

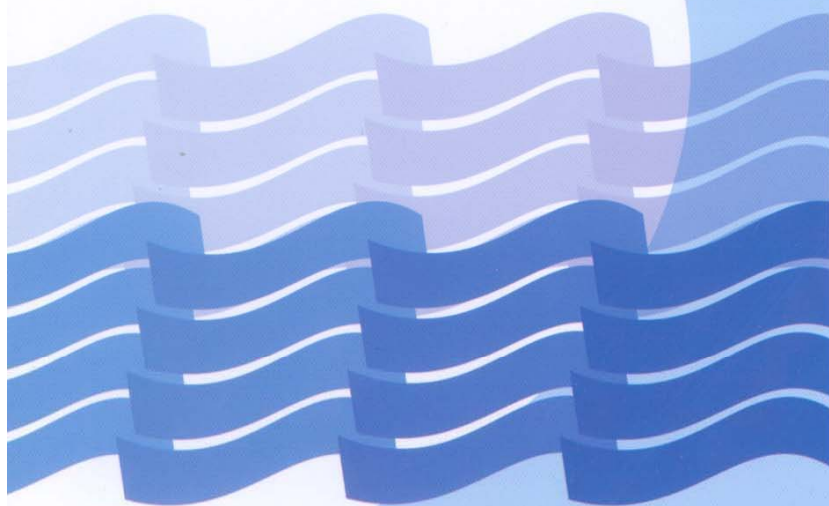


پیش نویس

کاربرد ژئوفیزیک در خوردگی خاک

و آلودگی منابع آب

(شناخت و راهنما)



پیش‌نویس

کاربرد ژئوفیزیک در خوردگی خاک
و آلودگی منابع آب
(شناخت و راهنما)

پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو با همکاری معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری به منظور تأمین اهداف زیر اقدام به تهیه استانداردهای صنعت آب نموده است :

- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرحها
 - پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
 - تدوین استانداردهای صنعت آب با در نظر داشتن موارد زیر صورت می‌گیرد :
 - استفاده از تخصص ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
 - استفاده از منابع و مأخذ معتبر و استانداردهای بین المللی
 - بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
 - توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه کننده استاندارد
- استانداردها ابتدا به صورت پیش‌نویس برای نظرخواهی منتشر شده و نظرات دریافتی پس از بررسی تیم تهیه‌کننده و گروه نظارت در نسخه نهایی منظور خواهد شد.
- امید است کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها با این رشته از صنعت آب مرتبط می باشد، با توجهی که مبذول می‌فرمایند این پیش‌نویس را مورد بررسی دقیق قرار داده و با ارائه نظرات و راهنمایی‌های ارزنده خود به دفتر طرح، این دفتر را در تنظیم و تدوین متن نهایی یاری و راهنمایی فرمایند.

ترکیب اعضای تهیه‌کننده، کمیته و ناظر(ان) تخصصی

این راهنما در معاونت پژوهشی دانشگاه تهران با مسئولیت آقای دکتر غلامحسین نوروزی و همکاری افراد زیر تهیه شده است. اسامی این افراد به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای علی‌اکبر اسلامی	پژوهشکده بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی	فوق لیسانس مهندسی ژئوفیزیک
	زلزله	
آقای حسن حاجب حسینی	شرکت مهندسین مشاور صحراکاو	دکترای فیزیک
خانم وحیده زرگر صالح	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	فوق لیسانس مهندسی ژئوفیزیک
آقای فرهنگ شیروانی	کارشناس آزاد	لیسانس زمین‌شناسی و کارشناس ژئوفیزیک
آقای علی نصیریان	شرکت مدیریت منابع آب ایران	لیسانس زمین‌شناسی و کارشناس ژئوفیزیک
آقای غلامحسین نوروزی	دانشگاه تهران	دکترای ژئوفیزیک

گروه نظارت که مسئولیت نظارت تخصصی بر تدوین این راهنما را به عهده داشته‌اند، به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای عبدالوحید آغاسی	دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی	دکترای منابع آب
خانم فیروزه امامی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت	لیسانس زمین‌شناسی
	آب کشور	
خانم نرگس دشتی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت	لیسانس آبیاری
	آب کشور	
آقای جعفر کیمیا قلم	شرکت مهندسین مشاور زمین فیزیک	دکترای ژئوفیزیک

اسامی اعضای کمیته تخصصی مدیریت منابع آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور که بررسی و تایید راهنما را در زمان تهیه به عهده داشته‌اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای احمد ابریشم‌چی	دانشگاه صنعتی شریف	دکترای مهندسی عمران
آقای عبدالوحید آغاسی	دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی	دکترای منابع آب
خانم فیروزه امامی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب	لیسانس زمین‌شناسی
	کشور	
خانم صدیقه ترابی	وزارت نیرو	دکترای منابع آب
آقای فضلعلی جعفریان	شرکت مدیریت منابع آب ایران	لیسانس زمین‌شناسی
آقای عباسقلی جهانی	شرکت مهندسین مشاور بهان سد	فوق لیسانس مهندسی هیدرولوژی
آقای پیمان دانش کارآراسته	دانشگاه بین‌المللی امام خمینی	دکترای GIS
آقای چنگیز فولادی	شرکت پیماب	دکترای هیدرولیک
آقای جمشید موسوی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای منابع آب

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۳	فصل ۱- هدف و دامنه کاربرد
۵	۱-۱- هدف
۵	۱-۲- دامنه کاربرد
۷	فصل ۲- مروری کوتاه بر روش‌های ژئوفیزیکی زیست‌محیطی
۹	۱-۲- کلیات
۱۰	۲-۲- خواص فیزیکی
۱۰	۳-۲- بررسی‌های ژئوفیزیکی
۱۰	۱-۳-۲- روش مقاومت ویژه الکتریکی
۱۲	۲-۳-۲- روش‌های الکترومغناطیسی
۱۵	۳-۳-۲- روش پتانسیل خودزا
۱۶	۴-۳-۲- روش قطبش القایی (IP)
۱۷	۵-۳-۲- روش‌های لرزه‌ای
۱۸	۶-۳-۲- روش گرانی
۱۸	۷-۳-۲- روش مغناطیسی
۱۹	۸-۳-۲- روش رادار نفوذی زمین
۲۵	فصل ۳- پدیده خوردگی و کنترل آن
۲۷	۱-۳- اهمیت موضوع و پیشینه
۲۸	۲-۳- مفهوم خوردگی فلز
۲۹	۳-۳- انواع خوردگی
۳۰	۱-۳-۳- خوردگی شیمیایی
۳۰	۲-۳-۳- خوردگی مکانیکی
۳۲	۴-۳- عوامل موثر در خوردگی
۳۲	۱-۴-۳- عوامل درونی
۳۳	۲-۴-۳- عوامل مربوط به زمین (بیرونی)
۳۵	۵-۳- خوردگی خط لوله‌ها و سایر سازه‌های فلزی
۳۵	۱-۵-۳- خوردگی خط لوله‌ها

۳۷	۳-۵-۲- خوردگی در سایر سازه‌های فلزی
۳۸	۳-۶- کنترل خوردگی
۳۸	۳-۶-۱- اصلاح محیط
۳۹	۳-۶-۲- اصلاح خواص فلز
۴۰	۳-۶-۳- نصب روکش محافظ روی فلزات
۴۰	۳-۶-۴- اعمال یک جریان الکتریکی برای جبران الکترون‌ها
۴۰	۳-۶-۵- استفاده از مواد غیر فلزی
۴۰	۳-۷- تأثیرات روکش در خوردگی و حفاظت کاتدی
۴۳	فصل ۴- شناخت خوردندگی زمین توسط روش‌های ژئوفیزیکی
۴۵	۴-۱- کلیات
۴۵	۴-۲- کاربرد ژئوالکتریک در خوردندگی خاک
۴۵	۴-۲-۱- اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه
۵۰	۴-۲-۲- کاربردهای اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه
۵۹	فصل ۵- مثال‌هایی از مطالعات موردی ژئوفیزیکی برای بررسی‌های خوردگی
۶۱	۵-۱- مطالعات خوردندگی خاک در مناطق آغار و دالان فارس
۶۷	فصل ۶- آلودگی و تشخیص آن توسط روش‌های ژئوفیزیکی
۶۹	۶-۱- کلیات
۷۰	۶-۲- مفهوم آلودگی
۷۱	۶-۳- عوامل ایجاد آلودگی
۷۵	فصل ۷- کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در مطالعات زیست محیطی
۷۷	۷-۱- کلیات
۷۷	۷-۲- مطالعه زمین‌شناسی و شرایط هیدروژئولوژی
۷۷	۷-۲-۱- روش‌های ژئوالکتریک شامل مقاومت ویژه و EM
۷۹	۷-۲-۲- روش لرزه‌نگاری شکست مرزی
۸۰	۷-۲-۳- روش GPR
۸۱	۷-۳- تعیین محل اشیا مدفون
۸۲	۷-۳-۱- روش GPR
۸۲	۷-۳-۲- مغناطیس‌سنجی
۸۴	۷-۳-۳- روش‌های الکترومغناطیسی
۸۷	۷-۴- تعیین مرز زبانه‌های آلوده باقی‌مانده و شناور
۸۹	۷-۴-۱- مقاومت ویژه الکتریکی

۸۹	GPR ۲-۴-۷- روش
۹۱	فصل ۸- مثال‌هایی از مطالعات موردی ژئوفیزیکی برای بررسی‌های زیست‌محیطی
۹۳	GPR ۱-۸- روش
۹۳	۱-۱-۸- مثال اول
۹۶	۲-۱-۸- مثال دوم
۹۷	۲-۸- روش‌های ژئوالکتریک
۹۸	۱-۲-۸- مثال اول
۱۱۴	۲-۲-۸- مثال دوم

مقدمه

نظر به آسیب پذیری محیط زیست در اثر افزایش جمعیت و گسترش صنایع و نیز کاهش پایداری سلامت زیست کره در اثر دفن نامطلوب ضایعات صنعتی و انسانی و متعاقب آن تخریب کیفیت منابع آب و خاک و نیز آثار مخرب پدیده خوردگی خاک در پایداری خط لوله‌ها و سایر سازه‌های فلزی که علاوه بر خسارت‌های مادی و اقتصادی تباهی محیط زیست را نیز به دنبال دارد، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور به منظور شناخت روند تکوین پدیده‌های مزبور از طریق اکتشافات ژئوفیزیک، استاندارد حاضر را با استفاده از آخرین اطلاعات موجود به ویژه مقالات بر گرفته از اینترنت تهیه و تدوین نموده که امید است مورد مطالعه و توجه کارشناسان و علاقه‌مندان واقع شود.

فصل ۱

هدف و دامنه کاربرد

۱-۱- هدف

هدف از تهیه این نشریه آشنایی با روش‌های متداول ژئوفیزیکی در مطالعات زیست محیطی اعم از تعیین محل اجسام دفن شده، بررسی وضعیت زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی و به نسبت کم‌تر تعیین مرز زبانه‌ها یا لکه‌های آلاینده و نیز قابلیت‌ها و محدودیت‌های هر روش، همچنین ردیابی مناطق خوردنده خاک و شناسایی آلودگی‌های محیط زیست توسط روش‌های ژئوفیزیک می‌باشد.

۱-۲- دامنه کاربرد

این نشریه در بررسی روش‌های متداول ژئوفیزیکی اعم از "GPR" در تشخیص ساختارهای داخلی زمین، ارزیابی منابع آب زیرزمینی و آلودگی منابع آب، در شناسایی انواع خوردگی در خطوط لوله‌ها و سایر سازه‌های فلزی و راه‌های کنترل آن همچنین شناخت خوردگی خاک توسط روش‌های ژئوفیزیک اعم از روش ژئوالکتریک و نیز به کارگیری روش‌های ژئوفیزیک در مطالعات زیست محیطی کاربرد دارد.

فصل ۲

مروری کوتاه بر روش‌های ژئوفیزیکی

زیست‌محیطی

۲-۱- کلیات

با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی، خواص فیزیکی لایه‌های زیرین را در سطح زمین می‌توان اندازه‌گیری کرد. سپس این اندازه‌گیری‌ها را به کار گرفته و از آن‌جا جنس موادی را که معمولاً نمی‌توان مستقیماً نمونه‌برداری کرد، به دست آورد. با استفاده از ژئوفیزیک تمامی زمین موفق شده‌اند که ساختار داخلی زمین را مشخص سازند. به همین ترتیب با استفاده از اندازه‌گیری خواص فیزیکی توسط ماهواره‌هایی که سیاره‌های منظومه شمسی را دور می‌زنند ساختار فیزیکی این سیاره‌ها را نیز به دست می‌آورند.

روش‌های ژئوفیزیکی برای تعیین محل میدان‌های نفتی جدید و همچنین تعیین محل نهشته‌های مدفون به طور گسترده‌ای پیشرفت داشته‌اند. سهم بزرگی از تحقیقات و پیشرفت‌های صنعتی برای این دو زمینه صرف شده‌اند.

روش‌های ژئوفیزیکی که برای ارزیابی منابع آب زیرزمینی معمول شده، می‌تواند در حل مسایل دیگر مربوط به محیط طبیعی ما از جمله مسایل مهندسی، معدنی، هیدروژئولوژی و تخمین خطرات طبیعی و برنامه ریزی برای بهبود مورد استفاده قرار گیرد. ژئوفیزیک توانسته است بازده و تاثیرگذاری اکتشافات زیرزمینی را ازدیاد بخشد. اساساً همه اطلاعاتی را که از روش‌های ژئوفیزیکی سطحی به دست می‌آید می‌توان از حفاری و نمونه‌برداری زیر به دست آورد ولی حفاری گران و کند است حتی موقعی که با مناطق (زون‌های) کم‌عمق در مطالعات مهندسی، خوردگی و آلودگی محیط زیست سروکار داریم. لذا ژئوفیزیک را می‌توان به کار برد و برنامه‌های حفاری را بهینه‌سازی کرد.

ژئوفیزیک اطلاعاتی را که به طور مکانی جمع‌آوری شده در اختیار قرار می‌دهد که برای بعضی مقاصد نسبت به داده‌های حفاری ارجحیت دارند.

اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی را ممکن است از هوا، روی سطح زمین، در چاه‌های آزمایشی و در معادن آن‌جام داد. به کار گرفتن هریک از این روش‌ها بستگی به وسعت مساله دارد. روش‌های ژئوفیزیکی که در مطالعات آب‌های زیرزمینی یا آلودگی آب زیرزمینی به کار می‌رود با اندازه‌گیری‌های سطحی و درون‌چاهی صورت می‌گیرد.

طبق قاعده کلی، برای به دست آوردن نتایج مفید از یک روش ژئوفیزیکی باید در خاصیت فیزیکی موردنظر تباین جانبی یا قائم وجود داشته باشد. ناپیوستگی در خاصیت فیزیکی معمولاً مترادف است با مرزهای زمین‌شناختی یا سازندی، هر چند سازندهای زمین‌شناختی متفاوت ممکن است خواص فیزیکی یکسان داشته باشند، که در این صورت عکس موضوع صدق نمی‌کند.

اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی سطحی تخمینی از متوسط کلی خواص زیرسطحی را می‌دهد. برای تشخیص مواد از هم می‌توان از اندازه‌گیری‌های گمان‌های یا موادی که از گمانه‌ها به دست آمده است، کمک گرفت.

بیشتر مسایل ژئوفیزیکی از نوع معکوس می‌باشند. به عبارت دیگر از نتایج اندازه‌گیری نمی‌توان به مدل منحصر به فرد رسید. جنس مواد از اندازه‌گیری‌های خواص فیزیکی به دست می‌آید. به خاطر معکوس بودن مساله و به خاطر تغییرات ذاتی که در زمین وجود دارد، بهتر است همواره از چند روش ژئوفیزیکی استفاده شود تا ابهاماتی که در تفسیر داده‌های یک روش وجود دارد، کاهش یابد.

۲-۲- خواص فیزیکی

روش‌های ژئوفیزیکی از شماری از خواص فیزیکی مختلف که به خاک‌ها و سنگ‌های زیرزمینی مربوطند استفاده می‌کند. خواص اصلی، روش‌های مربوط و کاربرد هر یک از آنها در جدول ۲-۱ آمده است.

۲-۳- بررسی‌های ژئوفیزیکی

مطالعات ژئوفیزیکی دارای سه مرحله می‌باشد: برنامه‌ریزی و پشتیبانی، جمع‌آوری داده‌های صحرائی و تفسیر داده‌ها. مرحله اول شاید مهم‌ترین مرحله باشد. استفاده از دستگاه درست، معمولاً موفقیت بررسی را تضمین می‌کند. به همین ترتیب، اگر داده‌ها درست به دست نیامده باشند بازهم تفسیر اعتبار نخواهد داشت. بهتر است در ابتدا یک برداشت آزمایشی به منظور اطمینان از رسیدن به هدف و اینکه دستگاه مورد استفاده نتایج مناسبی را در عمل به دست می‌دهد انجام گیرد. از آنجا که روش‌های متداول ژئوفیزیکی به جز GPR در نشریه‌های قبلی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور به طور مفصل شرح داده شده در این قسمت روش GPR به طور مفصل تر و بقیه روش‌ها به طور خلاصه آورده شده است.

۲-۳-۱- روش مقاومت ویژه الکتریکی

روش مقاومت ویژه الکتریکی که روش الکتریکی گالوانی نیز نامیده می‌شود، بعضی مواقع در محل‌های مخزن ذخیره زیرزمینی (UST) برای تعیین شرایط زمین شناختی و هیدروژئولوژیکی کم عمق و عمیق و تعیین محل زبانه‌های آلوده باقی مانده و شناور مفید می‌باشد. با اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی به طریق جریان مستقیم در سطح زمین، این روش ژئوفیزیکی می‌تواند در موارد زیر سودمند باشد:

- تعیین محل مناطق شکسته، گسل‌ها، کارست و دیگر مسیرهای ترجیحی حرکت آب زیرزمینی یا آلاینده‌ها
- تعیین محل عدسی‌های رسی و کانال‌های ماسه
- تعیین محل مناطق آب معلق و عمق آب زیرزمینی
- بعضی مواقع تعیین محل مقادیر وسیعی از زبانه‌های آلوده باقی‌مانده و شناور

انواع آرایش‌ها یا آرایه‌های الکترودی (به طور مثال ونر، شلومبرژه، دوقطبی - دوقطبی) می‌تواند بسته به نوع کاربرد و قدرت تفکیک آنها مفید باشد. نوعا جریان الکتریکی از یک جفت الکتروود به زمین وارد می‌شود. جفت الکتروود دیگر میزان ولتاژ را اندازه‌گیری می‌کند. الکتروودهای با فاصله بیش تر، برای بررسی‌های عمیق تر به کار می‌روند. از آنجا که مواد گوناگون زیر سطحی مقاومت ویژه متفاوت دارند، اندازه‌گیری‌های سطحی در تعیین تغییرات قائم و جانبی مواد زیرین می‌تواند مفید باشد. همانند اندازه‌گیری‌های EM، موفقیت روش بستگی به تباین مقاومت ویژه مواد زیرسطحی دارد. شکل ۲-۱ نمودار شماتیک اصول کار مقاومت ویژه الکتریکی مورد استفاده در آرایه ونر را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲- کاربرد روش‌های مختلف ژئوفیزیکی در مطالعات گوناگون

کاربرد										خاصیت فیزیکی وابسته	روش ژئوفیزیکی
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
-	S	-	-	S	S	S	S	P	P	چگالی	گرانی
-	P	P	-	m	-	S	P	P	P	خودپذیری مغناطیسی	مغناطیس
-	-	-	-	S	S	P	m	P	P	خواص کشسانی- چگالی	لرزه‌نگاری شکست مرزی
-	-	-	-	m	S	S	m	P	P	خواص کشسانی- چگالی	لرزه‌نگاری بازتابی
m	P	S	P	P	P	P	P	m	m	مقاومت ویژه	مقاومت ویژه
-	-	m	m	m	P	m	P	-	-	اختلاف پتانسیل	پتانسیل خودزا (SP)
m	m	m	m	m	S	m	P	m	m	مقاومت ویژه - ظرفیت الکتریکی	قطبش القایی (IP)
m	P	P	P	P	P	P	P	P	S	رسانایی- خود القایی	الکترومغناطیس (EM)
-	m	m	S	S	S	m	P	m	m	رسانایی- خود القایی	EM-VLF
-	m	m	S	S	S	m	P	m	m	تراوایی- رسانندگی	EM- رادار نفوذ زمینی
-	-	-	-	-	m	m	P	P	S	مقاومت ویژه	مگنتوتلوریک
-	-	-	-	-	-	-	P	S	m	پرتو زایی	پرتو زایی
-	-	-	-	S	P	-	-	S	S	رسانایی حرارتی	دما سنجی

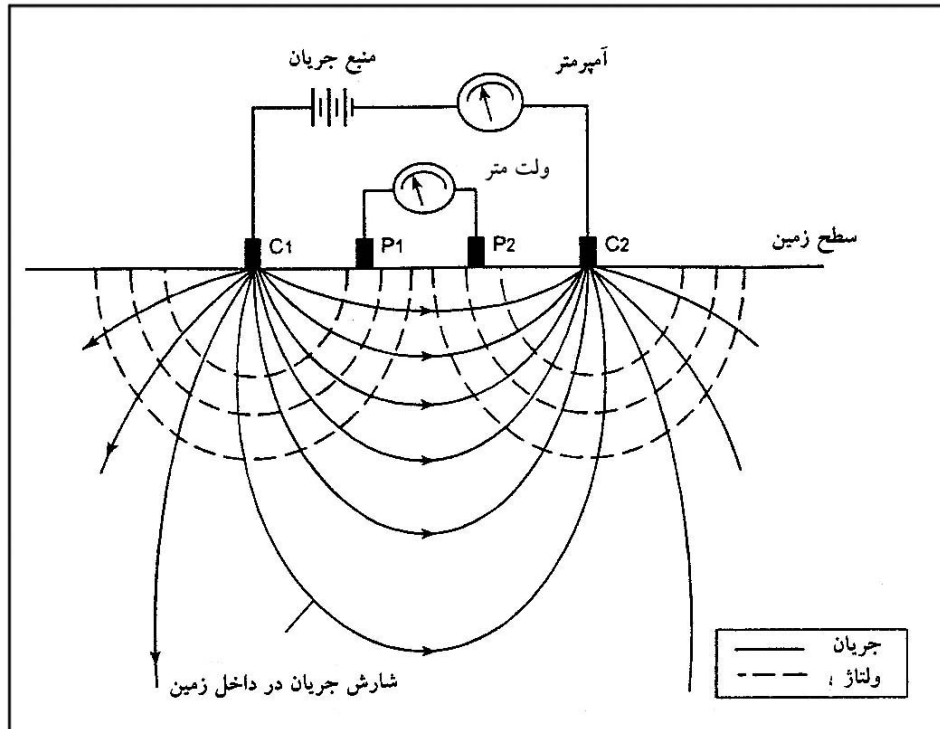
- ۱- اکتشافات هیدروکربن (ذغال، گاز، نفت) P: روش اصلی (اولیه)
 - ۲- مطالعات زمین شناسی منطقه‌ای (سطح‌های بیش از ۱۰۰ کیلومتر مربع) S: روش ثانویه
 - ۳- اکتشافات کانسارهای معدنی m: می‌توان استفاده کرد ولی برای
 - ۴- مطالعات مهندسی ساختگاهی این کاربرد بسط پیدا نکرده است
 - ۵- مطالعات هیدروژئولوژی - : نا مناسب
 - ۶- کاوش فضاهاى خالی (حفره‌ها) زیرسطحی * اکتشافات آب‌های گرم و بررسی کانال‌های
 - ۷- تعیین لکه‌های آلودگی و خوردگی خاک آبگذر طبیعی در دامنه‌ها و غیره
 - ۸- تعیین محل و مشخص کردن اشیا فلزی مدفون
 - ۹- مطالعات باستان‌شناسی
 - ۱۰- ژئوفیزیک در ارتباط با عملیات جرم‌یابی (پلیس)
- اگرچه مقاومت ویژه تحت تاثیر تداخل‌هایی (نوفه‌ها) از همان اجسامی که بر روی EM اثر می‌گذارند قرار می‌گیرد ولی کم‌تر تحت تاثیر آنها واقع می‌شود. به علاوه اگر محل لوله‌های فلزی و ملزومات شناخته شده باشد، آرایه‌های الکترودی غالباً می‌توانند در به حداقل رساندن تداخل‌ها ترتیب داده شوند. به علاوه قدرت تفکیک مقاومت ویژه قابل مقایسه با EM بوده و گاهی بهتر از آن است. با وجود این روش مقاومت ویژه الکتریکی محدودیت‌هایی دارد. در زیر به مهم‌ترین آنها که باید در انتخاب این روش در نظر گرفته شود اشاره می‌گردد:

- الکترودها باید مستقیماً با خاک رس تماس داشته باشد. اگر بتن یا آسفالت موجود باشد، گودال‌هایی برای فرو بردن الکترودها حفاری نموده و پس از اتمام کار بررسی مجدداً بر می‌شوند.
- در بررسی های عمیق، آرایه‌های الکترودی می‌تواند کاملاً طویل باشد. فاصله بین الکترودهای فرستنده جریان باید ۴ تا ۵ برابر عمق تجسس باشد.
- اندازه‌گیری‌ها ممکن است به خاطر وجود خاک‌های سطحی با رسانندگی زیاد و یا مقاومت بالا محدودیت داشته باشند. اگر رس در عمق کم و آب زیرزمینی در عمق بسیار کم قرار گرفته باشد، بیش‌تر جریان وارد شده ممکن است در سطح تمرکز یابند. اگرچه این مساله به ندرت اتفاق می‌افتد اما حضور مواد شنی ضخیم و خشک (یا مواد توده‌ای خشک) در سطح زمین مانع ورود جریان به زمین می‌گردد (رجوع کنید به نشریه ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب، استاندارد مطالعات الکترونیک با روش مقاومت ویژه (۱۵۹-الف) و نشریه ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب، شناخت مطالعات الکترونیک با روش مقاومت ویژه (۱۰۳-ن)).

۲-۳-۲- روش‌های الکترومغناطیسی

- روش‌های الکترومغناطیسی (EM) که روش‌های الکترومغناطیسی القایی نیز نامیده می‌شوند، یکی از متنوع‌ترین و مفیدترین تکنیک‌های ژئوفیزیکی هستند. هر چند این روش‌ها معمولاً تحت تاثیر تداخل‌های اجتماعی قرار دارند ولی قادرند:
- اجسام مدفون را تعیین محل کنند (فلزات و غیر فلزات).
 - اطلاعات زمین‌شناختی و هیدروژئولوژی به‌دست آورند.
 - در موارد استثنایی، زبانه‌های آلوده باقی مانده و شناور را تعیین مرز کنند.
- هر چند هم GPR و هم فلزیاب‌ها از تابش الکترومغناطیسی استفاده می‌کنند، منظور از روش‌های الکترومغناطیسی در این بخش عبارت است از اندازه‌گیری رسانندگی زیر زمین القایی الکترومغناطیسی فرکانس پایین. یک پیچه فرستنده میدان الکترومغناطیسی تابش می‌کند که جریان‌های ادی در زیر زمین القا می‌کند و تغییرات فرکانسی جریان تحریک کننده سبب پاسخ عمق‌های زمین می‌گردد. این جریان‌های ادی خود یک میدان الکترومغناطیسی ثانوی القا می‌کنند. میدان ثانوی توسط پیچه گیرنده دریافت می‌شود. ولتاژی که توسط پیچه گیرنده اندازه‌گیری می‌شود به رسانندگی زیرزمین ارتباط دارد. لذا این قرائت‌های رسانندگی می‌توانند با شرایط زیرزمین ارتباط داشته باشند. شکل ۲-۲ اصول کار EM را به‌طور شماتیک نشان می‌دهد.
- رسانندگی مواد زمین‌شناختی شدیداً به محتوای آب و غلظت اکترولیت‌های محلول وابسته است. رس‌ها و سیلت‌ها نوعاً مقادیر رسانندگی بالاتری را نشان می‌دهند زیرا شامل شمار نسبتاً بیش‌تری یون می‌باشند. ماسه‌ها و شن‌ها نوعاً دارای یون‌های آزاد کم‌تر در یک محیط اشباعند و لذا رسانندگی پایین‌تری دارند. اجسام فلزی مثل UST های فولادی، مقادیر خیلی بالای رسانندگی را نشان می‌دهند که به این‌وسیله می‌توان آنها را تشخیص داد.

اساساً دو نوع روش EM وجود دارد، فرکانس حوزه‌ای (FD)^۱ و زمان حوزه‌ای (TD)^۲. روش FDEM پاسخ الکتریکی زیرزمین را در چند فرکانس اندازه می‌گیرد (فواصل جدایی متفاوت بین فرستنده و گیرنده را نیز می‌توان به کار گرفت). به این طریق اطلاعات در مورد تغییرات رسانندگی (یا عکس آن مقاومت ویژه) نسبت به عمق به دست می‌آید. روش TDEM همان نتایج را با اندازه‌گیری پاسخ الکتریکی زیر زمین به یک موج پالسی در فواصل زمانی مختلف بعد از ارسال آنها به دست می‌دهد. فواصل زمانی بزرگ‌تر اعماق بیش‌تری را اندازه می‌گیرد. هر دو روش یکدیگر را پوشش می‌دهند.



شکل ۲-۱- نمودار شماتیک اصول کار مقاومت ویژه الکتریکی

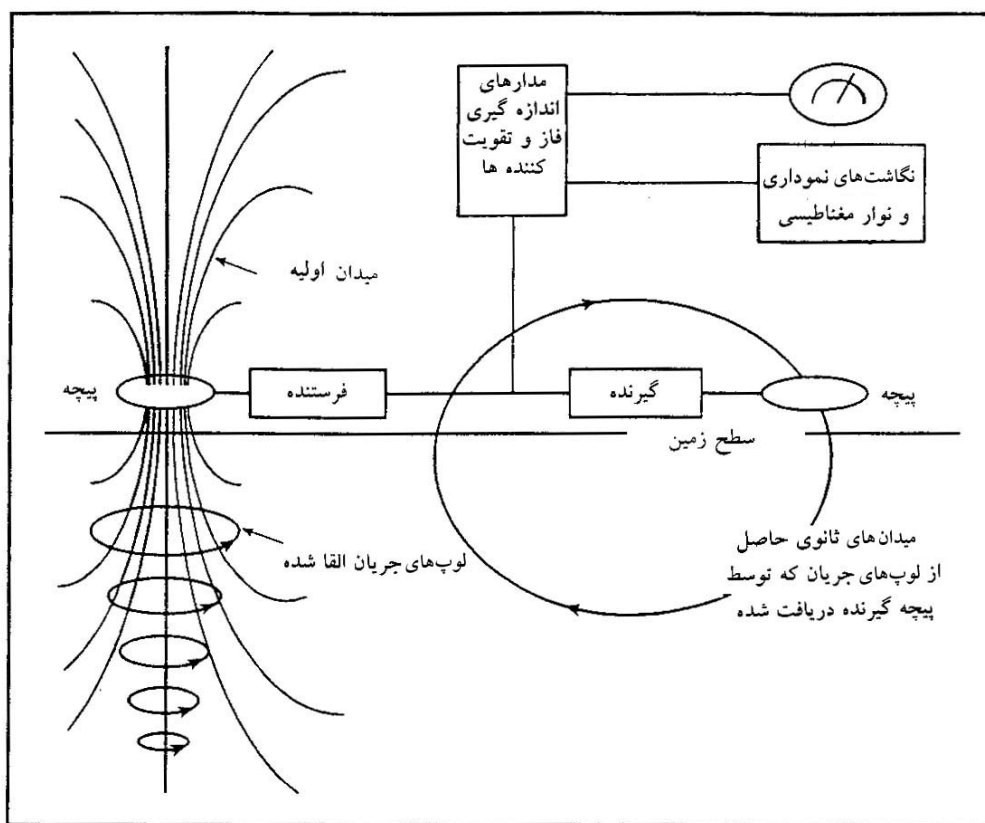
اندازه‌گیری میدان‌های الکترو مغناطیسی فرکانس پایین طبیعی، روش‌های مگنتوتلوریک می‌باشد. روش فرکانس بسیار پایین (VLF) از تابش فرکانس‌های پایین رادیویی که توسط فرستنده‌های نظامی فرستاده می‌شود، استفاده می‌کند. هنگامی که جبهه موج الکترومغناطیسی روی سطح زمین حرکت می‌کند، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در عمق‌های کمی از زمین پخش می‌شود. جریان‌های القا شده در رساناها ایجاد یک میدان ثانویه می‌کنند که نتیجه آن ایجاد میدان مغناطیسی در سطح است که نسبت به سطح افق با زاویه‌ای به نام زاویه کجی قرار خواهد گرفت. از آنجایی که VLF از انرژی تحریکی ایجاد شده توسط فرستنده‌های نظامی، استفاده می‌کند با فراهم کردن یک گیرنده سبک و قابل حمل می‌تواند روشی سریع در برداشت‌ها باشد.

1 -Frequency Domain

2-Time Domain

تمامی روش‌های الکترومغناطیسی به‌طور مفصل در نشریه شناخت و راهنمای روش‌های الکترومغناطیسی (EM) گردآوری شده است.

پیچه‌های فرستنده و گیرنده EM را می‌توان، بسته به هدف بررسی، یا آرایش‌های مختلف نسبت به هم قرار داد. یک آرایش معمول برای بررسی‌های محیطی کم‌عمق و پیچه‌های فرستنده و گیرنده را در انتهای میله سخت فایبرگلاس و درفاصله‌ای ثابت قرار می‌دهد. سپس دستگاه در سرتاسر منطقه بررسی حرکت داده می‌شود. این آرایش مخصوصا برای آشکارسازی محل USTها و لوله‌های فلزی مناسب است.



شکل ۲-۲- نمودار شماتیک اصول کار الکترومغناطیسی

محدودیت‌های روش‌های EM اساسا نتیجه تداخل‌ها است که نوعا موقعی پیدا می‌شوند که این روش در فاصله ۵ تا ۲۰ فوتی خطوط برق، اجسام فلزی مدفون (شامل میله‌های تقویتی)، فرستنده‌های رادیویی، نرده‌ها، خودروها، یا ساختمان‌ها به کار گرفته می‌شود. به‌علاوه، موفقیت وابسته به تباین رسانندگی زیرزمین است. به عنوان مثال، اختلاف رسانندگی بین UST و مواد اطراف یا مواد پر شده نوعا برای آشکارسازی کافی است. ولی، به نقشه درآوردن هدف‌های ظریف تر، مثل مواد دانه ریز در مقابل مواد دانه درشت یا آلودگی، کمتر قابل تشخیص خواهد بود. در نتیجه، می‌توان از مطالعات راهنما استفاده کرد تا تشخیص داده شود که یک تباین رسانندگی خیلی خوب برای هدف مورد مطالعه موجود است یا خیر.

یکی از موارد کاربرد EM استفاده از آن در ساخت دستگاه فلزیاب است که اصول آن به‌طور خلاصه آورده شده است.

آشکارسازهای فلزی که آشکارسازهای خط لوله و کابل نیز نامیده می‌شود اغلب در سایت‌های UST برای کاربردهای ویژه مثل تعیین محل مواد فلزی مدفون آهنی و غیرآهنی در یک روند فلزیابی (MD)^۱ به کار می‌رود. MD می‌تواند در سایت‌های UST برای تعیین محل موارد زیر مفید باشد:

- مخازن فولادی و مخازن ترکیبی (مثل فولاد با روکش فایبر گلاس)
- لوله فلزی
- ملزومات شهری

دو نوع MD وجود دارد: فرکانس حوزه‌ای و زمان حوزه‌ای. آشکارسازهای فلزی فرکانس حوزه‌ای نوعا در تعیین مکان فلزات کم‌عمق (کمتر از ۲ فوت) و ردیابی خط لوله‌ها و کابل‌ها در سایت‌های UST به کار می‌رود. آشکارساز فلزی زمان حوزه‌ای در بررسی‌های ۰ تا ۱۵ فوتی و تعیین مکان UST‌ها یا شبکه‌های مدفون مورد استفاده می‌باشد. هر دو نوع تهیه شده پاسخ خوبی به تمام اجسام فلزی می‌دهند.

همان‌طور که گفته شد آشکارسازهای فلزی با اصولی مشابه روش‌های EM کار می‌کنند اما آنها با هدف خاص تعیین محل اجسام فلزی ساخته شده‌اند. وقتی جریان زیر سطحی در سطح خاصی اندازه‌گیری شود، حضور فلز با قرائت سنج، با صدا و یا هردو نشان داده می‌شود. فلزیاب‌های تجارتي برای شناسایی UST‌ها دارای قابلیت ثبت داده‌ها بوده گرچه در هنگام برداشت نشانه‌های چوبی یا رنگ روی هدف‌ها قرار داده می‌شوند. شکل ۲-۳ نمودار شماتیک اصول کار MD را نشان می‌دهد.

پاسخ MD شدیداً با عمق کاهش می‌یابد. وقتی که عمق هدف دو برابر می‌شود پاسخ حاصل با ضریبی تا ۶۴ برابر کاهش می‌یابد (پاسخ به اجسام کوچک نسبت به اجسام بزرگ با سرعت بیش‌تری کاهش می‌یابد). به هر حال آشکارسازهای فلزی برای سایت‌های UST بسیار مناسب هستند زیرا آنها قابلیت کشف ابزار فلزی آن تا ۳ فوت زیر سطح زمین، شبکه‌های فلزی ۵۵ گالنی تا ۱۰ فوت زیر سطح زمین، یا مخزن فولادی ۱۰۰۰۰ گالنی تا ۲۰ فوت زیر سطح زمین را دارند.

MD به تداخل‌های سطحی و زیر سطحی نسبت به دیگر روش‌های EM حساسیت کم‌تری دارد اما در به حداقل رساندن نوفه از نرده‌های فلزی، خودروها، ساختمان‌ها و لوله‌های مدفون باید مواظبت نمود. میله‌های فولادی تقویتی داخل بتن شاید معمول‌ترین مساله برای این روش در سایت‌های UST است. در روش‌های MD، رسانندگی الکتریکی خاک موجب تداخل‌های قابل توجه نمی‌شود. با وجود این مواد مینرالیزه (کانی‌سازی) و کانی‌های آهن دار می‌توانند تداخل طبیعی با اهمیتی از طریق بررسی‌ها ایجاد کنند.

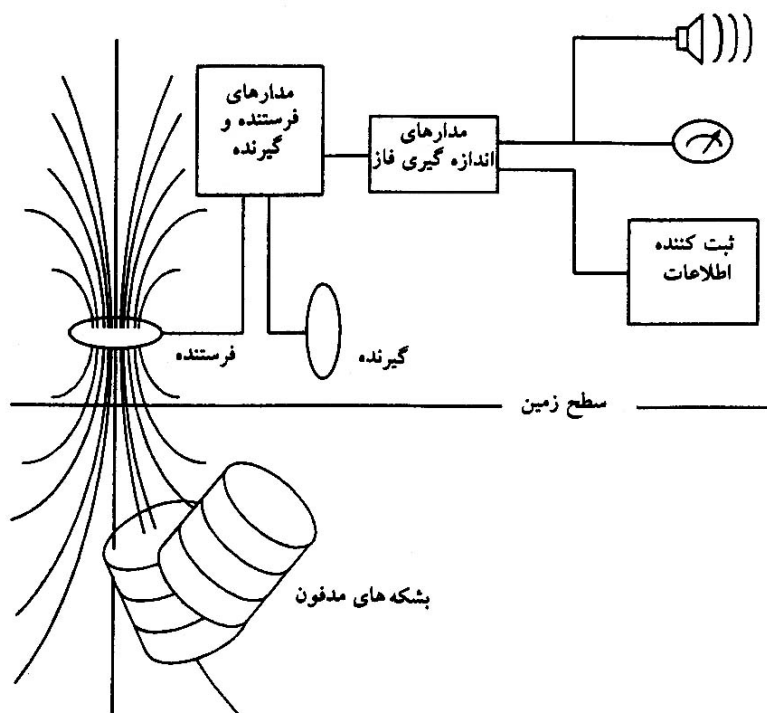
۲-۳-۳- روش پتانسیل خودزا

جریان‌های الکتریکی که به‌طور طبیعی در زیر سطح زمین منتشر می‌شوند حاصل عوامل زیادی به شرح زیر می‌باشند: آذرخش‌های طبیعی، نشت جریان از تاسیسات ساخت بشر، هوازدگی کانسارهای معدنی، جریان پتانسیل حاصل از جریان آب زیرزمینی، هاله‌های احیا وابسته به فرایندهای متنوع باکتریولوژیکی و هیدروژن‌شیمیایی. پتانسیل‌های خودزا به راحتی قابل

اندازه‌گیری بوده و از آنها می‌توان برای بررسی پدیده‌های پیش‌گفته استفاده کرد (رجوع کنید به نشریه ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب، شناخت روش خود پتانسیل (SP)).

۲-۳-۴- روش قطبش القایی (IP)

در این روش از آرایش‌های الکترونی متعارف در روش مقاومت ویژه استفاده می‌شود که شامل دو الکتروود جریان و دو الکتروود پتانسیل است. وقتی جریان اعمال شده قطع شود، ولتاژ به‌طور ناگهانی مقداری افت پیدا کرده و مدت زمان محدودی (چند ثانیه تا چند دقیقه) طول می‌کشد تا ولتاژ بین الکتروودهای پتانسیل به تدریج نقصان یافته و به صفر برسد.



شکل ۲-۳ - نمودار شماتیک اصول کار فلزیاب

این بدان خاطر است که زمین موقتا بارها را انبار می‌کند (قطبی می‌شود) و تا حدودی شبیه یک خازن عمل می‌کند. زمان نقصان تدریجی ولتاژ به عوامل دستگاهی و زمین‌شناختی ارتباط دارند و لذا مشخص کننده طبیعت زمین خواهند بود. هرچه مواد با رسانندگی بیشتر (مثل کانسارهای فلزی) در زیرزمین بیشتر باشد زمان کاهش تدریجی ولتاژ بیشتر خواهد بود. این خاصیت به‌طور گسترده برای به نقشه درآوردن کانسارهای معدنی مورد استفاده قرار گرفته و به تازگی در زمینه ژئوفیزیکی محیطی مورد توجه قرار گرفته است (رجوع کنید به نشریه ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب، شناخت روش قطبش القایی (IP)).

