانی، توزیع اندازه ذرات و بافت لایه آبدار کنترل می‌شود. باکتری‌ها به دو دسته هوازی و غیر هوازی تقسیم می‌شوند. بیش از ۹۰ درصد باکتری‌های موجود در آبخوان‌ها هوازی هستند که یا از اکسیژنی که مستقیماً از طریق حفر چاه در آبخوان وارد شده استفاده می‌کنند و یا از سایر پذیرنده‌های اکسیژن مثل نیترات، گاز کربنیک، سولفات و اکسید کانی‌ها به جای اکسیژن استفاده می‌کنند. باکتری‌های آهن‌خوار از نوع بی‌هوازی (به جز باکتری‌های احیا کننده سولفات) به اندازه باکتری‌های هوازی مشکل‌ساز نیستند، هرچند که این باکتری‌ها مسائلی را در زمینه خوردگی لوله جدار و بو و مزه آب ایجاد می‌کنند، اما مقدار رسوبی که از این باکتری‌ها (غیر هوازی) ایجاد می‌شود به مراتب کمتر از رسوب ناشی از فعالیت باکتری‌های هوازی است.

۳-۳-۵- جرم‌گرفتگی فیزیکی (Physical Incrustation): گرفتگی یا انسداد بخش مشبک لوله جدار یا اسکرین‌ها و فضاهای خالی بین دانه‌های تشکیل دهنده آبخوان توسط مواد دانه ریز مانند ماسه، سیلت و یا گل حفاری باقی مانده در چاه، شکل عادی و معمول جرم‌گرفتگی فیزیکی می‌باشد که معمولاً جرم‌گرفتگی راكد نامیده می‌شود. اتلاق این عبارت به این دلیل است که ذرات ماسه و سیلت در مقابل پاک‌کننده‌های شیمیایی مقاوم بوده و می‌تواند مشکلات زیادی را در آینده‌های چاهها ایجاد نمایند. علت این جرم‌گرفتگی را می‌توان به عدم توجه کافی در هنگام شستشو و توسعه چاه پس از حفر و یا عدم رعایت اندازه دانه‌ها در زمان گراول پکینگ و همچنین ماسه دهی چاه‌ها مرتبط دانست.

#### ۴-۵- خوردگی تجهیزات چاه‌های آب (well corrosion)

انحلال فلزات و سایر تجهیزات چاه‌ها را خوردگی، پوسیدگی و یا فرسودگی می‌نامند. خوردگی می‌تواند از نوع الکترولیتی، الکتروشیمیایی و میکروبیولوژیکی باشد.

### ۵-۴-۱- خوردگی الکترولیتی (Electrolitic corrosion)

این نوع خوردگی وقتی به وجود می‌آید که چاه یا پمپ به عنوان قطب زمین واقع شود. اگر یک خط انتقال نیرو با ولتاژ بسیار زیاد از بالای چاه عبور کند تجهیزات چاه به صورت قطب زمین عمل کرده و به سرعت خوردگی پیدا خواهند کرد. راه حل این مسئله استفاده از اتصالات دی الکتریک و یا فلنجهای عایق است.

### ۵-۴-۲- خوردگی الکتروشیمیایی (Electrochemical corrosion):

بیشتر خوردگی‌ها وقتی آغاز می‌شود که یک سلول الکتروشیمیایی یا پیل الکتریکی در اطراف چاه تشکیل شود. وقتی دو فلز مختلف در چاه وجود داشته باشد، یکی از آنها آند و دیگری کاتد می‌شود و یک سلول الکتروشیمیایی شکل می‌گیرد. فعالیت این سلول تحت تأثیر میزان کل مواد محلول (T.D.S) آب قرار می‌گیرد. مقدار T.D.S روی سرعت انتقال الکتریسیته اثر می‌گذارد. مواد دیگری نیز وجود دارند که باعث تشکیل سلول الکتروشیمیایی می‌شوند. برای مثال وجود  $H_2S$  (سولفید هیدروژن)، کلرورها، سولفاتها، نیتراتها، بی‌کربناتها، دی‌اکسید کربن و اکسیژن سبب شدت خوردگی آب می‌شوند. کلیه یونهای موجود در آب به علت آن که در میزان هدایت الکتریکی آب مؤثرند، واکنشهای شیمیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و ممکن است سبب رسوبگذاری و یا حل آنها شود که خود بر عمل خوردگی تأثیر می‌گذارند.

برخی از فعالیت‌های شیمیایی در آب مثل ترکیب یون هیدروکسید (OH) با آهن دوظرفیتی ( $Fe^{++}$ ) تشکیل هیدروکسیدفرو یا  $Fe(OH)_2$  می‌دهد که در صورت وجود اکسیژن محلول در آب این ماده به صورت هیدروکسیدفرویک  $Fe(OH)_3$  ظاهر می‌شود که غیر محلول است و در آب رسوب می‌کند. ترکیب یون کلسیم با بی‌کربناتها نیز نهایتاً منجر به تشکیل رسوب کربنات کلسیم می‌شود. رسوبات به وجود آمده در برخی حالات باعث جلوگیری از خوردگی تجهیزات چاه می‌شوند.

لازم به ذکر است که خوردگی فیزیکی ناشی از مکش پمپ و حرکت مواد ریزدانه به داخل چاه، به نوعی در تشدید و افزایش خوردگی شیمیایی چاهها تاثیرگذار می‌باشد.

#### ۵-۴-۳- خوردگی میکروبیولوژیکی (Microbiological corrosion)

تعدادی از موجودات تک سلولی مثل باکتری‌های آهنخوار و باکتری‌های سولفات خوار انرژی خود را از ترکیبات محلول در آب، اکسیداسیون فلزات و احیاء سولفات‌ها به دست می‌آورند. برخی از آنها از ترکیبات ارگانیک تغذیه کرده و پاره‌ای در محیط‌های دارای هیدروژن و یا اکسیژن رشد می‌کنند.

حاصل عملکرد این باکتری‌ها تولید رسوب هیدروکسید آهن قرمز مایل به قهوه‌ای، سولفید آهن و جن می‌باشد.

#### ۵-۴-۳-۱- باکتری‌های آهن خوار (Iron reducing bacteria)

این باکتری‌ها هوازی بوده، از انرژی حاصل از اکسیداسیون و تجزیه بی‌کربنات‌های آهن  $(\text{HCO}_3)_2\text{Fe}$  تغذیه می‌کنند. در این عمل آهن دو ظرفیتی با هیدروکسید  $(\text{OH})$  موجود در آب تولید محلول هیدروکسید فرو می‌کند که پس از واکنشی دیگر به رسوب هیدروکسید فریک تبدیل می‌شود. رشد این باکتری‌ها در آب‌های کم عمق با درجه حرارت کمتر از ۲۴ درجه سانتیگراد و با مجموع املاح کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، بهتر و سریعتر است. آب‌هایی که مقدار اکسیژن آنها بین ۰/۳ تا ۹ و مقدار آهن آنها کمتر از ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر است، محیط مناسبی برای رشد این باکتری‌ها می‌باشد. تولید جن در چاه نیز حاصل فعالیت باکتری‌هایی است که از اکسیژن آزاد موجود در آب چاه استفاه می‌کنند. جن تولید شده به صورت پوششی بر روی سطح لوله جدار و شبکه‌های لوله مشبک رسوب می‌کند که نهایتاً محیطی غیر هوازی در زیر این پوشش جنی ایجاد شده که شرایط مساعدی جهت رشد باکتری‌های غیرهوازی را به وجود می‌آورد. باکتری‌های آهن خوار به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

الف: کوکسیه‌های کپسولدار که تنها یک جنس آن به نام سیدروکاپسا (Sidero capsa) شناخته شده است. پیرامون کپسول

این باکتری را رسوبهای سخت و قهوه‌ای رنگ هیدروکسید فریک پوشانده است.

ب: باکتری‌های چسبنده: این گروه به دلیل شکل تاب‌دار و جمع خود شبیه نوار و یا حلقه‌های زنجیر هستند. مهمترین باکتری این گروه، گالیونلا (*Gallionella*) است که دارای زائده‌های نواری شکل از جنس هیدروکسید آهن می‌باشد. رشد این باکتری در حضور مقادیر زیادی مواد آلی کاهش می‌یابد. محدوده دمایی نسبتاً پایین برای رشد این باکتری سبب شده است که گالیونلا در آب سرد چاه‌ها و یا در هنگام زمستان، غالب‌ترین نوع باکتری‌ها در منابع آب باشد. به همین جهت گفته می‌شود که این باکتری مهمترین باکتری آهن در چاه‌های آب است.

ج- باکتری‌های رشته‌ای: این دسته از باکتری‌ها از چهار جنس سرونوتریکس (*Crenothrix*) اسفاروتیلوس (*Spharotilus*)، کلونوتریکس (*Colonothrix*) ولیپتوتریکس (*Leptothrix*) تشکیل شده‌اند.

#### ۵-۴-۳-۲- باکتری‌های سولفات خوار (*Sulphate reducing bacteria*)

این باکتری‌ها غیر هوازی یا بی‌هوازی بوده و در محیط‌های فاقد اکسیژن فعالیت می‌کنند. ماده غذایی اصلی آنها اسیدهای آلی ساده و هیدروژن مولکولی است که از تجزیه مواد آلی طبیعی ساده به دست می‌آید. حاصل فعالیت این باکتری‌ها هیدروژن سولفور ( $H_2S$ ) بوده که عامل اصلی اثرات مخرب این میکروارگانیسم‌ها می‌باشد که ماده‌ای بد بو و سمی است و سبب آلودگی آب می‌شود. رسوب سولفید آهن ( $Fes$ ) نتیجه این فعالیت است. وجود آب‌های سیاه، قرمز و یا زرد رنگ و بوهای متعفن و ناهنجار را می‌توان به فعالیت این باکتری‌ها نسبت داد. این باکتری‌ها که در اغلب چاه‌های آب یافت می‌شود ماده‌ای به رنگ سبز متمایل به آبی تولید می‌کنند.

#### ۵-۴-۴- انواع مختلف خوردگی

معمولترین و رایج‌ترین خوردگی‌هایی که در چاه‌های آب پدید می‌آیند عبارتند از:

الف: خوردگی شیمیایی مستقیم

بر اثر این پدیده سطح فلز یا لوله جدار چاه به طور یکنواخت از بین می‌رود و لذا موجب گشاد شدن شبکه های لوله می‌گردد. در بسیاری موارد علت پدید آمدن این نوع خوردگی مربوط به عوامل فیزیکی، شیمیایی و یا ترکیب هر دو عامل می‌باشد.

ب: خوردگی انتخابی

در این نوع خوردگی یکی از فلزات موجود در آلیاژ زودتر از سایرین خورده می‌شود و از ترکیب آن خارج می‌گردد. لذا آلیاژ به شکل اسفنج درآمده و ضعیف و سست می‌گردد.

ج: خوردگی گالوانیک یا دو فلزی

هر گاه دو فلز با دو جنس مختلف در محلولی هادی قرار گیرد تشکیل یک پیل الکتریکی داده و با برقراری جریان الکتریکی بین دو فلز عمل خوردگی بوجود می‌آید.

د: خوردگی باکتریایی یا سلولی

ه: خوردگی جداری فلز ناشی از تماس با بتون

و: خوردگی ناشی از ترک یا شکاف برداشتن لوله جدار

#### ه-ه-ه- مشکلات ناشی از خوردگی در کاهش عمر مفید

##### چاههای آب

الف: گشاد شدن شبکه های لوله جدار و در نتیجه ورود تدریجی مواد ریزدانه به چاه و آغاز ماسه دهی و نتیجتاً ریزش ناگهانی دیواره چاه و خراب شدن ساختمان چاه.

ب: کاهش مقاومت لوله جدار در مقابل فشار طبقات و در نتیجه تخریب چاه.

ج: رسوب مواد ناشی از پدیده خوردگی شیمیایی و در نتیجه انسداد شبکه های بخش مشبك لوله جدار و کاهش تدریجی ظرفیت بازدهی چاه.

#### ۵-۴-۶- عوامل مؤثر در خوردگی

- PH آب: هر قدر میزان PH کمتر از ۷ باشد، میزان فرسایش و خوردگی آن افزایش می‌یابد.
- اکسیژن محلول در آب: افزایش میزان اکسیژن محلول در آبهای اسیدی، خنثی و یا آبهای با قلیائیت کم، خوردگی را تشدید می‌کند.
- دی اکسید کربن محلول در آب: اگر میزان دی اکسید کربن موجود در آب به بیش از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر برسد، حتی در صورت عدم وجود اکسیژن محلول، عمل خوردگی افزایش می‌یابد.
- املاح محلول در آب: افزایش میزان املاح آب چاه، با میزان خوردگی رابطه مستقیم دارد و چنانچه این میزان به بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر برسد بر شدت خوردگی افزوده می‌شود.
- کلرورهای محلول در آب: اگر میزان یونهای کلرور محلول در آب به بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر برسد در شرایطی که آب اسیدی باشد، با نفوذ به قشر محافظ فلزات و در هم شکستن آنها، پتانسیل فرسایش و خوردگی را تشدید می‌کند.
- دمای آب: به طور کلی سرعت واکنشهای شیمیایی با افزایش درجه حرارت تشدید می‌شود. چون حرارت سبب کاهش خاصیت چسبندگی آب گشته و از این رو درجه پراکندگی اکسیژن در آب بیشتر شده و موجبات خوردگی شیمیایی و فعالیت باکتریهای هوازی را فراهم می‌کند.
- اسیدهای آلی: حضور اسیدهای آلی موجب تشدید خوردگی می‌شود.
- سولفات آهن: حضور سولفات آهن نیز سبب افزایش و تشدید خوردگی آب می‌شود.
- وجود باکتریهای آهن‌خوار و باکتریهای سولفات‌خوار (در مباحث قبلی به تفصیل شرح داده شد).
- هیدروژن سولفور، دی اکسید گوگرد و گازهای مشابه: حضور و افزایش مقدار آنها در آب سبب افزایش اسیدیته آب شده و در نتیجه خاصیت خوردگی شیمیایی آب را افزایش می‌دهند.

## ۶- روشهای شناسایی مشکلات چاه های آب

وقتی علل مشکلات چاه های آب در مورد انسداد و کاهش ظرفیت

بررسی می شود، اطلاعات قبلی موجود در این زمینه بسیار کمک می کند. اگر هیچگونه اطلاعی راجع به ظرفیت آبدی چاه وجود ندارد، معیاری هم برای ارزیابی عملیات بازیابی و میزان آن وجود نخواهد داشت. عملیات بازیابی برای چاهی که ۱۰ درصد ظرفیت مفید آن باقی مانده با چاهی که مثلاً ۳۰ درصد ظرفیت مفید آن باقی مانده فرق می کند. اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی، میزان پمپاژ، نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه، آزمایشهای بیولوژیکی، لوگ حفاری و لوله گذاری و همچنین تصاویر و فیلم های ویدیویی در شناخت مشکلات چاه های آب مؤثر می باشد.

با استفاده از نتایج تجزیه شیمیایی آب می توان پتانسیل ایجاد رسوب را بررسی کرد. به عبارت دیگر با استفاده از میزان غلظت کاتیونها و آنیونها می توان تشخیص داد که احتمالاً چه موادی رسوب خواهد کرد. از طرف دیگر با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی می توان به شرایط کلیائیت، سختی کل، PH درجه حرارت و میزان سولفاتها، فسفاتها و سیلیکاتها پی برد. با تجزیه رسوب ته نشین شده روی لوله جدار و تجهیزات پمپ می توان دقیقاً مشخص کرد با چه نوع رسوبی سر و کار دارید و بهترین راه حل چیست؟ البته باید در این مورد دقت نمود رسوب مورد نظر ممکن است بیانگر تمام مشکلات چاه نباشد ولی به هر حال بهتر از این است که به صورت حدس و گمان عمل کنید.

آزمایشهای بیولوژیکی نیز یکی از روشهای شناخت مشکلات چاهها است که می توان با توجه به شناسایی آنها عامل انسداد چاه را بررسی کرد. با استفاده از آزمایش بیولوژیکی روی نمونه آب چاه می توان به نوع و تعداد باکتریهای آهن خوار، باکتریهای احیا سولفات و باکتریهای تشکیل دهنده رسوب لزج و غیره پی برد.

استفاده از لوگ حفاری چاه های آب برای تشخیص انسداد شبکه های لوله مشبک، مهم است. نوع آبخوان نیز در مسئله



انسداد باید مشخص شود زیرا پتانسیل انسداد مکانیکی در آنجا متفاوت است.

بررسیهای مشاهده ای چاههای آب (ویدئومتری) شاید مهمترین وسیله جهت تشخیص مشکلات چاههای آب باشد. کاربرد این روش در تشخیص مسائل چاههای آب در بند ۳ به طور کامل شرح داده شد.

#### ۷- روشهای بازیابی چاههای آب

به لحاظ سنگین بودن هزینه های حفر و تجهیز چاههای آب، راهکارهای مختلفی به منظور افزایش عمر مفید و جلوگیری از خوردگی و جرم گرفتگی چاههای آب به کار برده می شود. هیچ راه حل منحصر به فردی برای بازیابی تام چاهها وجود ندارد. کاربرد روشهای بازیابی باید متناسب با وضعیت چاه، جزئیات کامل آن (نوع اسکرین و شبکه ها، شرایط فیلتر شنی Gravel pack پشت لوله جدار، نوع و بافت آنجا) علت انسداد باشد. امروزه در کشورهای پیشرفته نگهداری و حفظ چاه آب از مهمترین مسائل فنی صنعت آب است که از شروع عملیات حفاری آغاز می شود و پس از تکمیل عملیات مقدماتی با انجام تکنیکهای توسعه و شستشو و در طول مدت بهره برداری طی یک برنامه صحیح و دقیق و بالاخره سرویس به موقع چاه انجام می شود. در مرحله حفر و تجهیز چاه بایستی تمهیداتی به منظور افزایش عمر مفید چاهها به کار گرفته شود که می تواند موارد زیر را شامل شود.

- دقت در لوله گذاری: در هنگام لوله گذاری چاه بایستی دقت شود لوله به راحتی در چاه نصب شود تا خراش، فرورفتگی و یا شکستگی در آن ایجاد نشود.
- استفاده از لوله های ضخیم با آلیاژهای ضد زنگ (اگر ضخامت لوله جدار دو برابر شود، عمر آن در برابر پوسیدگی چهار برابر می شود).
- تزریق مواد شیمیایی به منظور جلوگیری از پوسیدگی و خوردگی.
- استفاده از لوله های جدار متناسب با کیفیت شیمیایی آب و عمق چاه.

- در صورت استفاده از لوله های فلزی، ایجاد پوشش حفاظتی بر روی لوله (این پوشش می‌تواند از نوع روی، کادمیوم و یا نیکل باشد).
- استفاده از لوله‌هایی با پوشش حفاظتی مواد آلی مثل موم، قیر و یا مواد پلاستیکی.
- ضد عفونی کردن آب داخل چاه (روش معمول آن کلرزنی است).
- تجهیز چاه به نخوی که ورود جریان آب به چاه با حداقل مقاومت انجام شود.
- بهره برداری از چاه بایستی آنقدر تعدیل گردد تا آنکه افت سطح آب به منظور ایجاد کمترین تغییرات شرایط فیزیکی داخل چاه به حداقل ممکن تقلیل یابد.
- حتی‌الامکان سعی شود استحصال آب به طور مستمر و بدون وقفه انجام شود تا تغییر شرایط فیزیکی محیط چاه به حداقل کاهش یابد.
- به منظور جلوگیری از نفوذ هوا و نتیجتاً افزایش اکسیژن محلول که سبب فعالیت باکتریها می‌شود درب چاه حتی‌الامکان توسط تویی مسدود گردد.
- چنانچه فرض را بر این بگذاریم که کلیه موارد فوق رعایت شود باز مسئله خوردگی و جرم‌گرفتگی پس از مدتی (دیر یا زود) رخ خواهد داد. از این رو بازیابی چاههای آب‌بنا به توصیه کارشناسان هر سه تا پنج سال با کاربرد یکی از روشها و یا تلفیقی از روشهای بازیابی ضروری و الزامی است.
- به طور کلی روشهای بازیابی در چاههای لوله‌گذاری شده (اعم از آبرفتی و سازند سخت) شامل موارد زیر می‌باشد.

## ۷-۱- تعویض لوله جدار

این روش در چاههایی که مدت طولانی از حفر آنها می‌گذرد و همچنین در چاههای آبرفتی که دارای فیلتر شنی (گراول پک) می‌باشند به علت پوسیدگی لوله جدار و همچنین ریزش فیلتر شنی تقریباً غیرقابل استفاده می‌باشد. در چاههای سازند سخت که فاقد فیلتر شنی می‌باشند تا حدی این روش قابل اجراست.

## ۷-۲- عملیات شیمیایی (Chemical operation):

این عملیات متناسب با روش حفاری، عمر چاه و ترکیب شیمیایی آب چاه انجام می‌شود. بازیابی چاههای آب با استفاده از مواد شیمیایی یکی از روشهای خیلی قدیمی است. انواع اسیدها و کلر در این روش برای بازیابی چاه مورد استفاده قرار گرفته است ولی گاهی اوقات نتیجه مطلوب گرفته نشده است.

نکته مهم در کاربرد مواد شیمیایی در بازیابی چاه آب، غلظت و حجم این مواد است. گرچه این نکته بدیهی به نظر می‌رسد اما حجم آب موجود در چاه و یا آبی که باید مواد شیمیایی به آنجا برسد باید دقیقاً محاسبه شود. زیرا غلظت کم یا زیاد مواد شیمیایی نتیجه مطلوب را نمی‌دهد. معمولاً به مقدار دو یا سه برابر حجم آب موجود در لوله جدار، مواد شیمیایی در نظر گرفته می‌شود. غلظت ماده شیمیایی بایستی به حدی باشد که توانایی حل رسوبات موجود در روی لوله جدار، شبکه‌ها و همچنین رسوبات بین خلل و فرج دانه‌های فیلتر شنی (گراول پک) را داشته باشد.

یکی از روشهای بازیابی شیمیایی استفاده از اسید است. این روش به اسید شویی یا تزریق اسید معروف است. اسید کلریدریک یکی از جمله اسیدهایی است که در شستشوی چاهها و از بین بردن رسوبات مؤثر می‌باشد. لازم به ذکر است که قبل از انجام عملیات به منظور تأثیر بیشتر مواد شیمیایی بر روی رسوبات، بازیابی اولیه چاه به روشهای برس زدن، استفاده از هوای فشرده و سونار-جت توصیه می‌شود.

خوردگی چاه توسط اسید را می‌توان با کاربرد مواد بازدارنده (Inhabitants) کنترل کرد. یکی از این مواد رودین (Rodine) است که نوع رودین -۱۰۰ و رودین -۱۰۳ برای آلودگی آب خطری ندارد.

در روش اسید شویی از اسیدهای دیگری مثل اسید سولفامیک، اسید استیک، هیدروکسی استیک، اسید سیتریک و اسید اکسالیک استفاده می‌شود. هر چند این اسیدها خوردگی کمتری در تجهیزات چاه وارد می‌کنند ولی قدرت آنها برای حل کردن رسوب نیز کمتر است. به عنوان مثال اسید هیدروکسی استیک حدود ۸۲۶ میلیون برابر کمتر از اسید کلریدریک در حل کردن رسوب مؤثر است.

اسید سولفامیک  $H_2NSO_3H$  اسیدی است که در صنعت کاربرد زیادی دارد. این اسید در حل کردن رسوب کربنات کلسیم و کربنات منیزیم بسیار مؤثر است ولی نمی‌تواند رسوب آهن و منگنز را در خود حل کند. ضمناً اسید سولفامیک در چاه ایجاد خوردگی نمی‌کند.

به طور کلی در کاربرد اسیدها بایستی دقت کافی شود زیرا در برخی موارد به علت اینکه اسید منافذ را کاملاً باز می‌کند، سرعت جریان به سمت چاه زیاد گشته و به همین لحاظ مواد ریزدانه از فضای بین گراولها حرکت کرده و پس از مدتی شبکه‌ها را مسدود و نهایتاً منجر به کاهش آبدهی چاه می‌شود. گاهی اوقات اسیدها با تأثیر بر روی برخی سیلیکاتها، سبب افزایش حجم آنها تا ۵ برابر حجم اولیه شده که نتیجتاً انسداد کامل شبکه‌ها و فضای خالی بین گراولها را به همراه دارد.

