



ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب (معرفی روشها)



ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب
"معرفی روشها"

پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط ، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از بکارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع ، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب‌ناپذیر 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 ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور و وزارت نیرو در جهت نیل به این هدف با مشخص نمودن رسته‌های اصلی مهندسی آب اقدام به تشکیل مجامع علمی - تخصصی با عنوان کمیته‌ها و زیرکمیته‌های فنی نموده که وظیفه تهیه این استانداردها را به عهده دارند .

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین می‌گردد:

- استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرائی ، سازمانها ، نهادها ، واحدهای صنعتی ، واحدهای مطالعه ، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه ، اجرا ، بهره‌برداری و ارزشیابی طرحها
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر موسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد

استانداردها ابتدا بصورت پیش‌نویس برای نظرخواهی منتشر شده و نظرات ارسالی پس از بررسی در کمیته تخصصی در نسخه نهایی منظور خواهد شد .

آگاهی از نظرات کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها با این رشته از مهندسی آب مرتبط می‌باشد بر حسب امتنان کمیته فنی شماره ۱۳-۲ (ژئوفیزیک) خواهد بود.

ترکیب اعضای کمیته

اعضای کمیته فنی شماره ۱۳-۲ (ژئوفیزیک) طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور که در تهیه و تدوین این

نشریه مشارکت داشته‌اند، به ترتیب الفبا به شرح زیر هستند:

فوق لیسانس ژئوفیزیک	آقای علی اکبر اسلامی
لیسانس زمین شناسی	خانم فیروزه امامی
دکترای ژئوفیزیک	آقای منوچهر بهاور
دکترای فیزیک	آقای حسن حاجب حسینی
فوق لیسانس ژئوفیزیک	خانم وحیده زرگر صالح
دکترای فیزیک	آقای حسین زمردیان
فوق لیسانس معدن - مهندس زمین شناسی	شادروان امیر حسین موسوی
لیسانس زمین شناسی - مهندس ژئوفیزیک	آقای امامقلی یوسفی

و همچنین در هنگام بررسی نهایی این نشریه، کمیته فنی ژئوفیزیک از همکاری کارشناسان زیر برخوردار بوده است:

لیسانس زمین شناسی - کارشناس ژئوفیزیک	آقای فرهنگ شیروانی
لیسانس زمین شناسی - کارشناس ژئوفیزیک	آقای علی نصیریان
دکترای ژئوفیزیک	آقای غلامحسین نوروزی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقدمه
۱	۱-۱ کلیات
۱	۲-۱ هدف
۲	۳-۱ تاریخچه کاربرد ژئوفیزیک مهندسی
۵	۲- روشهای لرزه‌ای
۵	۱-۲ روش شکست مرزی
۶	۲-۲ روش بازتاب
۶	۳-۲ روشهای لرزه‌ای درون چاهی
۷	۳- روشهای الکتریکی
۸	۱-۳ روش مقاومت ویژه
۸	۲-۳ روش الکترومغناطیسی (EM)
۹	۳-۳ روش قطبش القایی (IP)
۱۰	۴-۳ روش خودپتانسیل (SP)
۱۰	۴- روشهای چاه پیمایی
۱۲	۵- روش گرانی
۱۳	۶- روش مغناطیسی
۱۴	۷- روش زمین گرمایی
۱۴	۸- روش پرتوسنجی
۱۵	۹- روشهای آزمایشگاهی
۱۶	۱۰- مراجع

۱-۱ کلیات

در دو دهه گذشته تحولات وسیع و قابل توجهی در کاربرد روشهای ژئوفیزیکی در مهندسی آب و ژئوتکنیک انجام گرفته است. مطالعه معیارهای مالی (مخارج چنین بررسیهایی در سال) از یکسو و آماری (تعداد کیلومتر خط، تعداد اکیپ ماه، تعداد اندازه‌گیری در سال) و نظایر آن از سوی دیگر، رشد چشمگیر کاربرد روشهای ژئوفیزیکی را در این زمینه نشان می‌دهد. اما برتر از این معیارها، پیشرفتهای کسب شده در این مدت زمان است که بازتاب آن به ویژه در عوامل زیر مشهود است:

- طبیعت مسایل طرح شده

- وسایل موجود و توسعه و تکمیل این ابزارها، با توجه به نیاز و برای پاسخگویی به مسایل طرح شده.

- روشهای تفسیر و بهبود و تکامل آنها در مدت زمان کوتاه، با توجه به افزایش حجم داده‌ها.

هرچند تحولات ذکر شده در مورد کاربرد ژئوفیزیک در دیگر شاخه‌های علوم نیز صادق است، اما مقایسه‌ای بین نقش ژئوفیزیک در طرحهای مهندسی در دهه ۱۳۴۰ (۱۹۶۰) و نقش گسترده‌تر امروزی آن در این مورد، روشن می‌کند که تا چه اندازه استفاده از روشهای ژئوفیزیکی در مهندسی آب و ژئوتکنیک چشمگیر بوده است. برای مثال در دهه ۱۹۶۰، استفاده از ژئوفیزیک در مسایل مهندسی، با حفر تعدادی چاه آزمایشی (اما با هزینه کمتر) یکسان تلقی می‌شد. اما امروزه کاربرد روشهای ژئوفیزیکی در مهندسی آب از حالتی که صرفاً جایگزین چاههای آزمایشی، آنها در موارد تقلیل هزینه‌ها، باشد و یا اینکه فقط به صورت ابزاری در مسایل پیچیده زمین‌شناسی مورد توجه واقع شود، بیرون آمده و به عنوان راه حل مسایل موجود در این زمینه، یکی از نیازهای بررسیهای مهندسی است.

۲-۱ هدف

کمیته فنی ژئوفیزیک به منظور معرفی کاربرد روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده در مهندسی آب، تهیه ضوابط، دستورالعمل‌ها و استانداردهای مربوط به آنها تشکیل شده است.

شاخه‌های مختلف ژئوفیزیک به نحوی در حل مسایل مهندسی آب در زمینه‌های اکتشاف، بهره‌برداری، مهندسی و غیره نقش اساسی دارند. این شاخه‌ها در مجموعه‌ای بنام «ژئوفیزیک و نقش آن در مهندسی آب» و در نشریه‌های جداگانه‌ای تحت عنوان شناخت روشها، استانداردها و بالاخره شرح خدمات روشها معرفی می‌شوند. نشریه حاضر جلد اول این مجموعه است که با زیر عنوان «معرفی روشها» به معرفی شاخه‌های مختلف ژئوفیزیکی در

مهندسی آب می‌پردازد. این نشریه مسئولین پروژه‌های مختلف مهندسی آب را در انتخاب بجای روشها یاری می‌دهد تا براساس نشریه‌های «شناخت روشها»، استاندارد و شرح خدمات هر روش را برگزیده و بکار گیرند.

