



تاسیس ۱۴۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران – گرایش خاک و پی

عنوان پایان نامه

آنالیز نتایج به دست آمده از دستگاه GPR توسط موجک‌ها

GPR Results Analysis Using Wavelets

استاد راهنما

دکتر قاسم زاده

نام دانشجو: مهدی جوادی

شماره دانشجویی: ۸۶۰۱۸۴۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

با تشکر از زحمات جناب آقای دکتر حسن قاسم‌زاده که هدایت این پایان‌نامه را به عهده داشته‌اند.

چکیده

دستگاه *GPR* (Ground Penetrating Radar) بر اساس تئوری الکترومغناطیس عمل نموده و پروفیل‌هایی را از سطوح داخلی محیط برداشت شده ارائه می‌دهد. *GPR* شامل آنتن گیرنده و فرستنده است که آنتن فرستنده پالس الکترومغناطیس را در سطح زیرین زمین انتشار می‌دهد و سپس از روی سطوح مواد مختلف به دلیل اختلاف در ثابت دی‌الکتریک آن‌ها انعکاس می‌یابد. انرژی منعکس شده به طرف سطح زمین حرکت کرده و توسط آنتن گیرنده ثبت می‌گردد. نتایج ثبت شده توسط روش‌های مختلف تحلیل می‌گردد.

در این تحقیق، الگوریتم جدیدی جهت تصویربرداری با استفاده از دستگاه *GPR* با فاصله آنتن ثابت ارائه شده است. مدل حاضر، حل مسئله به روش معکوس توسط تابع گرین برای محیط متشکل از دو لایه می‌باشد. مدل ارائه شده با استفاده از الگوریتم موجک گلرکین جهت حل معادلات انتگرالی به صورت معکوس حل می‌گردد. از روش تیخونوف استاندارد نیز جهت مطلوب‌سازی مسئله معکوس استفاده شده است. نتایج عددی جهت ارائه نحوه عملکرد حل معکوس ارائه شده‌اند.

پردازش تصاویر نیز در روش *GPR* از اهمیت خاصی برخوردار است. سیگنال‌های *GPR* به راحتی می‌توانند تحت تأثیر عوامل مختلف به پارازیت آلوده شوند. پارازیت‌های جمع‌آوری شده توسط سیستم، انعکاسات ضعیف ناشی از ناهمگنی‌های موجود در محیط، به ویژه در اعماق زیاد را آلوده و شناسایی آن‌ها را غیر ممکن سازد. با انجام مطالعات در محل، نتایج برداشت‌های انجام شده توسط *GPR* بر روی معدن گرانیت جهت شناسایی درزه و ترک در سنگ‌ها، بلوک‌های سنگ و مشخص کردن مرز گرانیت در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. بدین جهت از تبدیل موجک گسسته دو بعدی جهت پارازیت‌زدایی تصاویر استفاده شده است. تبدیل موجک گسسته دو بعدی بر روی پروفیل‌های به دست آمده با آنتن ۲۵ مگاهرتزی و استفاده از موجک‌های مادر مختلف انجام و نتایج با نرم‌افزار تجاری *RadExplorer* نیز مقایسه شده است. عملکرد پارازیت‌زدایی تصاویر به روش موجک توسط پارامتر *SNR* ارزیابی شده است. از جمله مشکلات موجود در آنالیز پروفیل‌های به دست آمده، محاسبات عمق می‌باشد که بر اساس ثابت دی‌الکتریک انجام می‌گردد. برای کنترل نتایج، حفره‌ای در عمق مشخص از خاک حفاری شده و با استفاده از *GPR* موقعیت و عمق آن مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور انعکاس پالس‌های الکترومغناطیس ارسالی توسط دستگاه به کمک روش‌های عددی جهت شناسایی ثابت دی‌الکتریک، جنس خاک و انجام محاسبات عمق تحلیل گردید. همچنین بر روی نمونه خاک به دست آمده از محل آزمایشات تعیین ثابت دی‌الکتریک به روش خازنی انجام شده و با نتایج بدست آمده مقایسه شده است.

فهرست مطالب

فهرست مطالب

چکیده	ز
مقدمه	۱
شرح دستگاه <i>GPR</i>	۱
هدف از انجام تحقیق	۱
روش تحقیق	۲
مراحل انجام پایان نامه	۲

فصل اول: مروری بر ادبیات موضوع

۱-۱-مقدمه	۴
۲-۱-تاریخچه دستگاه <i>GPR</i>	۴
۳-۱-تاریخچه موجک‌ها و استفاده از موجک در روش <i>GPR</i>	۵
۳-۱-۱-مروری بر موجک‌ها	۵
۳-۱-۲-کاربرد موجک در روش <i>GPR</i>	۹
۵-۱-مدل‌سازی عددی	۱۰
۶-۱-روش‌های آزمایشگاهی محاسبه ثابت دی‌الکتریک خاک	۱۱
۶-۱-۱-روش‌های اندازه‌گیری	۱۱
۶-۱-۱-۱-روش <i>Time Domain Reflectometry (TDR)</i>	۱۱
۶-۱-۲-پروب هم‌محور با انتهای باز <i>Open-ended coaxial probe</i>	۱۲
۶-۱-۳-سیستم خط انتقال هم‌محور <i>Coaxial transmission line system</i>	۱۳

فصل دوم: معرفی دستگاه *Ground Penetrating Radar*

۲-۱-مقدمه	۱۶
۲-۲-معرفی دستگاه <i>GPR</i>	۱۷

۱۷	.....	۱-۲-۲	مشخصات دستگاه <i>GPR</i>
۱۸	.....	۲-۲-۲	واحد کنترل رادار <i>CUII</i>
۱۹	.....	۳-۲-۲	مشخصات فنی واحد کنترل <i>CUII</i>
۱۹	.....	۴-۲-۲	آنتن <i>RAMAC RTA</i>
۲۰	.....	۵-۲-۲	مشخصات فنی آنتن <i>RAMAC RTA</i>
۲۰	.....	۳-۲	اصول کلی استفاده از دستگاه <i>GPR</i>
۲۰	.....	۱-۳-۲	روش انعکاسی با استفاده از آنتن‌هایی با فاصله ثابت
۲۰	.....	۲-۳-۲	روش‌های انعکاسی با استفاده از آنتن‌هایی با فاصله متغیر
۲۲	.....	۳-۳-۲	تعاریف و اصطلاحات کاربردی در روش <i>GPR</i>
۲۹	.....	۴-۲	عملکرد واحد کنترل
۲۹	.....	۵-۲	اطلاعات پایه در برآورد عمق و وضوح برداشت
۳۰	.....	۶-۲	آنالیز و تفسیر داده‌ها
۳۱	.....	۱-۶-۲	فیلتر <i>DC</i>
۳۱	.....	۲-۶-۲	فیلتر اصلاح زمان
۳۲	.....	۳-۶-۲	فیلتر <i>Bandpass</i>
۳۳	.....	۴-۶-۲	فیلتر <i>Background removal</i>
۳۴	.....	۷-۲	اصول اولیه مربوط به عملکرد دستگاه <i>GPR</i>
۳۴	.....	۱-۷-۲	معادلات ماکسول
۳۵	.....	۲-۷-۲	شار میدان الکتریکی
۳۵	.....	۳-۷-۲	قانون گاوس در مغناطیس
۳۵	.....	۴-۷-۲	قانون آمپر
۳۵	.....	۵-۷-۲	قانون القای فاراده
۳۶	.....	۶-۷-۲	معادلات ماکسول با توجه به دیدگاه تقارن
۳۶	.....	۷-۷-۲	فرم دیفرانسیلی معادلات ماکسول