املاح آهن دار آب چاه تحت تأثیر برخی اسیدهای تزریقی (مثل اسید کلریدریک) به کلرور آهن محلول تبدیل شده که در محیط اسیدی با PH کمتر از ۳/۵ تولید ماده ژله‌ای هیدروکسید آهن می‌کند. این ماده ژله‌ای سبب انسداد فضاها و راه عبور آب به داخل چاه می‌شود. اسید سیتریک و اسید هیدروکسی استیک برای حل رسوبات روی لوله جدار ضعیف هستند ولیکن ترکیبات اسیدکلریدریک و هیدروکسی استیک برای گندزدایی و حل رسوبات خوب هستند. تزریق مواد ضد عفونی کننده **Injection of disinfectant** یکی از روشهای بازبانی شیمیایی چاه‌های آب می‌باشد که با کاربرد

ترکیبات کلره ( گازکلر، هیپوکلریت سدیم، هیپوکلریت کلسیم، دی اکسیدکلر) و یا پرمنگنات پتاسیم انجام می شود که کارشناسان بر آن تأکید زیادی دارند اما بایستی توجه شود که حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد مواد رسوب کرده روی لوله مشبک و یا بافت اطراف آن، مواد معدنی هستند که در کلر یا مواد اکسید کننده حل نمی شوند بلکه بر عکس این مواد اکسید کننده باعث اکسید شدن مواد آلی موجود در چاه و نهایتاً تولید رسوب بیشتر می شوند. بنابراین کاربرد کلر و مواد اکسید کننده به تنهایی مؤثر نیست. استفاده از ضد عفونی کننده ها در واقع به منظور از بین بردن باکتریها به ویژه باکتریهای آهن خوار و باکتریهای احیاء سولفاتهاست. در میان مواد ضد عفونی کننده، هیپوکلریت سدیم بهترین است. به دست آوردن غلظت کافی از کلر ( با استفاده از گاز کلر) مشکل است و همچنین حمل و نقل آن مشکل و خطرناک می باشد.

بدین لحاظ از هیپوکلریت سدیم استفاده می شود. در چاههایی که تیپ آب آنها بی کربنات است، توصیه می شود از هیپوکلریت سدیم به جای هیپوکلریت کلسیم استفاده شود. درگندزدایی با هیپوکلریت بایستی PH آب چاه کمتر از ۸ باشد. بنابراین چنانچه PH آب بیشتر از ۸ باشد بایستی با استفاده از اسید PH آن را کاهش داد. البته کاهش PH آب با اسید کلریدریک توصیه نمی شود زیرا ترکیب این اسید با هیپوکلریت تولید گاز خردل می کند که بسیار خطرناک است. اسید سولفوریک بهترین اسید در این مورد می باشد.

روش آکوا- فرید (Aqua-Freed) نیز از دیگر روشهایی است که به لحاظ عدم اثرات مخرب زیست محیطی، نتیجه سریع، نفوذ عالی و گندزدایی بهتر، قابل توجه می باشد. در این روش از گاز و مایع دی اکسید کربن استفاده می شود که به خوبی وارد بافت اطراف لوله مشبک می گردد. نفوذ دی اکسید کربن در بافت آبخوان تا فاصله ۱۰ متر نیز اندازه گیری شده است.

در این روش یک صفحه مانع (Packer) در بالای لوله مشبک کار گذاشته می شود و سپس گاز دی اکسید کربن یا مایع آن در زیر این صفحه تزریق می گردد. پس از تزریق، اسید

کربنیک تولید می‌شود و PH آب به حدود ۶ می‌رسد که ایجاد خوردگی شدید نمی‌کند. این روش را در چاههایی که لوله مشبک آنها PVC یا پلی اتیلن است نیز می‌توان به کار برد.

### ۷-۳- عملیات مکانیکی (Mechanical operation)

عملیات مکانیکی در بازیابی چاههای آب شامل جرم زدایی لوله جدار، عملیات سنبه زنی، عملیات انفجاری و عملیات لایروبی است.

در روش جرم زدایی لوله جدار، به وسیله لوازم مخصوص جرم زدایی (Swabbing tool) کلیه رسوبات را که به صورت دانه‌های درشت قهوه‌ای تا قرمز رنگ بر روی سطح و شیارهای لوله مشبک رسوب نموده و اغلب هیدروکسید فیریک می‌باشد تراشیده و زدوده می‌شود.

در عملیات سنبه زنی (Surging) با به حرکت درآوردن عمودی سنبه در ستون چاه توأم با تزریق آب با فشار زیاد، امواج تند آب تولید می‌شود. ضربات ناشی از این عملیات موجب جدا شدن رسوبات و ذرات ریز بین دانه‌های فیلتر شنی می‌گردد که با خارج نمودن آنها از چاه، افزایش تخلخل و نهایتاً افزایش ظرفیت آبدی چاه را در پی خواهد داشت. عملیات انفجاری صرفاً در چاههایی که در سازندهای سخت به ویژه سازندهای کربناته (کارسیتی) حفر می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

عملیات لایروبی در واقع خارج نمودن مواد دانه ریز و رسوبات کنده شده ناشی از عملیات شیمیایی و مکانیکی از داخل چاه می‌باشد.

### ۷-۴- عملیات هیدرولیکی (Hydraulic operation)

این عملیات که یا به تنهایی و یا توأم با سایر عملیات اعمال می‌شود شامل تزریق آب با فشار زیاد، تزریق پاششی آب و شکستگی هیدرولیکی می‌باشد.

- تزریق آب با فشار (Injection of water pressure) که اغلب با سنبه زنی توأم است موجب ضربات شدید آب در داخل

چاه و آبخوان شده که خود سبب می‌شود علاوه بر خرد و متلاشی شدن سیمان، عناصر آبخوان نیز جابجا شود.

- تزریق پاششی آب (Jet washing) بیشتر در بخش اسکرین و لوله مشبک اعمال می‌شود که با تزریق پرفشار و موضعی آب توسط Nuzzle سبب جابجایی عناصر آبخوان و نتیجتاً خروج ذرات ریزدانه و افزایش توان آبدهی می‌گردد.

- شکستگی هیدرولیکی (Hydraulic fracturing) که صرفاً در چاه‌هایی که در سازندهای سخت حفر شده‌اند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بعد از اتمام عملیات به منظور بیرون آوردن کلیه مواد کنده شده، بایستی چاه تحت عملیات پمپاژ قرار گیرد و پس از شستشوی کامل، نسبت به محاسبه ضرایب افت جدار و لایه آبدار، آبدهی ماکزیم، مجاز و بحرانی چاه اقدام شود.

فصل پنجم :  
چاه پیمائی و ژئوالکتریک



## A-شرح عملیات چاه پیمائی

چاه پیمائی که در زبان فرانسه کاروتاژ و در زبان انگلیسی الکترولاگینگ یا well logging نامیده می‌شود، یکی از روشهای شناسائی وضعیت لایه‌ها و مایعات درون آنها در زیرزمین و از طریق چاه حفاری شده، می‌باشد.

این علم پایه و اساس کلیه اکتشافات معدنی، نفت و گاز و ذخائر زیرزمینی آب می‌باشد. اولین لاگ الکتریکی توسط شلومبرگر فرانسوی در سال ۱۹۲۷ ثبت گردید. از اطلاعات بدست آمده در تشخیص موقعیت لایه‌های آبدار و تفکیک آنها از لایه‌های خشک و همچنین تعیین تقریبی کیفیت آب مثل شور و سختی و ... بمنظور استفاده جهت طراحی نحوه لوله‌گذاری مشبک و غیر مشبک، استفاده می‌شود.

در انجام کاروتاژ ضروری است قطر چاه گمانه اولیه بین ۸ تا ۱۲ اینچ باشد و چاه با استفاده از گل بنتونیت و به روش دورانی حفاری گردد. در واقع برای انجام کاروتاژ وجود قشر نازک گل بنتونیت بر روی دیواره چاه و آب گل نفوذی در داخل لایه‌ها برای برقراری امکان تبادل جریان‌ات الکتریکی بین لایه‌های زمین و سیال درون چاه ضرورت دارد.

دستگاه مورد استفاده را چاه‌پیما well logger می‌نامند و از دو بخش تشکیل شده است. بخش اول را دستگاه ثبات می‌نامند که در واقع گیرنده اطلاعات ارسالی از درون چاه به سطح زمین است. بخش دوم شامل سوندهای فرستنده و گیرنده جریان است که توسط یک رشته کابل مقاوم در برابر نیروی کششی و عایق در برابر آب و حاوی سیم‌های مخصوص برق که از طریق آنها با دستگاه ثبات مستقر در سطح زمین در ارتباط می‌باشد. کاروتاژ الکتریک را بوسیله سوندهای متصل به کابل هادی برق و بلافاصله بعد از اتمام حفاری و قبل از برقراری و یا لوله‌گذاری چاه، انجام می‌دهند.

طول کابل معمولاً ۳۰۰ متر می‌باشد که بر روی یک وینچ بالابر مجهز به موتور الکتریکی با قابلیت کنترل سرعت دوران، تعبیه گردیده است. انواع سوندهای مورد استفاده در چاه پیمائی چاههای آب عبارتند از:

## الف- سوند ترکیبی (Combination Sonde)

بوسیله این سوند، منحنی‌های گاما (Gamma) ، پتانسیل خودزا (Self Potential (sp) و مقاومت الکتریکی (Electrical long & short normal) بدست می‌آید. اکثر چاه‌های آب بوسیله سوند ترکیبی آزمایش می‌شوند.

رسوبات ریزدانه رس و سیلت تشعشات رادیواکتیویته بیشتری نسبت به رسوبات درشت دانه دارند و بهمین دلیل منحنی گاما نشان دهنده مقدار افزایش و یا کاهش میزان ذرات ریزدانه در لایه‌های زیرزمین می‌باشد.

منحنی مقاومت الکتریکی نشان دهنده اندازه دانه‌ها و میزان تراکم لایه‌های رسوبی است.

مقدار مقاومت الکتریکی با اندازه دانه‌ها نسبت مستقیم دارد. با کاهش قطر دانه‌ها، مقدار مقاومت الکتریکی کاهش می‌یابد.

بنابراین منحنی گاما نسبت معکوس با منحنی مقاومت الکتریکی دارد بعبارت دیگر هر چه میزان تشعشع اشعه گاما بیشتر باشد، مقاومت الکتریکی لایه کاهش می‌یابد.

منحنی پتانسیل خودزا، اختلاف بار الکتریکی سیال داخل چاه را نسبت به لایه آبدار اندازه‌گیری می‌کند. حرکت یونهای باردار از طرف سیال داخل چاه بطرف لایه آبدار سبب تمایل منحنی به سمت مثبت نسبت به خط ثابت منحنی گشته و حرکت یونها از داخل لایه آبدار به طرف سیال داخل چاه باعث حرکت منحنی به سمت منفی نسبت به خط ثابت منحنی می‌گردد.

در حالت اول (تمایل به سمت مثبت) نشانگر وجود آب سفره زیرزمینی با کیفیت مناسب است و در حالت دوم آب فاقد کیفیت مطلوب است.

از آنجائیکه وجود ذرات ریزدانه رس و سیلت تأثیر مستقیمی بر کیفیت آب دارد، لذا انطباق منحنی‌های نامبرده کمک مؤثری در تفسیر منحنی‌ها می‌نماید.

## ب- سوند قطر سنجی (Caliper sonde)

بوسیله این سوند تغییرات قطر دیواره چاه در امتداد طول آن اندازه‌گیری می‌شود.

این تغییرات نشانگر وجود لایه‌های نرم و یا سخت و همچنین وجود یا عدم وجود حفرات و غار است. این وسیله

داراي بازواني بسته مي‌باشد كه بعد از آنكه نوك آن به ته چاه برخورد نمود، اين بازوان باز شده و به ديواره چاه مماس مي‌گردند. حال با حركت سوند بطرف بالا با تنگ و گشاد شدن ديواره چاه، اين بازوان باز و بسته شده و در نتيجه تغييرات بصورت جريان هاي الكتريكي به دستگاه ثبات در سطح زمين منتقل مي‌شوند.

### ج- سوند دما (Temperature Sonde)

اين سوند براي شناسايي سفره هاي آبي مختلف و جدا از هم به كار مي‌رود. نحوه عمل بدین ترتیب است كه با حركت آن در طول چاه مي‌توان تغييرات دمائي آب را كه ممكن است مربوط به سفره هاي جدا از هم با كيفيت متفاوت باشد، در اعماق مختلف اندازه گيري كرد. براي مثال دمائي آبهاي شيرين در سازندهاي شن و ماسه و يا آهكهاي كارستيك خيلي كمتر از دمائي آبهاي شور در سازندهاي ريزدانه رسي مي‌باشد.

چنانچه كاروتاز بنحو صحيح و دقيق صورت گيرد، مي‌تواند با تلفيق نمودارهاي مختلف، اطلاعات خوبي را در مورد تخلخل كل و مؤثر، شكل هندسي محيط متخلخل و تراوا، حجم و كيفيت آب موجود در سنگها، در اختيار قرار دهد. اغلب سوندها يك جواب منحصر بفرد نمي‌دهند و بعبارت ديگر بايد از يك مجموعه اطلاعات بهره گرفت تا تفسير صحيح و مطمئني بدست آورد و بهمين دليل تفسير در چاه پيمائي به علم و تجربه نياز دارد.

يك مفسر با تجربه با مشاهده نتايج نمودارهاي ترسيمي مي‌تواند نسبت به محلها و عمق نصب اسكرين و انجام آزمايشات پمپاژ اظهارنظر نمايد.

### مشخصات نمودار

اطلاعات زير در سر صفحه نمودار قيد مي‌گردند.

- نام مجري عمليات نمودارگيري
- مختصات جغرافيايي و نام محل، شماره و ارتفاع چاه حفاري شده از سطح دريا
- نقطه مبنايي عمق
- نام نمودار

- نام سایر نمودارهای گرفته شده در همان چاه
- عمق نهائی چاه
- سطح برخورد به آب و سطح فعلی آن
- حداکثر عمق نمودارگیری شده
- ثبت زمان آخرین توقف گردش سیال حفاری
- ویژگیهای سیال حفاری (گل، کف یا آب خالص و...)

- چگالی و گرانشی سیال حفاری
- مقاومت ویژه سیال ( $R_m$ ) در دمای محیط مرجع (T) چنانچه از گل حفاری استفاده شده باشد.
- مقاومت ویژه تراویده گل ( $R_{mf}$ )
- مقاومت ویژه اندود گل ( $R_{mc}$ )
- عمق نمونه‌گیری از سیال حفاری
- قطر چاه

- دمای سطح زمین و ته چاه که با استفاده از آنها میتوان دمای سازندهای مختلف را محاسبه کرد.

- درج صحیح مقیاس

ب‌طور کلی اطلاعاتی نظیر سرعت پیدشروی حفاری به شناسائی چگونگی وضعیت لایه‌ها و سنگشناسی کمک می‌کند. وقوع هرز روی گل حفاری و یا وجود جریانهای ورودی آب به داخل چاه بهنگام حفاری میتواند راهنمایی برای حضور احتمالی شکستگی‌ها و یا حضور آبخوان تحت فشار باشد. همچنین دانستن ترکیب گل حفاری به تفسیر بهتر لاگها کمک می‌کند.

مثالی از سرصفحه نمودار.

تاریخ:	نمودار:	منطقه:
شماره چاه:	مختصات جغرافیایی:	
	ارتفاع:	
ایراتور:		
نقطه مبنای عمق:		
عمق ته چاه:		
قطر چاه:		
مشخصات سیال حفاری:		
	محل اخذ نمونه سیال حفاری:	
	چگالی:	گرانروی:
	$R_m = T$ در	
	$R_{mf} = T$ در	
	$R_{mc} = T$ در	
	دمای ته چاه (B. H. T):	
	دمای سطح زمین:	
	زمان سپری شده از آخرین گردش سیال حفاری:	
	سایر نمودارهای ثبت شده:	
	مقیاس عمودی:	
	سرعت کابل:	
	ملاحظات:	

در ارتباط با نمودارگیری چاهها به توضیح پاره ای مفاهیم هیدروژئولوژی به شرح ذیل می پردازیم:

### ۱- مفاهیم اصلی هیدروژئولوژی

#### ۱-۱- آبخوان (Aquifer) و مخزن (Reservoir)

آبخوان به سازند زمین شناسی متخلخل Porous که حداقل بخشی از آن اشباع از آب باشد، اطلاق می گردد. چنانچه فضاهای تخلخل به هم مرتبط بوده و تراوا Permeable باشند بگونه ای که امکان گردش آزادانه آب در داخل لایه فراهم گردد، تشکیل مخزن را می دهد.

برای تعیین یک مخزن موارد زیر مطالعه می گردد:

- اندازه گیری تخلخل و تراوایی

- اندازه‌گیری میزان اشباع آب Water saturation و خواص فیزیکی و شیمیایی آن

- برآورد امکان تغذیه مجدد Recharge

## ۲-۱- تخلخل کل Total porosity و تخلخل مؤثر Effective porosity

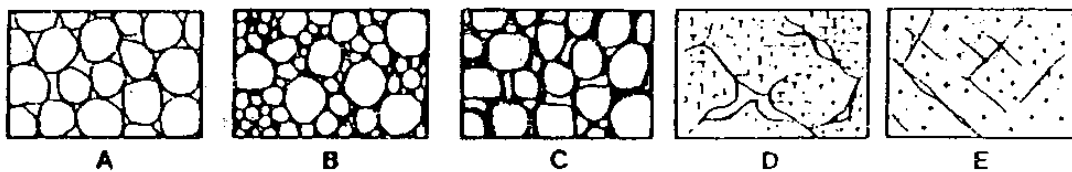
الف- تخلخل کل یا مطلق عبارتست از درصد حجم منافذ voids يك نمونه طبیعی از زمین به حجم کل آن

$$\varphi_t = \frac{\text{حجم کل منافذ}}{\text{حجم کل سنگ}}$$

تخلخل شامل دو نوع اولیه و ثانویه است: تخلخل اولیه به هنگام تشکیل سازند بوجود می‌آید و تابعی از شکل دانه‌ها و میزان جورشدگی آنها می‌باشد، بطوریکه هر قدر دانه‌ها گردتر و اندازه آنها یکنواخت‌تر باشد، تخلخل بین دانه‌های اولیه بیشتر خواهد بود. این تخلخل که عمدتاً در سازندهای آواری دیده می‌شود با گذشت زمان در اثر سیمان‌شدگی و بالا رفتن تراکم لایه، کاهش می‌یابد.

تخلخل ثانویه شامل تخلخل حفره‌های (Vuggy porosity) ناشی از پدیده انحلال، تخلخل شکستگی (Fracture porosity) و تخلخل بین دانه‌های (Intergranular porosity) حادث از عوامل تخریبی جوی یا هوازدگی می‌باشد که بعد از تشکیل لایه اولیه و سیمانته شدن آن به وجود آمده است.

در شکل زیر تخلخل اولیه حداکثر (A) در اثر جورشدگی ضعیف (B) و یا سیمان‌شدگی (C) کاهش یافته است. تخلخل ثانویه انحلائی در سنگهای کربناته آهکی (D) و نوع تخلخل شکستگی در سنگهای آذرین (E)، نشان داده شده است.



انواع مختلف تخلخل.

### ب- تخلخل مؤثر

در مطالعات چاه پیمایی، شناسایی این نوع تخلخل که امکان گردش آزادانه آب را در سازند می‌دهد، هدف اصلی است.

در صورتیکه منافذ سنگ به هم متصل نباشند (مثل سنگ پا) و همچنین به علت ریزبودن منافذ و یا در اثر وجود کانیتهای رسی که با جذب آب و تورم خود مانع حرکت آزادانه آب در لایه می‌گردند، تخلخل مؤثر نسبت به تخلخل کل کاهش می‌یابد. تخلخل مؤثر در یک نمونه سنگ اشباع عبارتست از:

$$\phi_r = \frac{\text{حجم آب در حرکت در اثر نیروی گرانش}}{\text{حجم سنگ}} \times 100$$

### ۳-۱- انواع سازندها و تخلخل

در حدود ۹۵ درصد ذخائر آبهای زیرزمینی در مواد رسوبی اعم از آبرفت‌های سیمانته شده و یا بدون سیمان، سنگ‌های سالم و فرسایش یافته قرار دارند. رسوبات شن و ماسه بدون سیمان دارای تخلخل اولیه و تراوش بالایی هستند و مهمترین مخازن آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند.

سنگ‌های آهکی و دولومیتی چنانچه تحت تأثیر عوامل تخریب فیزیکی و انحلال شیمیایی قرار گیرند، دارای تخلخل ثانویه قابل توجهی شده و در اینصورت می‌توانند مخازن خوبی را تشکیل دهند. سنگ‌های آذرین و دگرگونی که سالم و دست نخورده مانده باشند به علت آنکه تخلخل اولیه آنها ناچیز است، مخازن خوبی نمی‌باشند مگر اینکه بشدت هوازده و یا

شکسته باشند. چنانچه مقدار رس در سنگهاي تخریبي هوازده کم باشد، اغلب مخازن خوبی را بوجود می‌آورند.

تخلخلهای متوسط بعضی از سنگها.

سنگ	تخلخل کل	تخلخل مؤثر
شن	٪۲۵	٪۴۰
ماسه	٪۴۰	٪۳۰
ماسه سیلتی	٪۳۲	٪۵
سیلت	٪۳۶	٪۳
رس	٪۲۷	٪۰
چاک	٪۳۰	٪۲-۵
ماسه سنگ درز و شکافدار	٪۲۰	٪۲-۱۵
گرانیت درز و شکافدار	٪۲	٪۰/۱-۲
سنگ آهک درز و شکافدار	٪۰/۵-۱۷	٪۰/۱-۱۲

مأخذ: چاه پیمائی، در هیدروژئولوژی - دومینیکو کاپلییر

#### ۴-۱- تراوایی (Permeability)

قابلیت عبور سیال از داخل يك محیط را تراوایی گویند که از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = K S \frac{H}{e}$$



در این فرمول  $Q$  دبی تراوایی جریان،  $S$  سطح مقطع عبور جریان بهر حسب متر مربع،  $H$  ارتفاع (هد) آب بر حسب متر،  $e$  ضخامت لایه به متر،  $K$  ضریب تراوایی داری بر حسب متر در ثانیه.

نسبت  $\frac{H}{e}$  افت آب در واحد طول مواد متخلخل است که به

آن شیب هیدرولیکی گویند ( $i = \frac{H}{e}$ ).

$$Q = K s i$$

بنابراین فرمول داری برای درجه حرارتهای مختلف سیال با گرانیهای متفاوت، تغیر می‌کند.



هستگی بین تخلخل و تراوایی

سنگ	تخلخل کل	تخلخل مؤثر	k بر حسب m/sec
شن	٪۴۵	٪۲۰	$۳ \times ۱۰^{-۱}$
ماسه	٪۴۰	٪۳۰	$۶ \times ۱۰^{-۲}$
سیلت	٪۳۶	٪۳	$۳ \times ۱۰^{-۸}$
رس	٪۲۷	٪۰	$۵ \times ۱۰^{-۱۰}$

اصطلاحات مورد استفاده در چاه پیمایی

BHT	دمای ته چاه	°C یا °F
T <sub>f</sub>	دمای سازند	°C یا °F
TD	عمق کل	cm یا ft
d	قطر چاه	cm یا in
D <sub>i</sub>	قطر متوسط زئار مورد تهاجم	cm یا in
R <sub>m</sub>	مقاومت ویژه گل حفاری	ohm.m
R <sub>mc</sub>	مقاومت ویژه اندود گل	ohm.m
R <sub>mf</sub>	مقاومت ویژه تراویده گل	ohm.m
R <sub>w</sub>	مقاومت ویژه آب سازند	ohm.m
R <sub>i</sub>	مقاومت ویژه حقیقی سازند در زئار بکر	ohm.m
R <sub>o</sub>	مقاومت ویژه حقیقی سازند اشباع از آب	ohm.m
R <sub>so</sub>	مقاومت ویژه زئار شسته شده (مورد تهاجم)	ohm.m
F	ضریب سازند	بدون بعد
φ	تخلخل مفید	٪
S <sub>w</sub>	اشباع از آب در زئار بکر	٪
S <sub>so</sub>	اشباع از تراویده در زئار شسته شده	٪
k	تراوایی	میلی دارسی
Δt	زمان	میکروثانیه بر فوت
P <sub>b</sub>	چگالی کلی سازند	g/cm <sup>۳</sup>
P <sub>ma</sub>	چگالی زمینه	g/cm <sup>۳</sup>
P <sub>f</sub>	چگالی سیال	g/cm <sup>۳</sup>
CPS	شمارش در ثانیه	
CPM	شمارش در دقیقه	
m	ضریب سیمان شدگی	بدون بعد
n	توان اشباع	بدون بعد

رابطه بین اندازه دانه و تراوایی:

رابطه بین اندازه دانه و تراوایی:												
۱۰-۱۰	۱۰-۹	۱۰-۸	۱۰-۷	۱۰-۶	۱۰-۵	۱۰-۴	۱۰-۳	۱۰-۲	۱۰-۱	۱	۱۰.۱	بر حسب m/sec
۱۰-۸	۱۰-۷	۱۰-۶	۱۰-۵	۱۰-۴	۱۰-۳	۱۰-۲	۱۰-۱	۱	۱۰.۱	۱۰.۲	۱۰.۳	تراوایی بر حسب داریسی cm/sec
رس	سیلت	ماسه خیلی ریز	ماسه خالص	شن	ممکن	توزیع	قطر دانه (به mm)	اندازه دانه	متغیر	شن دانه درشت و متوسط	شن و ماسه	
۰/۰۰۲		۰/۰۶	۰/۲۵	۲								
رس		مخلوط ماسه، رس و سیلت										
ناتراوا		نیمه تراوا								سنگهای تراوا		نوع سازند

توجه: ۱ داریسی معادل عبور  $1 \frac{cm^3}{sec}$  از سطح مقطع  $1 cm^2$  با شیب هیدرولیکی  $1 \frac{atm}{cm}$  است.

