

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## چکیده

امکان تصویربرداری زیرسطحی توسط پروب های میکروویو با وضوح بالا و همچنین مزیت بدون تماس بودن پروب با نمونه، تصویربرداری میکروویو را امروزه به موضوع مهمی در کاربردهایی مانند آزمایش های غیرمخرب بدل کرده است. هدف این تحقیق، اجرای یک سیستم آزمایشگاهی تصویربرداری میکروویو برای اجسام زیرسطحی است. در این راستا یک پروب میدان نزدیک میکروویو طراحی و ساخته شده است. این پروب دارای مشخصه ی ضریب کیفیت بالا برای افزایش حساسیت در تلفات بازگشتی ( $S_{11}$ ) هست که امکان دستیابی به تصاویر میکروویو با وضوح بالا را امکان پذیر می سازد. پروب میدان نزدیک با استفاده از تکنولوژی خطوط ریزنواری طراحی شده که براساس تکنیک حفره ی تشدید، امکان افزایش حساسیت در تلفات بازگشتی را میسر می کند. پروب ساخته شده بر روی یک سیستم آزمایشگاهی مکانیزه، مجهز به موتورهای پله ای نصب شده و تصویربرداری میکروویو با حرکت دوبعدی صفحه نمونه و پروب ثابت انجام می شود. در هر نقطه از حرکت دوبعدی ماتریسی، مقدار تلفات بازگشتی توسط یک دستگاه تحلیل گر شبکه اندازه گیری می شود. با تبدیل داده های بدست آمده به یک ماتریس اندازه گیری ذخیره شده در کامپیوتر، تصویر اولیه ای از نمونه تشکیل می گردد. سپس با اعمال الگوریتم های پردازش تصویر به تصویر اولیه، تصویر نهایی با وضوح فضایی بالا بدست آورده می شود. خطای میانگین مربعات جهت تعیین میزان دقت تصاویر بدست آمده از سیستم اندازه گیری تصویربرداری میکروویو به کار برده می شود. از کاربردهای مهم این روش تصویربرداری، در پزشکی جهت تشخیص سرطان پوست با توجه به هزینه ی کمتر نسبت به روش های دیگر مانند MRI، اشعه ی X و یا در صنعت هوانوردی جهت یافتن ترک های بدنه هواپیما (مخفی شده زیر لایه ی رنگ) را می توان نام برد.

**کلمات کلیدی:** پروب میدان نزدیک - تصویربرداری میکروویو - ضریب کیفیت - وضوح فضایی

## فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه.....
<b>فصل اول: مقدمه.....</b>	<b>۱.....</b>
۱-۱- مقدمه.....	۲.....
۲-۱- تاریخچه.....	۴.....
۳-۱- انواع میکروسکوپ.....	۵.....
۴-۱- تصویربرداری مایکروویو.....	۸.....
۵-۱- تصویربرداری مایکروویو زیرسطحی.....	۱۲.....
۶-۱- پروب میدان نزدیک.....	۱۴.....
۷-۱- اهداف پایان نامه.....	۱۵.....
۸-۱- ساختار پایان نامه.....	۱۶.....
<b>فصل دوم: بررسی انواع پروب میدان نزدیک.....</b>	<b>۱۷.....</b>
۱-۲- مقدمه.....	۱۸.....
۲-۲- پیشینه تحقیق.....	۱۹.....
۲-۲-۱- انواع پروب با طراحی نوک‌های مختلف.....	۲۳.....
۲-۲-۲- بررسی میکروسکوپ‌های اسکن میدان نزدیک.....	۲۷.....
۲-۲-۳- روش‌های تصویربرداری توسط میکروسکوپ اسکن میدان نزدیک.....	۳۰.....
۲-۲-۳- کاربرد‌های عملی استفاده از میکروسکوپ‌های اسکن میدان نزدیک.....	۳۲.....
<b>فصل سوم: پروب میدان نزدیک ریزنواری.....</b>	<b>۳۶.....</b>
۱-۳- مقدمه.....	۳۷.....
۲-۳- تاریخچه.....	۳۸.....
۳-۳- ساختار کلی پروب ریزنواری.....	۳۹.....
۴-۳- مطالعه پارامترهای اساسی آنتن.....	۴۰.....
۳-۴-۱- معادلات اساسی آنتن‌های ریزنواری.....	۴۰.....
۳-۴-۱-۱- خطوط انتقال ریزنواری مستطیلی.....	۴۱.....
۳-۴-۱-۲- تشدیدگرهای مایکروویو.....	۴۴.....
۳-۴-۱-۳- ضریب کیفیت و تطبیق امپدانس.....	۴۷.....
۵-۳- اجرای عملی پروب.....	۴۸.....
۳-۵-۱- طراحی و شبیه‌سازی پروب.....	۵۰.....
۳-۵-۲- ساخت و اندازه‌گیری پروب.....	۷۰.....
<b>فصل چهارم: سیستم تصویربرداری میدان نزدیک آزمایشگاه (Probe Station).....</b>	<b>۷۳.....</b>