۲-۳-۵- روش‌های لرزه‌ای

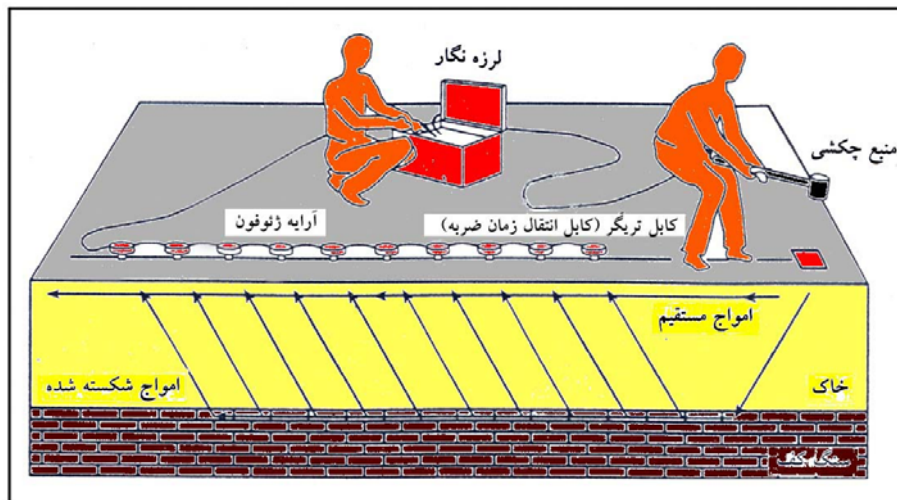
روش‌های لرزه‌ای براساس انتشار انرژی حاصل از یک ضربه یا انفجار در داخل زمین استوار بوده که با اندازه‌گیری زمان سیر (عبور) امواج لرزه‌ای در زیر سطح زمین، اطلاعات مربوط به چینه‌شناسی را به‌دست می‌دهند. این روش‌ها در سایت‌های UST برای موارد زیر به‌کار برده می‌شوند:

- تعیین عمق وضخامت لایه‌های زمین‌شناسی
- تعیین عمق آب زیرزمینی
- برآورد ترکیب خاک و سنگ
- کمک در تشخیص موقعیت وامتداد شکستگی

اساساً دو نوع کاربرد روش لرزه‌ای وجود دارد که یکی شکست مرزی و دیگری بازتابی است. در روش لرزه‌ای شکست مرزی، انرژی امواج لرزه‌ای در طول سطح مشترک دو لایه که دارای سرعت‌های لرزه‌ای مختلف هستند حرکت می‌کنند. این امواج در مرزهای خاصی که خصوصیات انتشار لرزه‌ای تغییر می‌نماید شکسته شده و زمان‌های مختلف سیر امواج لرزه‌ای رسیده به سطح زمین (یا به داخل گمانه) توسط ژئوفون ثبت می‌گردد. با اندازه‌گیری زمان طی شده توسط جبهه موج لرزه‌ای تا رسیدن به ژئوفون می‌توان عمق سطح شکست‌دهنده در زیر سطح زمین را محاسبه کرد. در روش بازتابی زمان سیر امواج لرزه‌ای که از فصل مشترک لایه‌ها بازتابیده می‌شود اندازه‌گیری می‌گردد. در این روش نیز با اندازه‌گیری زمان طی شده توسط جبهه موج لرزه‌ای عمق سطح بازتابنده محاسبه می‌گردد. از آنجا که مرزهای انتشار لرزه‌ای معمولاً مربوط به تغییرات زمین‌شناسی بوده و انرژی لرزه‌ای در داخل زمین توسط شماری از قطارهای موجی مختلف انتشار می‌یابد لذا اندازه‌گیری زمان‌های رسیدن این قطارهای موجی می‌تواند ساختار و خصوصیات لایه‌های زیر زمین را مشخص سازد. این امواج توسط حس‌گرهای ژئوفونی (گیرنده‌های موج لرزه‌ای) که در یک خط مستقیم از منبع انرژی آرایش شده‌اند ثبت می‌شوند. کل زمان سیر امواج شکستی به ترکیب، سیمان‌شدگی، چگالی و میزان هوا زدگی و شکستگی مواد زیر سطحی بستگی دارد. شکل ۲-۴ نمودار شماتیک اصول کار لرزه‌ای شکست مرزی را نشان می‌دهد. فایده روش لرزه‌ای شکست مرزی آن است که می‌تواند سه تا پنج لایه چینه‌شناسی را تفکیک نموده و خوب برآورد عمق کند. به‌علاوه به‌کارگیری آن آسان و منبع انرژی آن ساده شامل یک پتک ۱۰ پوندی است. با وجود این روش لرزه‌ای شکست مرزی محدودیت‌هایی به شرح زیر دارد که لازم است در نظر گرفته شود:

- گسترش‌های ژئوفون ممکن است به اندازه پنج برابر طول عمق بررسی باشد، لذا در مکان‌های دارای محدودیت از نظر گسترش ژئوفون‌ها، کاربرد آن محدود می‌گردد.
- اگر تباین سرعت بین لایه‌های رسوبی وجود نداشته باشد، تفکیک نخواهند شد.
- لایه‌های نازک نمی‌توانند تفکیک شوند.
- اگر تاسیسات (کابل‌های زیر سطحی، لوله‌ها و ...) مدفون زیادی در مجاورت نیمرخ‌های لرزه‌ای موجود باشد، ممکن است اطلاعات حاصل از این لایه کاذب نزدیک سطح با اطلاعات مفید مورد نظر تداخل حاصل نماید.
- در مطالعات مناطق سنگفرش شده، به منظور برقراری تماس بین ژئوفون‌ها و زمین، گودال‌هایی باید حفاری شوند.

- سرعت‌های لرزه‌ای لایه‌های زمین‌شناسی باید با عمق افزایش یابند. اگرچه این وضع، نوعی است ولی در حالی که زمین یخ‌زده یا سنگفرش مدفون موجود باشد، مانع آشکارسازی لایه‌های زیرین خواهد شد.
- روش‌های لرزه‌ای به نوبه‌های لرزه‌ای و لرزش‌ها حساس هستند، با وجود این راه‌های به حداقل رساندن این نوبه‌ها وجود دارد که شامل به‌کارگیری داده‌های نرم افزار صافی‌سازی یا برداشت نیم‌رخ‌ها زمانی که تردد وجود ندارد می‌باشد (به‌طور مثال اندازه‌گیری‌ها در طول زمان چراغ قرمز راهنمایی و یا شب انجام شود).
- اگرچه لرزه‌ای شکست مرزی می‌تواند تا اعماق زیر ۳۰۰ فوت مورد استفاده واقع شود اما معمولاً برای اعماق کم‌تر از ۱۰۰ فوت به‌کار می‌رود زیرا برای مطالعه بیش از ۱۰۰ فوت گسترش‌های ژئوفون خیلی بلند و منابع انرژی زیاد (به‌طور مثال سقوط وزنه ۵۰۰ پوندی و مواد منفجره) لازم است (رجوع کنید به، نشریه ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب، استاندارد مطالعات لرزه‌ای با روش شکست مرزی (۱۷۱- الف) و نشریه ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب، شناخت مطالعات لرزه‌ای با روش شکست مرزی (۱۱۰- ن)).



شکل ۲-۴- نمودار شماتیک اصول کار لرزه‌ای شکست مرزی

۲-۳-۶- روش گرانی

میدان گرانشی زمین در مناطق مختلف یکنواخت نبوده و برحسب تغییرات چگالی مواد زیرسطحی محلی دچار افت و خیز می‌شود. بی‌هنجاری‌های گرانی حاصل از ساختارهای زمین‌شناختی بسیار کوچک می‌باشند (اغلب کم‌تر از یک میلیونیوم میدان زمین)، ولی این بی‌هنجاری‌ها را می‌توان توسط دستگاه‌های بسیار حساس اندازه گرفت. روش گرانی را می‌توان با موفقیت برای تعیین عمق سنگ کف به‌کار گرفت و بعنوان تایید کننده نتایج سایر بررسی‌های ژئوفیزیکی و یا به‌طور تنها از آن استفاده کرد (رجوع کنید به، نشریه ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب، روش گرانی‌سنجی).

۲-۳-۷- روش مغناطیسی

میدان مغناطیسی زمین نسبت به زمان و مکان افت و خیز دارد. افت و خیزهای محلی در میدان مغناطیسی در اثر وجود مواد مغناطیسی در زیرزمین حاصل می‌شود. معمولاً سنگ‌های رسوبی کم‌تر از سنگ‌های آذرین و دگرگونی خاصیت مغناطیسی دارند.

اندازه‌گیری تغییرات میدان مغناطیسی محلی غالباً تغییرات لیتولوژی را مشخص می‌سازد. از آنجایی که تغییرات میدان مغناطیسی نسبت به تغییرات خودپذیری مغناطیسی حساسیت بالایی دارد غالباً می‌توان تغییرات لیتولوژی را که حتی همراه با تغییرات بسیار جزئی خودپذیری مغناطیسی باشد، تشخیص داد.

۲-۳-۸- روش رادار نفوذی زمین^۱

رادار نفوذی زمین (GPR) یکی از روش‌های ژئوفیزیکی موثر در مطالعات مربوط به نقشه درآوردن مواد نزدیک به سطح زمین، تعیین موقعیت سایت‌های UST، گسل‌های زیر سطحی، حفره‌های زیرزمینی (طبیعی یا ساخت بشر) و زمین‌شناختی و شرایط هیدروژئولوژی و مطالعه آلودگی در آب‌های زیرزمینی می‌باشد. GPR یکی از بهترین روش‌های تجسس زیر سطحی کم‌عمق می‌باشد که برای گستره وسیعی از بررسی‌های گفته شده مناسب بوده و تنها گاهی تحت تأثیر عوامل شهری و صنعتی (ساختمان‌ها، سیم‌های خاردار، خطوط فشار قوی) قرار می‌گیرد.

امروزه استفاده از این روش در شناخت مشخصه آلودگی‌هایی که توسط مواد خطرناک ایجاد می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردیده است. اهداف بررسی‌های زیر سطحی در سایت‌هایی که توسط مواد خطرناک آلوده شده عبارتند از:

- تعیین موقعیت مواد دفن شده
- تعیین موقعیت سایت‌های UST
- تعیین زبانه‌های آلودگی موجود، منشا و شکل هندسی آنها
- برآورد شرایط هیدروژئولوژی وابسته به آنها

هدف در مکان یابی برای دفن مواد خطرناک، به‌طور مشخص ارزیابی و نوعی چاره جویی با استفاده از خاک‌برداری و انتقال ایمن مواد خطرناک با حداقل خسارت زیست محیطی می‌باشد.

برداشت‌های ژئوفیزیکی و از جمله روش GPR می‌تواند در تعیین زمین‌شناختی زیرسطحی و پارامترهای وابسته که حرکت زبانه‌های آلوده را اداره می‌کند نقش مهمی ایفا نماید. تحلیل این داده‌ها در کاهش هزینه مربوط به تعیین موقعیت چاه‌های نظارتی می‌تواند کمک قابل توجهی ارائه دهد. درک وضعیت هیدروژئولوژی در تعیین مسیرهای مهاجرت آلودگی و ارزیابی سرانجام حرکت این آلودگی ضروری است.

با کاربرد به هنگام روش‌های تلفیقی ژئوفیزیکی مانند لرزه‌نگاری شکست مرزی، مقاومت ویژه الکتریکی و GPR بسیاری از مسایل زیرسطحی قابل آشکارسازی است و هر چه این مسایل زودتر شناخته شده و ارزیابی گردند، برنامه‌ریزی برای پاک‌سازی در جهت به حداقل رساندن صدمات زیست محیطی عملی تر می‌گردد.

برداشت‌های GPR علاوه بر موضوع‌های گفته شده در قبل می‌تواند از نظر استفاده مناسب و هزینه پایین در موارد زیر نیز به کار گرفته شود:

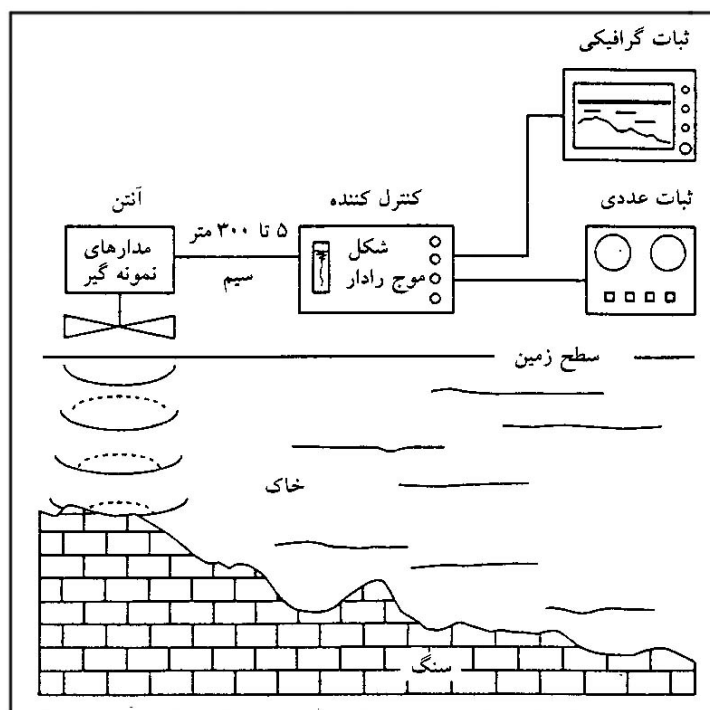
- تعیین موقعیت چاه‌های نظارتی استراتژیک جهت نمونه برداری از خاک‌ها و سیالات
- تعیین گرادیان‌های هیدروژئولوژی

- نظارت بر روندهای پاک‌سازی

۲-۳-۸-۱- اصول رادار نفوذی زمین

اصول روش GPR مشابه روش‌های لرزه‌نگاری بازتابی و صوتی است. در این روش از طریق یک آنتن فرستنده انرژی الکترومغناطیسی به صورت پالس‌های کوتاه با فرکانس بالا (۱۰ تا ۳۰۰۰ مگا هرتز) به زمین فرستاده می‌شود. در این فرکانس‌ها نفوذپذیری دی الکتریکی مواد زیر سطحی نسبت به رسانندگی الکتریکی آنها دارای تاثیر بیش‌تری می‌باشد. آب دارای نفوذپذیری دی الکتریکی بالا (حدود ۸۰) می‌باشد در حالی که سنگ‌ها و بعضی زباله‌های آلودگی دارای مقادیر نفوذپذیری دی الکتریکی کمی می‌باشند.

امواج توسط یک آنتن انتشار دهنده در زیر سطح زمین منتشر می‌شود. زمانی که موج به یک هدف مورد نظر برخورد می‌کند، قسمتی از آن بازتابیده شده و به آنتن گیرنده می‌رسد. انتشار سیگنال رادار وابستگی فرکانسی به مشخصات الکتریکی زمین دارد. رسانندگی الکتریکی خاک یا مواد سنگی در طول مسیرهای انتشار باعث جذب و اتلاف انرژی می‌شود که این موضوع باعث محدودیت نفوذ سیگنال در سازندهای زمین می‌گردد. با این وجود اندازه‌گیری‌ها که به‌طور پیوسته صورت می‌گیرد، دارای قدرت تفکیکی است که به‌طور قابل ملاحظه‌ای از دیگر روش‌های ژئوفیزیکی بیش‌تر می‌باشد. رسانندگی خاک و زمین وابسته به مقدار رطوبت و کانی‌های موجود می‌باشد، که امواج رادار در مواجهه با یک ناهمگونی خواص الکتریکی مواد زیر سطحی قسمتی از انرژی آن بازتابیده و قسمت دیگر آن ممکن است از محیط ناهمگون عبور کند. شکل ۲-۵ تصویری شماتیک از اصول اجرای GPR را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵ - نمودار شماتیک چگونگی اجرای روش GPR

خواص الکتریکی مواد زمین‌شناسی به‌طور عمده به مقدار آب موجود، کانی‌های (نمک‌های) حل شده، گستردگی رس‌ها و مقدار کانی‌های سنگین وابسته است. سیگنال‌های بازتابی پس از تقویت و تبدیل به گستره فرکانس شنوایی، ثبت شده، سپس روی آنها پردازش صورت می‌گیرد. با به نمایش گذاشتن داده‌های حاصل، رکوردهایی به‌دست می‌آید که با استفاده از آنها عوارض زیرسطحی مانند فصل مشترک‌های خاک- خاک، سنگ و نیز قسمت اشباع از غیراشباع قابل شناسایی است. علاوه بر آن حضور آلودگی‌هایی مانند نفت‌های شناور روی سطح آب زیرزمینی، هندسه زبانه‌های آلودگی و موقعیت مخزن‌ها (سایت‌های مخزن‌های زیرسطحی UST)، لوله‌ها و کابل‌های مدفون می‌توانند آشکارسازی شوند.

داده‌های GPR به صورت یک نیم‌رخ عمقی دو بعدی، در طول یک مقطع اسکن شده نمایش داده می‌شوند که در آن محور قائم نشان دهنده زمان رفت و برگشت سیگنال اندازه‌گیری شده بر حسب نانوثانیه می‌باشد. اگر سرعت انتشار پالس الکترومغناطیسی شناخته شده باشد، عمق بازتابنده از رابطه زیر قابل دستیابی است:

$$dr = V t_r / 2 \quad (1-2)$$

که در آن dr عمق بازتابنده، t_r زمان رفت و برگشت پالس و V سرعت عبور رادار از مواد زیرسطحی می‌باشد.

برای محیطی با اتلاف انرژی پایین، سرعت انتشار توسط رابطه زیر به ثابت دی‌الکتریکی نسبی (ϵ_r) وابسته می‌گردد:

$$V = C / \sqrt{\epsilon_r} \quad (2-2)$$

که در آن C سرعت نور در فضای آزاد (۳۰ سانتی متر بر نانوثانیه) می‌باشد. ثابت دی‌الکتریکی نسبی مقداری است که ظرفیت یک ماده را جهت انبار کردن بار الکتریکی نسبت به همان ظرفیت در خلا زمانی که در معرض یک میدان الکتریکی قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد. به این ترتیب با توجه به دو رابطه پیش گفته، در یک محیط همگن با تلف انرژی پایین در صورت شناخت یا تخمین ثابت دی‌الکتریکی نسبی ϵ_r ، عمق بازتابنده برابر خواهد بود با:

$$dr = C t_r / 2 \sqrt{\epsilon_r} \quad (3-2)$$

قابلیت نفوذ GPR از یک طرف به ویژگی‌های سایت و از طرف دیگر به طیف فرکانس منبع سیگنال تحریک کننده کار آبی آنتن انتشار و خواص الکتریکی مواد زیر سطحی بستگی دارد.

فرکانس‌های بالاتر دارای قدرت تفکیک بهتری برای شناخت مواد زیرسطحی می‌باشند، ولی قدرت نفوذ آنها کمتر است. فرکانس‌های پایین در گستره فرکانسی برداشت‌های GPR به قیمت کاهش قدرت تفکیک هدف زیرسطحی، از عمق نفوذ بیشتری برخوردارند. در بررسی‌های UST، گستره فرکانسی مورد استفاده عموماً بین ۱۰۰ تا ۹۰۰ مگاهرتز قرار دارد. فرکانس‌های بالاتر از ۹۰۰ مگاهرتز نوعاً برای بررسی‌های عمق کمتر از ۲ فوت (حدود ۶۰ سانتی متر) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در ارتباط با اثر خواص الکتریکی مواد روی قابلیت نفوذ امواج رادار، عموماً محیط با رسانندگی بیشتر سبب اتلاف یا تضعیف بیشتر موج رادار القا شده و در نتیجه کاهش بیشتر موج برگشتی می‌گردد. مواد دارای رسانندگی الکتریکی (بسیاری از کانی‌های رسی و خاک مرطوب غنی از نمک‌ها و دیگر یون‌های آزاد) به سرعت سیگنال رادار تضعیف کرده و به این ترتیب می‌توانند کارایی GPR را به‌طور قابل توجهی محدود کنند. برای مثال در رس‌های مرطوب کم‌عمق با مقادیر رسانندگی زیاد (۳۰ میلی‌موس بر متر یا بیشتر)، عمق نفوذ می‌تواند از ۲ فوت کمتر شود. بر عکس در مواد خشک با مقادیر رسانندگی الکتریکی حدود چند میلی‌موس بر متر مانند ماسه بدون رس و گراول، عمق‌های نفوذ می‌توانند به بیش از ۹۰ فوت نیز برسند. گستره نوعی عمق‌های نفوذ بین ۳ و ۱۵ فوت در زیر سطح زمین می‌باشد.

به‌طور کلی عواملی که در تضعیف و اتلاف انرژی امواج رادار موثر بوده و در نتیجه باعث کاهش قابلیت نفوذ GPR می‌گردند، عبارتند از:

- تبدیل انرژی انتشاری به گرما در اثر اتلاف‌های ناشی از رسانندگی الکتریکی
- اتلاف‌های واهلش^۱ دی الکتریکی در آب
- دیفوزیون شیمیایی در کانی‌های رسی
- اثر پراکندگی سیگنال به واسطه گوناگونی^۲ کوچک مقیاس نیز می‌تواند با افزایش فرکانس، تضعیف را افزایش دهد.

۲-۳-۸-۲- برداشت‌های GPR

با توجه به مطالب عنوان شده در قسمت قبلی، بررسی مواد احتمالی زیرسطحی یا ساختارهای دفن شده در یک محدوده مطالعاتی پیش از تصمیم‌گیری در استفاده از روش GPR مهم است. برداشت‌های آزمایشی نیز به‌طور معمول برای کمک به پیش‌بینی موفقیت روش GPR می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

اندازه‌گیری‌های GPR به‌طور معمول در طول خطوطی که به‌طور عرضی محدوده مورد نظر را پوشش می‌دهند، صورت می‌گیرد. فاصله این خطوط بستگی به تراز زهکش تفصیلی و اندازه هدف یا هدف‌های مورد نظر دارد. فاصله ایستگاه‌ها روی هر خط بر اساس هدف برداشت می‌تواند دارای تغییرات زیادی باشد. به‌طور تقریب میانگین قدم شماری ۲ تا ۳ مایل (۳/۲ تا ۴/۸ کیلومتر) در ساعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعضی بررسی‌های بسیار تفصیلی می‌تواند تا ۰/۱ مایل بر ساعت نیز برسد. سامانه‌های برداشت جدید قابل سوار شدن روی خودروها بوده و از سرعتی تا ۶۵ مایل بر ساعت برای شناخت مواد زیر سطحی کم‌عمق برخوردار است. داده‌ها می‌توانند برای پردازش‌های دفتری (بیرون سایت) یا ایجاد زمان واقعی جهت تجزیه و تحلیل در محل اندازه‌گیری، ثبت شوند.

اگر آنتن‌های GPR سپردار شده باشند، نسبت به ساختمان‌های شهری و صنعتی روی سطح تاثیرناپذیر است. برای آنتن‌های بدون سپر، یک تکنسین ماهر اغلب می‌تواند با تشخیص بازتاب‌های حاصل از عوامل سطحی، از اثر آنها روی داده‌های مورد نظر چشم‌پوشی کند.

۲-۳-۸-۳- کاربردهای GPR

کاربردهای GPR بر مبنای فرکانس‌های آنتن اصلی می‌تواند به دودسته مجزا تقسیم شود. برای کاربردهای زمین‌شناسی که در آن عمق نفوذ از اهمیت بیشتری نسبت به تفکیک بسیار بالا برخوردار است، آنتن با فرکانس‌های کم‌تر یا برابر ۵۰۰ مگاهرتز به‌کاربرده می‌شود. برای کاربردهای مهندسی یا "آزمایش بدون تخریب"^۳ (NDT) آنتن با فرکانس‌های بیش‌تر یا برابر ۵۰۰ مگاهرتز و به‌طور مشخص فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز یا یک گیگاهرتز به‌کارگرفته می‌شود. در زیر گستره کاربردهای GPR در مورد مطالعات زیست‌محیطی آمده است:

1-Relaxation
2-Heterogeneity
3 -Non-Destructive Testing

- تهیه نقشه زباله‌های آلودگی
- به نقشه درآوردن و بررسی مستمر آلوده‌کننده‌ها در آب زیرزمینی
- بررسی‌های محل دفن زباله
- تعیین موقعیت مخازن سوخت و بشکه‌های نفت مدفون شده
- تعیین موقعیت نشت‌های گاز
- بررسی‌های آب زیرزمینی

فصل ۳

پدیده خوردگی و کنترل آن

۳-۱- اهمیت موضوع و پیشینه

پدیده خوردگی در فلزات یکی از معضلات صنعتی و اقتصادی مهم جهان امروز می باشد. زیان های مالی و جانی این پدیده که توجه پژوهشگران را به خود معطوف داشته است شاید از بدو پیدایش فلزات و کاربرد آن برای انسان آن روزگار قابل لمس بوده ولی با توجه به دامنه محدود و ابتدایی علوم، قادر به تحلیل مستدلی از سازوکار و علل بروز آن نبوده و تنها به تعویض ابزار ساده خویش مبادرت می نموده است. در جوامع صنعتی امروز، پدیده خوردگی علاوه بر تحمیل هزینه های مربوط به تعویض قطعات و توقف دستگاه ها و واحدهای عملیاتی، زیان های دیگری نیز مانند فرار آب از شبکه آب رسانی، نشت نفت از لوله ها و آلودگی محیط زیست، آلوده شدن محصولات به موادی مانند سرب و تخریب و شکستن ابنیه فلزی را به دنبال دارد. در این رابطه خسارات ناشی از خوردگی به حدی است که در بررسی های انجام شده در چندین کشور صنعتی جهان، زیان های این پدیده مخرب را در حدود ۴ تا ۵ درصد تولید ناخالص ملی برآورد کرده اند [۲].

اگرچه رویارویی علمی و فنی با این پدیده در ۵۰ ساله اخیر شتاب بیشتری به خود گرفته ولی اولین چاره جویی های علمی دانشمندان به نیمه اول قرن نوزدهم برمی گردد و از این نقطه نظر همفری داوی^۱ دانشمند انگلیسی اولین کسی بود که به بررسی اصول خوردگی گالوانیکی پرداخته و نتایج آزمایش های خود را در باره چگونگی حفاظت کاتدی بدنه کشتی ها با نصب آندهای ازین رونده در سال ۱۸۲۴ منتشر ساخت.

میشل فاراده^۲ دانشمند معروف ایتالیایی در سال های ۱۸۳۰-۱۸۴۰ رابطه بین مقدار فلز حل شده و جریان برق را به صورت رابطه ای بیان نمود و برای اولین بار اعلام نمود که انحلال فلزات ماهیت الکتروشیمیایی دارد.

در سال ۱۸۴۷ ریچارد آدی^۳ نشان داد که خوردگی ناشی از اثر اکسیژن بر روی آهن و در معرض سیالی در حال حرکت سبب ایجاد جریان الکتریکی می گردد. متعاقب تلاش مستمر پژوهشگران، انجمن های علمی و نهادهای دولتی نیز در زمینه تحقیقات جلوگیری از خوردگی وارد عمل شدند. در سال ۱۹۰۶ در چهارچوب انجمن آمریکایی برای آزمایش و مواد^۴ (ASTM)، کمیته ای جهت آزمایش های مخصوص خوردگی تشکیل گردید. از ارگان های دولتی دیگر در این کشور می توان از موسسه ملی استانداردها^۵ (NBS) که فعالیت خود را از سال ۱۹۲۲ بر روی مسایل خوردگی آغاز کرده است نام برد.

در انگلستان نیز «کمیته خوردگی انستیتوی آهن و فولاد»^۶ اولین گزارش خود را در سال ۱۹۳۹ و ششمین گزارش خود را در سال ۱۹۵۹ منتشر نمود.

امروزه در آمریکا و انگلستان و نیز در کشورهایمانند روسیه، آلمان، فرانسه، هلند، ایتالیا، استرالیا، ژاپن و سوئد تحقیقات زیادی برای مواجهه با پدیده خوردگی انجام گرفته و نشریات متعددی منتشر می شود.

از جمله نشریات مزبور می توان به دو نشریه چاپ کشور انگلستان در این زمینه اشاره نمود:

British Corrosion Journal Corrosion Science

1 -Humphrey Davy

2-M.Faraday

3-Richard Adie

4-American Society for Testing and Materials

5-National Bureau of Standards

6- Corrosion Committee of Iron and steel Institute

Corrosion Prevention and Control, Anti-Corrosion

اینک ابتدا به مفهوم خوردگی فلز و سپس به مواد خورنده و شرایط به وجود آمدن خوردگی می‌پردازیم.

۳-۲- مفهوم خوردگی فلز

خوردگی فلز عبارت است از واکنش شیمیایی بین سطح فلز و محیط اطراف آن که در واقع حمله‌ای است بدون هدف (غیرعمدی) به جسمی در داخل زمین. اجسام فلزی بیش از سایر اجسام در معرض خوردگی قرار می‌گیرند و این موضوع بیش‌تر در تاسیسات لوله‌گذاری در زیر زمین پدید می‌آید.

خوردگی می‌تواند در یک محیط گازی (خشک) یا یک محیط مرطوب رخ دهد. شکل ۲-۱ هنجار هر دو نوع خوردگی با محیط خشک و مرطوب را در مقیاس اتمی نشان می‌دهد. خوردگی در یک محیط گازی باعث ایجاد یک لایه سطحی فلز تبدیل یافته می‌گردد. برای مثال خوردگی جوی، فلز روی را در اثر ایجاد لایه‌ای از اکسید روی کدر می‌کند که این مساله در مورد چراغ‌های گالوانیزه شده خیابان‌ها قابل مشاهده می‌باشد. خوردگی در یک محیط مرطوب با جابجایی اتم‌ها در سطح فلز، آن‌را مورد حمله قرار می‌دهد.

به علت بالا بودن رسانندگی الکتریکی فلزات، پدیده خوردگی معمولاً طبیعت الکتروشیمیایی دارد. واکنش‌های الکتروشیمیایی در محیط موضعی صورت می‌گیرد که بین محیط خوردگی‌زا و فلزی که در آن قرار دارد جریان گالوانی به چرخش درآید. جریان گالوانی جریانی است که از واکنش شیمیایی خودبه‌خودی بین یک آند و یک کاتد که در داخل یک مایع الکتrolیتی قرار دارند حاصل می‌شود. این شرایط در اثر عوامل مختلفی پیدا می‌شود که عبارتند از: نامتجانس بودن ترکیبات شیمیایی فلز مورد نظر، تباین در ترکیبات الکتrolیت میزبان یا اختلاف در ویژگی‌های الکتریکی این محیط، یا تماس فلز مورد نظر با فلزات دیگر حاضر در محیط. به خصوص برای فلزات مدفون در زیرزمین چنین جریانی با رسانندگی الکتریکی خاک اطراف نیز ارتباط دارد. چنین عواملی باعث می‌شود که در محیط سامانه‌ای متشکل از یک آند و یک کاتد در داخل یک الکتrolیت به وجود آید و جریان گالوانی بین دو الکتrode برقرار شود. وقتی یک فلز مثل آهن در تماس با الکتrolیت خوردگی قرار می‌گیرد، اتم‌های فلز در سطح آن الکترون از دست می‌دهند و این الکترون‌ها به یون‌های باردار شده فعال تبدیل می‌شوند که فلز را ترک کرده و وارد الکتrolیت می‌گردند. واکنش‌های این عمل به صورت زیر است:



یون‌های فلز به یون‌های باردار شده با بار مخالف حاصل از الکتrolیت پیوسته و ترکیبی جدید و پایدار را تشکیل می‌دهند. حرکت یون‌های مثبت به طرف الکتrolیت و از آنجا به طرف کاتد حاصل از تغییرات در محیط حرکت کرده و الکترون‌ها به طرف دیگر فلز حرکت می‌کنند و چرخه حرکت جریان به وجود می‌آید. برخلاف واکنش آندی، در واکنش‌های کاتدی فلز به محلول راه پیدا نمی‌کند. لذا در کل خوردگی در منطقه کاتدی انجام نمی‌شود. در جایی که هوایی وجود داشته و شرایط نزدیک به حالت خنثی باشد، یون‌های

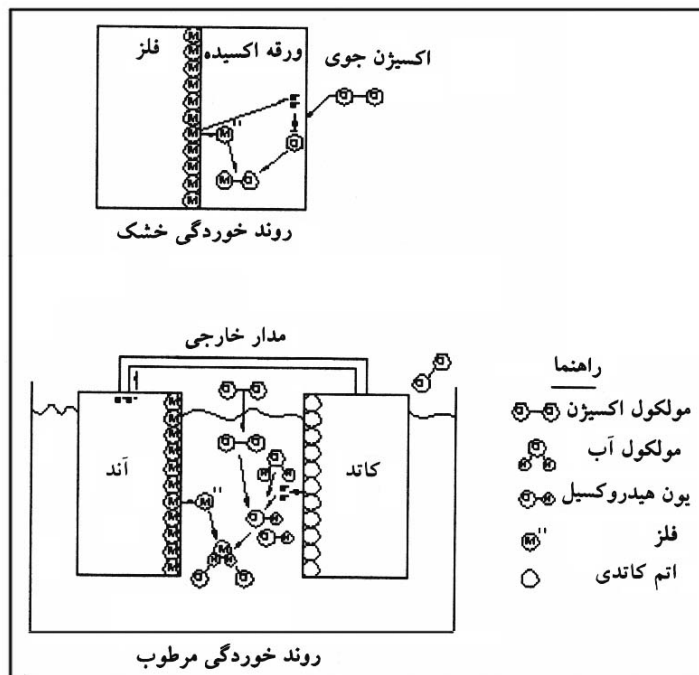
آهن که در آند تولید شده‌اند با یون‌های هیدروکسید (OH^-) که در نزدیکی کاتد تولید شده‌اند واکنش انجام داده و هیدروکسید آهن تولید می‌کند که خود در مجاورت اکسیژن به زنگ تبدیل می‌شود. لذا واکنش کلی چنین خواهد بود:



به این ترتیب مواد خیلی رسانا و شرایط محیطی خیلی رسانا برای ساختارهای فلزی زیان‌آور می‌باشند، مثل زمین‌های شورزار^۱ و محیط‌های دریایی. یک لوله فلزی مدفون که از زمین‌های با رسانندگی‌های متفاوت عبور می‌کند تحت تاثیر اختلاف پتانسیل حاصل از جریان‌های الکتریکی ژئودینامیکی قرار می‌گیرد.

۳-۳- انواع خوردگی

خوردگی با ایجاد شاهدهی فیزیکی حضور خود را نشان می‌دهد. شکلی که خوردگی به خود می‌گیرد، بستگی به سازوکار آن دارد. دو نوع خوردگی خشک و مرطوب وجود دارد که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. در زیر تعدادی از معمول‌ترین حالت‌های خوردگی شرح داده شده است.



شکل ۱-۳- روند خوردگی خشک و مرطوب [۴]

۳-۳-۱- خوردگی شیمیایی

۳-۳-۱-۱- خوردگی گالوانیک

اختلاف پتانسیل ایجاد شده در شرایط گالوانیک یعنی وقتی دو فلز غیرهمجنس از جدول گالوانیک (مانند روی و آهن) متصل مثلا در یک محیط الکترولیت (مانند آب نمک) قرارگیرند فلز بالای جدول (روی) نقش آند را ایفا کرده و به تدریج از بین خواهد رفت (زنگ زدگی آهن گالوانیزه). جدول ۳-۱ چند فلز را به ترتیب درجه خوردگی زایی نشان می دهد. همه فلزات در داخل خود مقداری انرژی ذخیره دارند. این انرژی متناسب با انرژی است که در موقع جدا شدن از کانی ها به آبها داده شده است. منیزیم دارای بیشترین انرژی و پس از آن به ترتیب روی، آلومینیوم، فولاد و چدن می باشند. سرب، برنج و مس انرژی کمتری دارند که سبب می شود تا آنها فقط اندکی توسط فرآیند خوردگی تحت تاثیر قرار گیرند. بالاخره کربن، شبه فلزها و طلا کمترین سطوح انرژی را دارند.

۳-۳-۱-۲- خوردگی میکروبی (دراثر باکتری)

انواع بسیاری از باکتری ها وجود دارند که در محیطهای مرطوب زندگی می کنند. این باکتری ها فرآورده های زباله های اسیدی رها می سازند و یا می توانند ترکیبات اصلی یک فلز را از آن جدا کنند اگر این باکتری ها روی دیواره های لوله و سطوح فلز رشد و نمو یابند باعث خوردگی خواهند شد. این فرآیند در هر دو شرایط هوازی و بی هوازی رخ می دهد.

۳-۳-۲- خوردگی مکانیکی

۳-۳-۲-۱- خوردگی چاله ای^۱

یک فلز ممکن است بدون اتصال با فلز دیگر دچار خوردگی شود. در این حالت سطوح مختلف فلز دارای پتانسیل های الکتریکی متفاوتی می شوند. این موضوع به دلایل مختلفی مانند تغییر در خواص متالورژی فلز یا تغییرات سطح لایه اکسیژن مانند شکستگی، نازک شدن، ناخالصی، آلودگی و غیره می تواند ایجاد گردد.

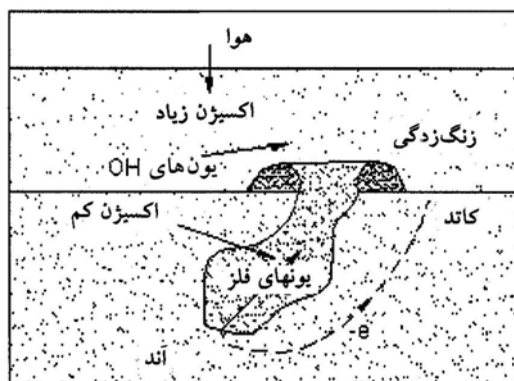
در خوردگی چاله ای فلز واقع در سر یک چاله به دلیل دسترسی به اکسیژن هوا کاتد می شود. در کف چاله اکسیژن تخلیه شده و فلز آند می گردد. هرچه چاله عمیق تر باشد، اکسیژن موجود در کف آن کم تر بوده و آهنگ خوردگی افزایش می یابد. شکل ۳-۲ سازوکار خوردگی چاله ای را نشان می دهد.

۳-۳-۲-۲- خوردگی درزه ای

یک درزه زمانی ایجاد می شود که دو جسم در کنار هم قرار می گیرند. با وجود صاف بودن کامل این دو درزه وجود خواهد داشت و اکسیژن نمی تواند به راحتی وارد این فاصله ایجاد شده گردد، ولی خارج آن از اکسیژن پر می شود. به این ترتیب خوردگی از این درزه به دلیل اختلاف هوازدگی (اکسیژن) شروع می شود. شکل ۳-۳ یک خوردگی درزه ای را که در زیر یک لایه آب دریا رخ داده نشان می دهد.

جدول ۳-۱- سری الکتروموتیو فلزات

پتانسیل	شکل یونی	فلز
+۲/۹۶	Li ⁺	لیتیم
+۲/۹۳	Rb ⁺	روبییدیم
+۲/۹۲	K ⁺	پتاسیم
+۲/۹۲	Sr ⁺⁺	استرونیسیم
+۲/۹۰	Ba ⁺⁺	باریم
+۲/۸۷	Ca ⁺⁺	کلسیم
+۲/۷۱	Na ⁺	سدیم
+۲/۴۰	Mg ⁺⁺	منیزیم
+۱/۷۰	Al ⁺⁺⁺	آلومینیوم
+۱/۶۹	Be ⁺⁺	بریلیم
+۱/۱۰	Mn ⁺⁺	منگنز
+۰/۷۶	Zn ⁺⁺	روی
+۰/۵۶	Cr ⁺⁺	کروم
+۰/۴۴	Fe ⁺⁺	آهن (دو ظرفیتی)
+۰/۴۰	Cd ⁺⁺	کادمیم
+۰/۳۴	In ⁺⁺⁺	ایندیم
+۰/۳۳	Tl ⁺	تالیوم
+۰/۲۸	Co ⁺⁺	کبالت
+۰/۲۳	Ni ⁺⁺	نیکل
+۰/۱۴	Sn ⁺⁺	قلع
+۰/۱۲	Pb ⁺⁺	سرب
+۰/۰۴	Fe ⁺⁺⁺	آهن (سه ظرفیتی)
+۰/۰۰	H ⁺	هیدروژن
-۰/۱۰	Sb ⁺⁺⁺	آنتیموان
-۰/۲۳	Bi ⁺⁺⁺	بیسموت
-۰/۳۰	As ⁺⁺⁺	آرسنیک
-۰/۳۴	Cu ⁺⁺	مس (دو ظرفیتی)
-۰/۴۷	Cu ⁺	مس (یک ظرفیتی)
-۰/۵۶	Te ⁺⁺⁺⁺	تلوریم
-۰/۸۰	Ag ⁺	نقره
-۰/۸۰	Hg ⁺⁺	جیوه
-۰/۸۲	Pd ⁺⁺	پالادیم
-۰/۸۶	Pt ⁺⁺⁺⁺	پلاتین
-۱/۳۶	Au ⁺⁺⁺	طلا (سه ظرفیتی)
-۱/۵۰	Au ⁺	طلا (یک ظرفیتی)



شکل ۳-۲- سازوکار خوردگی چاله‌ای

۳-۲-۳- خوردگی تنشی^۱

فلز تحت تنش کششی با آهننگی بیش‌تر از آنکه به‌طور معمول انتظار می‌رود، ممکن است خورده شود. پتانسیل‌های الکتریکی سطوح تحت تنش نسبت به فلز مجاور تغییر می‌کند. ضمن اینکه با احتمال بیش‌تر این تنش می‌تواند درزه‌های میکروسکوپی سطح را گسترش دهد. هر دوی این وضعیت‌ها باعث پیشروی درجهت افزایش آهننگ خوردگی می‌شود.

۳-۲-۴- خوردگی فرسایشی

نوعی خوردگی مکانیکی بوده که اغلب در درون لوله‌های انتقال سیالات به ویژه خطوط لوله آب اتفاق می‌افتد و عامل اصلی آن تغییرات سرعت سیال می‌باشد.

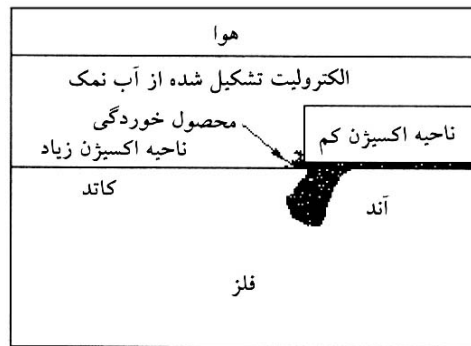
۳-۴- عوامل موثر در خوردگی

۳-۴-۱- عوامل درونی

خوردگی درونی که اغلب در لوله‌های انتقال آب و فاضلاب یا هیدروکربورها اتفاق می‌افتد اغلب به ترکیب شیمیایی و سرعت حرکت مواد درون لوله بستگی دارد. به‌طور مثال در رابطه با شبکه‌های آب‌رسانی کیفیت آب درون لوله نیز در خوردگی جدار لوله فلزی موثر است، افزایش املاح هدایت الکتریکی آب را افزایش داده و خوردگی را تشدید خواهد کرد. وجود کربنات کلسیم در آب ایجاد جریانی را درون لوله‌ها کرده که در اثر آن سرعت عبور اکسیژن محلول کندتر شده و از خوردگی بیش‌تر جلوگیری می‌کند و سرعت زیاد آب در درون لوله باعث «خوردگی فرسایشی» می‌شود.

علاوه بر اینها در طول روزهایی که فعالیت میدان‌های مغناطیسی زمین شدت می‌یابد، بسته به درجه رسانندگی الکتریکی خاک میزبان، جریان‌های القایی اضافی در طول لوله‌های کانالیزه شده و حتی محافظ‌های کاتدی را نیز از کار می‌اندازند. مقاله اوسلا و

همکاران^۱ (۱۹۹۸) مطالعه جالبی است در مورد این آثار و نشان می‌دهد که آثار میدان مغناطیسی زمین می‌تواند آشفته‌گی‌های قابل توجهی در جریان‌های الکتریکی به وجود آورده و خطرپذیری خوردگی‌ها را زیاده‌تر کند.



شکل ۲-۳- خوردگی درزه‌ای

۳-۴-۲- عوامل مربوط به زمین (بیرونی)

این عوامل بیشتر مربوط به خاک میزبان است. در زیر به این عوامل اشاره می‌شود:

۳-۴-۲-۱- مقاومت ویژه خاک

رسانندگی الکتریکی خاک که عکس مقاومت ویژه است نقش مهمی را در خوردگی خاک‌ها ایفا می‌کند و شاخص خوبی برای بررسی الکترولیت بودن یا نبودن آن می‌باشد. خاک‌های دانه ریز (رس و مارن) و مرطوب به دلیل داشتن املاح محلول به صورت یک الکترولیت فعال عمل می‌نمایند. به منظور بررسی وضعیت خوردگی خاک علاوه بر انجام روش‌های آزمایشگاهی از روش‌های صحرایی برای تعیین مقاومت ویژه الکتریکی استفاده می‌شود که در این زمینه در بخش مربوط صحبت خواهد شد.

۳-۴-۲-۲- pH خاک

pH خاک نقش مهمی را در خوردگی بیرونی فلزات ایفا می‌کند. خاک‌های دارای pH پایین‌تر از ۴ معمولاً به صورت یک الکترولیت عالی عمل می‌کند. این خاک‌ها دارای اسید زیادی بوده و به عنوان مهاجم شناخته می‌شوند. خاک‌های خنثی با pH بین ۶/۵ تا ۷/۵ شاخص وجود باکتری‌های احیا کننده سولفات‌ها در شرایط معین می‌باشد. خاک‌های با pH بالا (۸/۵-۱۴) معمولاً از نظر نمک‌های محلول غنی بوده و مقاومت ویژه کمی را نشان می‌دهند.

۳-۴-۲-۳- رطوبت

آب به صورت یک الکترولیت عمل نموده و مقاومت ویژه الکتریکی خاک را پایین می‌آورد. محتویات رطوبت خاک در طول سال تغییر می‌کند و از این لحاظ باید با انجام زهکشی دقیق وضعیت زمین را تحت مراقبت دائم قرارداد.