نشریه‌های «شناخت روشها»، آیین‌نامه‌های تفصیلی در مراحل مختلف مطالعاتی هر شاخه را شامل می‌شود که پس از انتشار نشریه حاضر، متعاقباً و به مرور از طرف این کمیته انتشار می‌یابد.

نشریه‌های «استاندارد روشها» و «شرح خدمات روشها» بهره‌های پایانی کار این کمیته است که استاندارد انتخاب، بکارگیری و اجرای روشهای مختلف ژئوفیزیکی را با توجه به هدفهای طرح معرفی می‌کند.

۳-۱ تاریخچه کاربرد ژئوفیزیک مهندسی

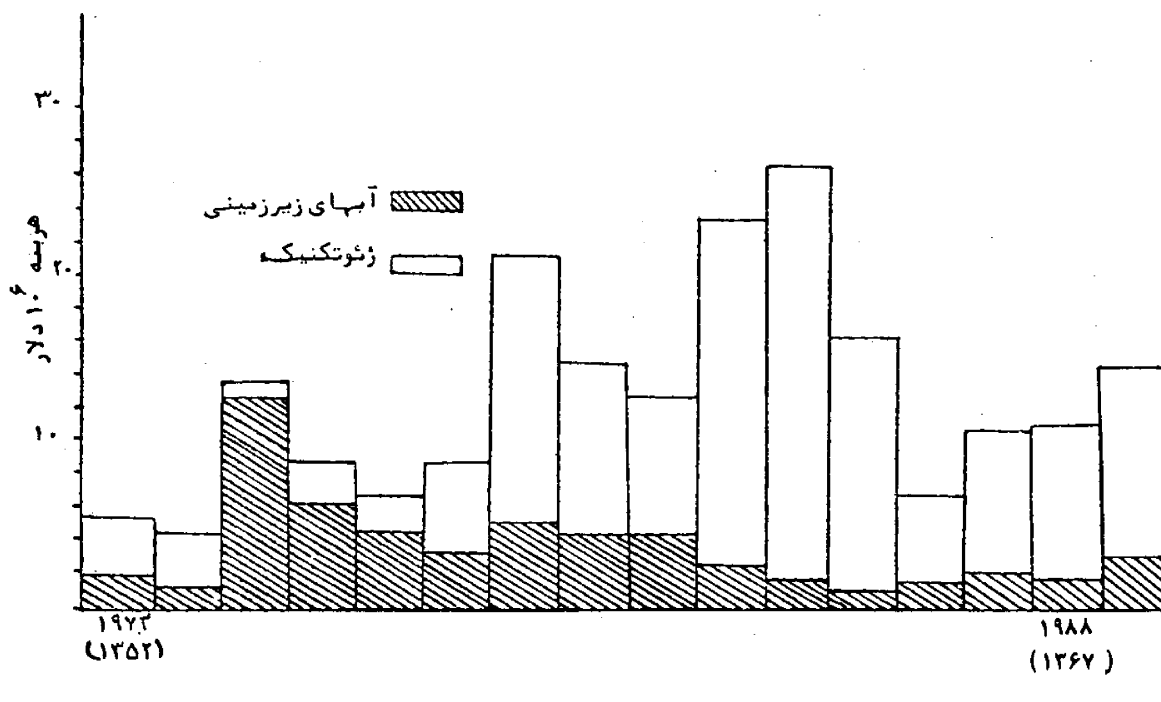
در مقیاس جهانی، طبق گزارش فعالیتهای ژئوفیزیکی انجمن ژئوفیزیکدانهای اکتشافی^۱ (SEG)، در سال ۱۹۵۹ (۱۳۳۸) هیچگونه هزینه‌ای در بررسیهای ژئوتکنیکی یا آبهای زیرزمینی گزارش نشده است.

در سال ۱۹۶۹ (۱۳۴۸) هزینه سالانه در این زمینه‌ها به ۲۲/۱ میلیون دلار رسید. عامل عمده برای این افزایش فوق‌العاده، تعیین محل و ساختمان طرحهای انرژی هسته‌ای در جهان بوده است. بهمین ترتیب هزینه‌ها در سال ۱۹۷۲ (۱۳۵۱) تا بیست میلیون دلار گزارش شده است. از اینرو در این دوره، بررسیهای ژئوفیزیکی در مهندسی آب که بیشتر به منظور تعیین مشخصات لایه‌های زیرزمینی (نظیر ضخامت، آبدار بودن، مدولهای کشسانی و غیره) و پیچیدگیهای ساختاری (نظیر گسلها، حفره‌ها، عوارض کارستی و غیره) صورت می‌گرفت، در جهت پاسخگویی به درخواستهای فوق انجام شده است. با کاهش ساختمانهای انرژی هسته‌ای، در بررسیهای ژئوتکنیکی و آبهای زیرزمینی پس از سال ۱۹۷۲ وقفه بوجود آمد. ولی صنایع دیگر براساس طرحهای سازه‌های بزرگ و اکتشافات منابع آب زیرزمینی رونقی به این رشته‌ها دادند. از اواسط دهه ۱۹۷۰ (۱۳۵۰) تاکنون، انواع مسایل غالباً به سمت ژئوفیزیک مهندسی و آبهای زیرزمینی گرایش یافته‌اند.

شکل ۱-۱ کلیه هزینه‌های ژئوتکنیکی و آبهای زیرزمینی را در سالهای ۱۹۷۳-۱۹۸۸ (بدون در نظر گرفتن تورم) که توسط SEG گزارش شده است نشان می‌دهد. افت سریع از هزینه‌های سال ۱۹۷۲ (حدود ۲۰ میلیون دلار) در سالهای ۱۹۷۳ تا ۱۹۷۸ و یک پرش فوق‌العاده به تراز قبلی و بالای آن پس از سال ۱۹۷۸ بلافاصله دیده می‌شود. این افت تراز با وقفه عمومی در صنعت انرژی هسته‌ای همخوانی دارد. قسمتی از پرش بین سالهای ۱۹۷۸ و ۱۹۷۹ ممکن است بدان علت باشد که SEG فرم گزارشهای فعالیتهای ژئوفیزیکی را گسترش داد و پرسشنامه‌هایی را در آن