### ۱-۵- اشباع (Saturation)

اشباع عبارتست از نسبت حجم منافذ پر شده از آب به حجم کل منافذ لایه که معمولاً در زیر سطح ایستابی برابریک است.

### ۱-۶- خواص فیزیکی شیمیایی آب مخازن

هر گاه کیفیت آب یک آبخوان از نظر دما، شوری و آلودگی بیولوژیکی مطلوب بوده و از نظر اقتصادی قابل استفاده باشد، تشکیل یک مخزن را میدهد. بنابراین برای مطالعه یک مخزن، خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب آن میباید بررسی گردد.

### ۲- چاه پیمایی ژئوفیزیکی مخازن

برای اکتشاف یک مخزن و تعیین مرز آن و کیفیت آب، چهار مشخصه زیر بررسی می‌گردد:

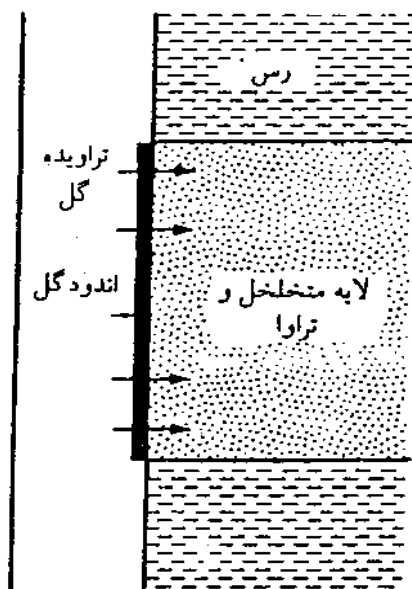
- تخلخل
- تراوایی
- اشباع
- خواص فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی آب

تخلخل کل و مؤثر و در نتیجه اشباع را به روش چاه پیمائی می‌توان اندازه گرفت همچنین برخی خواص فیزیکوشیمیائی نظیر دما و شوری را هم تعیین می‌کنند. به کمک چاه پیمائی می‌توان تخلخل مؤثر و میزان رس را اندازه گیری و در نتیجه تراوش را تعیین نمود. کیفیت بیولوژیکی آب را نمی‌توان با بررسی‌های ژئوفیزیکی معین کرد.

### ۳- خواص گل حفاری در ارتباط با چاه پیمائی

ترکیب گل حفاری یک عامل تعیین کننده برای انتخاب روش اجرائی چاه پیمائی مناسب می‌باشد. برای مثال سوندهای الکتریکی را می‌توان در گلهای هادی الکتریسیته مثل گل آب شیرین و یا گل آب شور به کار برد. بنابراین در اجرای عملیات و اندازه‌گیریها، عوامل مؤثر شامل دیواره چاه، نوع سیال پرکننده و پدیده تهاجم بررسی می‌گردند.

پدیده تهاجم Invasion تابع نفوذ تراویده گل (Mud filtrate) در خلل و فرج مفید سنگها و مشخص کننده تراوایی لایه است. این نفوذ در اثر جدا شدن تراویده گل از سیال گل حفاری و باقی ماندن اندود گل (Mud cake) بر روی دیواره چاه، صورت می‌گیرد.



تشکیل انندود گل.

## ۲- کاربرد چاه پیمائی در هیدروژئولوژی

کاروتاژ یا چاه پیمائی ژئوفیزیکی را بهنگام توقف موقت حفاری و یا بعد از اتمام آن و قبل از لوله گذاری انجام می دهند. نمودارهای تأخیری **Delayed** بعد از بروز وقفه و گذشت زمان از خاتمه حفاری، گرفته می شوند.

کاربر (اپراتور) با توجه به ماهیت آبخوان و ویژگیهای چاه و گل حفاری، روش چاه پیمائی را انتخاب می کند.

با تلفیق نمودارهای مختلف، میتوان تخلخل کل و مؤثر، شکل هندسی محیط متخلخل و تراوا، حجم و کیفیت آب موجود در سنگها را شناسائی کرد.

عوامل فیزیکی مختلفی که در چاه پیمائی اندازه گیری می شوند عبارتند از:

- نمودار مقاومت ویژه الکتریکی
- نمودار پتانسیل خودزا
- نمودارهای الکتریکی
- نمودارهای هسته ای
- نمودارهای اشعه گاما
- نمودارهای گاما - گاما یا چگالی

- نمودار نوترون
- نمودار صوتي
- نمودار قطرسنجي
- نمودار مقاومت ويژه سيال
- نمودار دما

### ۳- مقاومت ويژه الكتريكي سنگها

در بين عوامل اندازه گيري چاه پيمائي، پارامتر مقاومت ويژه الكتريكي نسبت به بقيه غالبتر است. در اينجا مختصراً مباني پديده انتشار جريان الكتريكي در سنگها بررسي ميشود:

سنگها و مواد تشكيل دهنده پوسته زمين ميتوانند جريان الكتريسيته را از طريق آب زيرزميني موجود در خود انتقال دهند كه به آن هدايت الكتريكي گويند. در اكتشافات هيدروژئولوژيكي مقاومت ويژه الكتريكي سنگها عمدتاً به عوامل زير بستگي دارد:

- كيفيت الكتروليت يعني مقاومت ويژه آب درون سازند (Rw) در ارتباط با مقدار املاح محلول در آب.
- كميت يا مقدار الكتروليت در واحد حجم سنگ
- نحوه توزيع الكتروليت در منافذ

### ۳-۱- اثر كيفيت الكتروليت

#### الف- شوري

نمك در آب بصورت يونهاي مثبت و منفي پديدار ميشود كه تحت تاثير ميدان الكتريكي و جابجائي يونها، جريان الكتريسيته توليد ميكند كه مقدار آن و يا ميزان تحرك يوني تابع گراندروي (viscosity) آب ميشود. خاصيت رسانائي يك الكتروليت با مقاومت ويژه آن نسبت عكس دارد و به ماهيت و مقدار يونها و تحرك آنها در محلول بستگي مستقيم دارد.

فرمول خاصيت رسانائي عبارتست از:

$$C = \frac{1}{R} = f(c_1 v_1 + c_2 v_2, \dots)$$

C رسانندگی، R مقاومت ویژه، c غلظت یون و v تحرك یون است البته مقدار مقاومت ویژه نمی‌تواند ترکیب شیمیایی آب را مشخص کند.

چنانچه ماده خشک باقیمانده از يك لیتر آب برابر ۸ گرم باشد (۸۰۰۰ ppm) آن آب غیرقابل شرب است.

### ب- دما

افزایش دما باعث کاهش گرانیوی يك الكترولیت شده و در نتیجه تحرك یونی را زیاد می‌کند. همچنین تجزیه املاح به یونها شدت یافته و در نتیجه مقدار یون بیشتری در محلول بوجود می‌آید. این پدیده‌ها سبب کاهش مقاومت ویژه در اثر افزایش دما می‌شوند.

### ۳-۲- کمیت الكترولیت و نحوه توزیع آن

بر اساس قانون اهم مقدار مقاومت الكتريکی يك رسانا با طول آن نسبت مستقیم و با سطح مقطع آن نسبت عکس دارد:

$$R = \frac{L}{S} \text{ مقاومت الكتريکی بر حسب اهم}$$

در این فرمول R مقاومت ویژه الكتريکی، L طول و S سطح مقطع رسانا می‌باشد. در بحث ذخائر آب زیرزمینی، وجود آب در زمین سبب رسانائی می‌گردد و هر چه میزان تخلخل بیشتر و درجه اشباع بالاتر باشد، میزان رسانائی افزایش می‌یابد. افزایش مقدار آب را با افزایش سطح مقطع و ارتباط مستقیم فضاهای تخلخل را میتوان با کاهش طول رسانا مقایسه کرد که کلاً منجر به کاهش مقاومت ویژه الكتريکی لایه می‌شود. بطور کلی مقاومت ویژه الكتريکی يك لایه به میزان آب موجود، کیفیت و نحوه توزیع آن بستگی دارد. کاهش شوری، افزایش اندازه دانه‌ها و در نتیجه افزایش تراوایش لایه‌ها همگی سبب ازدیاد مقدار مقاومت ویژه الكتريکی می‌گردد. بنابراین برای شناسائی لایه‌های آب شیرین، می‌باید به افزایش مقاومت ویژه الكتريکی توجه شود.

### ۳-۳- پدیده تهاجم (Invasion)

تهاجم عبارتست از نفوذ بخش مایع گل حفاری از داخل چاه به درون لایه های متخلخل و تراوا. قشر نازک مواد جامد باقیمانده بر روی دیواره چاه را، کیک حفاری یا اندود گل می‌گویند، عموماً کلیدیه نمودارها و خصوصاً نمودارهای الکتریکی بر اساس فعل و انفعالات بین سیال حفاری و لایه حفاری شده حاصل می‌شوند.

تراوش آب گل و ضخامت اندود گل تشکیل شده بستگی به ترکیب شیمیایی و ماهیت گل و ویژگیهای لایه های حفاری شده دارد. نظر به اینکه فشار هیدروستاتیک ستون گل حفاری داخل چاه از فشار آب داخل سازند بیشتر است در اثر نفوذ تراوید گل به داخل منافذ لایه های حفاری شده، کلیدیه آب موجود در سازند در مجاورت چاه عقب رفته و تراویده جایگزین آن می‌شود. به این قسمت بخش شسته شده می‌گویند.

بعد از این قسمت، منطقه گذار (Transition zone) قرار دارد که مایع درون لایه مخلوطی از آب سازند و آب گل است و سرانجام به منطقه بکر (virgin zone) که منافذ لایه اشباع از آب سازند است، می‌رسد.

مجموعه منطقه شسته شده و منطقه گذار را منطقه تهاجم با مقاومت ویژه  $R_i$  می‌گویند.

وسعت تهاجم در لایه های تراوا با تخلخل مؤثر بالا، کم و در لایه های کم تراوا بر عکس می‌باشد.

بطور خلاصه می‌توان گفت مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده توسط انواع سوندهای چاه‌پیمایی به شرایط طبیعی زمین و همچنین به عملکرد سیال حفاری بستگی دارد.

مقاومت ویژه تراویده گل ( $R_{mf}$ ) و مقاومت ویژه اندودگل ( $R_{mc}$ ) را در سطح زمین می‌توان محاسبه کرد و اگر این کار میسر نباشد، از روی چارتهای مخصوص و یا روابط تجربی زیر قابل اندازه‌گیری هستند:

$$R_{mc} = 1/5 R_m \quad , \quad R_{mf} = 0/75 R_m$$

$R_m$  مقاومت ویژه گل حفاری می‌باشد. ضمناً مقاومت‌های ویژه نظیر  $R_m$  ،  $R_{mc}$  ،  $R_t$  و ... نسبت به درجه حرارت سازند مشخص می‌گردند.

#### ۴- نمودار S.P.

نمودار پتانسیل خودزا (spontaneous potential log= s.p.) در واقع اختلاف پتانسیل الکتریکی حاصل از عوامل طبیعی را در درون لایه های زمین، بین یک الکتروود متحرک در چاه و یک الکتروود مستقر در سطح زمین اندازه گیری و ثبت می کند.

بوسیله نمودار S.P موارد زیر مشخص می شوند:

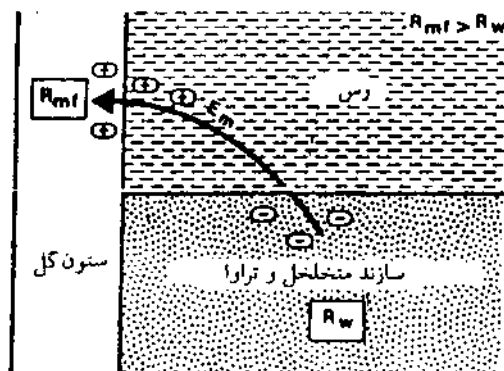
- تشخیص لایه های متخلخل و تراوا
- تعیین محل لایه های ناتراوا
- محاسبه درصد رس موجود در بخش اکیفر
- محاسبه مقاومت ویژه آب سازند ( $R_w$ ) که برای تعیین درجه شوری و کیفیت شیمیایی آب استفاده می شود.

ماهیت پتانسیل ثبت شده در نمودار S.P. به کیفیت آب و نوع گل حفاری بستگی دارد. پتانسیل خودزا در اثر نیروهای الکتروموتیو و با منشاء الکتروشیمیایی و الکتروسننتیک به علت تفاوت ترکیب شیمیایی سیال حفاری با آب موجود در سازند، بطور طبیعی بوجود می آید. نیروی الکتروموتیو بصورت پتانسیل غشائی که در اثر مجاورت یک سازند متخلخل و تراوا مثل یک لایه ماسه تمیز آبدار حاوی الکترولیتی با مقاومت ویژه  $R_w$  در بین دو لایه رس ایجاد می شود. پتانسیل های ایجاد شده عبارتند از:

#### الف- پتانسیل غشائی (Membrane potential)

عموماً آب سازند دارای مقاومت ویژه کمتری نسبت به تراویده گل حفاری است یعنی  $R_{mf} > R_w$ ، لایه رس جدا کننده دو محلول الکترولیت (آب سازند و تراویده گل) بصورت یک غشاء کاتیونی مانع عبور آنیونها (یونهای منفی) شده و حال آنکه اجازه عبور کاتیونها (یونهای مثبت) را به داخل ستون گل درون چاه می دهد و در نتیجه پدلی با نیروی الکتروموتیو ( $E_m$ ) تشکیل می شود که قطب مثبت آن مربوط به سیال با میزان شوری کمتر است. پتانسیل غشائی را پتانسیل شیل نیز می نامند.





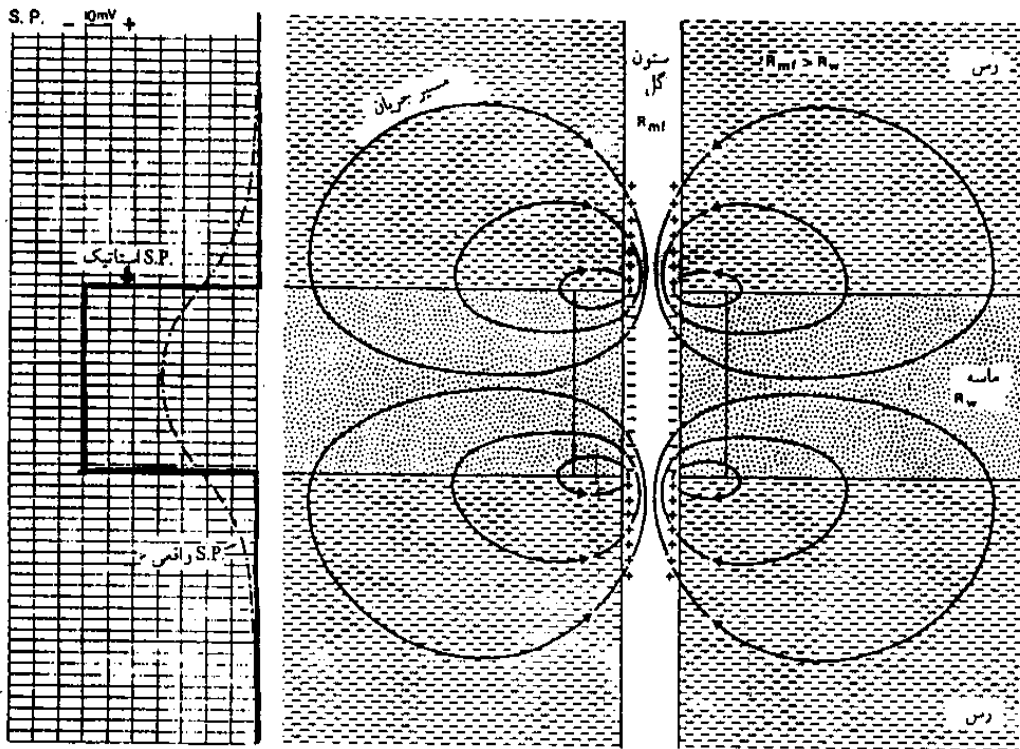
پتانسیل غشایی.

### ب- پتانسیل هم جوارى مایعات (Liquid junction potential)

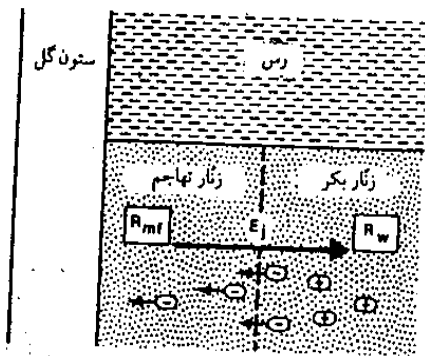
در محل تماس تراویده گل با آب سازند در حد نهائی تهاجم و در داخل لایه به علت اختلاف در مقدار املاح آنها، نیروی الکتروموتیو ایجاد می‌شود. در واقع به علت تفاوت در قابلیت تحرک آنیونها و کاتیونهاى مثلاً يك محلول کلرورسدیم که برای یون منفی کلر بیشتر از یون مثبت سدیم است، این نیرو در نتیجه شار یا جریانی از یونهاى منفی به طرف محلول حاوی یونهاى کمتر ایجاد و به نیروی غشایی لایه رسی اضافه می‌شود.

در شکل نحوه توزیع جریانهای S.P.، در حالتیکه میزان املاح یونی یا اصطلاحاً شورى گل حفارى کمتر از آب سازند باشد یعنی  $R_{mf} > R_w$  يك پتانسیل مثبت در مقابل سازند رسی و يك پتانسیل منفی در برابر سازند تراوا و متداخل ایجاد می‌شود و مدار توسط گل حفارى تکمیل می‌گردد.

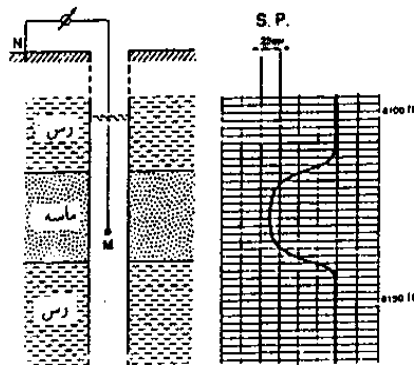
در این شکل منحنی خط چین مقدار واقعی S.P. و منحنی پیوسته مقدار ولتاژ تئوری (S.P. استاتیک یا S.S.P.) را نشان می‌دهد. بنابراین مقدار ولتاژ ثبت شده S.P. همیشه از S.P. استاتیک کمتر است.



توزیع جریانهای S.P.



پتانسیل همجواری مایعات.



اصول اندازه گیری S.P.

#### ۴-۱- نحوه اندازه‌گیری S.P.

برای ثبت نمودار S.P. مقدار اختلاف پتانسیل را بین دو الکتروود که یکی در داخل چاه حرکت می‌کند و دیگری در سر چاه روی سطح زمین ثابت است، بوسیله ولت متر اندازه می‌گیرند.

معمولاً این نمودار را در چاه‌های حاوی یک مایع حفاری رسانا و همزمان با یک نمودار الکتریکی یک الکتروودی (تک نقطه) اجراء می‌کنند. مقیاس بر حسب میلی ولت بر قسمت است و معمولاً سمت راست نمودار مثبت و سمت چپ آن منفی است.

#### ۴-۲- عوامل ایجاد اغتشاش در منحنی S.P.

جهت ثبت صحیح تغییرات پتانسیل ناشی از عوامل طبیعی زمین شناسی می‌باید تمامی علل غیر طبیعی ایجاد ناپایداری پتانسیل خصوصاً توسط الکتروود مرجع مستقر در سطح زمین را برطرف کرد.

این عوامل عبارتند از:

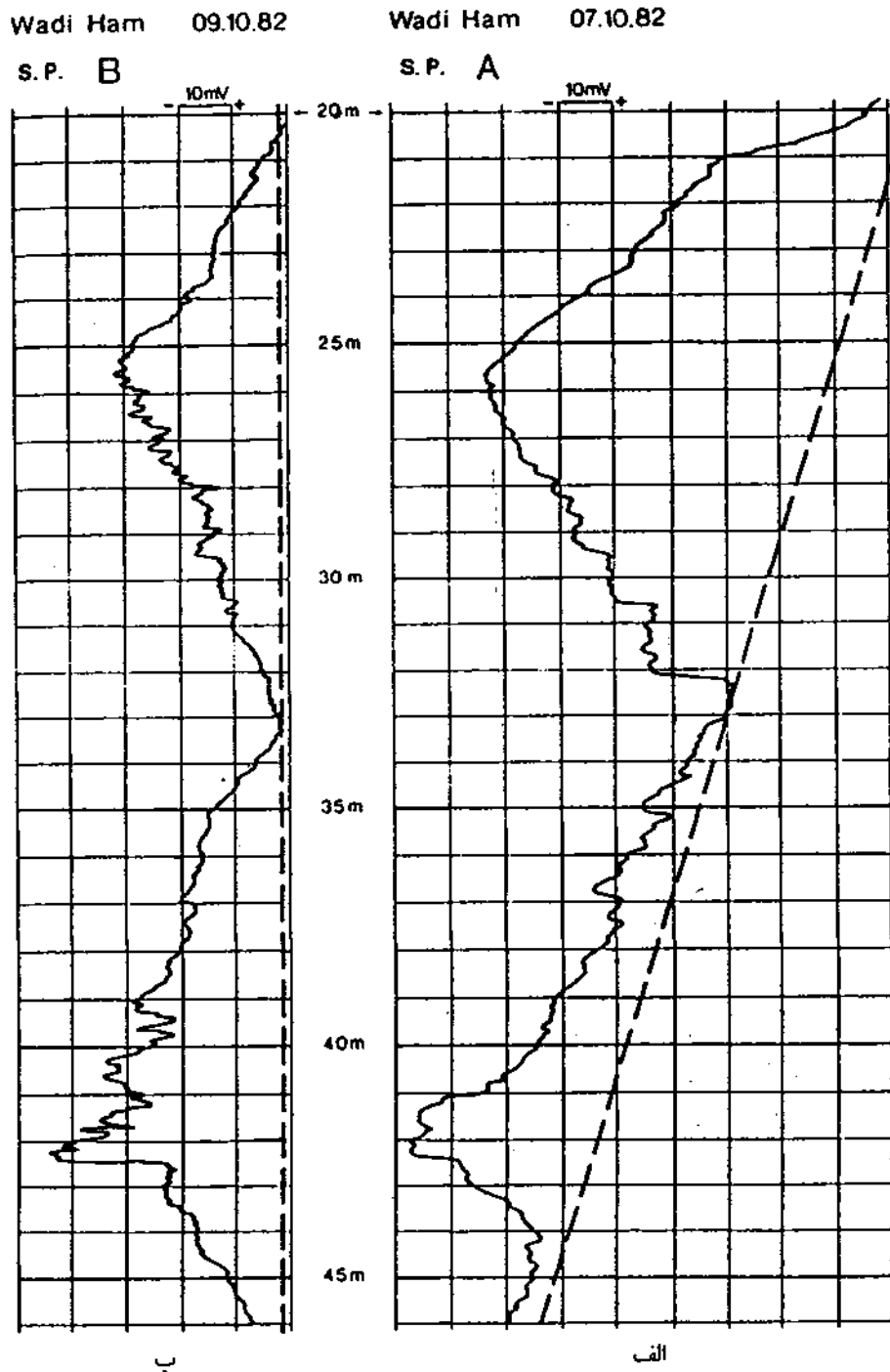
##### الف - جنس الکتروودها

معمولاً از سرب که سریعاً به تعادل الکترو شیمیایی می‌رسد، برای ساخت الکتروودها استفاده می‌شود و هر دو الکتروود باید در محیط یکسانی قرار گیرند. برای این منظور الکتروود مرجع را در گودالی که پر از گل حفاری مشابه گل درون چاه است، فرو می‌برند.

##### ب- وجود دریفِت (Drift) در پتانسیل مرجع ( Reference Potential)

چنانچه نتوان الکتروود مرجع را در حوضچه گل حفاری قرارداد، بناچار آنرا در نزدیکی دهانه چاه در زمین فرو می‌کنند که به علت خشکی لایه سطحی زمین و در نتیجه نارسا بودن آن، اندازه‌گیری با مشکل مواجه می‌شود. برای رفع این مشکل لازم است که در پای الکتروود مقداری آب بریزیم تا مقاومت الکتریکی محل اتصال کم شود. گاهی بعلت تبخیر این آب و بالا رفتن مقاومت الکتریکی محل اتصال، یک دریفِت معمولاً در طرف منفی نمودار ایجاد شده و دامنه نمودار S.P. را زیاد کرده و تفسیر آن را مشکل می‌سازد.

لذا با برقراري شرايط كامل اتصال الكتروود با زمين مرطوب مي‌توان اين تغييرات را برطرف كرد.



مثالی از دریافت پتانسیل مرجع.