یکی از مسایل تکراری آزاردهنده موجود آن است که آب به صورت الکترولیت، دارای تغییرات گسترده مقاومت ویژه می‌باشد. برای مثال در نواحی جزر و مدی ترکیب آب ممکن است گستره‌ای از آب دریا در حدود ۳۰ اهم سانتی‌متر تا آب شیرین با ۱۰۰۰۰ اهم سانتی‌متر را که به دنبال باران‌های سنگین ساحلی به وجود می‌آید، شامل شود. در آب‌های قطب شمال اغلب مقدار زیادی آب با مقاومت ویژه بسیار بالا به واسطه ذوب شدن‌های بهاری ایجاد می‌شود که جایگزین آبی که دریا در زمستان داشته، می‌گردد. این تغییرات نه تنها آهنگ خوردندگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بلکه به عنوان فاکتورهای پیچیده‌ای در کاربرد حفاظت کاتدی موثر عمل می‌کند.

به عنوان مثال تامین آب از دو منبع صورت می‌پذیرد که یکی آب‌های زیرزمینی و دیگری آب‌های سطحی می‌باشد. آب این دو منبع می‌تواند به‌طور مشخصی از نظر ترکیب، متفاوت بوده و در یک مخزن ذخیره در زمان‌های مختلف می‌توان تمام نسبت‌های مخلوط آنها را در اختیار داشت. این موضوع به‌طور روشن حفاظت را پیچیده می‌کند.

۳-۴-۲-۴- سولفیدها

حضور سولفیدها در خاک بیانگر امکان وجود باکتری‌های احیا کننده سولفات در آن می‌باشند. سولفات‌ها خود ممکن است به صورت سولفات کلسیم آبدار $2H_2O$ و $CaSO_4$ یا سولفات کلسیم بی‌آب یا انیدریت در خاک وجود داشته باشند. یک آزمون کیفی آزمایشگاهی برای تعیین سولفیدها در نمونه خاک باید انجام شود. در این آزمون از تزریق محلول ۳٪ نیترات سدیم در لوله آزمایش محتوی ید ۰/۱ نرمال و نمونه خاک مورد آزمایش استفاده می‌شود. اگر سولفید در نمونه موجود باشد به صورت کاتالیزور بین محلول ید و نیترید سدیم عمل نموده و نیترژن آزاد می‌شود.

۳-۴-۲-۵- دما

افزایش دما موجب افزایش خوردگی فلزات شده و در شرایط اختلاف دمای دو قطعه فلز متصل به هم در قطعه دارای دمای بیش‌تر خوردگی بیش‌تر خواهد بود.

۳-۴-۲-۶- گازهای اسیدی متصاعد شده از مناطق ولکانیک

این گازها نیز نقش فعالی در خورده شدن لوله‌های فلز درون زمین بازی می‌کنند در این رابطه می‌توان به پدیده خورده شدن محور و غلاف و لوله چاه‌های منطقه خاش در حوضه آتشفشان تفتان اشاره نمود که خسارات زیادی را تحمیل می‌نماید [۱].

۳-۴-۲-۷- جریان‌های الکتریکی درون زمین

تغییرات دانه‌بندی نهشته‌ها که اغلب با تغییر در میزان رطوبت و املاح محلول در آنها همراه می‌باشد، ایجاد یک الکترولیت طبیعی را نموده که در صورت وجود فلزات غیرهم جنس متصل به یکدیگر با ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی نقش موثری را در خوردگی ایفا می‌کند.

۳-۴-۸- جریان‌های الکتریکی سرگردان^۱

این جریان‌ها نیز در خوردگی لوله‌ها و ابنیه فلزی مدفون نقش موثری دارند. از مهم‌ترین سرچشمه‌های جریان‌های سرگردان که از مدار خود خارج گردیده و داخل لایه‌های زمین می‌گردند، جریان خارج شده از مدار خطوط آهن الکتریکی می‌باشد.

۳-۴-۹- جریان‌های تلوریک

تحقیقات دانشمندان نشان داده است که علاوه بر جریان‌های سرگردان در اثر تغییرات مغناطیسی اطراف کره زمین، جریان‌های طبیعی دیگری در درون پوسته آن به صورت صفحات ناپیوسته ایجاد می‌گردد که جریان‌های تلوریک نامیده می‌شوند. این جریان‌ها که پژوهشگران منشا و تغییرات آن‌را در ارتباط با فعالیت کره خورشید و طوفان‌های مغناطیسی ناشی از آن می‌دانند در زمان‌های مختلف و افق‌های متفاوت درون زمین (به دلیل تغییرات در جنس مواد، چگالی، ساختار و هدایت الکتریکی آنها) دارای ارقام متفاوتی بوده ولی تاثیر آن در تغییرات میدان الکترومغناطیسی زمین و خوردگی آن انکار ناپذیر می‌باشد. علاوه بر تاثیرات طوفان‌های مغناطیسی صادر شده از بالای جو، محققین تغییرات میدان مغناطیسی زمین در اثر جزر و مد آب اقیانوس‌ها را نیز منشا جریان‌های الکتریکی القایی دانسته و تاثیر آن‌را بر روی خوردگی ابنیه فلزی ساحل اقیانوس‌ها بررسی کرده‌اند.

تحقیقاتی که در طول خط لوله احداث شده در شمال شرقی استرالیا انجام گردیده نشان داده است که در بخش‌هایی خط لوله مزبور که در ساحل اقیانوس قرار دارد، اختلاف پتانسیلی در حدود ۵ ولت بین لوله و زمین ساحل وجود داشته در حالی که در بخش‌های دیگر این خط لوله (فراتر از کرانه اقیانوس) مشاهده نشده است.

۳-۵- خوردگی خط لوله‌ها و سایر سازه‌های فلزی

در خطوط لوله‌های فلزی که جهت انتقال آب، نفت، گاز و یا مواد شیمیایی استفاده می‌شود و نیز در سازه‌های فلزی مانند ریل آهن در سطح زمین و مخازن زیرزمینی و پایه‌های فلزی نصب شده در درون زمین و یا در آب، باگذشت زمان خوردگی به وجود می‌آید. به‌طور مثال در جاهایی نزدیک سطح زمین که اکسیژن فراوان در آن وجود دارد و یا در شرایط وجود موادی با خواص اسیدی و بازی، زمینه خوردگی فلزات بیش‌تر می‌شود.

۳-۵-۱- خوردگی خط لوله‌ها

اغلب قسمت اعظم خوردگی در فلزات توسط آب و خاک در خط لوله‌ها اتفاق می‌افتد. انواع خوردگی‌های مختلف ممکن است در خطوط لوله یافت شود. وقتی یک لوله در خاک نصب می‌شود تعداد زیادی پیل به وجود می‌آید.

خط لوله‌ای که از خاک‌های مختلف عبور می‌کند، باعث به وجود آمدن پیل‌های غلظتی می‌شود که از نظر دسترسی به اکسیژن باهم متفاوت می‌باشند. ناخالصی‌ها در سطح لوله پیل‌های گالوانیک را به وجود می‌آورند. خم‌های سرد و تنش‌های ناشی از جوشکاری پیل‌های تنشی را ایجاد می‌کنند. مطمئناً با پیچیدگی زیاد زمین احتمال اینکه انواع مختلف پیل ایجاد شود وجود دارد. این پیل‌ها

اندازه‌ها و اشکال مختلف دارند. در برخی مواقع آنها و کاتدها در فاصله ۲ تا ۵ سانتی‌متر از هم قرار گرفته‌اند ولی در برخی دیگر از مواقع آنها کیلومترها از هم فاصله دارند، این پیل‌ها با قدرت‌های مختلف از چند میلی‌ولت تا حتی نیم ولت هستند. سطوح آنها و کاتدها از کوچک تا بزرگ متغیر می‌باشد. به محض اینکه آنها شروع به کار می‌کنند عوض هم می‌شوند. در قسمت‌های کاتدی هیدروژن تشکیل می‌شود. این تغییرات، مقاومت و پتانسیل هر کدام از پیل‌ها را هم تغییر می‌دهد. آنها شروع به خوردن شدن می‌کنند که این موجب می‌شود که یون‌های جدید در محلولی که نزدیک سطح است گذاشته شوند و چون این عمل با اجزای مختلف محیطی در ارتباط است، غلظت تغییر پیدا می‌کند و پتانسیل پیل‌ها هم تغییر می‌یابد بعضی کم و بعضی‌ها زیاد می‌شوند. قسمت‌هایی که آند بودند کاتد می‌شوند. عکس این مساله نیز ممکن است اتفاق بیفتد ولی نه همیشه. عموماً قسمت‌های آندی در خط لوله کوچک‌تر می‌شوند، ولی فعالیت کلی با این آهنگ کاهش نمی‌یابد و ادامه دارد. نتیجه این که تهاجم در بدترین جاها، بیش‌تر است. در نهایت در بین تمامی پیل‌ها فعال‌ترین آند باعث از بین رفتن فلز شده و موجب سوراخ شدن جدار لوله در آن قسمت می‌شود و نشت از لوله آغاز گردیده و خوردگی از اینجا شروع می‌شود.

حرکت آب نیز، خوردگی را از چند طریق تحت تاثیر قرار می‌دهد، آب می‌تواند به‌طور پیوسته تولیدات خوردگی را تحت سایش قرارداد که از طرف دیگر ممکن است مانند سپری درجهت کند کردن روند خوردگی عمل کرده و در نتیجه آهنگ اولیه بالایی از حمله را در خود نگهدارد. همچنین می‌توان بارها انتظار خورنده بودن آن را داشت.

حرکت آب امکان تمام شدن اجزا موجود در آن (مانند اکسیژن) را در کنار سطح مورد حمله غیرممکن می‌سازد زیرا تغذیه‌ای از آب تازه به‌طور پیوسته همواره در دسترس می‌باشد. به‌علاوه تجزیه مولکول آب به اجزا آن یعنی هیدروژن و اکسیژن (اکسیژن در آند و هیدروژن در کاتد) از آثار ثانویه فعال شدن پیل‌ها بوده که در خوردگی لوله موثر می‌باشد. شکل ۳-۴ وقوع پدیده خوردگی را در یک لوله آهنی نشان می‌دهد.

۳-۱-۱-۵- خوردگی در شبکه‌های توزیع سیالات

سامانه‌های توزیع با خط لوله‌ها تفاوت زیادی دارند، آنها عموماً از لوله‌هایی با اندازه و سن مختلف تشکیل شده‌اند. سامانه‌های توزیع در معرض تماس اتفاقی با دیگر خط لوله‌ها به نوعی خطوط آب‌رسانی قرار می‌گیرند. معمولاً در سامانه‌های توزیع مواد مختلفی مانند مس به کار برده می‌شود (مثل خطوط لوله مسی). به خاطر این تفاوت‌ها به این نتیجه رسیدند که به منظور حفاظت این سامانه‌ها روش‌های حفاظتی متفاوتی باید اعمال شود. بیش‌ترین تاکید بر استفاده از واحدهای کوچک و آندهای گالوانیک است حتی اگر لوله‌ها روکش دار باشند.

۳-۱-۲- خوردگی در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب

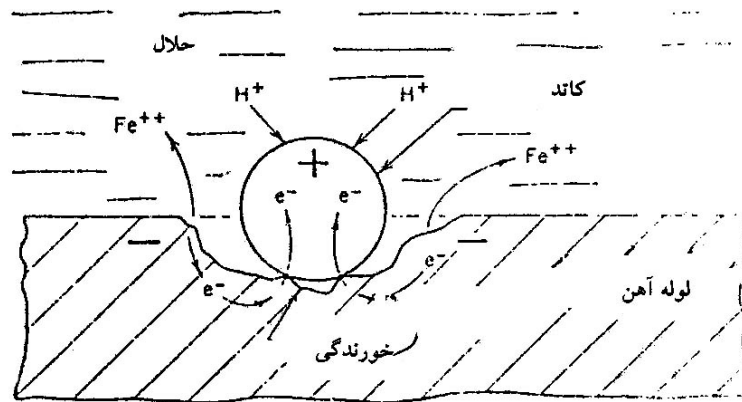
این سامانه‌ها در کل فرق زیادی با خطوط لوله ندارند. سامانه‌های مزبور متنوع بوده و تماس‌های اتفاقی بیش‌تری دارند. یک مساله عمومی در خطوط جمع‌آوری، اغلب شتاب در کارگذاری آنها بدون توجه به مساله کنترل خوردگی است. هرچند که به‌طور قاطع نمی‌توان در این زمینه سخن گفت ولی وجود تفاوت در خوردگی مسایل زیادی را به وجود می‌آورد.

۳-۱-۵-۳- خوردگی در لوله چاهها

اگرچه لوله چاه یک خط لوله قائم محسوب می‌شود، ولی عوارض خاص خود را داراست. هزینه احداث آن خیلی زیاد و تعمیر نشد آن اگر غیر ممکن نباشد دارای هزینه زیاد است. این پدیده به دلیل عبور از لایه‌های مختلف، بسیار پیچیده است. به‌طور معمول این لایه‌ها نسبت به آنچه که روی طول یکسان خط لوله افقی وجود دارد دارای تغییرات زیادتری هستند. لوله چاهها معمولاً لخت بوده و هر تجسس توسط این واقعیت که فقط یک انتهای لوله قابل دسترسی است با مانع روبرو می‌شود. بنابراین بیش‌تر برداشتهای معمولی قابل انجام نیستند.

۳-۱-۵-۴- خوردگی در لوله‌های پالایشگاهها و مراکز صنعتی

فعالیت خوردگی در مجموعه‌های لوله‌گذاری در یک پالایشگاه یا دیگر مراکز صنعتی شکل‌های خاص خود را دارد لوله‌هایی که در روی زمین یا زیرزمین هستند یا لوله‌های بدون روکش یا روکش‌دار با توجه به اندازه‌ها و مواد، عمل‌کرد متفاوتی دارند. در لوله‌های مدفون که لوله‌ها دارای روکش بسیار خوبی باشند ممکن است خوردگی ناشی از مواد داخل لوله‌ها باشد. اجزای داخل لوله از نظر خوردگی یکسان عمل نمی‌کند.



شکل ۳-۴ - پدیده خوردگی در یک لوله آهنی

۳-۵-۲- خوردگی در سایر سازه‌های فلزی

۳-۵-۲-۱- خوردگی در مخازن مدفون زیرزمینی (UST)

این مخازن معمولاً آن‌قدر بزرگ هستند که در تماس با بیش‌تر از یک لایه (چینه) از خاک قرار می‌گیرند که به این ترتیب امکان دارد سبب عمل پیل غلظتی شوند. این اشیا تقریباً همیشه هدف حمله پیل اکسیژن واقع می‌شوند حتی زمانی که زیر سنگ‌فرش قرار گرفته باشند. این مخازن اغلب دارای مجموع فلزات مختلف بوده و به‌ندرت از پوششی که به‌خوبی آنچه که در خطوط لوله استفاده می‌شود برخوردارند.

یکی از مسایل اصلی که در ارتباط با این سازه‌ها وجود دارد، آن است که توجیه یک مطالعه مهندسی برای هر مخزن مشکل بوده و هنوز همه آنها را نمی‌توان به‌طور یکسان مورد بحث قرار داد. در شکل ۳-۵ مکانیزم به وجود آمدن خوردگی در یک مخزن مدفون در داخل زمین نشان داده شده است.

۳-۲-۲- خوردگی در پایه‌های فلزی

تفاوت مهم در اینجا آن است که چند گودال یا حتی چاهک اثر کمی روی قدمت ساختاری پایه‌ها دارد و در نتیجه خوردگی بیش‌تری را نسبت به خط لوله می‌تواند تحمیل کند. پایه‌ها تقریباً همیشه سخت و قائم بوده و در نتیجه هدف همان نوع پیل‌هایی قرار دارند که لوله‌های چاه نفت را مورد حمله قرار می‌دهند. اغلب ممکن است پیوند مساله‌ساز باشد. زیرا پیل‌های منفرد ممکن است به‌طور الکتریکی بهم متصل نشوند که این شرایط هم تجسس و هم حفاظت را به صورت یک مساله در می‌آورد.

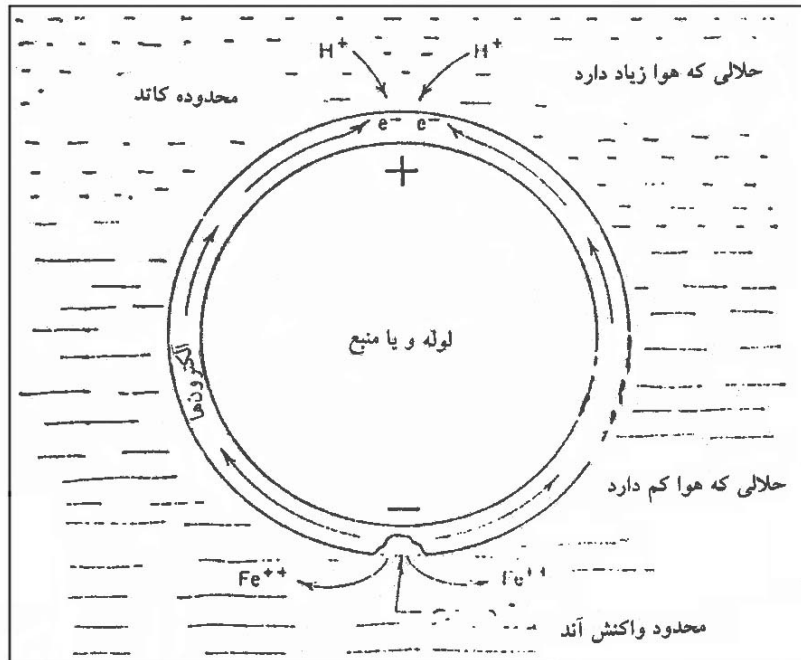
۳-۶- کنترل خوردگی

کنترل خوردگی شامل خنثی کردن واکنش‌های شیمیایی طبیعی که بین فلز و محیط آن اتفاق می‌افتد می‌باشد. روش‌های معمول مورد استفاده عبارتند از:

- اصلاح محیط
- اصلاح خواص فلز
- نصب روکش محافظ روی فلزات
- عمال یک جریان الکتریکی برای جبران الکترون‌ها
- استفاده از مواد غیرفلزی

۳-۶-۱- اصلاح محیط

خارج کردن اکسیژن محیط از تکمیل شدن فرآیند خوردگی به واسطه کند کردن واکنش‌های شیمیایی که نیاز به الکترون دارد، جلوگیری می‌کند. اگر بتوان اکسیژن را از کاتد محافظت شده دورنگه داشت در این صورت الکترون‌ها نمی‌توانند به راحتی منتشر شده و در نتیجه عامل جریان افت کرده و خوردگی کند می‌شود.



شکل ۲-۵ - خوردگی در یک مخزن مدفون

۳-۶-۲- اصلاح خواص فلز

روش دیگر استفاده از بازدارنده‌های خوردگی است که با فلز در معرض خوردگی (آند) یا فلز محافظت شده (کاتد) آمیخته شده و تشکیل یک سد لایه‌ای را می‌دهد که شارش یون‌ها و الکترون‌ها را به مقادیر کم کاهش داده و به این ترتیب به‌طور بالقوه خوردگی متوقف می‌گردد.

از سری‌های گالوانیک (جدول ۳-۱)، می‌توان مشاهده کرد که هرچه فلز نجیب‌تر باشد، دچار خوردگی کم‌تری می‌شود. زمانی که این فلزات با فلزات پایین‌تر سری گالوانیک به‌طور متالورژیکی ترکیب شوند، آلیاژ حاصل از نظر خوردگی خواص مقاوم‌تری پیدا می‌کند.

این مقاومت می‌تواند با گسترش یک لایه اکسید محافظ روی سطح بیرونی آلیاژ یا به دلیل برخورداری یک اختلاف پتانسیل متفاوت که باعث می‌شود این آلیاژ جدید همانند یک فلز نجیب‌تر رفتار کند، ناشی شود.

غیرفعال کردن یک فلز، روش تغییر اختلاف پتانسیل یک سطح فلزی است. با برداشتن لایه اکسیدی که به‌طور معمول روی یک فلز وجود دارد و قرار دادن مستقیم فلز لخت در تماس با یک اسید، واکنش اسید با سطح فلز ترکیب جدیدی با خواص الکتریکی بهتر می‌سازد. لایه غیرفعال فلز را می‌پوشاند و در صورتی که لایه شکسته نشده باشد و پتانسیل در حد مطلوب باقی بماند، فلز واقع در زیر لایه از خوردگی محافظت می‌شود.

۳-۶-۳- نصب روکش محافظ روی فلزات

فلزات با روکشی از مواد با خواص مقاومت بهتر در برابر خوردندگی پوشانده می شوند که به این ترتیب می توان آنها را محافظت کرد. در این روش از روکش های فلزی و غیرفلزی استفاده می شود.

روکش های فلزی از جنس پست تر که برای فلزات نجیب تر مورد استفاده قرار می گیرد، درحقیقت حفاظت فداشونده را تشکیل می دهند. گالوانیزه کردن نوعی حفاظت می باشد که در آن فولاد توسط روکش حفاظتی فلز روی پوشانده می شود. فلز روی، فولاد را به دو طریق از خوردندگی محافظت می کند. از سری های گالوانیک دیده می شود که نخست روی، قبل از فولاد خورده می شود (فداشونده) سپس با شکل گیری اکسید روی، روی سطح فلز روی لایه محافظی تشکیل می گردد. اگر لایه اکسید خراش بردارد، فلز روی در معرض اکسیژن قرار گرفته و لایه اکسید دوباره شکل می گیرد. اگر قسمتی از روکش فلز روی از بین برود باقی مانده فلز روی پیوندی با ارجحیت نسبت به فولاد خورده می شود. تاهر زمانی که فلز روی در تماس با فولاد باقی بماند با خورده شدن به صورت فداشونده، فولاد را محافظت می کند.

روکش های غیرفلزی که روی فلز گذاشته می شوند، دونوع می توانند باشند. اینها می توانند یا همانند یک سد فیزیکی، مانع دسترسی به سطح فلز گردند و یا با بنیاد نهادن یک مقاومت بسیار بالا در پیل خوردندگی و کاهش شدید شارش الکترون ها عمل محافظت را انجام دهند. روکش های از نوع سد تا زمانی که دچار ترک نشوند عمل محافظت را ادامه می دهند. اگر ترکی ایجاد شود، خوردندگی با شدت در سطح فلز رخ می دهد. روکش های نوع مقاوم شامل افزودنی هایی است که در حضور آب و اکسیژن به عامل های باز دارنده خوردندگی تجزیه می شوند.

۳-۶-۴- اعمال یک جریان الکتریکی برای جبران الکترون ها

خوردندگی مرطوب ایجاد یک پیل دوفلزی و یک شارش الکترونی از فلز پست تر آندی می نماید. اگر به جای آن، الکترون ها از منبع دیگری تامین شوند، فلز پست تر در ابتدا خورده نمی شود. این روکش تحت عنوان حفاظت کاتدی شناخته می شود. با اتصال یک فلز با خاصیت آندی بیش تر نسبت به فلزی که باید محافظت شود، در موارد خوردندگی، فلز با خصلت آندی بیش تر ابتدا خورده می شود و یک منبع دیگر الکترون ایجاد می شود. به همین دلیل قطعه های فلز روی روی بدنه کشتی تعبیه می گردد تا از هر فولادی در تماس با آب دریا محافظت شود.

۳-۶-۵- استفاده از مواد غیر فلزی

مواد زیاد دیگری وجود دارد که می توان آنها را جایگزین فلزاتی که در موقعیت خوردندگی قرار دارند، نمود. در صورتی که خواص فیزیکی مواد غیر فلزی رضایت بخش باشند، استفاده آنها می تواند موثر بودن انتخاب آنها را آزمایش کند.

۳-۷- تاثیرات روکش در خوردندگی و حفاظت کاتدی

یک روش مناسب کنترل خوردندگی، در میان گذاردن مانعی بین فلز سطحی مورد تهدید و محیط خورنده می باشد که این مانع نوعی روکش است. آشکار است که چون خوردندگی همواره نیاز به حضور یک الکتروولت (رطوبت) در تماس با فلز دارد، اگر بتوان فلز را با

موادی روکش داد که به طور مطلق رطوبت ناپذیر باشد و به طور مطلق عاری از سوراخ باشد همه حمله‌ها متوقف خواهد شد. لازم به ذکر است که روکش نمودن در عمل تنها محتاج این دو خاصیت نیست اما این دو خاصیت باید همیشگی باشد. در هر حال روکش از هر دو جنبه گفته شده باید کامل باشد. متأسفانه چنین روکشی پرهزینه می‌باشد. اما هم‌اکنون می‌توان خوردگی خط لوله‌ها و بسیاری از دیگر ساختارها را با ترکیب معقول روکش مناسب به اضافه حفاظت کاتدی کنترل نمود.

حال باید دید که این روکش ناقص چه اندازه روی پیشرفت خوردگی اثر می‌گذارد و نیاز حفاظت کاتدی چه خواهد بود. در مقایسه با خط لوله لخت در همان موقعیت، یک خط لوله روکش‌دار در یک مسیر طولانی نشت‌های کم‌تری خواهد داشت. ممکن است لوله اولین نشتی خود را فقط در یک زمان کوتاه به واسطه روکش ناقص سوراخ‌دار داشته باشد. هر نوع نقص از این نوع در روکش خط لوله روکش معیوب نامیده می‌شود. تحت شرایط ویژه‌ای این اثر (تاثیر پذیری) می‌تواند حتی شدیدتر شود. برای مثال چون فولاد تازه نسبت به فولاد کهنه‌تر گرایش بیش‌تری برای آند شدن دارد، این امر می‌تواند منجر به وضعیت پیچیده‌ای شود. فرض می‌شود یک خط لوله لخت (عاری از روکش) مدت زمانی کار کرده است. در بدترین لکه‌خوردگی، یک نشتی توسعه پیدا می‌کند. به زودی نشتی‌های دیگر در همان سطح کلی آشکار می‌شوند و نیاز به مرمت دارند. بنابراین یک قسمت از خط بازسازی و تعویض می‌شود و بدین وسیله به جای آن فولاد "تازه" در مدار وارد می‌شود و در نتیجه فولاد جدید باید روکش شود. چون روکش کامل نیست در مواردی فاصله‌هایی پیدا خواهد که روکش کامل ندارد. این اثر ایجاد پیلی با آند خیلی کوچک (فاز لخت در فاصله بدون روکش) و یک کاتد بسیار بزرگ (لوله فولادی کهنه در طرفین وصله نو) می‌کند. پتانسیل پیل به بزرگی پتانسیل تمام خط لوله لخت است. اما فعالیت کلی بر روی ناحیه کوچکی از روکش معیوب جایی که انتظار یک نقص بعدی می‌رود متمرکز می‌شود. در هر وضعیت دیگری که در آن قسمت آند یک خط لوله روکش‌دار شده، در حالی که به سمت کاتد بی‌روکش مانده باشد امکان دارد نتایج مشابهی ایجاد نماید. تمام مقدار خوردگی ممکن است توسط روکش کاهش یافته باشد، اما سرعت نفوذ (و بنابراین سرعت پیدایش نخستین نشت) افزایش پیدا می‌کند.

در یک ناحیه‌ای که در معرض جریان سرگردان قرار گرفته، بسیار مهم است که روکش خوبی برای جاهایی از خط لوله که در معرض جریان مزبور قرار دارند تهیه شود. (این محل‌ها به دلیل روکش داشتن محدوده کاتدی است که در معرض حمله قرار ندارد). این کار برای افزایش مقاومت الکتریکی و در نتیجه به حداقل رساندن مقدار جریانی که جاهای دیگر را مستعد خواهد نمود به کار گرفته شود. به طور خلاصه تاثیر کلی روکش بدون حفاظ کاتدی، در مقایسه با به کارگیری لوله بدون روکش در مجموع مقدار حمله را کاهش داده، اما بعضی اوقات شدت محلی را افزایش می‌دهد و اغلب در توزیع خوردگی‌های جدید با روندی تعجب‌آور تاثیر می‌نماید.

کاربرد روکش به شدت مقدار جریان مورد نیاز برای ایجاد حفاظت را کاهش می‌دهد. کاهش ممکن است تا حدود ۹۹/۸ درصد (برای یک روکش بی‌نهایت خوب) و در حد ۵۰ درصد (برای روکش خراب شده کهنه خیلی ضعیف) پیش برود.

فصل ۴

شناخت خوردگی زمین توسط روش‌های

ژئوفیزیکی

۴-۱- کلیات

به منظور ردیابی مناطق خورنده خاک امروزه روش‌های گوناگون ژئوفیزیکی به کارگرفته می شوند. اگرچه اغلب روش‌های ژئوفیزیکی کم و بیش اطلاعاتی را در زمینه رفتار سنگ میزبان با لوله‌ها و سازه‌های فلزی مدفون در اختیار محققین قرار می دهند ولی بدیهی است که قلمرو کاربرد هر روش در زمینه های اکتشافی، محدود به خاصیت های فیزیکی و احیاناً شیمیایی مواد تشکیل دهنده ساختارهای درون زمین و بی‌هنجاری‌های موجود در آن می باشد. به طور مثال لرزه‌نگاری روشی است که با چگالی و تراکم واحدهای سنگی سروکار دارد و سرعت سیر امواج لرزشی زیربنای تباین واحدهای مزبور می باشد و از این رو سنگ‌های بلورین با روش مزبور به آسانی از مناطق مارنی سولفاته قابل تفکیک می باشد زیرا که سرعت سیر امواج لرزشی در سنگ‌های آهنکی و سنگ‌های آذرین خیلی بیش از ۲۰۰۰ متر در ثانیه بوده در حالی که در مارن‌ها و رس‌ها اغلب کم‌تر از ۲۰۰۰ متر در ثانیه می باشد ولی با وجود این به دلیل هزینه زیاد و شرایط خاص، اجرای آن کم‌تر در آشکارسازی مناطق خورنده زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد برعکس روش‌های ژئوالکتریک به خصوص روش مقاومت ویژه با آرایه ونر به دلیل سهولت کاربرد دارای موقعیت بیش‌تری می باشد روش‌های الکترومغناطیسی نیز با توجه به عدم نیاز به نیروی کارگر و سرعت اجرا در آشکارسازی کانون‌های خورنده خاک بسیار متداول می‌باشند. در این میان استفاده از روش رادار نفوذی زمین (GPR) که براساس دانه بندی و ویژگی‌های دی الکتریک آن پایه‌گذاری شده در ردیابی آلاینده‌ها و خوردگی خاک در حال گسترش می باشد.

۴-۲- کاربرد ژئوالکتریک در خوردگی خاک

۴-۲-۱- اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه

مهندسین خوردگی از دوروش اساسی برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک‌ها و آب‌ها استفاده می‌کنند. این روش‌ها یکی به نام روش "جعبه خاک"^۱ نامیده می‌شود که در این روش نمونه کوچکی از خاک یا آب برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه برداشته می‌شود و دیگری روش "درجا"^۲ می باشد که در این روش رقم میانگین مقاومت ویژه در محل مورد نظر تعیین می‌گردد. در هر دو روش آنچه که عملاً اندازه‌گیری می‌شود مقاومت الکتریکی است. مقاومت ویژه بعداً از معادله‌ای که بستگی به هندسه آرایش دارد محاسبه می‌شود.

۴-۲-۱-۱- اندازه‌گیری مقاومت ویژه با روش جعبه خاک

ساده‌ترین نوع جعبه خاک که در شکل ۴-۱ نشان داده شده براساس تعریف مقاومت ویژه ساخته شده است. این وسیله یک جعبه مستطیل شکل با سقف باز است که از مواد غیر رسانا مانند پلاستیک ساخته شده ولی دو انتهای آن فلزی است. ابتدا جعبه را از خاک (یا آب) لبال پر نموده و بعد مقاومت در بین دو انتها اندازه‌گیری می‌شود. معادله مقاومت الکتریکی به صورت $R = \rho \frac{L}{WD}$ است که در آن R مقاومت الکتریکی، L طول و W و D دوبرع دیگر می‌باشند مقاومت ویژه عبارت است از:

$$\rho = R \frac{WD}{L} \quad (1-4)$$

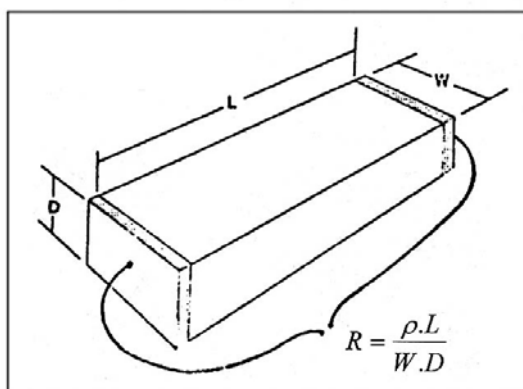
که در آن W و D و L برای هر جعبه به خصوص ثابت بوده و آنرا می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

$$\rho = RC \quad (2-4)$$

که در آن C عبارت از ثابت جعبه^۱ بوده و معمولاً برای سهولت، از ارقامی مانند ۱ و ۱۰ یا ۰/۱ بسته به نوع کاربرد استفاده می‌شود.

یک عیب این جعبه این است که دو انتهای فلزی جعبه ممکن است ایجاد پتانسیلی را بکند که در اندازه‌گیری تأثیر نماید. حتی اگر دو فلز مزبور از ابتدا مشابه باشند خاک ممکن است کاملاً همگن نباشد. حتی اگر خاک و الکترودها هر دو یکنواخت باشند مسیر عبور جریان لازم برای اندازه‌گیری ممکن است تغییراتی را در یک الکتروود یا الکتروود دیگر ایجاد نماید. برای اجتناب از این مشکلات معمولاً از جریان متناوب برای برداشت ارقام استفاده می‌کنند.

یک ایراد دیگر در مورد جعبه مزبور این است که اگر مراقبت لازم انجام نشود، مقاومت سیم‌های سربی و اتصالات نیز جزو ارقام خوانده شده و ایجاد خطا می‌نماید. مشکل دیگر نیز که باید از آن اجتناب نمود مقاومت اتصال بین الکترودها و خاک یا آب می‌باشد. شکل ۲-۴ یک نوع بهتر جعبه خاک را که به منظور فایق آمدن به این موانع طراحی شده نشان می‌دهد، که دارای دو صفحه فلزی انتهایی مانند نوع ساده‌تر آن بوده ولی همچنین دارای دو سنجاق^۲ است که در محل خود در پشت جعبه و انتهای خاک فشار داده می‌شوند. این سنجاق‌ها معمولاً بعد از اینکه خاک در جعبه جاسازی شد در محل خود فرو برده می‌شود تا پر کردن و تمیز کردن آسان‌تر انجام شود. مقاومت اندازه‌گیری شده مربوط به ستون بین دو سنجاق بوده و مربوط به کل جعبه نمی‌باشد. جریان به وسیله ابزار دو صفحه انتهایی تزریق شده و پتانسیل نیز بین دو سنجاق مزبور اندازه‌گیری می‌شود. اگر آنها به صورت جدا اندازه‌گیری شوند پس نسبت آنها برای مقاومت در فرمول استفاده شده که مشابه مقاومتی خواهد بود که از جعبه ساده‌تر به دست آمده است. هنوز استفاده از جریان متناوب قابل توصیه بوده، اگرچه برداشت‌های خوبی را می‌توان از تجهیزات ساده‌تر جریان مستقیم به دست آورد.



شکل ۴-۱- نمودار جعبه خاک با استفاده از فاکتورهای حجم معینی از خاک

1 - Box constant

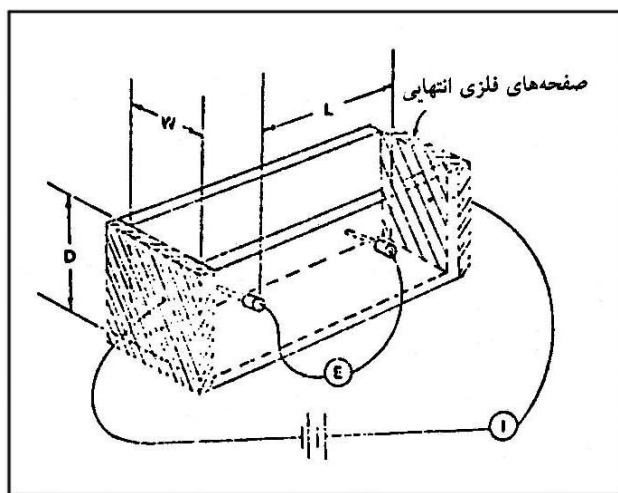
2 - Pin

در جعبه خاک‌های امروزی به جای دو صفحه فلزی انتهایی، دیوار جعبه از دو الکتروود فلزی (جنس روی) مطابق شکل ۳-۴ استفاده می‌شود.

۴-۲-۱-۲- اندازه‌گیری مقاومت ویژه باروش درجا

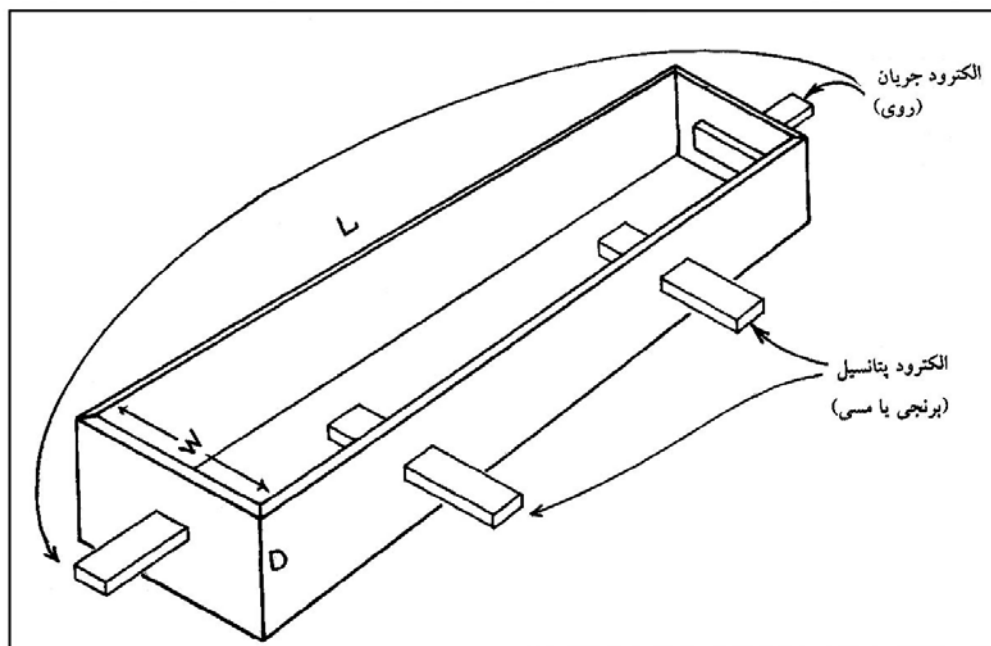
مساله رسیدن به یک ایده دقیق درمورد مقاومت ویژه خاک در طول یک خط لوله مساله ساده‌ای نیست. استفاده از جعبه خاک که قبلاً شرح داده شد نیاز به برداشت صدها نمونه دارد. آنها را می‌توان در صحرا اندازه‌گیری کرد یا اگر لازم باشد درون جعبه ریخته، علامت گذاری کرد و به داخل برده و اندازه‌گیری را انجام داد. اندازه‌های برداشت شده را می‌توان جدول بندی نمود و بعد به طریقی، آنها را به صورت یک تصویر قابل استفاده از شرایط مسیر خط لوله مزبور تلفیق نمود. اشکال عمده اینست که نمونه خیلی کوچک است. به‌علاوه به جز انجام حفاری چاه گمانه، خاک نمی‌تواند به نوعی نماینده خاک لوله گذاری باشد. درجایی که الکتروولیت خوردگی، آب باشد، نوع جعبه اندازه‌گیری غالباً جعبه مناسبی است. اما برای خاک‌ها یک رهیافت دیگر نیز نیاز می‌باشد.

اگر دو الکتروود در خاک فرو برده شود، بخشی از رقم مقاومت کلی بین آنها مربوط به مقاومت کنتاکت بوده و بخش دیگر مربوط به عکس‌العمل الکتروودی می‌باشد که ممکن است اتفاق افتد ولی بیش‌تر آن مربوط به "میانگین" مقاومت ویژه خاکی می‌باشد که بین دو الکتروود گسترده شده است. اگر خاک یکنواخت باشد، مقاومت ویژه قابل اندازه‌گیری خواهد بود و اگر خاک یکنواخت نباشد، پس ما یک نوع "میانگین" مقاومت ویژه را به دست خواهیم آورد که تعریف آن مشکل می‌باشد.



شکل ۴-۲- جعبه خاک نوع بهتر که مدار آن ارقام منطقی تری را به دست می‌دهد.

شکل ۴-۴ وسیله اندازه‌گیری مقاومت ویژه را براساس این اصول نشان می‌دهد. دو الکتروود عبارتند از: نوک کوچک یک میله و ساقه اصلی میله. معلوم شده است که وقتی سطح الکتروود بزرگ‌تر بیش‌تر باشد و به بیش از ۱۰ برابر نوع کوچک‌تر آن برسد در این صورت هرگونه افزایش در سطح آن تغییرات کوچکی در مقاومت بین آن دو ایجاد خواهد نمود. بنابراین لازم است که اطمینان پیدا کنیم که میله با عمق کافی در زمین جا داده شده که نسبت مورد نیاز را به دست دهد.



شکل ۴-۳- جعبه خاک امروزی برای اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه خاک

اگرچه در عمل این وسیله دارای سرعت بیش‌تری از جعبه خاک می‌باشد ولی از این نظر که فقط نمونه خیلی کوچکی - خاک بلافصل نوک میله - اندازه‌گیری می‌شود هنوز مورد انتقاد می‌باشد. این ایراد با استفاده از آرایه ونر یا روش چهارالکتروودی برطرف می‌گردد که اساس آن در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. چهار الکتروود در فاصله یکسان در امتداد خط مستقیم در زمین فرو می‌رود. عمق (b) الکتروود باید نسبت به بازده (a) کوچک باشد. مقاومت به وسیله نسبت $R = E / I$ تعیین شده و سپس مقاومت ویژه از فرمول $\rho = 2 \pi aR$ به دست می‌آید. اگر a برحسب سانتی‌متر و R برحسب اهم باشد پس ρ برحسب واحد مطلوب اهم سانتی‌متر خواهد بود.

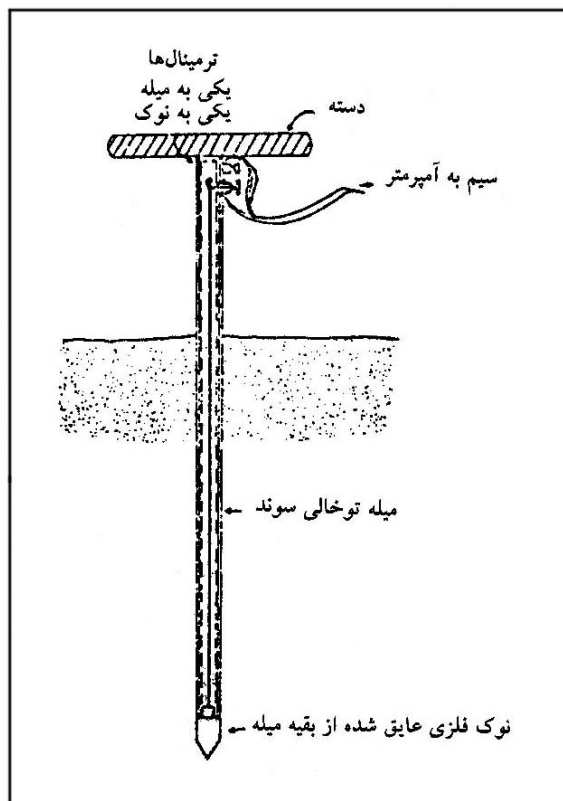
برای آسانی عمل بهتر است فاصله (a) را برابر ۵ فوت (۱۵۲/۴ سانتی‌متر) انتخاب نمود پس با ضرب کردن در 2π مقدار $2 \pi a$ برابر ۱۰۰۰ به دست خواهد آمد و فرمول به صورت ساده زیر درمی‌آید:

$$\rho = 1000 R \quad (3-4)$$

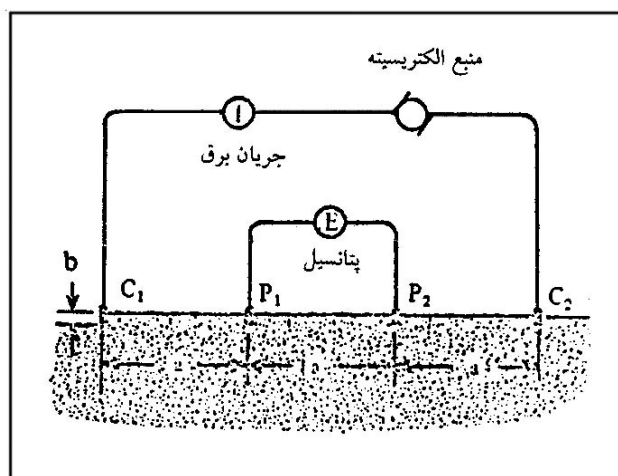
مدار نشان داده شده در شکل ۴-۵ صرفاً نظری بوده زیرا خطاهای قطبی شدن می‌تواند به آسانی ارقام برداشت شده را غیر قابل استفاده نماید. یک اصلاح قابل کاربرد در شکل ۴-۶ نشان داده شده است. به منظور جلوگیری از قطبی شدن از الکتروودهای سفالی حاوی سولفات مس برای الکتروودهای پتانسیل استفاده شده است. جهت جلوگیری از خطاهای ناشی از جریان‌های موجود زمین، جهت جریان از باتری باید برعکس شده و از میانگین ارقام خوانده شده استفاده شود.