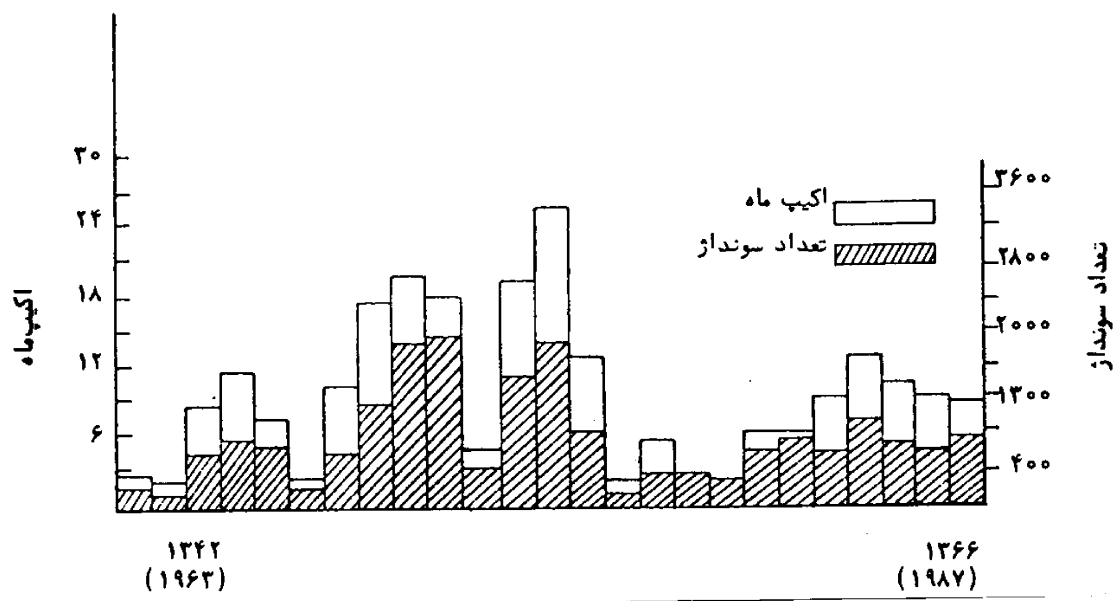
1- Society of Exploration Geophysicists

گنجانید که موجب گزارش بیشتری از فعالیتهای ژئوتکنیکی و آبهای زیرزمینی گردید. اما قسمت اعظم این پرش را می توان در گوناگونی روزافزون کاربردهای کم ژرفا جستجو کرد که در بررسیهای دقیق ژئوفیزیکی بسیار مؤثر بوده اند.



شکل ۱ نمودار فعالیت جهانی مطالعات ژئوفیزیکی در زمینه آبهای زیرزمینی و ژئوتکنیک

در ایران استفاده از روشهای ژئوفیزیکی در مهندسی آب، به ویژه اکتشاف و بررسی منابع آب زیرزمینی، از سال ۱۳۴۰ (۱۹۶۱) توسط بنگاه مستقل آبیاری سابق با همکاری شرکتهای خارجی آغاز شد. سپس همراه با توسعه سایر مطالعات که در امور آب انجام شد، کاربرد ژئوفیزیک، خصوصاً روش ژئوالکتریک، با استفاده از خدمات مهندسی مشاور ایرانی رو به فزونی گذاشت، بطوری که تعداد گمانه‌های (سونداژهای) الکتریک انجام شده از حدود ۳۰۰ عدد در سال ۱۳۴۲ (۱۹۶۳) به بیش از ۲۰۰۰ عدد در سال ۱۳۵۱ (۱۹۷۲) افزایش یافت (شکل ۱-۲). در حال حاضر بیش از ۷۰٪ از سطح کلیه دشتهای کشور با این روش بمنظور بررسی منابع آب زیرزمینی مورد مطالعه و شناسایی قرار گرفته است.



شکل ۲ نمودار فعالیت مطالعات ژئوفیزیکی (ژئوالکتریک) در زمینه آبهای زیرزمینی ایران تا قبل از برنامه پنجساله اول توسعه اقتصادی کشور

امروزه علاوه بر وزارت نیرو، سازمانها، مؤسسه‌ها و شرکتهای زیر نیز در بررسیهای ژئوفیزیکی در امور آب و مهندسی فعالیت دارند:

- مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
- سازمان زمین شناسی کشور
- شرکت فولاد ایران
- مهندسین مشاور ایرانی

۲- روشهای لرزه‌ای

لرزه‌شناسی با بهره‌گیری از پدیده انتشار موجهای کشسان^۱ (الاستیک) در زمین، اکنون بعنوان یکی از دقیقترین و در عین حال فعالترین شاخه‌های ژئوفیزیک مطالعات مهندسی و آب شناخته شده است. اگرچه کاربرد این روش در مسایل مهندسی مدتها بخاطر نبود تکنولوژی لازم، چه در زمینه عملیات صحرایی و چه در زمینه پردازش داده‌ها، محدود بود، ولی امروزه با بهره‌گیری از این تکنولوژی‌ها قادر است تا با روشهای مختلف و پردازش با رایانه‌های پیشرفته به بررسی و پاسخگویی به مسایل مطرح شده بپردازد.

هدف تمامی روشهای لرزه‌ای، تعیین پارامترهای مؤثر در انتشار موجهای لرزه‌ای در زمین و مربوط ساختن تغییرات مشاهده شده در آنها به زمین‌شناسی محل می‌باشد. تغییرات چگالی و مدولهای کشسانی^۲ سنگها (برای تراکم، درزها، شکافها، هوازدگی، گسلها، اشباع‌شدگی و غیره) بر نحوه انتشار موجهای لرزه‌ای اثر گذاشته و در نتیجه روشهای لرزه‌ای را قادر می‌سازد تا با ثبت این تغییرات، توده‌های تغییر یافته را مشخص نماید. عموماً روش و هدف مطالعات لرزه‌ای در مهندسی آب را، اشباع‌شدگی، عمق پی، نوع سازه موردنظر و شرایط زمین‌شناسی محل تعیین می‌کند. روشهایی که امروزه در مطالعات لرزه‌ای مهندسی و آب مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

- روش شکست مرزی^۳

- روش بازتاب^۴

- روشهای لرزه‌ای درون چاهی^۵

۱-۲ روش شکست مرزی

روش شکست مرزی بدلیل سادگی و هزینه نسبتاً پایین آن، فعالترین شاخه مطالعات لرزه‌ای را در مهندسی آب تشکیل می‌دهد. در این روش با مطالعه زمان سیر موجهایی که بصورت شکسته در سطح مشترک لایه‌ها منتشر می‌شوند، می‌توان بررسیهایی در رابطه با جداسازی و شناخت لایه‌ها انجام داد. کاربرد این روش را می‌توان در موارد زیر جستجو کرد:

- تعیین عمق سنگ کف در محدوده احداث سازه‌ها.