۷۴	۱-۴- ساختار کلی ماشین CNC
۷۵	۲-۴- مدار واسط
۷۷	۳-۴- سیستم Fixturer (طریقه‌ی نصب) پروب روی Probe station
۷۹	۴-۴- دستگاه اندازه‌گیری میکروویو (تحلیل‌گر شبکه)
۸۰	۱-۴-۴- اتصالات
۸۲	۲-۴-۴- کالیبراسیون
۸۴	۳-۴-۴- خواندن اطلاعات از طریق نرم افزار Lab-VIEW
۸۷	<b>فصل پنجم: تصویربرداری میکروویو اشیای نمونه زیرسطحی</b>
۸۸	۱-۵- معرفی سناریوی تصویربرداری میکروویو آزمایشگاهی
۸۹	۲-۵- توصیف اشیای نمونه
۸۹	۱-۲-۵- زیرلایه‌ی چوبی
۹۰	۲-۲-۵- نمونه‌های فلزی
۹۰	۳-۲-۵- پوشش کاغذی
۹۱	۳-۵- اسکن کردن نمونه‌ها توسط پروب
۹۵	۴-۵- فرآیند تولید تصویر میکروویو با ایجاد ماتریس اندازه‌گیری
۹۷	۵-۵- تولید تصویر نهایی و نمایش تصاویر خام
۱۰۱	<b>فصل ششم: پردازش تصویر برای بهبود خروجی سیستم تصویربرداری</b>
۱۰۲	۱-۶- مقدمه
۱۰۲	۲-۶- توصیف فرآیند تصمیم‌گیری
۱۰۴	۳-۶- تشخیص تصویر زیرسطحی و دسته‌بندی کردن آن‌ها
۱۰۵	۴-۶- توصیف الگوریتم پردازش تصویر
۱۰۸	۵-۶- اعمال الگوریتم روی تصاویر خام و نمایش خروجی
۱۰۹	۶-۶- معرفی تابع خطا و راندمان کار
۱۱۱	<b>فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات</b>
۱۱۲	۱-۷- نتیجه‌گیری
۱۱۳	۲-۷- پیشنهادات
۱۱۵	<b>مراجع</b>
۱۱۹	<b>واژه‌نامه انگلیسی به فارسی</b>

