



تقدیم به بهترین های زندگی ام:

پدر و مادر عزیزم

و همسر مهربانم



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

بررسی طبقه‌بندی توصیفی خاک‌ها و تشخیص مناسب بودن آنها از نظر
کشاورزی با استفاده از روش رادار نفوذی به زمین GPR - مطالعه
موردی: مزرعه کشاورزی بسطام

دانشجو:

افسانه مصری

استاد راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر علیرضا عرب امیری

اساتید مشاور

دکتر هادی قربانی

ارژنگ رشمه کریم

پایان نامه جهت اخذ کارشناسی ارشد

بهمن ۹۲

تقدیر و شکر

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس علاقه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فیادس است. و سرگردانی و ترس در ناهشان به شجاعت می گردید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم و بهسر مهربانم تقدیم می کنم.

بدین جهت بر خود لازم می دانم که از اساتید راهنمای بزرگوارم آقایان دکتر ابوالقاسم کاکار روحانی و دکتر علیرضا عرب امیری پاسکنداری کنم که بدون زحمات، راهنمایی ها و پی گیری آنان انجام این پایان نامه ممکن نبود و جناب آقای مهندس زارعی مسئول آزمایشگاه ژئوفیزیک که در عملیات برداشت داده ها و لسنوزا و بدون هیچ چشم داشتی مرا یاری نمودند شکر و قدردانی کنم و همچنین از زحمات جناب آقای دکتر یادی قربانی پاسکنداری نمایم

و در نهایت به جاست که از دوست و مشاور مهربانم جناب آقای ارژنگ رشتمه کریم که در کمال محبت با حسن خلق و فروتنی از هیچ گلی بر من دریغ ننمودند کمال شکر و قدردانی را دارم.

افسانه مصری

تعهد نامه

اینجناب افسانه مصری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده معدن نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی طبقه بندی توصیفی خاک ها و تشخیص مناسب بودن آنها از نظر کشاورزی با استفاده از روش رادار نفوذی به زمین GPR - مطالعه موردی: مزرعه کشاورزی بسطام تحت راهنمایی دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر علیرضا عرب امیری متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

در سالهای اخیر استفاده از روش GPR به دلیل دقت و سرعت بالای آن در بررسی عمقهای کم زمین و در کارهای مهندسی افزایش یافته است. روش GPR براساس تفاوت در گذردهی الکتریکی نسبی دو محیط باعث شناسائی هدف می گردد. هدف این تحقیق، استفاده از روش GPR برای تقسیم بندی یا طبقه بندی توصیفی خاکها و تشخیص مناسب بودن آنها از نظر کشاورزی است. به همین علت، این روش برای بررسی خاکهای زیر سطحی در مزرعه کشاورزی بسطام (منطقه پردیس کشاورزی دانشگاه شاهرود) به

عنوان مطالعه موردی به کار گرفته شده و پروفیل‌های رادار به تعداد ۴ پروفیل در طول خطوط شبکه معینی در سطح زمین طراحی شده و برداشت شد. سپس با پردازش و اعمال فیلترهای مناسب بر روی داده‌ها و تفسیر نتایج و همچنین با توجه به ارتباط بین داده‌های GPR و جنس یا نوع و بافت خاک و تعیین مقدار تقریبی مواد دانه‌ریز و دانه‌درشت (رس، سیلت و شن و ماسه) خاک از روی نتایج GPR، طبقه‌بندی توصیفی خاک‌های مورد مطالعه شامل رطوبت، جنس خاک از لحاظ میزان مواد دانه‌ریز و دانه‌درشت (رس، سیلت و شن و ماسه) و دیگر خصوصیات فیزیکی خاک انجام شد. علاوه بر این، به منظور تأیید و یا کالیبراسیون نتایج، با انجام حفاری دستی در مزرعه کشاورزی بسطام، تعدادی نمونه خاک از زیر سطح زمین در عمق کم نمونه‌برداری شد و خصوصیات و طبقه‌بندی این نمونه خاک‌ها را با انجام آزمایش تعیین بافت و تعیین میزان رطوبت در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود، انجام شده و نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها با نتایج حاصل از پردازش، تحلیل و تفسیر داده‌های GPR برداشت شده مقایسه شد. به طور کلی نتایج حاصل از این برداشت‌ها انطباق خوب و قابل قبولی با نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک گرفته شده از عمق‌های مختلف و نسبتاً کم در زیر سطح زمین داشته است. عمق نسبتاً بالای نفوذ امواج رادار در قسمت مرکزی پروفیل شماره یک به مقدار رس و رطوبت کم در این قسمت نسبت داده شده که این نتیجه نیز همخوانی خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشته است. همچنین عمق ناچیز نفوذ امواج رادار در ابتدا و انتهای پروفیل شماره سه حاکی از رسانندگی الکتریکی بالای خاک زیر سطحی به علت وجود مواد رسی متراکم و با رطوبت بالا در این قسمت‌ها تفسیر شده که این مطلب نیز توسط نتایج آزمایشگاهی مورد تأیید قرار گرفته است. بنابراین از روش GPR که روشی نسبتاً ارزان و سریع است، می‌توان برای تعیین جنس یا نوع و بافت خاک، رطوبت و مقدار تقریبی مواد دانه‌ریز و دانه‌درشت در آن و در نهایت، برای طبقه‌بندی توصیفی خاک‌های زیر سطحی و دیگر خصوصیات فیزیکی خاک که مناسب بودن یا نبودن آنها را از نظر کشاورزی بیان می‌کند، استفاده نمود.

کلمات کلیدی:

رادار نفوذی به زمین (GPR)، بافت خاک، رطوبت، نتایج آزمایشگاهی

مقاله مستخرج از پایان نامه:

تعیین بافت و رطوبت خاک با استفاده از روش GPR و مقایسه نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی، مطالعه موردی محوطه پردیس دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود، هشتمین کنفرانس زمین‌شناسی و زیست-محیطی، مشهد، آبان‌ماه ۱۳۹۲.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ۱
- ۲-۱- مختصری در مورد GPR و کاربرد آن ۲
- ۳-۱- مروری بر مطالعات انجام شده ۳
- ۴-۱- اهداف و ضرورت انجام تحقیق ۴
- ۵-۱- ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم: اصول روش رادار نفوذی به زمین

- ۱-۲- مقدمه ۸
- ۲-۲- تاریخچه ۸
- ۳-۲- اساس و تئوری GPR ۱۰
- ۳-۲-۱- اجزای دستگاه ۱۰
- ۳-۲-۲- معادلات ماکسول ۱۱
- ۴-۲- خواص موج ۱۱
- ۴-۲-۱- انتشار امواج به زمین ۱۱
- ۴-۲-۱-الف- گذردهی دی الکتریک ۱۲
- ۴-۲-۱-ب- رسانندگی الکتریکی ۱۵
- ۴-۲-۱-ج- گذردهی مغناطیسی ۱۶

- ۲-۴-۲- انعکاس، عبور وانکسار طی انتشار..... ۱۶
- ۲-۴-۳- عمق نفوذ..... ۱۷
- ۲-۴-۴- قدرت تفکیک..... ۱۹
- ۲-۵-۵- شیوه برداشت..... ۱۹
- ۲-۵-۱- دور افت مشترک (COM)..... ۲۰
- ۲-۵-۲- نقطه عمق مشترک (WARR/CMP)..... ۲۰
- ۲-۵-۳- درون چاهی (Trasillumination/ZOP)..... ۲۱
- ۲-۶-۶- پردازش داده‌ها..... ۲۲
- ۲-۶-۱- روال پردازش..... ۲۲
- ۲-۶-۲- تصحیح صفر زمانی..... ۲۳
- ۲-۶-۳- تصحیح اشباع سیگنالی..... ۲۳
- ۲-۶-۴- بهره‌ها..... ۲۳
- ۲-۶-۴-الف- کنترل بهره اتوماتیک (AGC)..... ۲۴
- ۲-۶-۴-ب- بهره گسترش نمایی (SEC)..... ۲۴
- ۲-۶-۵- واپیچش..... ۲۵

۲-۶-۶- مهاجرت..... ۲۵

۲-۷- مزایای روش GPR..... ۲۶

۲-۸- محدودیت های روش GPR..... ۲۷

فصل سوم: فیزیک خاک

۳-۱- مقدمه..... ۳۰

۳-۲- بافت خاک..... ۳۰

۳-۲-۱- اهمیت بافت خاک..... ۳۲

۳-۲-۲- طبقه‌بندی بافت خاک..... ۳۲

۳-۲-۳- اندازه‌گیری بافت خاک..... ۳۴

۳-۲-۴- قانون استوکس..... ۳۴

۳-۳- تخلخل..... ۳۵

۳-۳-۱- وزن مخصوص حقیقی خاک..... ۳۶

۳-۳-۲- وزن مخصوص ظاهری خاک..... ۳۶

۳-۴- رطوبت خاک..... ۳۷

۳-۴-۱- اندازه‌گیری رطوبت خاک..... ۳۷

۳-۴-۱-الف- روش وزنی..... ۳۸

۳-۴-۱-ب- روش مقاومت الکتریکی..... ۳۹

۳-۴-۱-ج- روش اندازه گیری مکش خاک..... ۳۹

۳-۵- نفوذپذیری..... ۴۰

فصل چهارم: برداشت، پردازش و تفسیر داده های GPR

۴-۱- مقدمه..... ۴۸

۴-۲- پردازش داده های GPR..... ۵۰

۴-۳- مقاطع عمقی پروفیل ها..... ۵۱

۴-۴- تفسیر مقاطع..... ۵۷

فصل پنجم: جمع بندی و نتیجه گیری

۵-۱- نتیجه گیری..... ۶۲

۵-۲- پیشنهادات..... ۶۳

فهرست اشکال

فصل دوم

- شکل ۱-۲ افزایش ارقام استفاده از رادار نفوذی به زمین در نشریات علمی..... ۹
- شکل ۲-۲ مسیر انتشار امواج الکترومغناطیسی برای بررسی یک ساختار لایه لایه در زیر سطح..... ۱۱
- شکل ۳-۲ محاسبه اثر ردپای رادار روی یک بازتابنده افقی..... ۱۳
- شکل ۴-۲ انعکاس و عبور یک موج الکترومغناطیسی به یک سطح..... ۱۹
- شکل ۵-۲ مقایسه عمق نفوذ موج رادار در دو محیط متفاوت..... ۲۱
- شکل ۶-۲ تصاویر شماتیک از CMP (شکل سمت راست) و COM (شکل سمت چپ)..... ۲۳
- شکل ۷-۲ تصویر شماتیک از روش درون چاهی..... ۲۴
- شکل ۸-۲ اثر WOW روی مقطع GPR در سمت چپ و اثر فیلتر DEWOW در سمت راست..... ۲۷
- شکل ۹-۲ مقاطع دستگاه GPR با آنتن 50MH قبل و بعد از کوچ..... ۳۰

فصل سوم

- شکل ۱-۳ امثلث بافت خاک..... ۳۷

فصل چهارم

- شکل ۱-۴ محدوده برداشت..... ۴۸
- شکل ۲-۴ پروفیل شماره ۱ قبل از اعمال فیلتر..... ۵۲
- شکل ۳-۴ مقطع پروفیل شماره یک با اعمال فیلتر Dewow, Autogain..... ۵۳

شکل ۴-۴ نتیجه اعمال بهره SEC و فیلتر Dewow بر روی پروفیل یک.....	۵۴
شکل ۵-۴ مقطع پروفیل شماره ۱ بعد از فیلتر های Dewow,SEC,Highpass.....	۵۵
شکل ۶-۴ مقطع پروفیل شماره ۱ بعد از فیلتر های Dewow,AGC.....	۵۶
شکل ۷-۴ مقطع پروفیل شماره ۲ بعد از فیلتر های Dewow,SEC,Highpas.....	۵۷
شکل ۸-۴ مقطع پروفیل شماره ۳ بعد از فیلتر های Dewow,SEC,Highpas.....	۵۷
شکل ۹-۴ مقطع پروفیل شماره ۴ بعد از فیلتر های Dewow,SEC,Highpas.....	۵۸
شکل ۱۰-۴ الف) مقطع فیلتر شده پروفیل شماره ۱ ب) مقطع فیلتر شده پروفیل شماره ۳.....	۶۰

فهرست جداول

فصل دوم

جدول ۱-۲ طیف نمونه ای از ویژگی های دی الکتریکی مواد مختلف در اندازه گیری ۱۰۰MH.....	۱۶
---	----

فصل سوم

جدول ۱-۳ طبقه بندی و مشخصات انواع ذرات خاک.....	۳۶
---	----

فصل چهارم

جدول ۱-۴ گذردهی نسبی برخی از مواد زمین و سرعت انتشار موج الکترومغناطیسی در آنها.....	۵۰
جدول ۲-۴ نتایج نمونه گیری در آزمایشگاه.....	۵۹

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

رادار نفوذی به زمین یا به طور خلاصه GPR یکی از روش‌های ژئوفیزیکی است که در بررسی ساختارهای کم عمق زیر سطح و شناسایی تغییرات آنها از امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌کند [۱، ون دام، ۲۰۰۱]. این روش می‌تواند یک تصویر سه بعدی از زیر زمین ارائه دهد و همچنین قادر است تخمین عمق دقیقی برای بسیاری از مواد زیر سطحی فراهم آورد.

روش رادار نفوذی به زمین که معمولاً آن را در حوضه روش‌های الکترومغناطیسی طبقه‌بندی می‌کنند با ارسال امواج الکترومغناطیسی به زمین و دریافت بازتاب این امواج به بررسی ساختارهای نزدیک سطح می‌پردازد.

تاکنون روش‌های ژئوفیزیکی فراوانی برای مطالعات زیر سطحی مورد استفاده قرار گرفته است اما روش رادار نفوذی به زمین به علت این که یکی از روش‌های با قدرت تفکیک بالا و همچنین یک روش غیرمخرب می‌باشد عملاً تاثیر مخربی روی نمونه خاک مورد بررسی ندارد. این روش همچنین قادر است خصوصیات خاک از قبیل جنس، دانه‌بندی، رطوبت و... را شناسایی نماید.

۱-۲- مختصری در مورد روش GPR و کاربرد آن

موفقیت همه روش‌های ژئوفیزیکی وابسته به وجود تباین در ویژگی‌های فیزیکی توده‌های زیر سطحی می‌باشد. کمیتی که باعث می‌شود توده‌های زیر سطحی توسط روش GPR آشکار شوند، ثابت دی‌الکتریک می‌باشد. در واقع تباین در میزان ثابت دی‌الکتریک توده و محیط در برگیرنده آن باعث آشکارسازی توده می‌شود. ثابت دی-

¹Van Dam

الکتریک به توانایی یک ماده در ذخیره و اجازه عبور دادن انرژی الکترومغناطیسی اطلاق می‌شود زمانی که ماده در معرض یک میدان خارجی قرار می‌گیرد [بارکر^۱ و همکاران، ۲۰۰۷].

در روش GPR اختلاف ثابت دی‌الکتریک بین هدف و محیط باعث می‌شود تا امواج ساطع شده از دستگاه، بازتابیده شوند. با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت امواج نمی‌توان به عمق صحیح رویدادها رسید بلکه با استفاده از سرعت امواج GPR در ساختارهای زیرسطحی می‌توان به عمق واقعی رویدادها رسید.

از جمله کاربردهای GPR می‌توان به تعیین ضخامت خاک، چینه‌شناسی رسوبات، آشکارسازی حفرات، بررسی لایه‌های آسفالت در جاده‌ها، آشکارسازی اجسام مدفون در بررسی‌های باستانی و همچنین کاربردهای وسیع دیگر اشاره کرد.

۱-۳- مروری بر مطالعات انجام شده

برای این که کشاورزی در یک محل خاص به صورت مؤثر به کار گرفته شود، بایستی حجم وسیعی از اطلاعات مربوط به نزدیک سطح جمع‌آوری شود. غالباً این اطلاعات خارج از محدوده بررسی‌های سنتی خاک و نمونه‌گیری‌های گسسته می‌باشد. در این خصوص GPR که به عنوان تکنولوژی تحقیق زیرسطحی به سرعت در حال تکامل است تا حد زیادی به کشاورزی و حفاظت از سیستم‌های کشت کمک کرده است. GPR روشی منحصر به فرد است که می‌تواند از اعماق کم به صورت مداوم و کاملاً غیرتهاجمی از خاک بسیاری از چشم‌اندازهای کشاورزی داده جمع‌آوری کند.

¹Barker

این روش به طور گسترده‌ای در طیفی از برنامه‌ها و تنظیمات زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تکنیک در سال ۱۹۴۰ ظاهر شد اما برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ در مسائل ژئوتکنیکی مورد استفاده قرار گرفت [اولیریکسن^۱، ۱۹۸۲؛ اولهیف^۲، ۱۹۸۸].

در GPR تغییرات در خواص الکترومغناطیسی (منظور خواص الکتریکی است که در ادامه اشاره خواهد شد) رسوبات باعث انعکاس انرژی الکترومغناطیسی می‌شود. این تغییرات در خواص الکترومغناطیسی عمدتاً در نتیجه تغییرات در محتوای آب است که به نوبه خود توسط دانه و اندازه تخلخل کنترل می‌شود.

همچنین در مواردی از GPR برای تعیین تخلخل خاک که برای کشاورزی بسیار مفید می‌باشد، استفاده شده است [دنیلز^۳، ۲۰۰۴].

در ایران مطالعات چندانی در زمینه شناسایی و توصیف خاک به لحاظ مناسب بودن آن برای کشاورزی انجام نشده است. اما از موارد تا حدودی مشابه می‌توان به شناسایی ساختارهای زیرسطحی در منطقه جنوب شرقی دریاچه خزر با استفاده از GPR [عشقی، ۱۳۸۹] نام برد.