ج- اثر جریانهای پارازیتی و تلوریک (سرگردان) مغشوش کننده

جریانهای تلوریک (Telluric) بصورت جریانهای الکتریکی ضعیف و متغیر در نتیجه فعالیت خورشیدی در زیر لایه های سطحی زمین بوجود می آیند.

جریانهای سرگردان در نتیجه فعالیت های صنعتی در مناطق صنعتی تولید می شوند. این نوع جریانها اثرات اغتشاشی بر روی نمودار S.P. بر جای می گذارند که نمودار بدست آمده را بلا استفاده می کنند. اثرات این جریانها بر روی نمودار بصورت نوسانات سریع با دامنه بزرگ پدیدار می شود.

#### د- اثر مغناطیس

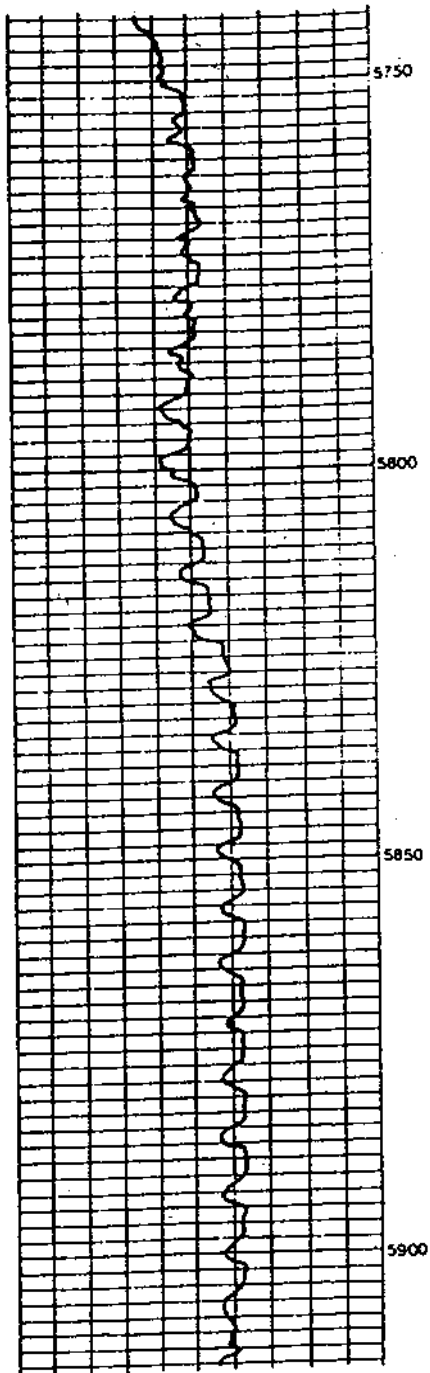
بعضاً در اثر چرخش وینچ و قرقره دستگاہ اندازه گیری، یک میدان مغناطیسی متغیر بوجود می آید که ولتاژی را در کابل القاء و بر روی نمودار S.P. تأثیر می کند این ولتاژ سیکنی بصورت سینوسی روی نمودار ظاهر می شود.

#### تفسیر کیفی منحنی S.P.

مطابق شکل، یک نمودار S.P. در مجموعه ای از رس و ماسه (مورد متداول) بررسی می شود.

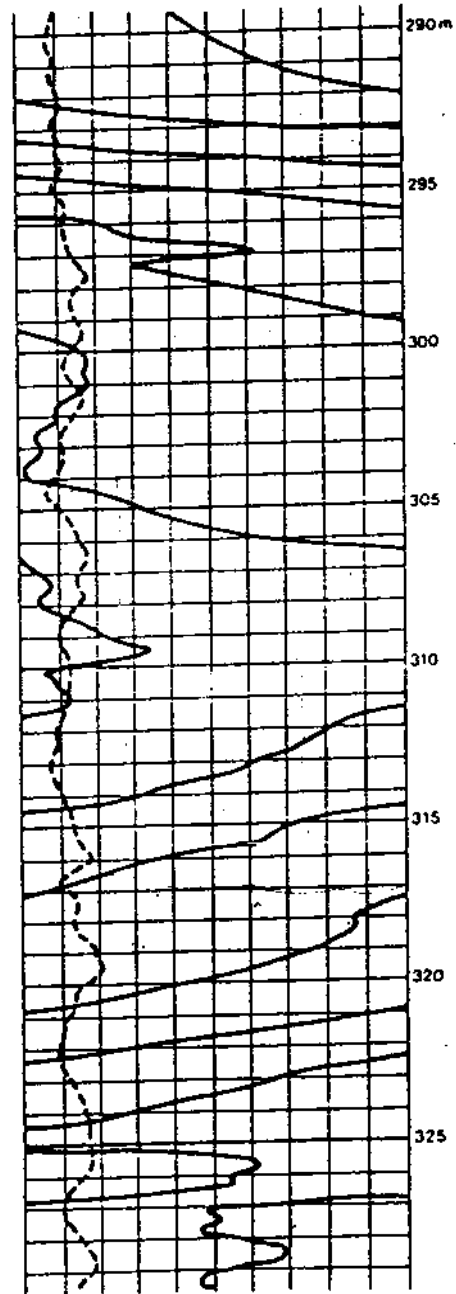
پتانسیل در برابر لایه های رسی عموماً ثابت مانده که آنرا بصورت یک خط مستقیم تقریبی روی نمودار نشان داده و خط مبنای شیل (Shale base line) یا خط مبنای رس (Clay Base line) گویند و در مقابل لایه های متخلخل و تراوا، منحنی یک انحراف تند به سمت چپ دارد که اگر چنین لایه ای ضخیم باشد می توان خط مبنای ماسه (Sand base line) یا خط (ماسه Sand line) را رسم کرد.

S.P.

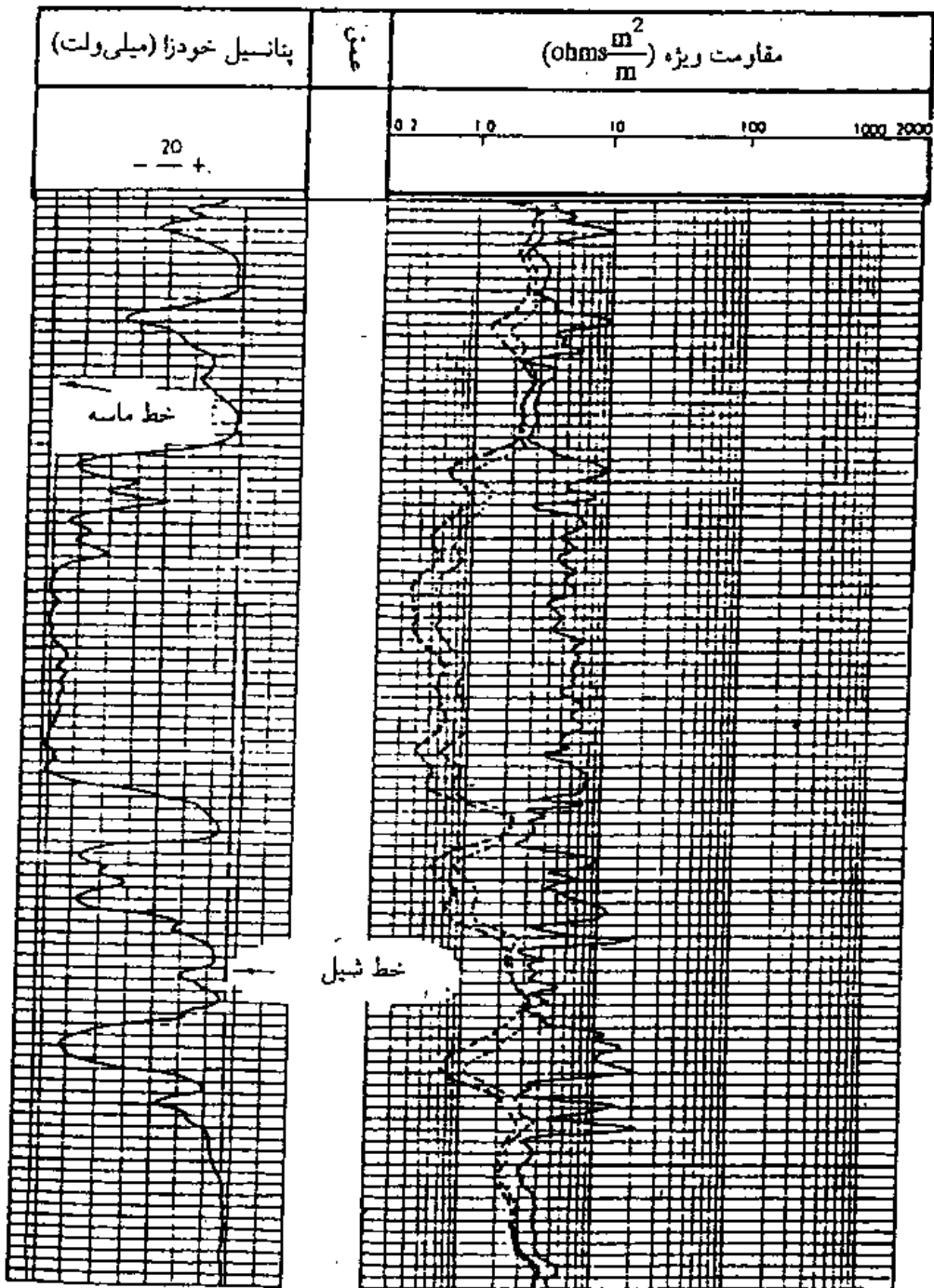


اثر مغناطیس شدن روی S.P.

GR (API) 0.0 150.0  
SP (MV) 160.0 40.00

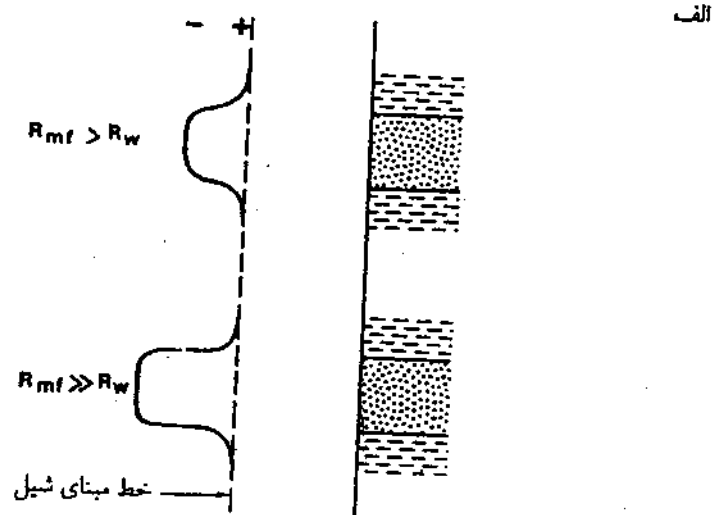


اثر جریانهای تلوریک روی S.P.



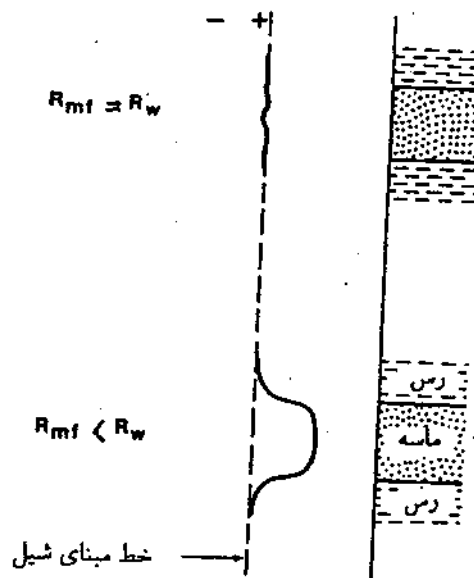
مثالی از S.P. بر روی مجموعه‌ای از ماسه و رس (از شلومبرگر).

عوامل مؤثر بر شکل و دامنه انحراف S.P.  
 الف- اختلاف درجه شوری سیالات شامل تراویده گل  $R_{mf}$  و  
 آب سازند  $R_w$  در تماس با یکدیگر.



فرمال S.P.

S.P. پهن



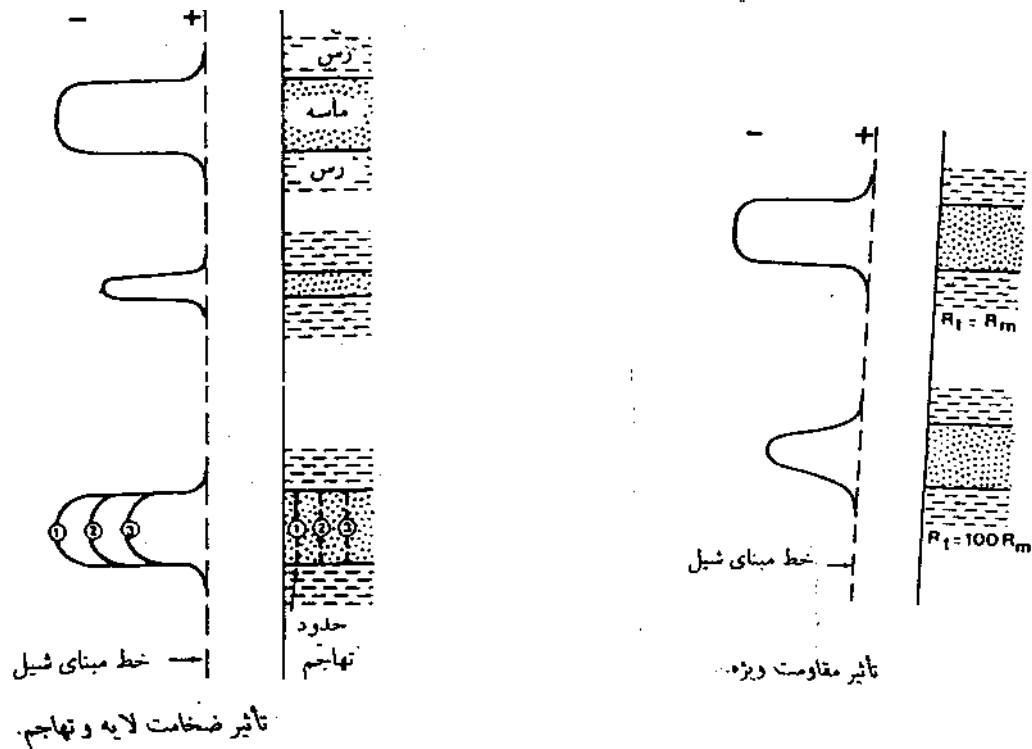
S.P. معکوس

تأثیر شوری.



## ب- تأثیر ضخامت لایه تراوا بر S.P.

معمولاً نقاط عطف منحنی S.P. مرز بین لایه‌های رس و تراوا را مشخص می‌کند، برای لایه‌های ضخیم میزان انحراف حداکثر بوده و نوک منحنی به یک قسمت پهن تبدیل می‌شود. منحنی مربوط به لایه‌های نازک تراوا بصورت یک پیک باریک بوده و به پتانسیل استاتیک نمی‌رسد. در صورت ثابت بودن شرایط، افزایش قطر چاه و وسعت منطقه تهاجم باعث کاهش مقدار انحراف S.P. می‌شود.



## ج- تأثیر مقاومت ویژه لایه بر روی S.P.

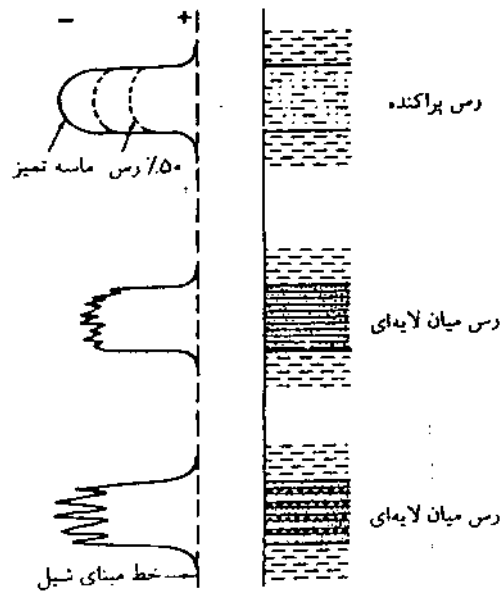
لایه‌های تراوا با مقاومت ویژه بالا، مانع توسعه جریانهای S.P. و در نتیجه انحراف S.P. گشته و مرزهای لایه با وضوح کمتری نشان داده می‌شوند.

## د- تأثیر حضور رس در لایه‌ها بر S.P.

چنانچه درون سازند آبدار (اکیدفر) کانی رس وجود داشته باشد دامنه انحراف S.P. بصورت یک تابع خطی از درصد رس موجود، کاهش می‌یابد. مثلاً چنانچه معادل ۲۵٪ حجم یک سازند آبدار را کانی رس پر کرده باشد، انحراف S.P. مقدار ۲۵٪ کاهش می‌یابد. به کمک این موضوع می‌توان

مقدار درصد رس موجود در يك مخزن را از روي منحنی S.P. محاسبه کرد.

در لایه های نازک متناوب رس و ماسه، انحراف S.P. با مقدار نسبی دو نوع سازند و تباین مقاومت ویژه ایشان تغییر می‌کند.



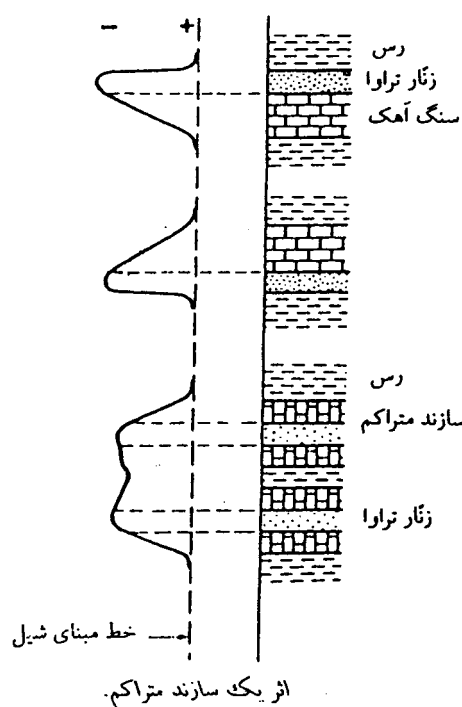
تأثیر حضور رس.

#### ۵- اثر سازندهای متراکم بر S.P.

تغییر در يك مجموعه متوالي از لایه های متراکم سنگی مثلاً سنگ آهک تراوا و لایه رس غیر تراوا اغلب دشوار و بشرح زیر است:

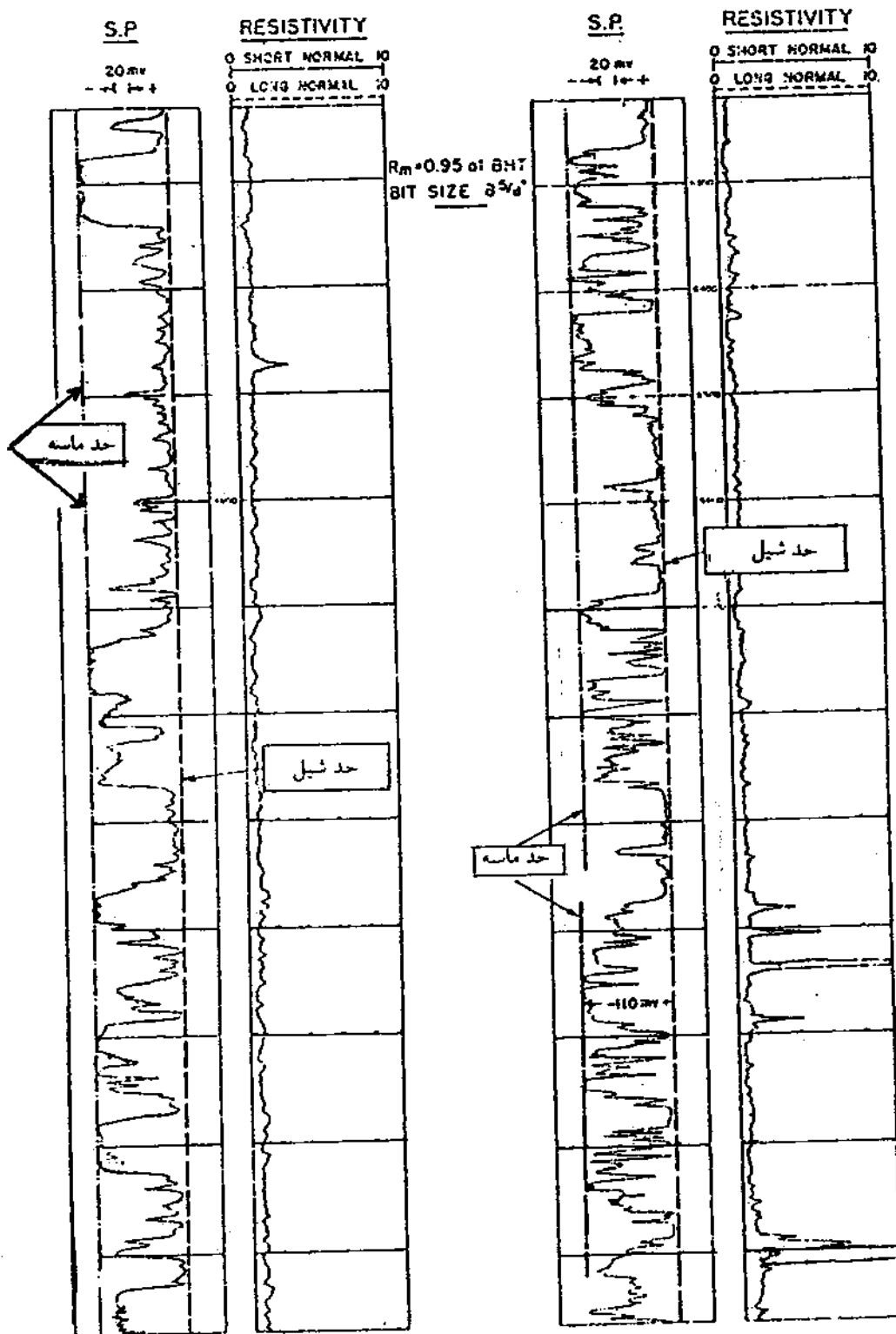
- لایه های رس مابین لایه های متراکم مثلاً سنگ آهک بوسیله يك تغییر در شیب منحنی S.P. مشخص می‌گردند.  
- افقهای تراوا سبب تغییر شیب منحنی که اغلب با يك خمیدگی که تقعر آن بطرف خط شیل است، مشخص می‌گردند.

- نمودار S.P. در مقابل سازندهای متراکم عموماً بصورت خط مستقیم است.

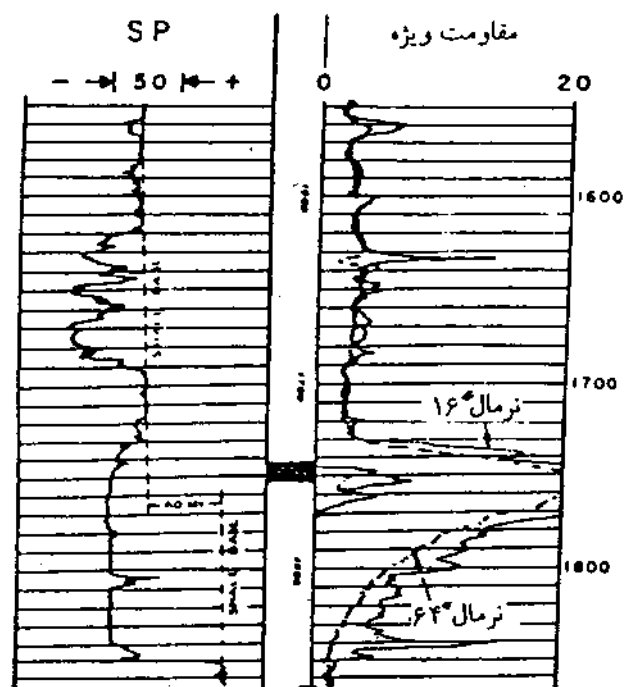


#### و- جایگاهی در خط مبنای شیل در منحنی S.P.

تغییرات در خط مبنای شیل ممکن است در اثر عدم اتصال مناسب الکتروود ثابت مرجع و وجود ناهمگنی در گل حفاری باشد. در اکثر مواقع این جایگاهی ناشی از تغییرات مشخصات زمین از قبیل میزان املاح (شوری)، الکتروولیت (آب) سفره آبدار و یا تغییر ویژگیهای رس می باشد. خط مبنای شیل معرف مقدار ۱۰۰٪ رس است و در خط مبنای ماسه مقدار رس صفر درصد است. از روی منحنی S.P. می توان حجم رس را در یک نقطه معین نسبت به خط مبنای شیل تعیین کرد.



شکل فوق تفسیری از منحنی SP مربوط به حد شیل و حد ماسه در یک لایه می باشد.



جابجایی در خط مبنای شیل.