## فهرست شکل‌ها

عنوان .....	صفحه
شکل ۱-۱. میزان دقت تصویربرداری در ابعاد زیر نانومتر تا ابعاد کهکشان‌ها [۱].....	۲
شکل ۱-۲. دسته‌بندی کلی میکروسکوپ‌ها و معرفی چند نمونه از انواع میکروسکوپ‌های پرکاربردتر .....	۸
شکل ۱-۳. میزان وابستگی طول موج‌های مختلف در عبور از هوای معمولی [۱].....	۱۳
شکل ۲-۱. انواع مختلفی از پروب‌ها با طراحی‌های متفاوت [۵۳، ۴۹، ۳۶، ۳۰، ۱] .....	۱۸
شکل ۲-۲. پروب‌های میکروسکوپ‌های مایکروویو میدان نزدیک [۲۶].....	۲۳
شکل ۲-۳. دستگاه و ابعاد پروب موج‌بر مستطیلی باریک شده با ایجاد یک شکاف در انتهای آن [۲۷].....	۲۴
شکل ۲-۴. آنتن موج‌بر مستطیلی باریک شده به شکل هرمی الف) آنتن میدان نزدیک SEM ب) اندازه‌گیری با موج پیوسته تک‌فرکانسی پ) اندازه‌گیری با موج پالسی پهن باند [۲۸].....	۲۴
شکل ۲-۵. هندسه آنتن میله‌ای عایقی به صورت دولا یه [۳۰] .....	۲۵
شکل ۲-۶. پروب عملی ساخته شده و بزرگ شده نوک آن [۳۱].....	۲۶
شکل ۲-۷. مدل مداری نوک پروب تا نمونه فلزی [۳۵].....	۲۷
شکل ۲-۸. میکروسکوپ موج میلی‌متری میدان نزدیک [۳۶].....	۲۸
شکل ۲-۹. مقایسه طیف فرکانسی در استفاده از تکنیک‌های میکروسکوپی اسکن از طریق پروب [۳۹].....	۲۹
شکل ۲-۱۰. پروب مایکروویو ناپایدار میدان نزدیک همراه با یک حلقه سیم مسی [۴۰].....	۳۰
شکل ۲-۱۱. مسیر اسکن خطی و دایروی در یک فضای اسکن [۴۲].....	۳۲
شکل ۲-۱۲. بازه فرکانسی مورد استفاده برای میکروسکوپ‌های مختلف [۴۴].....	۳۳
شکل ۲-۱۳. پروب عملی ساخته شده برای انجام آزمایش [۴۸].....	۳۴
شکل ۳-۱. طرح اولیه پروب.....	۴۰
شکل ۳-۲. خط انتقال ریزنواری [۵۳].....	۴۱
شکل ۳-۳. اثر لبه ایجاد شده در خط انتقال ریزنواری [۵۳].....	۴۲
شکل ۳-۴. شکاف ریزنواری و مدار معادل آن (مدل $\pi$ ) [۵۴].....	۴۵

- شکل ۳-۵. مدل مداری  $RLC$  آنتن خط انتقال ریزنواری [۵۴]..... ۴۸
- شکل ۳-۶. یک تشدیدگر ریزنواری مدار باز با خط تغذیه ریزنواری تزویج شده و کانکتور  $SMA$ ..... ۴۹
- شکل ۳-۷. الگوی تشعشعی آنتن ایده آل..... ۵۰
- شکل ۳-۸. شماتیک پروب ۶۰ گیگاهرتز با استفاده از نرم افزار  $HFSS$ ..... ۵۰
- شکل ۳-۹. نمودار  $S_{11}$  پروب در فرکانس ۶۰ گیگاهرتز..... ۵۱
- شکل ۳-۱۰. نمودارهای  $S_{11}$  آنتن موردنظر با مقیاس‌های یک تا سه برابر مقدار اصلی..... ۵۲
- شکل ۳-۱۱. شماتیک پروب ۲۰ گیگاهرتز با استفاده از نرم افزار  $HFSS$ ..... ۵۲
- شکل ۳-۱۲. نمودار  $S_{11}$  طراحی شده در فرکانس ۲۰ گیگاهرتز با ابعاد جدید..... ۵۳
- شکل ۳-۱۳. نمودار سه‌بعدی میدان دور پروب ریزنواری..... ۵۴
- شکل ۳-۱۴. نمودار دوبعدی میدان دور پروب ریزنواری..... ۵۴
- شکل ۳-۱۵. نمودار سه‌بعدی میدان نزدیک پروب ریزنواری..... ۵۵
- شکل ۳-۱۶. نمودار دوبعدی میدان نزدیک پروب ریزنواری..... ۵۵
- شکل ۳-۱۷. پارامتریک کردن ابعاد پروب..... ۵۷
- شکل ۳-۱۸. نمودار  $S_{11}$  پروب با تغییر  $L_2$  برای بهینه کردن آن..... ۵۸
- شکل ۳-۱۹. نمودار  $S_{11}$  پروب با تغییر  $L_4$  برای بهینه کردن آن..... ۵۸
- شکل ۳-۲۰. شماتیک پروب با محدب کردن نوک آن..... ۵۹
- شکل ۳-۲۱. نمودار  $S_{11}$  پروب با نوک محدب شده..... ۵۹
- شکل ۳-۲۲. شماتیک پروب با مقعر کردن نوک آن..... ۶۰
- شکل ۳-۲۳. نمودار  $S_{11}$  پروب با نوک مقعر شده..... ۶۰
- شکل ۳-۲۴. شماتیک پروب با قرار دادن قطاع دایره در نوک آن..... ۶۱
- شکل ۳-۲۵. نمودار  $S_{11}$  پروب با نوک دایروی..... ۶۱
- شکل ۳-۲۶. نمودار  $S_{11}$  پروب با تغییر زاویه  $\alpha$ ..... ۶۲
- شکل ۳-۲۷. بزرگ شده نوک پروب با استفاده از یک میکروسکوپ نوری [۳۶]..... ۶۲
- شکل ۳-۲۸. نمودار تغییرات طول شکاف بر حسب مقدار  $S_{11}$  پروب..... ۶۳
- شکل ۳-۲۹. نمودار تغییرات طول شکاف بر حسب پهنای باند پروب..... ۶۳