۳۸.....	۸-۲- معادلات امواج الکترومغناطیس
۴۰.....	۸-۲-۱- حل معادلات موج
۴۰.....	۸-۲-۲- دستگاه مختصات مستطیلی
۴۲.....	۸-۲-۳- حرکت امواج الکترومغناطیس
۴۳.....	۹-۲- انعکاس و انتشار امواج الکترومغناطیس
۴۳.....	۹-۲-۱- مقدمه
۴۵.....	۱۰-۲- فرضیات دستگاه <i>GPR</i>
۴۶.....	۱۰-۲-۱- آنتن ها و پلاریزاسیون
۴۶.....	۱۰-۲-۱-۱- تئوری پلاریزاسیون
۴۶.....	۱۰-۲-۱-۲- پلاریزاسیون آنتن
۴۶.....	۱۰-۲-۱-۳- پلاریزاسیون خطی
۴۹.....	۱۰-۲-۱-۴- سوگیری آنتن
۵۱.....	۱۰-۲-۱-۵- طرح پرتوافکنی آنتن
۵۲.....	۱۱-۲- نتیجه گیری

فصل سوم: روش های عددی در *Ground Penetrating Radar*

۵۵.....	۳-۱- مقدمه
۵۵.....	۳-۲- روش موجک گلرکین
۵۵.....	۳-۲-۱- روش گلرکین
۵۶.....	۳-۲-۲- استفاده از موجک در روش گلرکین
۵۶.....	۳-۲-۲-۱- معرفی موجک ها
۵۷.....	۳-۲-۳- روش گلرکین با توابع پایه موجک
۵۸.....	۳-۲-۴- روش های مطلوب سازی مسائل بدوضع
۵۹.....	۳-۲-۵- تجزیه مقادیر منفرد
۵۹.....	۳-۲-۶- حل ماتریس بدوضع

۶۱	۳-۲-۷- روش TLS مطلوب سازی شده به روش تیخونف
۶۳	۳-۲-۸- محاسبه λ اپتیمم به روش منحنی L
۶۴	۳-۳- روش تفاضل محدود در بازه زمان (<i>Finite Diference Time Domain</i>)
۶۴	۳-۳-۱- مدل سازی عددی
	۳-۳-۱-۱- حل عددی مسائل با شرایط مرزی اولیه با استفاده از معادلات ماکسول در محیط
۶۴	ایزوتروپیک
۶۴	۳-۳-۱-۲- کاهش معادلات ماکسول از حالت سه بعدی به حالت یک بعدی
۶۶	۳-۳-۱-۳- معادلات حرکت تفاضل محدود متغیر با زمان در یک بعد
۶۶	۳-۳-۱-۴- شرط پایداری
۶۷	۳-۴- مدل سازی سیگنال گاوسی به کمک نرم افزار <i>Matlab</i>
۶۷	۳-۴-۱- منبع
۶۸	۳-۴-۲- انعکاس و انتشار پالس گاوسی
۷۱	۳-۶- نتیجه گیری

فصل چهارم: شناسایی جنس خاک با استفاده از روش های آزمایشگاهی

۷۳	۴-۱- مقدمه
۷۳	۴-۲- روش پل شرینگ
	۴-۲-۱- بررسی دقت روابط جهت محاسبه المان های مجهول در پل شرینگ با استفاده از نرم افزار
۷۵	<i>PSpice</i>
	۴-۲-۲- بررسی دقت روابط جهت محاسبه المان های مجهول در پل شرینگ با استفاده روش
۷۸	آزمایشگاهی
۸۰	۴-۳- اندازه گیری ثابت دی الکتریک به روش خازنی
۸۰	۴-۳-۱- اصول اندازه گیری
۸۱	۴-۳-۲- شرایط سیگنال
۸۲	۴-۳-۳- شکل کلی مدار اندازه گیری ظرفیت خازن

۸۲	 ۴-۳-۱- تبدیل ظرفیت الکتریکی خازن به زمان
۸۴	 ۴-۳-۲- تبدیل زمان به ولتاژ توسط انتگرال گیر
۸۶	 ۴-۴- کالیبراسیون و نحوه عملکرد دستگاه اندازه گیری ثابت دی الکتریک
۹۰	 ۴-۴-۲- تأثیر رطوبت بر ثابت دی الکتریک
۹۵	 ۴-۴-۱- تأثیر ترکیبات آب بر روی ثابت دی الکتریک
۱۰۰	 ۴-۴-۳- بررسی تأثیر میزان رس در ثابت دی الکتریک
۱۰۱	 ۴-۴-۴- محاسبه ضریب شکل جهت آزمایش های برجا
۱۰۵	 ۴-۵- دستگاه اندازه گیری پارامترهای خاک
۱۰۵	 ۴-۵-۱- محاسبه ظرفیت خازنی سیستم خاک - پروب
۱۰۵	 ۴-۵-۲- محاسبه ثابت دی الکتریک خاک
۱۰۶	 ۴-۵-۳- محاسبه درصد رطوبت وزنی خاک
۱۰۶	 ۴-۵-۴- محاسبه درجه اشباع خاک
۱۰۷	 ۴-۵-۵- محاسبه پوکی خاک
۱۰۸	 ۴-۵-۶- مشخصات فنی دستگاه اندازه گیر
۱۰۹	 ۴-۵-۵- نتیجه گیری