۱-۴- ضرورت و اهداف تحقیق حاضر

به علت اهمیت بسیار زیاد کشاورزی و ضرورت تولید محصولات مناسب‌تر و مقرون به صرفه‌تر توجه به جنس خاک و بافت آن قبل از کاشت مهم می‌باشد. از طرف دیگر به دلیل توانایی‌های بسیار بالای GPR در بررسی‌های زیرسطحی، برداشت سریع و غیر مخرب بودن و... استفاده از این روش در کشورمان به سرعت رو به افزایش

¹Ulirksen

²Olhoeft

³Daniels

است. لذا در این پایان‌نامه سعی بر آن است تا با استفاده از قابلیت‌های بالای GPR جنس خاک، دانه‌بندی و رطوبت خاک در منطقه بسطام شاهرود شناسایی شود تا بتوان به یک توصیف کیفی از نوع خاک مورد آزمایش دست یافت. همچنین مناسب بودن آن برای کارهای کشاورزی تشخیص داده شود. در نهایت نتایج حاصله با نتایج آزمایشگاهی حاصل از نمونه‌گیری دستی مقایسه می‌شود.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه پیش رو شامل پنج فصل می‌باشد که در فصل اول (فصل حاضر) توضیحات کلی موضوع، روش، مرور کارهای قبلی و هدف این تحقیق ارائه شده است. فصل دوم به بررسی روش GPR، کاربرد، تئوری و اساس این دستگاه و مراحل پردازش، معایب و مزایای GPR اختصاص داده شده. فصل سوم شامل پارامترهای فیزیکی خاک، توضیح روش‌ها و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی شاخص‌های لازم برای تعیین خاک مناسب کشاورزی می‌باشد. در فصل چهارم به بررسی مطالعات موردی انجام شده در این زمینه پرداخته شده و نتایج به دست آمده از آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در نهایت در فصل پنجم، نتیجه‌گیری و پیشنهادات مرتبط با این تحقیق آورده شده است.

فصل دوم:

اصول روش رادار نفوذی به زمین

(GPR)

۲-۱- مقدمه

اساس روش GPR انتشار امواج الکترومغناطیس به زمین و دریافت امواج بازگشتی است. با تغییر خصوصیات الکتریکی زمین، سرعت انتشار امواج در محیط نیز تغییر می‌کند. تغییر سرعت باعث شکست و یا بازتاب موج شده و با توجه به اینکه دستگاه یک آنتن فرستنده و یک آنتن گیرنده دارد، انرژی بازتابیده شده توسط گیرنده دریافت می‌شود. فرستنده GPR در محدوده مگاهرتز عمل می‌کند و انتخاب سیگنال منبع فرکانس با عمق نفوذ و قدرت تفکیک مورد نظر ارتباط دارد. منابع با فرکانس بالا، بالاترین قدرت تفکیک عمودی از ساختار را ارائه خواهند داد ولی عمق نفوذ بالایی نسبت به منابع با فرکانس پایین ندارند. انتخاب فرکانس به هدف مورد بررسی وابسته می‌باشد. داده‌ها اغلب روی یک پروفیل برداشت می‌شوند به طوری که سیگنال‌های ثبت شده با توجه به زمان رفت و برگشت امواج می‌توانند در به دست آوردن طرحی از ساختار زمین‌شناسی بر اساس موقعیت افقی و عمودی کمک استفاده شوند.

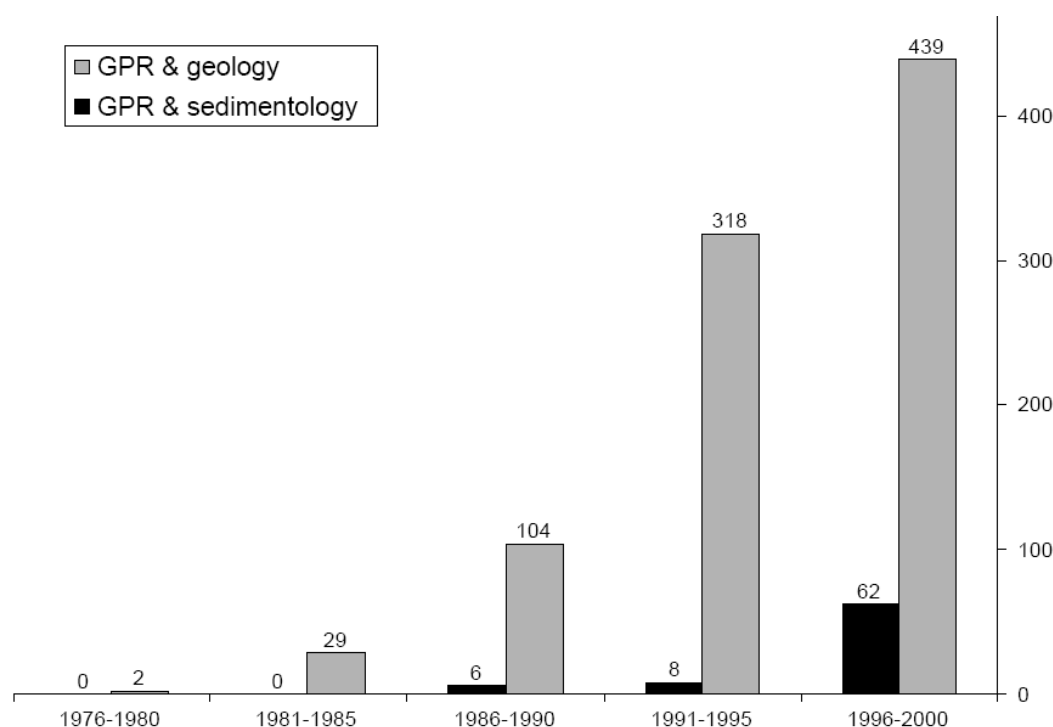
۲-۲- تاریخچه

کلمه رادار که مخفف عبارت "Radio Detection And Ranging" می‌باشد، سیستمی است که از پالس‌های کوتاه الکترومغناطیسی استفاده می‌کند. دستگاه‌های مختلف پالس رادار که برای بررسی‌های زیرسطحی به کار می‌روند را رادار نفوذی به زمین (GPR) گویند.

تحقیقات در زمینه GPR نزدیک به چهل سال است که در نقاط مختلف جهان در حال انجام است.

رکس موری^۱ و آرت دریک^۲ در سال ۱۹۷۲ اولین دستگاه تجاری رادار را ساختند. این روش به طور موثری برای اکتشاف منابع آب زیرزمینی، بررسی انواع آلودگی آب‌های زیرزمینی، آشکارسازی محل حفره‌های زیرسطحی، گسل‌ها و مناطق خردشده، در مسائل مهندسی و کاربردهای متنوع دیگر، مورد استفاده قرار می‌گیرد [Reynolds, 1997].

با استفاده از GPR تحقیقات زیادی در مورد رسوبات صورت گرفته است که در میان این افراد، [ژول^۳ و همکاران، ۱۹۹۱] و [اسچینک^۴ و همکاران، ۱۹۹۳] کارهای زیادی انجام داده‌اند. شکل (۱-۲) نشان‌دهنده افزایش موارد استفاده از رادار نفوذی به زمین در نشریات را نشان می‌دهد.



¹Rex Morey

²Art Drake

³Jol and et al

⁴Schenk

شکل (۱-۲): افزایش موارد استفاده از رادار نفوذی به زمین در نشریات علمی [ژول^۱ و همکاران، ۱۹۹۱].

از اوایل ۱۹۸۰ افزایش مداومی در موارد استفاده از رادار نفوذی به زمین در نشریات زمین‌شناسی به چشم می‌خورد. در نیمه ۱۹۹۰ تعداد نشریات در برنامه‌های کاربردی رسوب GPR افزایش قابل توجهی یافته است.

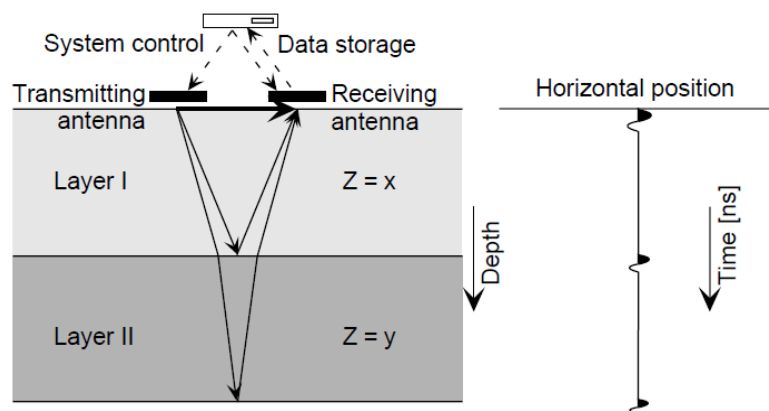
۲-۳- اساس و تئوری GPR

۲-۳-۱- اجزای دستگاه

سیستم رادار از مولد سیگنال، آنتن فرستنده و گیرنده تشکیل شده است. فرستنده موجی با فرکانس ۱۰ مگاهرتز تا ۵/۱ گیگاهرتز تولید و به داخل زمین ارسال می‌کند. امواج هنگامی که به یک شیء و یا سطح که دارای خواص الکتریکی متفاوتی است برخورد می‌کنند، بر اثر تغییر امپدانس الکترومغناطیسی در آن قسمت، به طور بخشی به سطح منعکس می‌شوند [بارکر^۲، ۲۰۰۷]. شکل (۲-۲) شکل شماتیک دستگاه و مسیر رفت و برگشت امواج را نشان می‌دهد.

¹Jol and et al

²Barker



شکل (۲-۲): مسیر انتشار امواج الکترومغناطیسی GPR در بررسی یک ساختار دو لایه در زیر سطح [ون دام^۱، ۲۰۰۱].

برداشت‌های GPR هم از طریق پروفیل‌زنی پیوسته و هم از طریق برداشت در نقاط ثابت انجام می‌گیرد. در پروفیل‌زنی پیوسته آنتن‌ها روی زمین بر روی پروفیل مورد نظر با سرعت ثابت کشیده می‌شوند و در هنگامی که سرعت بالاتری برای برداشت داده‌ها نیاز باشد آنتن رادار را در پشت یک وسیله نقلیه می‌کشند.

۲-۳-۲- معادلات ماکسول

اساس روش GPR بر مبنای تئوری الکترومغناطیس قرار دارد. معادلات ماکسول به طور ریاضی، فیزیک میدان‌های الکترومغناطیسی را تشریح می‌کنند و روابط ساختاری مشخصات مواد را بطور کمی تعیین می‌کنند. ترکیب این دو روش اساس توصیف کمی سیگنال‌های GPR را فراهم می‌کند.

^۱Van Dam

^۲Continuous profiling

$$\bar{\nabla} \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \quad (1-2)$$

$$\bar{\nabla} \times \bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \quad (2-2)$$

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{D} = q \quad (3-2)$$

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{B} = 0 \quad (4-2)$$

در معادلات ذکر شده E بردار شدت میدان الکتریکی، B بردار چگالی شار مغناطیسی، H شدت میدان مغناطیسی، q چگالی بار الکتریکی و J بردار چگالی جریان الکتریکی است. معادلات ماکسول نشان می‌دهند که میدان مغناطیسی تولید جریان الکتریکی و جریان الکتریکی تولید میدان مغناطیسی می‌کند.

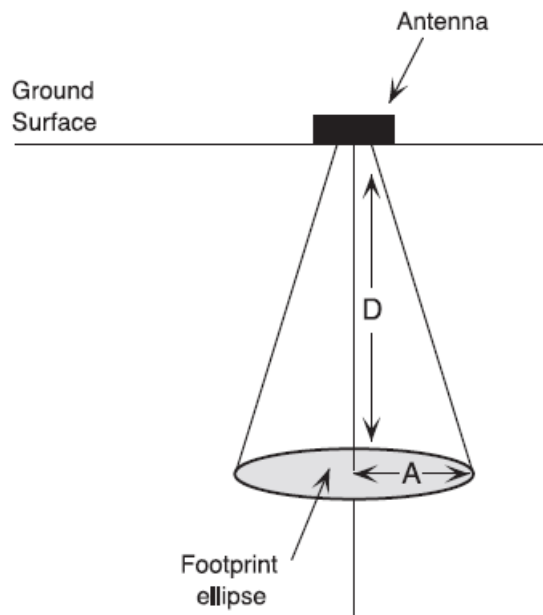
۲-۴- خواص امواج

۲-۴-۱- انتشار امواج به زمین

اگر منبع مولد موج نقطه‌ای باشد انتشار انرژی (امواج) از آنتن فرستنده به شکل مخروط بیضوی است. به سطح مقطع مخروط حاصله ردپا^۱ گفته می‌شود [نیل^۲، ۲۰۰۴] در (شکل ۲-۳) اثر ردپای رادار روی یک بازتابنده افقی را نشان می‌دهد همچنین مساحت این سطح از رابطه (۲-۵) به دست می‌آید.

^۱Footprint

^۲Neal



شکل (۳-۲): اثر ردپای رادار روی یک بازتابنده افقی

[آنان^۲, 2002] و [کونیرس^۱, 1997].

$$A = \frac{\lambda}{4} + \frac{D}{\sqrt{K-1}} \quad (۵-۲)$$

متوسط گذردهی دی الکتریک نسبی K =

شعاع تقریبی ابعاد طولی رد پا A =

طول موج فرکانس مرکزی λ =

عمق تا سطح بازتاب D =

¹Conyers

²Annan

گذردهی دی‌الکتریک^۱، رسانندگی دی‌الکتریک^۲ و تراوایی مغناطیسی^۳ سه پارامتری هستند که چگونگی انتشار امواج الکترومغناطیسی را در زمین تعیین می‌کنند. دو پارامتر رسانندگی الکتریکی و گذردهی نسبی از اهمیت بیشتری در بررسی‌های GPR دارند [نیل^۴، 2004].

به موادی دی‌الکتریک گفته می‌شود که رابطه (۶-۲) در مورد آنها صدق کند.

$$\frac{\sigma}{\omega \epsilon} < 0.01 \quad (۶ - ۲)$$

ω فرکانس زاویه‌ای بر حسب رادیان بر ثانیه

σ رسانندگی الکتریکی بر حسب زیمنس بر متر

۲-۴-۱-الف - گذردهی دی‌الکتریک (ε)

گذردهی الکتریکی مهمترین عاملی است که انتشار موج الکترومغناطیسی را درون ساختارهای مورد بررسی کنترل می‌کند [آنان^۵، 2001].

سرعت امواج GPR در محیط‌های زیرسطحی توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود

¹Dielectric permittivity

²Electric conductivity

³Magnetic permeability

⁴Neal

⁵Annan

$$V = \frac{C_0}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r \frac{1 + \sqrt{1 + (\sigma/\varepsilon\omega)}}{2}}} \quad \left(\frac{m}{s} \right) \quad (۷-۲)$$

گذردهی خلاء $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ (F/m)}$

نفوذپذیری مغناطیسی خلاء $\mu_0 = \left(4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m} \right)$

نفوذپذیری مغناطیسی نسبی (بدون بعد) $\mu_r = \left(\frac{\mu}{\mu_0} \right)$

گذردهی نسبی (بدون بعد) $\varepsilon_r = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)$

نسبت $\frac{\sigma}{\varepsilon\omega}$ را فاکتور اتلاف^۱ گویند. این نسبت در محیط‌های کم اتلاف نزدیک به صفر است (جدول ۱-۲)،

همچنین μ_r در محیط‌های غیرمغناطیس برابر یک در نظر گرفته می‌شود.

^۱Loss factor

جدول ۱-۲: نمونه ای از طیف ویژگی‌های دی‌الکتریکی مواد مختلف در اندازه گیری 100MH

[دنیل^۱، ۲۰۰۴ و کاسیدی^۲، ۲۰۰۹]

ماده	نسبی گذردهی	رسانندگی	ثابت میرایی
هوا	۱	۰	۰
آب شیرین	۸۱	$10^{-6} - 10^{-2}$	۰,۰۱
رس خشک	۲_۶	$10^{-3} - 10^{-1}$	۱۰_۵۰
رس آبدار	۵_۴۰	$10^{-1} - 1$	۲۰_۱۰۰
ماسه خشک	۲_۶	$10^{-7} - 10^{-3}$	۰,۰۱_۱
ماسه آبدار	۱۰_۳۰	$10^{-3} - 10^{-2}$	۰,۰۵_۵

با توجه به توضیحات آمده اگر محیط کم اتلاف و خاصیت مغناطیسی کمی باشد در نهایت فرمول بالا به صورت زیر در می‌آید.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ [m/s]} \quad (۸-۲)$$

نتایج آزمایشگاهی نشان داده‌اند که مهمترین پارامترهای کنترل کننده دی‌الکتریک زمین درصد آب، تخلخل، درصد رس و فرکانس اندازه‌گیری هستند [نول و نایت^۳، ۱۹۹۴]. ثابت شده است که محتوای آب خاک بیشترین

¹Daniels

²Cassidy

³Knoll and knight

نقش را در مقدار ثابت دی الکتریک دارد، مولکول های آب دو قطبی شده در پاسخ به میدان الکتریکی به خط می شوند و یک ثابت دی الکتریک بزرگ تولید می کنند [هو^۱، 2000].

۲-۴-۱-ب- رسانندگی الکتریکی (σ)

زمانی که امواج الکترومغناطیسی در محیط انتشار می یابند عوامل زیادی در کاهش قدرت سیگنال مؤثر هستند. این عوامل شامل پراکندگی امواج در اثر برخورد با اشیایی که ابعاد آنها در حدود طول موج رادار است، انعکاس و عبور از فصل مشترک، اتلاف انرژی بصورت گرما و پخش هندسی امواج هستند. اما عامل اصلی کاهش قدرت سیگنال، میرایی یا تضعیف^۲ می باشد که تابعی از مشخصات دی الکتریک محیط انتشار است.

$$\alpha = \frac{1}{\delta} [\text{m}] \quad (۹-۲)$$

که در آن (α) اتلاف یا میرایی است و (δ) عمق پوست^۳ می باشد.

اتلاف توسط رابطه زیر محاسبه می گردد [رینولدز^۴، ۱۹۹۷]:

$$\alpha = \omega \left\{ \left(\frac{\mu \epsilon}{2} \right) \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2} \right)^{1/2} - 1 \right] \right\}^{1/2} \Rightarrow \delta = \frac{1}{\omega} \left\{ \left(\frac{\mu \epsilon}{2} \right) \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2} \right)^{1/2} - 1 \right] \right\}^{-1/2} \quad (۱۰-۲)$$

¹Howe

²Attenuation

³Skin depth

⁴Reynolds

مشاهده می‌شود که با افزایش فرکانس، میرایی بیشتر می‌شود. رسانندگی محیط و گذردهی نسبی هم بر روی میرایی تاثیر گذارند اما بیشترین تاثیر بر میرایی را رسانندگی دارد.