- تشخیص گسلها و سایر فرایندهای زمین‌ساختی محلی در سنگها و تشخیص مناطق شدیداً کارستی شده.

- تشخیص غارها و حفره‌های بزرگ زیرزمینی، تونلها و کانالهای قدیمی نیمه پر یا فرونشسته.

1- elastic waves

2- elastic modulus

3- refraction method

4- reflection method

5- in - hole seismic methods

- در مورد برخی ساختمانها از جمله سازه‌های آبی، تعیین عوارض قدیمی زمین از قبیل بستر رودخانه‌ها و حوضه‌های رسوبی از اهمیت خاصی برخوردار است و در اینگونه موارد از روش شکست‌مرزی می‌توان در تکمیل اطلاعات سایر روشها استفاده کرد.
- تعیین مدولهای کشسانی درجا جهت تعیین مقاومت سنگها در محل سازه‌های بزرگ، پیش و پس از وارد آمدن بار.
- تعیین سطح ایستابی.

با وجود بازدهی نسبتاً خوب در پاسخگویی به مسائل ژئوتکنیک و آب، این روش دارای محدودیتهایی در تشخیص لایه‌های کم ضخامت عمیق و لایه‌هایی است که سرعت موج در آنها کمتر از لایه بالایی می‌باشد.

۲-۲ روش بازتاب

این روش علیرغم کاربرد گسترده‌اش در حل مسایل اکتشافی، هنوز در حل مسایل مهندسی آب در ایران بخوبی شناخته نشده است. در این روش با مطالعه موجهای دریافتی بازتابیده^۱ از مرز تغییرات فیزیکی در سنگها، می‌توان به تصویر نسبتاً روشنی از زیر سطح زمین دست یافت. کاربرد روش بازتاب در مهندسی آب، برخلاف کاربردهای معمول آن در اکتشاف نفت، به عمقهای کم محدود می‌گردد. در این روش طول خط برداشت (پروفیل)، برخلاف روش شکست مرزی که چندین برابر عمق مطالعه است، نسبتاً کوتاه می‌باشد.

روش بازتاب ضمن پاسخگویی به مسایل مطرح شده در روش شکست مرزی و داشتن قدرت تفکیک بیشتر، قادر به تشخیص لایه‌های نسبتاً نازک و لایه‌هایی که در آنها سرعت موج کمتر از لایه‌های بالایی است، نیز می‌باشد.

عوامل محدودکننده این روش عبارتند از: اثر لایه هوازده سطحی بر فرکانسهای بالا، آشفتگی ناشی از موجهای سطحی،^۲ دشواری و هزینه نسبتاً سنگین عملیات صحرایی و پردازش داده‌ها.

۳-۲ روشهای لرزه‌ای درون چاهی

با استفاده از روشهای مختلف درون چاهی که در آنها گیرنده یا چشمه و یا هر دو برای اندازه‌گیری در چاه یا گالری قرار داده می‌شوند، می‌توان به بررسی مشخصات زمین‌شناسی توده سنگ، واقع بین محل چشمه و گیرنده‌ها پرداخت. همانگونه که مشخص است، از ضروریات اساسی این روشها، در اختیار داشتن چاههای اکتشافی با قطر مناسب یا

1- reflected

2- surface waves

گالریهایی جهت اندازه‌گیری می‌باشد. اگرچه این روشها بتازگی در حل مسایل مهندسی آب بکار گرفته شده‌اند، ولی با پیشرفت سریع آنها می‌توان یقین داشت که در آینده‌ای نه چندان دور، کاربرد آنها بتواند نقش مهمی را در مهندسی آب برعهده گیرد. این روشها در اندازه‌گیری سرعت موجهای P و S برای تعیین مدولهای دینامیکی درجا،^۱ تعیین محل تونلها، حفره‌ها و تشخیص بی‌هنجاریها در توده سنگ، واقع بین محل چشمه و گیرنده‌ها و همچنین مطالعه آبهای زیرزمینی کاربرد دارند.

۳- روشهای الکتریکی

روشهای الکتریکی متنوع و گوناگون می‌باشند. در بعضی از آنها مانند روش خود پتانسیل،^۲ یا پتانسیل خودزا (SP) و روش تلوریک،^۳ از جریانهای الکتریکی طبیعی زمین استفاده می‌شود و در بعضی دیگر نظیر روشهای مقاومت ویژه،^۴ الکترومغناطیسی^۵ (EM) و قطبش القایی^۶ (IP) جریان بطور مصنوعی به زمین فرستاده می‌شود.

روشهای الکتریکی غالباً جهت اکتشاف مواد معدنی فلزی و غیرفلزی، منابع آب زیرزمینی، مطالعه حوزه‌های نفتی و همچنین حل مسایل مهندسی نظیر بررسی پی سنگ سدها و سازه‌های بزرگ ساختمانی و خوردگی خاکها بکار گرفته می‌شوند. اولین آزمایش روش الکتریک در تابستان سال ۱۹۱۲ میلادی توسط کنراد شلومبرژه^۷ در مزارع نرماندی واقع در غرب فرانسه عملی گردید. سپس کاربرد آن توسط دانشمندانی نظیر هومه^۸ در آلمان و کینگ^۹ در انگلستان روبه توسعه گذاشت.

امروزه روشهای الکتریکی در حل مسایل مهندسی آب، چه به لحاظ سرعت عمل و چه بواسطه کمی هزینه، کاربرد فراوان و موفق‌تری دارند. مهمترین روشهای متداول الکتریکی عبارتند از:

- روش مقاومت ویژه

- روش الکترومغناطیسی (EM)

- روش قطبش القایی (IP)

- روش خود پتانسیل (SP)

1- in - situ dynamic modules

2- self potential

3- telluric

4- resistivity methods

5- electromagnetic

6- induced polarization

7- Conrad Schlumberger

8- Humme

9- King

۱-۳ روش مقاومت ویژه

در این روش معیار سنجش و مطالعه، مقاومت ویژه الکتریکی زمین است. اکثر سنگها در زمین بعلت وجود آب حاوی املاح در داخل خلل و فرج آنها، جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهند. این قابلیت هدایت الکتریکی از قانون اهم تبعیت می‌کند. مقاومت ویژه الکتریکی سنگ، به مقاومت ویژه الکتریکی آب جذب شده، مقدار آب موجود و نحوه توزیع آن در سنگ بستگی دارد. در حالت کلی اگر تخلخل، درجه شوری یا میزان آب موجود در لایه آبدار، افزایش پیدا کند، مقاومت ویژه الکتریکی آن کاهش می‌یابد.