فصل پنجم: کاربرد روش های عددی و مقایسه آن ها با روش های آزمایشگاهی و

برداشت های GPR

۱۱۱	 ۵-۱- مقدمه
۱۱۱	 ۵-۲- روش های موجک برای تصویر سازی به کمک دستگاه GPR
۱۱۱	 ۵-۲-۱- مقدمه
۱۱۱	 ۵-۲-۲- معادله انتگرالی میدان الکتریکی
۱۱۳	 ۵-۳- مدل ارایه شده
۱۱۶	 ۵-۴- حل معکوس با استفاده از روش های موجک

۱۱۹.....	۵-۵- استفاده از روش موجک برای تصویربرداری از حفرات
۱۲۱.....	۵-۵-۱- انجام محاسبات با استفاده از موجک هار مرتبه ۳ ($m=3$)
۱۲۱.....	۵-۵-۲- ماتریس G
۱۲۱.....	۵-۵-۳- ماتریس K
۱۷۶.....	۵-۶- مطلوب سازی ماتریس شکل به روش موجک گلرکین
۱۷۹.....	۵-۶-۱- مطلوب سازی به روش تیخونوف
۱۸۲.....	۵-۷- آزمایش بر روی حفره مدل شده
۱۸۳.....	۵-۷-۱- حل معادلات موج
	۵-۷-۲- محاسبه ثابت دی الکتریک خاک با استفاده از مدل سازی به روش $FDTD$ با نرم افزار
۱۸۴.....	$Matlab$ و مقایسه آن با نرم افزار $RadExplorer$
۱۸۴.....	۵-۷-۲-۱- منبع آنتن فرستنده
۱۸۴.....	۵-۷-۳- مقایسه سیگنال مدل شده با سیگنال برداشت شده توسط دستگاه GPR
	۵-۷-۴- محاسبه ثابت دی الکتریک با استفاده از نرم افزار $RadExplorer$ و مقایسه آن با روش
۱۸۶.....	آزمایشگاهی
	۵-۷-۵- مقایسه محتوای فرکانس دو سیگنال محاسبه شده توسط نرم افزار و سیگنال خروجی از
۱۸۸.....	دستگاه GPR
۱۸۸.....	۵-۷-۱- پارازیت زدایی سیگنال با استفاده از آنالیز موجک
۱۹۰.....	۵-۷-۲- نمودار ضرائب موجک
۱۹۰.....	۵-۷-۳- رابطه فرکانس با مقیاس در نمودار ضرائب موجک
۱۹۲.....	۵-۸- آزمایش بر روی معدن گرانیت
۱۹۲.....	۵-۸-۱- مقدمه
۱۹۴.....	۵-۸-۲- اصول و روش های کاربرد دستگاه GPR در برداشت از معدن گرانیت
۱۹۴.....	۵-۸-۳- آنالیز موجک
۱۹۴.....	۵-۸-۳-۱- تبدیل موجک پیوسته
۱۹۵.....	۵-۸-۳-۲- تبدیل موجک گسسته

۱۹۵.....	۵-۸-۳- تبدیل موجک گسسته دو بعدی و روش پارازیت زدایی
۱۹۷.....	۵-۸-۴- تبدیل موجک دو بعدی
۱۹۷.....	۵-۸-۱- تصاویر گسسته
۱۹۸.....	۵-۸-۵- پارازیت زدایی تصاویر با استفاده از موجک
۱۹۹.....	۵-۸-۱- انتخاب موجک مادر
۲۰۰.....	۵-۸-۶- نتایج مقایسه عملکرد موجک ها در روش پارازیت زدایی
۲۰۳.....	۵-۸-۶-۱- مقایسه عملکرد فرایند پارازیت زدایی با استفاده از پارامتر استاندارد SNR
۲۰۶.....	۵-۸-۷- آنالیز داده ها
۲۰۷.....	۵-۸-۷-۱- تفسیر و آنالیز خروجی دستگاه GPR
۲۱۲.....	۵-۹- آزمایش بر روی لوله های فاضلاب
۲۱۴.....	۵-۱۰- نتیجه گیری

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات برای ادامه کار

۲۱۷.....	۶-۱- نتیجه گیری
۲۱۹.....	۶-۲- پیشنهادات برای ادامه کار

پیوست ها

۲۲۰.....	پیوست ۱
۲۲۰.....	معرفی موجک ها
۲۲۰.....	فرم کلی موجک ها
۲۲۱.....	تبدیل موجک گسسته
۲۲۱.....	موجک های هار
۲۲۳.....	تبدیل هار
۲۲۴.....	تبدیل هار، مرحله اول
۲۲۶.....	پایستگی و فشردگی انرژی

۲۲۶.....	پایستگی انرژی
۲۲۶.....	موجک‌های دوبشی
۲۲۷.....	موجک‌های $Daub^4$
۲۲۹.....	سایر موجک‌های دوبشی
۲۳۱.....	کاربردهای موجک
۲۳۱.....	پارازیت‌زدایی سیگنال
۲۳۲.....	روش آستانه‌پرازیت‌زدایی به کمک موجک
۲۳۳.....	آنالیز فرکانس
۲۳۶.....	تعاریف
۲۳۶.....	توابع نرمال بهنجار
۲۳۷.....	توابع متعامد
۲۳۷.....	سایپورت فشرده
۲۳۷.....	ویژگی‌ها و مشخصات انواع موجک
۲۳۸.....	معادلات موجک‌ها
۲۳۸.....	موجک‌ها
۲۳۸.....	موجک‌های دوبشی
۲۳۸.....	موجک کوئفلت
۲۴۰.....	موجک مییر
۲۴۱.....	موجک کلاه مکزیکی
۲۴۱.....	موجک مورلت
۲۴۲.....	نتیجه‌گیری
۲۴۳.....	پیوست ۲
۲۴۳.....	کدهای نوشته شده توسط نرم‌افزار <i>Matlab</i>
۲۴۳.....	<i>Ground Matrix (G Matrix)</i>

۲۴۴.....	<i>Kernel Matrix (K Matrix)</i>
۲۴۵.....	<i>GPR signal simulation (FDTD)</i>
۲۴۷.....	<i>AVR Programming</i>
۲۵۱.....	پیوست ۳
۲۵۱.....	نحوه اتصال پایه‌های AVR به LCD
۲۵۲.....	<i>References</i>