۲-۴-۱-ج- گذردهی مغناطیسی

نفوذپذیری مغناطیسی اندازه‌ای از انرژی ذخیره و پراکنده شده در ماده‌ای است که در معرض میدان مغناطیسی خارجی قرار دارد [پاورز^۱، ۱۹۹۷]. نفوذپذیری مغناطیسی (H/m) عددی مختلط است که شامل مؤلفه ذخیره انرژی یا همان بخش حقیقی و مؤلفه اتلاف انرژی و یا قسمت موهومی نفوذپذیری می‌شود.

مقدار نفوذپذیری مغناطیسی برای بیشتر خاک‌ها، سنگ‌ها و رسوبات غیرمغناطیسی، کوچک و تقریباً برابر با نفوذپذیری مغناطیسی خلاء ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$) است [آلبی^۲، ۲۰۰۱]. به همین دلیل به ندرت در برداشت‌های صحرایی جزء عوامل تاثیر گذار می‌باشد.

۲-۴-۲- انعکاس، عبور وانکسار طی انتشار

امپدانس موج را به صورت نسبت میدان الکتریکی E به میدان مغناطیسی H تعریف می‌کنند.

$$Z = \frac{E}{H} \cong \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (۱۱-۲)$$

^۱ Powers

^۲ Ulaby

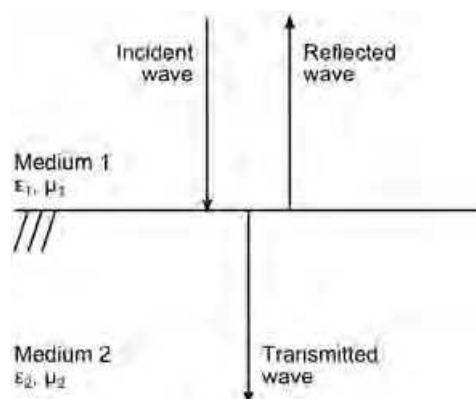
هنگامی که امواج الکترومغناطیسی به فصل مشترک بین دو محیط برخورد می‌کنند به دلیل اختلاف امپدانس دو محیط، انعکاس و انکسار می‌یابند قسمتی از انرژی موج بازتاب می‌شود و قسمت دیگر از فصل مشترک عبور کرده و در محیط دوم نفوذ می‌کند.

اگر زاویه تابش و بازتابش عمود بر صفحه باشند همانند شکل (۲-۴)، در این صورت می‌توان ضریب عبور و ضریب بازتاب را از رابطه‌های زیر محاسبه کرد [تاکاهاشی و همکاران^۱، ۲۰۱۲]:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (۲-۱۲)$$

$$T = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (۲-۱۳)$$

R ضریب بازتاب و T ضریب عبور می‌باشد.



شکل (۲-۴): انعکاس و عبور یک موج الکترومغناطیسی از یک سطح

[تاکاهاشی و همکاران، ۲۰۱۲]

رابطه (۲-۱۲) در محیط‌های کم اتلاف با توجه به فرمول (۲-۱۱) به صورت زیر خلاصه می‌شود:

^۱Takahashi

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} \quad (۱۴-۲)$$

امپدانس موج، بر روی فاز سیگنال بازتابیده شده نیز تأثیر می‌گذارد. اگر امپدانس در مرز کاهش و گذردهی نسبی فاز افزایش یابد سیگنال بازتابیده شده منفی خواهد بود و بالعکس اگر سرعت و امپدانس موج در فصل مشترک افزایش و گذردهی نسبی کاهش یابد فاز موج بازگشتی مثبت خواهد بود [رشمه کریم، ۱۳۹۰].

۲-۴-۳- عمق نفوذ

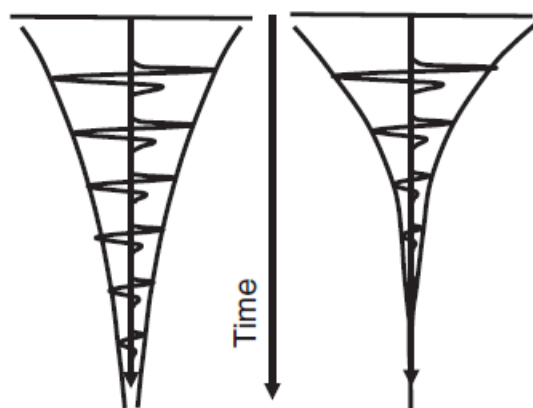
بیشترین عمقی که بتوان داده‌ها را به آن عمق نسبت داد، عمق نفوذ نامیده می‌شود. این عمق به فرکانس دستگاه، رسانایی الکتریکی و گذردهی مواد زمین بستگی دارد همانطور که در شکل ۲-۵ سمت چپ مشاهده می‌شود به دلیل رسانندگی محیط موج مستهلک شده و عمق نفوذ کاهش پیدا کرده و در سمت راست موج عمق نفوذ بیشتری به علت رسانندگی کمتر محیط دارد. هر چه فرکانس و رسانندگی بیشتر باشد عمق نفوذ کمتر می‌شود [رینولدز^۱، ۱۹۹۷].

همانطور که گفته شد، انتشار امواج در داخل زمین باعث از بین رفتن انرژی آنها می‌شود. میزان سرعت ضعیف شدن سیگنال به رسانندگی الکتریکی زمین وابسته است. در موادی که دارای مقاومت الکتریکی بالایی هستند، قدرت سیگنال امواج با سرعت پایین‌تری ضعیف می‌شود. در حالی که در مواد با رسانندگی بالا مانند خاک رسی رسوباتی که منافذ آنها از محلول آب شور پر شده است، اتلاف خیلی سریع تر صورت می‌گیرد و عمق نفوذ بطور

^۱Reynolds

قابل توجهی کاهش می‌یابد. اما عمق نفوذ امواج GPR در حفرات هوایی بر خلاف روش‌های صوتی و غیرصوتی زیاد خواهد بود که کامل بودن این روش را در چنین شرایطی نشان می‌دهد.

در یک محیط کم تضعیف می‌توان تا عمق چند ده متر را نیز اکتشاف کرد؛ درحالی که در محیطی که تضعیف امواج زیاد است، حتی ممکن است عمق نفوذ به کمتر از یک متر نیز کاهش یابد.



شکل (۲-۵): مقایسه عمق نفوذ موج رادار در دو محیط متفاوت

[ژول^۱، ۲۰۰۹]

۲-۴-۴- قدرت تفکیک

توانایی تفکیک سیگنال‌ها از اهداف نزدیک به هم و یا قدرت تعیین موقعیت بازتابنده در فضا و زمان مربوطه را قدرت تفکیک گویند.

^۱Jol

قدرت تفکیک به فرکانس، پارامترهای الکتریکی و شکل هندسی هدف بستگی دارد. هر چه فرکانس آنتن اندازه گیری بالاتر باشد قدرت تفکیک عمودی بهتر و بیشتر است.

همان طور که ذکر شد، موج الکترومغناطیسی بصورت یک مخروط در زمین منتشر می شود. هر چه این موج به عمق بیشتری برود، سطح مقطع بیضوی گسترش بیشتری پیدا می کند. در زمین اگر گسترش جانبی بازتاب کننده بزرگتر از سطح مقطع مخروط باشد، شکل بازتاب کننده به خوبی روی مقطع زمانی دیده می شود. اما اگر کمتر باشد امواج از سطح آن بازتاب کننده پراشیده شده و به جای شکل آن، پدیده پراش برجسته تر خواهد بود. با توجه به نکته فوق قدرت تفکیک در عمق های کم بالاتر از عمق های زیاد است و از آنجایی که آنتن های با فرکانس بالا عمق نفوذ کمتری دارند در نتیجه قدرت تفکیک عمودی بیشتری دارند [نیل^۱، ۲۰۰۴].

۲-۵- شیوه های برداشت

برداشت های GPR به دو صورت پروفیل زنی و شبکه ای می باشد که در پروفیل زنی نوع حرکت یا به صورت مستقیم و یا به صورت رفت و برگشتی می باشد. در برداشت شبکه ای از پروفیل های عمود بر هم به صورت x و y استفاده می شود با این شرط که فاصله پروفیل ها باید یکسان باشد. اما شیوه برداشت به سه طریق مختلف می تواند انجام شود:

۲-۵-۱- دور افت مشترک (COM^2)

¹ Neal

² Common offset

در این شیوه آنتن‌های فرستنده و گیرنده با فاصله یکسان روی زمین در یک پروفیل حرکت داده می‌شوند. این روش پروفیل‌زنی پرکاربردترین شیوه برداشت می‌باشد. در این روش داده‌ها به سرعت برداشت می‌شوند، چون آنتن‌ها ثابت هستند؛ جفت‌شدگی^۱ بین آنتن‌ها و زمین پیوسته و مداوم است و بازتاب‌ها با وضوح بیشتری دیده می‌شوند.

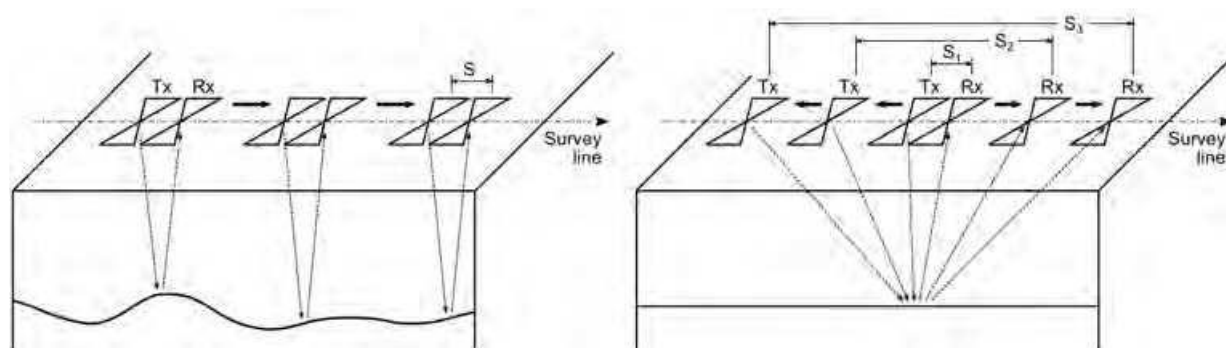
نمونه‌ای از این شیوه برداشت را می‌توان در سمت چپ شکل (۶-۲) مشاهده کرد.

۲-۵-۲- نقطه عمق مشترک (WARR/CMP^۲)

در این شیوه برعکس روش قبل فاصله بین آنتن‌های فرستنده و گیرنده یکسان و ثابت نیست. در عوض آنتن‌ها در دو طرف یک نقطه ثابت و میانی از هم فاصله گرفته و دور می‌شوند.

منحنی زمان سیر امواج به زمین در برابر فاصله بین آنتن‌ها را می‌توان رسم کرد. این روش را روش انعکاس/انکسار زاویه باز نیز می‌نامند [تاکاهاشی و همکاران^۳، ۲۰۱۲].

در سمت راست شکل (۶-۲) می‌توان نحوه انجام این روش را مشاهده کرد.



¹Coupling

² Common mid point

³Takahashi

شکل (۶-۲): تصاویر شماتیک از CMP (شکل سمت راست) و COM (شکل سمت چپ)، R_x و T_x به ترتیب آنتن فرستنده و گیرنده

می باشند [تاکاهاشی و همکاران، ۲۰۱۲].

۲-۵-۳- برداشت درون چاهی Transillumination/ZOP

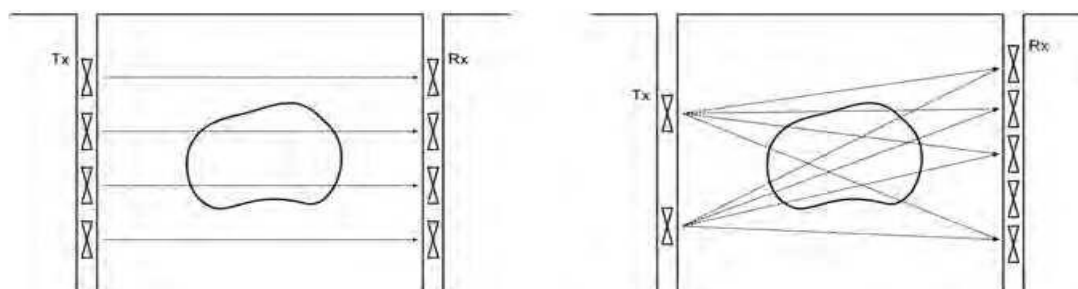
در این روش فرستنده و گیرنده در دو گمانه موازی به یک فاصله ثابت هستند (شکل ۷-۲).

تصویربرداری توموگرافی از داده‌ها می‌تواند توزیع خواص دی‌الکتریک حجم اندازه‌گیری شده را ارائه دهد

[تاکاهاشی و همکاران، ۲۰۱۲]

البته این روش معایبی نیز دارد، نیاز این روش به پردازش‌های با دامنه گسترده و شرایط خاص عملیاتی باعث

شده است که موارد استفاده از این روش کم باشد [رینولدز^۱، ۱۹۹۷]



شکل (۷-۲): تصویر شماتیک از روش درون چاهی [تاکاهاشی و همکاران^۲، ۲۰۱۲].

۲-۶- پردازش داده‌ها

¹Reynolds

²Takahashi

۲-۶-۱- روال پردازش

هدف از پردازش داده‌ها از بین بردن نوفه‌های موجود در داده‌ها برای بدست آوردن اطلاعات دقیق اهداف زیر سطح می‌باشد. بسته به نوع هدف مورد مطالعه، دامنه پردازش متفاوت خواهد بود. به علت اینکه بین روش GPR و روش‌های لرزه‌ای شباهت زیادی وجود دارد، اکثر روش‌های پردازش داده‌های لرزه‌ای را می‌توان برای داده‌های GPR نیز به کار برد.

روال پردازش معمولاً به ترتیب زیر می‌باشد [مولر^۱، ۲۰۰۶].

(۱) ویرایش داده‌ها، هدف از این مرحله از بین بردن خطاهای حین برداشت است.

(۲) اعمال فیلتر Dewow که یک فیلتر بالا گذر می‌باشد.

(۳) تصحیح صفر زمانی

(۴) اگر نوفه‌هایی با فرکانس بالا وجود داشته باشد می‌توان از یک فیلتر پایین گذر استفاده کرد.

(۵) پردازش مهاجرت

(۶) برای تقویت بازتاب‌های مفید در اعماق زیاد، می‌توان از کنترل بهره اتوماتیک، بهره ثابت و... استفاده کرد.

(۷) تبدیل مقاطع زمانی به عمقی و تصحیح توپوگرافی

۲-۶-۲- تصحیح صفر زمانی

^۱Moller

نخستین موج ورودی که به گیرنده می‌رسد موج مستقیمی است که از طریق هوا از آنتن فرستنده به آنتن گیرنده می‌رسد. دستگاه GPR به صورت خودکار زمان اولین موج ارسالی را در نمایش داده‌ها لحاظ می‌کند. اگر به دلایلی جابجایی زمانی اولین رویداد را داشته باشیم خطا در اندازه‌گیری به وجود می‌آید و پیوستگی بازتاب‌ها از بین رفته و تفسیر مشکل خواهد شد. این خطا معمولاً زمانی که دمای محیط اطراف به شدت سردتر و یا گرم‌تر از نمایشگر دستگاه باشد، رخ می‌دهد.

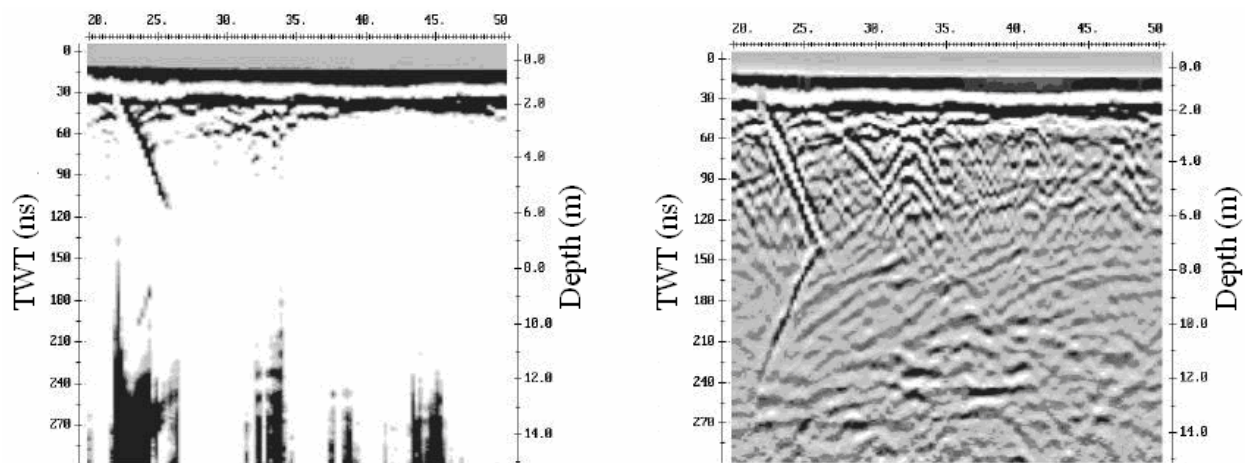
۲-۶-۳- تصحیح اشباع سیگنال^۱

به علت فواصل زمانی کوتاه بین پالس‌های ارسالی توسط فرستنده و پالس‌هایی که به صورت مستقیم از طریق هوا و زمین به گیرنده می‌رسند و همچنین وجود بازتاب‌هایی که از توده‌های کم عمق ناشی می‌شوند، گیرنده از سیگنال اشباع می‌شود [نیل^۲، ۲۰۰۴]. در واقع پدیده فوق بازتاب‌های با فرکانس بالا را مخفی می‌کند که به این حالت WOW گویند. عمل عکس آنرا که باعث حذف فرکانس‌های پایین می‌شود را DEWOW گویند [آنان^۳، ۲۰۰۴]. برای حذف نوفه‌های فرکانس پایین WOW معمولاً یک فیلتر بالاگذر بر داده‌ها اعمال می‌شود. شرکت Sensors and software مجموعه نرم‌افزاری که همراه دستگاه ارائه می‌کند، برای کاهش این نوفه فیلتر DEWOW را پیشنهاد می‌کند. شکل (۲-۸) یک مقطع GPR را قبل و بعد از فیلتر DEWOW نشان می‌دهد.