انجام بررسیهای ژئوفیزیکی با روشهای مقاومت ویژه می‌تواند در شناخت کلی لایه‌های محل سازه، تشخیص آبخوانهای زیرزمینی و سطح ایستابی، بررسی شکستگیهای زمین و زمینلغزشها، تشخیص عمق سنگ کف و پی - سنگ، تشخیص نقاط ضعف در توده سنگها (از قبیل هوازدگی، فرسایش داخلی، ترک خوردگی و غیره) کمک شایان و قابل توجهی بنماید.

انتخاب تکنیکهای صحرائی و آرایه الکترودی بستگی به شرایط محلی و مسئله مورد بررسی دارد. در مرحله تفسیر و تهیه گزارش، نقشه‌ها و مدارک زیر تهیه می‌گردد:

- جدول مقیاس مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌ها،
- مقطعهای مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری،
- نقشه یا نقشه‌های مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری با فاصله مناسب برای الکترودهای فرستنده جریان،
- مقطعهای ژئوالکتریک،
- نقشه پربندی^۱ هم ضخامت رسوبات آبرفتی و واریزه‌ای،
- نقشه پربندی هم ژرفای سنگ کف.

۲-۳ روش الکترومغناطیسی (EM)

گزارش فعالیتهای جهانی ژئوفیزیکی در زمینه مهندسی و آب بیانگر این نکته است که روش EM، حداقل به صورت متداول، در مقایسه با روش مقاومت ویژه از کاربرد کمتری برخوردار است (مثلاً طبق گزارش SEG، در سال ۱۹۸۷ در مجموع حدود ۵۰ کیلومتر اندازه‌گیری EM و ۶۰۰۰ کیلومتر اندازه‌گیری مقاومت ویژه در امور مهندسی و آب صورت گرفته است). البته موارد خاصی همچون به نقشه در آوردن ضخامت لایه‌های منجمد در مناطق شمالگان و معدودی از بررسیهای آبهای زیرزمینی در معادن زغال سنگ از این گفتار مستثنی هستند. با این همه گزارشهای اندکی

1- contour map

از کاربرد روش EM در بررسیهای ژئوتکنیکی و آبهای زیرزمینی در دست است. علت را می‌توان در نوشته کلر^۱ (۱۹۷۱) جستجو کرد:

«روشهای جریان مستقیم به مراتب بیش از روشهای الکترومغناطیسی به تغییرات مقاومت ویژه حساسند و از آنجا که تفسیر داده‌های الکترومغناطیسی دشوار است، نمی‌توان ادعا کرد که روشهای الکترومغناطیسی در بررسیهای کم‌عمق مفید باشند.»

البته این بدان معنی نیست که روش EM در مهندسی آب استفاده‌ای ندارد، بلکه موید آن است که نحوه کاربرد آن مشخص و استاندارد نیست. امروزه با توجه بیشتر به استانداردهای محیط زیست انتظار می‌رود که مطالعات آلودگی آبهای زیرزمینی میدان وسیعی برای بررسیهای الکتریکی و EM باز نماید. بعلاوه دو تکنیک نسبتاً جدید الکترومغناطیسی یعنی «رادارهای نفوذکننده در زمین^۲» و «EM بین چاهی» بطور عمده در مسائل ژئوتکنیکی و آبهای زیرزمینی کاربرد خواهند داشت.

۳-۳ روش قطبش القایی (IP)

حضور ذرات کانی‌های فلزی در مجاور الکترولیت‌های موجود در سنگها، سیستمی بوجود می‌آورد که بر اثر عبور جریان الکتریکی قطبی می‌شود. اختلاف پتانسیل حاصل از چنین قطبشی پس از قطع جریان با زمان کاهش پیدا می‌کند. مطالعه اختلاف پتانسیل حاصل از قطبش القایی و نحوه کاهش آن، یکی از روشهای اکتشافی کانیهای فلزی می‌باشد. مشاهده پدیده IP در مواردی که کانی‌های فلزی حضور ندارند و بررسی اثر سرشتیهای^۳ هیدروژنولوژیکی سنگها بر این پدیده، امکان استفاده از روش قطبش القایی را در مطالعات مهندسی آب قابل تصور ساخته است (لاورنی،^۴ ۱۹۵۷).

در حالی که روش IP در برخی زمینه‌های مهندسی و مهندسی آب عملاً مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی منشأ این پدیده به خوبی شناخته نشده است. امروزه چنین تصور می‌شود که پدیده IP غیرفلزی نتیجه اثر چندین فرایند فیزیکی - شیمیایی است که ناشی از اختلاف پتانسیل بین الکترولیت موجود در منافذ سنگها و کانالهای ارتباطی بین آنها و همچنین حضور ذرات رسی می‌باشد. (اوگیلوی و گوزمینا،^۵ ۱۹۶۹).

1- Keller

2- ground penetrating radar

3- characteristics

4- Lavergne

5- Ogilvy and Kuzmina

کاربرد این روش نشان داده است که با اندازه‌گیری پدیده IP حاصل در سنگهای ماسه‌ای - رسی و سنگهای متراکم، می‌توان لایه‌هایی تا عمق ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر را مورد مطالعه قرار داد. این روش پاسخگوی مسائلی از قبیل مطالعه تجمع آبهای زیرزمینی در لایه‌های ماسه‌ای - رسی برای تعیین عمق سطح ایستابی و میزان شوری آب، تعیین محدوده آبخوانها، بررسی جریان آبهای زیرزمینی در مناطق کارستی و مطالعه لایه‌ها از نظر دانه‌بندی و میزان ذرات رسی موجود در آنها می‌باشد. روش IP را می‌توان هم بصورت پیمایشی و هم بصورت گمانه‌زنی مورد استفاده قرار داد. طبیعتاً با توجه به محدودیتهای موجود در استفاده از پدیده IP و هزینه بیشتر این‌گونه مطالعات در مقایسه با سایر روشهای الکتریکی، چنین بنظر می‌رسد که کاربرد واقعی این روش بصورت یک روش جنبی در مطالعات الکتریکی برای بررسی مسائل مهندسی و مهندسی آب می‌باشد.