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) توابع پایه فوریه، مربع‌های فرکانس زمان و پوشش صفحه فرکانس زمان ۷
- شکل (۲-۱) توابع پایه موجک دوبشی مربع‌های فرکانس زمان و پوشش صفحه فرکانس زمان ۷
- شکل (۱-۲) نمونه ای از دستگاه *GPR* ۱۶
- شکل (۲-۲) طرح شماتیک برداشت توسط دستگاه *GPR* ۱۷
- شکل (۳-۲) واحد کنترل رادار، لپ تاپ با پورت *LP* و آنتن *RTA* ۱۸
- شکل (۴-۲) اتصالات فیبر نوری از آنتن‌های گیرنده و فرستنده به *CUII* ۱۸
- شکل (۵-۲) آنتن *RAMAC RTA* ۱۹
- شکل (۶-۲) روش *GPR* با انتشار امواج از آنتن فرستنده به گیرنده ۲۱
- شکل (۷-۲) روش *WARR* و *CMP* ۲۱
- شکل (۸-۲) نمونه پروفیل برداشت‌شده با دستگاه *GPR* ۲۲
- شکل (۹-۲) مدل دبی برای قسمت حقیقی (خط) و موهومی (نقطه چین) گذردهی ۲۵
- شکل (۱۰-۲) رادارگرام برداشت‌شده از سطح دریا ۳۰
- شکل (۱۱-۲) مدل زمین با پاسخ پالسهای یکسان و دامنه انعکاس مربوطه ۳۲
- شکل (۱۲-۲) تأثیر تابع اصلاح زمان بر اطلاعات اولیه ۳۲
- شکل (۱۳-۲) نمودار دامنه - فرکانس فیلتر *Bandpass* ۳۳
- شکل (۱۴-۲) نتایج استفاده از فیلتر و محتوای فرکانسی سیگنال آنالیزشده قبل و بعد از استفاده از فیلتر ۳۳
- شکل (۱۵-۲) سمت چپ- پروفیل قبل از اعمال فیلتر، سمت راست- بعد از اعمال فیلتر ۳۴
- شکل (۱۶-۲) دستگاه مختصات قطبی ۳۷
- شکل (۱۷-۲) دستگاه مختصات مستطیلی ۴۰
- شکل (۱۸-۲) طرح شماتیک انعکاس و انتشار امواج الکترومغناطیس از مرز دو ماده با مشخصات الکتریکی و مغناطیسی متفاوت (۵۷) ۴۴
- شکل (۱۹-۲) پلاریزاسیون بیضوی، خطی و دایره‌ای ۴۷
- شکل (۲۱-۲) سمت‌گیری آنتن‌ها به صورت سری و موازی ۴۸
- شکل (۲۰-۲) ناحیه فرسnel ۴۸
- شکل (۲۲-۲) سمت‌گیری آنتن‌ها جهت برداشت افقی ۴۹

شکل (۲-۲۳) سمت‌گیری آنتن‌ها جهت برداشت قائم	۴۹
شکل (۲-۲۴) شکل چپ - طرح $TE(EH)$, شکل راست - طرح $TM(EV)$	۵۱
شکل (۳-۱) تابع سینوسی میرا که انتگرال آن مقدار بسیار کوچکی را به خود اختصاص می‌دهد .	۵۸
شکل (۳-۲) شکل معادله بدوضع	۶۰
شکل (۳-۳) منحنی L جهت محاسبه L اپتیمم	۶۳
شکل (۳-۴) مدل سه بعدی انتشار موج الکترومغناطیس کین یی (۷۹)	۶۵
شکل (۳-۵) مدل یک بعدی کین یی، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی درجه اول با شبکه‌هایی از مکان و زمان	۶۷
شکل (۳-۶) پالس گاوسی با فرکانس مرکزی ۲۵ مگاهرتز، مرکز پالس ۵۰ و عرض باند ۱۵	۶۷
شکل (۳-۷) حرکت پالس به سمت لایه مدل شده به ترتیب در زمان‌های ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ ثانیه	۶۸
شکل (۳-۸) برخورد پالس به لایه با ثابت دی‌الکتریک ۲ و پالس انعکاسی در سمت چپ با ۲۰ درصد انرژی پالس اولیه و عبوری در سمت راست با ۸۰ درصد انرژی پالس اولیه	۶۹
شکل (۳-۹) برخورد پالس به لایه با ثابت دی‌الکتریک ۵ و پالس انعکاسی در سمت چپ با ۴۰ درصد انرژی پالس اولیه و عبوری در سمت راست با ۶۰ درصد انرژی پالس اولیه	۶۹
شکل (۳-۱۰) برخورد پالس به لایه با ثابت دی‌الکتریک ۷ و پالس انعکاسی در سمت چپ با ۴۵ درصد انرژی پالس اولیه و عبوری در سمت راست با ۵۵ درصد انرژی پالس اولیه	۷۰
شکل (۳-۱۱) برخورد پالس به لایه با ثابت دی‌الکتریک ۹ و پالس انعکاسی در سمت چپ با ۵۰ درصد انرژی پالس اولیه و عبوری در سمت راست با ۴۸ درصد انرژی پالس اولیه	۷۰
شکل (۴-۱) مدار پل شرینگ	۷۳
شکل (۴-۲) المان خازن با ماده دی‌الکتریک خاک	۷۴
شکل (۴-۳) مدار سنسور طراحی شده برای ماسه خشک با نرم‌افزار <i>Pspice</i> و نمودار فرکانس-ولتاژ خروجی	۷۶
شکل (۴-۴) مدار سنسور طراحی شده برای ماسه مرطوب با نرم‌افزار <i>Pspice</i> و نمودار فرکانس-ولتاژ خروجی	۷۸
شکل (۴-۵) اسیلوسکوپ جهت اندازه‌گیری ولتاژ و مشاهده فرکانس‌های خروجی	۷۹