¹Signal saturation

²Neal

³Annan



شکل (۸-۲): اثر WOW بر روی مقطع GPR در سمت چپ و اثر فیلتر DEWOW در سمت راست

[سنسور وسافت وار^۱، ۱۹۹۹]

۲-۶-۴- بهره ها^۲

۲-۶-۴-الف- کنترل بهره اتوماتیک (AGC^۳)

کنترل بهره اتوماتیک تمام سیگنال ها را با استفاده از یک تقویت برابر می کند. این بهره به طور معکوس با توان سیگنال متناسب است و بهره را تا محدوده تعریف شده توسط کاربر بر روی داده ها اعمال می کند. این بهره تمام سیگنال را یکسان سازی می کند [سنسور وسافت وار^۴، ۱۹۹۹] و بیشترین کاربرد آن در رسوب شناسی است.

^۱Sensors and software

^۲Gain

^۳ Automatic Gain Control

^۴Sensors and software

۲-۶-۴-ب- بهره گسترش نمایی (SEC^۱)

هدف از این بهره جبران افت انرژی ناشی از گسترش موج در محیط و اتلاف نمایی انرژی در اثر رسانایی محیط است. همان‌طور که پالس‌های رادار بصورت نمایی تضعیف می‌شوند بهره SEC نیز نمایی است. این بهره با استفاده از اطلاعات مربوط به اتلاف سیگنال ناشی از پخش هندسی و اتلاف نمایی امواج GPR در محیط برداشت، سعی در بازسازی شکل سیگنال و پاسخ‌های بازتابی دارد.

۲-۶-۵- واهمامیخت^۲

به پدیده حذف اثر یک فیلتر توسط فیلتر دیگری که معکوس آن طراحی شده باشد واهمامیخت یا فیلتر معکوس می‌گویند. واهمامیخت یکی از مهمترین بخش‌های پردازش اطلاعات لرزه‌ای است. هدف از به کارگیری واهمامیخت، استخراج ضرایب بازتاب از مقطع GPR ثبت شده و یا تشخیص و تضعیف بازتابنده‌های تکراری است.

هدف از اعمال واپیچش معمولاً کاهش پخش‌شدگی پالس برای دستیابی به بیشترین قدرت تفکیک است.

۲-۶-۶- مهاجرت^۳

^۱Spreading & Exponential Compensating

^۲Deconvolution

^۳Migration

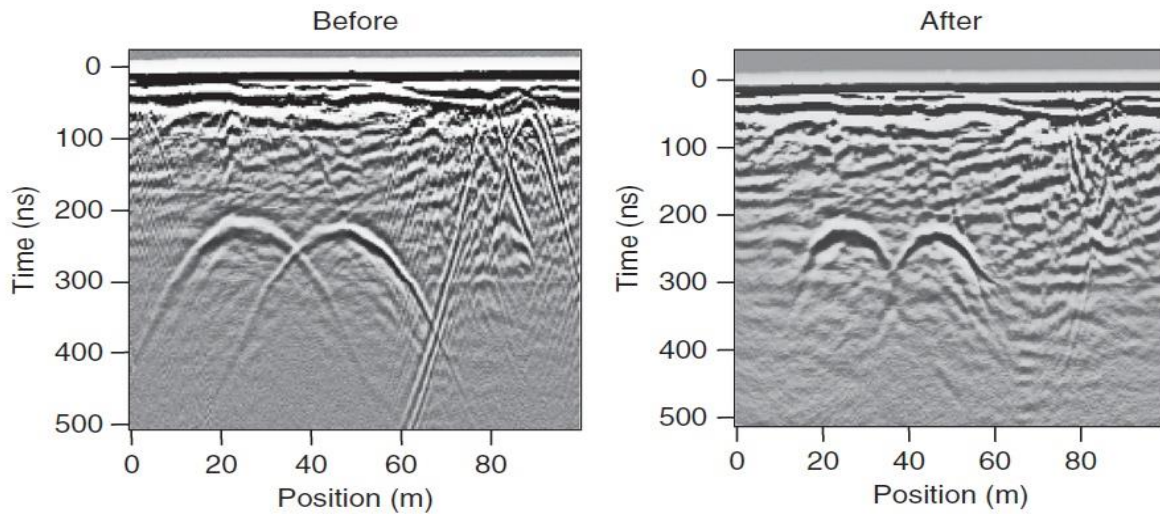
بر انبارش داده‌ها یک تصویر اولیه از لایه‌های زیر سطحی به دست می‌دهد، این در حالی است که در شرایط مواجهه با ساختارهای پیچیده و بازتابنده‌های شیب‌دار این تصویر اولیه را نمی‌توان با واقعیت منطبق دانست. به این مرحله از پردازش که موجبات قرارگیری بازتابنده‌ها در محل واقعی خود در زیر سطح زمین را فراهم می‌کند کوچ یا مهاجرت می‌گویند.

در واقع معنی کوچ نیز به همین گونه است که رخدادهایی که در مقطع دورافت صفر در محل واقعی خود نشان داده نشده‌اند، اکنون با انجام این مرحله از پردازش به محل واقعی خود کوچ داده می‌شوند. هدف از اجرای پردازش کوچ تهیه یک مقطع است که در آن رویدادهای بازتابی به موقعیت صحیح آنها در روی سطح زمین و همچنین به یک زمان بازتابی قائم درست برگردانده شوند [یilmaz¹¹، ۲۰۰۱].

طبیعت انتشار سه بعدی امواج باعث بوجود آمدن مشکلاتی در داده‌های GPR می‌گردد. به این ترتیب که اهداف نقطه‌ای به دلیل پراش امواج GPR در برخورد با آنها به صورت بازتاب‌های هذلولی شکل در مقاطع GPR دیده می‌شوند (شکل ۲-۹).

در مقاطع مهاجرت نیافته و همچنین در ثبت دقیق شیب بازتاب‌کننده‌های شیب‌دار نیز دچار مشکل خواهیم بود. شیب بازتاب‌کننده‌هایی که در مقاطع GPR دیده می‌شوند، کمتر از مقدار واقعی آنها است.

¹¹Yilmaz



شکل (۲-۹): مقاطع دستگاه GPR با آنتن 50MH قبل و بعد از کوچ [ژول^۱، ۲۰۰۹]

۲-۷- مزایا روش GPR

- ✓ برداشت‌های GPR غیر مخرب هستند و هیچ‌گونه آسیبی به محیط نمی‌رسانند. این خاصیت برای تعیین بافت خاک و توصیف جنس آن امری لازم و مهم می‌باشد، چرا که شرایط طبیعی خاک دست نخورده باقی می‌ماند.
- ✓ برداشت‌های GPR سرعت بسیار بالایی دارند و می‌توان بارها برداشت را تکرار کرد.
- ✓ دستگاه برداشت GPR دستگاهی سبک بوده و قابلیت حمل دارد.
- ✓ تصاویر GPR قدرت تفکیک بالایی دارند.

^۱Jol

۲-۸- محدودیت‌های روش GPR

- ✓ حضور رس و دیگر مواد رسانا عمق نفوذ امواج را به شدت کاهش می‌دهد.
- ✓ در تفسیر نتایج نهایی مفسر نقش بسزائی دارد.
- ✓ باید بین هدف و محیط دربرگیرنده اختلاف خصوصیات الکترومغناطیسی کافی وجود داشته باشد.

فصل سوم:

فیزیک خاک

۳-۱- مقدمه

خاک ترکیبی از سه بخش جامد، مایع و گاز است. فیزیک خاک علمی است که درباره وضعیت هر یک از این بخش‌ها و ارتباط آنها بحث می‌کند. با شناختی که از مطالعه‌ی مشخصات فیزیکی خاک حاصل می‌شود می‌توان در انتخاب روش‌های بهتر و مناسب‌تر آبیاری، زهکشی، حفاظت خاک و آب و شخم و شیار در هر خاک معین کمک گرفت و در بهبود ساختمان خاک به طور مؤثر دخالت کرد.

خصوصیاتی مانند قدرت ذخیره رطوبت خاک، سهولت نفوذ ریشه‌ها در خاک، قابلیت نگهداری عناصر غذایی و سرانجام، حاصلخیزی خاک نیز به مشخصات فیزیکی آن بستگی دارد. یک خاک خوب زراعی باید دارای حاصلخیزی فیزیکی هم باشد تا رشد گیاه در آن صورت گیرد. آنچه در بخش جامد خاک اهمیت دارد بافت خاک است [محمدی، ۱۳۸۵].

ازجمله مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعات لای^۱ و تسانگ^۲ در زمینه‌ی کشاورزی و تخمین میزان آب خاک [لای و تسانگ، ۲۰۰۵] و ارزیابی خواص خاک [فری لند^۳، ۱۹۹۶] اشاره کرد.

همچنین می‌توان به تحقیقات تاکاهاشی^۴ و همکارانش در زمینه کاربرد رادار نفوذی به زمین به عنوان ابزاری برای نظارت بر روند آبیاری اشاره کرد [تاکاهاشی، ۲۰۱۲].

۳-۲- بافت خاک:

¹ Lai

² Tsang

³Freeland

⁴Takahashi

بافت خاک واژه‌ای است که معمولاً برای بیان توزیع نسبی اندازه‌های مختلفی از ذرات معدنی در خاک استفاده شده و شامل مواد آلی نمی‌شود. مطالعه فیزیکی خاک از تجزیه مکانیکی آن آغاز می‌شود که عبارت است از تفکیک ذرات خاک از روی وزن آنها. خاک از ذراتی به ابعاد مختلف تشکیل شده است که عبارتند از: شن، سیلت و رس (جدول ۱-۳). فراوانی نسبی ذرات شن، سیلت و رس را در نمونه‌ی خاک بافت خاک می‌گویند. هر خاک شامل درصد معینی از هر یک از این ذرات است. بافت خاک عامل عمده‌ی نگهداری رطوبت و تنظیم‌کننده‌ی غلظت محلول خاک است که این محلول حاوی عناصر غذایی و تغذیه‌کننده گیاه است. به علاوه بافت خاک تعیین‌کننده‌ی ساختمان و میزان خلل و فرج موجود در خاک و تهویه آن نیز هست. از این رو در تعیین حاصلخیزی خاک و قابلیت بهره‌برداری از آن نقش اساسی دارد و به همین لحاظ در ارزیابی خاک‌ها و طبقه‌بندی آنها، مطالعه و بررسی بافت لایه‌های گوناگون نیم‌رخ خاک ضرورت دارد [اشرف، ۱۳۸۳].

اجزا خاک با قطره‌های مختلف خصوصیات فیزیکی متفاوتی دارند. مثلاً یک خاک که دارای مقادیر زیادی ذرات رس می‌باشد ویژگی‌های کاملاً متفاوتی از خاک شنی یا سیلتی خواهد داشت.

بهترین خاک از نظر بافت در کشاورزی خاکی است که حاوی ۱۰ تا ۲۰ درصد رس، ۵ تا ۱۰ درصد مواد آلی و مابقی نیز ترکیبی برابر از شن و سیلت باشد [محمدی، ۱۳۸۵].

گروه ذرات خاک	قطر ذرات به میلی متر (بین المللی)	قطر ذرات به میلی متر (آمریکایی)	تعداد ذرات در یک گرم	سطح ویژه (سانتیمتر مربع)
۱- شن خیلی درشت	۱-۲	-	۹۰	۱۱
۲- شن درشت	۰/۵-۱	۰/۲-۲	۷۲۰	۲۳
۳- شن متوسط	۰/۲۵-۰/۵	-	۵۷۰۰	۴۵
۴- شن ریز	۰/۱-۰/۲۵	۰/۰۲-۰/۲	۴۶۰۰۰	۹۱
۵- شن خیلی ریز	۰/۰۵-۰/۱	-	۷۲۲۰۰۰	۲۲۷
۶- سیلت	۰/۰۰۲-۰/۰۵	۰/۰۰۲-۰/۰۲	۵۷۷۶۰۰۰	۴۵۴
۷- رس	۰/۰۰۲ و کوچکتر	۰/۰۰۲ و کوچکتر	۹۰۲۶۰۸۵۳۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰

۳-۲-۱- اهمیت بافت خاک

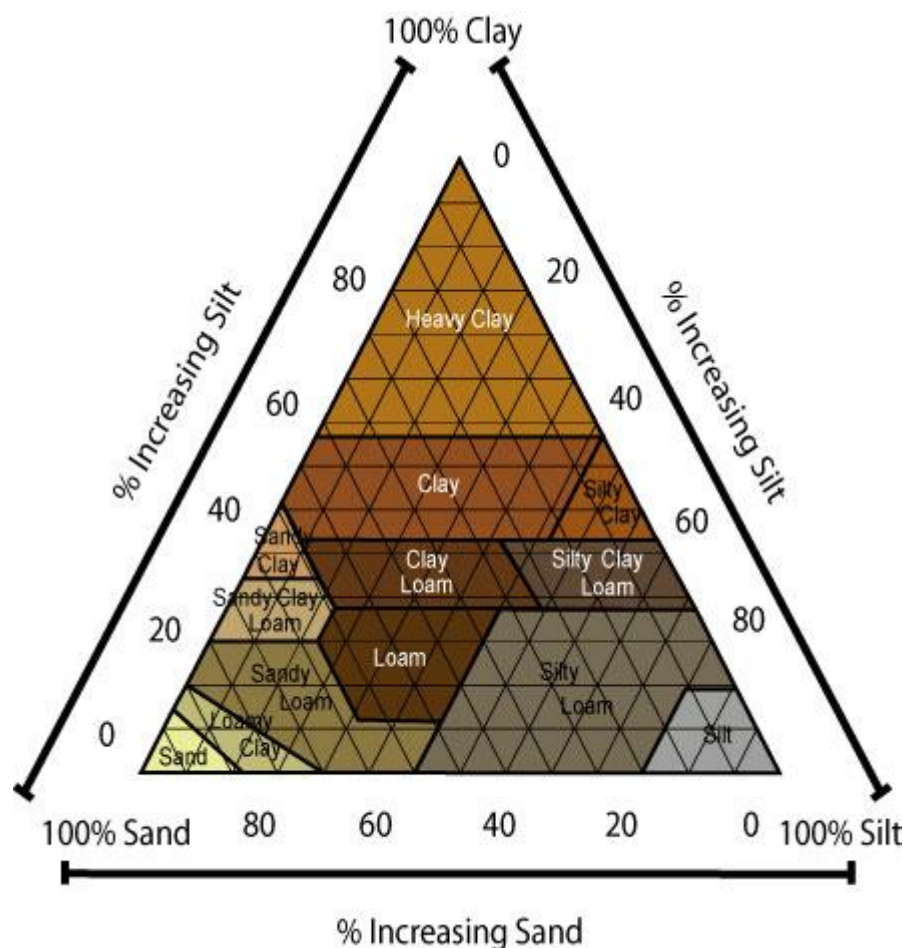
خاک‌های شنی خاک‌هایی هستند که مواد آلی کمی داشته و دارای حاصلخیزی کمی می‌باشند. این خاک‌ها توانایی کمی برای نگهداری ماده غذایی و رطوبت دارند. نفوذپذیری این خاک‌ها بسیار بالاست. هر چه درصد نسبت رس و سیلت بیشتر می‌شود ویژگی خاک‌ها نیز تا حدود زیادی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

به طور کلی خاک‌های ریز بافت دارای حاصلخیزی و مواد آلی بالایی هستند. این خاک‌ها رطوبت و مواد غذایی را بهتر حفظ کرده و آب و هوا در این خاک‌ها با سرعت کمتری حرکت می‌کنند.

بطور کلی خاک‌های لوم یا لوم شن در سطح الارض خاک برای انواع وسیعی از محصولات مناسب بوده و محصولات بیشتری از نظر اقتصادی در این خاک‌ها تولید می‌شود [اشرف، ۱۳۸۳].

۳-۲-۲- طبقه‌بندی بافت خاک

برای تعیین بافت خاک ابتدا درصد هر یک از ذرات سه گانه شن، سیلت و رس را در نمونه خاک اندازه‌گیری می‌کنند. برای تعیین نام بافت خاک عموماً از مثلث بافت خاک استفاده می‌شود (شکل ۳-۱)، بدین ترتیب که درصد شن را روی محور ثبت شده مشخص و از آن نقطه خطی به موازات محور سیلت رسم می‌کنند. درصد سیلت را روی محور مخصوص سیلت معین و خطی به موازات محور رس‌ها رسم می‌کنند. درصد رس را نیز به همین ترتیب، مشخص و خطی به موازات محور شن‌ها ترسیم می‌شود. محل تلاقی سه خط مزبور در داخل مثلث، نشان دهنده‌ی بافت خاک است.



شکل (۳-۱): مثلث بافت خاک [عباس نژاد، ۱۳۸۴]

نام‌گذاری بافت خاک از روی نام ذرات غالب آن صورت می‌گیرد؛ ولی هر گاه ذرات سه گانه به نسبت‌های متفاوت وجود داشته باشد، آن خاک را "لوم" می‌گویند. این نسبت‌ها شامل ۷۰ تا ۲۷ درصد رس، ۲۸ تا ۵۰ درصد سیلت و کمتر از ۵۲ درصد شن است.

۳-۲-۳- اندازه‌گیری بافت خاک:

تعیین بافت خاک به روش هیدرومتر انجام می‌شود که از اساس قانون استوکس پیروی می‌نماید اگر مقداری خاک را در استوانه‌ای پر از آبی بریزیم ذرات خاک بر حسب اندازه‌شان سرعت ته‌نشینی متفاوتی خواهند داشت هر چه ذرات درشت‌تر باشند سرعت ته‌نشینی آنها بیشتر است و بالعکس، ذرات ریزتر با سرعت کمتری ته‌نشین می‌شوند.

در آزمایشگاه برای جدا کردن ذرات خاک از هم و تعیین بافت خاک، ابتدا خاک را نرم می‌کنند و از الک ۲ میلیمتری می‌گذرانند، پس از حذف مواد آلی و خشک کردن خاک در گرمخانه (اوون)، آن را از الک‌های درجه بندی شده عبور می‌دهند. معمولاً ذرات با قطر کمتر از ۰/۵ میلیمتر را از طریق رسوب‌گذاری اندازه می‌گیرند؛ ۵۰ گرم خاک خشک را در بشر ریخته و حدود ۵۰ سی‌سی آب به آن افزوده و کمی حرارت می‌دهیم در این صورت مواد آلی به CO₂ ترکیب می‌شوند و سپس ۲ گرم کالگون به آن افزوده و حدود ۵ دقیقه با هم‌زن برقی مخلوط را به هم می‌زنیم سپس محتویات داخل ظرف را به طور کامل داخل استوانه مدرج ۱ لیتری ریخته و

استوانه را به حجم ۱ لیتر می‌رسانیم و در نهایت با هم‌زن دستی سوسپانسیون را به هم زده و در زمان‌های ۴۶ ثانیه و ۶ ساعت قرائت هیدرومتری انجام می‌شود، در دومین اندازه‌گیری، ذرات رس با قطر کمتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر تعیین می‌شود و در اندازه‌گیری اول ذرات شن محاسبه می‌گردند، درصد سیلت حاصل نیز تفریق مجموع این دو عدد از ۱۰۰ خواهد بود [محمدي، ۱۳۸۵].