- شکل ۳-۳۰. نمودار  $S_{11}$  پروب با تغییر صدم میلی‌متر  $L_4$  برای بهینه کردن آن ..... ۶۴
- شکل ۳-۳۱. نمودار  $S_{11}$  پروب با تغییر صدم میلی‌متر  $L_3$  برای بهینه کردن آن ..... ۶۴
- شکل ۳-۳۲. نمودار  $S_{11}$  پروب با تغییر هم‌زمان  $L_3$  و  $L_4$  برای بهینه کردن آن ..... ۶۵
- شکل ۳-۳۳. نمودار  $S_{11}$  پروب با تغییر هم‌زمان  $L_2$ ،  $L_3$  و  $L_4$  برای بهینه کردن آن ..... ۶۵
- شکل ۳-۳۴. نمودار سه‌بعدی میدان نزدیک پروب نهایی طراحی شده برای ساخت (نما از کنار) ..... ۶۶
- شکل ۳-۳۵. نمودار دوبعدی میدان نزدیک پروب نهایی طراحی شده برای ساخت (نما از کنار) ..... ۶۶
- شکل ۳-۳۶. نمودار سه‌بعدی الگوی تشعشعی میدان نزدیک پروب نهایی طراحی شده برای ساخت (نما از روبرو به سمت بالا در جهت نوک پروب) ..... ۶۷
- شکل ۳-۳۷. نمودار  $S_{11}$  پروبی به طول ۱۵ میلی‌متر در فرکانس ۲۰ گیگاهرتز ..... ۶۷
- شکل ۳-۳۸. نمودار سه‌بعدی الگوی تشعشعی میدان نزدیک پروب به طول ۱۵ میلی‌متر در فرکانس ۲۰ گیگاهرتز (نمای کناری) ..... ۶۸
- شکل ۳-۳۹. نمودار دوبعدی الگوی تشعشعی میدان نزدیک پروب به طول ۱۵ میلی‌متر در فرکانس ۲۰ گیگاهرتز (نمای کناری) ..... ۶۸
- شکل ۳-۴۰. نمودار سه‌بعدی الگوی تشعشعی میدان دور پروب به طول ۱۵ میلی‌متر در فرکانس ۲۰ گیگاهرتز (نمای کناری) ..... ۶۸
- شکل ۳-۴۱. نمودار دوبعدی الگوی تشعشعی میدان دور پروب به طول ۱۵ میلی‌متر در فرکانس ۲۰ گیگاهرتز (نمای کناری) ..... ۶۹
- شکل ۳-۴۲. نمودار  $S_{11}$  پروب نهایی طراحی شده برای ساخت توسط نرم افزار HFSS ..... ۶۹
- شکل ۳-۴۳. نمودار  $S_{11}$  پروب نهایی طراحی شده برای ساخت توسط نرم افزار CST ..... ۷۰
- شکل ۳-۴۴. پرینت پروب برای پیاده‌سازی روی برد ..... ۷۱
- شکل ۳-۴۵. آنتن ساخته شده به همراه کانکتور متصل به آن (برحسب سانتی‌متر) ..... ۷۱
- شکل ۳-۴۶. اندازه‌گیری نمودار  $S_{11}$  با دستگاه تحلیل‌گر شبکه ..... ۷۱
- شکل ۳-۴۷. نمودارهای  $S_{11}$  شبیه‌سازی و پیاده‌سازی شده ..... ۷۲
- شکل ۴-۱. دستگاه CNC و جعبه کنترل آن ..... ۷۵