در شکل‌های ۴-۷ و ۴-۸ نمودارهای مدار دودستگاه تخصصی که اغلب در این اندازه‌گیری‌ها مورد استفاده می‌باشند نشان داده شده است. در هر دو مورد از خطاهای قطبی شدن و خطاهای ناشی از جریان سرگردان در خاک با استفاده از جریان متناوب جلوگیری می‌شود. در هر دو دستگاه مزبور برای الکتروودها می‌توان از میله‌های فلز ساده استفاده نمود. هرگونه پتانسیل

وارد شده توسط جریان متناوب تعدیل خواهد شد. رقم مقاومت R مستقیماً قرائت شده و مقاومت ویژه از فرمول ذکر شده به دست می‌آید.



شکل ۴-۴- نمودار نشان دهنده ساختمان و مدارهای میل‌های خاک برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه



شکل ۴-۵- نمودار مدار آرایه ϵ الکترودی اندازه‌گیری ونر. P_1 ، P_2 ، C_1 و C_2 الکترودهای نصب شده در خط مستقیم هستند.

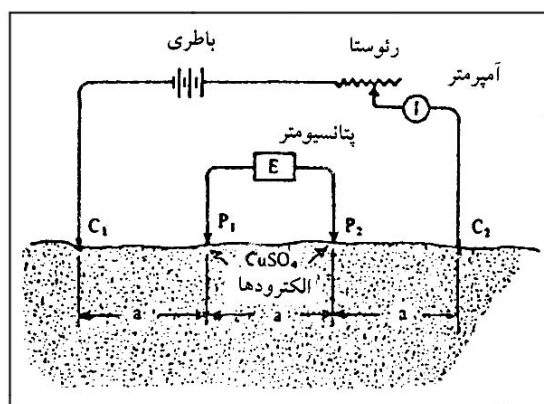
۴-۲-۲- کاربردهای اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه

در کنترل خوردگی خط لوله، اندازه‌گیری مقاومت ویژه از دو نظر ارزشمند می‌باشد، یکی پیش‌بینی احتمالی خوردندگی خاک قبل از لوله‌گذاری و دیگری در طراحی سامانه‌های حفاظت کاتدی مطلوب بعد از عمل لوله‌گذاری.

۴-۲-۱- اثر مقاومت ویژه خاک بر خوردندگی

اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین از روش‌های ژئوفیزیکی اصلی در مطالعات خوردندگی خاک‌ها می‌باشد. هرچه نسبت درصد رسوبات دانه ریز رسی و سیلتی در خاک افزایش پیدا کند رسوبات مزبور به علت داشتن املاح محلول گچی و نمکی و نیز ویژگی‌های الکتروشیمیایی خود موجب تشدید خوردگی فلزات مدفون در آنها می‌شوند. مقاومت مخصوص ظاهری رسوبات رسی و مارنی دارای املاح مزبور غالباً کم‌تر از ۲۰ اهم متر بوده و در شرایط داشتن آب شور به کم‌تر از ۱۰ اهم متر کاهش پیدا می‌کند که معیار خوبی برای تشخیص مناطق خورنده خاک می‌باشد. جدول ۴-۱ میزان خوردندگی خاک را در ارتباط با میزان املاح محتوی آن و مقاومت ویژه خاک نشان می‌دهد.

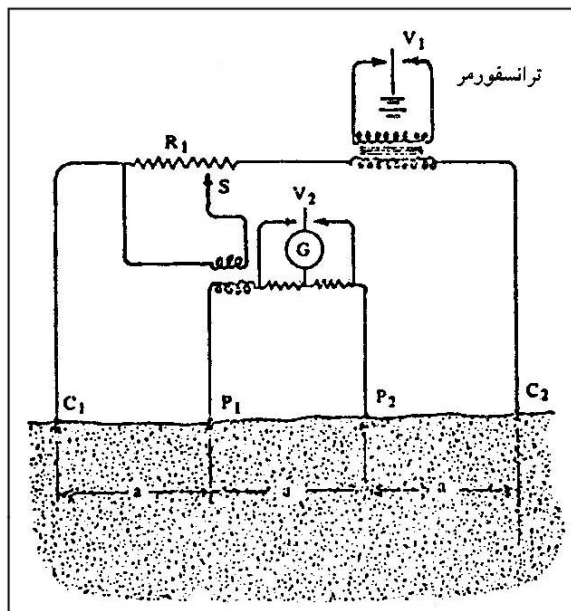
در مطالعات ژئوفیزیک مسیر خط لوله‌ها و ساختگاه سایر سازه‌های فلزی علاوه بر تباین مقاومت ویژه الکتریکی بسترهای دانه ریز و دانه درشت می‌توان از تباین ویژگی‌های خودپتانسیل لایه‌ها نیز استفاده نمود چه رسوبات شیلی و مارنی خورنده به دلیل داشتن درصد بالایی از رس دارای خاصیت خود پتانسیل بارزی می‌باشند که اندازه‌گیری آن می‌تواند معیاری برای تفکیک مناطق خورنده باشد. این روش مناطق رسی را که عامل خوردندگی هستند به خوبی در دشت‌ها مشخص می‌کند (رجوع کنید به نشریه شناخت روش SP).



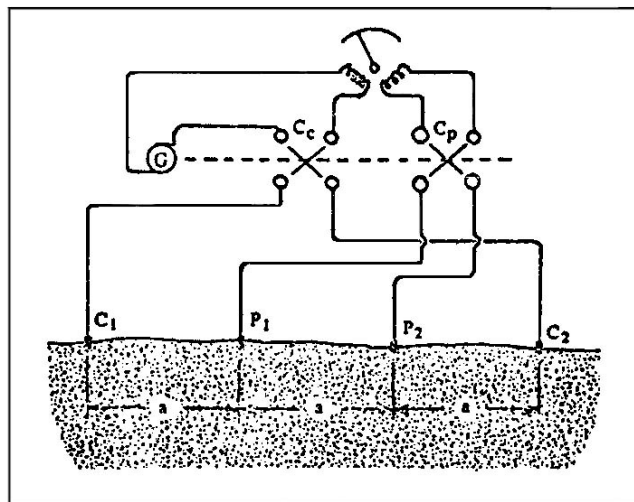
شکل ۴-۶- نمودار مداری برای یک روش پیشرفته برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه از سطح زمین

جدول ۴-۱- میزان خوردندگی خاک در ارتباط با میزان املاح محتوی آن و مقاومت ویژه خاک

مقاومت ویژه الکتریکی خاک برحسب اهم متر	میزان نمک برحسب میلی گرم در لیتر	قدرت خوردندگی خاک
<۱	۷۵۰۰	خیلی زیاد
۱-۱۰	۷۵۰-۷۵۰۰	زیاد
۱۰-۱۰۰	۷۵-۷۵۰	کم
>۱۰۰	<۷۵	خیلی کم



شکل ۴-۷- نمودار مدار ساده شده از دستگاه مقاومت ویژه که با استفاده از برق AC از تاثیرات جریان‌های سرگردان جلوگیری می‌شود.



شکل ۴-۸- نمودار مدار ساده شده از یک دستگاه جریان متناوب که به منظور جلوگیری از تاثیر جریان‌های سرگردان از برق AC استفاده می‌شود.

۴-۲-۲- اثر مقاومت ویژه خاک بر جریان‌های القا شده در خط لوله‌ها

هدف از محافظت کاتدی آن است که با برقراری خط لوله در یک پتانسیل ثابت نسبت به خاک اطراف، از خوردگی جلوگیری شود. ولی در عمل چنین برداشت تلویحی بسیار پیچیده است زیرا عوامل زیادی می‌تواند در شارش جریان اطراف لوله سهمیم باشد. در هرگونه طراحی لازم است که مشخصات عواملی که در فرآیند خوردگی دخالت دارند، مثل مقاومت ویژه خاک، اندازه لوله و کیفیت روکش آن، به حساب آید.

یکی دیگر از عوامل، اثر میدان‌های مغناطیسی بر جریان القایی در لوله است که از علل خوردگی محسوب می‌شود. شدت جریان القایی در یک خط لوله بستگی به شدت و آهنگ تغییرات میدان و مقاومت ویژه الکتریکی خاک دارد. این جریان القایی با جریان خاک میزبان در حال تعادل است و بین خط لوله و میزبان تا وقتی که مقاومت ویژه در طول لوله تغییر می‌کند، هیچ‌گونه جریانی رد و بدل نمی‌شود. در چنین موقعیتی باید بین لوله و خاک میزبان جریانی انتشار یابد تا تعادل جدید به دست آید. این جریان زهکشی بین خط لوله و خاک میزبان سبب خوردگی می‌شود.

در این موارد باید مقاومت ویژه خاک و همچنین اندازه‌گیری‌های هم‌زمان میدان مغناطیسی به‌عمل آید و جریان زهکشی در سایت‌های مختلف تعیین شود.

مطالعات نشان می‌دهد که شدت میدان خارجی با جریان رابطه دارد. این موضوع به خصوص وقتی با طوفان‌های مغناطیسی سروکار داریم مهم است. در چنین مواقعی شدت میدان مغناطیسی یک تا دو مرتبه بزرگی نسبت به شدت در روزهای آرام بیش‌تر می‌شود. این نشان می‌دهد که در مناطق با تباین مقاومت ویژه، جریان‌ها ممکن است زیاد شده و تا چند ده آمپر هم برسد. به‌علاوه اگر قطر لوله‌ها نسبت به سامانه‌های متعارف (۸۰-۶۰ سانتی‌متر) کم‌تر باشد این اثر حتی بیش‌تر خواهد شد. اگر در نظر بگیریم که طوفان‌های مغناطیسی چند بار در سال اتفاق می‌افتند، روزهای زیادی وجود دارد که جریان‌ها به حدود ۱۰ آمپر می‌رسند. این موضوع دونوع خطرپذیری خواهد داشت. اولین خطرپذیری مستقیماً با زیادشدن جریان در مناطق با مقاومت ویژه بالا مربوط است. به‌علاوه معمولاً در چنین مواردی جریان‌های حفاظت کاتدی نیز باید تنظیم شود. خطرپذیری دوم آن است که زیادشدن جریان الکتریکی، کیفیت روکش را خدشه دار می‌سازد.

مطالعات سونداژنی الکتریکی خاک میزبان می‌تواند مقاومت ویژه الکتریکی و ضخامت آن را مشخص سازد. سپس می‌توان مدل‌های تئوری برای جلوگیری از این جریان‌ها انجام داد. اوسلا^۱ (۲۰۰۰) چنین مدلی را پیشنهاد می‌کند.

۴-۲-۳- اندازه‌گیری مقاومت ویژه بتن برای ارزیابی آهنگ خوردگی

خوردگی یک فرایند الکتروشیمیایی است. برای آنکه خوردگی در فولاد بتن مسلح ایجاد شود، باید جریان یونی بین مناطق آندی و کاتدی بتن عبور کند. مقاومت ویژه الکتریکی بتن بر روی این جریان و بر روی آهنگ تولید خوردگی اثر می‌گذارد. اگر مقاومت ویژه بتن بالا باشد خوردگی کاهش می‌یابد. رابطه تجربی بین آهنگ خوردگی و مقاومت ویژه بتن از اندازه‌گیری بر روی ساختارهای واقعی توسط لنگفورد و سایرین (۱۹۸۷) به دست آمده است. این رابطه موقعی قابل استفاده است که مقاومت ویژه را بتوان دقیقاً اندازه گرفت.

فعالیت خوردگی فولاد بتن مسلح را می‌توان با اندازه‌گیری پتانسیل الکتریکی فولاد مسلح نسبت به یک نیم-پیل مثل سولفات مس-مس ارزیابی کرد. اندازه‌گیری پتانسیل بر روی ساختارهای بتن مسلح در محیط‌های متفاوت ممکن است فرق کند. سطوح دارای فعالیت خوردگی از روی پتانسیل‌های منفی بالا و یا از مقایسه تکنیک‌های نقشه برداری پتانسیل مشخص می‌شود. بدین ترتیب مقاومت ویژه بتن در این سطوح اندازه‌گیری شده و آهنگ ماکزیمم خوردگی و در نتیجه درجه خرابی در این سطوح مشخص می‌شود.

خاصیت مقاومت ویژه الکتریکی بتن بستگی دارد به اندازه خلل و فرج موینه‌ای، پیچیدگی سامانه خلل و فرج و محتوای رطوبت مقاومت ویژه شدیداً تحت تاثیر کیفیت بتن قرار دارد، مثل محتوای سیمان، نسبت سیمان - آب، مواد اضافی. کلریدها اثر مستقیم کمی بر روی مقاومت ویژه دارند زیرا یون‌های هیدروکسیل که از سیمان در آب داخل خلل و فرج حل می‌شوند خیلی بیش‌تر از تعداد کم یون‌های کلرید می‌باشند. با وجود این کلریدها در بتن باعث می‌شوند که بتن آب بگیرد. به عبارت دیگر، کلریدها آب را در بتن نگهداری می‌کنند. به همین علت به اشتباه گفته می‌شود که کلرید مقاومت ویژه را کاهش می‌دهد.

تکنیک چهار الکترودی ونر که ابتدا برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک تولید شد، برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه بتن، در مواقعی که توسط کلرید یا کربناتی کردن کم مقاومت می‌شود، به کار می‌رود تا آهنگ خوردگی بتن مسلح را ارزیابی نمایند. الکترودها معمولاً میله‌های فلزی نوک دار است به طول چند سانتی متر و قطر حدود ۵ میلی متر که با فاصله‌های مساوی از هم (معمولاً ۵۰ mm) در یک خط قرار داده می‌شوند. جریان به دو الکترود خارجی (فرستنده جریان) داده می‌شود و اختلاف پتانسیل بین دو الکترود داخلی (گیرنده) اندازه‌گیری می‌شود. سپس مقاومت ویژه محاسبه می‌گردد.

برای اندازه‌گیری در بتن ابتدا لازم بود سوراخ‌هایی حفر شده و الکترودها را در سوراخ فرو کنند، ولی در دستگاه‌های چهار الکترودی جدید فشره‌ای تعبیه شده و آنها را بر روی سطح بتن فشار می‌دهد که تماس الکتریکی برقرار شود. در یک نوع تجارتهی مقداری ژلاتین تر کننده به طور اتوماتیک به سطح مالیده می‌شود که تماس الکتریکی در موقع فشار دادن بر روی بتن بهتر شود (شکل ۴-۹). در نوعی دیگر در انتهای الکترودها توبی‌های چوبی که قبلاً با مواد تماس دهنده آغشته شده اند نصب می‌کنند (شکل ۴-۱۰) اگر سوراخ‌هایی حفاری شده به کار رود، سوراخ‌ها را با ماده تماس دهنده کم مقاومت ویژه پر می‌کنند.

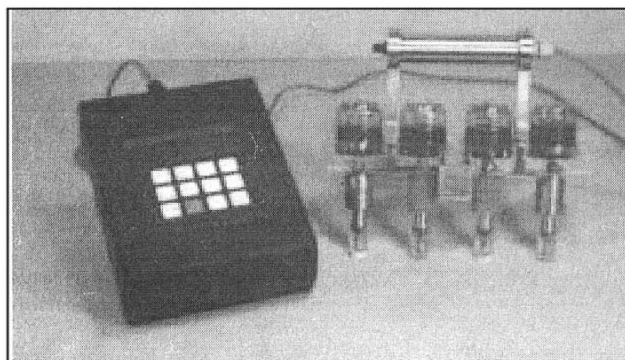
الکترودها را می‌توان به صورت سامانه نظارتی دائم نصب کرد. در یک راهکار جدید یک الکترود در سطح و یک اتصال نیز به شبکه بتن مسلح وصل می‌شود. امتیاز این سامانه آن است که فقط مقاومت ویژه پوشش بتن را اندازه‌گیری می‌کند، هر چند ممکن است مقاومت‌های تماسی مشکل‌زا باشند.

سامانه‌های دو الکترودی ارزان‌تر و کم دقت‌تر نیز وجود دارد (شکل ۴-۱۱). برخلاف سامانه‌های چهار الکترودی این سامانه‌ها اثر حاصل از مقاومت تماسی را حذف نمی‌کنند. الکترودها یا بر روی سطح فشار داده می‌شوند، یا به داخل سوراخ فرومی‌روند. سوراخ‌ها تماس الکتریکی را بهبود می‌بخشند زیرا تا زیر سطح لایه کربناتی شده فرومی‌روند، و ممکن است ابتدا آنها را از ماده تماس دهنده کم مقاومت ویژه پر کرد.

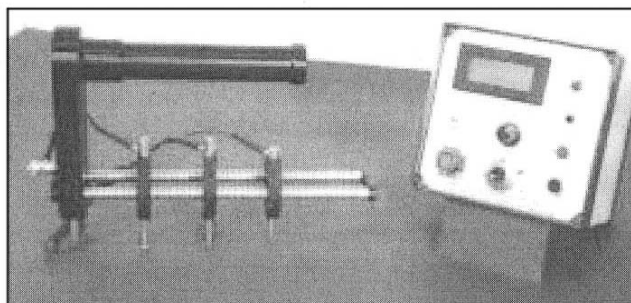
در سامانه چهار الکترودی یک جریان متناوب I (معمولاً $250 \mu A$ با فرکانس ۲۵ و $150 Hz$) بین دو الکترود خارجی و از داخل بتن عبور می‌کند (شکل ۴-۱۲). اختلاف پتانسیل V دریافتی بین دو الکترود داخلی با یک ولت‌متر دیجیتالی اندازه‌گیری می‌شود. ولت‌متر باید قدرت تفکیک بسیار بالایی داشته باشد (کم‌تر از $1 mV$)، هر چند مقادیر حدود $5 mV$ ثبت می‌شوند. اگر فرض شود که بتن ابعاد نیم-بی‌نهایت دارد، به عبارت دیگر ابعاد آن در مقایسه با فاصله الکترودها بزرگ است، بتن یکنواخت است، و عمق الکترودها خیلی کم‌تر از فاصله الکترودی است، مقاومت ویژه بتن عبارت خواهد بود از:

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} \quad (4-4)$$

که در آن a فاصله الکترودی است.



شکل ۴-۹ - دستگاه مقاومت ویژه سنج مدرن با الکترودهای فنردار



شکل ۴-۱۰ - الکترودهای با تویی‌های آغشته به مواد تماس دهنده

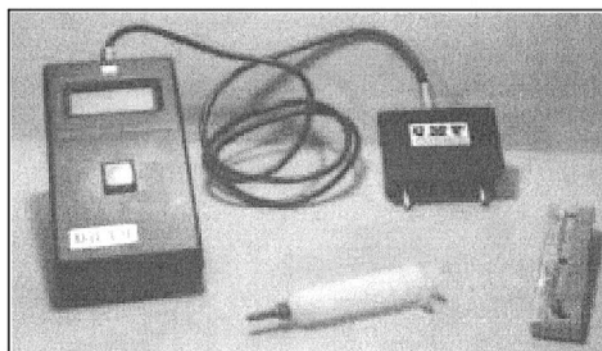
تفسیر تجربی است. اگر نقشه پتانسیل نسبی (نیم - پیل) نشان دهد که احتمال خوردگی فعال وجود دارد، عبارت دیگر فولاد بی مقاومت شده، ارتباط مقاومت ویژه با خوردگی به شرح زیر تفسیر می‌شود:

بیش تر از $20 \text{ K}\Omega\text{cm}$: آهنگ خوردگی پایین

$10-20 \text{ K}\Omega\text{cm}$: آهنگ خوردگی پایین تا متوسط

$5-10 \text{ K}\Omega\text{cm}$: آهنگ خوردگی بالا

کمتر از $5 \text{ K}\Omega\text{cm}$: آهنگ خوردگی خیلی بالا



شکل ۴-۱۱ - سامانه مقاومت ویژه سنج دو الکترودی

اگر پتانسیل نیم - پیل نشان دهد که احتمال خوردگی فعال وجود ندارد، اندازه‌گیری مقاومت ویژه لزومی ندارد. اندازه‌گیری مقاومت ویژه یا برای تشخیص مناطقی از بتن مسلح که در معرض خطر پذیری خوردگی قرار دارند یا برای بررسی کیفیت ضعیف بتن مناسب می باشد. مقاومت ویژه نباید به تنهایی استفاده شود بلکه باید همراه با تکنیک‌های دیگر، مثل پتانسیل نیم - پیل، بررسی‌های بصری و مقاومت قطبشی خطی، انجام گیرد.

آهنگ خوردگی تابع مقاومت قطبش بین سطوح مابین فولاد و بتن است. مقاومت ویژه که با روش و نر خارج از آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌شود، مقاومت ویژه کل بتن نیست. پتانسیل اندازه‌گیری شده توسط دستگاه نیم - پیل پتانسیل سطح فولاد نیست که پیل خوردگی را راه می‌اندازد، بلکه اختلاف پتانسیل بین سطح و فولاد است. آهنگ خوردگی را نمی‌توان با ضرب کردن مقاومت ویژه در پتانسیل نیم-پیل تخمین زد.

برای پیش بینی آهنگ خوردگی، با استفاده از نمونه‌های یکسان و در شرایط محیطی یکسان در آزمایشگاه، ممکن است بین مقاومت ویژه و پتانسیل نیم-پیل همبستگی پیدا شود، ولی تنوع مواد و شرایط محیطی در ساختارهای واقعی چنین همبستگی را خدشه دار می‌سازد. همچنین اندازه‌گیری جریان خوردگی، آستانه خوردگی یا اینکه خوردگی به حداکثر گستردگی خود رسیده است را مشخص نمی‌سازد. تنها وقتی مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده بین مقادیری که در بالا ذکر شد باشد می‌توان آهنگ خوردگی را تخمین زد. اگر مقاومت ویژه کم‌تر از $10 \text{ K}\Omega\text{Cm}$ باشد، مقاومت در مقابل عبور جریان پارامتر کنترل کننده نیست. وقتی بیش از $100 \text{ K}\Omega\text{Cm}$ باشد، مشکل می‌شود فولاد فعال را از فولادی که تحمل خود را از دست داده تشخیص داد، زیرا مقاومت ویژه بالای بتن خوردگی را متوقف می‌سازد یا از آن جلوگیری می‌کند.

در محاسبه مقاومت ویژه فرض می‌شود که بتن یکنواخت است. منابع ممکن برای ایجاد خطا عبارتند از:

- هندسه توده بتن
- غیر یکنواختی بتن
- تماس سطحی ضعیف
- لایه‌های سطحی با مقاومت ویژه ای متفاوت از کل بتن
- حضور و موقعیت فولاد مسلح
- تغییرات در محیط اطراف

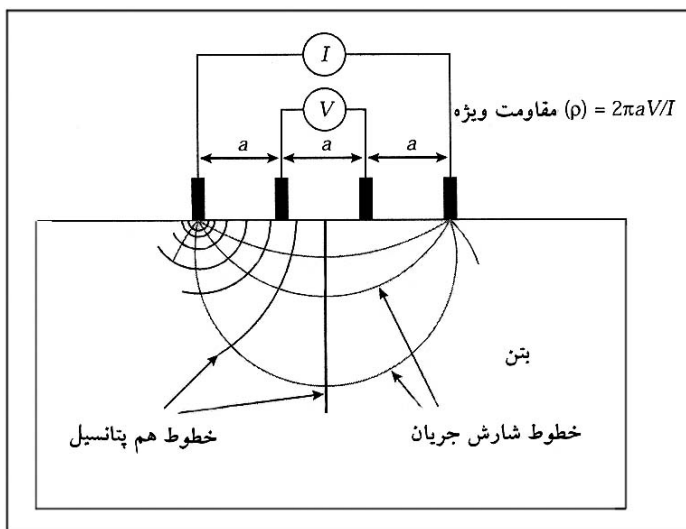
مسئله اصلی با تکنیک چهارالکترودی این است که فولاد مسلح می‌تواند به صورت اتصال مدار عمل کرده و قرائت گمراه کننده بالایی بدهد. ولی تحقیقات در دانشگاه لیورپول نشان داده است که اگر اندازه‌گیری عمود بر یک میله صورت گیرد، خطا به حداقل خواهد رسید. این مهم است که راستا و عمق فولاد مسلح قبل از اندازه‌گیری مقاومت ویژه توسط بررسی‌های پوشش سنجی معلوم شود.

این تکنیک باید با دقت به کار گرفته شود و با دنبال کردن شیوه‌های زیر خطاها به حداقل می‌رسد.

کسانی که اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه را انجام می‌دهند باید کارآموزی کافی انجام داده باشند، این کارآموزی معمولاً توسط کارکردن با کارمندان باتجربه و کمک کردن به آنها به دست می‌آید. کسانی که مسئول برداشت‌های مقاومت ویژه هستند باید با موارد زیر آشنا باشند:

- به کارگیری و تعمیر کل دستگاه
- مواظبت و تعمیر الکترودها

- انتخاب و علامت گذاری موقعیت الکترودها
 - اطلاع از تاثیر رطوبت و دما بر مقاومت ویژه
 - عواملی که ممکن است بر نتایج تاثیر گذار باشند.
- علاوه بر اینها، در تکنیک تک الکترودی، پیوستگی الکتریکی لازم باید تامین و نمایش داده شود.
- راهنمایی های زیر در مورد شیوه کار، فاصله الکترودی و موقعیت آنها برای رسیدن به حداقل خطاها باید مدنظر باشد:
- منابع جریان متناوب (از نوع $250 \mu A$) با فرکانس بین ۲۵ و ۱۵۰ هرتز برای احتراز از آثار قطبی شدگی.
 - سامانه چهارالکترودی ونر بر سامانه دوالکترودی برای اینکه آثار تماس سطحی به حداقل برسد ترجیح داده می شود.
 - فاصله الکترودی حداقل $1/5$ برابر حداکثر اندازه خرده سنگ در بتن باشد تا از اندازه گیری مقاومت ویژه یک خرده سنگ حذر شود.
 - فاصله الکترودی باید کم تر یا برابر $0/25$ ضخامت مقطع بتن باشد تا از خطاهای مربوط به اثر ضخامت احتراز گردد.
 - الکترودها باید حداقل در فاصله دوبرابر فاصله الکترودی از لبه ها قرار گیرند تا از آثار لبه احتراز شود.
 - برای تعیین موقعیت فولاد مسلح و در خط بودن آن باید وسیله پوشش سنج به کار گرفته شود.
 - اگر دوری از فولاد مسلح امکان ندارد، قرائت ها باید عمود بر طول فولاد انجام شود، تا از مدارهای اتصال جریان احتراز شود.
 - اگر اندازه گیری ها باید در نزدیکی فولاد مسلح انجام شود، فاصله الکترودی باید کم تر از دوسوم پوشش بتن تا فولاد باشد، تا آثار اتصال جریان به حداقل برسد.
 - مواد اضافی نشست روی سطح باید برداشته شود یا بتن مقدار کمی سوراخ شود تا از آثار مقاومت تماسی زیاد جلوگیری گردد.
 - اندازه گیری ها نباید در جاهایی که رطوبت سطحی یا آب جمع شدگی دارد صورت پذیرد یا حداقل تا ۲۴ ساعت پس از باران انجام شود.
 - در صورت وجود خیسی در سطح، فاصله الکترودی حداقل باید 40 mm باشد.
 - اگر لایه سطحی مقاومت ویژه پایین دارد، باید فضای تماسی بزرگ تر از ۸ برابر ضخامت لایه داشته باشیم تا مقاومت ویژه بتن زیرین اندازه گیری شود. برای اندازه گیری مقاومت ویژه لایه سطحی، فاصله الکترودی باید کم تر از ۸ برابر ضخامت لایه باشد. لایه سطحی کم مقاومت ویژه معمولا در اثر خیس شدن هایی است که به تازگی پیدا شده اند. اگر چنین وضعی قابل احتراز نباشد اندازه گیری در یک محل با استفاده از چند فاصله الکترودی باید انجام شود تا ضخامت لایه سطحی به دست آید.
 - به طور ایده آل، یک برداشت شبکه بندی شده در فواصل $500 - 250 \text{ mm}$ باید به عمل آید. در نقاط مختلف و مناطق با شرایط سطحی یکسان یا خرد اقلیم یکسان اندازه گیری های جداگانه ممکن است صورت گیرد (مثلا در مناطقی که آب سرازیر می شود، بالای برآمدگی ها و حاشیه های عرشه ها).
 - موقعیت دقیق مکان های اندازه گیری و فاصله های الکترودی باید ثبت شود.
 - اندازه گیری های تکراری در سه یا چهار محل نزدیک به هم برای واریاسیون تغییرات محلی و احتمال تکرار باید صورت گیرد.



شکل ۴-۱۲- شکل شماتیک آرایش و نر

فصل ۵

**مثال‌هایی از مطالعات موردی ژئوفیزیکی برای
بررسی‌های خوردگی**

۵-۱ - مطالعات خوردگی خاک در مناطق آغار و دالان فارس

بر اساس مطالعات ژئوالکتریک انجام شده در مناطق آغار و دالان واقع در جنوب استان فارس به منظور بررسی وضعیت زمین از نقطه نظر خوردگی و تعیین محل ایستگاه‌های حفاظت کاتدی در مسیر خط لوله گاز طبیعی، خلاصه‌ای از مطالعات مزبور و نتایج به دست آمده ارائه می‌شود:

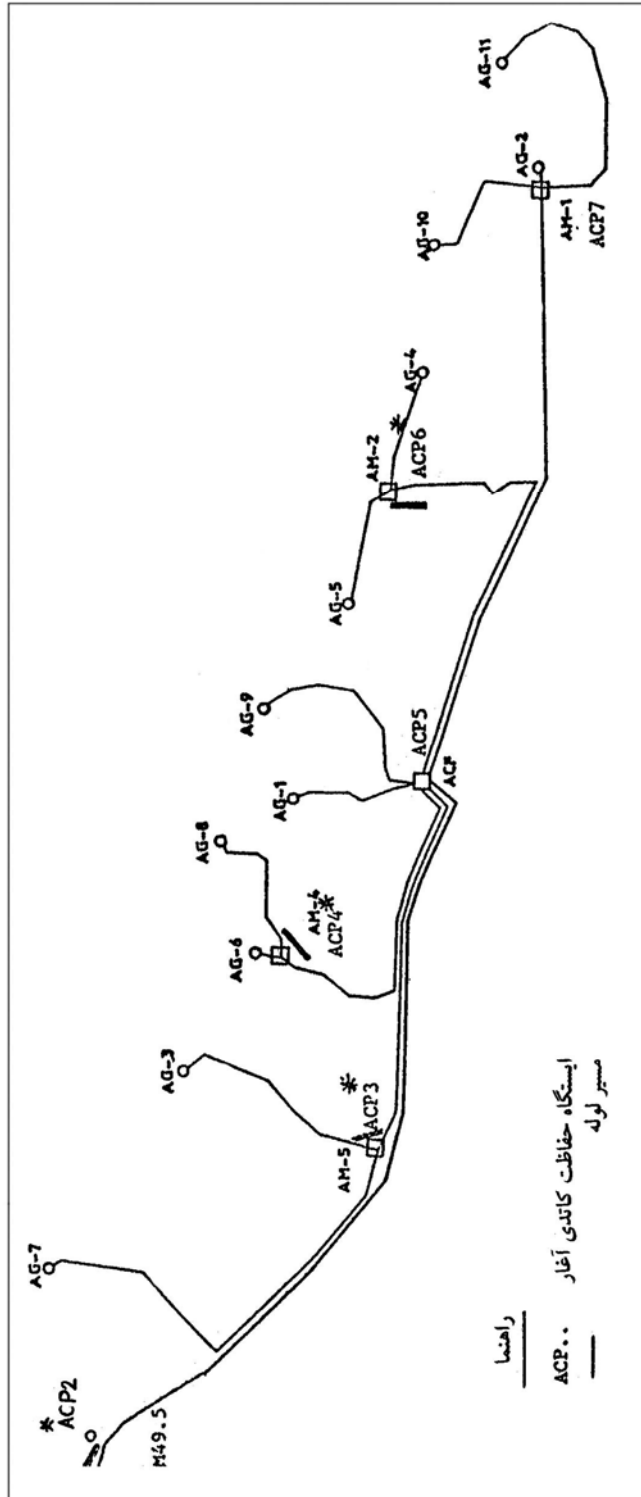
در این بررسی‌ها مقاومت ویژه الکتریکی زمین در عمق‌های ۳، ۶، ۱۰، ۲۰، و ۳۰ متری با استفاده از آرایه ونر با فاصله ایستگاهی ۱۲۰ تا ۱۵۰ متر توسط دستگاه پتانسیومتر اندازه‌گیری شده است. شکل‌های ۱-۵ و ۲-۵ موقعیت ایستگاه‌های برداشت را در نواحی آغار و دالان نشان می‌دهد.

ارقام اندازه‌گیری شده مقاومت الکتریکی زمین در هر یک از مناطق آغار و دالان با توجه به محل ایستگاه و عمق اندازه‌گیری در جداول ۱-۵ و ۲-۵ منعکس شده است.

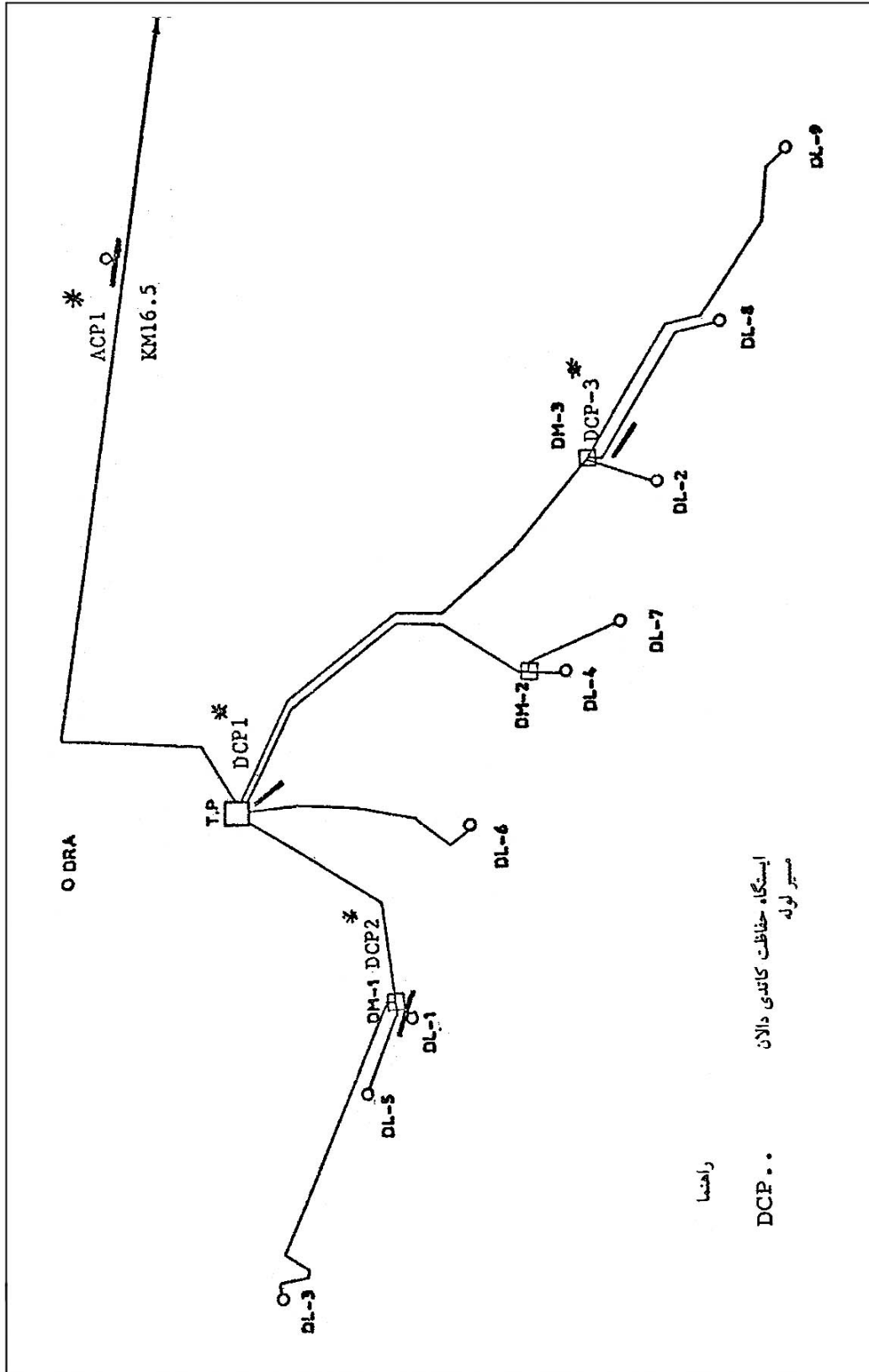
در جدول ۳-۵ میزان خوردگی زمین با توجه به مقاومت ویژه الکتریکی آنها (استاندارد شماره ۹۲۵ شرکت ملی گاز ایران) آورده شده است.

از مقایسه ارقام مقاومت ویژه الکتریکی با جدول مزبور نتایج زیر به دست آمده است:

پیمایش صحرایی نشان می‌دهد که نواحی متشکل از واحدهای سنگی آهک و آهک مارنی (نواحی کوهستانی)، مناطق مقاوم و نیمه مقاوم الکتریکی را تشکیل می‌دهند که امکان خوردگی زمین در مناطق مزبور کم‌تر است (به ویژه در ناحیه آغار و جنوب ناحیه دالان). بر عکس ارقام کم‌تر مقاومت ویژه الکتریکی در بخش‌های هوازده و نیز مناطق آبرفتی دانه ریز که نواحی با پستی و بلندی ملایم و کم ارتفاع را تشکیل می‌دهند، بیانگر امکان خوردگی بیش‌تر زمین تا عمق ۶ متری می‌باشد.



شکل ۵-۱- موقعیت ایستگاه‌های برداشت در ناحیه آغار



شکل ۵-۲- موقعیت ایستگاه‌های برداشت در ناحیه دالان

جدول ۵-۱- اندازه‌گیری میزان مقاومت ویژه الکتریکی زمین در محدوده آغار

مقاومت ویژه الکتریکی به اهم متر	عمق به متر	محل ایستگاه
۹۹	۳	ACP1
۷۸	۶	
۶۰	۱۰	
۴۸۰	۲۰	
۱۶/۵	۳	ACP3
۶۰	۶	
۱۰۵	۳	ACP3 (AM5)
۶۰	۶	
۵۰	۱۰	
۲۰۰۰	۲۰	
۱۹۵	۳	ACP4 (AM4)
۵۴۰	۶	
۲۵۰	۱۰	
۴۰۰	۲۰	
۲۲۵	۳	ACP5 (ACF)
۱۲۰	۶	
۵۰	۱۰	
۵۶۰۰	۲۰	
۱۳۵	۳۰	
۶۰	۳	ACP6 (AM2)
۲۷۰	۶	
۱۰۰	۱۰	
۱۰۰	۲۰	
۷۵۶	۳	ACP7 (AM1)
۹۰	۶	
۵۰	۱۰	
۷۲۰۰	۲۰	

جدول ۵-۲- اندازه‌گیری میزان مقاومت ویژه الکتریکی زمین در محدوده دالان

محل ایستگاه	عمق به متر	مقاومت ویژه الکتریکی به اهم متر
DCP1	۶	۱۹۵/۳
	۱۰	۴۴
	۳۰	۴۹۲
DCP2	۶	۱۲۴/۸
	۱۰	۱۱۸
	۳۰	۵۵/۵
DCP3 (DM1) نقطه ۲	۳	۱۴۱/۶
	۶	۱۶۸
	۱۰	۶۳۰
DCP4 (DM1) نقطه ۳	۳	۳۶۰
	۶	۱۵۶
	۱۰	۸۰۰
DCP5 T.100	۳	۱۷۷
	۶	۱۸۰
	۱۰	۲۵۰
	۲۰	۳۰۰
DCP3 (DM1)	۳	۷۰/۸
	۶	۷۳/۸
	۱۰	۱۲۰
DCP4 (DM3)	۳	۵۱
	۶	۷۲
	۱۰	۱۰۰
	۲۰	۴۰۰

جدول ۵-۳- تغییرات قابلیت خوردگی زمین با توجه به تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی آن

مقاومت ویژه الکتریکی به اهم متر	قابلیت خوردگی زمین
کم‌تر از ۵	بسیار زیاد
۵ تا ۱۰	زیاد
۱۰ تا ۲۰	متوسط
۲۰ تا ۱۰۰	ضعیف
بیش از ۱۰۰	ناچیز تا غیرخورنده

فصل ۶

آلودگی و تشخیص آن توسط روش‌های

ژئوفیزیکی

۶-۱- کلیات

آلودگی محیط زیست عبارت از تخریب کیفی زیست کره که غالباً توسط ضایعات حاصل از فعالیت‌های انسانی پدیدار می‌شود. به بیان دیگر وجود مواد زاید و گسترش آن موجب نامطلوب شدن آب و خاک و هوای زمین می‌گردد. قرن بیستم شاهد افزایش درجه آلودگی و بحرانی شدن آن در سراسر جهان بوده است. مساله این است که بیوسفر تا چه حد ظرفیت پذیرش و قابلیت کاستن، تجزیه و زدودن زباله‌های انسانی را دارا می‌باشد. آنچه مسلم است این است که زیست‌کره یک محیط اکولوژیک بسته بوده که با منابع محدود خود در چرخه عظیم تعادلی به حیات خود ادامه می‌دهد. در این چرخه بسیار بزرگ مواد آلی و غیر آلی موجود در زیست کره به طور مداوم طی فرآیند بارش، تبخیر و فتوسنتز گیاهان و ازت زدایی توسط آنها و پخش مواد توسط آب و باد و یخچال درحال تعادل می‌باشد. بدیهی است که ورود مقادیر زیادی از زباله‌ها در هرمنطقه از سامانه زیستی منجر به انباشت شدید آلودگی گردیده و موجب اختلال در سازوکار چرخه مزبور می‌شود. آنچه که در سال‌های اخیر موجب تشدید بحران مزبور شده علاوه بر افزایش جمعیت کره زمین، ضایعات صنایع کشورهای صنعتی و نیز روند روبه رشد صنعتی شدن در کشورهای درحال توسعه می‌باشد. اگرچه آلودگی محیط زیست دارای اشکال متنوع بوده و دارای عوارض گوناگون می‌باشد. به طورمثال آلودگی صوتی موجب اختلالات روحی و فیزیکی انسان‌ها گردیده و یا مثلاً آلودگی حرارتی حیات ماهی‌ها را تهدید می‌کند ولی مقولات مزبور از بحث ما خارج بوده و در نشریه حاضر پس از شناخت عوامل آلاینده صرفاً به چگونگی توزیع آلودگی آب و خاک با روش‌های ژئوفیزیکی پرداخته خواهد شد.