### ز- اثر تراوایی لایه‌ها بر منحنی S.P.

جریانهای S.P. فقط در حضور لایه‌های متخلخل و تراوا گسترش می‌یابند و این لایه‌ها بر پدیده تهاجم نقش داشته و بر روی S.P. تأثیر می‌کنند.

### ح- اثر بعضی کانیهای خاص بر منحنی S.P.

به جز کانیهای مختلف رسی، سایر کانیهای تشکیل دهنده سنگها بر روی منحنی S.P. تأثیر مستقیم ندارند. بعضی کانیهای رسانا نظیر سولفیدهای فلزی و گرافیت بر روی S.P. ناهنجاریهایی ایجاد می‌کنند. انواعی از زغال سنگها مشابه مخازن آبدار ماسه‌ای سبب انحراف منحنی بطرف منفی (چپ) می‌گردند.

### تفسیر کمی نمودار S.P.

از این نمودار می‌توان مقاومت ویژه آب سازند ( $R_w$ ) را محاسبه کرد.

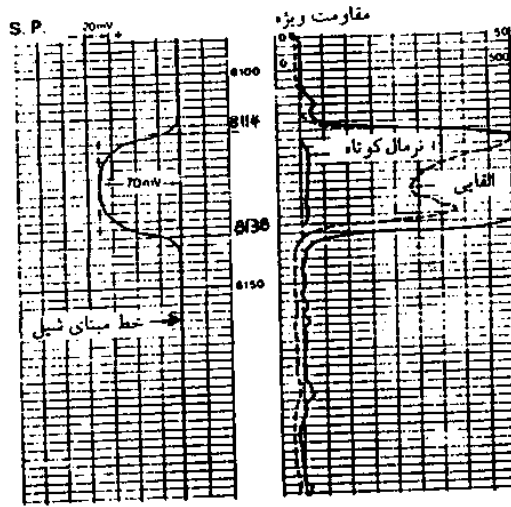
تفسیر کمی S.P. بر اساس فرضیات زیر صورت می‌گیرد:

- آب سازند Connate water و گل حفاری هر دو حاوی NaCl هستند.
- سازندهای ماسه‌ای تمیز و فاقد رس هستند و سازندهای رسی لایه‌های حقیقی رس هستند.
- مقاومت ویژه تراویده گل ( $R_{mf}$ ) بزرگتر از مقاومت ویژه آب سازند  $R_w$  است.
- در بررسی‌های هیدروژئولوژی و شناخت وضعیت سفره‌های آبدار ممکن است آب سازند دارای مقاومت الکتریکی بیشتری از تراویده گل باشد. در این حالت منحنی S.P. معکوس شده و محاسبه  $R_w$  کمی دشوار می‌گردد.

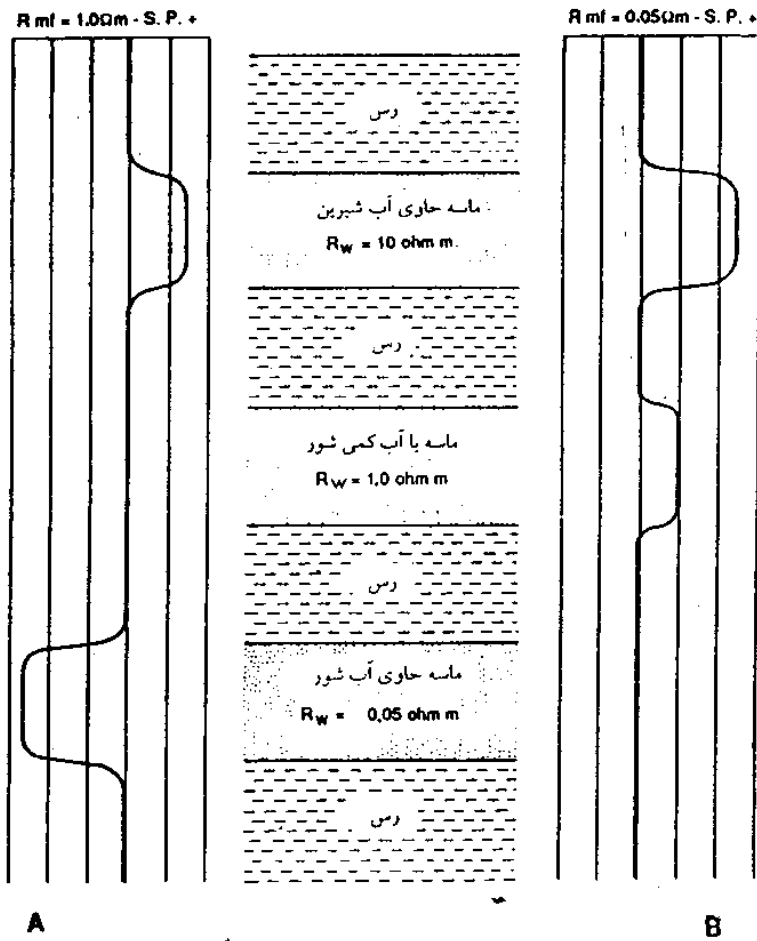
### نحوه تفسیر یک نمودار S.P.

بر طبق شکل، انحراف منحنی نمودار S.P. در حد فاصل اعماق ۸۱۱۴ و ۸۱۳۸ فوت نشانگر وجود یک لایه متخلخل تراوا می‌باشد. خط مبنای شیل بصورت یک خط مستقیم در بالا و پائین ناهنجاری منحنی تعیین می‌شود و ملاحظه می‌گردد که جایجایی ندارد. عمق و ضخامت لایه تراوا بترتیب ۸۱۲۵ و ۲۴ فوت است. مقدار انحراف منحنی S.P. برابر اختلاف بین خط مبنا و پیک منحنی ناهنجاری می‌باشد که در این جا برابر ۷۰- میلی ولت است.

در مطالعه ذخائر آب شیرین باید توجه شود که عامل اصلی ایجاد پتانسیل غشایی مولد جریانهای S.P. تا حد زیادی در نتیجه وجود کاتیونهای دو ظرفیتی  $Ca^{+2}$  و  $Mg^{+2}$  می‌باشد.



مثالی از تفسیر یک نمودار S.P.



نمودار S.P. برای دو نوع مختلف تراویدگی

## ه- نمودارهاي الكتریكي

نمودارهاي الكتریكي توسط انواع مختلفي از سوندها يا الكترودها كه در چاه پائين داده ميشوند، بوسيله اندازه گيري مقاومت ويژه لايه ها به دست مي آيند. اين اندازه گيريها در چاههاي بدون لوله جدار انجام ميشود. انواع سوندهايي كه در كاروتاژ چاههاي آب به كار ميروند شامل نوع تك نقطه (single point) يا يك الكترودي (Monoelectrode) و نوع متمرکز كننده (Focussed Tools) مي باشند.

## الف- نمودار تك نقطه اي يا يك الكترودي

براي ثبت نمودار تك نقطه اي، مقاومت الكتریكي بر حسب اهم بين دو نقطه A كه در واقع همان الكترود متحرك پائين رو درون چاه است و نقطه ثابت الكترود مرجع B مستقر در سطح زمين، اندازه گيري ميشود. چنين نموداري تصويري كيفي از تغييرات مقاومت ويژه سنگها براي بدست آوردن اطلاعات سنگ شناسي معيني، ارائه مي كند.

اين شيوه به صورت يك اهم - متر عمل مي كند. به ازاء جريان ثابت I در مدار، تغييرات پتانسيل مستقيماً با تغييرات مقاومت الكتریكي بين A و B متناسب است و طبق قانون اهم داريم:

$$V=RI$$

مدار تك نقطه اي از چهار مقاومت كه بصورت سري بهم متصل گشته اند بشرح زير تشكيل شده است:

۱- مقاومت كابلها، مدارها و غيره كه براي دستگاههاي معين ثابت در نظر گرفته ميشود.

۲- مقاومت زمين در محل اتصال الكترود مرجع كه بايد ثابت نگه داشته شود.

۳- مقاومت مواد سازنده زمين حد فاصل نقطه A و B كه مقدار آن در هنگام ثبت نمودار كم و نسبتاً ثابت است.

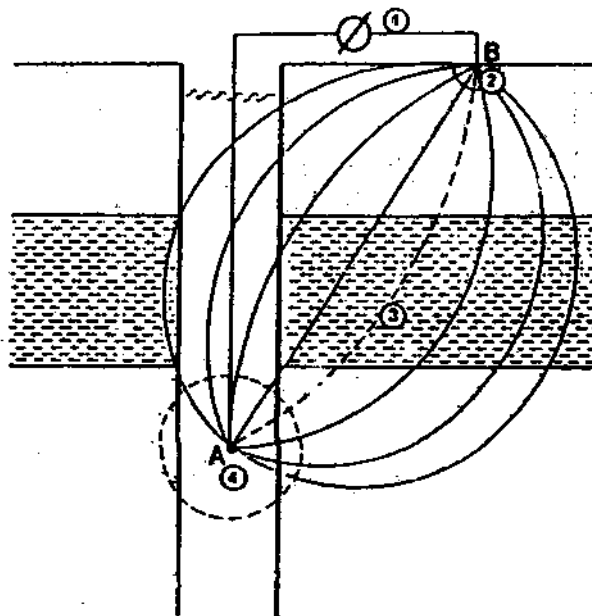
۴- مقاومت در محل اتصال الكترود A با سيال حفاري و محدوده اطراف آن. اين محدوده بصورت كره اي مفروض



که شعاع آن ده برابر قطر الکتروود است، در نظر گرفته می‌شود. حدود ۹۰ درصد مقاومت مدار، مربوط به حجم این کره مفروض و شامل قسمتی از چاه و سنگهای اطراف آن می‌شود.

تغییرات این مقاومت به هنگام نمودارگیری، اطلاعاتی در مورد کیفیت سازندهای موجود ارائه می‌دهد. اگر کیفیت گل حفاری در سرتاسر چاه ثابت بماند، بر روی اندازه‌گیریها تأثیری نخواهد داشت.

لذا از این چهار مقاومت سری، فقط یکی به ویژگیهای سنگهای حفر شده بستگی دارد و بقیه مقاومتها یا ثابت هستند و یا باید ثابت نگه داشته شوند.



اصول نمودار تک نقطه.

برای اندازه‌گیری تغییرات مقاومت در چاه بر حسب اهم بر قسمت و بر روی نمودار، مدار را به گونه‌ای طراحی می‌کنند تا انحراف به سمت راست، معرف افزایش مقاومت بوده و نشان از قرارگرفتن الکتروود A در مقابل یک لایه مقاوم باشد. نمودار تک نقطه را معمولاً همراه با نمودار S.P. ثبت می‌کنند.

برای حذف عوامل مغشوش‌کننده نظیر وجود یک دریفت ناشی از عدم پایداری در محل اتصال زمین، می‌باید ثبت در

حالتیکه سوند اندازه گیر در ته چاه ثابت است، انجام گیرد.

ضمناً از تغییر کیفیت گل حفاری در چاه میباید جلوگیری بعمل آید. در نمودار تک نقطه‌ای میزان عمق نفوذ محدود بوده و فقط ۱۰ برابر قطر الکتروود A است. قدرت تفکیک عمودی برای تشخیص دو لایه متوالی از یکدیگر خیلی خوب بوده و لایه‌های خیلی نازک را نیز ثبت می‌کند.

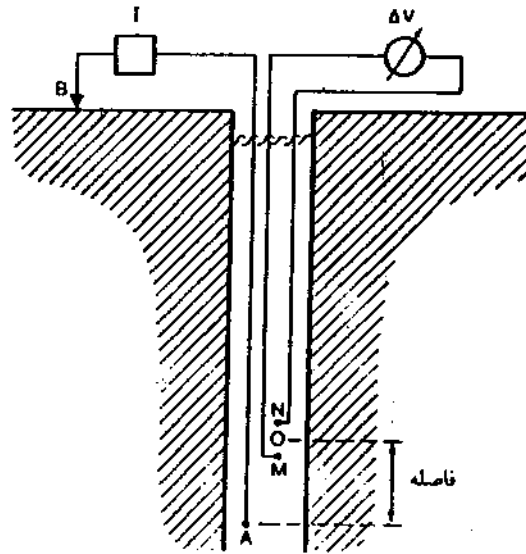
انحرافات منحنی نسبت به وسط لایه متقارن بوده و از روی نقاط عطف منحنی می‌توان مرز لایه‌ها را معین کرد. چون عمق نفوذ این نمودار محدود است لذا از مقاومت ویژه سیال حفاری و تغییرات قطر چاه در مقابل لایه‌های ریزشی متأثر گشته و منحنی آن بصورت عکس منحنی قطر سنجی دیده می‌شود. در حالتیکه مقاومت ویژه سازند به مقاومت ویژه گل حفاری نزدیک می‌گردد، قابلیت تفکیک منحنی کم می‌شود. تشخیص لایه‌های نازک با مقاومت زیاد بعلت عبور جریان الکتریکی از داخل سیال حفاری رساناتر، بسختی صورت می‌گیرد.

تفسیر این نوع نمودار ساده بوده و با افزایش و یا کاهش مقاومت الکتریکی سازند، مقدار مقاومت در روی نمودار افزایش و یا کاهش می‌یابد و همچنین اثرات معکوس شدن که در سوندهای چندالکتروودی وجود دارد، در این نوع دیده نمی‌شود. این نمودار تغییرات سنگ شناسی (لیتولوژی) را به خوبی نشان می‌دهد.

بطور خلاصه این نوع نمودار تشخیص عمودی خیلی خوبی را میسر می‌نماید و میباید همراه یک نمودار قطرسنجی بکار رود تا ناهنجاریهای ناشی از تغییرات قطر چاه را نشان دهد. ضمناً همانند سایر نمودارهای الکتریکی، در چاه‌های بدون لوله جدار و حملو از سیال رسانا استفاده می‌شود.

## ب- سوندهای نرمال (Normal Sonde)

سوندهای نرمال دارای چندین الکتروود برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه لایه‌های حفاری شده و در نتیجه ضخامت این لایه‌ها می‌باشد و اطلاعاتی در رابطه با تخلخل کل و مؤثر (تراوایی) می‌دهد.



اصول سوند جانبی.

### روش اندازه‌گیری و عوامل مغشوش‌کننده

در یک سوند نرمال فاصله بین الکتروود جریان A و الکتروود پتانسیل M را فاصله سوندی می‌نامند که با توجه به نوع اطلاعات موردنیاز، سوندهای با فواصل سوندی متفاوت ساخته می‌شود. نقطه اندازه‌گیری در وسط A و M قرار دارد. اندازه‌گیریها بر حسب اهم-متر بوده و از صفر تا چند هزار متغیر است. مقیاس آن عموماً خطی بوده ولیکن در مواردی ممکن است لگاریتمی باشد.

در مناطق صنعتی بعلاوه وجود پتانسیلهای مزاحم ناشی از جریانهای تلوریک و پارازیت، ثابت نمودارهای الکتریکی دشوار می‌گردد.

### تفسیر کیفی

عمق یا شعاع نفوذ مشخص کننده حجم ماده مورد اندازه گیری است، در سوندهای نرمال مقدار عمق نفوذ با بزرگ شدن AM نسبت مستقیم دارد و بطور کلی شعاع نفوذ را برابر  $2AM$  در نظر می‌گیرند که معادل قدرت تفکیک یا تشخیص عمودی و یا عبارتی تعیین محل لایه است.

سوندهای نرمال مقادیر مقاومت ویژه منطقه بکر ( $R_t$ ) و مقاومت ویژه منطقه شسته شده ( $R_{x0}$ ) را تعیین می‌کند. نمودار معمولاً مقاومت ویژه ظاهری را نشان می‌دهد و تفاوت آن با مقاومت ویژه حقیقی تابعی است از:

- ضخامت لایه و مقاومت ویژه آن

- فاصله  $AM=L$

- قطر چاه

- مقاومت ویژه گل حفاری

- ضخامت منطقه شسته شده در اثر نفوذ گل آب

از تلفیق اطلاعات حاصل از سوندهای با فواصل سوندی مختلف (عمق نفوذ متفاوت) می‌توان  $R_t$  و  $R_{x0}$  رابه دست آورد.

معمولترین سوندها عبارتند از:

- نرمال کوتاه ۱۶ اینچ (short Normal= SN) برای

اندازه‌گیری مقاومت ویژه منطقه شسته شده ( $R_{x0}$ ) به کار می‌رود.

- نرمال بلند ۱۶ اینچ (Long Normal= LN) برای

اندازه‌گیری مقاومت ویژه حقیقی منطقه بکر ( $R_t$ ) به کار می‌رود.

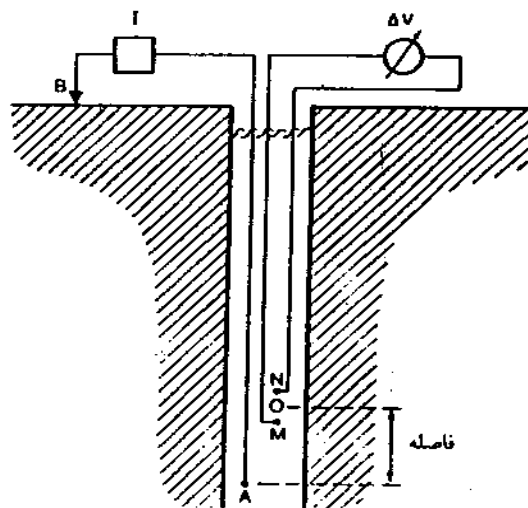
بهترین نمودارهای الکتریکی در مواردیکه مقاومت ویژه گل حفاری بین ۲ تا ۱۰ برابر مقاومت ویژه آب سازند باشد، بدست می‌آید.

چنانچه مقاومت ویژه گل حفاری خیلی زیاد باشد جریان نمی‌تواند به راحتی از آن بگذرد و یا چنانچه خیلی رسانا باشد. جریان الکتریکی در داخل چاه باقی مانده و وارد لایه‌ها نمی‌شود و در نتیجه قدرت تفکیک عمودی منحنی‌های مقاومت ویژه کم می‌گردد. افزایش بیش از اندازه قطر چاه نیز نتایج اندازه‌گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

### ج- سوندهای جانبی (Lateral Sondes)

سوندهای جانبی دارای سه الکتروود بوده و برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه سازندهای مقاوم خیلی مفیدند. این سوندها اطلاعاتی در مورد ضخامت، تداخل و تراوایی لایه‌ها در اختیار قرار می‌دهد. سه الکتروود (A, M, N)

بفواصل ثابتی از یکدیگر قرار دارند. مطابق شکل دو الکترو پتانسیل M و N خیلی بهم نزدیک هستند و الکترو B در بی نهایت قرار دارد.



اصول سوند جانبی.

همانند سوندهای نرمال وقتی مقدار شدت جریان (I) ثابت بماند، اختلاف پتانسیل متناسب با مقاومت ویژه می شود. نقطه اندازه گیری O در وسط MN قرار دارد و OA برابر فاصله سوندی است. مقادیر اندازه گیریهای ثبت شده بر حسب اهم - متر مطلق هستند. چندین فاصله سوندی وجود دارد و معمولترین آنها متر  $OA = 0.7$  است.

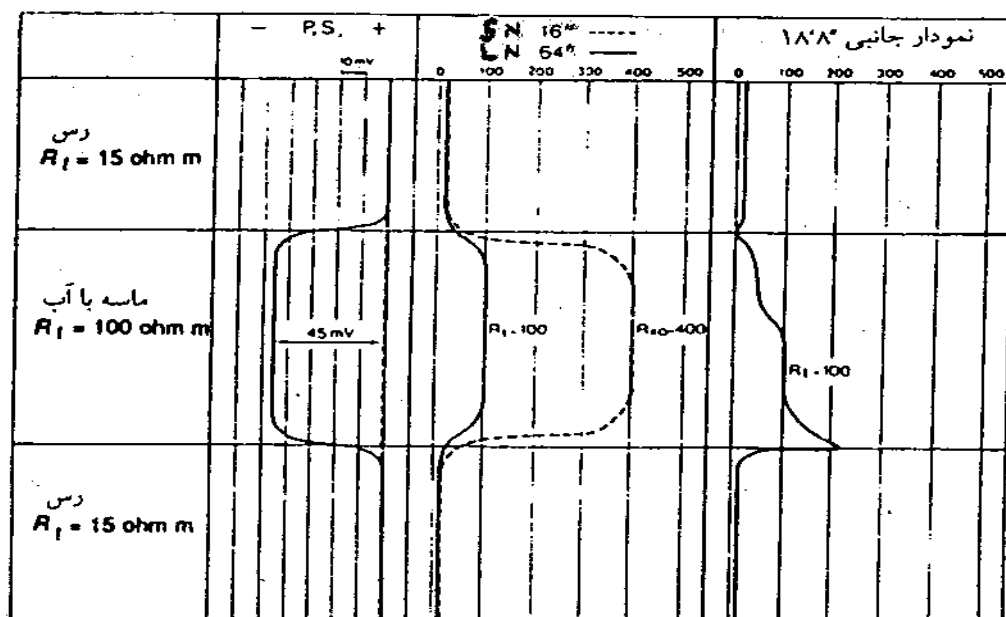
شعاع نفوذ و قدرت تفکیک عمودی مساوی OA و تقریباً ضعیف است. به علت ابعاد بزرگ این نوع سوندها، تأثیر منطقه شسته شده در اندازه گیری ناچیز بوده و بنابراین به تعیین  $R_t$  کمک می کند.

نمودارهای مختلف الکتریکی و S.P. در تخمین پارامترهای مهمی همچون تخلخل، تراوایی و ضخامت لایه کارایی دارند. ضمناً با اندازه گیری مقاومت و ویژه می توان مشخصات سنگشناسی لایه ها را برای انجام کرولاسیون آنها، مشخص نمود.

مقاومت ویژه آب سازند معرف میزان شوری آن است. نمودار S.P. تراوایی را تعیین می کند. اگر منحنی S.P. منطبق بر خط شیل شود، تراوایی خیلی کم و یا صفر می گردد.

چنانچه  $R_{mf}$  بزرگتر از  $R_w$  باشد، منحنی به سمت چپ منحرف شده و معرف وجود لایه های تراوا است. اگر مقادیر مقاومت و ویژه نمودارهای نرمال کوتاه، نرمال بلند و جانبی مساوی باشند در اغلب مواقع دلالت بر عدم تهاجم و در نتیجه وجود یک لایه ناتراوا خواهد

بود. منحنی‌های نرمال کوتاه برای تعیین تخلخل به کار می‌روند. ضخامت مخزن را به کمک سوندهای نرمال و نمودارهای جانبی و S.P. بدست می‌آورند. مقاومت ویژه حقیقی سازند توسط سوندهای مختلف الکتریکی و مقاومت ویژه آب سازند بوسیله منحنی‌های S.P. برآورد می‌گردد. برای جلوگیری از بروز اشتباه، در تفسیر صحیح نمودارهای الکتریکی باید دقت شود. پیک‌های انعکاس، گودیها و خمیدگیهای منحنی‌ها، معکوس شدن و مناطق کور از موارد گمراه کننده هستند.



ابزارهای چاه‌پیمایی و کاربرد آنها.

رده نمودار	نوع نمودار	پارامتر اندازه‌گیری شده، واحد	کاربرد خاص	کاربرد عام	ملاحظات
الکتریکی	* S.P.	پستانبیل خودزا، میلی ولت بر قسمت	کرولاسیون چینه‌شناسی، ضخامت لایه، تعیین لایه‌های متخلخل و غیرمتخلخل، تشخیص زئاره‌های آب شور و شیرین در چاه‌های حفاری شده با گل، میزبان رس، افق‌های رسی ناتراوا	عموماً به صورت کیفی برای کرولاسیون لایه‌ها در چاه‌های آب به کار می‌رود. ضمناً برای تعیین ماهیت آب سازند کاربرد دارد.	به طور کلی برای چاه‌های آب زیاد مفید نیست. در مورد این نمودار عوامل مغشوش کننده زیادی وجود دارد.
	* تک نقطه	مقاومت الکتریکی اهم بر قسمت در مقیاس معین	کرولاسیون لایه‌ها، مرزهای لایه، در چاه‌های با قطر کوچک قدرت تفکیک خیلی خوب دارد.	—	نفوذ جریان کم، برای چاه‌های با قطر زیاد سوند خوبی نیست.
	* ترمال کوتاه ۱۶" یا ترمال بلند ۶۴"	مقاومت ویژه، اهم - متر	کرولاسیون، تعیین مقاومت ویژه سازند (R <sub>h</sub> ) با ترمال بلند	—	سوندهای با فاصله‌های سوندی دیگر نیز استفاده می‌شوند.
	ابزارهای متمرکز	مقاومت ویژه، اهم - متر	تعیین مقاومت ویژه سازند به طور مؤثر (R <sub>h</sub> )	—	عمدتاً در صنعت نفت به کار می‌روند.
	میکرولاگ	مقاومت ویژه، اهم - متر	مقاومت ویژه اندود گل، مقاومت ویژه زئار مرورد نه‌اجم (شسته شده) (R <sub>200</sub> )	—	—
الفابی	با فاصله سوندی بزرگ، متوسط و کوچک	مقاومت ویژه، میلی موهوس بر متر عکس اهم - متر	اندازه‌گیری مقاومت ویژه سازند	عمدتاً در صنعت نفت در چاه‌های باز یا چاه‌های پر شده با سیال غیررسانا به کار می‌رود. در چاه‌های با لوله چداری پلاستیکی نیز می‌توان به کار برد.	به طور کلی در چاه‌پیمایی چاه‌های آب استفاده نمی‌شود.
هسته‌ای	* اشعه گاما	رادیواکتیویته طبیعی: CPS (شمارش در ثانیه) یا API	به حضور رس حساس است. برای کرولاسیون چینه‌شناسی در چاه‌های دارای لوله چداری یا چاه‌های باز به کار می‌رود.	کشف لایه‌های حاوی کانیهای رادیواکتیو	دستگاه‌های این روش نسبتاً گرانقیمت است. این نمودار همراه با نمودار S.P. و نمودارهای الکتریکی در چاه‌های آب به کار می‌رود.
	* گاما - گاما	چگالی: CPS یا API، چگالی بر حسب g/cm <sup>3</sup>	اگر دستگاه به طور مناسب کالیبره و در برابر اثرات چاه خوب تنظیم شده باشد برای تعیین چگالی و تخلخل به کار می‌رود.	عموماً بعنوان ابزار تعیین تخلخل به کار می‌رود. ضمناً برای تعیین سنگ‌شناسی و کرولاسیون لایه‌ها مفید است.	دستگاه‌های کوچک و جمع و جور آن قابل دسترس است ولی عموماً کالیبره نمی‌شوند.
	* نوترون	تخلخل: CPS یا API	غالباً برای تخمین درصد رطوبت بالای سطح آب زیرزمینی و تخلخل کل زئار آبدار به کار می‌رود.	—	دستگاه پیچیده‌ای دارد.
صوتی	با سیستم‌های یک یا دو گیرنده	زمان عبور: بر حسب میکروثانیه بر فوت	تخلخل برای مقادیر بیش از ۷۵٪	کشف شکستگیها و کرولاسیون لایه‌ها	به طور کلی خیلی گرانقیمت است و بندرت در چاه‌های هیدروژئولوژی به کار می‌رود.