- شکل (۴-۶) اسیلوسکوپ، منبع تولید سیگنال AC با فرکانس‌های متغیر و منبع DC ۸۰
- شکل (۴-۷) تغییرات ثابت دی‌الکتریک از طریق سنسور وارد شرایط سیگنال شده و طی مراحل به ولتاژ تبدیل و نمایش داده می‌شود. ۸۱
- شکل (۴-۸) فرایند تبدیل تغییرات خازنی به زمان و سپس به ولتاژ ۸۲
- شکل (۴-۹) مدار اسیلاتور همراه با یک مدار RC که خازن به کار رفته پروب اندازه‌گیری می‌باشد و دیود D^3 برای دشارژ خازن پروب ۸۳
- شکل (۴-۱۰) اسیلوسکوپ، منبع تولید سیگنال AC با فرکانس‌های متغیر و منبع DC ۸۳
- شکل (۴-۱۱) شکل موج خروجی این مدار در نقطه B و C ۸۴
- شکل (۴-۱۲) اضافه کردن یک گیت نات اشباع به مدار شکل قبل برای تبدیل موج دندان‌اره ای در نقطه C به یک موج پالسی در نقطه D ورودی انتگرالگیر ۸۴
- شکل (۴-۱۳) طرح شماتیک مدار شامل اسیلاتور، گیت نات اشباع و انتگراتور ۸۵
- شکل (۴-۱۴) طرح شماتیک مدار جهت ایجاد موج پالسی برای خروجی انتگراتور ۸۵
- شکل (۴-۱۵) طرح مدار و المان‌های اندازه‌گیری شامل اسیلوسکوپ، منبع تغذیه DC و مالتی‌متر ۸۶
- شکل (۴-۱۶) نمودار کالیبراسیون ولتاژ و ظرفیت خازنی ۸۶
- شکل (۴-۱۷) نمودار کالیبراسیون ولتاژ و ظرفیت خازنی در مقیاس لگاریتمی ۸۷
- شکل (۴-۱۸) سنسور با ماده دی‌الکتریک آب ۸۸
- شکل (۴-۱۹) طرح شماتیک صفحات خازنی و نحوه توزیع بار ۸۸
- شکل (۴-۲۰) پروب با اندازه‌های مختلف، ۱۵×۱۰ ، ۱۲×۱۵ ، ۱۵×۲۰ و ۲۲.۵×۳۰ ۸۹
- شکل (۴-۲۱) ثابت دی‌الکتریک هوا با سایز پروب‌های مختلف ۸۹
- شکل (۴-۲۲) ثابت دی‌الکتریک آب با سایز پروب‌های مختلف ۹۰
- شکل (۴-۲۳) نمودار درجه اشباع در برابر ثابت دی‌الکتریک برای خاک شن و ماسه ریز دانه ۹۲
- شکل (۴-۲۴) نمودار درصد رطوبت خاک در برابر ثابت دی‌الکتریک برای خاک شن و ماسه ریز دانه ۹۳
- شکل (۴-۲۵) نمودار درجه اشباع در برابر ثابت دی‌الکتریک برای خاک رس نرم ۹۴
- شکل (۴-۲۶) نمودار درصد رطوبت خاک در برابر ثابت دی‌الکتریک برای خاک رس نرم ۹۵
- شکل (۴-۲۷) نمودار مقایسه درجه اشباع در برابر ثابت دی‌الکتریک با آب مقطر و شهری ۹۶
- شکل (۴-۲۸) نمودار مقایسه درصد رطوبت در برابر ثابت دی‌الکتریک با آب مقطر و شهری ۹۶
- شکل (۴-۲۹) نمودار درجه اشباع خاک در برابر ثابت دی‌الکتریک برای ماسه اتاوا ۹۸
- شکل (۴-۳۰) نمودار درصد رطوبت خاک در برابر ثابت دی‌الکتریک برای ماسه اتاوا ۹۸

- شکل (۴-۳۱) نمودار مقایسه ثابت دی الکتریک خاک‌های شن و ماسه ریز دانه، رس نرم و ماسه اتاوا
 ۹۹.....
- شکل (۴-۳۲) نمودار مقایسه درصد رطوبت و ثابت دی الکتریک برای خاک‌های تست شده و رابطه
 ۹۹..... *Topp et al* ارایه شده توسط
- شکل (۴-۳۳) نمودار تأثیر میزان رس بر روی ثابت دی الکتریک
 ۱۰۱.....
- شکل (۴-۳۴) پروب ها با سایز ۱۵×۲۰ با جهت گیری های مختلف
 ۱۰۲.....
- شکل (۴-۳۵) نمودار درجه اشباع و ثابت دی الکتریک و منحنی برازش شده
 ۱۰۴.....
- شکل (۴-۳۶) خط برازش شده جهت محاسبه تابع شکل با شیب ۲.۳۳
 ۱۰۵.....
- شکل (۵-۱) موج $E_{inc}(r)$ برخورد کرده با یک جسم با ثابت دی الکتریک $\epsilon p(r)$
 ۱۱۲.....
- شکل (۵-۲) آنتن‌های فرستنده و گیرنده دو قطبی های ایده آل با ممان های دو قطبی موازی با pt و
 ۱۱۴..... pr
- شکل (۵-۳) هندسه حفره مدل شده به روش موجک گلرکین
 ۱۱۷.....
- شکل (۵-۶) تصویر به دست آمده از $\Delta\sigma$ با استفاده از روش موجک گلرکین و موجک هار فشرده
 مرتبه ۳ با فرکانس ۲۵ مگاهرتز
 ۱۷۵.....
- شکل (۵-۷) تصویر به دست آمده از $\Delta\sigma$ با استفاده از عملگر لاپلاس وزنی و روش موجک گلرکین
 و موجک هار فشرده مرتبه ۳ با فرکانس ۲۵ مگا هرتز.
 ۱۷۶.....
- شکل (۵-۸) ماتریس k
 ۱۷۷.....
- شکل (۵-۹) مقادیر منفرد σi
 ۱۷۸.....
- شکل (۵-۱۰) بردار منفرد چپ ماتریس U
 ۱۷۸.....
- شکل (۵-۱۱) بردار منفرد راست ماتریس V
 ۱۷۸.....
- شکل (۵-۱۲) تصویر شکل بدوضع با استفاده از موجک هار مرتبه ۴ با فرکانس ۲۵ مگا هرتز ...
 ۱۷۹.....
- شکل (۵-۱۳) تصویر مطلوب سازی شده با استفاده از موجک هار مرتبه ۴ با فرکانس ۲۵ مگا هرتز

 ۱۷۹.....
- شکل (۵-۱۴) تصویر شکل بدوضع به روش موجک گلرکین مرتبه ۶ با فرکانس ۵۰۰ مگا هرتز
 ۱۸۰.....
- شکل (۵-۱۵) نمودار لگاریتمی نرم باقیمانده و نرم جواب
 ۱۸۱.....
- شکل (۵-۱۶) تصویر شکل مطلوب سازی شده به روش تیخونوف استاندارد و $\lambda = 1011$ با
 فرکانس ۵۰۰ مگا هرتز
 ۱۸۱.....