همچنین آب زیرزمینی از منابع طبیعی بسیار با ارزش می‌باشد و آگاهی از کیفیت و کمیت آن در آبخوان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آب علیرغم ظاهر تمیز و زلال آن درصورت آلوده شدن می‌تواند بعضی از جدی‌ترین بگونه‌های مانند تیفوئید، اسهال خونی و هپاتیت را همراه داشته باشد. آلاینده‌های زیرسطحی که از منابع مختلفی حاصل می‌شوند (رجوع کنید به ۶-۲) در طی یک فرآیند تدریجی پراکنده شده و باعث گسترش دامنه آلودگی می‌گردند. این آلاینده‌ها در زیر سطح زمین همه به گونه‌ای ژنتیکی وابسته به آب و دما می‌باشند و درنتیجه تحقیقات اساسی درمورد آب زیرزمینی و نقش آن در فرآیندهای آلودگی و زمین‌شناختی، حیاتی است. همچنین زوال تدریجی بعضی صنایع سنگین، چگونگی تخلیه زباله‌های قبلی و تخلیه‌های اتفاقی و بی رویه، فعالیت‌های متوقف شده و نقصان قوانین، سایت‌های متروکه‌ای (مانند معادن و خاک‌برداری‌های متوقف شده پایگاه‌های ارتشی، پالایشگاه‌ها و حوزه‌های نفتی، جایگاه‌های بنزین و محل ماشین‌های متروکه) به جای گذاشته شده است. بسیاری از این سایت‌ها باعث آلودگی توسط "مایعات بافاز غیرآبکی سبک" (LNAPL)^۱ (مانند بنزین با پایه بنزن، تولوئن یا زیلن) و "مایعات با فاز غیرآبکی سنگین" (DNAPL)^۲ (ازجمله خلال‌های پاک کننده مانند تری کلر اتیلن یا نفت‌های سنگین مانند گریس‌ها، ضایعات معدنی و آلوده‌کننده‌های غیرآلی دیگر مانند سرب یا نیکل اضافه شده به بنزن) می‌شوند. تخلیه‌های بی رویه یا نامناسب در این سایت‌ها تمرکز قابل توجهی از انواع مختلف آلودگی‌های آلی و غیر آلی را به دنبال داشته که تهدیدی جدی برای آبخوان‌ها بوجود آورده است. سیالات نفتی پیش گفته (DNAPL, LNAPL) در نزدیک سطح به صورت فاز مایعات آبی خالص، فاز بخار (درناحیه

1 - Light Non-Aqueous Phase Liquid

2 - Dense Non- Aqueous Phase - Liquid

تهویه^۱) و با تمرکز بسیار کم در فاز نامحلول وجود دارند. وجود فازهای نامحلول آلی در آب آشامیدنی حتی به مقدار بسیار پایین (قسمت در بیلیون) برای سلامتی انسان مخاطره آمیز می باشد.

افزایش پیوسته جمعیت، رشد شهرنشینی و نیاز همراه آن برای گسترش و نوسازی شهری به معنای آن است که بعضی سایت‌های آلودگی به طور فزاینده‌ای در ارتباط با عوامل خانگی، مغازه‌ها، اداره‌ها و سازمان‌های صنایع سبک گسترش دوباره می‌یابند. مقررات قانونی جدید فشارهای سختی روی چنین گسترش‌هایی اعمال می کند که نیاز فوری روش‌های قابل اطمینان و بدون آثار مزاحم و جانبی را برای تعیین مشخصات ساختاری زیرسطحی مطرح می کند.

مطالعات ژئوفیزیکی که در مورد آلودگی محیط زیست و آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد اصطلاحاً "ژئوفیزیک آلودگی"^۲ نامیده می‌شود که به آن پرداخته خواهد شد.

۶-۲- مفهوم آلودگی

مفهوم آلودگی را می‌توان به صورت "یک تغییر نامطلوب در خواص فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی آب و هوا و زمین" که موجب به خطر افتادن سلامت، بقا و فعالیت‌های انسان و یا سایر موجودات زنده می‌شود، تعریف نمود. تعریف فوق ظاهراً پس از بحث و گفتگوهای فراوان و اظهارنظرهای متعدد و احیاناً متضاد توسط اعضا آکادمی ملی علوم آمریکا (۱۹۶۹) ارائه شده است [۴].

گروهی از کارشناسان آلودگی‌ها را صرفاً ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند توسعه فاضلاب‌ها یا پساب‌های صنعتی دانسته و پدیده‌های آلاینده طبیعی مانند پرتوزایی بعضی از سنگ‌ها یا گازهای متصاعد شده از دهانه آتشفشان را به عنوان آلودگی‌های خارج از کنترل بشر قلمداد می‌کنند. گروهی دیگر موادی نظیر دفع آفات و علف‌کشها را تا زمانی که از طریق آب یا باد وارد چرخه زیست انسانی نشود، آلودگی محسوب نمی‌کنند.

عبارت "تغییر نامطلوب" در تعریف آلودگی نیز منشا و بحث‌های مختلف بین کارشناسان محیط زیست و متفکرین جامعه شناسی شده است زیرا که هر تغییری در محیط زیست احتمالاً باعث تغییراتی در زندگی انسان‌ها و سایر موجودات زنده می‌شود. این تغییرات غالباً به صورت نامطلوب تظاهر می‌کند. به طور مثال مواد شیمیایی تولید شده توسط یک واحد صنعتی موجب آلوده شدن آب و خاک می‌گردد و چون تصفیه و پالایش مواد مزبور قبل از وارد شدن به محیط زیست پرهزینه می باشد، واحد صنعتی مزبور توسط کارشناسان محیط زیست تعطیل می‌شود. توقف فعالیت واحد مزبور موجب بیکار شدن ده‌ها کارگر شده و این امر موجب اعتراض برنامه ریزان اقتصادی جامعه می‌شود چرا که از نظر آنها توقف امکانات معیشتی کارگران از آلودگی محیط زیست نامطلوب تر است.

از نقطه نظر طبقه‌بندی آلودگی نیز بین کارشناسان دیدگاه‌های مختلف وجود دارد. برخی از متخصصین محیط زیست آلودگی‌ها را به دو گروه اساسی تقسیم می‌کنند: به عقیده آنها پاره‌ای از آلاینده‌ها دارای منبع مشخص می‌باشند مانند فاضلاب حاصل از

1 - Vadose

2 - Contaminant Geophysics

فعالیت کارخانه‌جات و معادن (منبع نقطه‌ای^۱). درحالی که گروهی دیگر مانند آلودگی‌های موجود در رواناب‌ها که دارای کودهای مختلف شیمیایی و علف‌کش‌ها هستند، به عنوان آلودگی با منبع نامشخص محسوب می‌شوند (منبع غیر نقطه‌ای^۲). گروه دیگری از کارشناسان آلودگی‌ها را از نقطه نظر بیولوژیکی به دودسته آلوده‌کننده‌های "قابل انحطاط" و "غیرقابل انحطاط" طبقه‌بندی می‌کنند.

آلاینده‌های قابل انحطاط آنهایی هستند که قابل تجزیه بوده و در نهایت از بین رفته و یا مصرف می‌شوند مانند فاضلاب انسانی و زایدات حیوانی و کشاورزی که تقریباً به آسانی قابل زدودن می‌باشند و یا حتی ترکیباتی مانند د.د.ت و بعضی از انواع مواد رادیواکتیو با نیمه عمر کوتاه که به کندی تجزیه می‌شوند اما به‌هرصورت اجزا آنها یا کاملاً از هم پاشیده می‌شود و یا به حد غیرقابل ضرر نقصان می‌یابند. در حالی که آلاینده‌های غیرقابل انحطاط از راه‌های طبیعی تجزیه نمی‌شوند مانند جیوه و سرب و برخی از ترکیبات آنها. باتوجه به نکات اشاره شده می‌توان ماده آلاینده را چنین تعریف نمود: ماده آلاینده ماده‌ای است که درجایی قرارگیرد که به طور طبیعی نباید در آنجا قرار می‌گرفت و یا دارای غلظتی بیش از غلظت طبیعی باشد به نحوی که بررسی حیات موجودات زنده آثار ناگوار داشته باشد.

۶-۳- عوامل ایجاد آلودگی

به منظور مبارزه با آلودگی محیط زیست ابتدا باید آلاینده‌های اصلی آن را شناخت و سپس درجهت رفع آلودگی مزبور و یا دست کم برای محدود کردن گسترش آنها روش‌های مناسب را به کار گرفت.

آلودگی خاک و آب در مناطق شهری از منابع مختلفی سرچشمه می‌گیرد که مهم‌ترین آنها به قرار زیر می‌باشد:

- شیرابه مربوط به خاکریزهای دفن شده
- پساب حاصل از ضایعات کارخانه‌جات
- آلاینده‌های مربوط به هیدروکربن‌ها
- کودهای شیمیایی و دفع آفات کشاورزی
- مواد حاصل از فضولات انسانی و حیوانی

شکل ۶-۱ منابع آلودگی و چرخه آن را نشان می‌دهد.

منابع آلوده‌کننده پیش گفته به تفصیل به شرح زیر می‌باشد:

الف- بازرگانی شامل:

فرودگاه‌ها، محوطه تعمیرگاهی، کارگاه‌های ساختمانی، محل‌های مخصوص شستشوی ماشین، قبرستان‌ها، واحدهای خشکشویی، موسسه‌های آموزشی (آزمایشگاه‌ها، انبارهای ذخیره مواد شیمیایی و ...)، پمپ بنزین‌ها، رختشویخانه‌های عمومی، حمل و نقل مواد (جاده‌ای و راه‌آهن)، مراکز دارویی، مغازه‌های رنگ فروشی، کارگاه‌های عکاسی و چاپ، محوطه‌های کارگاهی خط آهن/تعمیرگاه‌ها،

2 - point source

3 - non point source

آزمایشگاه‌ها، زهکش‌های سیلابی و حوضه‌های جمع شدن آب‌های زهکش شده، عملیات یخ زدایی جاده‌ها (نمک پاشی)، انبارهای وسایل نگهداری از جاده‌ها، اسقاطی و قراضه فروشی‌ها، تانکرهای ذخیره و لوله‌ها (بالا تر از زمین، پایین تراز زمین و زیرزمین)

ب- صنعتی شامل:

تجهیزات و کارخانه آسفالت، ایستگاه‌های سرویس و تعویض روغن اتومبیل‌ها، فعالیت‌های کارخانه‌های صنایع شیمیایی - لوازم خانگی - توزیع، محل‌های انفجار، تولیدات وسایل الکتریکی و الکترونیکی و کارخانه‌های مربوطه، آب فلز کاری و تولیدات فلز در ریخته‌گری، چاه‌های جذبی پساب‌های صنعتی و معدنی، محل‌های تولید و توزیع پاک‌کننده‌ها، معدن کاری (سطحی و زیرزمینی) و زهکشی معدن و باطله‌های معدنی، مراکز تولید، ذخیره و توزیع محصولات نفتی، خطوط لوله (نفت، گاز و دوغاب)، محل‌های دفع مواد رادیواکتیو، مرداب‌ها و تالاب‌ها، پاشیده‌های سمی و خطرناک، چاه‌های فعال و متروکه، تجهیزات حفاظت چوب

ج- مسکونی شامل:

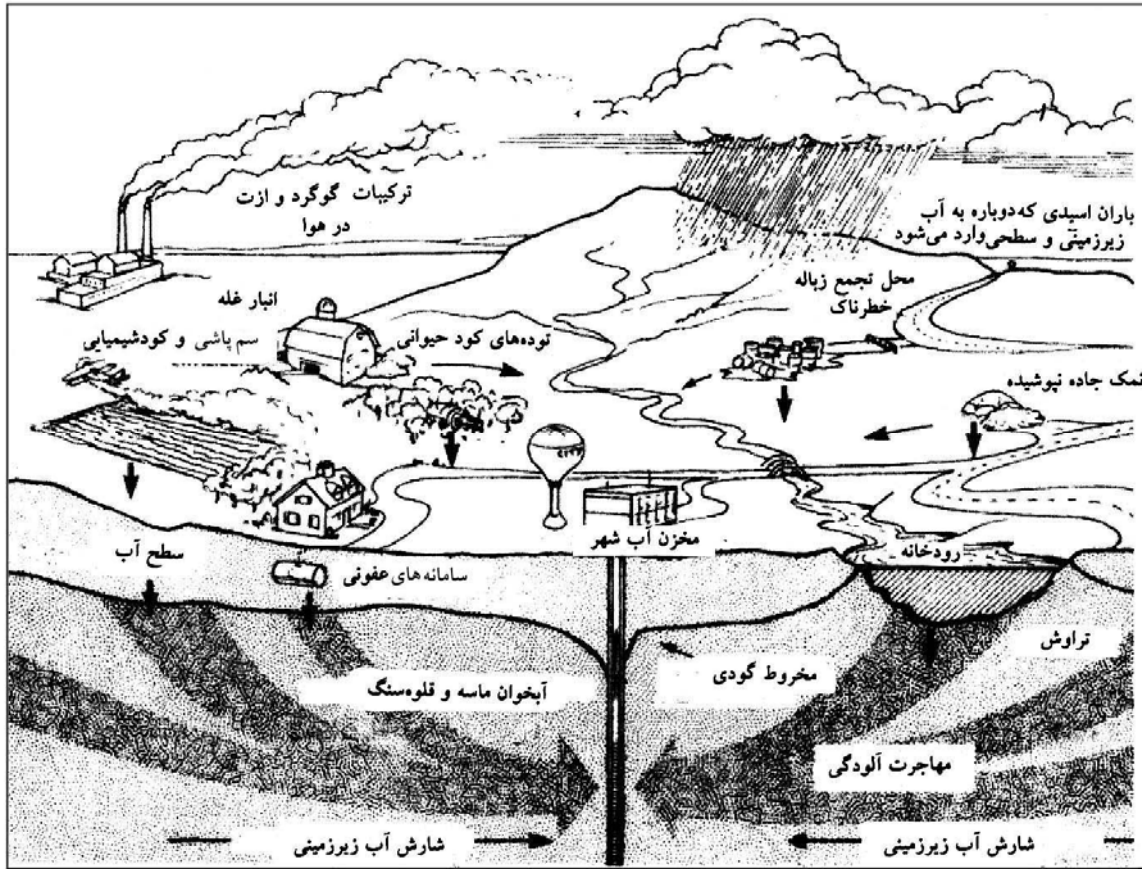
سامانه‌های ذخیره سوخت، مراکز بازسازی مبلمان و وسایل منزل، حوادث خانگی، خطوط زهکشی فاضلاب، استخرهای شنا (کلرزنی)

د- مدیریت زباله شامل:

تجهیزات آموزش آتش‌نشانی، واحدهای مدیریت زباله خطرناک (مراکز دفن زباله‌ها، محدوده‌های اصلاح خاک، محوطه‌های نگهداری سطحی زباله، تل‌های زباله، خاموش‌کننده‌ها)، خاموش‌کننده‌های شهرداری، مناطق دفع زباله شهرداری، فاضلاب شهری، محل‌های سوزاندن روباز، بازیافت مواد

ه- کشاورزی شامل:

مناطق دفن حیوانات، زهکشی کشاورزی، اصطبل حیوانات (فعال یا متروکه) محوطه‌های استفاده و ذخیره مواد شیمیایی (برای آفت‌کش‌ها و کودها)، آبیاری، محل‌های پخش و ذخیره کود طبیعی



شکل ۶-۱- منابع مهم آلودگی و چرخه آن

فصل ۷

کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در مطالعات

زیست محیطی

۷-۱ - کلیات

سه کاربرد عمومی برای ابزار ژئوفیزیکی در بررسی‌های سایت‌های UST وجود دارد: تعیین محل اجسام دفن شده، بررسی وضعیت زمین‌شناختی و هیدروژئولوژیکی، و به نسبت کم‌تر تعیین مرز زبانه‌ها یا لکه‌های آلاینده.

اطلاعات ویژه‌ای درباره هر روش و جدول مقایسه تمام روش‌ها برای کمک به خواننده جهت تصمیم‌گیری در استفاده از این روش‌ها در فصل اول ارائه شده است.

هر کدام از توضیحات زیر شامل جدول خلاصه شده‌ای است که پارامترهای موثر روی قابلیت کاربرد روش‌ها را توضیح می‌دهد. در این‌جا فقط اطلاعات مربوط به کاربرد خاص هر کدام از روش‌ها ارائه شده است. جدول‌های خلاصه شده شامل تخمین قیمت‌ها به صورت کم، متوسط یا زیاد هستند. تخمین‌های دقیق‌تر ممکن نیست زیرا تعداد بسیار زیادی از ویژگی‌های سایت وجود دارد که بر روی قیمت تاثیر می‌گذارند. به طور مثال:

- اهداف برداشت
- اندازه برداشت
- فاصله بین خطوط برداشت
- هزینه‌های تجهیزاتی
- بازده کاری فردی که مطالعات را انجام می‌دهد
- مقدار پردازش اطلاعات
- ارائه گزارش مکتوب

همانند تخمین‌های قیمت، زمان مورد نیاز برای یک برداشت ژئوفیزیکی به صورت سریع، متوسط و یا آهسته ارائه شده است. روش‌های ژئوفیزیکی می‌توانند بر اساس اینکه با چه سرعتی قابل استفاده هستند درجه بندی شوند زمان خاصی که یک برداشت طلب می‌کند، به میزان جزییات مورد نیاز و مساحت منطقه مورد مطالعه بستگی دارد. به طور معمول، تمام روش‌های ژئوفیزیکی برای یک برداشت حدود کم‌تر از ۱ هکتار می‌تواند در طول یک روز در یک سایت نوعی UST به اتمام برسد. در برخی موارد برداشت می‌تواند در یک نصف روز تمام شود. به طور کلی داده‌ها می‌توانند بدون پردازش، یا با پردازش‌های اضافی ارائه شوند. در غیر این شرایط ممکن است پردازش‌های زیادی در خارج از محل لازم باشد.

۷-۲ - مطالعه زمین‌شناسی و شرایط هیدروژئولوژی

۷-۲-۱ - روش‌های ژئوالکتریک شامل مقاومت ویژه و EM

۷-۲-۱-۱ - مقاومت ویژه الکتریکی

برداشت‌های الکتریکی را می‌توان جهت بررسی شرایط هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی سایت‌های مخازن ذخیره زمینی به منظور تهیه اطلاعات از وضعیت زیرسطحی به کار برد. در این رابطه اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه می‌تواند در حل مسایل زیر کمک نماید:

- عمق و ضخامت رسوبات

- شکاف‌ها و گسل‌ها و کارست‌ها
- عمق تا سنگ کف و عمق آب‌های زیرزمینی

روش مقاومت ویژه می‌تواند داده‌ها را تا عمق ۱۰۰ فوتی زمین جمع‌آوری نماید. با وجود این عارضه‌های زمین‌شناختی موجود در عمق تقریبی کمتر از ۵ فوت را نمی‌توان تشخیص داد. عمق این عارضه‌ها را می‌توان در درون ۵ فوتی زمین به شرط آنکه اطلاعات اضافی از زیر زمین (مانند لوگ چاه‌ها) در دسترس باشد برآورد نمود. دقت تخمین‌های عمیق با افزایش عمق کاهش می‌یابد.

۷-۲-۱-۲- روش‌های الکترومغناطیسی

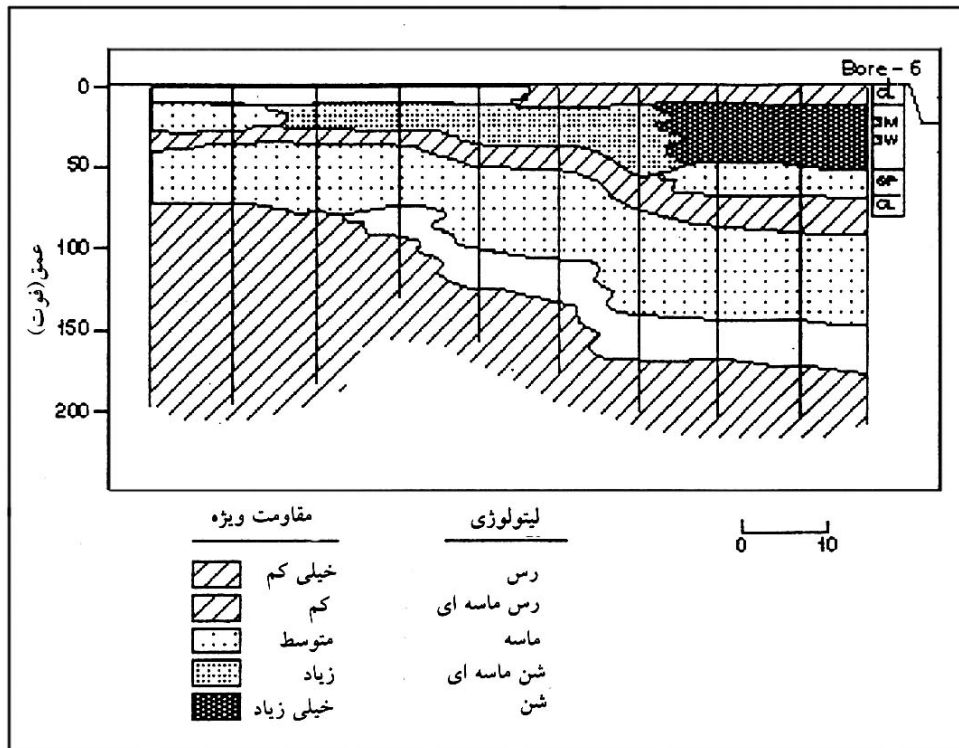
روش‌های EM می‌تواند برای عوارض زمین‌شناسی کم‌عمق و عمیق سودمند باشد. در برخی سایت‌های UST می‌توان اطلاعاتی درباره موارد زیر به دست آورد:

- چینه‌شناسی
- مجاری ترجیحی آب‌های زیرزمینی
- مناطق خرد شده و گسله‌ها
- گاهی اوقات عمق آب زیرزمینی

روش‌های EM مختلفی وجود دارد که برای هردو زمین‌شناختی کم‌عمق و عمیق و بررسی‌های هیدروژئولوژیکی سودمند هستند. روش فرکانس حوزه‌ای با فاصله پیچیده‌ای ثابت کاربردی‌ترین رهیافت EM برای زیرسطحی کم‌عمق (کم‌تر از ۱۲ فوت) در سایت‌های UST است، زیرا قدرت تفکیک جانبی آن و سرعت عملکرد آن نسبت به روش‌های دیگر EM فوق‌العاده است. برای جمع‌آوری داده از مکان‌های عمیق‌تر از ۱۲ فوت روش زمان حوزه‌ای (TDEM) و سایر تجهیزات فرکانس حوزه‌ای وجود دارد که می‌توان با آن به اعماق زیر ۱۰۰ فوت دست یافت.

شکل ۷-۱ رسم شماتیک از برداشت یک (TDEM) است. خطوط قائم سیاه، سونداژهای (اندازه‌گیری‌های قائم) زیرسطحی رسانندگی الکتریکی هستند. اطلاعات بین خطوط درون یابی شده است. از مقایسه اطلاعات سونداژهای TDEM با لوگ‌های چاه، برون‌یابی زمین‌شناسی در یک پهنه وسیع امکان‌پذیر است. در این مثال تعیین محل تخمینی رسوبات تا یک عمق ۲۰۰ فوتی زیر سطح زمین اندازه‌گیری شده است.

قدرت تفکیک فراهم شده توسط روش‌های EM اغلب به خوبی سایر روش‌های ژئوفیزیک نیست. قدرت تفکیک افقی ممکن است محل عوارض را تا عمق ۴ فوت نشان دهد تفکیک قائم تنها می‌تواند تخمینی باشد اما می‌تواند نشانه کلی وجود چینه‌بندی نیز باشد. جهت و موقعیت شکستگی‌ها و گسله‌ها نیز می‌تواند نشان داده شود.



شکل ۷-۱- برداشت الکترومغناطیسی زمان حوزه‌های چینه شناسی

۷-۲-۲- روش لرزه‌نگاری شکست مرزی

لرزه‌نگاری شکست مرزی به گونه‌ای نوعی کاربردی ترین روش لرزه‌ای برای برآورد شرایط زیر سطحی در سایت‌های UST است. این روش می‌تواند برای حل موارد زیر به کار برده شود:

- عمق رسوب و ضخامت
- کارست، شکستگی‌ها و گسله‌ها
- عمق تا سنگ بستر
- بعضی مواقع، عمق سطح آب زیرزمینی

روش لرزه‌ای شکست مرزی داده‌های نیمه پیوسته را فراهم می‌کند که در ترکیب با مغزه‌گیری‌ها و سایر روش‌های نمونه‌گیری می‌تواند برون یابی شود تا عوارض زمین‌شناختی محلی بر روی تمامی ناحیه بررسی را تفکیک نماید. در این روش تفکیک سه تا پنج لایه خاکی یا سنگی و نفوذ تا عمق صد فوتی امکان پذیر است.

گاهی اوقات این روش در تعیین عمق آب زیرزمینی می‌تواند سودمند باشد. برای موفق شدن سرعت در منطقه اشباع شده باید به طور مشخصی بزرگ‌تر از سازند بالایی باشد. به واسطه اینکه سازندهای متراکم شده معمولاً دارای سرعت لرزه‌ای خیلی زیادی هستند، که آب زیرزمینی روی آنها چندان اثر ندارد، اگر سطح سفره آب در داخل سازند متراکم شده قرار داشته باشد، احتمال تشخیص آن وجود نخواهد داشت.

شکل ۷-۲ مثالی از برداشت لرزه‌ای شکست مرزی و تفسیر برای به‌کارگیری در جداسازی عمق سنگ بستر در محل زباله مخاطره آمیز فراهم نموده است. هر نقطه و دایره پاسخ اندازه‌گیری شده یک ژئوفون را معرفی می‌نماید. محل آن در منحنی توسط موقعیت ژئوفون در آرایه و زمان بین انرژی رها شده و موج لرزه‌ای رسیده به ژئوفون تعیین می‌شود. اندازه‌گیری‌ها در دو جهت (شوت‌های رفت و برگشت) برای تعیین چینه‌بندی شیب دار انجام گرفته است. چون فاصله بخش بر زمان برابر سرعت است، عکس شیب خطوط برابر سرعت لرزه‌ای برای لایه‌های افقی است. بنابراین تغییر شیب معرف تغییر در مواد است. این برداشت قادر بود سه سرعت لایه‌های جدا از هم (V_1 ، V_2 و V_3) را تفکیک نماید. عمق تا سنگ بستر در سرتاسر محدوده بررسی با V_3 تعیین شد. ترانسه مدفون شده‌ای که از تفسیر به دست آمده بر اساس اطلاعات تاریخی محل بوده نه از طریق لرزه‌نگاری شکست مرزی.

۷-۲-۳- روش GPR

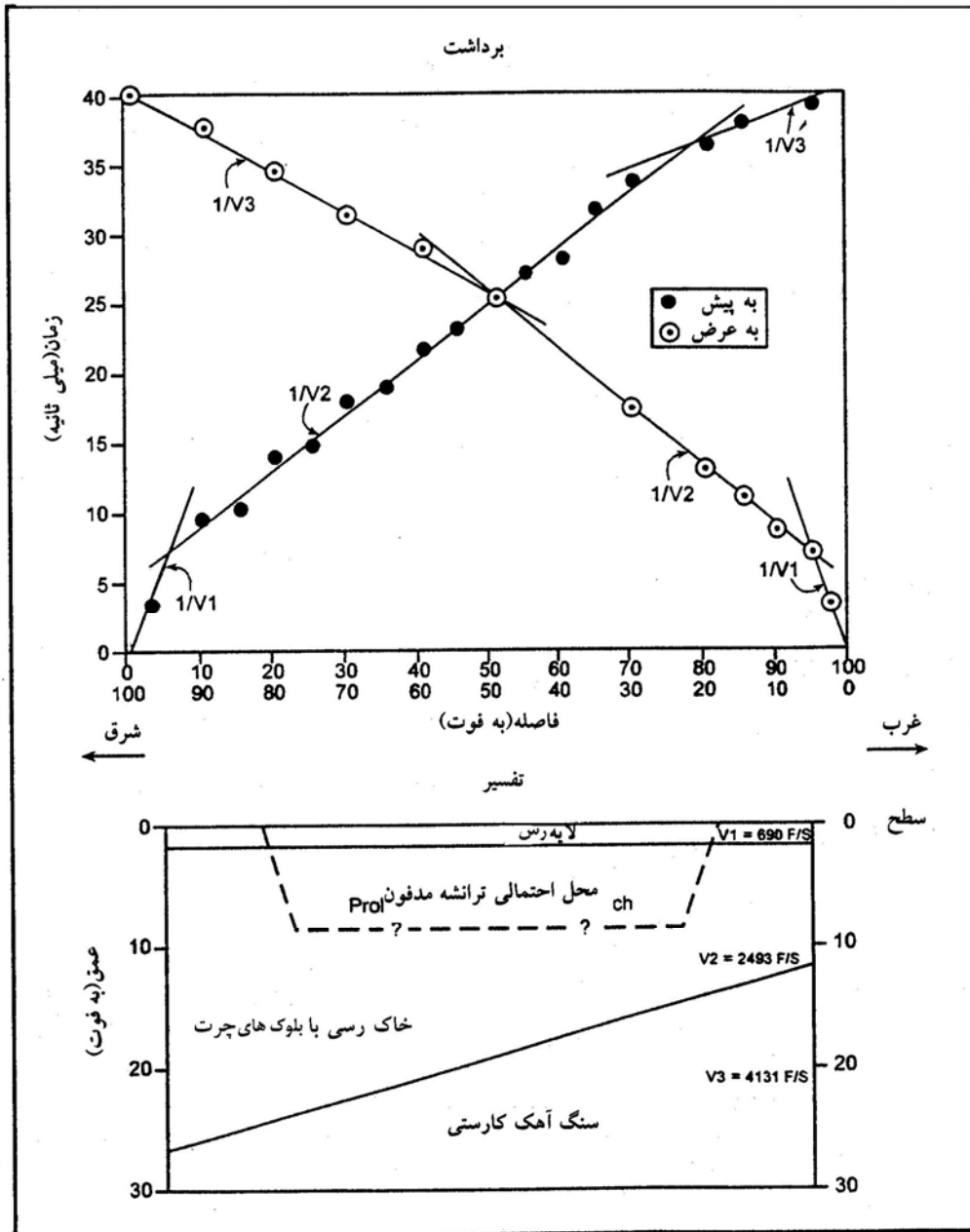
زمانی که شرایط نامناسب باشد، GPR روشی بسیار موثر در تعیین چگونگی لایه زیرسطحی کم‌عمق است. اهداف زمین‌شناختی و هیدروژئولوژی که با GPR قابل شناسایی هستند، عبارتند از:

- کارست، شکستگی‌ها و گسل‌ها
- عمق و ضخامت رسوبات کم‌عمق و سنگ کف
- عمق سطح ایستایی به طور موردی

GPR می‌تواند دارای قدرت تفکیک قابل توجهی باشد، ولی تفسیر نمودارهای آن ممکن است بسیار مشکل و احتیاج به تجربه و تمرین کافی شخص مفسر داشته باشد.

عموماً از این روش به عنوان یک وسیله شناسایی استفاده نمی‌شود و بهتر است در جهت شفاف سازی وجود و تعیین محل اهداف مورد تردید در یک محدوده مشخص مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر آن GPR به طور نوعی فقط برای تعیین حدود اهداف زمین‌شناختی کم‌عمق مفید است، زیرا عمق نفوذ آن به طور قابل توجهی توسط شرایط سایت محدود می‌گردد. به‌هرحال زمانی که رسانندگی خاک خیلی پایین باشد (به عنوان مثال در ماسه، گراول)، اهداف زمین‌شناختی واقع در عمق ۹۰ فوتی زیر سطح زمین قابل دستیابی خواهند بود.

GPR را می‌توان برای تخمین عمق و ضخامت لایه‌های خاک و سنگ تا یک عمق ۱ فوت به کار برد. گاهی عمق آب زیرزمینی را می‌توان تعیین کرد، ولی سایت باید در بالای ماسه‌های کم‌عمق و جور شده قرار داشته باشد که ایجاد یک سطح ایستایی با حاشیه مویبندی کوچک (کم‌تر از ۱ فوت) بنماید. شکل ۷-۳ مثالی است از یک برداشت GPR و تفسیر کارست. هر چند GPR تفکیک خوبی در مناطق آهکی مترکم ایجاد نمی‌کند، ولی کارست را می‌توان به نقشه در آورد، زیرا سیگنال رادار در مقایسه با ماسه‌های پرکننده داخل کارست کم‌تر تضعیف می‌شود.



شکل ۷-۲- برداشت و تفسیر لرزه‌نگاری شکست مرزی

۷-۳- تعیین محل اشیا مدفون

چهار روش اصلی برای مکان یابی اجسام دفن شده وجود دارد. رادار نفوذی زمین (GPR)، فلز یابی با روش زمان حوزه‌ای (MD)، مغناطیس سنجی (MAG) و روش‌های الکترومغناطیسی (EM).

۷-۳-۱- روش GPR

رادار نفوذی زمین برای تعیین موقعیت اشیا مدفون فلزی و غیرفلزی موثر می‌باشد. اهداف این بررسی عبارتند از:

- فولاد، فایبرگلاس، مواد ترکیبی، بتن مسلح شده با فولاد در سایت‌های UST
- ملزومات مربوط به سایت‌ها مانند لوله‌ها، کابل‌ها و غیره
- میله‌های فولادی تقویت بتن
- خاک‌های پرکننده

زمانی که شرایط مهیا باشد، GPR در میان روش‌های ژئوفیزیکی برای تعیین موقعیت اشیا مدفون از بهترین قدرت تفکیک برخوردار می‌باشد.

هر چند تفکیک صحیح به فرکانس آنتن مورد استفاده و عمق نفوذ مورد انتظار بستگی دارد، معمولاً با استفاده از GPR می‌توان یک مخزن واقع در عمق تا یک فوت را از نظر گسترش قائم و افقی مشخص کرد. از آنجایی که روش GPR از نظر آهنگ برداشت کند بوده و احتیاج به خطوط برداشت بیش‌تری نسبت به روش‌های مغناطیسی، فلزیابی و EM دارد، هزینه آن زیادتر می‌باشد. بنابراین از این روش بیش‌تر در بررسی‌های تفصیلی تراستفاده می‌شود.

زمانی که موقعیت یک شی مورد تردید بوده یا تخمین زده شود، روش‌های دیگر به عنوان روش شناسایی، ممکن است مناسب‌تر باشند. شکل ۷-۴ مثالی از نتایج حاصل از مطالعات GPR و تفسیر آن را در راستای استفاده برای تعیین محل UST نشان می‌دهد. شکل سهمی گونه امواج بازتابی رادار نیم‌رخ نوعی برای یک شی مدفون شده می‌باشد.

۷-۳-۲- مغناطیس سنجی

روش‌های مغناطیس سنجی (MAG) برای برداشت‌های شناسایی بسیار مناسب می‌باشد، زیرا جمع‌آوری اطلاعات به سرعت انجام می‌شود. پاسخ‌های مغناطیس برای اجسام دفن شده آهنی شاخص بوده و از نظر هزینه بهینه هستند. همان‌گونه که در مرور روش‌ها توضیح داده شد (رجوع کنید به، ۲-۲-۷)، برداشت‌های MAG می‌توانند در سایت‌های UST برای آشکارسازی موارد زیر مفید واقع شوند:

- سایت‌های UST فولادی، ترکیبی و بتن مسلح فولادی
- ملزوماتی که از مواد آهنی تشکیل شده اند
- ترانشه‌ها

علاوه بر توانایی تشخیص مواد آهنی، تجهیزات بسیار حساس MAG می‌توانند حفره ایجاد شده در یک مخزن بزرگ از هر نوع ماده ای را تشخیص دهند.

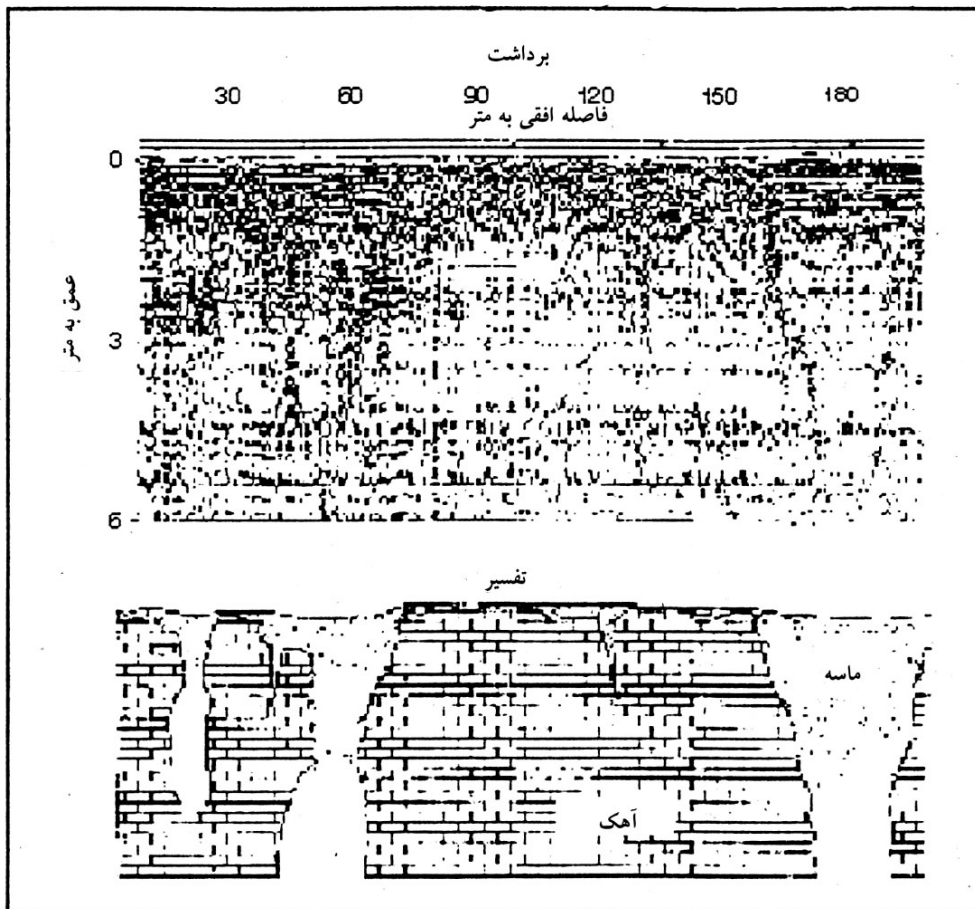
با وجود این چون مخازن فایبر گلاس به طور نوعی با بتن مسلح شده پوشیده می‌شوند، پاسخ مغناطیسی تحت تاثیر وجود فولاد تقویت کننده قرار خواهد گرفت.

مغناطیس سنج‌های بسیار حساس می‌توانند در آشکارسازی ترانشه‌های پر شده سودمندتر باشند زیرا آهن موجود در آنها معمولاً با خاک اطرافش تباین دارد. عمق نفوذ مغناطیس سنجی برای اکثر سایت‌های UST کافی است. به طور مثال یک بشکه ۵۵ گالنی در عمق ۱۵-۱۰ فوت قابل تشخیص است (بستگی به حساسیت مغناطیس سنج دارد) و یک مخزن ۱۰۰۰۰ گالنی در عمق خیلی

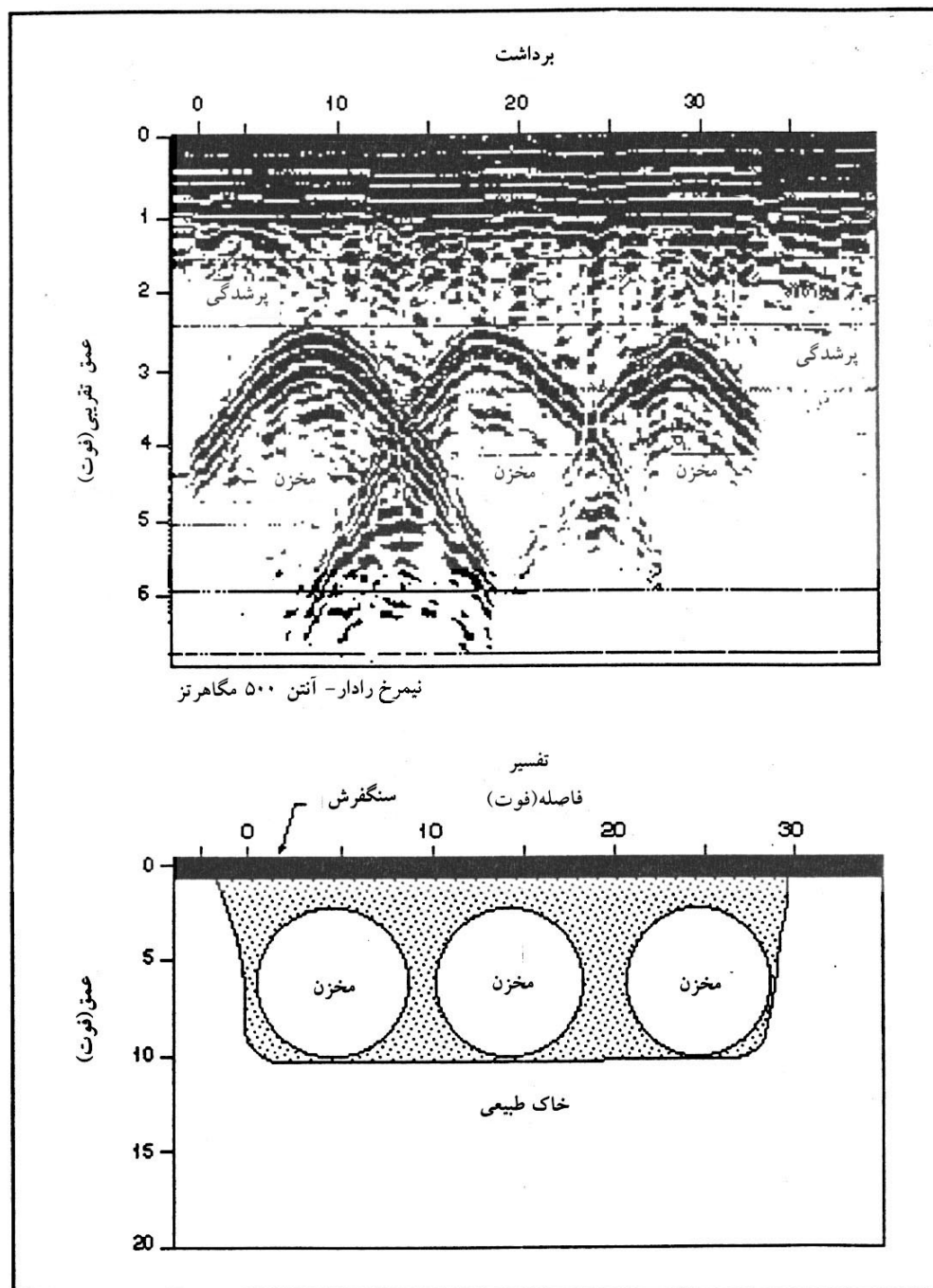
بیش‌تری قابل آشکارسازی است. قدرت تفکیک داده‌ها وقتی که با نرم افزار مناسب پردازش می‌شوند، خوب می‌باشد، موقعیت افقی و قائم یک جسم با یک خطای ۱۰ تا ۱۵ درصدی قابل تعیین است.

شکل ۷-۵ مثالی از یک برداشت MAG در سایت آزمایشی دانشگاه استنفورد را نشان می‌دهد. این قسمت از سایت آزمایشی شامل اجسام فلزی و غیرفلزی می‌باشد، که تمام آنها به وسیله مغناطیس سنج بسیار حساسی آشکارسازی شده است.

برجستگی‌های بلند نشان دهنده موقعیت بشکه‌های فلزی هستند که در عمق‌ها و مکان‌های متفاوتی دفن شده‌اند. همچنین بی‌هنجاری منفی که به وسیله ۶ بشکه پلاستیکی مدفون در عمق ۹ فوت است، جالب توجه می‌باشد.