۳-۴ روش خودپتانسیل (SP)

در سالهای اخیر، SP که روشی ساده در معدن‌بایی بوده، در مهندسی ژئوفیزیک و مهندسی آب نیز مورد توجه قرار گرفته است. معمولاً این روش تنها به مطالعه پتانسیلهای الکتریکی ناشی از واکنشهای الکتروشیمیایی می‌پردازد که بر اثر حضور کانه^۱ در شرایطی مناسب در آبهای زیرزمینی ایجاد می‌شوند. در ژئوفیزیک مهندسی و مهندسی آب از پتانسیلهای الکتروسیتیکی در سطح زمین استفاده می‌شود که نسبتاً ضعیف می‌باشند و از جریان آب در سنگهای متخلخل و شکسته ناشی می‌شوند. در شرایط خاص، این پتانسیلها بخوبی توسط دستگاههای موجود قابل اندازه‌گیری است و داده‌های بدست آمده بسیار مفیدند. اغلب چنین مواردی را می‌توان در مناطق کارستی مشاهده کرد.

کاربرد SP براساس مطالعه تغییرات پتانسیل الکتروسیتیکی در مهندسی ژئوفیزیک و مهندسی آب را می‌توان در زمینه‌های تشخیص نشت در سدها، کف مخازن و ساختارهای زهکشی، تشخیص جریانهای افقی و قائم آب در توده‌های ناپایدار چون زمین لغزشها و همچنین جابجایی آبهای زیرزمینی در یک آبخوان محدود برشمرد. مطالعه پتانسیلهای الکتروشیمیایی برای تعیین محل دفن زباله‌های شیمیایی با استفاده از پتانسیل ناشی از اختلاف یونی آبهای زیرزمینی آلوده و غیرآلوده و همچنین کنترل لوله و کابل‌های زیرزمینی از نظر خوردگی خاک، از جمله کاربردهای دیگر روش SP در مهندسی ژئوفیزیک می‌باشد.

۴- روشهای چاه پیمایی

نزدیک به ۷۰ سال، از اولین اندازه‌گیری چاه پیمایی که توسط برادران شلومبرژه در فرانسه به اجرا درآمد، سپری شده

1- ore

است. طی این مدت، دستگاههای اندازه‌گیری گسترش و تکامل پیدا کرده و جایگاه ویژه‌ای را در مطالعات نفت، معدن و مهندسی آب بدست آورده است.

مطالعات چاه پیمایی در مهندسی آب و ژئوتکنیک، عمدتاً از همان روشهای معمول در مطالعات نفت استفاده می‌کند، اما تفاوت عمده آنها در اندازه قطر چاههایی است که برای اکتشاف نفت و بررسیهای ژئوتکنیک و مهندسی آب حفر می‌گردد.

قطر کوچکتر (۱۰ سانتیمتر به عنوان مثال) گمانه‌های اکتشافی در مطالعات ژئوتکنیک و مهندسی آب در نگاه اول، نمی‌تواند انگیزه ایجاد تفاوت مشخصی بین این دو باشد، اما با توجه به اینکه در شروع و تا سال ۱۹۷۰، گسترش اصلی سخت‌افزاری و نیز تحقیقات در روشهای چاه‌پیمایی توسط شرکتهای بزرگ برای کاربردهای اکتشاف نفت و در نتیجه چاههای با قطر بزرگ صورت می‌پذیرفت، محدودیتی برای صرف هزینه در ساخت سوندهای کوچکتر (برای مطالعات ژئوتکنیک و مهندسی آب) بوجود آورد.

بدین ترتیب یک فاصله زمانی قابل توجه بین کاربرد روشهای جدید در نفت و دیگر مطالعات، یعنی معدن و مهندسی آب بوجود آمد. با توجه به محدودیتهای گفته شده، تعجب‌آور نیست که بگوئیم تا سال ۱۹۷۰، تنها نگارهای مورد استفاده در ژئوتکنیک و مهندسی آب، عبارت بودند از مقاومت تک الکترودی، پرتوژی گامای طبیعی، SP و بطور موردی درجه حرارت، که همگی روی کاغذ ثبت می‌شدند. پیشرفت در ساخت قطعات الکترونیکی کوچک پس از سال ۱۹۷۰ و تقاضای اطلاعات بیشتر در مطالعات نفت و گاز به تدریج راه را برای استفاده بیشتر از گمانه‌های با قطر کوچک هموار کرد. از طرف دیگر تقاضا برای شناخت بعضی پارامترهای پتروفیزیکی در مطالعات ژئوتکنیک، باعث گردید که گسترش دستگاههای خاص گمانه‌های کوچک، جایگاه خود را پیدا کند.

در حال حاضر متخصصین ژئوفیزیک در مهندسی آب، مجموعه کاملی از تمام نگارهای معمول در نفت مانند نگارهای هسته‌ای (پرتوژی طبیعی، گاما - گاما، نوترون) را برای تعیین افقهای رسی، چگالی کپه‌ای، تخلخل و درجه اشباع و نیز چندین نوع نگارهای الکتریکی، IP و EM را برای تعیین لیتولوژی و شیل سازندها در اختیار دارند. استفاده از بررسیهای کامل شکل امواج صوتی و ترکیب نتایج آن با سایر مطالعات چاه پیمایی، محاسبه ضریب پواسون، مدول یانگ یا ضریبهای دیگر کشسانی سنگهای واقع در اطراف گمانه‌ها را فراهم می‌سازد. علاوه بر آن با بررسی دامنه تپهای صوتی، می‌توان زونهای شکسته را که از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات ژئوتکنیک برخوردارند مشخص کرد. اهمیت سرعت موج S در بررسیهای ژئوتکنیکی باعث انگیزه گسترش یک سوند مربوط به موج S گردید. (کیتسونزاک^۱، ۱۹۸۰)

بایستی متذکر شد که در مراحل اولیه، عامل تحرک اصلی برای گسترش سوندهای مربوط به گمانه‌های قطر کوچک، مطالعات معدنی بودند، اما با کاهش تقاضا برای این مطالعات، شرکت‌های سازنده دستگاه‌های قطر کوچک، بازار فروش خود را متوجه زمینه‌های ژئوتکنیکی و مهندسی آب نمودند. هدف اصلی نگاربرداری ژئوفیزیکی مربوط به گمانه‌های کوچک، در ده سال گذشته، بیشتر از آنکه متوجه پیشرفت و گسترش دستگاهها یا تکنولوژی مربوط به آن باشد، توجه خود را به بازار فروش معطوف کرده است. بهمین دلیل نگارهای مربوط به این نوع گمانه‌ها که امروزه در دسترس می‌باشد، تفاوت کمی با نمونه‌های مربوط به سالهای پس از ۱۹۷۰ دارد (بجز پیشرفتهای حاصل در ثباتهای رقمی).