۳-۲-۴- قانون استوکس:

قانون استوکس بر پایه‌ی تئوری تجزیه‌ی اندازه ذرات، استوار است. ماکزیمم سرعت که همان سرعت حد یک ذره کروی در حال سقوط در یک مایع است، با مجذور شعاع آن ذره و چگالی مایع، متناسب می‌باشد. نیروی پایین برنده (F_D) که بر اثر جاذبه روی ذره اعمال می‌شود، از رابطه زیر مشخص می‌شود، که در آن P_s چگالی ذره و P_f چگالی مایع می‌باشد.

$$F_D = \frac{4}{3} \pi r^3 (P_s - P_f) g \quad (۱-۳)$$

نیروی اصطکاک F_F در برابر نیروی پایین برنده پایداری می‌کند. η ویسکوزیته مایع، r شعاع ذره و u سرعت آن است.

$$F_F = 6 \pi \eta r u \quad (۲-۳)$$

هرگاه نیروی جاذبه و اصطکاک با هم برابر شوند، سرعت به حداکثر خود (U_T) می‌رسد و ذره با سرعتی ثابت سقوط می‌کند.

$$U_T = d^2 g \left(p_s - \frac{p_F}{18\eta} \right) \quad (۳-۳)$$

اگر به فرض U_T لحظه‌ای شده و F_D برابر با F_F شود با استفاده از معادله زیر می‌توان زمان لازم برای سقوط یک ذره را در فاصله h محاسبه نمود.

$$t = \frac{18h\eta}{d^2 g(p_s - p_F)} \quad (3-4)$$

افزون بر این، d ماکزیمم قطر ذره‌ای را که در زمان t خارج از فاصله‌ای معین سقوط می‌کند، می‌توان تعیین کرد [جعفری، ۱۳۸۹].

$$d = \sqrt{\frac{18h\eta}{t(p_F - p_s)}} \quad (3-5)$$

۳-۳- تخلخل خاک^۱

در هنگام تشکیل خاک بین دانه‌های آن منافذی به وجود می‌آید که اندازه و اشکال مختلفی دارند. این فضاهای خالی با سیالات (آب و هوا) پر می‌شوند. به بخشی از حجم کل خاک که توسط این منافذ اشغال شده تخلخل گفته می‌شود؛ درصد تخلخل با توجه به فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد [عباس نژاد، ۱۳۸۴]:

$$n = 100 - \left(\frac{D_b}{D_p} \times 100 \right) \quad (3-6)$$

D_b = جرم مخصوص ظاهری خاک

D_p = جرم مخصوص حقیقی خاک

^۱porosity

حداقل خلل و فرج تهویه‌ای با قطر بزرگتر از ۳۰ میکرون برای رشد ریشه اغلب گیاهان باید ۱۰ درصد باشد. برای ذخیره آب باید حداکثر خلل و فرجی با قطر ۰/۲ تا ۳۰ میکرون در خاک وجود داشته باشد.

۳-۳-۱- وزن مخصوص حقیقی خاک

وزن مخصوص حقیقی خاک عبارت است از وزن یک سانتی‌متر مکعب از مواد جامد خاک که پس از خشک شدن در حرارت ۱۰۵۰ درجه و خرد و نرم شدن اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار حدود ۲/۶۵ گرم است و علت آن نیز تشکیل اغلب خاک‌ها از کانی‌های کوارتز، فلدسپات و سیلیکات‌های کلوئیدی با جرم حدود ۲/۶ تا ۲/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است؛ همچنین بدیهی است بر حسب میزان مواد آلی خاک (با میانگین وزنی مخصوص ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) جرم مخصوص حقیقی خاک کاسته می‌شود و نیز در صورت وجود فلزات سنگین (مگنتیت و سرب)، وزن مخصوص حقیقی خاک بیشتر خواهد شد.

$$\text{وزن ذرات خاک که به وسیله ذرات جامد اشغال شده است} = \frac{\text{وزن مخصوص ذرات خاک}}{\text{حجم ذرات جامد خاک}} \quad (۷-۳)$$

۳-۳-۲- وزن مخصوص ظاهری خاک

وزن مخصوص ظاهری خاک عبارت است از وزن یک سانتی‌متر مکعب از خاک دست نخورده و خشک شده در حرارت ۱۰۵ درجه که معمولاً برای عمق شخم خاک ۱/۳ گرم در نظر گرفته می‌شود. این مقدار، از ۱/۶ گرم

برای خاک‌های شنی تا ۱/۱ گرم برای خاک‌های رسی و لومی دارای خاکدانه بیشتر، تغییر می‌کند و از فرمول (۸-۳) به دست می‌آید:

$$(۸-۳) \quad \text{وزن خاک خشک} = \frac{\text{وزن مخصوص ظاهری خاک}}{\text{حجم خاک}}$$

برای تهیه نمونه دست نخورده، از استوانه‌ای فلزی، کوتاه و دو در استفاده می‌شود؛ بدین ترتیب که استوانه را به طور عمودی روی خاک محل نمونه‌برداری قرار داده و آهسته در خاک فرو می‌برند؛ و فوراً آن را به آزمایشگاه می‌برند.

به طور کلی خاک‌های شنی، سبک و درشت بافت نسبت به خاک‌های رسی، سنگین و ریز بافت دارای جرم مخصوص ظاهری بیشتری هستند که علت آن نیز کم شدن خلل و فرج بین ذرات و زیاد شدن جرم مخصوص ظاهری خاک می‌باشد [محمدی، ۱۳۸۵].

۳-۴- رطوبت خاک

رطوبت از مشخصات پویای خاک و عامل عمده واکنش‌های مختلف درون خاک است. گیاهان منحصراً به حالت مایع تغذیه می‌کنند و مواد غذایی را به شکل محلول می‌گیرند. به ازای هر کیلوگرم ماده‌ی خشک که گیاه تولید می‌کند، بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم آب جذب می‌نماید.

۳-۴-۱- اندازه‌گیری رطوبت خاک:

رطوبت خاک به صورت مستقیم و غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌شود. در روش‌های مستقیم مقادیر وزنی و حجمی به طور مشخص اندازه‌گیری می‌شود. در روش‌های غیرمستقیم باید ابتدا یک عامل که در ارتباط نزدیک با رطوبت است اندازه‌گیری شود و سپس از روی آن، مقدار رطوبت خاک تخمین زده شود. از روش‌های غیر مستقیم می‌توان اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی و مکش خاک را نام برد (جعفری، ۱۳۸۹).

۳-۴-۱-الف- روش وزنی:

در روش وزنی از خاک مورد نظر نمونه‌ای تهیه کرده و پس از توزین نمونه مرطوب آن را درون گرمخانه (اون) به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار داده و پس از خشک شدن و توزین نمونه خشک درصد رطوبت وزنی را با توجه به فرمول زیر به دست می‌آوریم:

$$p_m = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (۹-)$$

۳)

p_m = درصد رطوبت وزنی

M_w = وزن آب خاک

M_s = وزن خاک خشک

برای به دست آوردن درصد رطوبت حجمی، می‌توان درصد رطوبت وزنی را در چگالی خاک ضرب کرد. فرمول زیر این مطلب را نشان می‌دهد:

$$P_v = P_m \times D_b \quad (۱۰-۳)$$

P_v = درصد رطوبت حجمی

D_b = چگالی ظاهری خاک

۳-۴-۱-ب- روش مقاومت الکتریکی

در این روش بلوک‌های مختلفی را که در آن دو الکترود کار گذاشته شده در خاک قرار داده و هنگامی که مقدار رطوبت خاک تغییر کند، رطوبت بلوک نیز تغییر خواهد کرد، با افزایش رطوبت بلوک هدایت الکتریکی آن افزایش و مقاومت الکتریکی آن کاهش می‌یابد، که از طریق مقاومت‌سنجی که به بلوک متصل است مقاومت الکتریکی بلوک اندازه‌گیری می‌شود. در این روش مقادیر مختلفی رطوبت معلوم با مقاومت الکتریکی به دست آمده واسنجی کرده و می‌توان از روی مقاومت الکتریکی بدست آمده در هر خاک، رطوبت مجهول را به دست آورد.

۳-۴-۱-ج- روش اندازه‌گیری مکش خاک

در این روش از تانسئومتر برای اندازه‌گیری شدت نگهداری آب در خاک (مکش خاک) استفاده می‌شود. تانسئومتر از لوله‌ای تشکیل شده که در انتهای آن کلاهک سرامیکی متخلخلی قرار دارد و بخش بالایی آن متصل به یک مکش سنج می‌باشد. لوله تانسئومتر را ابتدا پر از آب کرده و کلاهک سرامیکی را در اعماق مورد نظر در خاک قرار می‌دهیم با خشک شدن خاک آب از لوله به بیرون کشیده شده و مکش سنج نیرویی را که آب

توسط خاک نگهداری شده نشان می‌دهد. با اندازه‌گیری مکش خاک در رطوبت‌های معلوم و واسنجی آنها می‌توان از روی مکش خاک، رطوبت مجهول در هر خاک را به دست آورد [اشرف، ۱۳۸۳].

۳-۵- نفوذپذیری

ورود آب به داخل خاک، نفوذپذیری نام داشته و به سرعتی که آب وارد خاک می‌شود، میزان نفوذپذیری گفته می‌شود. نفوذپذیری، به ضخامت لایه‌ی آب بالای خاک، تعداد و اندازه‌ی روزنه‌های خاک، مقدار آب خاک و بافت خاک بستگی دارد.

نفوذپذیری در خاک‌های شنی زیاد است؛ زیرا اینگونه خاک‌ها دارای روزنه‌های بزرگ بیشتری هستند. خاک‌های رسی و لوم رسی معمولاً دارای نفوذپذیری کمتری هستند، زیرا روزنه‌های بزرگ در آنها نسبتاً کم است؛ مگر آن که از ساختمان دانه‌ای محکم و خوبی برخوردار باشند. میزان آبی که وارد خاک می‌شود، می‌تواند مقدار آب نگهداری شده و قابل استفاده برای رشد گیاه را تعیین کند [بای بوردی، ۱۳۶۶].

فصل چهارم:

برداشت، پردازش و تفسیر

داده‌های GPR

۴-۱- مقدمه

برداشت GPR در محوطه پردیس دانشکده کشاورزی با هدف بررسی کارایی روش GPR در توصیف کیفی بافت خاک و اندازه‌گیری رطوبت زمین انجام شد. برای ارزیابی کارآمدی روش نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از نمونه‌گیری دستی خاک مورد مقایسه قرار گرفت. در محوطه پردیس کشاورزی محدوده‌ای شخم نخورده با ابعاد 48×6 متر که انتخاب شد (شکل ۴-۱). سعی شد تا محوطه‌ای هموار و مسطح انتخاب شود در نتیجه برداشت داده‌ها با سهولت بیشتری انجام شد و نیز نیازی به تصحیح توپوگرافی نبود. در برداشت پروفیل‌ها دستگاه باید با سرعتی ثابت و آرام حرکت داده شود. همچنین برای افزایش دقت در برداشت‌ها نقطه شروع و انتهای پروفیل‌ها به کمک شاخص ثابتی مشخص شد.



شکل (۴-۱): محدوده برداشت در پردیس دانشکده کشاورزی

برداشت داده‌ها در یک مرحله و بر روی ۴ پروفیل ۴۸ متری که امتداد غربی_شرقی داشتند انجام گرفت. عملیات نمونه‌گیری در سه نقطه انجام شد و در هر نقطه نمونه‌ها از اعماق متفاوت ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری گرفته شدند. نمونه اول از فاصله ۲۱ متری پروفیل اول و نمونه‌های دوم و سوم به ترتیب از فاصله‌های ۹/۵ و ۳۶/۵ متری پروفیل سوم گرفته شدند.

داده‌های GPR با استفاده از دستگاه Noggin Plus ساخت شرکت کانادایی Sensors & software برداشت شد. دستگاه مذکور دارای دو آنتن فرستنده و گیرنده پوششی است که پالس‌های الکترومغناطیسی با فرکانس مرکزی ۲۵۰ مگاهرتز ارسال می‌کند. فاصله آنتن‌ها از یکدیگر حدود ۳۰ سانتی‌متر و ثابت است. این مسئله سبب می‌شود که عمق نفوذ دستگاه محدود باشد. ویژگی دیگر این دستگاه فاصله کم آنتن از سطح زمین است که باعث کاهش میزان نوفه دریافتی از محیط اطراف می‌شود. همچنین این فاصله کم، حرکت دستگاه را در سطح‌های ناهموار مختل می‌کند. در نتیجه کاربرد دستگاه محدود به محیط‌های هموار و مسطح می‌شود. دستگاه GPR در واقع زمان رسیدن امواج را اندازه‌گیری می‌کند. برای تعیین عمق دقیق رویدادها باید مقاطع زمانی به عمقی تبدیل شوند که برای این کار بایستی اطلاعات دقیقی نسبت به سرعت امواج رادار در ساختارهای زیرسطحی در اختیار باشد. می‌توان سرعت را در حین برداشت و در محل برداشت مشخص کرد.

سه روش برای تخمین سرعت وجود دارد که عبارتند از:

- (۱) روش اول استفاده از تحلیل سرعت موج رادار با تغییر فاصله بین فرستنده و گیرنده می‌باشد.
- (۲) روش دوم تخمین سرعت موج را می‌توان با استفاده از شناسایی جنس لایه‌ها محاسبه کرد.
- (۳) در روش سوم از روش برون راند نرمال _ (شکل هذلولی‌های پراش در مقاطع) _ استفاده می‌کنیم.

برای تخمین سرعت امواج در این تحقیق از روش دوم استفاده شد. با توجه به نمونه‌گیری‌های انجام شده بر روی زمین تا حدودی جنس لایه‌ها تشخیص داده شد و با کمک گرفتن از جدول (۴-۱) سرعت با تقریب خوبی ۰/۰۷۵ متربرنانوثانیه در نظر گرفته شد. با استفاده از سرعت به دست آمده مقاطع زمانی به مقاطع عمقی تبدیل شد.

جدول (۴-۱): گذردهی نسبی (ϵ_r) برخی از مواد زمین و سرعت انتشار موج الکترومغناطیسی در آنها (Baker et al., 2007)

سرعت (m/ns)	ϵ_r	ماده
۰/۳	۱	هوا
۰/۰۳	۸۰	آب شور
۰/۰۳	۸۰	آب شیرین
۰/۱۵-۰/۱۷	۳-۴	یخ آب شیرین
۰/۱۱-۰/۱۵	۴-۸	یخ آب شور
۰/۰۹-۰/۱۱	۸-۱۲	برف
۰/۱۱-۰/۱۷	۴-۶	ماسه، خشک
۰/۰۵-۰/۰۹	۱۰-۳۰	ماسه، مرطوب
۰/۱۷-۰/۲۱	۲-۳	ماسه سنگ، خشک
۰/۰۹-۰/۱۳	۵-۱۰	ماسه سنگ، مرطوب
۰/۱۱-۰/۱۵	۴-۸	سنگ آهک
۰/۰۸-۰/۱۳	۵-۱۵	شیل
۰/۰۵-۰/۱۳	۱۵-۴۰	رس
۰/۱۲-۰/۱۵	۴-۶	خاک، ماسه ای خشک
۰/۰۵-۰/۰۸	۱۵-۳۰	خاک، ماسه ای مرطوب
۰/۰۵-۰/۰۸	۴-۶	خاک، آلی خشک
۰/۰۷-۰/۰۹	۱۵-۳۰	خاک، آلی مرطوب
۰/۱۲-۰/۱۵	۴-۶	خاک، رسی خشک
۰/۰۸-۰/۰۹	۱۰-۱۵	خاک، رسی مرطوب
۰/۱۲-۰/۱۵	۴-۶	گرانیت
۰/۱۱-۰/۱۵	۴-۷	نمک، خشک

داده‌های برداشت شده توسط نرم‌افزار Win_Ekko_Pro پردازش شد و خروجی آنها توسط نرم‌افزار Transform ترسیم شد. با توجه به وسعت کم محدوده برداشت ۴۸ × ۶ انتظار نمی‌رفت که بافت خاک تغییرات چندانی در محدوده برداشت داشته باشد، در نتیجه برای تمامی مقاطع از فیلترها و روال پردازش های یکسانی استفاده شد.

۴-۲- پردازش داده‌های GPR

هدف از پردازش داده‌ها از بین بردن نوفه‌های موجود در داده‌ها برای به دست آوردن اطلاعات دقیق اهداف زیر سطحی می‌باشد.

برای پردازش داده‌های حاصل از برداشت ابتدا از فیلتر Dewow استفاده شد. فیلتر Dewow یک فیلتر بالاگذر است که برای گذراندن پیک طیف سیگنال ارسالی برای فرکانس مرکزی یک آنتن خاص طراحی شده است. در این مرحله از پردازش با استفاده از فیلترهای بالاگذر، نوفه‌های با فرکانس بسیار پایین که ناشی از جریانات القایی ایجاد شده در زمین بودند حذف شدند. این گونه از نوفه‌ها موجب مستور ماندن سیگنال‌ها می‌شوند. در گام بعدی پردازش از بهره گسترش نمایی-SEC- استفاده شد. هدف از به کار بردن این بهره جبران افت انرژی ناشی از گسترش موج در محیط به علاوه جبران اتلاف نمایی انرژی ناشی از رسانایی محیط است. همانطور که پالس‌های رادار به طور نمایی تضعیف می‌شوند بهره SEC نیز به صورت نمایی اعمال می‌شود. این بهره با استفاده از اطلاعات مربوط به اتلاف سیگنال ناشی از پخش هندسی و اتلاف نمایی امواج GPR در محیط برداشت، سعی در بازسازی شکل سیگنال و پاسخ‌های بازتابی دارد. سومین فیلتر مورد استفاده فیلتر بالاگذر highpass است که با اعمال این فیلتر سیگنال‌های پایین‌تر از فرکانس معینی حذف می‌شوند.