- شکل (۵-۱۷) طول خط برداشت با آنتن ۲۵ مگاهرتزی ۱۸۲
- شکل (۵-۱۸) حفره مدل شده در عمق ۶ متری از سطح زمین به طول ۵ متر ۱۸۳
- شکل (۵-۱۹) منبع استفاده شده با دامنه واحد در نرم افزار *Matlab* ۱۸۴
- شکل (۵-۲۰) پروفیل خاک مدل شده توسط نرم افزار *Matlab* ۱۸۵
- شکل (۵-۲۱) رادارگرام مربوط به برداشت از ناحیه بدون انعکاس گر ها و سیگنال نمونه ۱۸۵
- شکل (۵-۲۲) مقایسه سیگنال محاسبه شده توسط نرم افزار و سیگنال خروجی از رادارگرام برداشت شده توسط *GPR* ۱۸۶
- شکل (۵-۲۳) رادارگرام نمایش داده شده توسط نرم افزار *RadExplorer* و محاسبه ثابت دی الکتریک ۱۸۷
- شکل (۵-۲۴) محاسبه عمق حفره مدل شده توسط نرم افزار *RadExplorer* با اعمال ثابت دی الکتریک ۱۸۷
- شکل (۵-۲۶) پارازیت زدایی سیگنال های مدل و برداشت شده ۱۸۹
- شکل (۵-۲۷) پارازیت زدایی سیگنال خروجی از *GPR* با موجک دوبشی ۱۰ مرحله ۲ ۱۸۹
- شکل (۵-۲۸) پارازیت زدایی سیگنال مدل شده با نرم افزار *Matlab* با موجک دوبشی ۱۰ مرحله ۲ ۱۹۰
- شکل (۵-۲۹) رابطه بین ضریب موجک C با تطابق سیگنال و تابع موجک ۱۹۱
- شکل (۵-۳۰) رابطه فرکانس با مقیاس در نمودار ضرائب موجک ۱۹۱
- شکل (۵-۳۱) محتوای فرکانس سیگنال مدل شده توسط نرم افزار *Matlab* ۱۹۱
- شکل (۵-۳۲) محتوای فرکانس سیگنال برداشت شده توسط دستگاه *GPR* ۱۹۲
- شکل (۵-۳۳) نقشه موقعیت ناحیه قوشچی واقع در استان آذربایجان غربی، ایران ۱۹۳
- شکل (۵-۳۴) دیاگرام اجزای اصلی دستگاه *GPR* ۱۹۴
- شکل (۵-۳۵) تبدیل موجک گسسته پروفیل های ۱، ۲ و ۳ با استفاده از موجک هار مرحله اول ۱۹۶
- شکل (۵-۳۶) تجزیه موجک تصویر F در سه مرحله ۱۹۸
- شکل (۵-۳۷) فرایند پارازیت زدایی مرحله اول به روش تبدیل موجک گسسته دو بعدی ۱۹۹
- شکل (۵-۳۸) برخی توابع موجک استفاده شده در تبدیلات موجک ۲۰۰
- شکل (۵-۳۹) ۱- سیگنال بدون پارازیت، ۲- سیگنال آلوده به پارازیت، ۳- سیگنال پارازیت زدایی شده با $SNR=6.21$ - سیگنال پارازیت زدایی شده با $SNR=11.75$ ۲۰۳

- شکل (۵- ۴۰) ۱- تصویر *GPR* بدون پارازیت، ۲- تصویر *GPR* آلوده به پارازیت، ۳- تصویر پارازیت‌زدایی شده با تبدیل موجک گسسته معکوس با استفاده از موجک مادر متفاوت، ۴- تصویر پارازیت‌زدایی شده با تبدیل موجک گسسته معکوس با استفاده از موجک مادر یکسان ۲۰۱
- شکل (۵- ۴۱) نتایج پارازیت‌زدایی با استفاده از موجک کویفلت مرتبه ۵ در ۵ مرحله - شکل (۵- ۴۱-۱) تصویر بدون پارازیت، شکل (۵- ۴۱-۲) تصویر آلوده به پارازیت ۲۰۲
- شکل (۵- ۴۲) مقادیر *SNR* محاسبه شده در جدول ۲ از ۱ تا ۵ مرحله تجزیه موجک ۲۰۶
- شکل (۵- ۴۳) الف) پروفیل ۲ نرم‌افزار *Ground vision* ب) دیاگرام انرژی انعکاسی محاسبه شده توسط نرم‌افزار *RadExplorer* ج) اصلاح دامنه پروفیل *GPR* با نرم‌افزار *RadExplorer* د) پروفیل *GPR* پارازیت‌زدایی شده با تبدیل موجک گسسته دو بعدی (کویفلت مرحله ۳) ۲۰۸
- شکل (۵- ۴۴) الف) مقطع پروفیل ۲ ب) ساختار لایه بندی ۲۰۹
- شکل (۵- ۴۷) الف) پروفیل ۱ نرم‌افزار *Ground vision* ب) پروفیل پارازیت‌زدایی شده به روش تبدیل موجک گسسته دو بعدی (کویفلت مرحله ۳) ج) پروفیل ۱ اصلاح دامنه با نرم‌افزار *RadExplorer* د) ساختار لایه بندی و) دیاگرام انرژی انعکاسی محاسبه شده توسط نرم‌افزار *RadExplorer* ۲۱۱
- شکل (۵- ۴۸) پروفیل عرضی فاضلاب شهری ۲۱۲
- شکل (۵- ۴۹) رادگرام مربوط به برداشت از فاضلاب شهری و محاسبه دی‌الکتریک خاک ۲۱۳
- شکل (۵- ۵۰) رادگرام فاضلاب شهری و انعکاسات ناشی از لوله‌های آب و سیستم فاضلاب ۲۱۳
- شکل (۱) شکل ساختاری تکرار شونده موجک مادر دوبشی ۲۲۰
- شکل (۲) خانواده‌های موجک ۲۲۱
- شکل (۳) تبدیل هار مرحله اول سیگنال ۲۲۴
- شکل (۴) تبدیل هار مرحله اول سیگنال کسیونوسی ۲۲۵
- شکل (۵) الف - سه سیگنال بالا، سیگنال‌های مقیاس مرحله ۵ V_{1^5} ، V_{8^5} و V_{16^5} و سه سیگنال پایین، سیگنال‌های مقیاس مرحله ۶ V_{1^6} ، V_{4^6} و V_{8^6} می‌باشند. ب - سه سیگنال بالا، سیگنال‌های موجک مرحله ۵ W_{1^5} ، W_{8^5} و W_{16^5} و سه سیگنال پایین، سیگنال‌های مقیاس مرحله ۶ W_{16} ، W_{46} و W_{86} می‌باشند. (۴۱) ۲۲۸
- شکل (۶) الف- سیگنال ب- تبدیل مرحله دو *Daubej* سیگنال مسیر a^2 در بازه $[0, 0.25]$ ترسیم شده در حالی که سیگنال‌های نوسانی d^1 ، d^2 در بازه $[0.25, 0.5]$ و $[0.5, 1]$ ترسیم شده‌اند. ۲۲۹