همین نگارها در حال حاضر بدنبال حل مسایل متفاوتی مانند پتانسیل روانگرایی، کیفیت آب زیرزمینی یا شناخت توده‌های سنگی سالم می‌باشند. بر مبنای این انگیزه‌ها مطالعات جدیدی در ارتباط با مسایل خاص، گزارش شده است، که از آن جمله می‌توان استفاده از نگاربرداری سرعت اکوستیک و تضعیف را برای شناخت حفره‌های پایه‌های بتونی (کاستلو و همکاران^۱، ۱۹۸۰) و غلاف بتونی اطراف لوله‌های خروجی سدها (دونپورت و هادسی^۲، ۱۹۸۴) را نام برد.

بهر حال این کوششها همه مؤید بسط و توسعه استفاده از نگاربرداری در مطالعات ژئوتکنیکی و مهندسی آب می‌باشند. در سالهای اخیر مطالعات آلودگی آبهای زیرزمینی با توجه به قوانین جدید مربوط به آن باعث گردیده تا بار دیگر استفاده از نگارها شتاب تازه‌ای بگیرد. در حال حاضر مطالعات الکتریکی، استاندارد و روشهای الکتریکی در چاه خشک، جریان سنج حرارتی و نگارهای چند منظوره بکار گرفته شده و ترکیب آنها با اطلاعات حاصل از کاوشهای سطحی، برای تعیین شکل سه بعدی آبخوان یا هسته‌های آلودگی و اندازه‌گیری جریانهای دینامیکی بکار برده می‌شوند.

۵- روش گرانی

کاربرد روش گرانی به‌ویژه خرد-گرانی در مهندسی آب هر چند جدید است ولی جالب توجه می‌باشد. در اروپا این روش در دهه ۱۹۷۰ بکار گرفته شد در حالی که در ایالات متحده آمریکا این روش از ابتدای دهه ۱۹۸۰ عملاً مورد استفاده قرار گرفت. در حال حاضر این روش در بیشتر کشورها در بررسیهای مهندسی کاربرد دارد. این امر به‌ویژه پس از توسعه گرانی‌سنجها از نقطه نظر دقت اندازه‌گیری، پایداری و قدرت جداسازی در اندازه‌گیریهای کم‌ژرفا، صورت گرفت. با تکامل خرد-گرانی‌سنجها (که به نام نانوغراویمتر^۳، نامیده می‌شوند)، انتظار می‌رود که

1- Costello

2- Davenport and Hadcey

3- Nanogravimeter

اندازه‌گیریهای گرانی، برای به نقشه درآوردن ساختارهایی که تباین چگالی مشخصی را ظاهر می‌سازند، بیش از پیش به کار رود. در گذشته برای تحصیل داده‌های مفید از خرد - گرانی‌سنجها، محاسبه‌های وقت‌گیر برای تعیین تصحیح‌ها انجام می‌گرفت. امروزه با در اختیار داشتن رایانه‌های پیشرفته، این اشکال برطرف شده است و تکنیکهای پیشرفته پردازش داده‌ها (از قبیل صافی کردن مکانی،^۱ و غیره)، ما را در تفکیک هدفهای مشخص یاری می‌دهند.

اندازه‌گیریهای خرد - گرانی در تعیین محل حفرةها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تاریخچه موارد خاص در این زمینه از طرف انجمن اروپایی ژئوفیزیکدانهای اکتشافی^۲ (EAEG) انتشار یافته است (ارزی،^۳ ۱۹۷۵). تعیین نقشه‌های گرانی از تونلها در پایه‌های ردیفهای مرجانی هاوایی (آدامز،^۴ ۱۹۸۴)، به نقشه درآوردن زون‌های کم چگالی در زیر تأسیسات صنعتی (دالستراند،^۵ ۱۹۸۵) مثالهای دیگری در این زمینه‌اند.

کاربرد کاملاً متفاوت دیگر از روش خرد - گرانی، به کارگرفتن آن در شناسایی ناحیه‌های سنگپران،^۶ در معادن می‌باشد که در اثر تباین چگالی در طول زمان به علت انبساط توده سنگهای در حال تنجش بوجود می‌آید (فاجکلویز،^۷ ۱۹۸۳). از طرف دیگر روش گرانی، بطورکلی در اکتشاف منابع آبهای زیرزمینی، برای تعیین ضخامت رسوبهای غیرمترکم در دره‌های آبرفتی بکار گرفته شده است. مثالهای چندی در مورد تعیین نقشه‌های گرانی از توپوگرافی سنگ کف به منظور تعیین محل کانالهای مدفون نیز گزارش شده است (وندربیرگ،^۸ ۱۹۷۶؛ کارمیکائیل و هنری،^۹ ۱۹۷۷؛ استیوارت،^{۱۰} ۱۹۸۰؛ ون اورمیرن،^{۱۱} ۱۹۸۱). مثالی از کاربرد روش خرد - گرانی در ایران، تعیین حفرةهای زیرزمینی در محل احداث کارخانه نان ماشینی در سال ۱۳۵۶ می‌باشد. با وجودی که این روش در ایران تا بحال کمتر در ساختمان سدها بکار گرفته شده است، امید است در آینده از این روش بتوان به موازات سایر روشهای ژئوفیزیکی استفاده کرد.

۶- روش مغناطیسی

در گزارشهای دریافت شده پیرامون استفاده از روشهای ژئوفیزیکی در مهندسی آب، از روش مغناطیسی کمتر صحبت به میان آمده است. دلیل آن هم می‌تواند شرایط خاص مورد نیاز جهت بوجود آمدن بی‌هنجاریهای مغناطیسی

1- spatial filtering

2- European Association of Exploration Geophysicists

3- Arzi

4- Adams

5- Dahlstrand

6- rock burst

7- Fajkelwicz

8- Vanderberghe

9- Carmichael and Henry

10- Stewart

11- Van Overmeeren

باشد. معمولاً مناطق در دست مطالعات ژئوتکنیکی و آب، از خودپذیری مغناطیسی و یا بازماند^۱ مغناطیسی بالایی برخوردار نیستند. هرچند گهگاه به شرایط خاصی برخورد شده است که در آن کاربرد روش مغناطیسی مقدور بوده است ولی اینگونه شرایط همواره وجود ندارد.