ابزارهای چاه‌پیمایی و کاربرد آنها (ادامه).

رده نمودار	نوع نمودار	پارامتر اندازه‌گیری شده، واحد	کاربرد خاص	کاربرد عام	ملاحظات
ستون سیال	* دمای سیال	درجه C	تعیین محلهایی که آب در آنها حرکت دارد. تصحیح برای به دست آوردن $R_p$ .	عمدتاً برای تعیین محل زئارهایی که هرزروی آب یا جریان ورودی آب به چاه دارند.	به طور کلی در چاه‌پیمایی نفت به کار نمی‌رود و در چاه‌پیمایی چاههای آب خیلی اهمیت دارد.
	* مقاومت ویژه سیال	مقاومت ویژه، اهم - متر	برای تعیین موقعیت زئارهایی که آب در آنها حرکت می‌کند و تعیین محل تداخلهای آب شور و شیرین خیلی مفید است.	عمدتاً برای تشخیص هرزروی آب یا جریان ورودی آب به چاه به کار می‌رود.	به طور کلی در چاههای نفت کاربرد ندارد. ولی در چاههای هیدروژئولوژی خیلی مهم است.
	* فلومتر	سرعت جریان: $\frac{cm}{sec}$	پرو قبلی از سرعت جریان آب (برای سرعتهای بزرگتر از $3 \frac{cm}{sec}$ ) به دست می‌دهد.	---	---
قطرسنجی	* ۲ یا ۳ کمانه	قطر چاه بر حسب mm	کرو لاسیون لایه‌ها، کشف شکستگیها، برای تصحیح سایر نمودارها نیز به کار می‌رود.	---	برای تصحیح نمودارهای دیگر مهم است.
تلریزونی	محوری یا شعاعی	---	تحت نظر قرار دادن چاه، و لوله جداری، بازرسی درز و شکافها و حفره‌ها	---	قیمت دستگاه در حد قابل توجهی متغیر است.
نمودار لوله جداری		سوندهای الکترومغناطیس برای تعیین محل درزه‌های لوله جداری	---	---	---

\* نمودارهایی که غالباً در اکتشاف آب به کار می‌روند.

تلفیق نمودارها برای مسائل مختلف هیدروژئولوژی.

نوع مسئله	نمودارهای مورد استفاده
سنگ‌شناسی، کرو لاسیون، چینه‌شناسی آبخوانها و سنگهای همراه	نمودارهای قطرسنجی، الکتریکی، اشعه گاما، صوتی، نوترون، چگالی: در چاههای باز نمودارهای هسته‌ای: در چاههای دارای لوله جداری یا چاههای باز
تخلخل بین دانه‌های اولیه	نمودارهای نوترون، چگالی، صوتی: در چاههای باز نمودارهای نوترون، چگالی: در چاههای دارای لوله جداری
تخلخل ثانویه، شکستگیها	نمودارهای صوتی، قطرسنجی، میکرو لاگ الکتریکی: در چاههای باز
میزان رس، تراوایی	نمودارهای S.P. و اشعه گاما: در چاههای باز نمودار گاما: در چاههای دارای لوله جداری
تراوایی = هدایت هیدرولیکی	اندازه‌گیری مستقیم ندارد. می‌توان از روی اندازه‌گیری تخلخل و مقاومت ویژه به دست آورد.
جهت و سرعت جریان سیال	دما و مقاومت ویژه سیال، فلومتر: در چاههای باز
خواص فیزیکی و شیمیایی آب سازند	نمودارهای S.P.، مقاومت ویژه و دمای سازند: در چاههای باز
انتخاب زئاری که باید اسکریبن نصب شود	تمام نمودارهایی که در مورد سنگ‌شناسی، ویژگیهای زئار آبدار، کرو لاسیون لایه‌ها و ضخامت آبخوان اطلاعات می‌دهند.



## ۶- نمودارهای هسته‌ای

نمودارهای رادیواکتیو را می‌توان در چاههای دارای لوله جدار و یا بدون آن و نیز چاههای پر شده از هر نوع سیال حفاری، به کار برد. معمولترین این نمودارها عبارتند از: نمودار اشعه گاما بطریق اندازه‌گیری رادیواکتیویته طبیعی لایه‌ها، نمودار گاما-گاما و نمودار نوترون که به طریق القاء رادیواکتیو به لایه‌ها قابل اجراء هستند. تشعشعات گاما ( $\gamma$ ) یا فوتونهای با انرژی زیاد و قدرت نفوذ بالا که از درون هسته اتم عناصر رادیواکتیو تابش می‌شوند، اساس اندازه‌گیری‌ها در چاه‌پیمائی می‌باشد.

دستگاههای اندازه‌گیر رادیواکتیویته طبیعی یا مصنوعی، تعداد ذرات برخورد شده به آشکارساز را در یک دوره معین (Period) ثبت می‌کنند.

(تعداد شمارش‌ها در ثانیه  $\text{Counts per second} = \text{c.p.s}$ )

## ۷- نمودارهای اشعه گاما

در این روش نمودارگیری، میزان رادیواکتیویته طبیعی سنگها، اندازه‌گیری می‌شوند و بکمک آن وضعیت سنگشناسی (Lithology) معین می‌گردد. برای مثال لایه‌های زغال سنگ، رسوبات تبخیری و یا افقهای رسی که سنگ کف سفره‌های آبی را تشکیل می‌دهند، مشخص می‌شوند. همچنین مقدار درصد رس موجود در ماسه‌ها قابل تخمین است.

نمودار گاما را می‌توان در چاههای لوله‌گذاری شده و یا بدون لوله، چاههای حاوی گل حفاری مقاوم (غیرهادی) و یا دارای هوا اجراء نمود.

سه عنصر ایزوتوپ رادیواکتیو که در نمودارگیری هسته‌ای اهمیت دارند عبارتند از:

الف- اورانیوم ( $^{238}\text{U}$ )

این عنصر تشعشعات گاما با انرژی زیاد از خود ساطع می‌کند. فراوانی آن در پوسته زمین ۲ تا ۳PPm است یک گرم اورانیوم با فرآورده‌های واپاشی آن کلاً ۳۳۴۰۰ فوتون گاما در ثانیه ساطع می‌کند.

ب- توریم ( $^{232}\text{Th}$ )

این عنصر نسبت به اورانیوم فعالیت کمتری دارد ولیکن انرژی تشعشع گامای آن نسبت به اورانیوم بیشتر است. یک گرم تورنیوم با فرآورده های واپاشی آن ۱۷۴۰۰ فوتون گاما در ثانیه ساطع می‌کند.

ج- پتاسیم ( $^{40}\text{K}$ )

ایزوتوپ رادیواکتیو پتاسیم  $^{40}\text{K}$  در حدود ۲/۸ PPM از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. انرژی پرتو گامای آن نسبتاً کم ( $1/46 \text{ Mev}$ ) و یک گرم آن در ثانیه ۲۷۵۸۳ فوتون ساطع می‌کند.

دستگاههایی که در نمودارگیری استفاده می‌شوند، مقدار رادیواکتیویته را در یک فاصله معین از منبع (چشمه source) اندازه می‌گیرند که مقدار آن تابعی است از نوع پرتو، انرژی پرتو، اندازه چشمه و چگالی محیطی که پرتوها از آن عبور می‌کنند.

پتاسیم در بسیاری از کانیهای اصلی تشکیل دهنده سنگها وجود دارد و بهمین علت رسهای حاوی کانی ایلیت، ماسه‌سنگهای فلدسپات دار و میکادار معمولاً رادیواکتیویته بالایی دارند. همچنین درشیلهای سیاه غنی از مواد آلی مقدار رادیواکتیویته زیاد و در مورد سنگهای آهکی کم می‌باشد.

کارایی نمودار گاما در تشخیص رسهای رادیواکتیو که اغلب مرزهای غیرقابل نفوذ مخازن آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند، اهمیت زیادی دارد. در دستگاههای ساده کاربردی برای اکتشاف آب، واحدهای ثبت نمودار گاما صرفاً نسبی بوده و بندرت کالیبره می‌شوند و بصورت شمارش در ثانیه (CPS) و یا شمارش در دقیقه (CPM) هستند. مقدار رادیواکتیویته در نمودارها بطور قراردادی بطرف راست زیاد می‌شود.

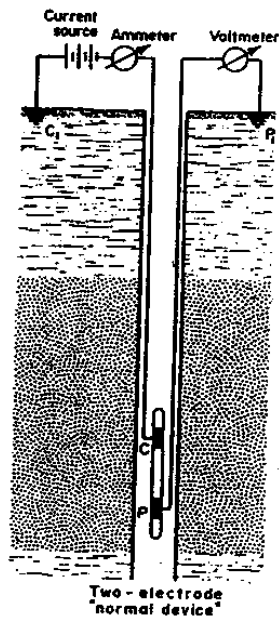
اطلاعاتی که باید روی نمودارها قید گردد عبارتند از:

- نوع آشکارساز و اندازه بلور مربوطه
- زمان مرده سیستم: ثابت زمان و سرعت نمودارگیری
- تاریخ آخرین کالیبره و نتایج حاصل از آن

جهت مقایسه نمودار های دستگاههای مختلف و یا یک دستگاه مشخص در شرایط متفاوت، وجود اطلاعات فوق ضروری است.

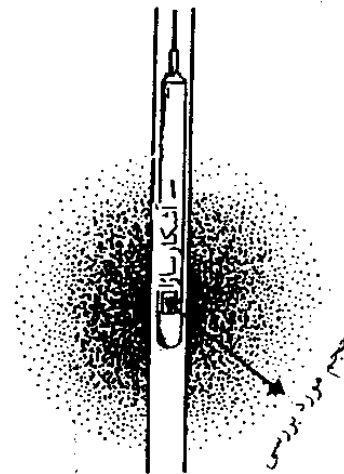
شعاع عمل یا عمق نفوذ سوند اشعه گاما به سنگشناسی و چگالی محیط بستگی دارد.

در یک محیط نسبتاً همگن با چگالی متوسط حجم محیط مورد مطالعه به قطر حدود ۱ متر و در سازندهای چگالتر این قطر کوچک (برای دولومیت ۶۰ سانتیمتر) و در لیگنیتها برابر ۱/۸ متر میباشد.

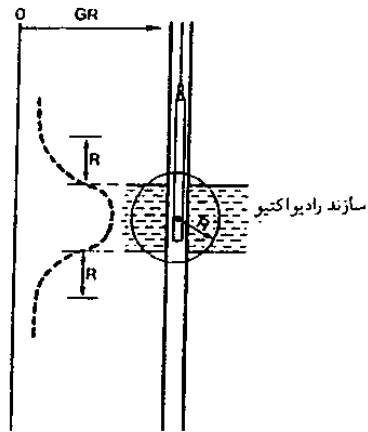


C C<sub>1</sub> = current electrodes P P<sub>1</sub> = potential electrodes

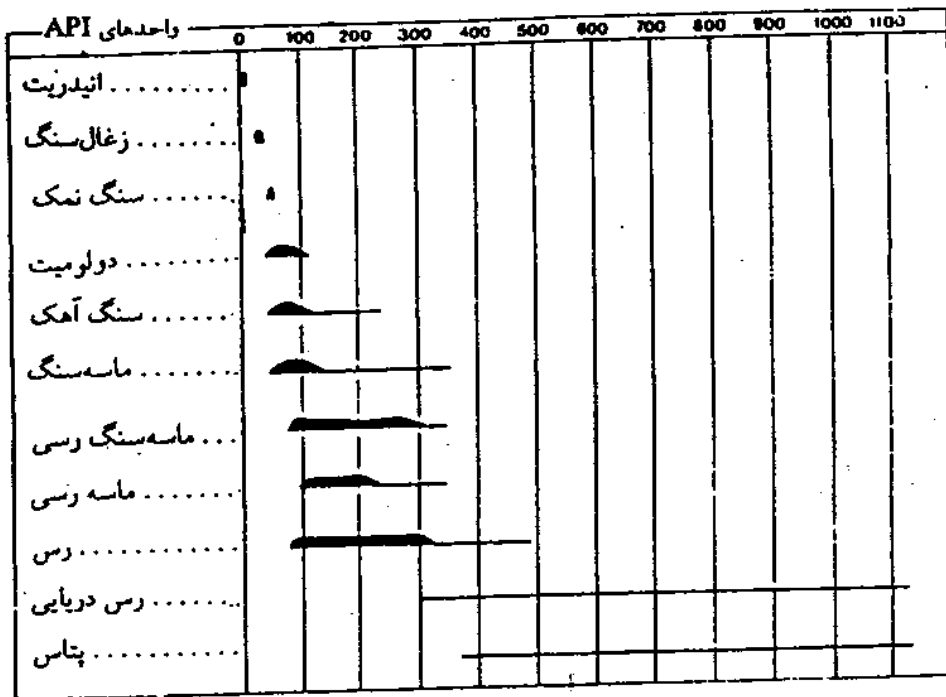
سوند نرمال دو الکترودی



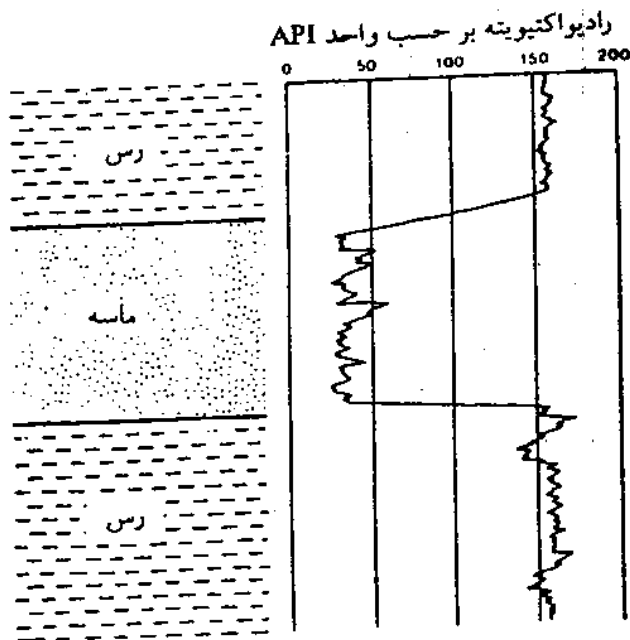
حجم بررسی یک سوند اشعه گاما.



انحراف یک نمودار اشعه گاما در مقابل یک لایه نازک.



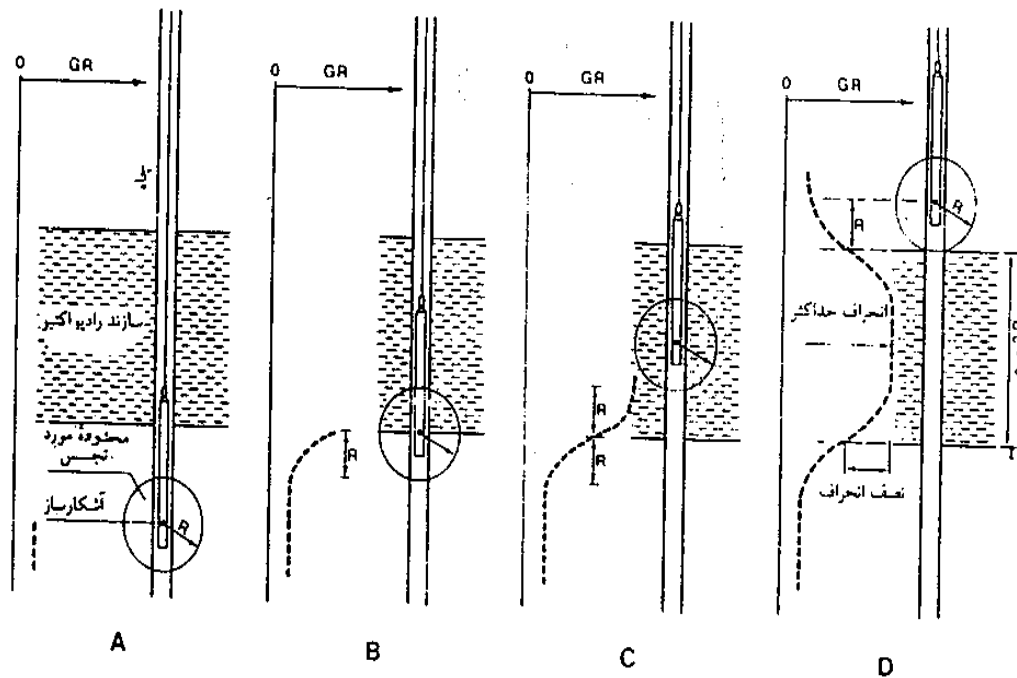
راديو اکتیویته سنگ های رسوبی مهم



راديو اکتیویته طبیعی رسها

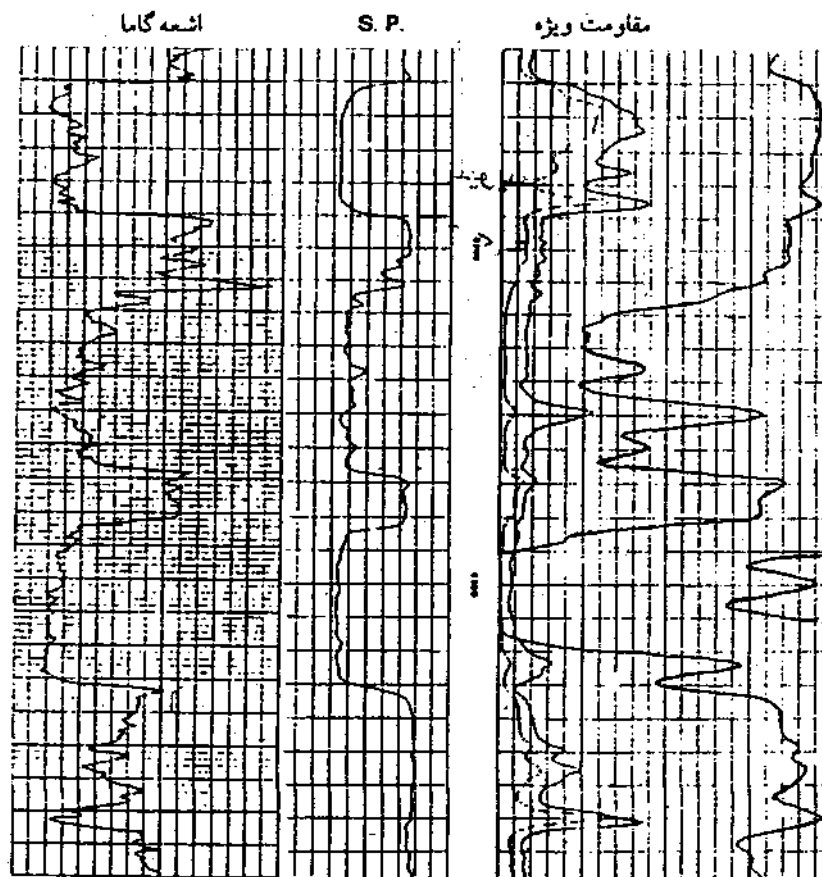
عوامل مؤثر در شکل و دامنه انحراف منحنی‌ها شامل ضخامت لایه، قطر چاه، نوع سیال حفاری و لوله جدار می‌باشد.

اگر ضخامت لایه رادیواکتیو بزرگتر از  $2R$  باشد ( $R$  شعاع عملکرد محدوده تجسس دستگاه است)، مقدار ثابت شده در نقطه عطف (مرز لایه)، برابر نصف دامنه حداکثر می‌باشد. اگر سوند و محدوده مورد تجسس در منطقه رادیواکتیو واقع گردد، مقدار حقیقی رادیواکتیو بدست می‌آید. اگر ضخامت لایه کمتر از  $2R$  باشد، قسمتی از محدوده مورد تجسس، سازندهای مجاور را در بر می‌گیرد و سیگنال حداکثر از مقدار حقیقی رادیواکتیو کمتر می‌شود. اگر رادیواکتیو لایه تغییرات موضعی نداشته باشد، منحنی متقارن خواهد بود.



شکل و دامنه انحراف نمودار اشعه گاما.

اگر قطر چاه زیاد باشد، اشعه گاما برای رسیدن به آشکارساز سوند می‌باید از ضخامت بیشتری از مواد جذب کننده عبور کند و در نتیجه تعداد شمارش‌ها کم می‌شود. وجود آب یا گل حفاری در چاه سبب افزایش تأثیر قطر چاه و موقعیت سوند می‌گردد. وجود باریت در گل حفاری به علت چگالی بالا باعث جذب اشعه و تضعیف سیگنالها می‌شود. حضور KCL سبب ایجاد یک چشمه اضافی رادیواکتیو توسط پتاسیم می‌شود و تأثیر آن برای سوندهای واقع در مرکز چاه بیشتر از سوندهای قرارگرفته در کنار می‌باشد و با افزایش قطر چاه زیادتر می‌گردد. تمامی این اثرات در چاه پرشده از هوا قابل اغماض است. جنس (چگالی) و ضخامت لوله جدار بر تشعشعات تأثیر می‌گذارد.

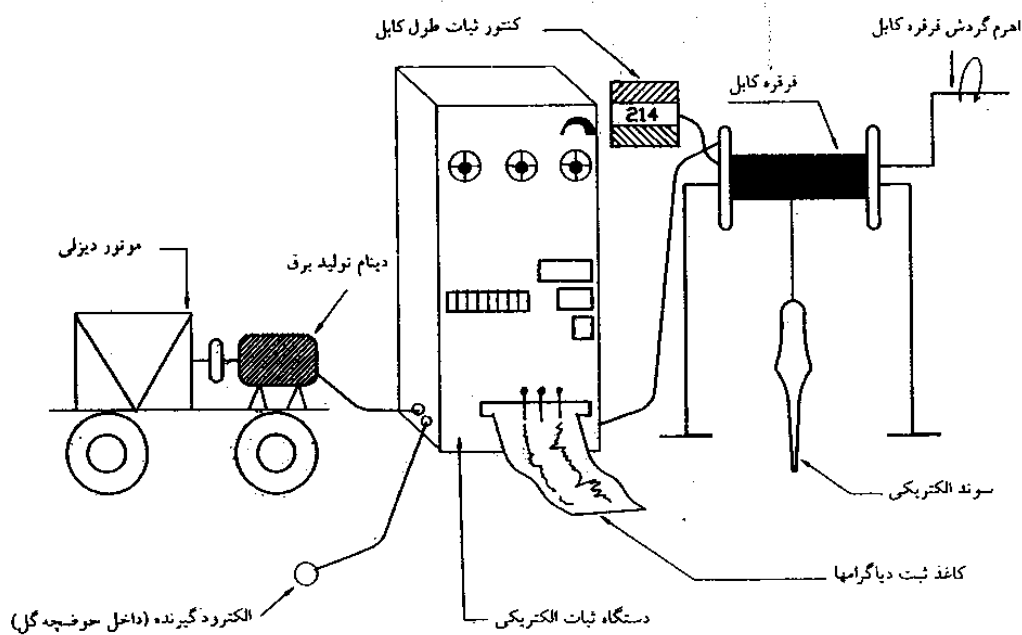


مقایسه نمودارهای اشعه گاما و S.P.