شکل ۷-۳- برداشت رادار نفوذی زمین و تفسیر کارست [۷]



شکل ۷-۴- برداشت رادار نفوذی زمین و تفسیر UST های مدفون [۱۲]

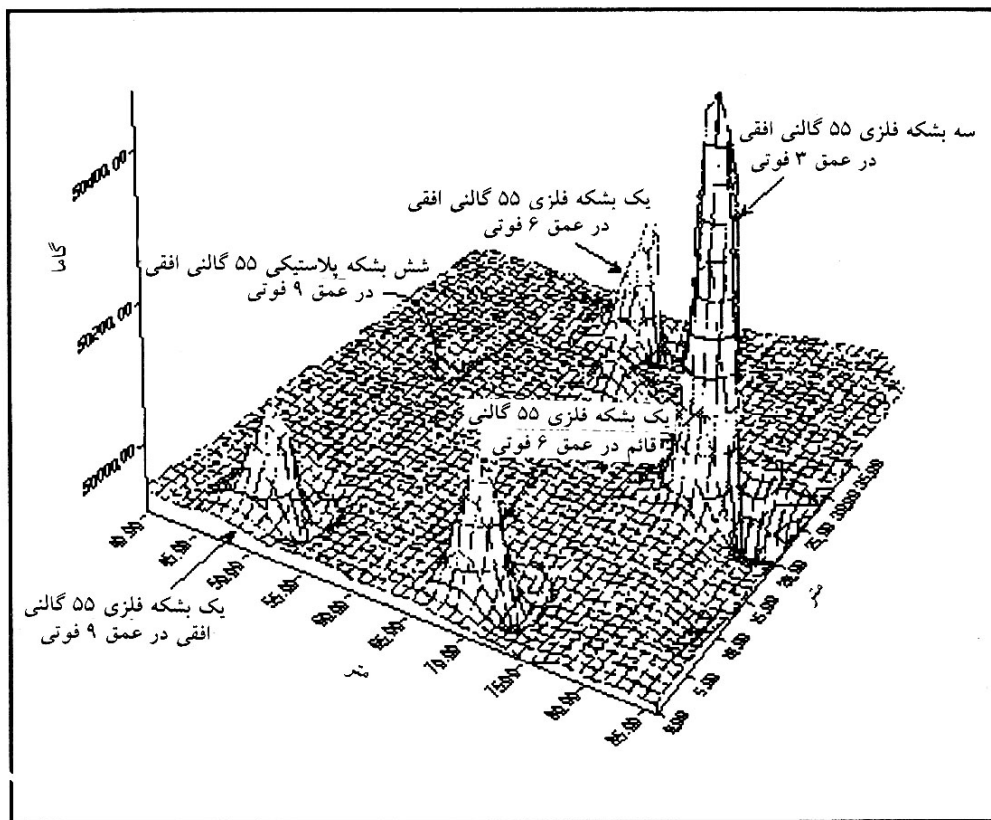
۷-۳-۳- روش های الکترومغناطیسی

گسترده ترین کاربرد روش EM برای وارسی مخزن ذخیره زیر سطحی (UST)، EM با پیچیده ثابت فرکانس حوزه ای است. این روش برای تعیین محل اشیاء دفن شده چه فلز و چه غیرفلزی بسیار مفید است، که می تواند در سایت های UST برای تعیین حدود

موارد زیر به کار برده شود:

- سایت‌های UST فولادی، ترکیبی و بتن مسلح فولادی
- ملزومات
- خاک‌های پرکننده

روش‌های EM برای شناسایی نواحی وسیع روباز مناسب است. این بدان جهت است که جمع‌آوری اطلاعات سریع است و بی‌هنجاری‌های گوناگونی خواه فلزی یا غیرفلزی از جمله در خاک پرکننده زیر سایت‌های UST قبلی را تعیین می‌نماید. چون روش‌های EM می‌توانند انواع بسیاری از اشیاء دفن شده را آشکار نمایند، اغلب واریس‌های GPR به دنبال آن می‌تواند به کار گرفته شود.



شکل ۷-۵- برداشت مغناطیس سنجی در سایت آزمایشی دانشگاه استانفورد

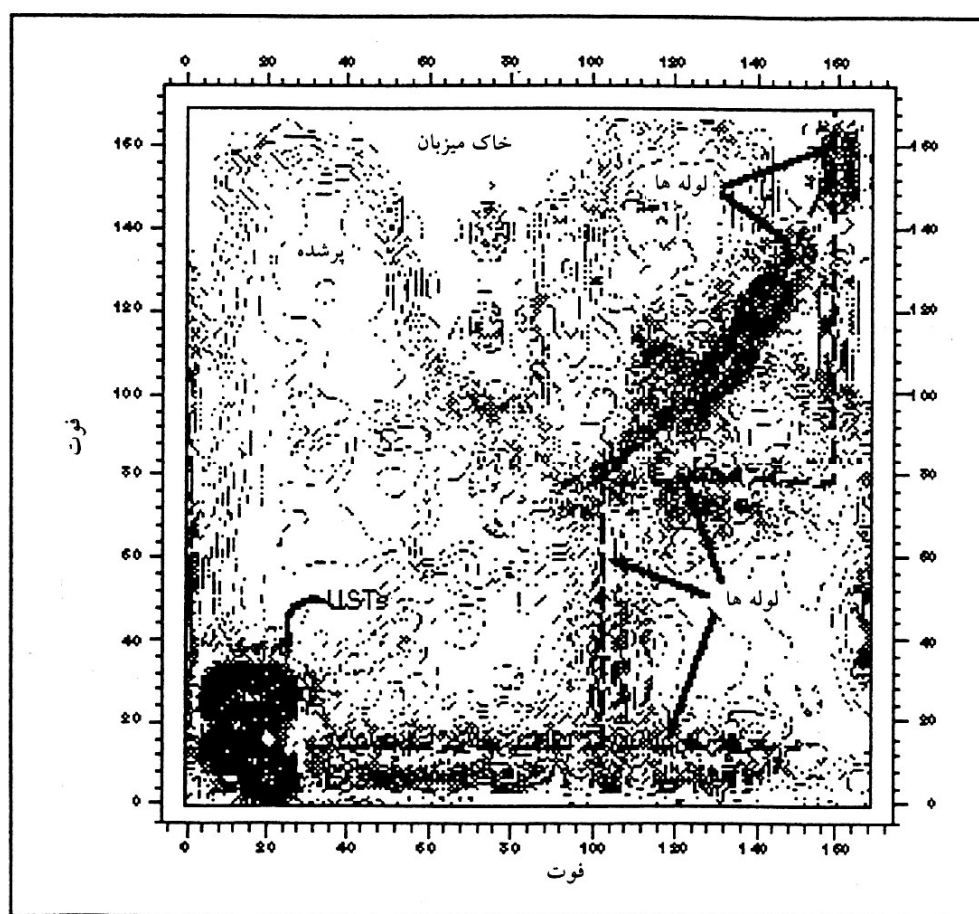
دستگاه‌های EM متداول که در سایت‌های UST برای برآورد اشیاء دفن شده به کار می‌رود، عمق بررسی بدون در نظر گرفتن اندازه جسم آشکار شده، محدود به ۱۲ فوت یا کم‌تر است. قدرت تفکیک افقی EM تقریباً ۴ فوت است و قدرت تفکیک قائم بین ۴ و ۱۲ فوت می‌باشد. شکل ۷-۶ یک مثال از اطلاعات پربند شده EM و یک نقشه تفسیری در یک سایت UST است. این بررسی توانسته بود چندین ساعت UST و لوله‌کشی مربوط به آن را تعیین محل کرده و محدوده خاک پرکننده را نیز تشخیص دهد.

یکی از روش‌هایی که می‌توان آن را از نظر اصول به EM وابسته کرد، روش MD است که در اینجا کاربرد آن در شناخت اشیاء مدفون مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برداشت‌های فلزیابی (MD) تنها برای مکان‌یابی اجسام فلزی، هم‌آهنگی و هم‌غیرآهنگی سودمند می‌باشد. مطالعات در سایت‌های

UST شامل:

- سایت‌های UST فولادی، ترکیبی و بتن مسلح فولادی
- UST‌های فایبر گلاسی که با بتن مسلح پوشیده شده است
- ملزومات تشکیل شده از هر نوع فلز



شکل ۶-۷ - برداشت الکترومغناطیسی و تفسیر در سایت UST [۱۲]

قدرت تفکیک پذیری افقی MD عالی است. ملزومات می‌توانند بهتر از مغناطیس‌سنجی ردیابی شوند، به هر حال قدرت تفکیک عمق فقط تا ۲۰ درصد عمق واقعی قابل تشخیص است. اگر قدرت تفکیک بهتری مورد نیاز باشد این برداشت می‌تواند با یک GPR دنبال شود. شکل ۷-۷ نمونه‌ای از یک برداشت و تفسیر آن با استفاده از یک MD بسیار پیشرفته را نشان می‌دهد که قادر به تعیین محل UST و لوله‌گذاری‌های مربوط به آن می‌باشد.

۷-۴- تعیین مرز زبانه‌های آلوده باقی‌مانده و شناور

یکی از مشکل‌ترین جنبه‌های ارزیابی یک سایت تعیین مرز گستره آلودگی است. اگرچه ابزارهای ژئوفیزیکی در به نقشه در آوردن وسعت زبانه‌های محلول در یک سایت کارایی ندارند ولی در بعضی از شرایط آنها نقش مهمی را در به نقشه در آوردن موقعیت مواد باقی‌مانده در ناحیه تهویه آب‌های زیرزمینی^۱ و یا زباله‌های آلوده در سطح آن بازی می‌کنند. تحقیقات هنوز در این زمینه فعال بوده و خیلی از مسایل با استفاده از روش‌های هنوز حل نشده باقی مانده است.

به طور کلی آشکارسازی مواد هیدروکربنی به دلیل آنکه آنها از نظر الکتریکی ترکیبات مقاوم بوده و اغلب از لایه‌های خاک و سنگ پیرامون خود قابل تشخیص نیستند دشوار می‌باشد. با وجود این در میان هیدروکربن‌ها مایعات با فاز غیر آبیکی سبک یا LNAP ها مانند نفت، سوخت جت، سوخت دیزلی با احتمال زیاد هیدروکربن‌های قابل آشکارسازی بوده زیرا آنها شناور شده و یک لایه مشخص را در بالای سطح آب زیرزمینی تشکیل می‌دهند. برای بعضی از روش‌های ژئوفیزیکی لایه LNAP ها باید دارای ضخامت چند فوت باشد تا تشخیص داده شود. برای بعضی از روش‌ها آشکارسازی هرزآب‌های^۲ قدیمی‌تر خیلی آسان‌تر از هرزآب‌های جدید قابل تشخیص می‌باشند، زیرا که بالا و پایین آمدن طبیعی سطح ایستایی آب زیرزمینی موجب آلوده شدن مساحت بیش‌تری می‌گردد. به‌علاوه تغییرات جانبی زمین‌شناسی در تفسیر نقشه‌های ژئوفیزیکی آلودگی‌ها در تمام روش‌ها دخالت نموده زیرا که تشخیص بین تغییرات مربوط به زمین‌شناسی یا تغییرات LNAPL ها ممکن است مشکل شود.

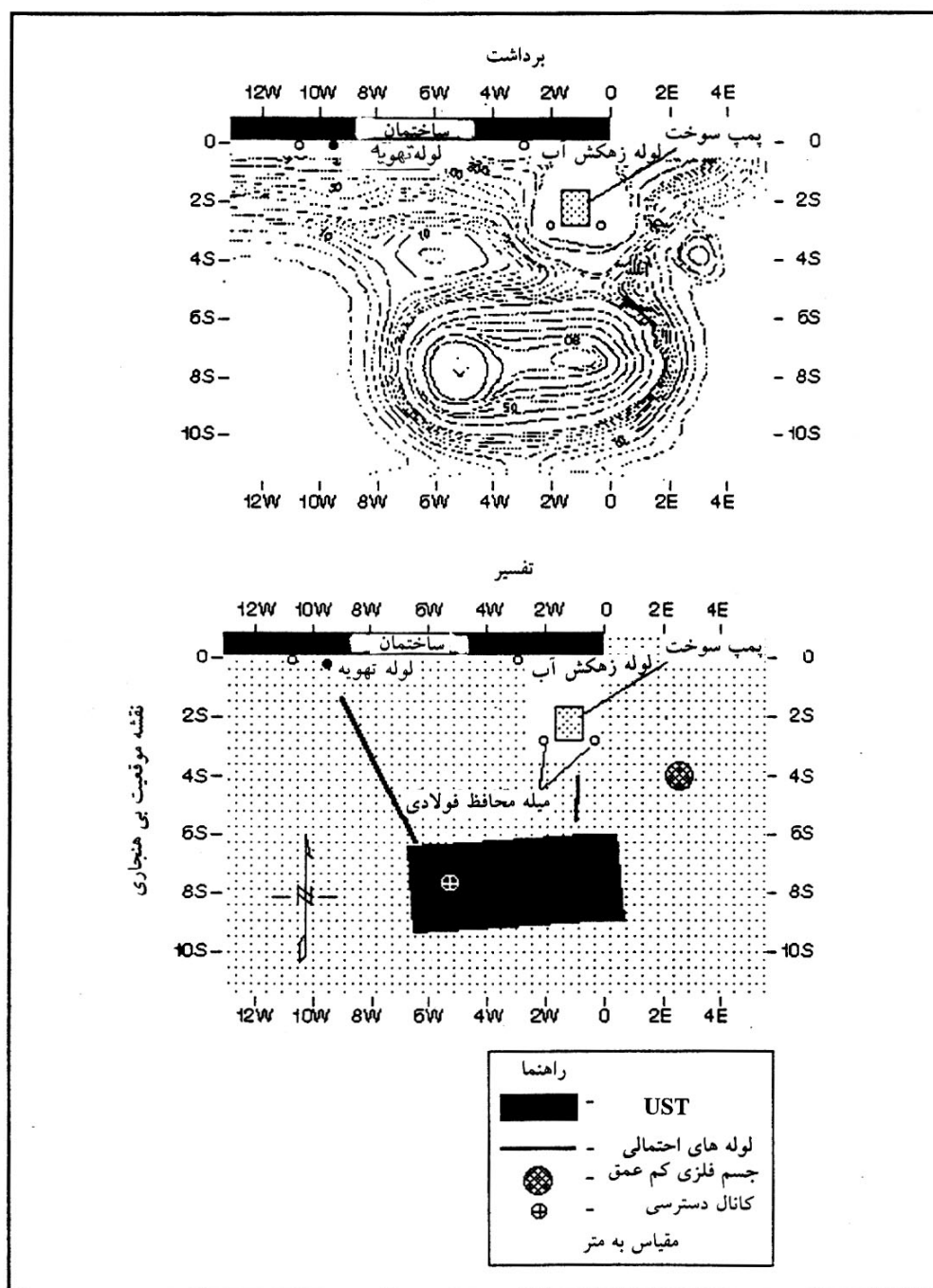
روش‌های ژئوفیزیک سطحی متعددی وجود دارد که دارای پتانسیل آشکارسازی LNAPL ها در زیر زمین هستند. رادار نفوذی زمین (GPR) و مقاومت ویژه الکتریکی در حال حاضر بهترین روش‌های مستند شده‌اند. فهرستی از موثر بودن دو روش اصلی برای تعیین مرز زباله‌های شناور و مواد باقی‌مانده در جدول ۷-۱ ارائه شده است.

جدول ۷-۱- خلاصه ای از دو روش ژئوفیزیکی اصلی برای تعیین زباله‌های آلوده باقی‌مانده و شناور

رادار نفوذی زمین	مقاومت ویژه الکتریکی	
۳ تا ۱۵ فوت	۱۰ تا ۱۵ فوت	عمق آشکارسازی
بتن تقویت شده با میله‌های زیاد	بتن، ساختارهای با سطح فلزی	تداخل‌های اجتماعی
خاک‌های رسانا (مانند رس‌ها) تغییرات جانبی زمین‌شناسی	خاک‌های بسیار رسانا (مانند رس‌های متراکم مرطوب) تغییرات جانبی زمین‌شناسی	تداخل‌های طبیعی
بلی	خیر	تولید داده‌های قابل استفاده در صحرا
نا مشخص	نا مشخص	حد آشکارسازی (کیفیت تولید)
پایین تا متوسط	متوسط تا زیاد	هزینه

1 -Vadoze zone

2-Spills



شکل ۷-۷ - برداشت فلزیابی و تفسیر آن در محل UST

استفاده از داده‌های گمانه‌های حفاری برای تعیین ضخامت زبانه‌های شناور مفید می‌باشند، زیرا که توسط آنها اندازه‌گیری درجا امکان‌پذیر شده که با هیچ وسیله دیگری نمی‌توان آن را انجام داد.

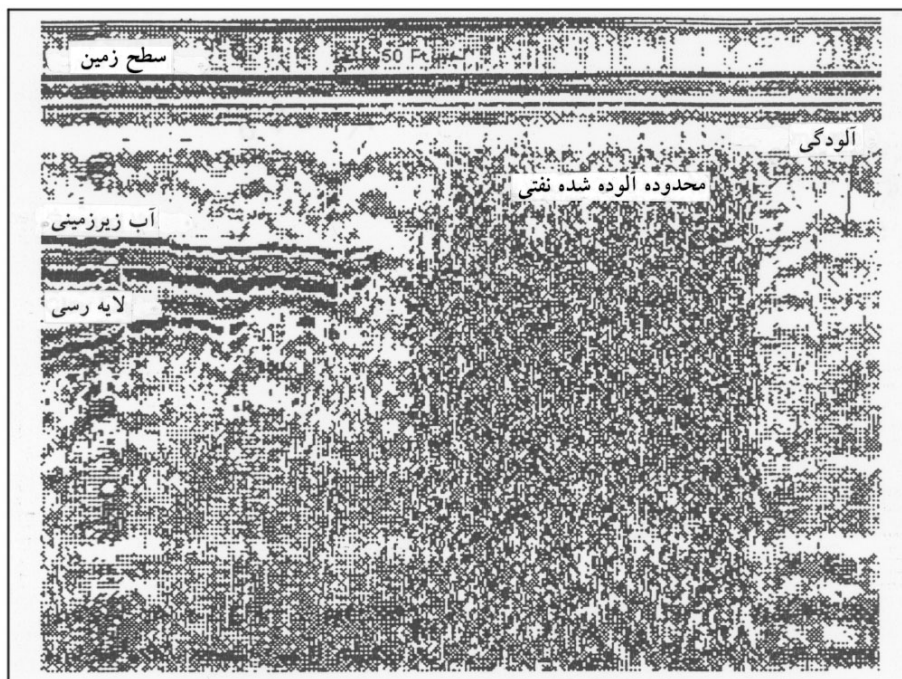
۷-۴-۱ - مقاومت ویژه الکتریکی

مطالعات مقاومت ویژه الکتریکی ابتدا برای تعیین چینه شناسی سایت (ساختگاه) مورد استفاده قرار گرفت. گاهی به عنوان جنبه‌ای از مطالعه ثانوی، این روش ممکن است وجود آلودگی LNAPL را نشان دهد (دوریک^۱ ۱۹۹۳). برای اینکه این روش موفقیت آمیز باشد، تعدادی از شرایط باید در سایت وجود داشته باشد. آب‌های زیرزمینی نباید عمیق‌تر از ۱۵ فوت بوده، خاک‌های رسانا باید در منطقه آلوده شده وجود داشته و زبانه‌های آلوده شناور باید موجود باشد (اگرچه مقدار حداقل ناشناخته است)، زیرا این روش به طور نسبی گران بوده و موفقیت در تعیین محل آلودگی هیدروکربن قابل پیش‌بینی نیست و روش به نوعی به منظور تعیین محل زبانه‌های نفتی به کار گرفته نمی‌شود.

۷-۴-۲ - روش GPR

گاه این امکان وجود دارد که با GPR بتوان نشانه‌ای از حضور هیدروکربن‌ها را به دست آورد، هرچند که موفقیت آن ممکن است به سختی قابل پیش‌بینی باشد و دلایلش نیز هنوز کاملاً شناخته نشده است. چندین گزارش از بررسی GPR در نوشتار علمی این مطالعات وجود دارد. در بسیاری از حالت‌ها برای تفسیر نیاز به لوگ گمانه‌ای می‌باشد که بتوان عمق‌های بازتاب را با نوع خاک موجود مقایسه کرد. گزارش یک مطالعه نشان می‌دهد که در نواحی آلودگی هیدروکربن‌های نفتی امواج رادار به اندازه کافی برای دریافت درگیرنده GPR منعکس نمی‌شوند. این اثر باعث هاله‌هایی (کاهش در بازتاب) در بالای ناحیه آلوده می‌گردد که با نواحی مجاور انعکاسی در تباین می‌باشد. نتیجه مشابهی در یک محل ریزش کنترل شده نفت سفید در کانادا مشاهده گردیده است (دوریک^۲ ۱۹۹۳). به هر حال در یک تجربه دیگر مشابه حالت قبل لکه روشنی (افزایش در سیگنال GPR بازتابی) مشاهده شده است (کمپیل^۲ ۱۹۹۶). دلیل این نتایج ضد و نقیض هنوز به طور مناسبی توضیح داده نشده است.

علاوه بر آن به طور موردی مشاهده شده که که مقدار کمی از نفت می‌تواند باعث شود تا حاشیه موینگی آب زیرزمینی پایین افتد. اگر سطح آب در یک منطقه با خاک‌های کم تراوا قرار گرفته باشد که بتواند یک حاشیه موینگی گسترده ایجاد کند (مانند رس‌ها) در این صورت افتی که در محل بازتاب آب زیرزمینی در مقایسه با محدوده اطراف رخ می‌دهد، ممکن است قابل مشاهده باشد. شکل ۸-۷ مثالی از این پدیده را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۸- برداشت الکترومغناطیسی زمان حوزه‌ای چینه شناسی

فصل ۸

مثال‌هایی از مطالعات موردی ژئوفیزیکی
برای بررسی‌های زیست‌محیطی

۸-۱-۱- روش GPR

آب زیرزمینی تمیز و شیرین یکی از منابعی است که ارزش آن در جهان روزبه روز بیش‌تر می‌شود. در بعضی مناطق تامین این آب به دلیل عدم مدیریت و یا رهاکردن مواد خطرناک با کاهش قابل توجهی همراه گشته است. هیدروژئولوگ‌ها به دنبال روش‌هایی هستند که بتوانند در سایت‌های آلودگی زیرسطحی نقشه استراتژی گرافی زمین را تهیه کنند. به دلیل آشنایی بسیار کم، از روش GPR در ایران، مثال‌هایی در ارتباط با مطالعات آلودگی با استفاده از این روش وجود ندارد. به همین دلیل در این‌جا جهت آشنایی بیش‌تر از کاربرد GPR در مطالعات آلودگی دو مثال انجام شده در آمریکا آورده می‌شود.

۸-۱-۱-۱- مثال اول

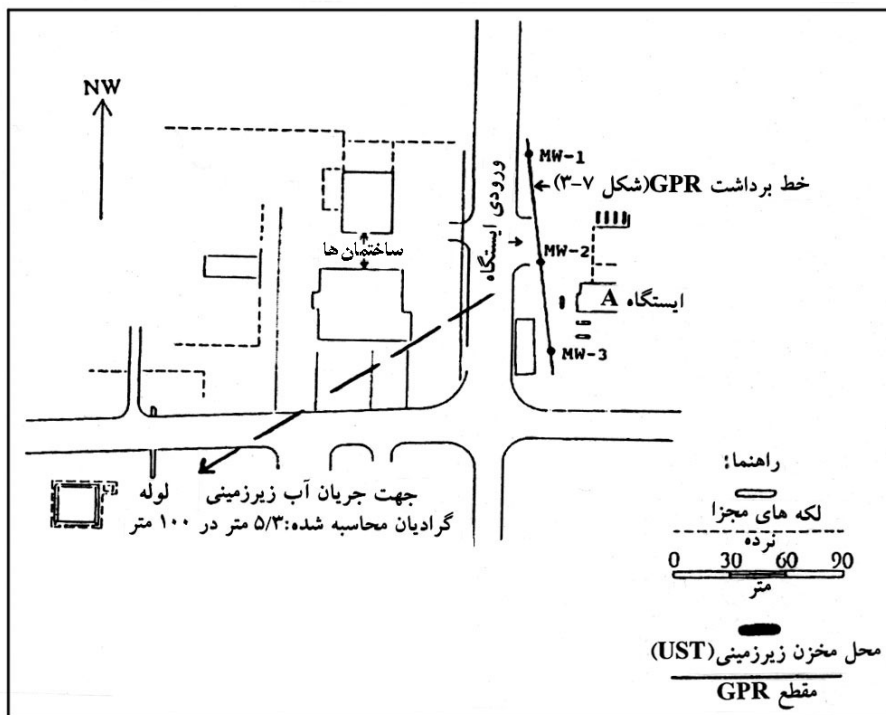
اولین سایت مورد بررسی در شمال مرکزی آریزونا^۱ نزدیک به توباسیتی^۲ قرار دارد. طرح کلی این سایت آزمایشی در شکل ۸-۱ نشان داده شده است. چهار مخزن بنزین زیرسطحی در یک انبار بنزین (ایستگاه A) وجود دارد. نشت هیدروکربن مایع در زیر سطح از حداقل یکی از این مخزن‌ها حتمی است که به این ترتیب موجب آلودگی خاک و آب زیرزمینی می‌شود. مطالعات سایت شامل بررسی خاک زیرسطحی می‌باشد. این مطالعات در سه فاز صورت پذیرفته است. فاز اول شامل مطالعه ژئوفیزیکی این منطقه می‌باشد. برداشت‌های GPR جهت تعیین محدوده نواحی آلوده شده و کمک به تعیین محل چاه‌های نظارتی به اجرا در آمده است.

فاز دوم شامل برپایی چاه‌های نظارتی بوده است. نمونه‌های آب زیرزمینی و خاک از این چاه‌ها به دست آمده و جهت تعیین محتوای هیدروکربن آنها تجزیه شده است. سطوح آب اندازه‌گیری شده در چاه امکان تعیین شیب هیدروژئولوژی و جهت حرکت آب زیرزمینی را فراهم ساخته است. میانگین این شیب برابر $5/3 \text{ m} / 100 \text{ m}$ به طرف جنوب تعیین شده است (شکل ۷-۱) که با الگوهای حرکت منطقه‌ای تخلیه آب زیرزمینی در کانال‌ها و چشمه‌های جنوب و جنوب‌غربی سایت سازگاری دارد.

با استفاده از داده‌های GPR و چاه، سه لایه اصلی زمین‌شناختی در اعماق کم شناسایی شده است. لایه اول ماسه با ضخامت ۱ تا ۲ متری می‌باشد، که قسمت اعظم سایت را پوشش می‌دهد. در زیر این لایه، ماسه حاوی شن و مقداری رس قرار دارد که ضخامت آن از ۱/۵ تا ۳/۵ متر تغییر می‌کند. نزدیک ایستگاه A (شکل ۸-۱)، در این لایه سطح آب تقریباً ۴/۵ متر عمق دارد. سنگ کف، سازند کایتتا^۳ متعلق به گروه گلن کانیون^۴ است که شامل میان لایه‌های ماسه و سیلت به رنگ‌های قرمز تا قهوه‌ای متمایل به قرمز و مقداری رس می‌باشد.

فاز سوم شامل جمع بندی و ارتباط دهی داده‌های GPR با آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی و خاک در جهت درک بهتر گسترش و شدت آلودگی در سایت می‌باشد. اطلاعات حاصل از شیب و جهت انتشار نیز به توصیف گسترش فیزیکی زبانه آلوده کمک کرده است. نیمرخ‌های GPR برداشتی در سایت، برای کمک به تشخیص مرزهای زبانه آلوده و تعیین محل چاه‌های نظارتی در شکل ۸-۱ نشان داده شده است.

1-Arizona
2-Toba city
3-Kayenta
4-Glen Canyon



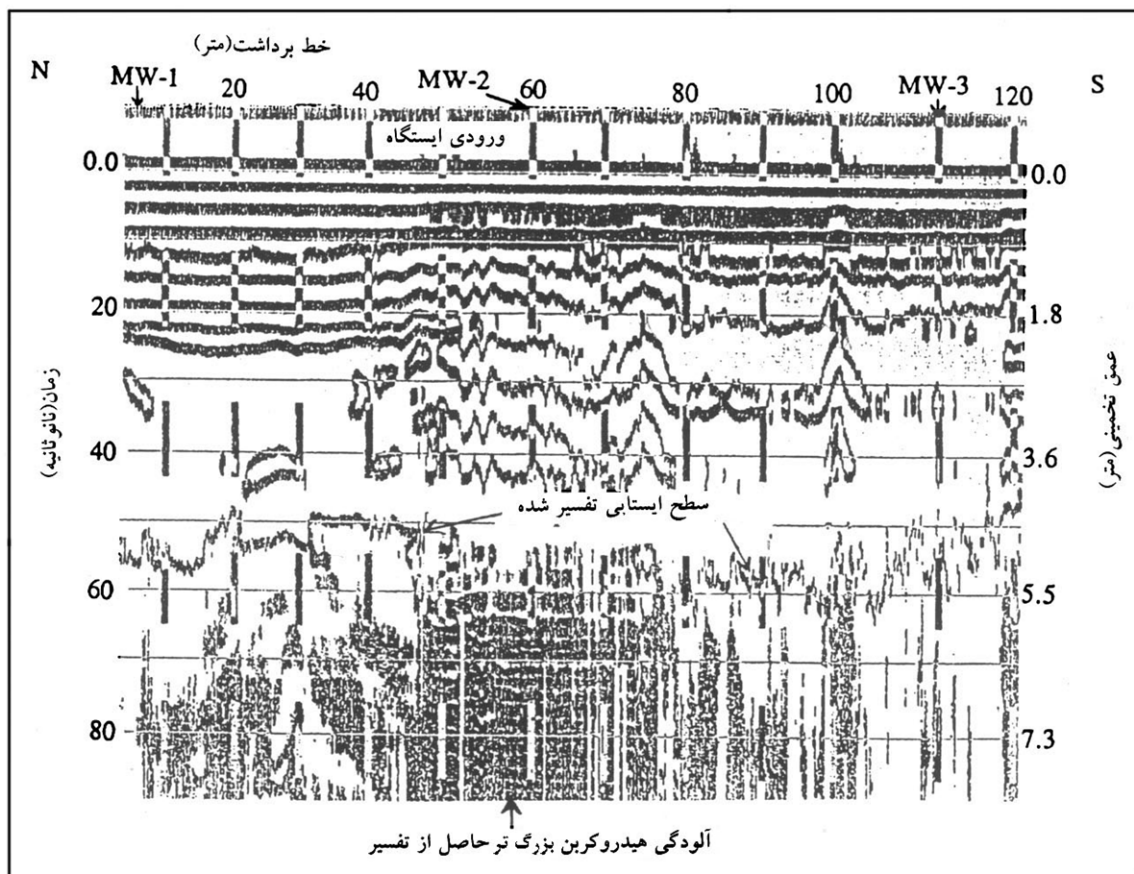
شکل ۸-۱- موقعیت‌های مخازن زیرزمینی برای ایستگاه A در سایت واقع در آریزونا شمالی

یکی از نیمرخ‌های GPR حاوی اطلاعات بیش‌تر در شکل ۸-۲ نشان داده شده است. این نیمرخ در نزدیک ایستگاه A تقریباً عمود بر امتداد عمومی جریان آب زیرزمینی قرار دارد. مقدار ثابت‌های دی الکتریکی نسبی در عمق مناطق مورد مشاهده با استفاده از نمونه‌های خاک برداشت شده از سوراخ‌های آزمایشی بین ۲ تا ۴ به دست آمده است. پس از آن عمق بازتابنده‌ها با استفاده از ثابت‌های دی الکتریکی به دست آمده برای هر لایه و رابطه $dr = Ct_r / 2\sqrt{\epsilon_r}$ محاسبه شده است (در این رابطه dr عمق بازتابنده، t_r زمان رفت و برگشت موج رادار، C سرعت نور و ϵ_r ضریب دی الکتریکی نسبی است). عمق‌های به دست آمده با عمق نمونه‌های به دست آمده از چاه‌های نظارتی دارای تطابق منطقی است. خاک‌های لایه‌ای منطبق بر واحد ماسه‌ای بالایی بلافاصله در زیر سطح زمین تا عمق حدود ۱/۴ متر دیده می‌شوند. زیر این لایه، سیگنال GPR به صورت موجی یا تینگی هستند که احتمالاً در اثر پراکندگی از سنگ‌ها و شن موجود در ماسه حاصل گردیده است. سطح آب زیرزمینی به صورت یک بازتابنده در عمق تقریبی ۴/۶ متر تفسیر شده است. اندازه‌گیری‌های این سطح در چاه‌های موجود در طول نیمرخ، عمقی در حدود ۴/۵ متر را نشان می‌دهند.

آلودگی هیدروکربنی ظاهری نزدیک به کف مقطع و به ویژه بین موقعیت‌های سطحی ۵۰ تا ۸۰ متر و فاصله زمانی ۵۰ تا ۸۵ نانوثانیه دیده می‌شوند (شکل ۸-۲). این نیمرخ تقریباً در ۵۰ متری سراسیب از مخزن‌های ذخیره در ایستگاه A اندازه‌گیری شده است. علت افزایش بازتابنده‌ها در این قسمت از مقطع می‌تواند به دلیل سیالات آلوده‌کننده‌ای باشد که مقاومت ویژه بیش‌تری نسبت به آب زیرزمینی معمول دارد و به این ترتیب نشانگر نشت هیدروکربن‌ها خواهد بود. خاک و آب زیرزمینی آلوده شده حاصل دارای رسانندگی الکتریکی پایین‌تری نسبت به آب زیرزمینی و خاکی که تحت تاثیر آلودگی قرار نگرفته می‌باشد که این امر باعث کاهش تضعیف سیگنال‌های رادار می‌گردد. قسمتی از هیدروکربن روی سطح آب زیرزمینی به صورت شناور در شکل ۸-۲ ظاهر شده

است، ولی اثرهای دیگر هیدروکربن‌ها به صورت افشان در رسوبات اشباع زیرین نمودار گشته اند. لکه‌های خارج از بازتابنده سطح آب مربوط به هیدروکربن‌های یافت شده در سازندی است، که حفاری شده است.

بر مبنای داده‌های GPR، شرایط سطح و داده‌های حاصل از چاه موجود، دوازده چاه نظارتی در اطراف سایت بر پا گردیده است. نمونه‌های آب زیرزمینی از هر چاه نظارتی با استفاده از یک بیلر^۱ تهیه شده است. قبل و بعد از هر نمونه‌گیری، آلودگی بیلر با استفاده از یک محلول اسید ضعیف و آب مقطر زدوده شده است. نمونه‌های آب توسط یک آزمایشگاه مستقل برای بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زیلن و کل هیدروکربن‌های نفتی^۲ (TPH) تجزیه شده است. تمام مقادیر نوعی به خوبی با داده‌های GPR همبستگی نشان می‌دهند. نمونه‌های آب زیرزمینی به دست آمده از چاه نظارتی MW-2 که روی خط برداشت GPR قرار گرفته است (شکل ۸-۱) حاوی تقریباً ۵ (ppm) بنزن بیش‌تر و ۸۰ (ppm) TPH، بیش‌تر نسبت به نمونه‌های برداشتی از چاه‌های MW-1 و MW-3 موجود روی همین خط برداشت می‌باشد. به همین ترتیب نمونه‌های خاک حاصل از چاه MW-2 از ۱۷۰



شکل ۸-۲ - نیمرخ GPR در مجاورت ایستگاه در آریزونای شمالی که آلودگی هیدروکربن حاصل از تفسیر را نشان می‌دهد

TPH (ppm) بیش‌تر و ۲/۳ (ppm) بنزن بیش‌تر نسبت به نمونه‌های مربوط به چاه‌های MW-1 و MW-3 برخوردار هستند. در

1- Bailer

2 -Total Petroleum Hydrocaonsrb

کل، تفسیر کیفی داده‌های GPR از تطابقی منطقی با اختلاف موجود بین این مقادیر برداشتی از چاه‌ها برخوردار بوده و به طور موثری موجب بسط افقی داده‌های چاه‌ها گردیده است.

۸-۱-۲- مثال دوم

مثال موردی دوم مربوط به نشست از یک مخزن سوخت در سایتی واقع در استان یوتا^۱ نزدیک به پروو^۲ در ایالات یوتای آمریکا می‌باشد.

طرح کلی این سایت در شکل ۸-۳ نشان داده شده است. هیدروکربن از مخزن زیرسطحی به داخل آب زیرزمینی نشست کرده است که سطح این آب با یک گرادیان $100\text{ m} / 1\text{ m}$ به طرف جنوب غربی جریان می‌یابد. بر مبنای نقشه‌های تهیه شده در سال ۱۹۸۸ و داده‌های GPR و چاه، زمین‌شناختی این سایت مشخص شده است که شامل سه لایه اصلی می‌باشد:

- یک لایه آسفالت - ماسه به ضخامت 1 m تا $1/4\text{ m}$ متر

- یک لایه ماسه سیلتی که مقداری شن نیز همراه آن است (ضخامت $1/7$ تا $2/4$ متر

- یک لایه شن حاوی آب. سطح آب در چاه‌های نظارتی ۱ و ۲ به ترتیب $3/6$ و $3/9$ متر می‌باشد.

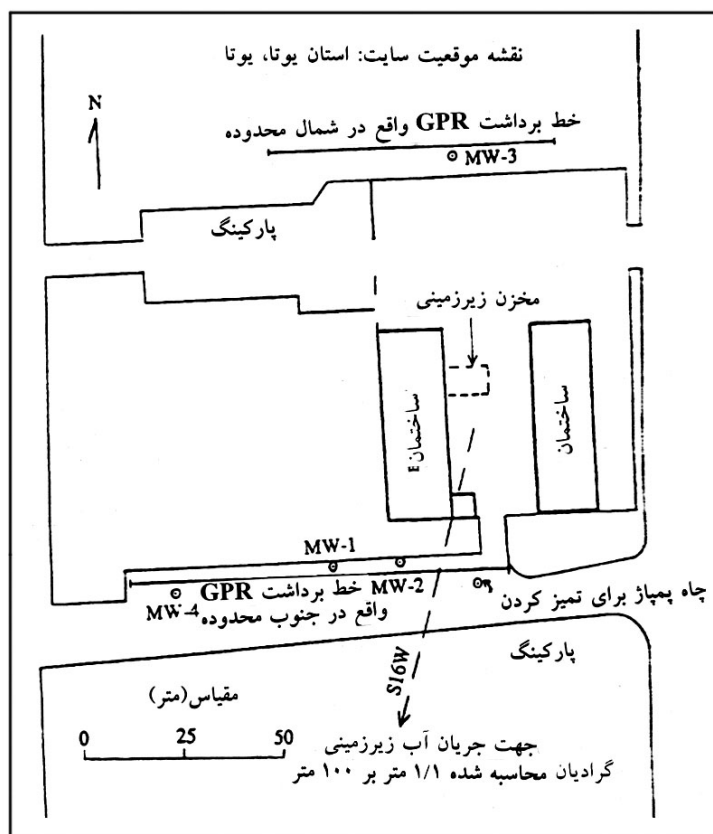
در این سایت داده‌های GPR در امتداد دو خط برداشت جمع‌آوری شده است. این خط‌ها در شکل ۸-۳ به صورت GPR جنوبی و GPR شمالی نشان داده شده است. GPR جنوبی حدود ۴۵ متری پایین دست مخزن نشستی طوری انتخاب شده که محدوده آلوده شده را قطع می‌کند. GPR شمالی تقریباً در ۶۰ متری شمال مخزن در یک محدوده سربالایی غیرآلوده قرار گرفته است.

مقطع GPR شمالی (شکل ۸-۴) لایه‌های زیرسطحی پیوسته‌ای را نشان می‌دهد، که نسبتاً تمیز می‌باشند. بازتابنده قوی‌تری که در عمق $3/4$ تا $3/6$ متر وجود دارد، به عنوان سطح آب تفسیر می‌گردد. بازتابنده‌های واقع در زیر سطح آب که به صورت گاه تیره و گاه کم‌رنگ ظاهر می‌شوند، مشخصه رسوباتی هستند که از آب اشباع شده اند. شاخصه‌های سنگ‌ها و شن در بازتابنده‌های واقع در بالای سطح آب دیده می‌شوند.

روی نیمرخ GPR جنوبی که در شکل ۸-۵ نشان داده شده است، سطح آب به صورت بازتابنده‌هایی که در عمق‌های $3/6$ و $3/8$ متر قرار دارند، تفسیر شده است. بین موقعیت‌های سطحی 40 و 90 متر، سطح آب مشخص نیست که این امر به واسطه وجود بازتاب‌هایی است که به عنوان آلودگی‌های هیدروکربنی تفسیر شده است. این موضوع بعداً به وسیله نمونه‌های حاصل از آب زیرزمینی به دست آمده از چاه تایید گردید. این هیدروکربن‌های پراکنده از رسانندگی کم‌تری نسبت به آب برخوردار گردید و بنابراین باعث افزایش بازتابش رادار در این قسمت از نیمرخ گشته‌اند. همانند مثال قبلی، قسمتی از هیدروکربن‌ها ممکن است روی سطح آب شناور گردند. به نظر می‌رسد که بعضی اوج‌های رادار واقع در عمق $1/2$ و 3 متر نشان دهنده گسترش بیش‌تر سنگ‌ها و شن‌ها باشند که این موضوع با داده‌های حاصل از چاه نظارتی تطابق دارد.

نمونه‌های آب زیرزمینی که از چاه‌های نظارتی ۳، ۲، ۱ و ۴ (شکل ۸-۳) گرفته شده در یک آزمایشگاه مستقل جهت تعیین محتوای هیدروکربنی آنها مورد آزمایش قرار گرفته است. برای چاه MW-3 که نزدیک محدوده غیرآلوده خط برداشت GPR شمالی قرار

دارد، مقدار TPH حدود $1/2$ (ppm) بوده، درحالی که برای چاه‌های MW-1 و MW-2 که نزدیک خط برداشت GPR جنوبی در محدوده آلوده قرار دارند، مقادیر TPH به ترتیب ۴۴ و ۵۱ (ppm) می‌باشند. در چاه MW-4 مقدار TPH حدود $1/8$ (ppm) می‌باشد که قابل مقایسه با مقدار به دست آمده از چاه MW-3 واقع در شمال است. این مقادیر تطابق خوبی با تفسیرهای کیفی داده‌های GPR نشان می‌دهند. بر مبنای تفسیرهای چاه و داده‌های GPR یک چاه پمپاژ در محل نشان داده شده در شکل ۸-۳ حفر گردید. از این چاه جهت تمیز کردن آب زیرزمینی آلوده شده به وسیله عبور آب از یک فیلتر ذغال چوب فعال شده، استفاده شد. این دو مثال نشان می‌دهند که GPR وسیله سودمندی جهت ارزیابی موقعیت و گسترش زبانه‌های آلوده در خاک‌ها و آب زیرزمینی می‌باشد. زمانی که شرایط زمین‌شناختی مناسب باشد، برداشت‌های GPR، روشی غیر مخرب و اقتصادی را برای انتخاب محل‌های استراتژی چاه‌های نظارتی و تهیه گسترش افقی موثر نگارهای (لوگ‌های) چاه فراهم می‌سازد.



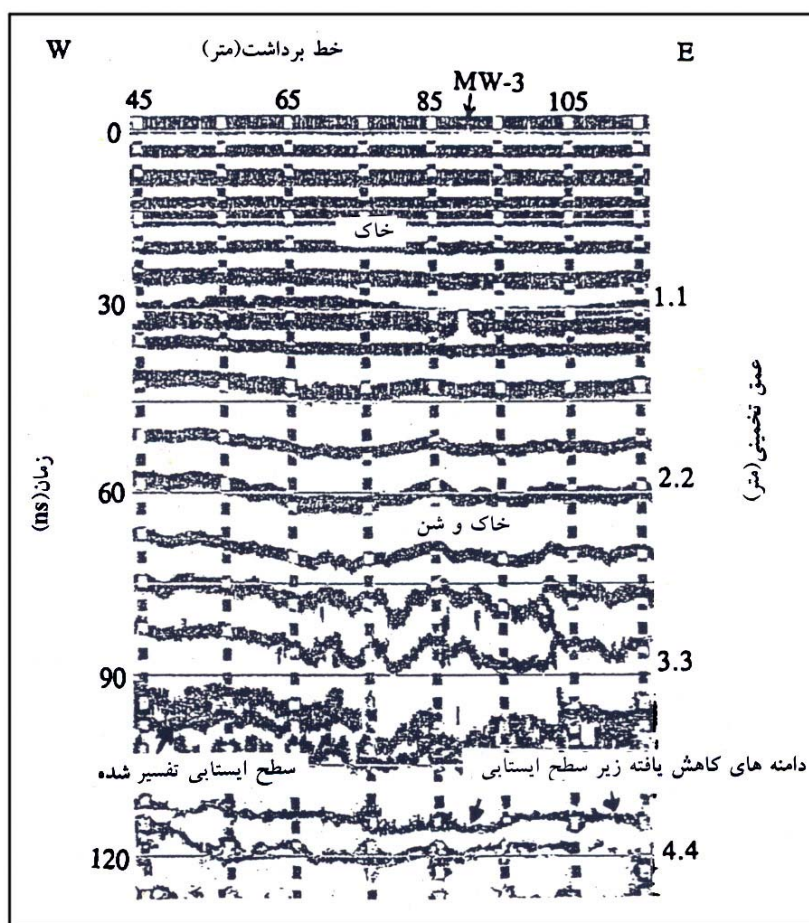
شکل ۸-۳- موقعیت مخزن زیرزمینی در سایت یوتا مرکزی

۸-۲- روش‌های ژئوالکتریک

روش‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی با موفقیت در آشکارسازی آلودگی آب‌های زیرزمینی و نشت آن در مطالعات موردی بسیاری به کار برده شده است. جهت ارائه کاربرد روش‌های مختلف ژئوالکتریک، مطالعات انجام شده در محل معدن اورانیم رنجر واقع در استرالیا به عنوان مثال اول آورده شده است.