کاربرد روش مغناطیسی در مهندسی آب، معمولاً به مناطق آذرین یا دگرگونی شکافدار (ساتاپاتی و کانونگو،^۲ ۱۹۷۶) و یا به مطالعه زون‌های رسوبات ضخیم غیرمترکم بر روی پی سنگهای آذرین یا دگرگونی (بیرچ،^۳ ۱۹۸۴)، محدود می‌گردد. استفاده از این روش توسط بوگوسلوسکی^۴ (۱۹۷۷) با قراردادن آهنربا در داخل زمین لغزه‌ها و مطالعه پیوسته جابجایی حرکت دورانی آنها انجام شد. دوبکی^۵ (۱۹۷۵) در این زمینه از روش دیرینه مغناطیس، برای تعیین حداقل عمر تغییر شکل‌های فعال در ایتالیا استفاده کرد.

۷- روش زمین گرمایی^۶

حضور بی‌هنجاریهای گرمایی ناشی از فرآیندهای شیمیایی، چشمه‌های محلی و چشمه‌های پرتوزا (رادایواکتیو)، اختلاف در رسانایی گرمایی سنگها و غیره، استفاده از بی‌هنجاریهای گرمایی در مطالعه ساختمان زمین را مقدور ساخته است. در دهه‌های اخیر، روشهای زمین گرمایی به میزان زیادی جهت اکتشاف منابع آب، چشمه‌های آبرفتی و یخرفتی، گنبد‌های نمکی کم عمق، زمین لغزه‌ها، تاقدیسه‌ها، گسلها و همچنین برای تعیین همبستگی لایه‌های رسوبی در جاهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است.

کاربرد این روش در مهندسی آب را می‌توان در مواردی همچون کشف جریانهای آب گرم زیرزمینی، تعیین نسبت آبدهی لایه‌های مختلف آبدار، تعیین محل چشمه‌های زیرآبی، بررسی نشت در لوله‌های حاوی سیالات و تراوایی از سدهای نشت پذیر، و تعیین مسیر کانالهای زیرزمینی جستجو کرد (کاپلمیر،^۷ ۱۹۷۴).

۸- روش پرتوسنجی

استفاده از پدیده پرتوزایی در مطالعات ژئوفیزیکی، با نیاز روزافزون به منابع جدید کانیهای پرتوزا، مورد توجه قرار گرفت و زمینه گسترش آن به سرعت فراهم آمد. امروزه کاربرد روش پرتوسنجی، نه تنها جهت کشف ذخایر پرتوزا، بلکه در بدست آوردن اطلاعات زمین‌شناختی و زمین‌ساختی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (بیتز،^۸ ۱۹۶۶).

1- remanence

2- Satapathy and Kanungo

3- Birch

4- Bogoslovsky

5- Dobecki

6- geothermal method

7- Kappelmeyer

8- Bates

در مهندسی آب نیز از روش پرتوسنجی، در زمینه تعیین سن آبهای زیرزمینی (فوگل،^۱ ۱۹۷۰) و مطالعه جریان آبهای سطحی و زیرزمینی (گاسپر و اونسکو،^۲ ۱۹۷۲) استفاده می شود.

۹- روشهای آزمایشگاهی

این روشها بمنظور تعیین خصوصیات فیزیکی مختلف سنگها (از قبیل سرعت موجهای لرزه‌ای، پارامترهای کشسانی، چگالی، مقاومت ویژه الکتریکی، خودپذیری مغناطیسی و غیره) در آزمایشگاه انجام می شود. اطلاعات حاصل از این اندازه‌گیریها، معمولاً بمنظور بهبود کیفیت تفسیر داده‌های صحرایی و در پاره‌ای موارد جهت استفاده مستقیم در طراحی سازه‌ها بکار می رود.

1- Vogel

2- Gasper and Oncescu

- 1- Adams, W.M., 1984, Gravimetric detection and mapping of tunnels in coral reef structures, in Second tech. sympos. on tunnel detection. Colorado School of Mines and U.S. Army, Golden, Colorado.
- 2- Arzi, A.A., 1975, Microgravity for engineering applications. Geophys. prosp., 23,408 - 423.
- 3- Bates, R.G., 1966, Airborne radioactivity surveys, an aid to geological mapping, In : Mining Geophysics, SEG.
- 4- Birch, F.S., 1984, Bedrock depth estimates from ground magnetic profiles : Ground Water, 22, 427 - 432.
- 5- Bogoslovsky, V.A., and Ogilvy, A.A., 1977, Geophysical methods for the investigation of land slides : Geophysics, 42, 562 - 571.
- 6- Dahlstrand, T.K., 1985, Applications of microgravity surveys to surface exploration : Second nat. conf. on surf. and borehole phys. methods in ground water invest., Nat. Water Well Assn., Fort Worth.
- 7- Dobecki, T.L., Rowlands, D., and Jacobs, A.M., 1975, Paleomagnetic age evaluation of undisturbed sediments overlying intensely deformed rocks : Presented at 45th Ann. Internat. Mtg. and Expos. Soc. Explor. Geophys., Denver.
- 8- Fajkiewicz, Z., 1983, Rock burst forecasting and genetic research in coal - mines by microgravity method : Geophys. Prosp., 31,748 - 766.
- 9- Gasper, E. and M. Oncescu, 1972, radioactive traces in hydrolog, Elsevier.
- 10- Kappelmeyero.,1974. Geothermics with special references to methods of application. Gebruder Borntraeger, Berlin, 234 PP.
- 11- Keller, G.V., 1971. Natural - field and controlled - source methods in electromagnetic exploration : Geoexplor., 9,99 - 147.
- 12- Lavergne, Michel, 1957, Prospecting for ground - water by induced electrical polarization (surveys rock properties clays), Geophysics, 22, P660.
- 13- Meissner, R, 1961, Wave - front diagrams from uphole shooting : Geophy. Prosp., 9,544 - 567.

- 14- Ogilvy, A.A., Ayed, M.A., Bogoslovsky, G.A., 1969. Geophysical studies of water leakages from reservoirs, *Geophy. Prosp.*, 17,36-62.
- 15- Satapathy, B.N., and Kanungo, D.N., 1976, Ground water exploration in hard rock terrain a case history : *Geophys. Prosp.*, 24,725 - 736.
- 16- Stokoe, K., and Woods, R., 1972, In situ shear wave velocity by cross - hole method : *Amer. Soc. Civil Eng. J. of Geotech. Eng.*, May, 443 - 460.
- 17- Viksne, A., 1975, Shear wave velocity measurements in earth dams: Presented at 45th Ann. Internat. Mtg. and Expos., Soc. of Explor. Geophys., Denver.
- 18- Vogel, J.C., 1970, Carbon - 14 dating of ground - water - isotope hydrology, Intl. Atomic Energy Agency.