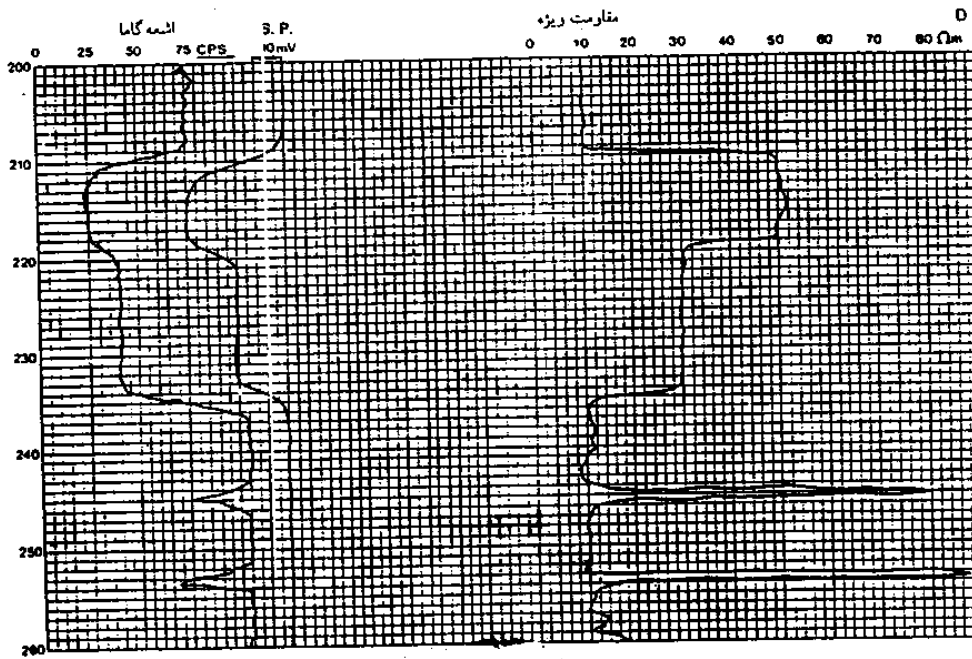
نمودارهاي S.P. و گاما در مجموعه هاي ماسه و رس پا سخيهاي مشابهي نشان مي دهند و تخمين درصد رس را مي سزند و بنا بر اين در مواردی از قبیل وجود لوله جدار، هوا و يا گلهاي مقاوم در چاه و يا وجود جريانهاي سرگردان که مانع ثبت مناسب S.P. مي باشند، از نمودار گاما استفاده مي شود.

بطور كلي مي توان نتيجه گيري نمود که اشعه گاما اطلاعات قابل توجهي به هيدروژئولوژیست مي دهد و لايه هاي غير قابل نفوذ (نا تراوا) را که اغلب لايه هاي رسي هستند، به وضوح مشخص مي کند. در رسوبات آبخوان چنانچه لايه هاي راديواکتیو باشد، دليلی بر رس بودن آن نيست و ممکن است لايه اي از جنس ماسه هاي حاوی فلد سپاتهاي پتاسيک (آرکوز) و يا ماسه ميکادار باشد.

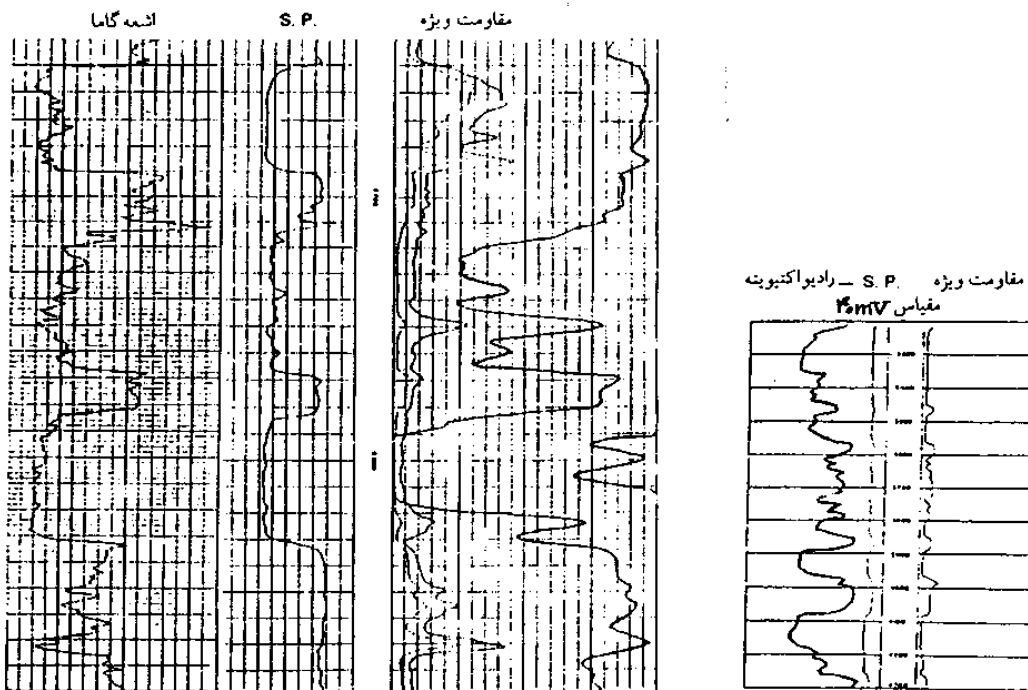
اگر لايه اي فاقد رس بوده و راديواکتیويته نداشته باشد، ممکن است ماسه متخلخل و تميز بوده و يا از جنس انيدريت، سنگ آهک توده اي و يا زغال سنگ باشد.



ساختمان عمومی یک دستگاه الکترو لاکینگ همراه واحد تولید برق



شکل تمرین A



مقایسه نمودارهای اشعه گاما و S.P.

استفاده از نمودار اشعه گاما به عنوان جایگزینی برای S.P.



طبق شکل تمرین A از مطالعه منحنی مقاومت مخصوص، S.P. و گاما در چاهی که کاتینگهای بدست آمده در حین حفاری معرف وجود لایه های ماسه، رس و تناوبی از لایه های سنگ آهک می باشد، می توان این نتایج را بدست آورد:

از عمق ۲۰۰ تا ۲۱۰ فوت لایه رس، از عمق ۲۱۰ تا ۲۱۹ فوت لایه ماسه تمیز، از عمق ۲۱۹ تا ۲۳۵ فوت ماسه همراه با رس، در حد فاصل عمق ۲۳۵ تا ۲۶۰ فوت رس همراه با لایه های سنگ آهک ناتراوا واقع در اعماق ۲۴۵ و ۲۵۳ فوتی.

نمودار S.P. مقدار رس را در عمق ۲۲۷ فوتی ۵۰٪ و نمودار گاما در حالتیکه خط مبنای شیل در ۷۵CPS باشد، ۳۰٪ و چنانچه خط مبنای شیل در ۱۰۵ CPS باشد ۱۹٪ نشان می دهد. مقدار رس بر حسب نمودار مقاومت ویژه ۵۸٪ است. علت اختلاف مقادیر بدست آمده از نمودار اشعه گاما مربوط به اختلاف خط مبنای شیل است.

#### ۸- نمودار گاما- گاما یا چگالی

این نوع نمودار از طریق القاء رادیواکتیویته یعنی بمباران اتمهای یک سازند غیررادیواکتیو، توسط اشعه گاما بدست می آید.

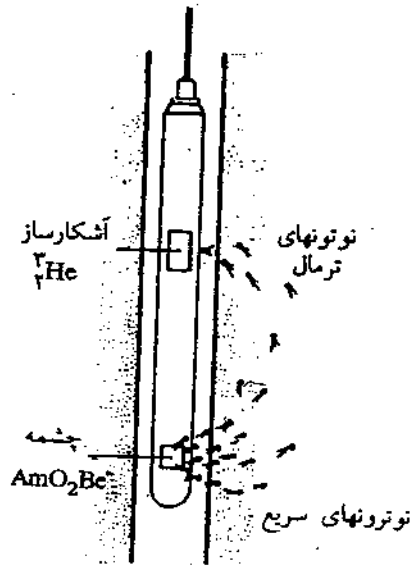
از روی این نمودار می توان چگالی و در نتیجه تخلخل سازندهای مختلف را مطالعه و مشخص نمود. ضمناً این نمودار سطح آب زیرزمینی را به وضوح مشخص می کند.

#### ۹- نمودار نوترون

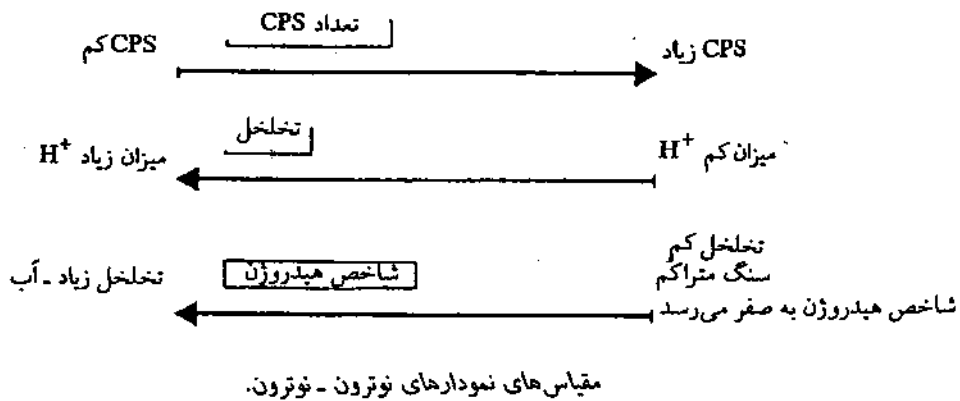
این نمودار در نتیجه بمباران سازند توسط نوترونهای پرسرعت (۱۰۰۰ کیلومتر در ثانیه) و ثبت نوترونهای برگشتی با انرژی معین توسط آشکارسازهای گوناگون بدست می آید.

نمودار نوترون- نوترون در هیدروژنولوژی کاربرد دارد در اثر برخورد نوترون به هسته هیدروژن ملکول آب و شارش نوترونهای کند شده برگشتی می توان مقدار هیدروژن و در نتیجه میزان تخلخل و اشباع لایه را بدست آورد. چون بسیاری از کانیها دارای هیدروژن هستند، لذا تجزیه و تحلیل نمودار نوترون چندان ساده نیست. چشمه ساطع کننده نوترون که در داخل سوند مخصوص کار گذاشته شده است از

جنس بریلیوم - امریسیوم (Beryllium- Americium) می‌باشد که در هر ثانیه  $10^7$  نوترون با انرژی متوسط  $4/5$  MeV تولید می‌کند.



اصول سوند نوترون - نوترون.



مقیاس‌های نمودارهای نوترون - نوترون.

قدرت تفکیک عمودی با فاصله بین چشمه نوترون‌زا و آشکارساز سوند نسبت مستقیم دارد و معمولاً نقطه حد وسط این فاصله همان نقطه اندازه‌گیری در نظر گرفته می‌شود.

اگر فاصله چشمه با آشکارساز بیش از ۳۰ سانتیمتر باشد، در صورتیکه میزان هیدروژن زیاد باشد، عمق بررسی خیلی محدود است و در مورد سنگهای غیاشباع و سازندهای متراکم با تخلخل کم که مقدار درصد هیدروژن کم است، شعاع نفوذ نوترونی بزرگ می‌گردد.

در سنگهای معمولی عمق نفوذ حدود ۳۰ سانتیمتر است. قرائت سوند نوترون مربوط به بخش شسته شده لایه است. لذا محدوده نفوذی در تفسیر نمودار نوترون نقش مهمی دارد و مقدار آن به فاصله بین چشمه و آشکارساز و فراوانی هیدروژن موجود در سازند بستگی دارد. عوامل زیر بر روی نمودار نوترون همانند سایر نمودارهای رادیواکتیو تأثیر می‌کند.

- ثابت زمان و اثر زمان مرده دستگاه

- سرعت نمودارگیری

- دریافت حاصله دستگاه که از طریق کالیبره کردن

متناوب آن اصلاح می‌گردد.

شکل و دامنه انحراف منحنی‌ها به عوامل زیر بستگی

دارد.

الف- ضخامت لایه که از نقاط عطف منحنی بدست می‌آید.

ب- قطر چاه که هر چه بزرگتر باشد، امکان خطا بیشتر

است.

ج- سیال حفاری: گلهای حفاری خیلی شور به علت وجود

یون کلر و کاهش تعداد نوترونهایی که به آشکارساز

میرسد، میزان هیدروژن و در نتیجه تخلخل را زیاد نشان

می‌دهد.

وجود مواد افزودنی فاقد هیدروژن با وزن مخصوص بالا

(نظیر باریت) در گل حفاری منجر به تخمین تخلخل کمتر

می‌شود.

د- لوله جدار فولادی تأثیر قابل توجهی بر روی

نوترونها ندارد و لذا قابل اغماض می‌باشد.

چون بعضی انواع PVC دارای مقدار زیادی ماده کلرین

می‌باشد که تمایل به گیرانداختن نوترونها دارد، لذا با

دانستن ترکیب شیمیایی مواد آن و ضخامت لوله می‌توان

اثر آنرا خنثی کرد.

چنانچه فاصله بین چشمه تشعشع نوترون و آشکار ساز مناسب انتخاب شده باشد، تعداد نوترو نهایی که به آشکار ساز می‌رسند به طور معکوس با غلظت هیدروژن موجود در محیط متناسب خواهند بود. در سنگهای متخلخل واجد آب با اشباع هیدروژنی، نوترون‌های برگشتی ضعیف شده و لذا تعداد شمارش‌ها در ثانیه (CPS) کم می‌شود که نشانگر افزایش تخلخل و در نتیجه افزایش هیدروژن یعنی ازدیاد مقدار آب است. در روی نمودار تعداد شمارش CPS به طرف راست زیاد شده و تخلخل در جهت مخالف کم می‌شود. از نمودار نوترون در تعیین سطح آب زیرزمینی در سازندهای متخلخل خصوصاً شن و ماسه استفاده می‌شود بطوریکه با عبور از یک منطقه اشباع به یک منطقه غیراشباع مقدار هیدروژن بطور ناگهانی کاهش می‌یابد. برای از بین بردن اثر هیدروژن موجود در ترکیب کانی‌های مثلاً رس که مقدار هیدروژن را زیادتراً از مقدار آب موجود نشان می‌دهد، می‌توان از نمودارهای دیگر مثلاً نمودار گاما یا S.P. حجم رس را مشخص نمود. نمودار نوترون در اندازه‌گیری تخلخل خیلی مفید بوده و همانند نمودار چگالی می‌توان از آن برای تعیین مرزهای جانبی و فوقانی آبخوان استفاده کرد.

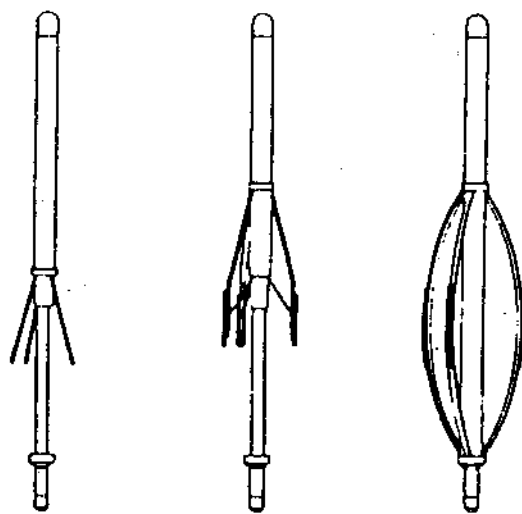
### ۱۰- نمودارهای صوتی

نمودارهای صوتی (Sonic log) در حال حاضر در اکتشافات ذخائر آبی کاربرد چندانی ندارند ولیکن در آینده در برآورد تخلخل و تعیین محل شکستگی‌ها استفاده بیشتری خواهند داشت. این نمودارها از بررسی تغییرات دامنه و تضعیف امواج p بدست می‌آیند.

### ۱۱- نمودار قطر سنجی

در اثر تغییراتی که در قطر چاه حفاری شده بوجود می‌آید، اطلاعاتی در رابطه با سنگشناسی، تراوایی و تخلخل بدست می‌آید. این تغییرات بعلمت ریزش دیواره، تورم لایه‌های رس، بوجود آمدن اندودگل در مقابل سازندهای متخلخل و تراوا و یا تعویض روش حفاری بوجود می‌آید.

برای تصحیح اثرات چاه بر مقادیر اندازه گیری شده بسیاری از نمودارها، ثبت مداوم قطر چاه ضروری است. دستگاه قطر سنج از یک یا چند بازوی مفصلدار و متقارن که بطور مکانیکی در تماس با دیواره چاه هستند، ساخته شده است. این تماس ممکن است توسط بالشتکها، تیغه های ورقه ای فنری، بازو های حساس و ... انجام می شود. تغییرات قطر چاه بر حسب سانتیمتر و یا اینچ ثبت می گردد.



قطر سنج بازودار      قطر سنج بالشتکدار      قطر سنج نیغه ای فنری

#### انواع مختلف قطر سنجها.

فشاری که بازوها بر روی دیواره چاه اعمال می کنند، بر روی کیفیت اطلاعات به دست آمده تأثیر می گذارند. قطر سنجهای بالشتکی و یا تیغه دار نسبت به قطر سنجهای بازودار فشار کمتری روی دیواره چاه وارد می کنند. قطر سنج بازودار برای اندازه گیری ضخامت اندود گل مناسب نیستند زیرا فشار نسبتاً زیاد آنها منجر به بریدن اندود گل و فشردن آن بر روی دیواره چاه می گردد. با دستگاههای موجود فعلی می توان تا قطر ۱۸ اینچ را اندازه گرفت. قدرت تفکیک عمودی لایه ها به نحوه سطح تماس بر روی دیواره چاه بستگی دارد. قطر سنجهای بازودار به علت حساسیت بیشتر نسبت به قطر سنجهای تیغه دار و یا بالشتکدار از قدرت تفکیک بالاتری برخوردارند.

نمودارهای قطرسنجی برای تصحیح نمودارهای سایر سوندها، استفاده میشوند و میتوانند اطلاعات سنگشناسی به این شرح داشته باشند.

در بخشهای رسوبات سست مثل ماسه، شن و انواعی از سیلتها، دیواره چاه ریزش کرده و گشاد شده است. رسهای با خاصیت قابلیت تورم و بادکردگی و یا وجود قشر ضخیم اندودگل در مقابل سازندهای متخلخل و تراوا سبب تنگ شدن دیواره چاه در این قسمتها میگردد. افزایش ناگهانی قطر چاه معرف وجود شکستگیهای بزرگ است.

## ۱۲- نمودار دما

نمودار دما (Temperature log) برای تصحیح قرائتهای نمودارهای الکتریکی ضرورت دارد. بمنظور تفسیر کمی نمودارهای S.P. و یا الکتریکی لازم است مقاومت ویژه نسبت به دما تصحیح گردد. مقدار دما را نسبت به عمق از طریق پائین دادن یک سوند مخصوص بطور آهسته و پیوسته بدست میآورند.

برای جلوگیری از تغییرات دما بعلمت تلاطم سیال درون چاه در اثر حرکت سوند، نمودار دما را در حین پائین رفتن سوند و قبل از سایر نمودارها برداشت میکنند. در صورت نیاز به تکرار اندازه گیری میباید ۶ تا ۱۲ ساعت سپری گردد تا دما به حالت تعادل برسد.

ثبت دما برای اهداف زیر انجام میشود:

الف- بازرسی سیمانکاری چاهها

ب- تصحیح نمودارهای الکتریکی

ج- تشخیص ناهنجاریهای ناشی از هرز روی گل یا فرار

آب (Water or Mud Loss) و یا بالعکس ورود آب (Water Inflow) به داخل چاه

## ۱۳- نمودار مقاومت ویژه سیال حفاری

این نمودار از اندازه گیری مقاومت ویژه ستون سیال درون چاه حاصل میشود و جهت تصحیح نمودارهای الکتریکی و S.P. که از تغییرات مقاومت ویژه گل متأثر شده اند،

کاربرد دارد. ضمناً برای تعیین محل‌های ورود آب به داخل چاه خصوصاً در لایه‌های شکسته استفاده می‌گردد. مقاومت ویژه گل با تغییرات عمق و یا توقف گردش آن دچار تغییرات می‌گردد. همانند نمودار دما، نمودار مقاومت ویژه سیال باید قبل از سایر نمودارها و به هنگام پائین دادن سوند ثبت شود تا اثرات ناشی از تلاطم گل به علت حرکت سوند و کابل آن خنثی شود. مقدار مقاومت ویژه سیال حفاری به عوامل زیر بستگی دارد:

- مقدار و نوع جریان ورودی آب

این نمودار علاوه بر تصحیح نمودارهای الکتریکی و S.P. برای تعیین هم‌پری آب شیرین با آب شور، شوری نسبی آبخوانهای مختلف و میزان جریان ورودی آب خصوصاً در مناطق شکسته و خرد شده و همچنین کسب اطلاعات مفیدی در مورد حرکت و ماهیت سیالات آبخوانها کارائی دارد.

### خلاصه مطالب عنوان شده

نمودارها بر اساس اندازه‌گیری خواص فیزیکی لایه‌های حفاری شده اطلاعات هیدروژئولوژیکی مهمی به دست می‌دهند.

تفسیر صحیح داده‌های ژئوفیزیکی منجر به کسب نتایج زمین‌شناسی می‌گردد.

معمولترین دستگاه چاه‌پیمائی از یک یا دو سوند الکتریکی و یک ابزار اشعه گاما تشکیل شده است. قوانین و شرایط نمودارگیری برای کسب حداکثر اطلاعات بشرح زیر است:

الف- جنس سیال حفاری

ب- جنس لوله جدار

ج- نمودارهای S.P. و تمامی نمودارهای الکتریکی فقط در چاههای دارای آب یا گل حفاری رسانا قابل اجراء است.

د- اکثر نمودارهای الکتریکی در چاههای بدون لوله جدار قابل اجراء هستند به استثناء چاههایی که لوله پلاستیکی پیش ساخته و دقیق داشته باشند. چاههای دارای لوله جدار فلزی امکان استفاده از تمام نمودارهای فوق را حذف می‌کند.

ه- نمودارهاي هسته‌اي در چاههاي باز و يا داراي لوله  
جداري قابل اجراء هستند.  
و- در چاههاي خشك و يا داراي كف ( فوم ) نمي توان  
نمودار صوتي را اجراء كرد.

### الف- عمليات مقدماتي قبل از نمودارگيري

الف- جمع آوري كليده اطلاعات چاه، تغييرات ابزار حفاري  
در حين كار، تغييرات نوع سيال حفاري، قطر اسمي چاه،  
نقاط هرز روي گل، بررسي لاگ زمين شناسي چاه.

ب- تهيه نمونه گل حفاري استفاده شده براي تعيين  $R_{mc}$ ,  
 $R_{mf}$ ,  $R_m$

ج- تعيين ترتيب ثابت نمودارها با در نظر گرفتن اينكه  
نمودار دما و مقاومت ويژه سيال بايد قبل از هر نوع  
عملياتي بصورت حركت آرام و كم سرعت رو به پائين سوند  
ثابت شود.

د- بررسي كيفيت چاه قبل از پائين داد چشمه  
راديواكتيو.

ه- انتخاب يك مقياس عمودي يكسان براي تمام نمودارها.  
و- انتخاب نقطه مبناي عمق



## ب- چگونگی مراحل ثبت نمودارها

بعد از کالیبره کردن دستگاه و بهنگام پائین راندن سوندها، اپراتور باید مقیاس ها را انتخاب و حتی الامکان برای تمامی نمودارهای الکتریکی از مقیاس مشابه و یکسان استفاده کند.

با قرار گرفتن سوندها در ته چاه، میزان انحراف مرجع برای تمام نمودارهای الکتریکی مشخص و نوسانات آماری برای نمودارهای هسته ای ثبت شود.

جهت ارزیابی کیفی نمودارها، بهتر است در حد امکان بر روی چند متر از طول چاه یک قسمت تکرار (Repeat section) که دوبار ثبت شده است، اجراء شود.

و بالاخره انتخاب، تنظیم و یادداشت پارامترهای ثبت شامل ثابت زمان، جابجائی خط صفر، سرعت نمودارگیری و ... صورت گیرد.

## ج- چگونگی مراحل بعد از ثبت نمودارها

بعد از اتمام ثبت تمامی نمودارها میباید دقت شود که نمودارها از نظر وضوح درج مقیاسهای عمودی و افقی، کامل باشند. همچنین میباید تمامی وقایع هنگام نمودارگیری در زیرنویس یادداشت شود.

## د- چگونگی مراحل تفسیر

ابتدا ژئوفیزیست با تطابق مقیاس عمودی نمودارهای مختلف و تشکیل یک نمودار مرکب (Composite log) کلیه اطلاعات نمودارها را جهت استفاده هیدروژئولوژیست بدین صورت تفسیر مینماید.