- شکل ۴-۲. مدار واسط متصل شده به دستگاه CNC و رایانه و بزرگ شده پورت USB، مبدل USB به TTL و نمای کامل از مدار واسط..... ۷۶
- شکل ۴-۳. مراحل تهیه استوانه چوبی برای نگه داشتن پروب ..... ۷۷
- شکل ۴-۴. متصل کردن پروب به سیستم Fixture و ثابت کردن آن..... ۷۸
- شکل ۴-۵. نصب سیستم Fixture به همراه پروب روی دستگاه CNC..... ۷۸
- شکل ۴-۶. دستگاه تحلیل گر شبکه مدل 8720C..... ۷۹
- شکل ۴-۷. نمای بالا، کنار و پایین کانکتور SMA female..... ۸۰
- شکل ۴-۸. کابل کواکسیال انعطاف پذیر..... ۸۱
- شکل ۴-۹. کابل کواکسیال سخت به صورت عمود شده..... ۸۲
- شکل ۴-۱۰. نحوه اتصال کانکتور و کابل های کواکسیال به پروب ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۱. مچ بند و کانکتورهای کالیبراسیون ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۲. انجام عمل کالیبراسیون دستگاه تحلیل گر شبکه ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۳. اندازه گیری S<sub>11</sub> پروب و خواندن اطلاعات در رایانه توسط نرم افزار Lab-VIEW..... ۸۶
- شکل ۴-۱۴. بلوک دیاگرام و پنل کنترلی اسکن اتوماتیک در محیط نرم افزاری Lab-VIEW..... ۸۶
- شکل ۵-۱. زیرلایه از جنس چوب..... ۸۹
- شکل ۵-۲. نمونه های فلزی از جنس مس..... ۹۰
- شکل ۵-۳. پوشش کاغذی علامت گذاری شده (برحسب سانتی متر)..... ۹۱
- شکل ۵-۴. ترتیب قرار گرفتن نمونه و لایه های کاغذی و چوبی..... ۹۲
- شکل ۵-۵. آماده سازی نمونه برای اسکن ..... ۹۲
- شکل ۵-۶. قرار گرفتن نمونه روی صفحه اسکن..... ۹۳
- شکل ۵-۷. اسکن کردن به صورت خطی و زیگزاگ..... ۹۴
- شکل ۵-۸. نمونه های اندازه گیری شده ..... ۹۴
- شکل ۵-۹. اسکن کردن نمونه در حالت موتورایز شده ..... ۹۵
- شکل ۵-۱۰. ماتریس اندازه گیری ۱۰×۱۰ مقدار فرکانس های تشدید در اسکن نمونه مربعی..... ۹۶
- شکل ۵-۱۱. ماتریس اندازه گیری ۱۰×۱۰ شیفت داده به مقیاس خاکستری در اسکن نمونه مربعی..... ۹۷



- شکل ۵-۱۲. تصویر خام تشکیل شده از اسکن نمونه مربعی  $10 \times 10$  و بزرگ‌نمایی  $1000$  برابری آن ..... ۹۷
- شکل ۵-۱۳. تصاویر خام از نمونه‌ها با ابعاد اسکن  $25 \times 25$  پیکسلی و به صورت دستی ..... ۹۹
- شکل ۵-۱۴. تصاویر خام دایره فلزی با ابعاد اسکن  $25 \times 25$  و  $100 \times 100$  به صورت موتورایز شده ..... ۹۹
- شکل ۶-۱. بلوک دیاگرام فرآیند تصمیم‌گیری ..... ۱۰۴
- شکل ۶-۲. شکل‌های (الف) تا (ه) نمودارهای هیستوگرام تصاویر نهایی حاصل از اندازه‌گیری ..... ۱۰۶
- شکل ۶-۳. شکل‌های (الف) و (ب) به ترتیب تصاویر خروجی بخش دوم و اول حاصل از اعمال الگوریتم پردازش تصویر به تصاویر خام ..... ۱۰۸

## فهرست جدول‌ها

عنوان .....	صفحه
جدول ۱-۱. پارامترهای فیزیکی اندازه‌گیری شده در انواع تکنولوژی‌های تصویربرداری [۱۹].....	۱۱
جدول ۱-۲. منابع و روش‌های آشکارسازی امواج [۱].....	۱۲
جدول ۲-۱. مقایسه‌ی وضوح و ویژگی‌های میکروسکوپ‌ها [۲۵].....	۲۲
جدول ۲-۲. مقایسه‌ی بین روش‌های میکروسکوپی اسکن به‌وسیله‌ی پروب و نوع نمونه آن‌ها [۴۹].....	۳۵
جدول ۳-۱. ابعاد پروب نهایی طراحی شده برای ساخت.....	۶۹
جدول ۳-۲. ابعاد پروب طراحی شده برای ساخت با طول و عرض ۱۶ میلی‌متر.....	۷۰
جدول ۳-۳. مقایسه بین پروب‌های ساخته شده و شبیه‌سازی شده.....	۷۲
جدول ۵-۱. فرکانس‌های تشدید برای نمونه‌های مختلف.....	۹۸
جدول ۶-۱. نمونه‌ها و مقدار آستانه مطلوب در نظر گرفته شده برای آن‌ها.....	۱۰۷
جدول ۶-۲. مقدار خطای میانگین مربعات برای نمونه‌های مختلف.....	۱۱۰