۸-۲-۱- مثال اول

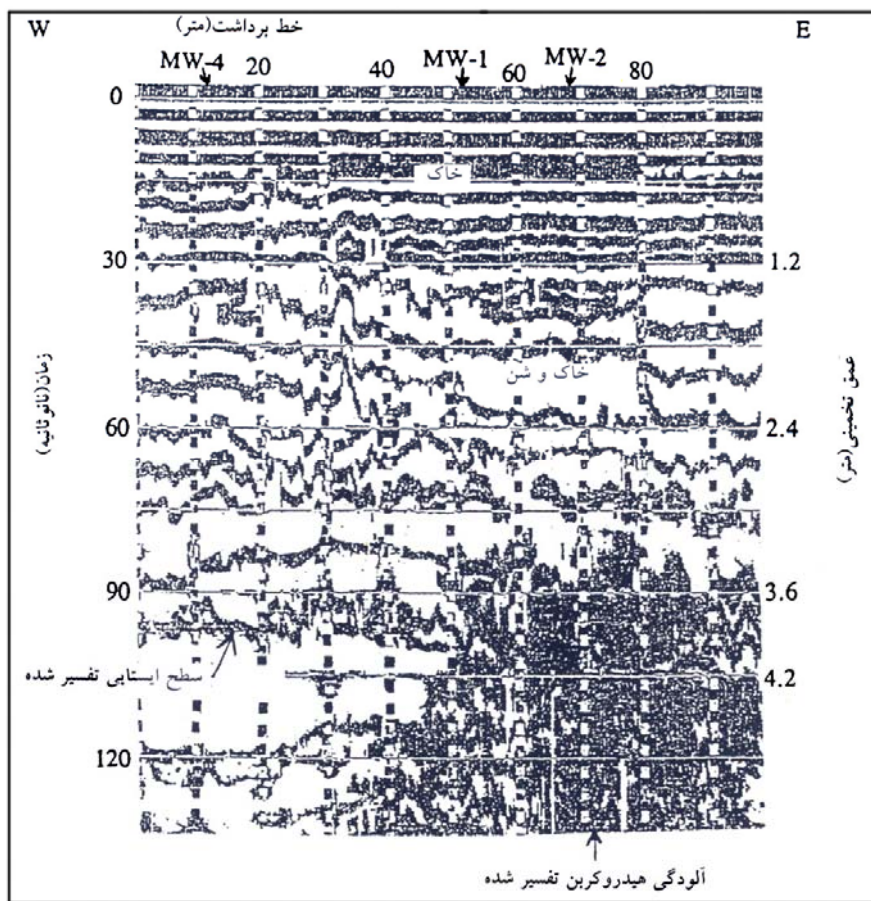
محل معدن اورانیم رنجر^۱ در شکل ۸-۶ نشان داده شده است. معدن کاوی در سال ۱۹۸۰ شروع شده و برنامه پایان یافتن آن برای سال ۲۰۰۵ در نظر گرفته شده است. یکی از مشکلات زیست محیطی بالقوه در رنجر نشت از سد باطله می باشد. در این سد آب آلوده با غلظت های زیادی از یون های Mg^{2+} و SO_4^{2-} حاصل از تاسیسات فرآوری انبار می شود. نشت از سد باطله توسط برخی گمانه های آب شناختی آشکار شده است، اما اینها خیلی پراکنده هستند و برای برآورد خصوصیات تمامی ناحیه کافی نیستند. در سایت معدنی رنجر برداشت های ژئوفیزیکی برای آشکار نمودن نشت در شمال سد باطله انجام شده بود. برای این کار از روش الکترومغناطیسی زمان حوزه های هوا برد (AEM)، یک سامانه EM زمان حوزه های (TEM) زمینی، مایس^۲ (۱۹۹۴)، و یک سامانه



شکل ۸-۴ - داده های GPR ثبت شده در راستای مقطع GPR شمالی واقع شده در بالادست مخزن نشت کننده در یوتای مرکزی (فواصل سطحی با خط برداشت GPR جنوبی سازگاری دارد)

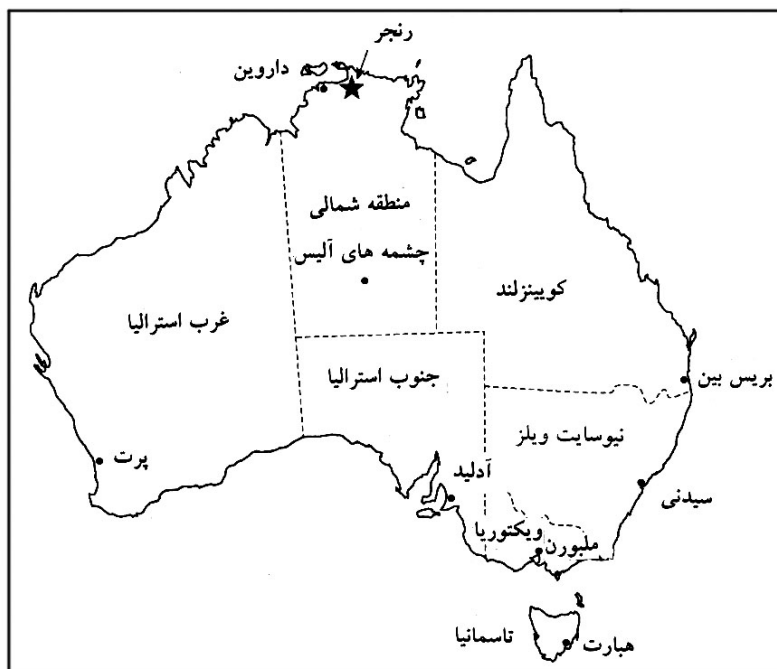
EM فرکانس حوزه‌ای زمینی، رید^۱ و همکاران (۱۹۹۰) استفاده شد. در حالی که برخی از این برداشت‌ها دال بر امکان حضور نشت از نزدیک سطح بود، روشن نبود که پاسخ‌های به دست آمده از این روش‌های رسانندگی الکتریکی مستقیماً مربوط به نشت در این منطقه شده باشد. علاوه بر این، برداشت‌هایی به روش‌های خودپتانسیل (SP) و قطبش القایی (IP)، که انتظار می‌رفت به خواص الکتروشیمیایی هر نشتی جواب دهد، قبلاً انجام نشده بود.

برای بررسی اینکه کدامیک از روش‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی می‌توان است برای انبارش ضایعات محل معدن رنجر به کار برده شود، در اینجا روش‌های SP، IP، مقاومت ویژه DC، و اندازه‌گیری‌های TEM زمینی در طول اکتبر و دسامبر ۱۹۹۸ انجام شد. این کار برای بررسی انتخاب روش مناسب الکتریکی و الکترومغناطیسی بود تا نشت حاصل از ساختارهایی که در انبارش باطله‌های معدن رنجر وجود داشت، و روش‌های ترکیبی مناسب برای هر نوع نشتی تعیین شود. این اندازه‌گیری‌ها پایه‌گذار نخستین بخش یک طرح درازمدت است و نیاز به فرآیندی منظم دارد تا اثر تغییرات شرایط هیدروژئولوژیکی را که بر روی پاسخ هر روش وجود دارد تعیین کند.



شکل ۸-۵ - داده‌های GPR ثبت شده در راستای مقطع GPR جنوبی در پایین دست مخزن سوخت نشت کننده در یوتای مرکزی

به استثنای برداشت‌های TEM که با روش SIROTEM انجام گردید (بوسلی و اونیل^۱ ۱۹۷۷)، همه داده‌های دیگر توسط سامانه ۶۴ کاناله برای نمونه برداری هم‌زمان کلیه کانال‌ها با سرعت ۲۰۰۰۰۰ سمپلی در ثانیه برای هر کانال جمع‌آوری گردید. اندازه‌گیری‌های چندین کاناله هم‌زمان برای کاربردهای نظارتی محیط زیست که اندازه‌گیری‌ها در چندین ایستگاه بر روی تعدادی از خطاها نیاز به تکرار در بازه‌های زمانی معین دارد بسیار مناسب می‌باشد. برای اندازه‌گیری‌های با آرایه دستگانه چندین کاناله در امتداد خط، در عملیات صحرایی استفاده از الکترودهای فرستنده نهاده شده در وسط الکترودهای گیرنده آسان‌تر می‌باشد. انواع مختلف مقاطع مقاومت ویژه ظاهری و بارپذیری، مانند شبه مقطع قطبی - دو قطبی متداول و مقاطع سونداژزنی با آرایه شلومبرژه را می‌توان از این اندازه‌گیری‌های چندین کاناله به دست آورد. انجام برداشت‌های آرایه شلومبرژه متداول معمولاً وقت زیادی لازم دارد. ولی با گیرنده چندین کاناله مقاطع آرایه شلومبرژه را از سونداژزنی‌های با فاصله ایستگاهی به کوتاهی ۱۰ متر می‌توان به آسانی به دست آورد. مقاطع مقاومت ویژه ظاهری شلومبرژه و بارپذیری که به طور مثال ارائه شده‌اند طی اندازه‌گیری‌هایی با گیرنده چندین کاناله در یک روز که منجر به تهیه مقاطع شلومبرژه از ۶۰ ایستگاه سونداژزنی با تعداد ۱۰ فاصله الکتروده فرستنده جریان یا بیش‌تر در هر ایستگاه تولید شده است.



شکل ۸-۶ - موقعیت معدن رنجر در شمال تریتوری^۲ استرالیا

1-Buselli & O, Neill

2-Territory

۸-۲-۱-۱- زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی سایت معدنی رنجر

عموماً، محدوده پوشیده شده توسط برداشت‌های ژئوفیزیکی در شمال سد باطله متشکل از ۲ تا ۵ متر از رسوبات نسبتاً رسانا بوده که پی سنگ بلورین مقاوم را فرا گرفته است. زمین‌شناسی پی سنگ و گسیختگی‌های ساختاری اصلی محدوده که در شکل ۸-۷ نشان داده شده است در ارتباط با دیواره شمالی سد باطله است که طول آن حدود یک کیلومتر می‌باشد (رید و دیگران^۱ ۱۹۹۰). سنگ‌های پی سنگ متشکل از گرانیت دارای دانه بندی یکنواخت و گنیس اوژنی (AG) همراه با بین لایه‌هایی از شیست‌های کوارتز، میکا و فلدسپات دار (MS) و گنیس میگماتیته (MG) می‌باشد. گنیس اوژنی قسمت اعظم محدوده مورد مطالعه را پوشانده است. بر کم^۲ (۱۹۷۶) رقم مقاومت ویژه الکتریکی را ۷۶۰۰ اهم متر برای میگماتیت و ۱۹۰۰ تا ۸۳۰۰ اهم متر برای شیست‌های منظم رودخانه‌های الیگاتور گزارش کرده است.

یک نیمرخ زمین‌شناسی از رسوبات سطحی در جدول ۸-۱ خلاصه شده است (رید و دیگران). نمایی از مقطع زمین‌شناسی در امتداد خط N ۱۱۲۰۰ (رجوع کنید به شکل ۸-۷) نزدیک یکی از خطوط مقاطع ژئوفیزیکی در شکل ۸-۸ نشان داده شده است. ضخامت رسوبات سطحی حدود ۲ تا ۵ متر می‌باشد. گستره مقاومت ویژه برای رسوبات رسی دارای بزرگی کمتر از مواد ماسه‌ای بوده که ویژه انواع مختلف خاک‌های رسی ورس دارای گستره ۰/۱ تا ۶۰۰ اهم متر است (رید و دیگران). این ارقام خیلی کمتر از مقاومت پی سنگ زمین‌شناسی می‌باشد.

هیدروژئولوژی محدوده به صورت سامانه آبخوان دو سفره‌ای در ارتباط با زمین‌شناسی سطحی و سنگ پی توصیف شده است. سفره سطحی شامل رسوبات سطحی و پی سنگ هوازده که دارای ضخامت مجموع تا ۲۰ متر می‌باشد. جریان آب زیرزمینی در سفره پایین‌تر توسط مناطق گسلی در سنگ پی کنترل شده و دو سفره از نظر هیدرولیکی به همدیگر متصل می‌باشند. سطوح آب زیرزمینی در شمال سد باطله توسط چند چاه گمانه نظارتی (چاه مشاهده‌ای) ثبت گردیده و این سطوح بین ۰ تا ۶ متری زیر سطح زمین بسته به توپوگرافی محدوده تغییر می‌کند. چاه گمانه‌های نظارتی نشان می‌دهد که میانگین افت روزانه سطح آب زیرزمینی در فصول خشک بین ۱۲ تا ۱۴ میلی‌متر بوده و میانگین بالا آمدن روزانه سطح آب در فصل مرطوب ۱۴ تا ۴۰ میلی‌متر می‌باشد. میانگین تغییرات فصلی مربوط به افت و خیز سطح آب زیرزمینی ۲ تا ۳ متر است.

اختصاصات شیمیایی اصلی آب زیرزمینی و آب سطحی در جدول ۸-۲ ارائه شده است. نمونه‌ها از نقاط نشان داده شده در شکل ۸-۹ الف برداشت شده است. آثار نشت از سد باطله در محدوده کونجیمباکریک^۳ از ارقام زیادتر رسانندگی ویژه الکتریکی و غلظت یون‌های Mg^{2+} و SO_4^{2-} که در OB44 و OB13A اندازه‌گیری شده مشهود می‌باشد.

در محدوده شمال سد باطله، مناطق گسلی عمده که وسیله‌ای برای جریان نشت از سد می‌باشد توسط براون و لوسون^۴ ۱۹۹۰ شرح داده شده، یک گسل تراستی اصلی (گسل ۱) در شمال سد با شیب ۴۰ درجه به طرف جنوب شرقی و امتداد ۷۷ درجه، یک سری گسل نرمال (گسل‌های ۱a، ۱b و ۱d) با شیب ۶۰ درجه به طرف شمال غربی و امتداد شمالی تا شمال شرقی و یک گسل نرمال (۲a)

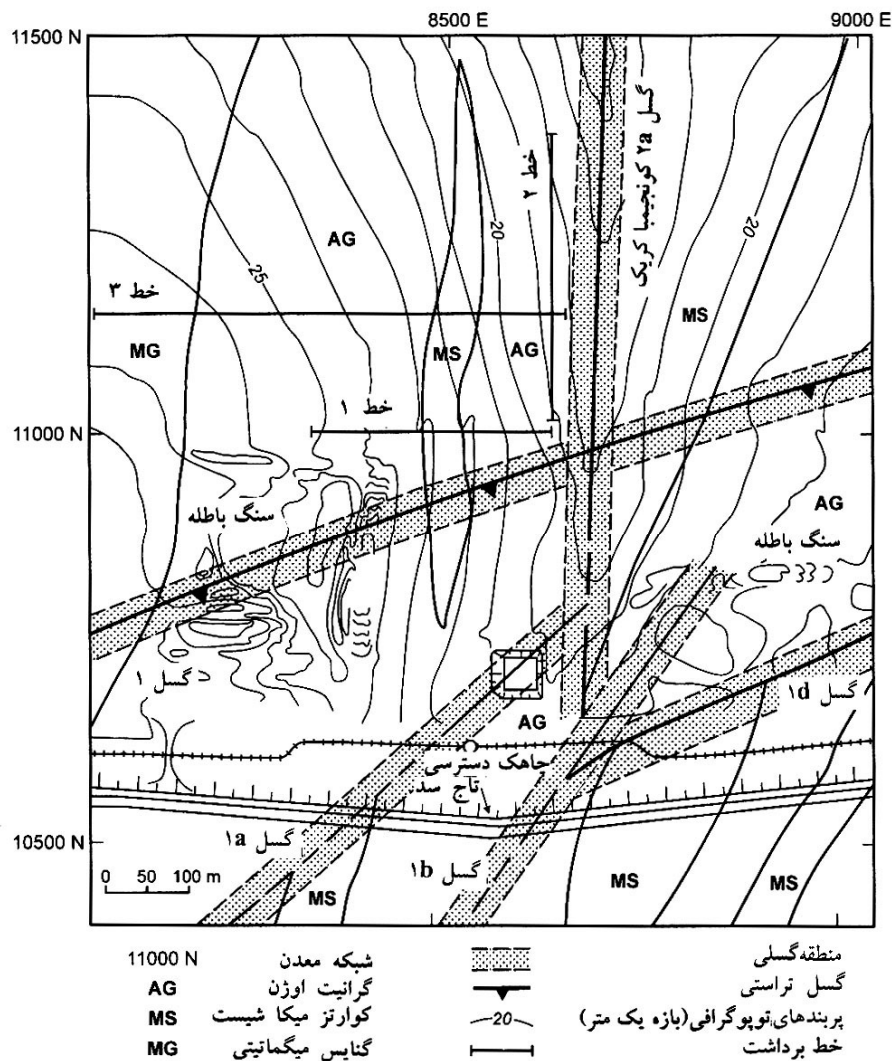
1-Reid et al. 2-

2 - Berkman

3 - Coonjimba Creek

4 - Brown & Lowson

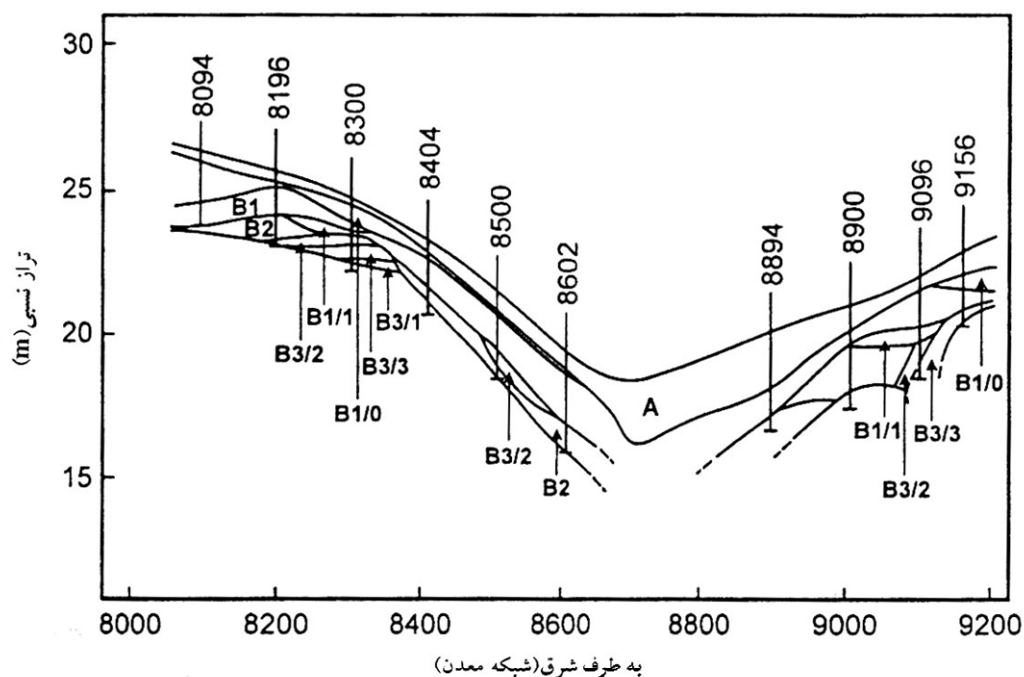
با شیب ۴۰ درجه به طرف شرق و امتداد شمالی تعیین محل شده اند. گسل‌های شناسایی شده در این بررسی معرف مناطقی با درجه آبگذری بالا نسبت به سنگ‌های گسل نخورده یا کم گسل خورده مجاور می‌باشد (سالاما و فولی^{۲۱}، ۱۹۹۷).



شکل ۸-۷ - زمین شناسی سنگ پی و گسیختگی‌های اصلی محدوده که در آنجا برداشت‌های ژئوفیزیکی در شمال سد باطله معدن رنجر انجام شده است

جدول ۸-۱ - خلاصه ای از مقطع زمین‌شناسی رسوبات سطحی در امتداد خط N۱۱۲۰۰ به فاصله ۵۰ متری شمال خط ۳

اندازه دانه بندی mm	توضیح زمین‌شناسی	افق	لایه‌ها	افق‌های زمین‌شناسی
۰/۳	ماسه و رس سیلتی و رس	ماسه و رس	آبرفت	رسوبات آبرفتی
۰/۴	ماسه و ماسه سیلتی ماسه سیلتی و شن ماسه ای	A ₁ A ₂	A	خاک‌های سطحی و رسوبات واریزه ای
۲/۵	فریکریت، پیژولیت‌های دانه ریز ماسه ریز و درشت شن ریز در خمیره رسی لاتریت، ماسه رسی دانه ریز تا متوسط	B _{1/0}	B	رسوبات لاتریتی
۰/۳		B _{1/1} و B ₁		
۰/۴۵ ۰/۰۰۳ ۰/۰۸	ماسه رسی رس رس ماسه ای، ماسه رسی سیلت رسی	B ₂ B _{3/1} B _{3/2} B _{3/3}	B	خاک‌های باقی‌مانده
۰/۳	سنگ‌های به شدت هوازده تا خیلی هوازده	C ₁	C	سنگ هوازده



شکل ۸-۸- مقطع زمین شناسی در امتداد خط $11200+N$ شمال سد باطله معدن رنجر

A ماسه، ماسه سیلتی و شن ماسه ای، B₁ لاتریت- ماسه رسی دانه ریز تا متوسط، B_{1/0} فریکریت،
 B_{1/1} لاتریت- ماسه رسی دانه ریز تا متوسط، B₂ ماسه رسی، B_{3/1} رس،
 B_{3/2} رس ماسه ای- ماسه رسی، B_{3/3} سیلت رسی

جدول ۸-۲- خواص شیمیایی آب زیرزمینی نمونه گیری شده در سپتامبر ۱۹۹۸
 و آب سطحی نمونه گیری شده در نوامبر ۱۹۹۸

موقعیت / شماره گمانه	pH	رسانندگی (mS/m)	غلظت (mg/l)	
			SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺
سد باطله	4.6	21 300	3580	19846
حوضچه نگهداری ۱	7.9	201	19.1	43
OB13A	6.5	1446	1983	405
OB17A	6.7	253	3	8.7
OB1A	-	198	0.2	7.1
OB23	7.3	394	0.2	9
OB24	6.7	328	4.5	22
OB41	6.6	176	0.2	14
OB42	6.4	423	1.5	39
OB43	6.8	148	0.4	8
OB44	6.4	1687	889	170

۸-۲-۱-۲-آرایه‌های چند کاناله خطی (نیم‌رخ)

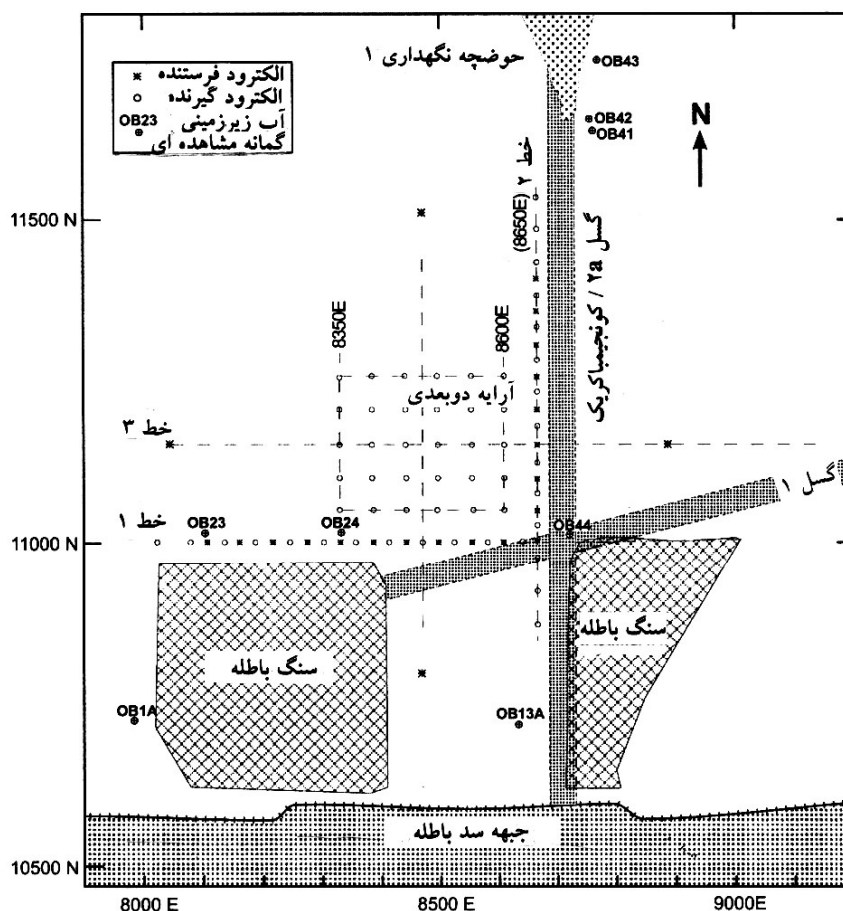
شکل ۸-۹ موقعیت‌های الکترودهایی را نشان می‌دهد که برای اندازه‌گیری‌های چند کاناله SP، IP و مقاومت ویژه DC در شمال سد باطله رنجر آرایش شده‌اند. این نقشه، موقعیت آرایه دوبعدی (شبکه ای) را که برای اندازه‌گیری‌های SP به کار می‌رود و برداشت‌های آرایه خطی که روی خطوط ۱،۲ و ۳ قرار دارد، نشان می‌دهد. در شبکه معدن، این خطوط به ترتیب با خطوط ۱۱۰۰N، ۸۶۵۰E و ۱۱۱۵۰N مطابقت دارند. در جنوب این خطوط طول دیوار سد باطله قرار می‌گیرد.

در اینجا، تنها نتایج مقاومت ویژه DC و IP به دست آمده روی خط ۳ و نتایج SP آرایه دوبعدی مورد بحث قرار گرفته است. نتایج به دست آمده روی خط ۲ توسط باسلی و لو^۱ (۱۹۹۹) ارائه شده است. اندازه‌گیری‌های الکتریکی روی خط ۳ (رجوع کنید به شکل ۸-۹-ب) با فاصله‌های الکترودی ۱۰ متر انجام شده‌اند. داده‌های جمع‌آوری شده هم‌زمان از ۳۱ الکتروود گیرنده عمود بر امتداد گسل قرار داده شده به طوری که الکتروود مرکزی به عنوان مرجع ولتاژ برای سایر الکتروودهای گیرنده در نظر گرفته شده است. تعداد ۱۵ الکتروود گیرنده در هر طرف الکتروود مرجع، به کنسول گیرنده توسط کابل ۱۶ رشته‌ای (بایک رشته یدک) وصل شده است. یک الکتروود فرستنده در ۱/۷ کیلومتری دور از خط (به عنوان بی‌نهایت) و الکتروود فرستنده دیگر (به عنوان قطب منفرد) در طول خط برداشت به حرکت درآمده و موقعیت ایستگاه‌ها در وسط فاصله بین دو الکتروود گیرنده قرار داده شده است. برای هر آرایه گیرنده ۴۰ قطب ایستگاه فرستنده وجود داشت که در شکل ۸-۹-ب نشان داده شده است.

دو سری از این‌گونه اندازه‌گیری‌ها در غرب کونجیمبا گریک^۲ روی خط ۳ انجام گرفته است در حالی که آرایه گیرنده‌ای که برای سری دوم است در ۳۰۰ متر به طرف شرق آرایه گیرنده سری اول حرکت داده شده است.

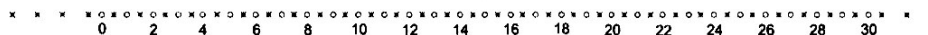
شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری شلومبرژه و بارپذیری از اندازه‌گیری‌های قطبی - دو قطبی به دست آمده‌اند. مقادیر ولتاژی که با هر دو قطبی گیرنده اندازه‌گیری شده است بر مقادیر جریان اندازه‌گیری شده با فرستنده تک قطبی در هر موقعیت در طول یک خط تقسیم شده‌اند تا مقادیر مقاومت ویژه ظاهری به دست آید. سطح زیر منحنی کاهش تدریجی IP از ۰/۰۵ تا ۱/۸ ثانیه بر مقادیر ولتاژ در حالت شارژ تقسیم شده تا مقادیر بارپذیر به دست آید. سونداژنی‌هایی با آرایه نیم شلومبرژه می‌توانند از این مجموعه قرائت‌ها به دست آیند. شکل ۸-۱۰ جزئیاتی از مکان‌های الکتروود را نشان می‌دهد که برای تولید سونداژهای با آرایه شلومبرژه به کار می‌روند. در ایستگاهی در مرکز الکتروودهای گیرنده‌ای که در M و N مستقر شده‌اند، میانگینی از مقادیر مقاومت ویژه ظاهری یا بارپذیری که با قطب‌های فرستنده A و B به دست آمده‌اند، حاصل شده است. معمولاً در آرایه شلومبرژه با افزایش فاصله الکتروودهای جریان، عمق تجسس افزایش می‌یابد. به دلیل اینکه در سامانه چند کاناله الکتروودها در فواصل منظم چیده می‌شوند یک آرایه اصلاح شده به کار گرفته شده است. فاصله بین یک الکتروود فرستنده و مرکز الکتروودهای گیرنده na می‌باشد که n عدد صحیح است و a فاصله بین M و N می‌باشد. در این مورد، فاصله هر الکتروود فرستنده از مرکز الکتروودهای گیرنده با ضریب افزایشی به اندازه a افزایش یافته است که از یک فاصله اولیه a ($n=1$) شروع می‌شود. برای هر مقدار n ، نقطه مربوط به هر داده مستقیماً در زیر مرکز دو قطبی گیرنده و در عمق $AB/2$ برای حالت $n=1$ رسم شده است (شکل ۸-۱۰).

شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری و یا مقادیر بارپذیری از یک سری از این گونه سونداژنی ها در طول یک خط تشکیل شده است و مثال‌ها متعاقبا خواهند آمد.



(الف) شبکه برداشت

مرکز / مرجع



(ب) جزئیات خط ۳

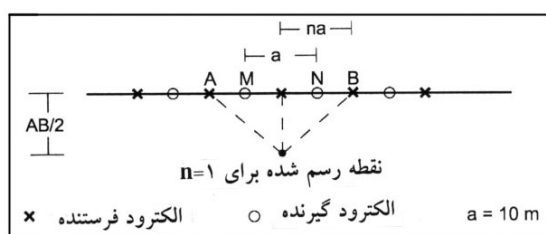
شکل ۸-۹ - خطوط برداشت ژئوفیزیکی شمال سد باطله معدن رنجر (الف) موقعیت الکتروودها و گمانه‌های مشاهده‌ای

و (ب) جزئیات اندازه‌گیری‌های الکتریکی روی خط ۳

۸-۲-۱-۳- نتایج مقاومت ویژه DC و IP روی خط (SON111)

شبه مقاطع مقاومت ویژه و بارپذیری آرایه شلومبرژه به دست آمده از داده‌های ثبت شده روی خط ۳ به ترتیب در شکل ۸-۱۱-الف و ۸-۱۱-ب نشان داده شده است. بی‌هنجاری بارپذیری بزرگ نزدیک به سطح در شکل ۸-۱۱-الف، به ترتیب در ۸۳۷۰E و ۸۲۲۵E و ۸۶۵۰E متمرکز شده است. دو بی‌هنجاری اول از این بی‌هنجاری‌های بارپذیری شدید به دلیل حضور رس یا رس

ماسه‌ای (B3/1, B3/2, B3/3 در شکل ۸-۸) می‌باشد. سومین بی‌هنجاری بارپذیری شدید در $8650E$ در لبه گسل $2a$ کونجیمبا^۱ قرار گرفته که تصور می‌شود مربوط به یک مسیر نشت اصلی بوده و به نظر نمی‌رسد با افق‌های B3 مرتبط باشد. با بررسی شکل ۸-۱۱-الف از غرب به شرق، روند افزایش بارپذیری نزدیک به سطح را به طرف گسل $2a$ می‌توان پیدا کرد. در خط ۳ مشاهدات نمونه‌های داخل گمانه‌ای وجود ندارد، ولی نمونه‌های گرفته شده از گمانه‌های روی خط ۱ (در فاصله ای حدود 150 متر از خط ۳) یک روند افزایش غلظت Mg^{2+} و SO_4^{2-} در آب زیرزمینی را به طرف شرق نشان می‌دهد. غلظت SO_4^{2-} در OB23, OB24 و OB44 به ترتیب $0/2$ ، $4/5$ و 889 میلی گرم بر لیتر می‌باشد (رجوع کنید به جدول ۸-۲ و شکل ۸-۹). به نظر می‌رسد یک همبستگی بین افزایش بارپذیری و افزایش غلظت یونی در آب زیرزمینی وجود دارد.

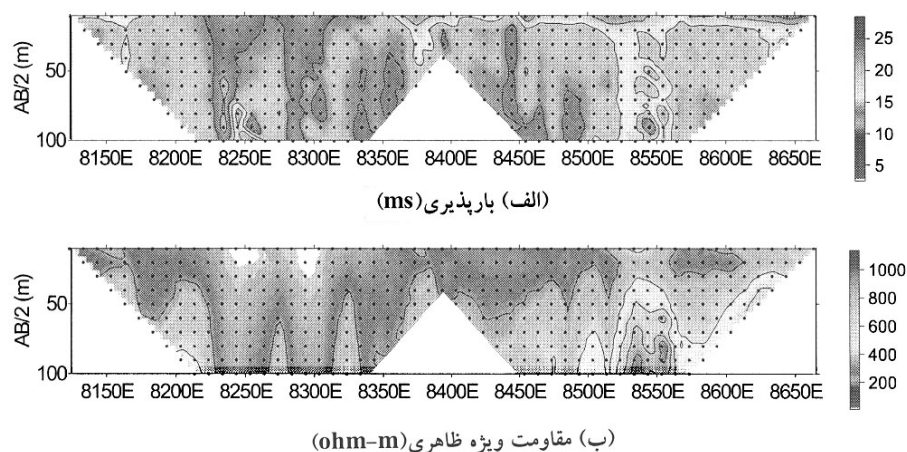


شکل ۸-۱۰- آرایه شلومبرژه و نحوه نمایش متداول برای نشان دادن شبه مقطع

بر مبنای مطالعات بارکر^۲ (۱۹۹۰)، الورانفمی^۳ (۱۹۸۵) و گریفیث^۴، بارپذیری با افزایش درجه شوری آب تا حد 500 mg/l ، افزایش می‌یابد و در بالای مقدار 500 mg/l ، افزایش بیش‌تر درجه شوری سبب کاهش بارپذیری خواهد شد. مقدار نقطه برگشت نمودار بارپذیری برحسب غلظت یونی می‌تواند به نوع سنگ و ساختار وابسته باشد. اگر چه گمانه‌ها در محدوده مورد نظر به طور پراکنده حفر شده اند ولی مقادیر غلظت یونی عموماً پایین (رجوع کنید به جدول ۸-۲) هستند و در نتیجه می‌توان پذیرفت که بارپذیری با افزایش غلظت یونی افزایش می‌یابد. جایی که غلظت یونی بالا است (مانند گمانه OB44) مقدار بارپذیری ممکن است در طرف نزولی منحنی بارپذیری-غلظت قرار بگیرد، ولی همچنان از ارتباط بالایی با آنچه که از غلظت‌های یونی پایین به دست می‌آید، برخوردار است.

به این ترتیب، بنظر می‌رسد، روش IP، وجود نشت در سطح سفره را آشکار کرده و شبه مقطع بارپذیری به خوبی با مقطع زمین‌شناسی و الگوی نشت شناخته شده همخوانی دارد. روند افزایش بارپذیری مشاهده شده به طرف انتهای شرقی خط ۳ به صورت یک روند غربی کاهش بارپذیری به حساب می‌آید، که بیرون از گسل شمال-جنوب $2a$ قرار گرفته، که این گسل در انتهای شرقی خط قرار دارد (شکل ۸-۷). این کاهش بارپذیری بیانگر آب زیرزمینی آلوده شده ای است که منشأ آن نشت می‌باشد که از سد باطله در سفره عمیق تر (گسلیده) نفوذ کرده و در سفره کم‌عمق متصل به سفره عمیق تر پراکنده شده است.

1-Coonjimba
1-Barker
2-Olorunfemi
3-Griffiths



شکل ۸-۱۱- شبه مقاطع آرایه شلومبرژه به دست آمده از داده‌های ثبت شده با یک فاصله ۱۰ متری بین الکترودهای گیرنده در طول هر خط ۳. (رجوع کنید به شکل ۸-۹) درست در شمال سد باطله معدن رنجر

شکل ۸-۱۱- ب مقطع مقاومت ویژه ظاهری آرایه شلومبرژه مربوط به مقطع بارپذیری را نشان می‌دهد. دو بی هنجاری مقاومت ویژه پایین کم عمق در ۸۲۵۰E و ۸۳۰۰E مشاهده شده است. اولی می‌تواند پاسخی از مرز زمین‌شناختی مجاور بین واحدهای زمین‌شناختی MG و AG (شکل ۸-۷) باشد. دومی بر موقعیت یک لوله آبیاری منطبق بوده و مجموع بی هنجاری مقاومت ویژه پایین بین ۸۲۳۰E و ۸۳۵۰E، احتمالاً ناشی از اثرهای آبیاری توسط افراد رنجر در این زمین‌ها یا نمایان گر یک کانال آب زیرزمینی در این محدوده می‌باشد. بی هنجاری مقاومت ویژه زیاد در نزدیک ۸۵۵۰E با منطقه MS مطابقت دارد (شکل ۸-۷). نشانه کمی از مقاومت ویژه پایین نزدیک سطح، در مقطع مقاومت ویژه ظاهری شکل ۸-۱۱- ب وجود دارد، هر چند که آب زیرزمینی آلوده باید رساناتر از آب زیرزمینی شیرین باشد. مقطع مقاومت ویژه ظاهری، لایه نزدیک به سطح را به وضوح مقطع IP نشان نمی‌دهد. یک دلیل احتمالی آن است که وجود آلودگی در لایه نازک سطحی (۵-۲m)، تباین زیادی در مقاومت ویژه ظاهری در کوچک‌ترین فاصله الکترودی (۱۰ متر) به وجود نمی‌آورد، در حالی که وجود رس و آب زیرزمینی با غلظت بالایی از مواد شیمیایی، تباین IP بالایی با همان فاصله الکترودی را به ظهور می‌رساند. با وجود این داده‌های مقاومت ویژه بعضی مرزهای زمین‌شناسی سنگ پی را به وضوح تعیین می‌کند. به عنوان مثال، مرز بین MG و AG در ۸۳۰۰E و منطقه MS که با یک بی هنجاری بالای مقاومت ویژه در نزدیکی ۸۵۵۰E، مطابقت دارد، به وضوح با روش مقاومت ویژه به نقشه در آمده است.

۸-۱-۲-۴- اندازه‌گیری‌های آرایه دو بعدی SP

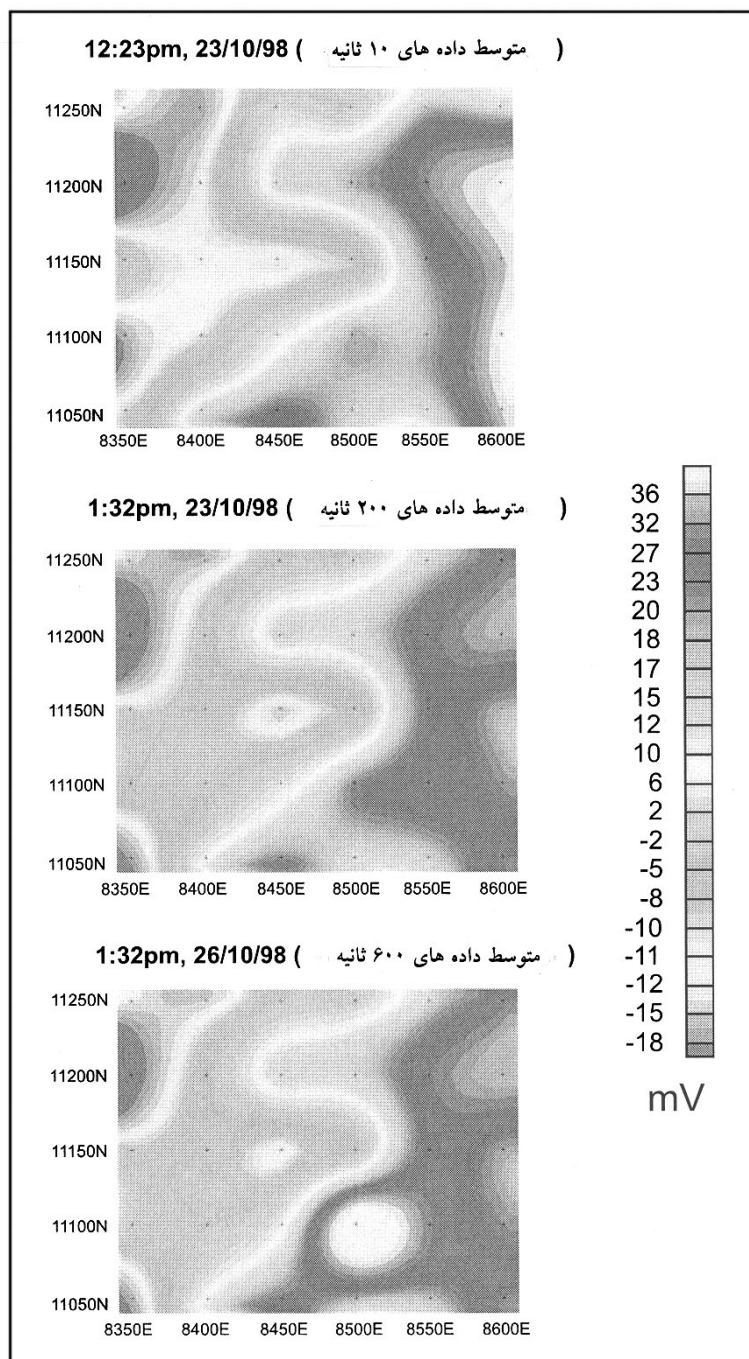
داده‌های SP که چندین بار روزانه در طول چند روز با آرایه ای دو بعدی از الکترودها تهیه شده در شکل ۸-۹- الف نشان داده شده است. این کار قبل از آن که برای اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه DC و IP به فرستنده وصل شود، صورت گرفته است. نتایج اندازه‌گیری‌های آرایه دوبعدی مقاومت ویژه DC و IP قبلاً توسط باسلی و لو^۱ (۱۹۹۹) و لو و سایرین^۲ (۱۹۹۹) انتشار یافته بود. شکل

1-Buselli & Lu

2-Lu et al.

۸-۱۲ نقشه‌های پاسخ SP را که از همان داده‌های آرایه دوبعدی SP باسلی و لو (۱۹۹۹) به دست آمده بود نشان می‌دهد. داده‌های نقشه‌های اول و دوم به فاصله یک ساعت و ۹ دقیقه و نقشه‌های دوم و سوم به فاصله سه روز از هم برداشت شده بود. نتایج نشان می‌دهد که این نقشه‌ها با درجه بالایی به هم شباهت دارند و اختلافات اندک بین نقشه‌ها را می‌توان به تغییرات مکانی نوفه تلوریک نسبت داد.