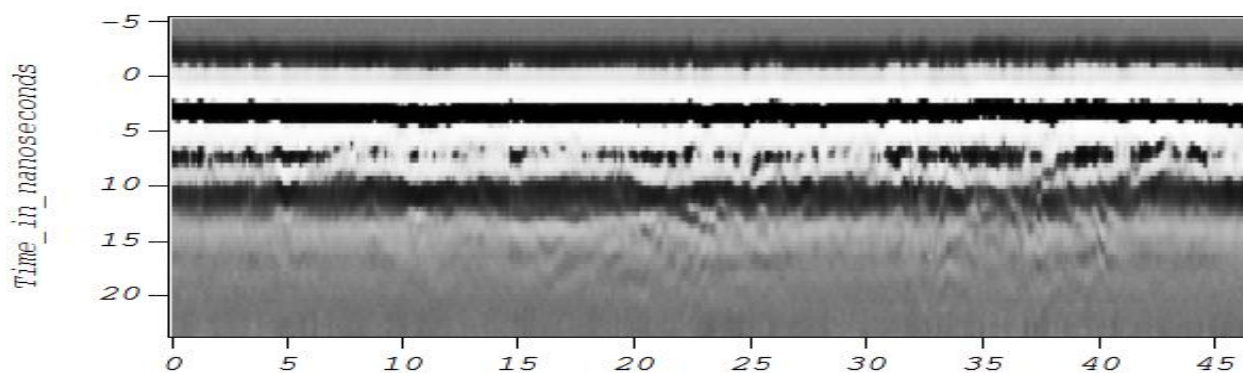
به دلیل رسانندگی بالای محیط برداشت عمق نفوذ بسیار کمتر از حد انتظار بود. و در مواردی که رسوبات دارای دانه‌بندی ریزتری بودند عمق نفوذ بیش از پیش کاهش می‌یافت.

۴-۳- مقاطع عمقی پروفیل‌ها

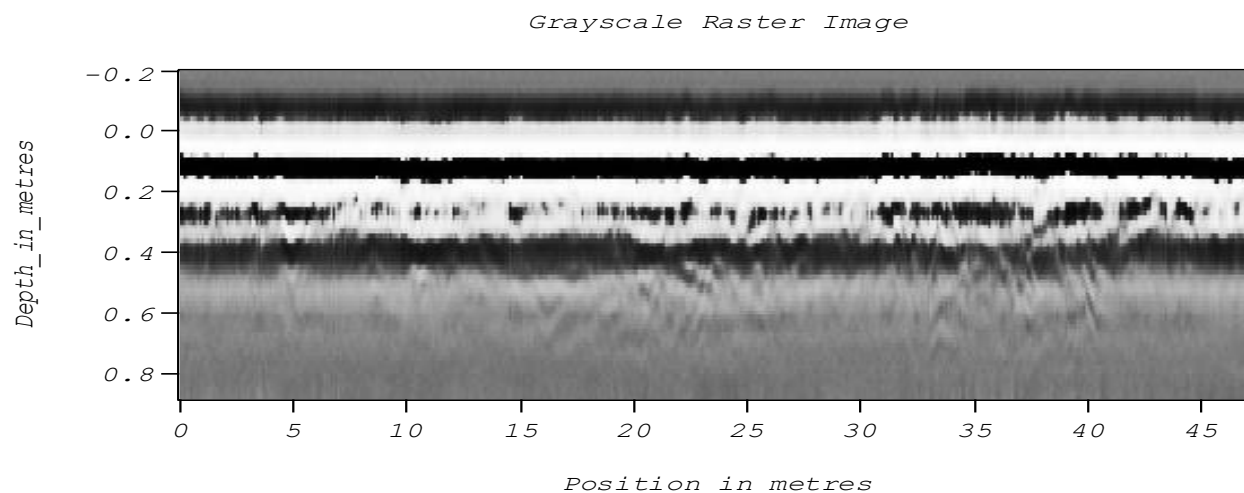
به دلیل نداشتن آگاهی کافی از نحوه رفتار موج در محیط و نتیجتاً محدوده فرکانس‌های سیگنال و نوفه امکان استفاده از یک روند پردازشی مشخص و از پیش تعیین شده وجود نداشت، به همین دلیل سعی شد تا با روش آزمون و خطا و بررسی اثر فیلترها و بهره‌های گوناگون بر روی مقاطع بهترین فرایند پردازش انتخاب شود. از فیلترها و بهره‌های گوناگون بر روی مقاطع بهترین فرایند پردازش انتخاب شود.

از فیلترهای اعمال شده بر روی مقاطع، فیلترهای Dewow، highpass و بهره‌های SEC, AGC, Autogain بر روی داده‌ها اعمال شده است.

در شکل (۴-۲) مقطع خام پروفیل شماره یک آورده شده است، همان طور که از روی این شکل دیده می‌شود اطلاعات خام چندانی از مقطع به دست نمی‌آید. شکل الف (۴-۲) مقطع خام زمانی و شکل ب (۴-۲) مقطع خام عمقی را نشان می‌دهد.

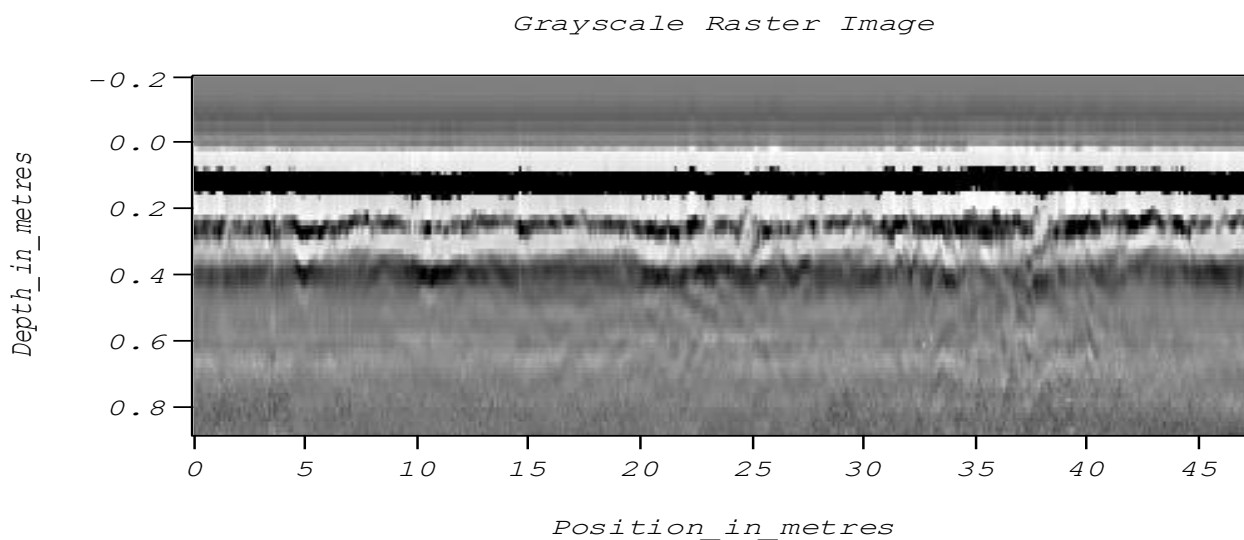


شکل (۲-۴) الف: پروفیل شماره یک قبل از اعمال فیلترها



شکل ب (۲-۴): پروفیل شماره یک قبل از اعمال فیلترها

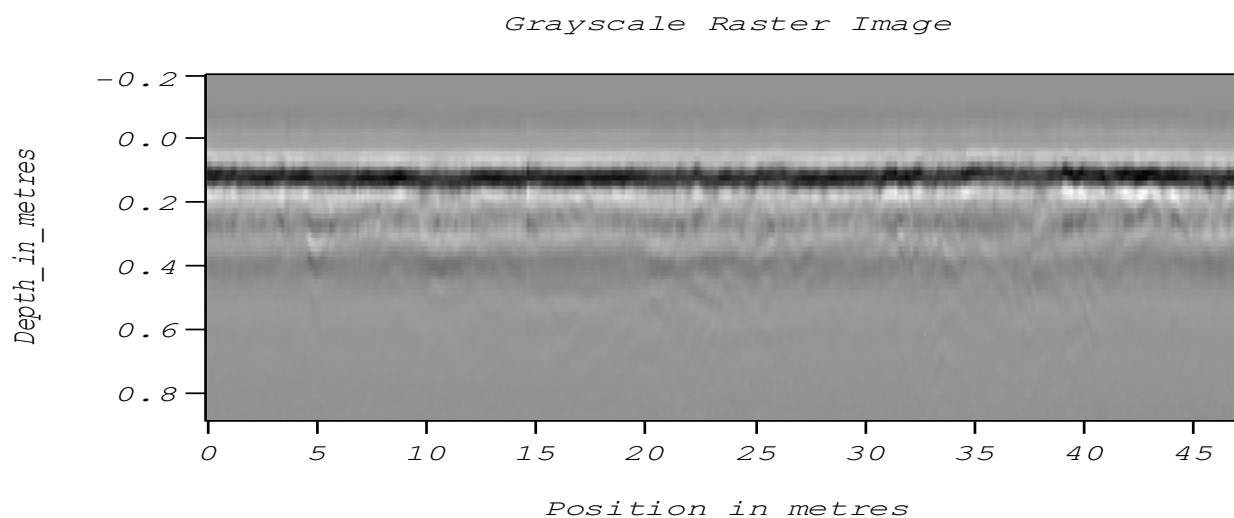
اولین فیلتر اعمال شده بر داده‌ها فیلتر تصحیح اشباع سیگنالی (DEWOW) بوده که تاثیر همزمان آن با بهره اتوماتیک (Autogain) آزموده شده است که در شکل (۳-۴) مقطع پروفیل شماره یک پس از اعمال فیلترهای مذکور به نمایش درآمده است.



شکل (۳-۴): مقطع پروفیل شماره یک بعد از اعمال فیلتر Dewow, Autogain

همان طور که از روی شکل (۳-۴) دیده می‌شود مقطع حاصل از وضوح چندانی برخوردار نیست.

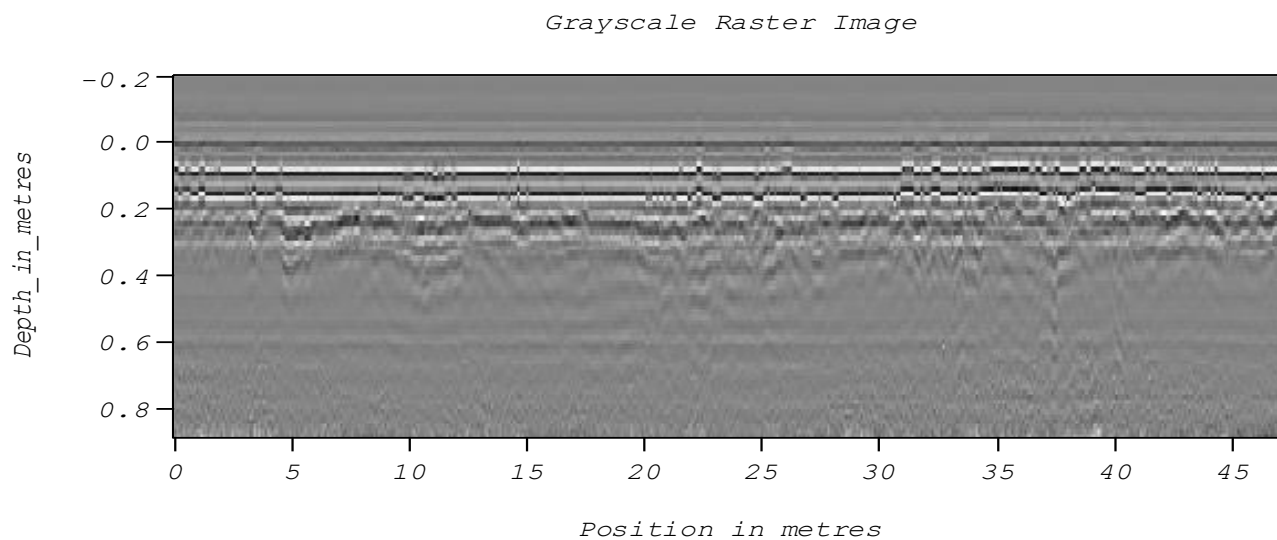
پس از اعمال فیلتر Dewow از بهره SEC برای جبران تضعیف شدگی سیگنال‌ها استفاده شد در اعمال این بهره با استفاده از روش آزمون و خطا ضریب افت $0/4$ و بیشینه بهره اعمالی 300 در نظر گرفته شد که بهترین نتایج در مقاطع مشاهده شد. در شکل (۴-۴) نتیجه اعمال بهره SEC و فیلتر DEWOW بر روی مقطع مورد نظر دیده می‌شود.



شکل (۴-۴): نتیجه اعمال بهره SEC و فیلتر DEWOW بر روی پروفیل شماره یک

پس از اعمال دو مرحله پردازش ذکر شده و نمایان شدن واضح‌تر مقاطع برای بررسی امکان بیشتر شدن وضوح آنها از فیلتر بالاگذر استفاده شد. در این مرحله از فرکانس‌های قطع مختلفی استفاده شد و سرانجام مشخص شد

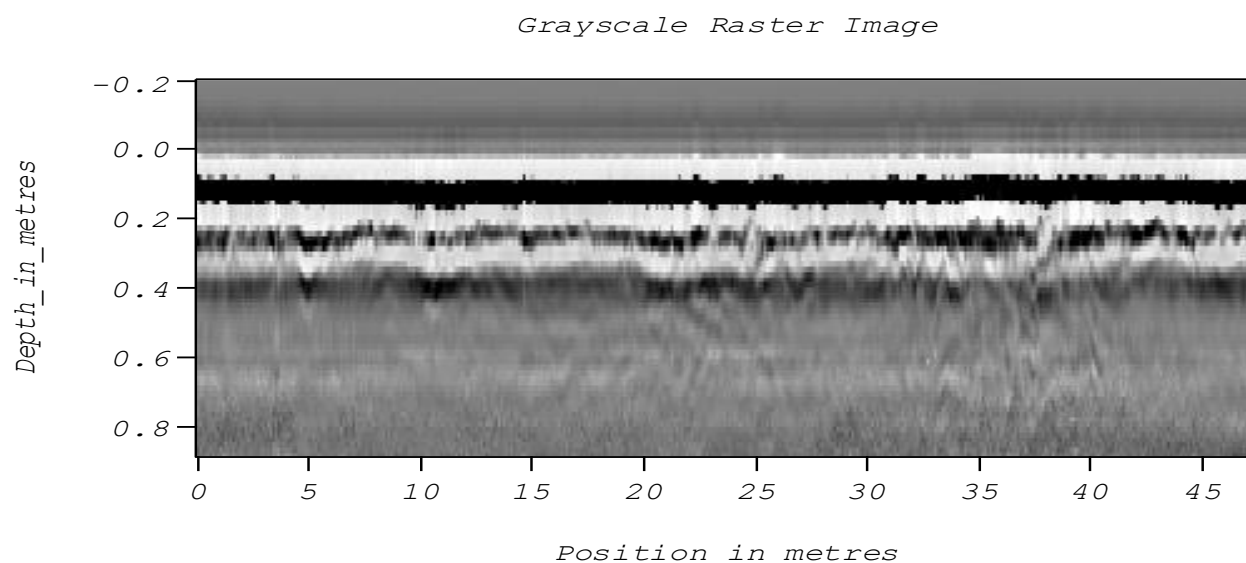
که فرکانس قطع ۳۷۸/۹ مگاهرتز (۳۰٪ فرکانس نایکوئیست^۱) مناسبترین فرکانس برای حذف نوفه‌های موجود بوده است و مقطع حاصل (شکل (۴-۵)) بالاترین وضوح را دارا می‌باشد.



شکل (۴-۵): پروفیل شماره یک بعد از اعمال فیلترهای Dewow, SEC, Highpass

همچنین تاثیر به کار بردن بهره AGC و تصحیح اشباع سیگنالی بدون فیلتر بالاگذر نیز بررسی شد و نتایج به دست آمده حاکی از پایین‌تر بودن کیفیت مقطع حاصل بود در شکل (۴-۶) نتایج نمایش داده شده است.