- آیا مخزن آبی وجود دارد؟

- محل و ویژگی مخزن و کیفیت فیزیکی آب آن چگونه

است؟

## ه- توصیف مخازن

برخی ویژگیهای مخزن در ارتباط با تخلخل، تراوایی و کیفیت آب آن از روی هر نمودار به صورت زیر تفسیر میشود.

## و- نمودار S.P.

• تعیین خط مبنای شیل

• تعیین انحراف‌های منفی در حالت  $R_{mf} > R_w$  و انحراف

مثبت در صورتیکه  $R_{mf} < R_w$  باشد.

### ز- نمودار اشعه گاما

• تعیین مناطق دارای رادیواکتیویته کم

ضمناً دقت گردد بعضی لایه‌های ماسه‌ای ممکن است رادیواکتیو باشند و یا اینکه رس‌های غیر رادیواکتیو وجود داشته باشد.

### ح- نمودار قطر سنجی

• مشخص نمودن بخش‌هایی که در مقابل آنها اندود گل

تشکیل شده است.

### ط- نمودارهای تخلخل شامل نوترون، چگالی و صوتی

\* تعیین بخش‌های متخلخل: بجز در حضور هوا و یا وجود تخلخل ثانویه، در بقیه موارد بخش‌های متخلخل به دست آمده از نمودارهای مختلف باید تقریباً مشابه باشند. لازم به ذکر است بعضی کانی‌ها بخصوص ژئپس (گچ) دارای هیدروژن زیادی هستند که ممکن است تفسیر را پیچیده کنند. ضمناً مرزهای مخزن از روی نقاط عطف نمودارهای مختلف به دست می‌آیند.

### - ویژگی‌های مخازن

#### الف- تخلخل

تعیین تخلخل به سنگ‌شناسی بستگی دارد. چنانچه چگالی زمینه معلوم باشد با اندازه‌گیری آن در نمودارهای صوتی میتوان تخلخل را برآورده کرد. نمودارهای الکتریکی نیز برای تخمین تخلخل استفاده می‌شوند.

#### ب- تراوایی

تراوایی با تخلخل مؤثر مربوط است و برآورد مستقیم آن مشکل می‌باشد. با افزایش مقدار رس میزان تراوایی کاهش می‌یابد. مقدار رس را میتوان با استفاده از نمودارهای S.P، اشعه گاما و مقاومت ویژه بدست آورد. چنانچه تمام سوندهای الکتریکی مقادیر مقاومت ویژه را

یکسان نشان دهند و نمودار قطرسنجی عدم وجود اندود گل را تأیید کند، همگی دلالت بر عدم وجود تهاجم گل آب و در نتیجه ناتراوایی سازند است.

### ج- تعیین کیفیت آب مخزن

با اندازه‌گیری شوری آب می‌توان کیفیت فیزیکی آب مخزن را برآورد کرد. تعیین مقاومت ویژه آب سازند  $R_w$  و در نتیجه محاسبه شوری آن به کمک نمودار S.P. انجام پذیر است. جهت تأیید نتایج و حصول اطمینان از صحت آنها می‌توان از نمودارهای الکتریکی بشرح زیر استفاده نمود:  
برای سازندهای تمیز آبدار نسبت  $R_{xo}$  به  $R_t$  باید به نسبت  $R_{mf}$  به  $R_w$  خیلی نزدیک باشد یعنی:

$$\frac{R_{xo}}{R_t} \cong \frac{R_{mf}}{R_w} .$$

مقدار  $R_w$  معمولاً از نمودار نرمال کوتاه و  $R_t$  از نمودار نرمال بلند قرائت شده و چون مقدار  $R_{mf}$  معلوم است لذا می‌توان  $R_w$  را بدست آورد. نتایج حاصل از این دو روش می‌باید یکسان باشد. وجود اختلاف فاحش در نتایج ممکن است در اثر عوامل زیر باشد:

- ضعیف بودن S.P. ، تباین کم شوری، حضور یونهای دوظرفیتی مثبت و وجود S.P. معکوس.
- قرائت اشتباه  $R_t$  ، اندازه‌گیری روی لایه‌های خیلی نازک و یا قرائت اشتباه نمودار جانبی.

لايه هاي شن، ماسه، رس و سيلت داراي مقاومت الكتریكي متفاوتي هستند بطوريكه شن داراي حداكثر مقاومت و رس و سيلت داراي حداقل مقاومت الكتریكي ميباشند و لذا بدینوسیله از هم متمایز میگردند.

تفسیر منحنی ها به تجربه در آن محل خاص نیاز دارد برای مثال لایه های رس حاوی دانه های شن در مناطق یخچالی با يك لایه آبدار (اکیفر) ریگ یا شن ممکن است اشتباه شود.

رس و شیل بعلمت دارا بودن مواد رادیواکتیو بیشتر، بوسیله لاگ گاما از طریق سنجیدن میزان اشعه گاما ساطع شده، از آنها مشخص میگردند.

برای تعیین همبستگی بین دو چاه، از لاگ گاما توأم با لاگ مقاومت الكتریكي استفاده می شود.

لاگ های الكتریكي با دستگاه های ساده تر و با صرفه تر از سایر روش ها، تهیه می شود. و به بهبود عملیات حفاری، نمونه گیری و تکمیل چاه كمك می کند.

در چاه نگاری می توان نوع سنگها را با مطالعه قسمت جامد سنگ شامل خمیره (Matrix) و رس (shale) مشخص نمود. این دو قسمت داراي خواص فیزیكي متفاوتی بوده و ضمناً رس بر روی خواص فیزیكي (تراوایی، درجه اشباع و ... ) سنگها تأثیر می کند.

خمیره به متن اصلی سنگ شامل دانه های متشکله و سیمان بین آنها بجز رس را گویند و در حالیکه فاقد رس باشد به آن خمیره تمیز (Clean Matrix) می گویند.

رسها، کانیهای متورق آلومینو سیلیکاتهای آبدار رسوبی هستند که خواص آنها در برابر پارامترهای چاه نگاری نظیر مقاومت و یژه، پرتو زائی، سرعت حرکت امواج صوتی، پتانسیل خودزا و ... متفاوت می باشد.

دو مشخصه فیزیكي عمده در چاه نگاری اندازه گیری می شود:

**الف- مشخصه های طبیعی** زمین که توسط دستگاه گیرنده ثبت می گردد شامل:

- میزان پرتو زائی اشعه گامای طبیعی

GR(Gamma Ray) , NGS(Natural Gamma Ray Spectrometry)

پتانسیل خودزا SP(Spontaneous Potential)

دما سنجی T(Temperature)

C(Caliper) قطرسنجي  
D(Deviation) انحراف چاه

ب- مشخصه هاي مصنوعي

## B- شرح مطالعات ژئوالکتریک و تشخیص نیاز به انجام آن

در مناطق ناشناخته و مشکوک به وجود ذخائر آب زیرزمینی مطلوب از نظر کمی و کیفی، چنانچه مطالعات زمین‌شناسی سطحی نتواند جواب اطمینان بخشی بدهد و در عین حال نتوان وجود آب را با قاطعیت منتفی دانست، از روشهای مطالعات ژئوفیزیکی برای شناسایی وضعیت لایه‌های زیرزمین و منابع موجود در آنها استفاده می‌کنند.

به منظور بررسی وضعیت ساختمانی سازندها، تفکیک لایه‌ها، تعیین موقعیت و نوع ذخائر زیرزمینی مثل هیدروکربورها، آب و یا مواد معدنی گوناگون و سرانجام مشخص کردن خصوصیات فیزیکی لایه‌ها نظیر ضرائب الاستیک و مقاومت ویژه الکتریکی و ... کاوشهای ژئوفیزیکی انجام می‌شود.

قوانین جاذبه گرانشی و نحوه انتشار امواج الاستیک پاسخگوی چگونگی تأثیر میدانهای مغناطیسی و الکتریکی بر روی مواد متشکله لایه‌های زمین می‌باشد و چنانچه نتایج بدست آمده بطور صحیح تعبیر و تفسیر شوند، اطلاعات مفید و ارزشمندی از وضعیت زمین ساخت محدوده مورد مطالعه و محل تجمع کانیدهای معدنی و سفره‌های آب زیرزمینی در اختیار متخصصین قرار می‌دهد. اساس اکتشافات ژئوفیزیکی با توجه به منشاء کمیتهای فیزیکی مورد بررسی به دو گروه عمده تقسیم می‌شود.

در گروه اول کمیتهای فیزیکی با منشاء طبیعی شامل رادیومتری طبیعی، گران سنجی، مغناطیس سنجی، فاکتورهای حرارتی و مکانیسم زمین‌لرزه‌ها در مهندسی زلزله و تعیین پتانسیل خودزا بررسی می‌گردند.

در گروه دوم که اکثر روشهای معمول ژئوفیزیکی جزو آن می‌باشد، عکس‌العمل زمین و لایه‌ها به جریانات مصنوعی اعمال شده، مورد مطالعه قرار می‌گیرد و شامل روشهای لرزه‌نگاری و الکتریکی می‌باشد. در کاوشهای الکتریکی فاکتورهای مقاومت، پلاریزاسیون القایی (IP)، اکتشافات الکترومغناطیسی (EM) و .... اندازه‌گیری می‌گردند.

در روشهای معمول ژئوفیزیکی وضعیت لایه‌های زمین و تشخیص محل حفره‌ها و شکستگی‌های موجود، ضخامت رسوبات آبرفتی و عمق سنگ کف، برآورد کمی و کیفی آبرفتی

سفره های آبدار زیرزمینی و تعیین پارامترهای دینامیکی و سایر مشخصات فیزیکی لایه ها بررسی و مطالعه می شوند. متداولترین شیوه مطالعات در این روش بررسی های ژئوالکتریکی و لرزه نگاری می باشد که امکان مطالعه لایه ها را تا عمق محدودی میسر می نماید.

### انجام مطالعات ژئوالکتریک

۱- اساس انجام مطالعات ژئوالکتریک بر تعیین مقاومت مخصوص

الکتریکی زمین (Resistivity Measurement) با استفاده از فرمول

$$R \times I = V \text{ (اختلاف پتانسیل)}$$

برنامه ریزی شده است. اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی از روشهای متداول ژئوفیزیکی بمنظور شناسایی نوع رسوبات و ذخائر معدنی فلزی و غیرفلزی و عمدتاً شناسایی سفره های آبی زیرزمینی، می باشد. چون مواد مختلف تشکیل دهنده لایه ها دارای مقاومت ویژه الکتریکی متفاوتی هستند، با استفاده از این روش می توان لایه ها و مواد مختلف را از یکدیگر تفکیک کرد، مقاومت ویژه الکتریکی تابعی از قابلیت هدایت الکتریکی است و بطور کلی به جنس و میزان تراکم کانیهای متشکله سنگ بستگی دارد. بنابراین مقدار مقاومت مخصوص الکتریکی و یا قابلیت هدایت الکتریکی به عوامل متعدد زیر بستگی دارد:

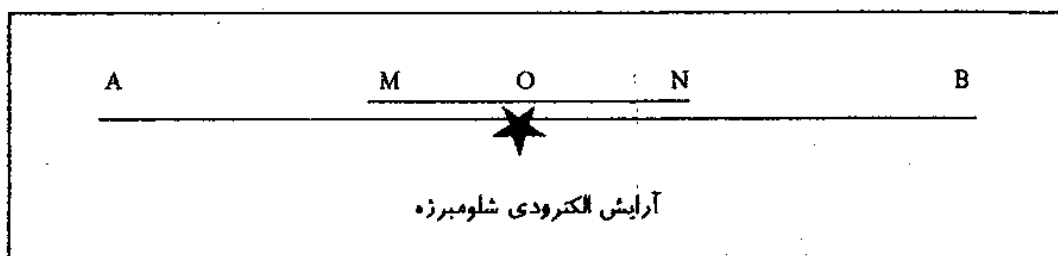
الف- حجم، وضع قرارگرفتن و نحوه ارتباط خلل و فرج و فضاهای باز موجود در سنگ

ب- حجم آب موجود در خلل و فرج و شکستگی ها و قابلیت هدایت الکتریکی آن در ارتباط با مقدار املاح موجود

ج- جنس کانیهای تشکیل دهنده سنگ ها

مقاومت ویژه الکتریکی لایه به وضعیت زمین شناسایی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد و برای تفکیک لایه ها برحسب جنس، علاوه بر اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی آنها می باید مقاومت ویژه تشکیلات زمین شناسی موجود در آن منطقه نیز مطالعه شود.

در این روش ابتدا مقاومت ظاهری الکتریکی زمین با استفاده از دستگاه‌های مربوطه اندازه‌گیری و به کمک داده‌های حاصل می‌توان مقاومت ویژه الکتریکی و ضخامت لایه‌های زیرزمینی را محاسبه نمود. دقت نتایج بدست آمده تابعی از سلامت دستگاه‌ها و کابل‌های جریان، تخصص و مهارت نیروی انسانی، شرایط جوی و عوامل محیطی، می‌باشد. مقدار مقاومت ویژه الکتریکی برخی از انواع آب‌ها و سنگ‌ها در جدول نشان داده شده است.



### روش اندازه‌گیری

تفکیک و شناسایی لایه‌های زمین برحسب مقاومت ویژه الکتریکی آنها توسط سونداژ الکتریکی صورت می‌گیرد، نحوه عمل بدین ترتیب است که یک جریان الکتریکی مستقیم به توسط دو الکتروود جریان A و B از جنس فلز برنج به زمین ارسال شده و همزمان با آن اختلاف پتانسیل دو الکتروود میانی (MN) را در سطح زمین اندازه‌گیری می‌نمایند.

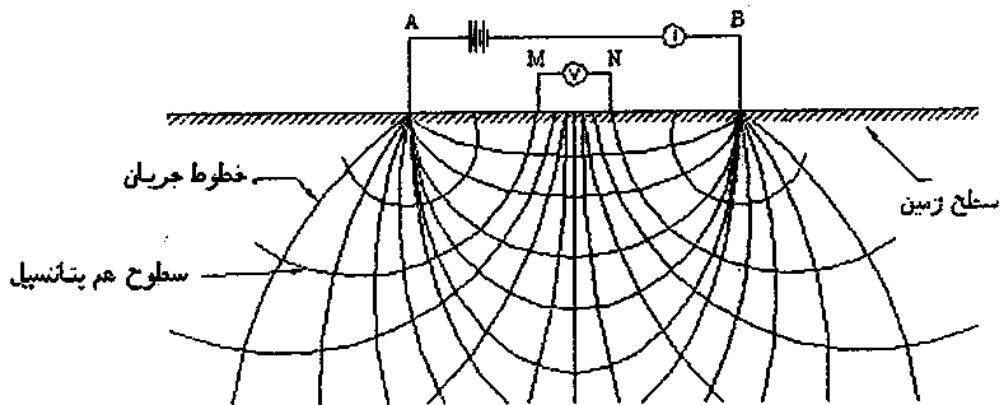
با توجه به نحوه قرارگیری دو الکتروود فرستنده جریان (A و B) و دو الکتروود گیرنده جریان یا ولتاژ (M,N) نسبت به یکدیگر و معلوم بودن مقادیر شدت جریان ارسالی (I) و اختلاف پتانسیل برگشتی (V) در سطح



زمین، با استفاده از فرمول اهم  $R = \frac{V}{I \times K}$  می توان

مقدار مقاومت ویژه الکتریکی را اندازه گیری کرد.

بر اساس نحوه قرار گرفتن الکترودها نسبت به یکدیگر، آرایه های مختلفی نظیر شلومبرژه، ورنر، دو قطبی، قطبی-دو قطبی، هامل و... را می توان نام برد. آرایش شلومبرژه مناسب ترین نوع در انجام سونداژ الکتریکی می باشد. در این نوع آرایه ها دو الکترود فرستنده جریان A و B در طرفین دو الکترود گیرنده جریان M و N و در یک امتداد در سطح زمین قرار می گیرند. این چهار الکترود نسبت به نقطه مرکزی (O) که بعنوان محل انجام سونداژ الکتریک در نظر گرفته می شود، متقارن بوده و همواره فاصله الکترودهای A و B بزرگتر از ۵ برابر فاصله الکترودهای M و N می باشد.



خطوط جریان و سطوح هم پتانسیل برای آرایه متقارن شلومبرژه.

## مقاومت ویژه الکتریکی برخی از انواع آب و سنگ

نوع آب یا سنگ	مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب اهم متر
آب دریا	۰/۲
آب سفره های آبرفتی	۱۰-۳۰
آب چشمه های طبیعی	۵۰-۱۰۰
شن و ماسه خشک	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰
شن و ماسه اشباع از آب شیرین	۵۰-۵۰۰
شن و ماسه اشباع از آب شور	۰/۵-۵
خاک رس	۲-۲۰
مارن	۲۰-۱۰۰
آهک	۳۰۰-۱۰۰۰۰
ماسه سنگ آرژیل دار (رسی)	۵۰-۳۰۰
ماسه سنگ - کوارتزیت	۳۰۰-۱۰۰۰۰
سینیت- توفهای آتش فشانی	۲۰-۱۰۰
لاوا	۳۰۰-۱۰۰۰۰
شیست گرافیتی	۰/۵-۵
شیست آرژیلی	۱۰۰-۳۰۰
شیست سالم	۳۰۰-۳۰۰۰
گنیس- گرانیت تخریب شده	۱۰۰-۱۰۰۰
گنیس - گرانیت سالم	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰

شدت جریان الکتریکی مستقیم اعمال شده به الکترودهای (A,B) و اختلاف پتانسیل ( $\Delta V$ ) الکترودهای M و N را اندازه گیری و با استفاده از رابطه زیر، مقدار مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری  $\rho_a$  را محاسبه می نمایند.

$$\rho_a = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} + \frac{1}{BM}} = \frac{\Delta V}{I}$$

( $\rho_a$ ) مقدار مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری یک ستون

فرضی از زمین به قطر MN و به عمق حدود  $\frac{1}{3}$  تا  $\frac{1}{7}$

فاصله الکترودهای A و B می‌باشد. بنابراین با افزایش فاصله الکترودهای فرستنده جریان (A,B) می‌توان مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری را تا عمق بیشتری بدست آورد. با ترسیم منحنی تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری بر مبنای نصف فاصله الکترودهای فرستنده جریان بر روی محورهای مختصات لگاریتمی و بر روی کاغذ شفاف، مقاومت ویژه الکتریکی و ضخامت لایه‌های مختلف واقع در زیر محل سونداژ را می‌توان از مقایسه این منحنی، با منحنی‌های استاندارد مربوط به مدل‌های دو لایه و سه لایه تعیین نمود. از تجزیه و تحلیل اطلاعات بدست آمده برای مقاومت ویژه ظاهری در اعماق نفوذی مختلف می‌توان به وضعیت لایه بندی زیرزمینی و ناهنجاری‌های موجود در آنها پی برد.

جریان الکتریسته توسط یک باتری ۱۲ ولت اتومبیل تأمین شده و بعد از تقویت توسط دستگاه اندازه‌گیری به زمین ارسال می‌گردد. چون احتمال بروز خطا در مراحل محاسبه مقاومت ویژه الکتریکی و ضخامت لایه‌های رسوبی وجود دارد، لذا با انطباق تغییرات این منحنی با زمین‌شناسی محل، می‌توان احتمال بروز خطا را کاهش و دقت محاسبات را افزایش داد. داده‌های اندازه‌گیری شده صحرائی توسط رایانه به کمک نرم افزارهای مربوطه، مقاومت واقعی و ضخامت لایه‌ها را مشخص می‌نماید. نقاط سونداژ در امتداد پروفیل‌های معین انجام و مقاطع ژئوالکتریک تهیه می‌شود.

نوسانات مقاومت ویژه الکتریکی و هم‌چنین تغییرات در عمق برخورد با رسوبات مختلف با توجه به زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی محدوده مطالعاتی مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفته و محل مناسب برای استحصال آب زیرزمینی تعیین می‌گردد. در این مرحله، تشخیص و شناسایی اندازه ذرات و ضخامت رسوبات درشت‌دانه یا نفوذ

پذیري آن در زیر سطح آب و عمق برخورد به سنگ کف اهمیت زیادی دارد. نقاط مورد مطالعه با علائم مشخصی نشانه گذاری و چاه در محل پیشنهادی حفاری می‌گردد. چنانچه بین نمونه های بدست آمده از حفاری با نتایج مطالعات ژئوالکتریک مغایرت وجود داشته باشد، بلافاصله حفاری را متوقف و آزمایش ژئوالکتریک مجدداً در محل مورد نظر تکرار شود.

### **اجزاء دستگاه مورد استفاده در عملیات صحرائی :**

- دستگاه مقاومت و ولتاژ سنج آکسون برای تزریق جریان برق به زمین و اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی
- کابلهای رابط و قرقره های مربوطه
- الکترودهای فلزی از جنس مس یا برنج جهت انتقال جریان برق به درون زمین.

### **خلاصه مطالب عنوان شده**

بطور کلی می‌توان گفت مقاومت الکتریکی الکترودها می‌باید در حد چند هزارم اهم باشد زیرا مقاومت زیاد الکترودهای جریان اغلب منجر به شارش کم جریان و مقاومت زیاد الکترودهای پتانسیل سبب حساسیت کم و ابهام در قرائت پتانسیل می‌شود.

به منظور کاهش مقاومت الکترودهای جریان در صورت امکان محل تماس آنها با زمین، مرطوب باشد. این رطوبت گاه در چند سانتیمتری و گاهی در عمق یک تا چند متری قابل دسترسی است.

دو الکترودها یا تعداد بیشتر به فاصله یک تا ۲ متر از هم قرار گرفته به صورت موازی بهم متصل شوند. جهت کاهش مقاومت الکترودهای پتانسیل مقداری آب یا آب نمک در اطراف الکترودها ریخته و برای جلوگیری از ایجاد پتانسیل تماسی از آب بدون نمک استفاده می‌گردد.

چنانچه بر اثر تماس الکترودهای فلزی با زمین، در اندازه‌گیریها اشکال بوجود آید از الکترودهای سفالی استفاده می‌شود.

مقاومت الکترودهای به اقطار مختلف ( $R$ ) در رابطه با مقاومت ویژه زمین به شرح زیر است:

اگر الکتروود ۴۰ سانتیمتر در زمین فرو رفته باشد.  $\rho$   
 $R=1/65$

اگر یک جفت الکتروود فلزی با فاصله یک متر به هم متصل  
باشند.  $R=0/6 \rho$

اگر یک الکتروود فلزی بزرگ مقدار یک متر در زمین فرو  
رفته باشد.  $R=0/8 \rho$

اگر تعداد ده میله بزرگ (دیلم) به فواصل یک متر از  
هم در زمین باشند.  $R \cong 0/2 \rho$

هر چه الکتروود بیشتر در زمین فرو رود مقدار مقاومت سر  
راه جریان کمتر می‌شود.

در صورت استفاده از چند الکتروود در یک نقطه فاصله  
آنها باید بیش از عمق فرورفتگی آنها در زمین باشد.

برای تهیه گزارش و تفسیر سونداژهای الکتریک ضروری است  
حل گمانه الکتریک برداشت شده بر روی نقشه موقعیت با  
مقیاس متناسب با سایر مطالعات بطور اعم و خصوصاً  
نقشه زمین شناختی آورده شود. گزارش نهایی باید شامل  
نقشه‌ها، مقاطع و نمودارهای زیر باشد:

- مقاطع و نقشه هم مقاومت ویژه ظاهری.

- مقاطع ژئو الکتریک.

- نقشه هم ضخامت آبرفت یا هم عمق سنگ کف.

- نقشه هم ارتفاع سنگ فرش.

- نقشه پربند مقاومت عرضی.

- شرح نقشه RT (مقاومت عرضی).

## فهرست منابع:

- ۱- روشهای حفاری نوشته دکتر مرتضی اصانلو ۱۳۷۵.
- ۲- تکنیک های حفاری و اصول استخراج آبهای زیرزمینی ۱۳۷۵، تألیف دکتر مهندس حجت‌الله ضیائی.
- ۳- آموزش تکنولوژی حفاری- گروه آموزش ویرث ایران ۱۳۷۱.
- ۴- زمین‌شناسی حفاری- گروه آموزش ویرث ایران ۱۳۷۱.
- ۵- طرح و برنامه اصولی توسعه چاههای آب - گروه آموزش ویرث ایران ۱۳۷۲.
- ۶- حفاری و تجهیز چاههای آب- مهندسان مشاور کاوآب- نشریه فنی شماره ۱۰
- ۷- آبشناسی، تألیف دکتر محمدرضا غفوری و دکتر رضا مرتضوی- انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۳.
- ۸- آزمایش‌های پمپاژ (تجزیه و ارزیابی نتایج) تألیف ژ.پ. کروسمن- ن.ا.د.ر.یدر، ترجمه داریوش دانشور ۱۳۵۷.
- ۹- چاه پیمائی در هیدروژئولوژی- نوشته دومینیدکو کاپلییر- ترجمه مهندس عبدالحمید انصاری ۱۳۷۶.
- ۱۰- Composite catalog of oil field equipment & services published by world oil.

تصاویری از داخل چاههای مختلف که با دوربین کنترل چاه گرفته شده است