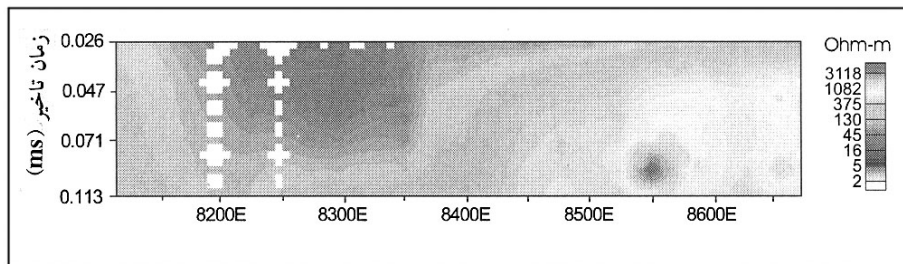
تفسیر داده‌های SP آسان نیست زیرا نوع منبع SP مشخص نمی‌باشد. مقدار SP تحت تاثیر گرادیان هیدرولیکی آب زیرزمینی، تغییرات محتوای شیمیایی یا غلظت آنها در آب زیرزمینی، گیاهان روی زمین و زمین‌شناسی پی سنگ قرار داشته است. در داده‌های صحرائی، پاسخ SP وقتی به گسل شمالی-جنوبی ۲a و به طرف گسل ۱ نزدیک می‌شویم به تدریج زیاد می‌شود. در مشاهدات صحرائی، چندین روند افزایش پوشش گیاهی، یا تغییرات زمین‌شناسی پی سنگ دیده نمی‌شود. بنابر این، مقادیر SP به احتمال زیاد تحت تاثیر گرادیان هیدرولیکی یا تغییرات غلظت شیمیایی تراوشی (زهکشی) بوده است. به هر حال، بررسی بیش‌تر برای تعیین منبع بی‌هنجاری SP با اطمینان بیش‌تر مورد لزوم است. به ویژه، تغییرات زمانی پاسخ SP باید تحت نظر قرار گیرد.



شکل ۸-۱۲- نقشه های پاسخ SP در شمال سد باطله معدن رنجر که در ساعاتی مختلفی با تصویر دوبعدی در موقعیت نشان داده شده ، اندازه گیری شده اند. داده های نقشه دوم یک ساعت و نه دقیقه بعد از اطلاعات نقشه اول جمع آوری شده اند، در حالی که داده های نقشه سوم سه روز بعد از جمع آوری اطلاعات نقشه دوم به دست آمده اند.

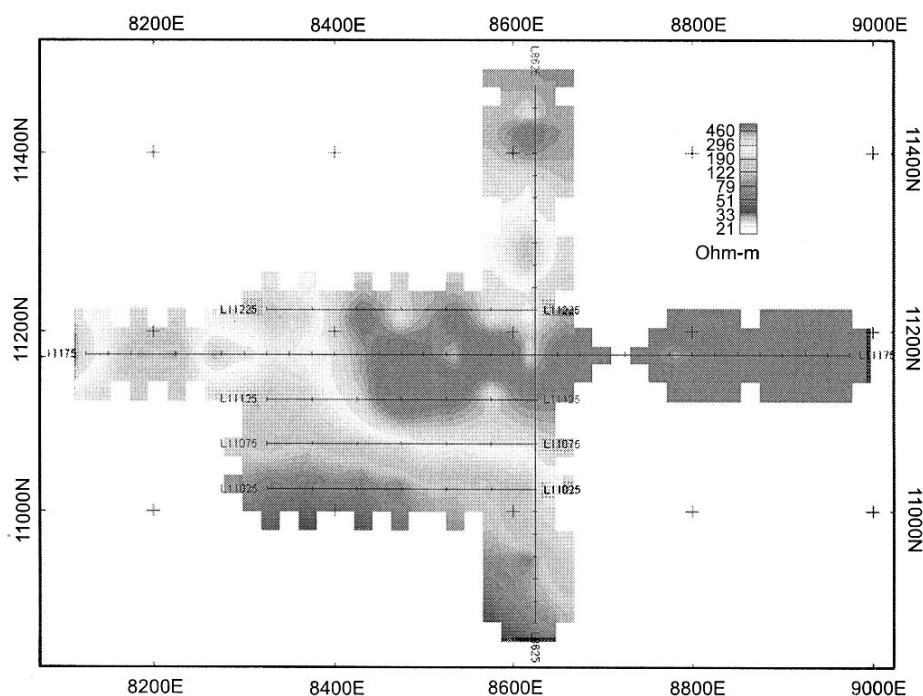
۸-۲-۱-۵- نتایج TEM

شکل ۸-۱۳ یک شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری را نشان می‌دهد که از داده‌های TEM به دست آمده و در دسامبر ۱۹۹۸ در فواصل ایستگاهی ۲۵ متری با لوپ منفرد ۵۰ متری که مرکز آن روی خط ۱۱۱۷۵N و در ۲۵ متری شمال خط ۳ شرقی- غربی، همانطور که در شکل ۷-۹ نشان داده شده، برداشت گردیده است. به جای عمق تاخیرهای زمانی در محور قائم شبه مقطع رسم شده است. مقادیر مقاومت ویژه ظاهری با خطای کمتر از ۱٪ و با استفاده از روش سری‌های معکوس که توسط اسپیز و ریشی^۴ (۱۹۸۰) شرح داده شده، محاسبه گردیده است. مقطع TEM که با دیرترین تاخیر زمانی تقریباً ۰/۱۱۳ میلی ثانیه رسم گردیده است ساختاری شبیه مقطع مقاومت ویژه ظاهری را نشان می‌دهد که از روش مقاومت ویژه DC (رجوع کنید به شکل ۸-۱۱) در گستره ایستگاه‌های اندازه‌گیری از ۸۱۵۰E تا ۸۶۵۰E به دست آمده است. مقدار مقاومت ویژه پایین تقریباً بین ایستگاه‌های ۸۲۰۰E و ۸۳۵۰E اندازه‌گیری شده اند، در همان منطقه‌ای که روش مقاومت ویژه DC یک بی‌هنجاری مقاومت ویژه پایین به دست آورد که شاید در اثر آبیاری یا یک کانال زهکشی پیدا شده باشد (رجوع کنید به، شکل ۸-۱۱-ب). مقاومت ویژه در انتهای شرقی خط بیش‌تر است و به نظر می‌رسد که در انتهای همان خط با عمق زیاد می‌شود.



شکل ۸-۱۳- شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری TEM حاصل از داده‌های به دست آمده در دسامبر ۱۹۹۸ روی خط ۱۱۱۷۵N واقع در ۲۵ متری شمال خط ۳ نشان داده شده در شکل ۸-۹

شکل‌های ۸-۱۴ تا ۸-۱۶ نقشه‌هایی را از مقاومت ویژه ظاهری نشان می‌دهد که از اندازه‌گیری‌های TEM در دسامبر ۱۹۹۸، به ترتیب در پنجره‌های زمانی ۵ (در تاخیر زمانی ۳۵ μ s)، ۷ (در تاخیر زمانی ۵۹ μ s) و ۱۱ (در تاخیر زمانی ۱۴۹ μ s) استخراج شده است. این بررسی، منطقه‌ای را که در آن‌جا اندازه‌گیری‌های الکتریکی آرایه- دو بعدی انجام گرفته است دربر می‌گیرد. نتایج به دست آمده رفتار مقاومت ویژه را بر حسب زمان تاخیر در این منطقه نشان می‌دهد. در پنجره زمانی ۵، یک محدوده گسترده رسانه در غرب منطقه بررسی مشاهده شده است. این محدوده به تدریج در پنجره‌های زمانی بعدی، به عبارت دیگر در عمق‌هایی که پاسخ پی سنگ خیلی مقاوم مشخص شده است، مقاوم‌تر می‌شود.



شکل ۸-۱۴- نقشه مقاومت ویژه ظاهری TEM به دست آمده از پنجره ۵

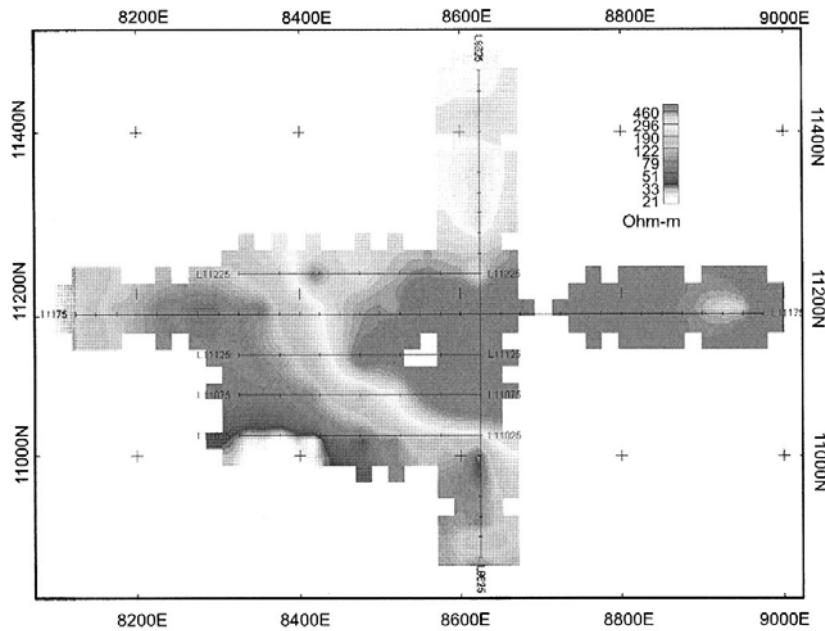
(زمان تاخیر ۳۵ میکروثانیه) در دسامبر ۱۹۹۸

۸-۱-۲-۶- نتیجه گیری

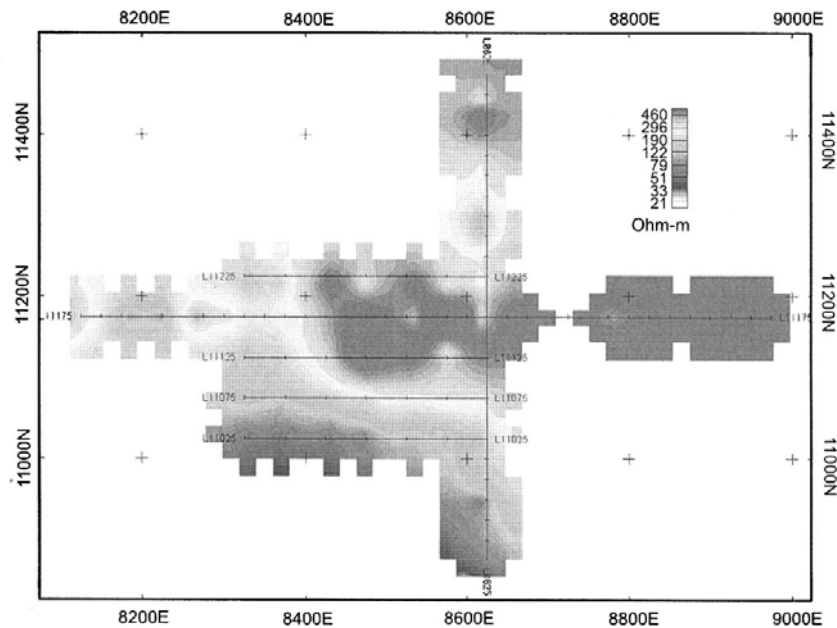
در این مطالعه آرایه های چند کانالی مختلف برای اندازه گیری های الکتریکی در برداشتهای صحرائی آزمایش شد. در این آزمایشها معلوم شد که آرایه شلومبرژه آرایه خطی کارآمدی برای تشخیص نشت است. تعداد زیاد الکترودهای گیرنده که با آنها می توان اندازه گیری های همزمان انجام داد، باعث شد که با فاصله های الکترودی کوچک بتوان به سرعت داده ها را برداشت کرد. روش های مقاومت ویژه DC و EM نسبت به مقاومت ویژه زیرسطحی حساسند، در حالی که نتایج روش های IP و SP تحت تاثیر ویژگی های الکتروشیمیایی زمین و مقاومت ویژه آن قرار دارند. در بین برداشتهای ژئوفیزیکی که به کار رفته اند، روش IP موثرترین روش در تشخیص نشتی ها در منطقه مورد مطالعه بوده است. مقادیر بارپذیری بالا به طور پیوسته بر روی مسیرهای نشتی معلوم و مناطق آلوده مشاهده شد.

داده های SP برخی همبستگی ها با الگوی نشتی نشان می دهند، ولی قبل از آنکه منشا بی هنجاری های SP به خوبی شناخته شود، تحقیقات بیشتری ضرورت دارد. منطقه احتمالی نشتی نزدیک سطح که با روش های IP و SP مشخص شده اند، با روش مقاومت ویژه یا TEM مشخص نگردید. این بدان خاطر است که یا آلودگی رسانندگی کپه ای نزدیک سطح را خیلی تغییر نداده، یا احتمالاً آرایش های برداشت به کار رفته قدرت تفکیک کافی در عمق های کم را نداشته اند. برای آزمایش فرضیه دوم لازم است اندازه گیری هایی در زمان های تاخیر زودتر (در مورد TEM) و با فواصل الکترودی کوچک تر از ۱۰ متر (در مورد مقاومت ویژه DC) انجام گیرد. در هر حال، روش های مقاومت ویژه DC و TEM، هر دو شبه مقاطع مقاومت ویژه که با زمین شناسی پی سنگ مطابقت دارند تولید می کنند.

این نتیجه‌گیری‌ها بر اساس نتایجی است که از اولین تجارب یک مطالعه دراز مدت در این منطقه به دست آمده است. هنوز تغییرات پاسخ‌های اندازه‌گیری‌ها نسبت به زمان و ارتباط آنها با آثار فصلی باید به طور کمی معلوم شود. ولی در این مرحله به نظر می‌رسد که روش‌های IP و SP می‌توانند مستقیماً به آلودگی‌های ناشی پاسخ دهند، در حالی که روش‌های مقاومت ویژه DC و TEM عوارض پی‌سنگی مربوط به فرایندهای هیدروژئولوژیکی کنترل‌کننده هر نوع ناشی راه نقشه برداری می‌کنند.



شکل ۸-۱۰- نقشه مقاومت ویژه ظاهری TEM به دست آمده از پنجره ۷ (زمان تاخیر ۵۹ میکروثانیه) در دسامبر ۱۹۹۸



شکل ۸-۱۶- نقشه مقاومت ویژه ظاهری TEM به دست آمده از پنجره ۱۱ (زمان تاخیر ۱۴۹ میکروثانیه) در دسامبر ۱۹۹۸

۸-۲-۲- مثال دوم

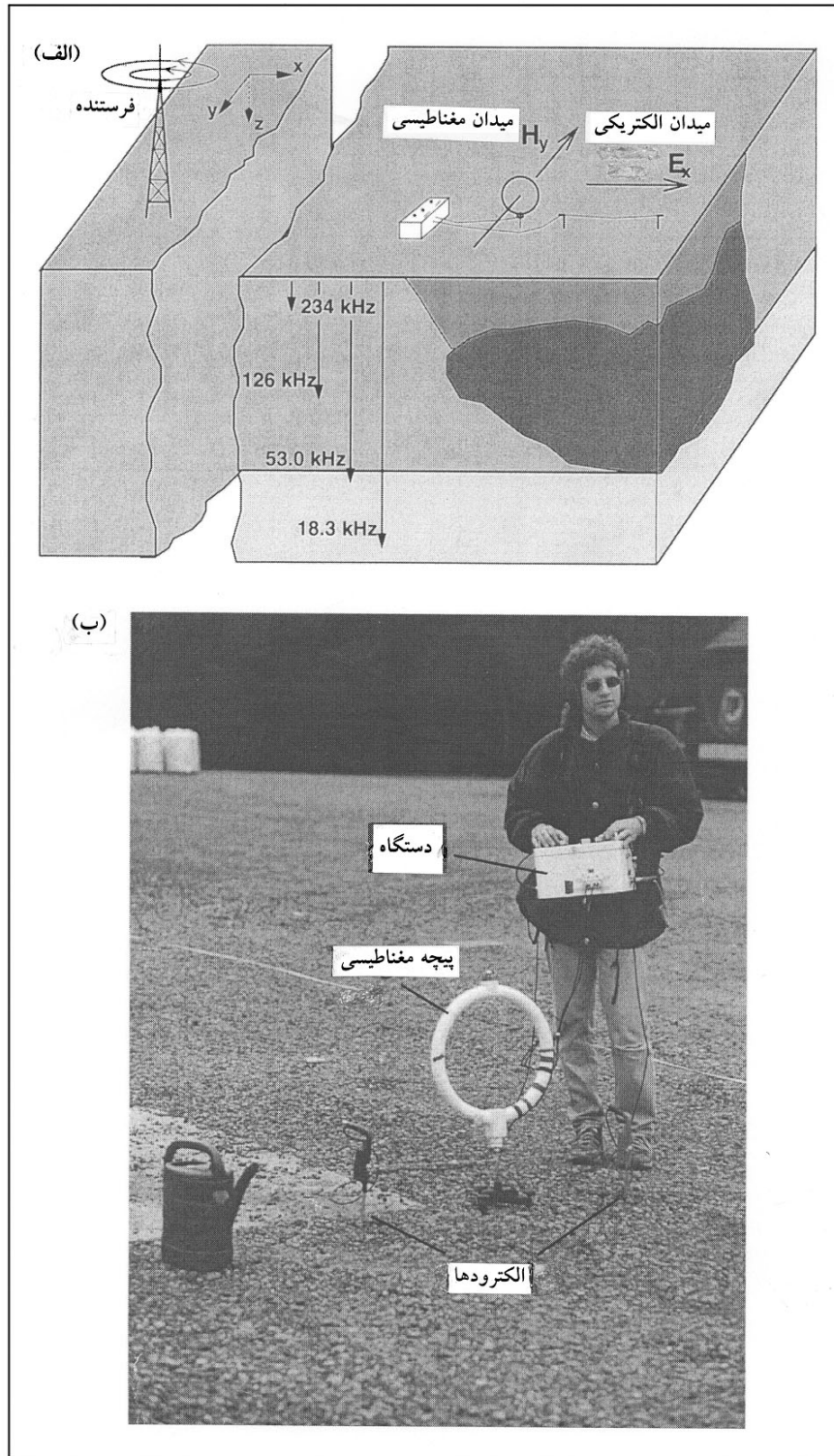
روش رادیومگنتوتلوریک (MT) یکی از روش‌های EM است که به منظور به نقشه در آوردن ضایعات صنعتی و زباله‌های خانگی مدفون و تعیین مرز آنها با سنگ میزبان مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این ارتباط از ایستگاه‌های رادیویی نظامی و غیرنظامی قوی (۱۰ تا ۳۰۰ کیلو هرتز) که موازی و عمود بر جهت امتداد سایت‌های ضایعات مزبور است استفاده می‌شود. بنابراین مقاومت ویژه ظاهری و داده‌های فاز برای فرکانس‌های انتخابی مختلف برداشت می‌شود. با استفاده از این امکانات داده‌ها به جهت‌های قطبش E و B میدان مگنتوتلوریک مربوط می‌شوند. با کاهش شدید مقاومت ویژه ظاهری تقریباً در تمامی فرکانس‌ها مرز بین ضایعات مدفون و سنگ‌های میزبان مشخص می‌شود. جمع‌آوری داده‌ها به طور نسبی سریع بوده و تفسیر کیفی با استفاده از برنامه‌های مدل‌سازی شناخته شده انجام می‌گردد.

در شکل ۸-۱۷- الف اساس این روش به صورت شماتیک نشان داده شده است. امواج الکترومغناطیسی از فرستنده تابش یافته و در زمین رسانا پخش شده و جریان الکتریکی را القا می‌کند که در ارتباط با میدان‌های متناوب الکتریکی و مغناطیسی می‌باشند. میدان مغناطیسی را می‌توان توسط فرکانس‌های انتخاب شده پیچیده اندازه‌گیری کرد و میدان الکتریکی نیز توسط دو الکتروود نصب شده در زمین اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۸-۱۷- ب دستگاه اولیه را که بعداً در سوئیس توسعه یافته نشان می‌دهد. پیچیده مغناطیسی دارای قطر ۰/۴ متر بوده و فاصله الکتروودی را می‌توان ۱ تا ۵ متر انتخاب نمود.

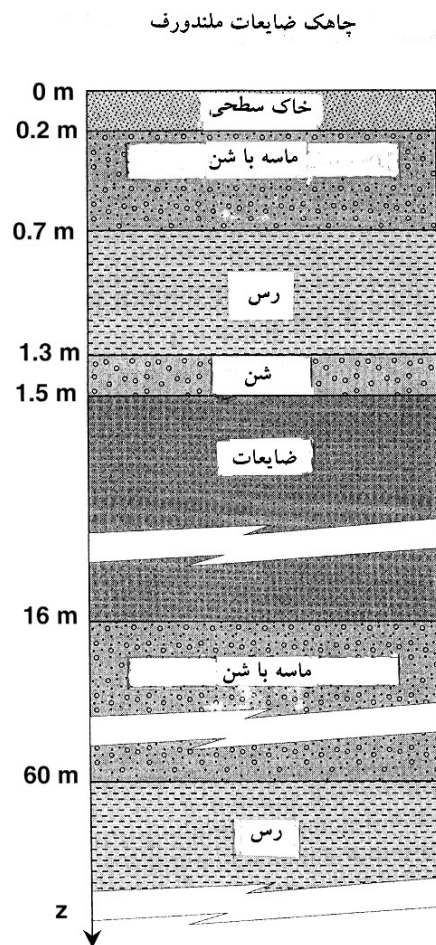
برای فرکانس‌های انتخاب شده داده‌های مقاومت ویژه ظاهری و فاز از اندازه‌گیری میدان الکتریکی و مغناطیسی با استفاده از روابط داده شده مربوط به EM به دست می‌آید (رجوع کنید به. نشریه شناخت و راهنمای روش‌های الکترومغناطیسی (EM)). مطالعه موردی انجام شده در سایت ضایعات کارخانه فولکس واگن (ضایعات صنعتی ملندورف آلمان) را می‌توان به عنوان نمونه ای از کاربرد RMT معرفی نمود. در این سایت، ضایعات منیزیم و سایر ضایعات صنعتی در چاهی از ماسه ذخیره می‌شود. کف این چاه از نظر آب‌گذری آب بندی نشده است، لایه رسی در زیر محدوده سایت مزبور در عمق ۶۰ متری قرار دارد که به طور نسبی عمیق می‌باشد. نقشه زمین‌شناسی لایه ماسه ای موجود بین سطح و لایه رسی تهیه شده است که در بعضی جاها دارای لایه‌های باریک رس می‌باشد. سقف و کف سایت ضایعات به ترتیب در عمق ۱/۶ و ۱۶ متری آن قرار می‌گیرد (شکل ۸-۱۸).

برای مطالعات RMT چهار جفت فرکانس بین ۱۶ و ۲۰۰ کیلو هرتز از ایستگاه‌های رادیویی در جهات شمالی- جنوبی و شرقی- غربی انتخاب شده اند. جهت نیمرخ زنی شرقی- غربی بوده که عمود بر امتداد فرضی سایت ضایعات است. فاصله بین نیمرخ‌ها و ایستگاه‌های RMT، ۱۲/۵ متر بوده به استثنای مرز میان سایت ضایعات و سنگ میزبان که در آن جا ۵ متر انتخاب شده است.

شکل‌های ۸-۱۹ و ۸-۲۰ یک تصویر دید از بالا از توزیع جانبی مقاومت ویژه ظاهری و فازها را برای فرکانس‌های ۲۰۷ و ۱۷۷ کیلوهرتز نشان می‌دهد. مثلث‌های روی شکل‌های مزبور نمایش دهنده موقعیت ایستگاه‌های RMT است. داده‌های ۲۰۷ کیلوهرتز متعلق به فرستنده ای با موقعیت شمالی- جنوبی است. در این صورت میدان الکتریکی اندازه‌گیری شده در ارتباط با قطبش E دارای جهت یافتگی شمالی- جنوبی می‌باشد. میدان الکتریکی داده‌های ۱۷۷ کیلوهرتز در جهت نیمرخ بوده و نماینده قطبش B می‌باشد. سایت ضایعات به عنوان یک بی‌هنجاری رساننده خوب در قیاس با سنگ میزبان احاطه کننده توسط ارقام مقاومت ویژه الکتریکی کمتر از ۳۰ اهم متر برای هر دو جهت‌های قطبش (۲۰۷ و ۱۷۷ کیلوهرتز داده‌های مقاومت ویژه ظاهری) مشخص شده و همه



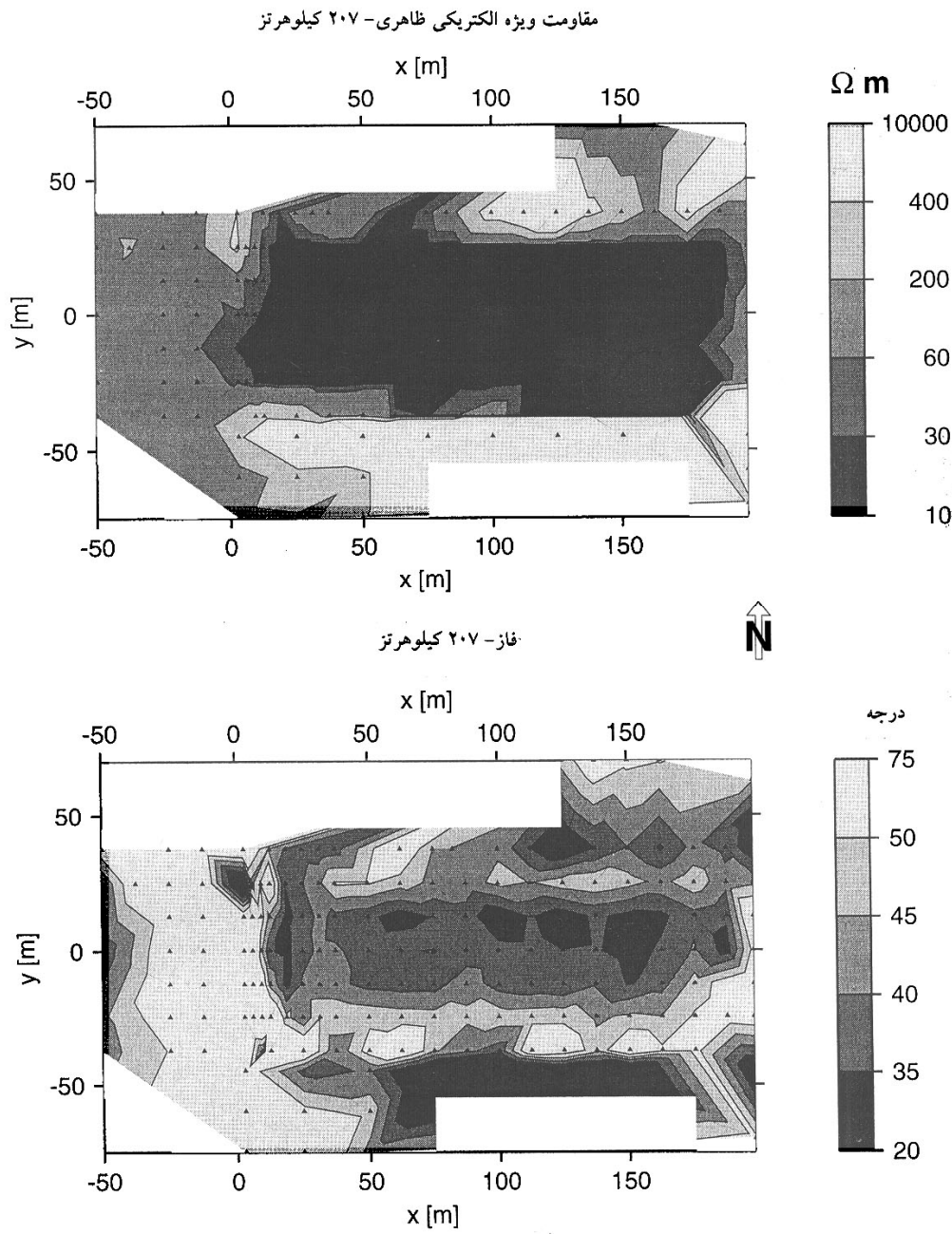
شکل ۸-۱۷- اساس روش رادیومگنتوتلوریک (RMT) به صورت شماتیک و دستگاه مربوط



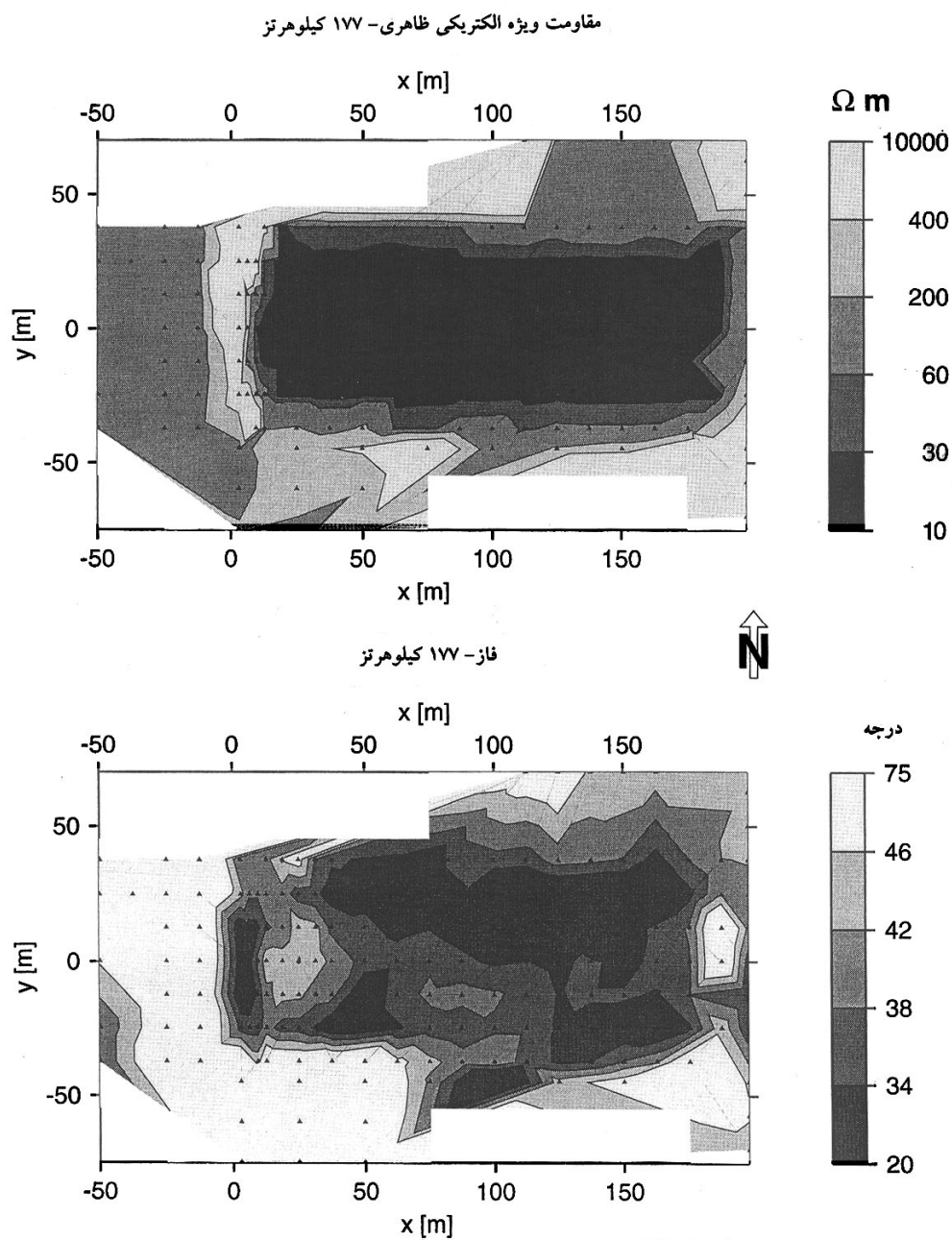
شکل ۸-۱۸ - ساختار زمین‌شناسی ملندورف که از حفر چاه گمانه تهیه شده است.

مرزهای جانبی سایت ضایعات به روشنی آشکارسازی شده است. یک اختلاف فاز واضح به طرف خارج سایت ($\Phi \approx 50$) و داخل آن ($\Phi \approx 30$) ملاحظه می‌شود.

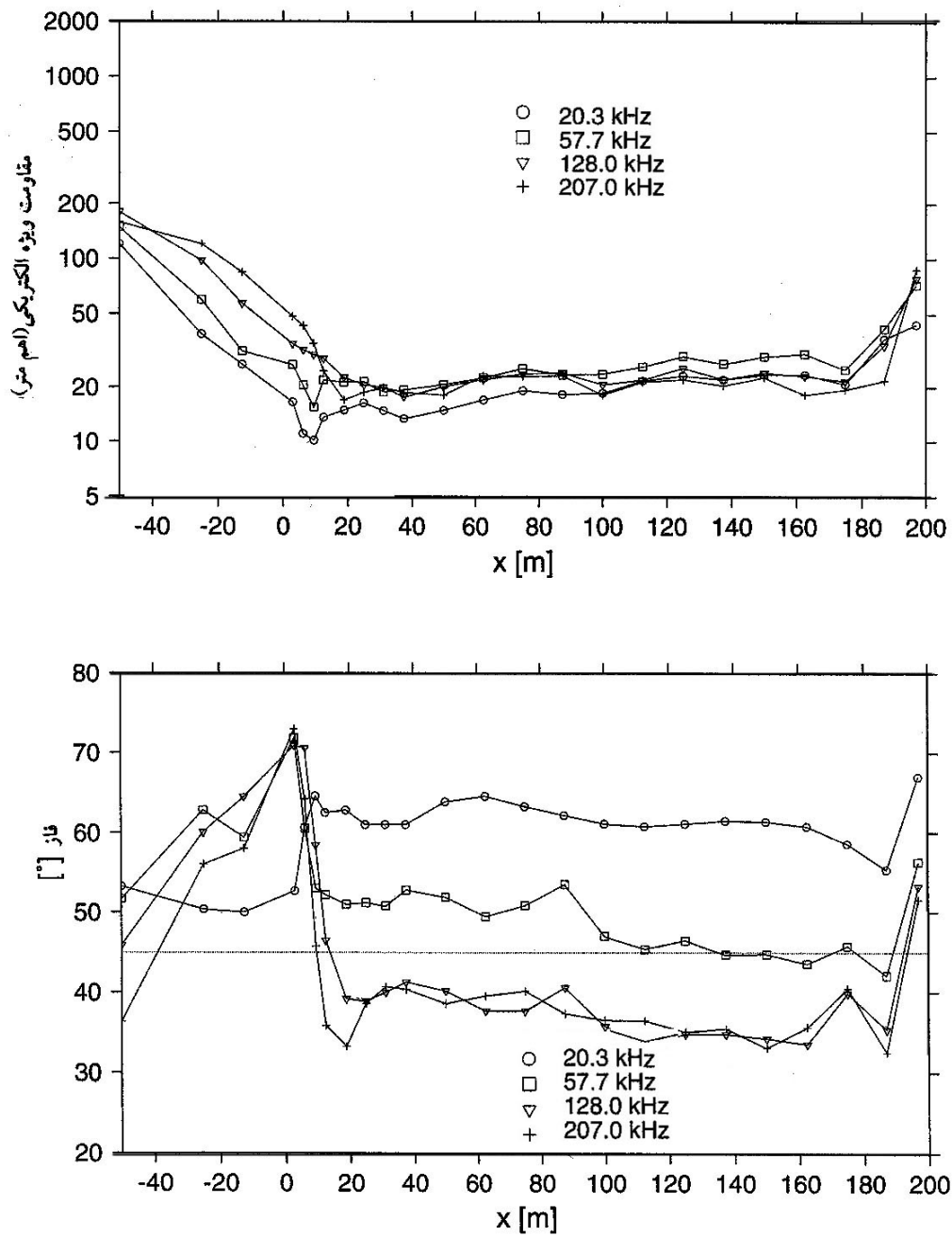
شکل‌های ۸-۲۱ و ۸-۲۲ داده‌های مقاومت ویژه ظاهری و فاز را برای کلیه فرکانس‌های ملاحظه شده از NS و EW فرستنده‌ها برای نیمرخ $y=0$ (شکل‌های ۸-۱۹ و ۸-۲۰) به عنوان نمونه نشان می‌دهد. مرزهای سایت ضایعات برای هر دو موقعیت فرستنده‌ها توسط کاهش شدید ارقام مقاومت ویژه ظاهری الکتریکی در نیمرخ در موقعیت ۱۹۰ متر برای کلیه فرکانس‌ها مشخص می‌شوند. اختلاف داده‌های بین قطبش E (فرستنده‌های NS) و قطبش B (فرستنده‌های EW) را در این ارقام می‌توان دید. با وجود عدم پیوستگی میدان الکتریکی در مرزهای قائم یک گذر بسیار تیز از زمین‌شناسی دست نخورده به سایت ضایعات را برای حالت قطبش B می‌توان ملاحظه نمود. در حالی که این گذر برای حالت قطبش B قابل انتظار است برای حالت قطبش E نرم بوده است. فقط یک اختلاف کوچک بین ارقام مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری برای کلیه فرکانس‌ها در شکل‌های ۸-۲۱ و ۸-۲۲ سایت ضایعات وجود دارد.



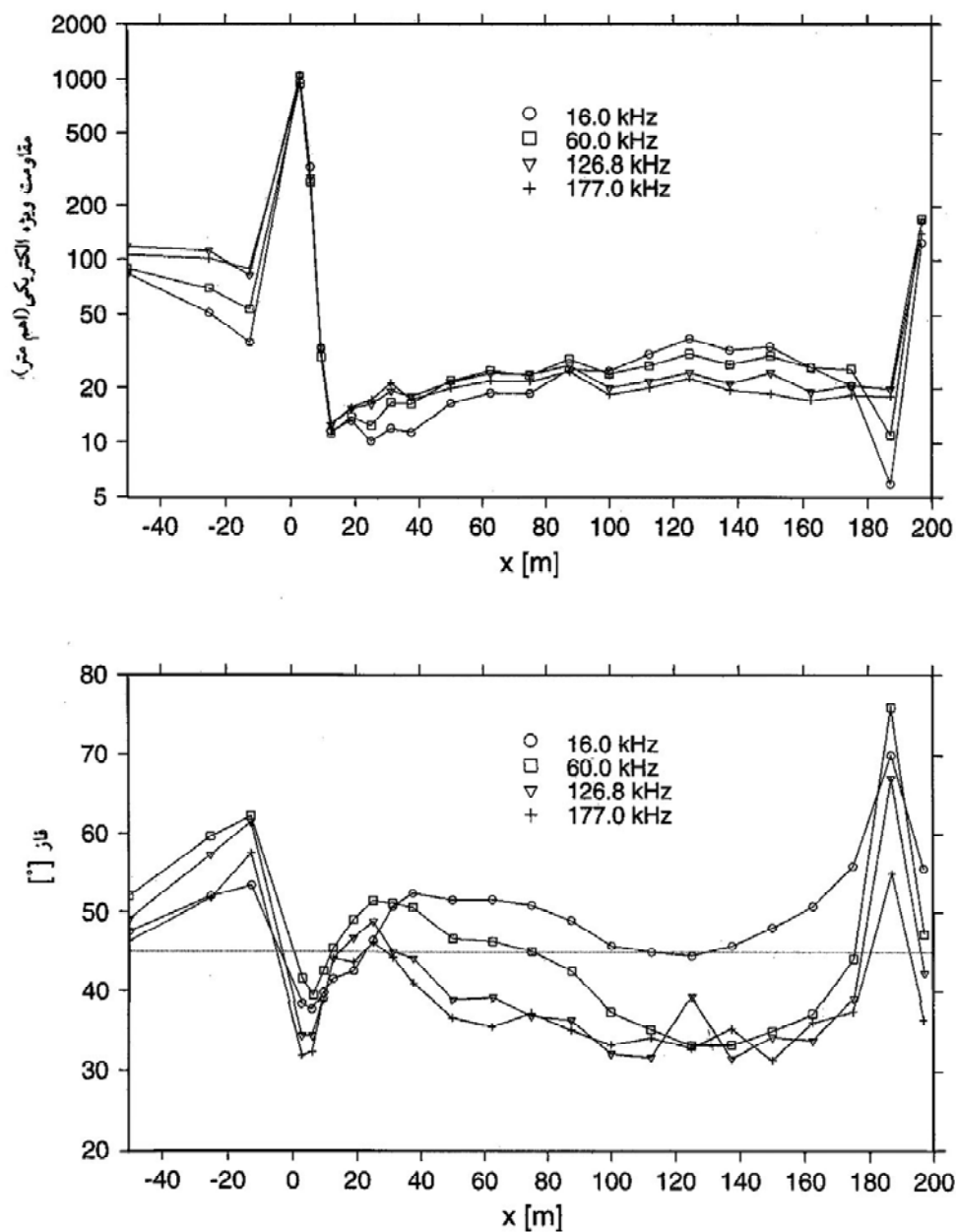
شکل ۸-۱۹- توزیع مکانی مقاومت ویژه و فاز برای فرکانس ۲۰۷ کیلوهرتز در ملندورف که از فرستنده‌ای در جهت شمالی- جنوبی به دست آمده است. مثلث‌ها نشان دهنده موقعیت ایستگاه‌های RMT می‌باشند.



شکل ۸-۲۰- توزیع مکانی مقاومت ویژه و فاز برای فرکانس ۱۷۷ کیلوهرتز در ملندورف که از فرستنده‌ای در جهت شمالی- جنوبی به دست آمده است. مثلث‌ها نشان دهنده موقعیت ایستگاه‌های RMT می‌باشند.



شکل ۸-۲۱- مقاومت ویژه‌های ظاهری و فازهای مشاهده شده در راستای نیم‌رخ $y = 0$ ملندورف (فرستنده‌های NS) برای چهار فرکانس



شکل ۸-۲۲- مقاومت ویژه های ظاهری و فازهای مشاهده شده در راستای نیمرخ $y = 0$ ملندورف (فرستنده های EW) برای چهار فرکانس

منابع و مراجع

- ۱- اکیپ مطالعات آب‌های زیرزمینی زاهدان (۱۳۶۶)، گزارش نیمه تفصیلی حوزه خاش
- ۲- زمانیان. رحیم (۱۳۷۴)، خوردگی و روش‌های کنترل آن، انتشارات و چاپ دانشگاه تهران
- ۳- زمیران (مهندسین مشاور، ۱۳۶۸)، گزارش تعیین مقاومت الکتریکی زمین در عمق مسیر خطوط لوله آغار و دالان
- ۴- سایت‌های اینترنتی
- ۵- عرفان منش. مجید و افیونی. مجید (۱۳۷۹)، آلودگی محیط زیست، آب، خاک و هوا، نشر ارکان اصفهان
- ۶- میلر. جی. تی. (۱۳۸۰)، زیستن در محیط، ترجمه دکتر مجید مخدوم انتشارات و چاپ دانشگاه تهران
- 7- Benson, R.C., R. Glaccum, and M. Noel. 1984. Geophysical techniques for sensing buried wastes and waste migration (NTIS PB84- 198449). Prepared for U.S. EPA Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas, 236 p.
- 8- Benson, R.C. and L. Yuhr. 1995. Geophysical methods for environmental assessment. In The Geoenvironmental 2000, 1995 ASCE Conference and Exhibition, New Orleans.
- 9- Broom field. Jhon and Millard. Steve (2002), Measuring concrete resistivity to assess corrosion rates, University of Liverpool
- 10- Buselli, G. Kanglin Lu (2001), Groundwater contamination monitoring with multichannel electrical and electromagnetic methods, Journal of Applied Geophysics 48 (2001) 11-23 Australia
- 11- Marshal. E (1969), Corrosion by Soils, PARKER, Consulting Engineers Houston texas
- 12- NORCAL Geophysical Consultants, Inc. 1996. Product literature. 1350 Industrial Avenue, Suite A. Petaluma, CA.
- 13- Osella. A. and Favetto (2000), Effects of soil resistivity on currents induced on pipelines Journal of Applied Geoph., 44(2000)
- 14- Peabody. A. W. (1970) principles of cathodic protection National Association of corrosion Engineers texas
- 15- Tezkan. B. et al. (1999), Two- dimensional radiomagnetotelluric investigation of industrial and domestic waste sites in Germany, Journal of Applied Geophysics 44 (2000) 237 - 256
- 16- U.S. EPA. 1995. Accelerated leaking underground storage tank site characterization methods. Presented at LUST Site Characterization Methods Seminar sponsored by U.S. EPA Region 5, Chicago. 108 p.
- 17- Yuval. Douglas W. Oldenburg (1995) DC resistivity and IP methods in acid mine drainage problems: results from the copper cliff mine tailings

**Application Of Geophysical
Methods In Soil Corrsion And
Contamination Of Water Resources
(Recognition and Guidline)**