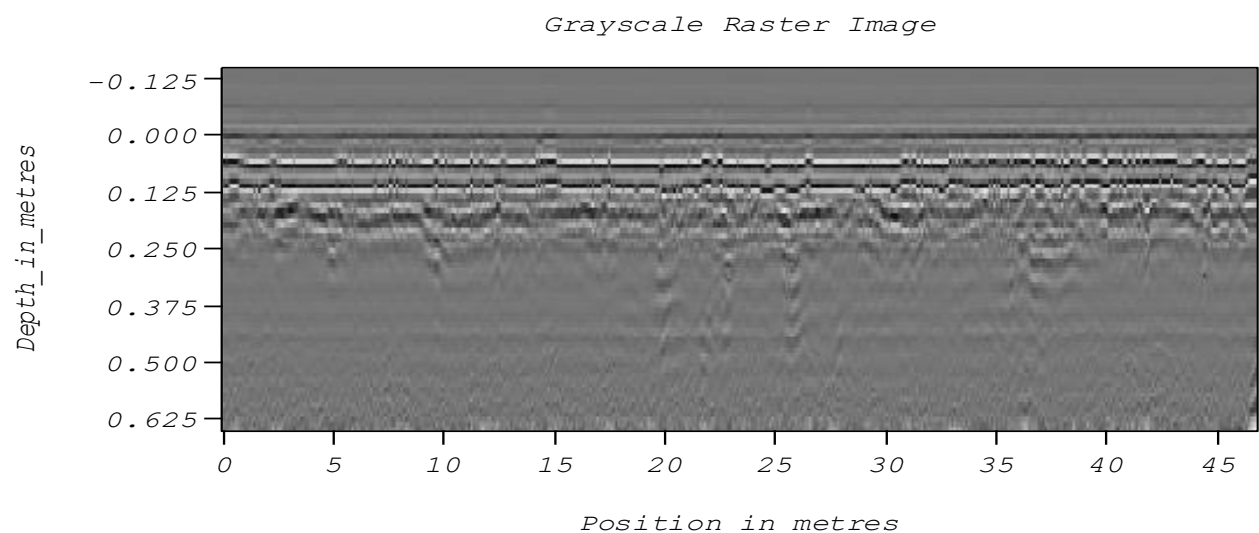
¹ Nyquist frequency



شکل (۴-۶): پروفیل شماره یک بعد از اعمال فیلترهای AGC, DEWOW

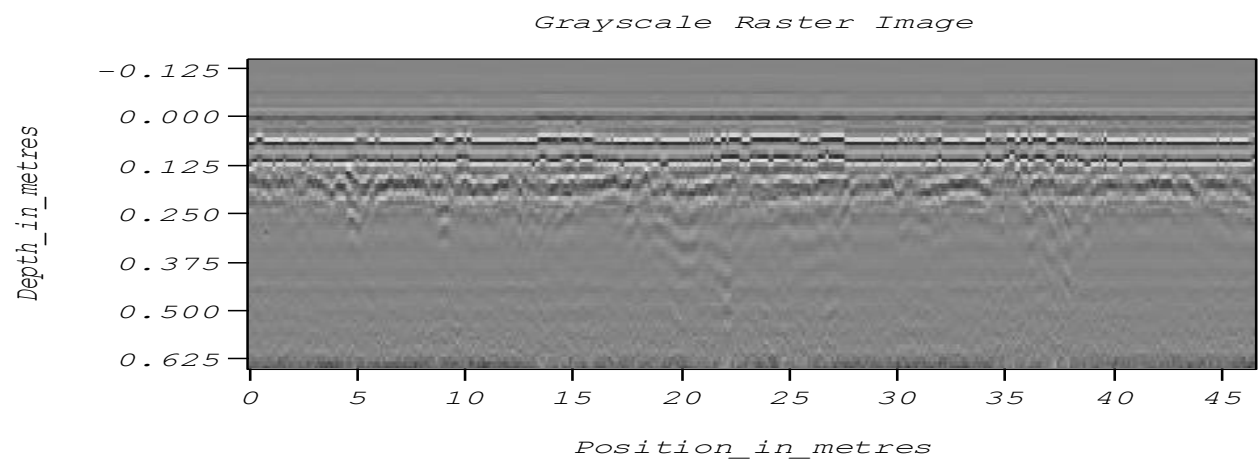
همان‌طور که بیشتر ذکر شده بود به دلیل وسعت کم منطقه و پایین بودن احتمال تغییرات در جنس خاک از ترکیب مراحل پردازشی به دست آمده برای تمامی پروفیل‌های به طور یکسان استفاده شد.

نتیجه مقطع عمقی پروفیل شماره دو در شکل (۴-۷) نشان داده شده است.



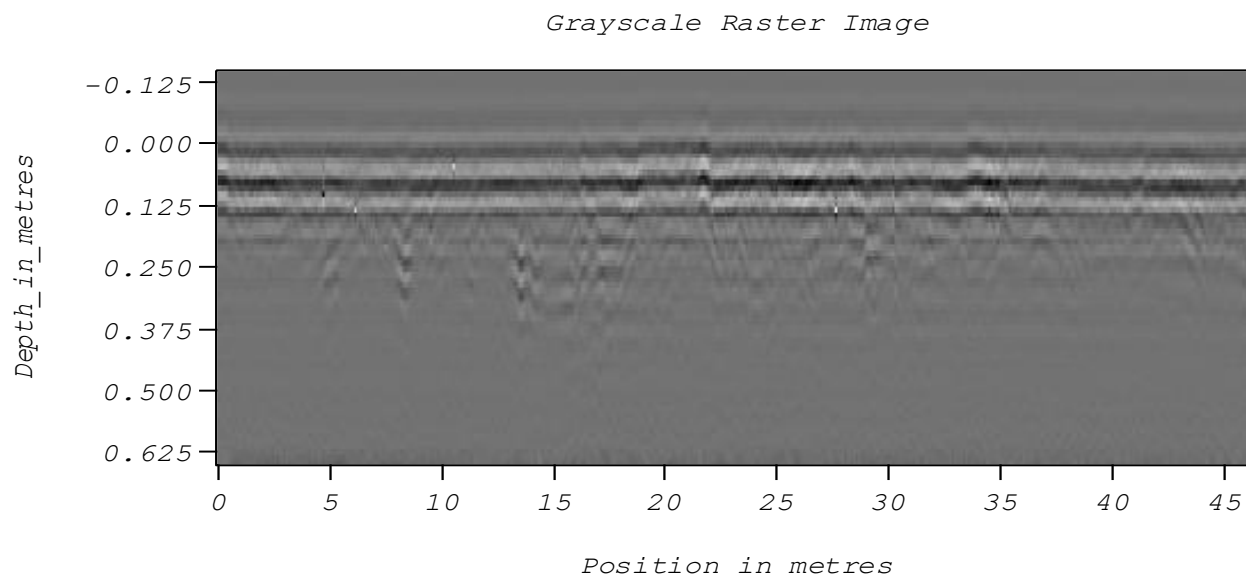
شکل (۷-۴): مقطع پروفیل شماره ۲ بعد از فیلترهای Dewow,SEC,Highpass

مقطع عمقی پروفیل شماره ۳ در شکل (۸-۴) آورده شده است.



شکل (۸-۴): مقطع پروفیل شماره ۳ بعد از فیلترهای Dewow,SEC,Highpass

مقطع عمقی پروفیل شماره ۴ در شکل (۹-۴) نشان داده شده است.



شکل(۹-۴): مقطع پروفیل شماره ۴ بعد از فیلتر های Dewow,SEC,Highpass

۴-۴- تفسیر مقاطع

پس از اتمام مراحل پردازش، مقاطع برای تفسیر مورد بررسی قرار گرفتند. همانطور که در مقاطع GPR نشان داده شده است در قسمت‌های از پروفیل شماره سه عمق نفوذ نسبت به پروفیل شماره یک کاهش یافته است که علت این پدیده احتمالاً ناشی از افزایش رسانندگی در اثر بافت دانه ریز، حضور رس -رس ها به دلیل وجود آب در ساختار شبکه ایشان، رسانندگی را افزایش می‌دهند و تأثیرات نامطلوبی بر نفوذ امواج می‌گذارند- و وجود رطوبت در منطقه مورد نمونه‌گیری دانست.

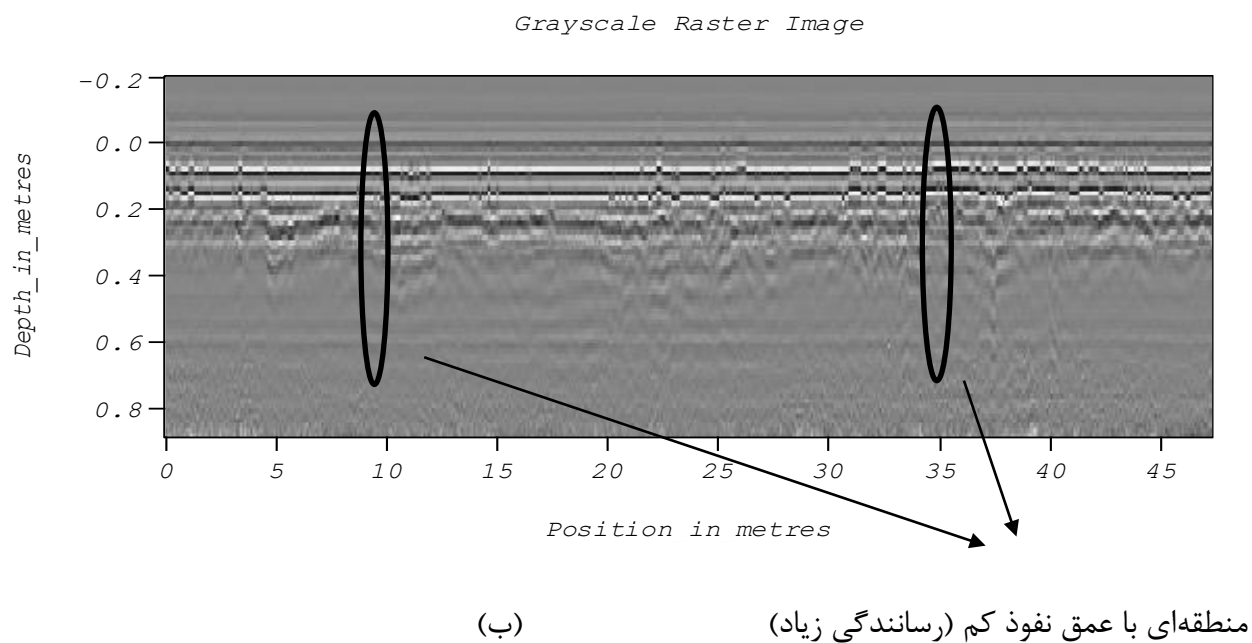
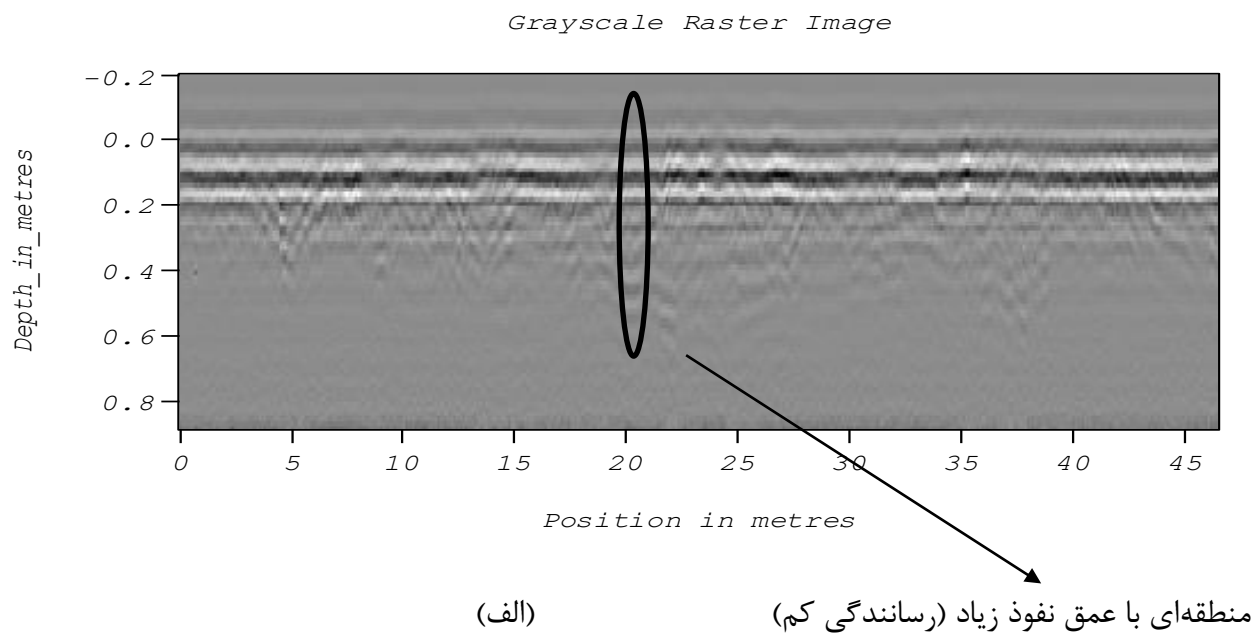
در مرحله بعدی از تحقیق ۹ نمونه از عمق‌های مختلف پروفیل شماره یک و سه اخذ شد و در آزمایشگاه بافت آنها با استفاده از روش پیکومتری - روش تعیین بافت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت برای تعیین رطوبت نمونه‌های برداشت شده از دستگاه گرمخانه (اوون) استفاده شد و نتایج به دست آمده در جدول (۴-۲) آورده شده است.

جدول (۴-۲): نتایج حاصل از انجام آزمایش بر روی نمونه‌ها در آزمایشگاه

درصد رطوبت وزنی	میزان شن	میزان سیلت	میزان رس	نمونه اول پروفیل ۳
۶٪	۳۶٪	۲۰٪	۴۴٪	عمق ۱۰ Cm
۵/۷۵٪	۳۷٪	۲۰٪	۴۳٪	عمق ۳۰ Cm
۹٪	۳۰٪	۱۸٪	۵۲٪	عمق ۵۰ Cm
درصد رطوبت وزنی	میزان شن	میزان سیلت	میزان رس	نمونه دوم پروفیل ۳
۶٪	۲۴٪	۲۸٪	۴۸٪	عمق ۱۰ Cm
۵٪	۲۴٪	۲۶٪	۵۰٪	عمق ۳۰ Cm
۴/۷۷٪	۱۴٪	۱۸٪	۶۶٪	عمق ۵۰ Cm
درصد رطوبت وزنی	میزان شن	میزان سیلت	میزان رس	نمونه سوم پروفیل ۱
۳٪	۵۰٪	۱۶٪	۳۴٪	عمق ۱۰ Cm
۳٪	۵۰٪	۱۸٪	۳۲٪	عمق ۳۰ Cm
۴/۳۳٪	۳۱٪	۲۰٪	۴۹٪	عمق ۵۰ Cm

همان طور که در جدول (۴-۲) مشاهده می‌شود نمونه گرفته شده از پروفیل اول، هم از لحاظ میزان خاک متراکم-تر و هم از لحاظ رطوبت کمتر از نمونه اول و دوم پروفیل شماره سه است و این نشان می‌دهد که امواج رادار در

پروفیل اول عمق نفوذ بیشتری نسبت به پروفیل شماره سه داشته باشند. در شکل (۴-۱۰) در قسمت‌های مشخص شده نتایج آزمایشگاهی با مقاطع پردازش شده مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل (۴-۱۰): الف) مقطع فیلتر شده پروفیل شماره یک و ب) مقطع فیلتر شده پروفیل شماره سه

همان طور که در شکل (۴-۱۰) مشاهده می‌شود در محدوده‌های مشخص شده در قسمت (الف) عمق نفوذ بالاست اما در قسمت (ب) عمق نفوذ بسیار کم می‌باشد. علت این رخداد را می‌توان به حضور خاک با دانه‌بندی ریز (بافت متراکم‌تر) و حضور رطوبت نسبت داد با وجود این دو عامل عمق نفوذ به شدت تحت تأثیر قرار گرفته است. این نتایج با نتایج آزمایشگاهی به دست آمده از انجام آزمایش بر روی نمونه‌های خاک گرفته شده انطباق خوبی داشته است.

فصل پنجم

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۵-۱- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی شده در این تحقیق، می‌توان نتایج زیر را ذکر نمود:

- به دلیل قدرت تفکیک ذاتی بالاتر روش GPR و شبکه متراکم برای این روش، انتظار بر این بود که تصاویر نهایی GPR از وضوح و قدرت تفکیک بالاتری برخوردار باشند ولی با توجه به رسانندگی بالای محیط به دلیل وجود میزان بالای رس، امواج GPR به سرعت مستهلک شده و عمق نفوذ به ندرت بیش از ۵۰ سانتی‌متر بوده است.
- با توجه به عمق نفوذ کم امواج GPR علی‌رغم مراحل پردازش متنوعی که بر روی داده‌ها اعمال شد فیلترهای گوناگون در افزایش کیفیت داده‌ها چندان مؤثر نبوده و بهترین حالت ممکن از اعمال توأمان سه فیلتر Dewow و SEC و Highpass حاصل شده است.
- نتایج آزمایشگاهی حاصل از انجام آزمایش بر روی نمونه‌های خاک اخذ شده از عمق‌های مختلف با تفسیر مقاطع GPR در توصیف رسانندگی خاک انطباق خوبی داشته‌اند.

۵-۲- پیشنهادات

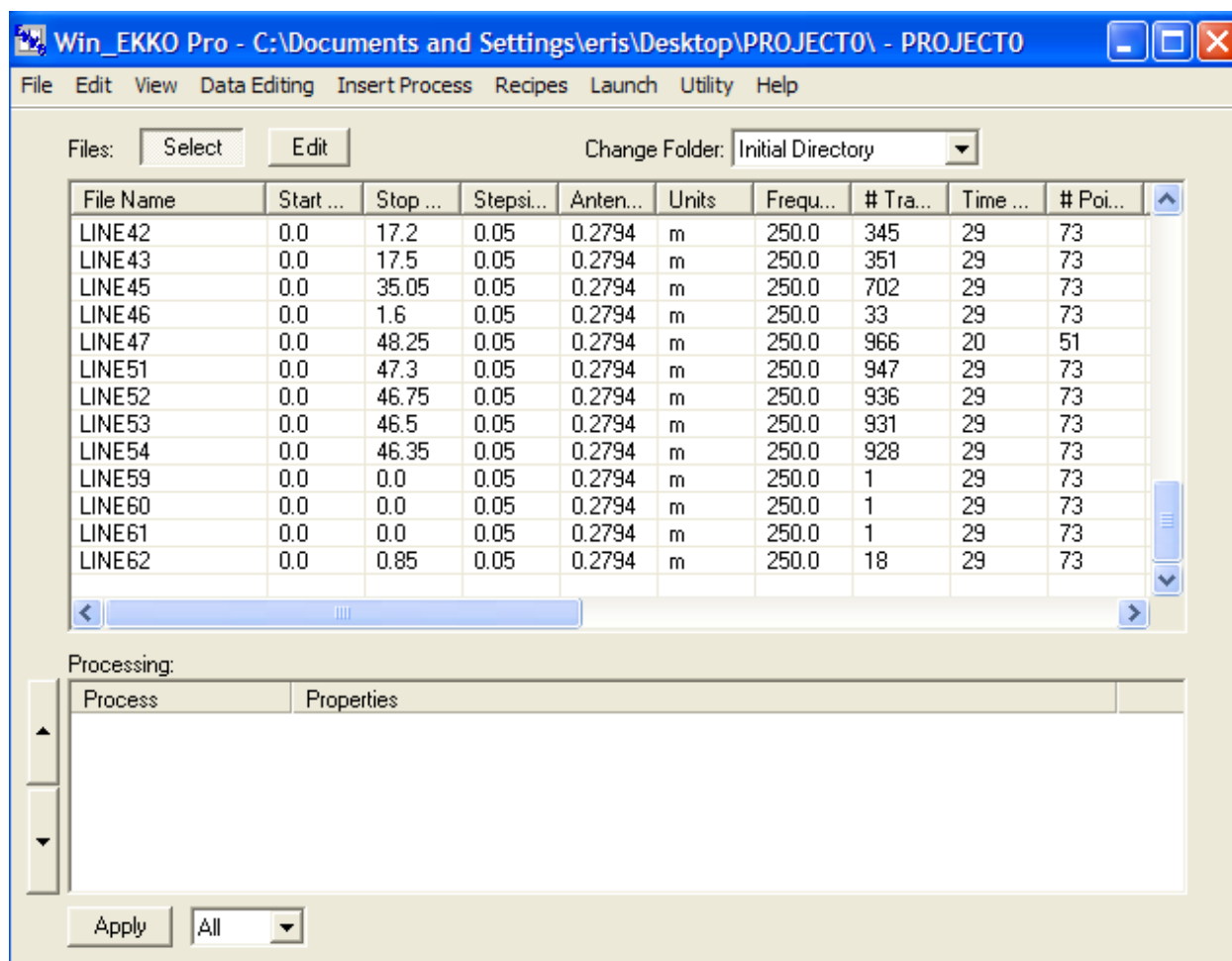
- به طور کلی برای رسیدن به نتایج قطعی و پی‌بردن به صحت نتایج، تکرار عملیات برداشت در چند برهه زمانی متفاوت پیشنهاد می‌شود.
- تعیین میزان رطوبت خاک در فصل‌های مختلف سال برای تعیین زمان آبیاری در کشاورزی، یکی از مسائل چالشی و مورد نیاز متخصصین این رشته است. با توجه به کاربرد نسبتاً موفق روش GPR در

تعیین میزان تقریبی یا کیفی رطوبت خاک، استفاده از روش ارزان و سریع GPR برای نیل به این هدف توصیه می‌شود.