شکل (۷) الف- بالا: سیگنال اصلی. وسط: سیگنال نوسانی مرحله اول <i>Daub4</i> . پایین: سیگنال نوسانی مرحله اول <i>Daub6</i> . ب- نمودارهای مشابه برای سیگنال‌های نوسانی مرحله سوم <i>Daub4,6</i> .	۲۳۰.....
شکل (۸) سیگنال با پارازیت اتفاقی و روش حد آستانه	۲۳۲.....
شکل (۹) آنالیز فرکانس سیگنال <i>S1, S2, S3</i> با موجک دوبشی مرتبه اول	۲۳۵.....
شکل (۱۰) تجزیه موج سینوسی آرام، متوسط و سریع با موجک دوبشی مرحله ۵	۲۳۶.....
شکل (۱۱) موجک هار	۲۳۷.....
شکل (۱۲) خانواده موجک‌های دوبشی	۲۳۹.....
شکل (۱۳) موجک کویفلت	۲۴۰.....
شکل (۱۴) موجک میر	۲۴۱.....
شکل (۱۵) موجک کلاه مکزیکی	۲۴۱.....
شکل (۱۶) موجک مورلت	۲۴۲.....

شرح دستگاه GPR

GPR^۱ از جمله دستگاه‌هایی می‌باشد که به سرعت در زمینه گسترش تئوری، فن‌آوری و کاربرد در طول ۱۵ الی ۲۰ سال اخیر توسعه یافته است. همچنین به صورت روشی کاملاً کاربردی توسط بسیاری از دانشمندان، محققین، مهندسان، مشاورین و دانشجویان مورد استفاده قرار گرفته است. از تحقیقات انجام شده در این رشته می‌توان مطالعات آلودگی (۱) (۲) (۳) (۴)، اصول الکترومغناطیس دستگاه GPR (۵)، پارامترهای الکتریکی و مغناطیسی مایعات، سنگ‌ها و خاک (۶)، طراحی و سیستم (۷)، آنتن (۸)، پردازش اطلاعات، آنالیز و مدل‌سازی (۹)، کاربردهای زیست محیطی دستگاه GPR (۱۰)، منابع آب (۱۱)، مطالعات ساحلی (۱۲) (۱۳)، رسوب شناسی (۱۴)، یخبندان شناسی (۱۵)، حمل و نقل (۱۶)، شناسایی و طبقه‌بندی مواد منفجره (۱۷)، باستان شناسی (۱۸) و مهندسی ژئوتکنیک در زمینه‌های مطالعات آب‌های زیرزمینی (۱۹) (۲۰) (۲۱) (۲۲) (۲۳) و شناسایی حفرات و کارستها (۲۴) (۲۵) (۲۶) (۲۷)، را نام برد. تنوع کاربردهای این دستگاه نه تنها باعث پیشرفتهای چشم‌گیری در زمینه‌های ژئوفیزیک و مهندسی ژئوتکنیک شده، بلکه مبنای بسیاری از نظریات و مطالعات جدید میان رشته ای صنعت و دانشگاه بوده است. شایان ذکر است که در بسیاری از موارد، برداشت‌های به عمل آمده با استفاده از این دستگاه به دلیل عدم آشنایی کامل به اصول و مبانی عملکرد دستگاه بدون نتیجه مانده است. از این رو بسیاری از بررسی‌های انجام شده ناموفق نیز در طول ۲۰ سال گذشته عرضه شده است.

هدف از انجام تحقیق

هدف از انجام این تحقیق، استفاده بهینه از نتایج خروجی دستگاه با استفاده از آنالیز موجک‌ها (۲۸) می‌باشد. بر روی نتایج خروجی حاصل از برداشت‌های انجام شده توسط دستگاه تجاری کمپانی RAMAC آنالیز موجک انجام شده و نتایج آن با سایر روش‌های کاربردی و نرم‌افزارها از جمله RadExplorer و Ground-Vision مقایسه می‌گردد. همان‌طور که قبلاً نیز به آن اشاره شد، روش GPR کاربری‌های تجاری، علمی و نظامی بسیاری داشته و کشور ایران نیز به عنوان یکی از کشور های در حال توسعه، به روش‌هایی جدید، سریع و غیر مخرب نیازمند بوده و عملاً در بسیاری از

^۱ Ground penetrating radar

مطالعات ژئوتکنیکی و سایر زمینه‌های کاربردی، پیشرو این امر می‌باشد. در انجام این تحقیق سعی بر آن بوده است که تئوری‌های مربوط به دستگاه بیان شده و رواج فن‌آوری *GPR* در کشور نیز مدنظر قرار گیرد. شایان ذکر است که علی‌رغم پیشرفتهای بسیار در زمینه روش‌های سنجش از راه دور و روش‌های ژئوفیزیکی در بسیاری از زمینه‌های علمی در کشور، مطالعات ژئوتکنیکی هنوز هم به روش‌های سنتی و انجام حفاری‌های هزینه‌بر انجام می‌گیرد. استفاده از این روش و تکنیک‌های استفاده شده در آن می‌تواند صرفه‌جویی‌هایی در مطالعات ژئوتکنیک به‌همراه داشته باشد.

روش تحقیق

روش تحقیق، تصویربرداری از خاک توسط دستگاه *GPR* در سایت و تحلیل نتایج برداشت شده می‌باشد. تحلیل نتایج با استفاده از روش تفاوت محدود و همچنین با استفاده از روش موجک است. نتایج بدست آمده از تحلیل با سایر نرم‌افزارهای تجاری از جمله *RadExplorer* مقایسه شده و همچنین در تعیین درصد رطوبت با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است.

مراحل انجام پایان نامه

در راستای انجام این تحقیق، در فصل دوم به معرفی دستگاه *GPR* پرداخته و روش‌های برداشت با این دستگاه تشریح شده است. در فصل سوم به تحلیل روش‌های عددی نظیر روش موجک گلرکین جهت شناسایی حفرات و روش تفاضل محدود در محدوده زمان (FDTD)^۲ جهت شناسایی جنس خاک پرداخته شده است. در فصل چهارم، روش‌های آزمایشگاهی جهت شناسایی جنس خاک با استفاده از محاسبه ثابت دی‌الکتریک خاک به روش پل شرینگ و خازنی ارایه شده و نهایتاً در فصل پنجم نیز بازبینی نتایج آنالیز عددی و مدل‌سازی پروفیل خاک به روش تشریح شده در فصل سوم با روش‌های آزمایشگاهی و برداشت‌های انجام شده با استفاده از دستگاه *GPR* بر روی گالری حفر شده در عمق خاک، معدن گرانت و لوله کشی فاضلاب شهری انجام شده است. در فصل ششم نیز نتیجه‌گیری‌های لازم انجام و پیشنهادات جهت پیشبرد تحقیق ارایه شده است.