پیوست: معرفی نرم افزار Win_EKKo Pro

Win_EKKo Pro یک بسته نرم افزاری برای ویرایش، پردازش و نمایش داده های GPR تولید شده توسط دستگاه های شرکت Sensors & Software می باشد. این نرم افزار برای کاربرانی که نیاز به ویرایش، پردازش و ترسیم حجم وسیعی از داده های GPR با سرعت و با کیفیت بالا دارند، طراحی شده است.

در شکل پ-۱ صفحه اصلی این نرم افزار به نمایش در آمده است. همان طور که از این شکل دیده می شود این نرم افزار از یک جدول قابل فهم و ساده برای نمایش مشخصات داده های GPR و همچنین پارامترهای برداشت، استفاده می کند. در هر سطر یک فایل GPR به صورت مجزا قرار گرفته است. هر یک از این فایل ها معمولاً یک پروفایل برداشتی GPR می باشند. حداکثر تعداد ستون های این جدول ۲۲ ستون می باشد. قابلیت نمایش و عدم نمایش هر یک از این ستون ها با استفاده از سربرگ Edit که در صفحه اصلی نرم افزار دیده می شود، در اختیار کاربر می باشد. در این ستون ها به ترتیب از چپ به راست، اطلاعاتی نظیر نام فایل، موقعیت مکانی ابتدا و انتهای پروفایل ها، فواصل ایستگاهی، فاصله آنتن ها، واحد اندازه گیری فواصل، فرکانس مرکزی دستگاه، تعداد رده های برداشتی، پنجره زمانی و... به نمایش در آمده است. نمایش اطلاعات مربوط به داده های برداشتی و هر یک از پارامترهای برداشت به این شیوه، تشخیص سریع خطاهای موجود در داده های برداشتی را ممکن می سازد. کاربر می تواند به راحتی با راست کلیک بر روی ستون های مربوطه و مشاهده امکان های موجود ویرایش برای هر یک از پارامترهای برداشت، در حین مشاهده این پارامترها آنها را برای مراحل پردازش بعدی، تصحیح نماید. ویرایش و پردازش هر یک از فایل ها و یا تمام پروژه توسط این نرم افزار امکان پذیر است.



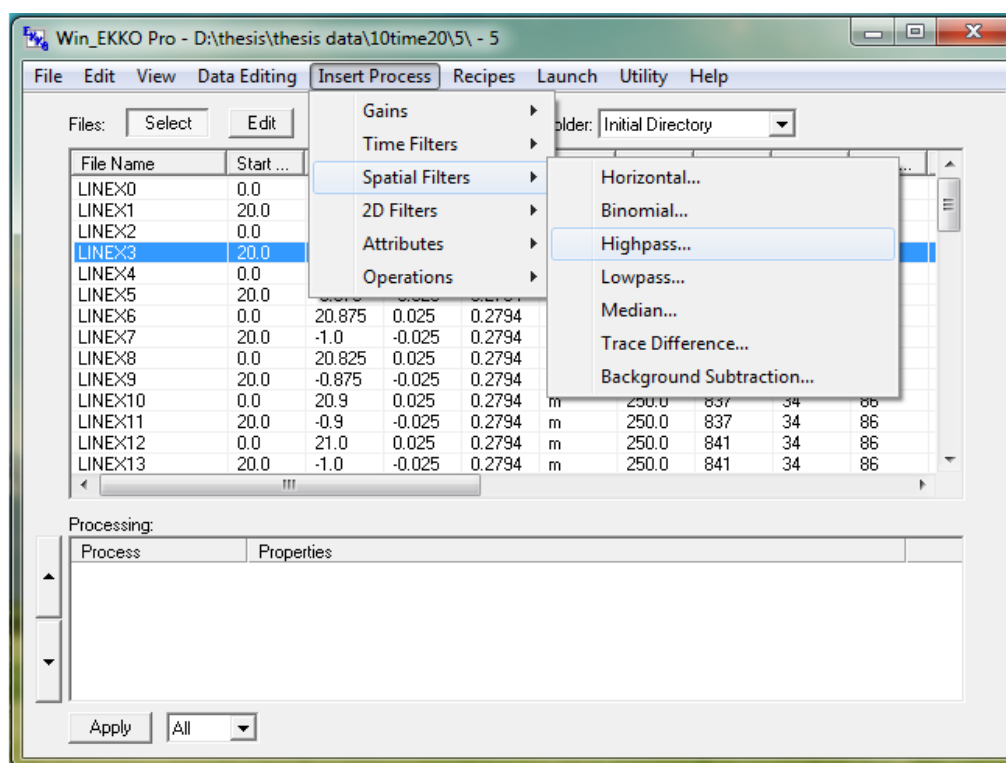
شکل پ-۱: صفحه اصلی نرم افزار Win_EKKo Pro

در این نرم افزار بر خلاف برخی دیگر از نرم افزارهای موجود این شرکت، اعمال روند پردازش و پارامترهای هر عملگر پردازش، به صورت تام در اختیار کاربر می باشد. به این ترتیب که در هر مرحله از پردازش با مشاهده مقاطع، رده های جداگانه، میانگین طیف فرکانس و میانگین دامنه بر حسب زمان، موفقیت و یا عدم موفقیت در یک روند پردازش، توسط کاربر قابل درک است.

در این نرم‌افزار داده‌های اولیه در یک پوشه اولیه ذخیره شده و داده‌های ویرایش و پردازش یافته در زیر پوشه‌ای از داده‌های اولیه قرار می‌گیرند. از این‌رو داده‌های اولیه بدون هیچ تغییری دست نخورده باقی مانده و مجدداً در هر زمانی می‌توان برای فعالیت‌های بعدی از آنها استفاده کرد. در هر مرحله از پردازش و اعمال یک روند ویرایش و پردازش خاص، می‌توان داده‌ها را در یک زیر پوشه جدید ذخیره کرد. به این ترتیب در هر مرحله امکان مقایسه مقاطع به دست آمده از پردازش‌های مختلف نیز وجود خواهد داشت.

ویرایش داده‌ها شامل ۲۵ عملیات مختلف است. اعمال این عملیات با استفاده از سربرگ Edit و یا با راست کلیک بر روی ستون‌های پارامترهای مورد نظر امکان پذیر است. از جمله این موارد می‌توان به گزینه‌های ترکیب افقی و عمودی داده‌ها، اضافه کردن داده‌های توپوگرافی، تبدیل فرمت داده‌ها، ویرایش اطلاعات مربوط به داده‌های عنوان از جمله فاصله و فرکانس آنتن‌ها، تصحیح موقعیت ابتدا و انتهای پروفیل‌ها و فواصل ایستگاهی، انتخاب یا حذف قسمتی از داده‌های GPR برای نمایش آنها، تغییر جهت پروفیل، حذف ردهای تکراری و درون‌یابی ردهای جا مانده اشاره کرد.

اولین مرحله از پردازش داده‌ها ساخت یک فهرست از عملیات پردازش است. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، پنجره پردازش در زیر جدول داده‌ها در صفحه اصلی نرم‌افزار قرار گرفته است. عملیات پردازش انتخابی در این پنجره فهرست می‌شوند و به ترتیب اولویتی که کاربر تعریف می‌کند، قابل اعمال بر داده‌ها می‌باشند. مراحل پردازش با استفاده از سربرگ Insert Processing به این لیست اضافه می‌شوند و با انتخاب فایل مورد نظر، روند پردازش مربوطه بر روی داده‌ها اعمال می‌شود. در صورت بروز خطا در پارامترهای پردازش در هر عملگر پردازش، در این پنجره امکان تصحیح پارامترهای مورد نظر و تغییر روند و توالی عملگرهای پردازش در این پنجره وجود خواهد داشت. مراحل پردازش به صورت انفرادی و یا کلی قابل اعمال بر داده‌ها می‌باشند. این امکان از گزینه Apply در پایین جدول داده‌ها در شکل پ-۲ موجود است.



شکل پ-۲: اعمال علگرهای پردازش که از سربرگ Insert Processing امکان پذیر است.

پردازش داده‌ها شامل ۳۰ عملگر پردازش مختلف می‌باشد. از مهمترین این عملگرها می‌توان به انواع بهره‌ها، فیلترهای زمانی نظیر Dewow، فیلترهای بالاگذر، پایین‌گذر و میان‌گذر، انواع فیلترهای مکانی برای حذف بازتاب-کننده‌های افقی و افزایش اثر بازتاب‌کننده‌های شیب‌دار نظیر بالاگذر، تفاضل ردها و تفاضل زمینه اشاره کرد. از جمله فیلترهای مکانی دیگر می‌توان فیلتر افقی و پایین‌گذر برای حذف بازتاب‌کننده‌های شیب‌دار و افزایش اثر بازتاب‌کننده‌های افقی را نام برد. این نرم‌افزار قابلیت اعمال پردازش‌هایی نظیر مهاجرت، مشخصه‌های دامنه، فاز و فرکانس بر روی داده‌ها را دارا می‌باشد.

توضیح و حتی معرفی تمام این گزینه‌ها در خصوص ویرایش و پردازش داده‌ها در این مجال کم میسر نیست و برای مطالعه بیشتر در این زمینه مراجعه به راهنمای این نرم‌افزار خالی از فایده نیست. چه بسا برای درک بهتر تئوری و روند پردازش داده‌ها مراجعه به منابعی در خصوص پردازش داده‌های لرزه‌ای می‌تواند بسیار مفید واقع شود.

نمایش داده‌های GPR با استفاده از سربرگ View امکان‌پذیر است. همچنین با راست کلیک بر روی نام پروفایل-های مورد نظر، مشاهده مقاطع دو بعدی داده‌های GPR، ردهای جداگانه، پردازش‌های به کار رفته بر روی هر یک از فایل‌ها، اطلاعات مربوط به ردها که در حین برداشت و یا بازبینی داده‌ها به آنها اضافه می‌شوند، امکان‌پذیر است. لازم به توضیح است که این نرم‌افزار به صورت مستقل قادر به نمایش مقاطع دو بعدی داده‌های GPR نبوده و برای مشاهده این مقاطع از نرم‌افزار Transform استفاده می‌شود.

منابع

- اشرف ش، (۱۳۸۳) "خاک شناسی". جلد اول، انتشارات بنیان علوم تهران، ص ۱۹۷
- بایوردی م، و کوهستانی ا، (۱۳۶۶) "خاک، تشکیل و طبقه بندی". جلد اول، چاپ پنجم، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ص ۶۴۶
- جعفری م، و سروریان ف، (۱۳۸۹) "مبانی خاک شناسی و رده بندی خاک". جلد اول، چاپ سوم، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ص ۷۸۱
- رشمه کریم ا، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "کاربرد روش های ژئوفیزیکی رادار نفوذی به زمین (GPR) و توموگرافی مقاومت ویژه (ERT) در کاوش های باستان شناسی، مطالعه موردی تپه حصار دامغان"، دانشکده نفت، معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود،
- عباس نژاد ا، (۱۳۸۴)، "خاک شناسی برای زمین شناسان". جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص ۵۳۵
- عشقی ح، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: "برداشت، پردازش و تفسیر داده های رادار نفوذی به زمین (GPR) به منظور شناسایی ساختارهای زیر سطحی در منطقه جنوب شرقی دریاچه خزر"، دانشکده نفت، معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود،
- محمدی م، (۱۳۸۵)، "خاک شناسی کشاورزی"، چاپ اول، انتشارات سپهر، تهران، ص ۲۴۵

Baker G. Jordan T. and Pardy J. (2007) **“An introduction to ground penetrating radar (GPR)”** The Geological Society of America, special paper **432**, pp **181**.

Cassidy N. J. (2009) “Electrical and magnetic properties of rocks, soils and fluids”, in: ground penetrating radar: Theory and Applications, Jol H. M., Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. **41-72**.

Conyers L. B., Goodman D. (2004) **"Ground-Penetrating Radar An Introduction for Archaeologists"**. Altaamira press. USA. pp. 232.

Daniels D. J. (2004) **“Ground Penetrating Radar_2nd Edition”**. In: The institution of Electrical Engineers, London, united Kingdom, pp.734.

Freeland R. S. Wells L. G. and Dodd R. B. (1996) “Assessing soil properties for site specific agriculture using Ground penetrating radar” :**proceeding of the symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental problems, SEG, pp. 1115-1123**

Howe A. (2000) PhD. Thesis, “Ground Penetrating Radar for the parameterization of subsurface hydrological properties”, Geography depart, Kings college London.

Jol H. M. (2009) **“Ground Penetrating Radar: Theory and Applications”**. Oxford: Elsevier Science, pp. **508**.

Jol H. M. Smith D. G. (1991) **“Ground Penetrating Radar of northern locustine datas”** Can J. Earth sci, 28, pp.1939-1947

Knoll M.D. Knight R. (1994) **“Relationships between dielectric and hydrogeologic properties of sand-clay mixtures”** proceedings of the 5th international conference on Ground Penetrating Radar. Kitchener, Ontario, pp.45-61

Lai W.L. and Tsang W.F. (2005) “Characterization of soil texture by dielectric constant using Ground Penetrating Radar and cyclic variation of moisture constant of soils”, **SEG, Houston annual meeting, NSE P1.2, pp.1194-1195**.

Moller I. (2006) **"Inglise Moller"**, Burval, pp.99

Neal A. (2004) “**Ground Penetrating Radar and its use in sedimentology**”: principles, problems and progress:Earth-science reviews, 66, pp.261-330

Olhoeft G. (1998) “Electrical, magnetic, and geometric properties that determine ground penetrating radar performance”: **proceedings of GPR '98, seventh international conference on Ground Penetrating Radar, University of Kansas, pp. 177-182.**

Reynolds J. M. (1997) “**An Introduction to Applied and environmental Geophysics.**”John Wiley and Sons Ltd. UK. pp 806

Software& Sensors. (1999) "Win_EKKO user's Guide".

Schenk C. J. Gautier D. L. Olhoft G. R. And Lucius J. E. (1993) “**Internal structure of an aeolian dune using Ground Penetrating Radar**” in: Aeolian sediments: ancient and modern, Ed. By Pye K. and Lancaster N., international association of sedimentology special publication, 16, Black well, Oxford, pp.61-69

Takahashi K. Lgel J. Preetz H. and Kroda S. (2012) “Basics and Application of Ground-Penetrating Radar as a Tool for Monitoring Irrigation Process”: **Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management., 8, pp. 154-180**

Ulaby F. (2001) “**Fundamentals of applied electromagnetics**”: Upper Saddle River N. J. Prentice-Hall.

Ulirixsen C. P. F. (1982) “ Application of impulse radar to civil engineering”, Ph.D. thesis, Lund university of technology, pp.175

Van Dam R. L. (2001) “cause of ground penetrating radar reflection in sediment” Ph.D. thesis, univ, Amesterdam.

Yilmaz O. (2001) “**Seismic Data Analysis**”, soc, Explor, Geophysic, Tulsa.

Abstract

In recent years, applying GPR method in investigating depth and engineering fields has been increased because of its high accuracy and speed. GPR method based on relative electrical permittivity between the two environments is introduced as a target exploration. In this study, GPR method, have been studied for soil classification and agricultural suitability. For this reason, the method to evaluate the subsurface soil on the farm, Bastam (Shahrood campus) has been used as a case study, and 4 Radar profiles along the grid lines designed and surveyed. Then with appropriate filters applied on data processing and interpretation of the results and also the relationship between the GPR method and gender or type of soil and determine the approximate amount of granular material, fine and coarse grain (Clay, silt and sand) based on GPR results, descriptive categories studied include humidity, soil type in terms of fine and coarse grain and other physical properties of the soil was done.

Moreover, for verification or calibration results, with a hand drill in the agricultural field Bastam number of samples in the shallow subsurface soil samples were taken and the characterization and classification of soil samples with carrying out tests set texture and set the humidity level in the laboratory university, and obtained results were compared with the processing, analysis and interpretation of GPR data. Generally, the results of laboratory soil samples taken from different depths and relatively low beneath the Earth's surface is acceptable.

High penetration depth of the radar waves in the central part of the profiles of a number of clay and low humidity in this part attributed these results also agree well with experimental results. Also the minimal depth of penetration of radar waves at the beginning and end of profile 3, indicates the high electrical conductivity of the subsoil due to high humidity and dense clay material in this section, that have been also confirmed by the experimental results. Therefore, the GPR method is relatively inexpensive, quick and is possible to determine the type of soil, humidity and grain coarse and fine grain and finally, a description scheme for classifying subsurface soil and other soil physical properties, Suitable for agriculture or not.

Keywords: GPR, Soil texture, Humidity, Laboratory results



Shahrood University

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

MSc Thesis In Exploration Geophysics

**Descriptive classification of soils and their suitability for agriculture
using the GPR method - A case study: Bastam agricultural farm**

By:

Afsaneh Messri

Supervisors:

Dr. Abolghasem Kmakar Rouhani

Dr. Ali Reza Arab-Amiri

Advisor:

Dr. Hadi Ghorbani

Arjang Rashmehe Karim

Jan. 2014