^۲ Finite Difference Time Domain

فصل اول

مروری بر ادبیات موضوع

۱-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به تاریخچه دستگاه *GPR* پرداخته و سپس در ارتباط با موجک‌ها و تاریخچه آن‌ها توضیح داده می‌شود. پس از آن به کاربردهای موجک و روش‌های آنالیز در روش *GPR* پرداخته شده است.

۱-۲- تاریخچه دستگاه *GPR*

نخستین بار، کاربرد سیگنال‌های الکترومغناطیس جهت شناسایی فلزات مدفون در خاک به آقای هولزمیر^۳ در سال ۱۹۰۴ منصوب شده و این در حالی است که تشریح اولیه استفاده از آن‌ها جهت شناسایی محل اجسام مدفون، شش سال بعد در اداره ثبت اختراعات آلمان توسط آقایان لیمباخ^۴ و لووی^۵ به ثبت رسیده است. روش آن‌ها بدین صورت بوده که آنتن‌های دوقطبی را به صورت قائم داخل یک سری گمانه قرار داده و اندازه سیگنال دریافتی مورد بررسی قرار می‌گرفت. تحقیقات انجام شده توسط آقای هولسنبک^۶ در سال ۱۹۲۶ اولین مطالعات با کاربرد روش‌های پالسی جهت شناسایی ساختار اجسام مدفون در خاک بود (۲۹). آقای هولسنبک خاطر نشان کرد که هر گونه تغییر در ثابت دی‌الکتریک باعث ایجاد انعکاسات گشته و این امر خود برتری این روش نسبت به روش‌های لرزه‌ای را نشان می‌دهد.

روش‌های پالسی از دهه سی میلادی به بعد به عنوان وسیله‌ای جهت انجام مطالعات یخ‌شناسی (۳۰) (۳۱) آب‌های زیرزمینی و رسوبات نمک (۳۲) ساختار ماسه و سنگ (۳۳) (۳۴) مورد استفاده قرار گرفته است. مطالعات سنگ و ذغال سنگ نیز توسط آقای کوک^۷ (۳۵) (۳۶) و آقایان رو^۸ و البروک^۹ (۳۷) نیز انجام شده‌اند. تاریخچه گسترده‌تری از دستگاه *GPR* و روند توسعه آن تا اواسط دهه هفتاد میلادی توسط آقای نیلسون^{۱۰} ارایه شده است (۳۸).

از دهه هفتاد میلادی تا کنون، گستره کاربردهای آن در حال افزایش می‌باشد و شامل آزمایشات سازه‌ای غیر مخرب، باستان شناسی، ارزیابی کیفیت جاده و تونل، موقعیت حفرات و

^۳ Hiilsmeyer

^۴ Leimbach

^۵ Lowy

^۶ Hiilsenbeck

^۷ Cook

^۸ Roe

^۹ Ellerbruch

^{۱۰} Nilsson

کارستها، شناسایی موقعیت لوله‌ها و کابل‌ها می‌باشد. در قسمت بعد مروری بر تاریخچه موجک‌ها داشته و سپس کاربرد آن‌ها در روش *GPR* مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۳-۱- تاریخچه موجک‌ها و استفاده از موجک در روش *GPR*

موجک‌ها توابع ریاضی می‌باشند که اطلاعات را به اجزای فرکانسی آن تجزیه و سپس هر جزء را با وضوح مربوط به مقیاس آن مورد مطالعه قرار می‌دهد. موجک‌ها در آنالیز اطلاعات فیزیکی برتری‌هایی نسبت به تبدیل فوریه با سیگنال‌ها دارای گسستگی و نقاط قله‌ای زیاد دارند. تئوری موجک‌ها به طور کاملاً مستقل در زمینه‌های مختلف نظیر ریاضیات، فیزیک کوانتم، مهندسی برق و لرزه شناسی گسترش یافته است. تبادل اطلاعات میان علوم ذکر شده در طول دهه اخیر، منجر به کاربردهای جدید موجک‌ها، از جمله فشردن سازی تصاویر، دید انسان، رادار و پیش‌بینی زمین لرزه شده است. در ابتدا تاریخ موجک‌ها که با فوریه آغاز شد بحث می‌شود و سپس تبدیل موجک با تبدیل فوریه مقایسه و پس از آن در ارتباط با ویژگی‌های موجک و خواص آن بحث خواهد شد که نهایتاً فشردن سازی تصاویر، نت‌های موسیقی و پارازیت‌زدایی اطلاعات مربوط به سیگنال از جمله کاربری‌های موجک‌ها می‌باشند (۳۹).

۱-۳-۱-۱- مروری بر موجک‌ها

ایده بنیادین در ارتباط با موجک‌ها، آنالیز در مبنای مقیاس می‌باشد. در حقیقت برخی محققین صاحب نظر در علوم مرتبط با موجک‌ها بر این عقیده می‌باشند که با استفاده از آن‌ها افق ذهنی جدیدی در پردازش اطلاعات به وجود می‌آید.

موجک‌ها توابعی می‌باشند که پیش نیازهای خاص ریاضی را ارضا می‌نمایند و در ارایه اطلاعات یا سایر توابع مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نظریه جدید نبوده و به سالهای ۱۸۰۰ زمانی که ژوزف فوریه^{۱۱} کشف کرد برای ارایه توابع دیگر می‌توان از رویهم گذاری توابع سینوسی و کسینوسی استفاده کرد باز می‌گردد. علاوه بر این در آنالیز موجک، مقیاس استفاده شده در بررسی اطلاعات نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. الگوریتم‌های موجک اطلاعات را در مقیاس‌ها و دقت‌های متفاوتی مورد پردازش قرار می‌دهد. اگر از پنجره بزرگی برای برای آنالیز اطلاعات مورد نظر استفاده نماییم، تصاویر درشتی را مشاهده خواهیم کرد. به طور مشابه اگر پنجره کوچکتری مورد استفاده قرار گیرد تصاویر ریزتری را مشاهده خواهیم نمود. نتایج حاصل از آنالیز موجک‌ها زمانی مفید خواهد بود که بتوان جنگل و درختان موجود در آن را به صورت همزمان مشاهده کرد (۳۹). در طول دهه‌های متمادی، دانشمندان به توابع مناسب‌تری در مقایسه با توابع سینوسی و کسینوسی که اساس آنالیز

^{۱۱} Joseph Fourier