## فهرست علائم

علامت اختصاری	عنوان
$\epsilon$	ضریب نفوذپذیری الکتریکی
$\mu$	ضریب نفوذپذیری مغناطیسی
$\sigma$	رسانایی
$\lambda$	طول موج
$f_r$	فرکانس تشدید
$c$	سرعت نور
$Q$	ضریب کیفیت
$Z_0$	امپدانس تطبیق
$\tan \delta$	ضریب تلفات
$v_p$	سرعت فاز
$\beta$	ثابت انتشار
$\alpha$	تلفات آنتن

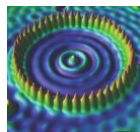
## فصل اول

### مقدمه

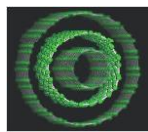
## ۱-۱- مقدمه

بشر از همان ابتدا به دنبال روشی برای ثبت اطلاعات و لحظات بود. با پیشرفت تکنولوژی، تصویربرداری از وقایع، اشیا و محیط اطراف رایج شد. امروزه روش‌های مختلفی برای تشکیل انواع تصاویر و ذخیره‌سازی آن‌ها به شیوه‌های مختلف به وجود آمده است. تصویربرداری، اندازه‌گیری توزیع فضایی تعدادی از خواص فیزیکی یک شی می‌باشد که با استفاده از ابزارهایی همچون دوربین عکاسی، اسکنر صوتی یا نوری، میکروسکوپ، تلسکوپ، سیستم رادار، اشعه‌ی ایکس<sup>۱</sup> و غیره انجام می‌گردد [۱]. همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، مقیاس فضایی این اشیا ممکن است از رنج زیر نانومتر تا یک سال نوری باشد. مؤلفه‌هایی که از تشکیل تصویر می‌توان بدست آورد عبارتند از:

- شکل، اندازه و مکان مرکز یک هدف
- تعیین تعداد اهداف با یک نوع خاص
- خواص فیزیکی مواد مانند رطوبت و درجه حرارت
- اندازه‌گیری آماری یک توزیع تصادفی (مانند برابری سنجی، غیریکنواختی و چرخش یک محیط)
- حضور و غیبت یک ماده‌ی خاص، آشکارسازی یک هدف مخفی، تشخیص وجود شکست یا حفره



$\text{\AA}=0.1 \text{ nm}$   
اتمی- مولکولی



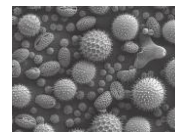
$\text{nm}$   
نانوتکنولوژی



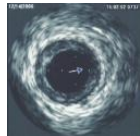
$\text{nm}$   
ژنتیکی



$\mu\text{m}$   
سلولی



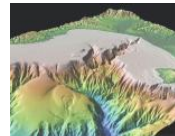
$10\mu\text{-mm}$   
هاگ‌شناسی



$\text{mm}$   
قلبی-عروقی



$\text{cm}$   
آناتومی



$\text{m-km}$   
ژئوفیزیکی



$\text{Km}$   
اتمسفری



$\text{Light Years}$   
ستاره‌شناسی

شکل ۱-۱. میزان دقت تصویربرداری در ابعاد زیر نانومتر تا ابعاد کهکشان‌ها [۱]

<sup>1</sup> X-Ray

در تصویربرداری‌های مختلف می‌توان خواص فیزیکی تصویر را به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم دریافت نمود. دستگاه‌های تصویربرداری از طریق پدیده‌های فیزیکی زیادی همچون انعکاس، انکسار، بازتاب، پاشیدگی، فلورسانس، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، تشدید مغناطیسی و انتشار حرارتی تصویر را تشکیل می‌دهند. از جمله خواص فیزیکی که از این روش‌ها بدست می‌آیند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

خواص فیزیکی دریافت شده به طور مستقیم عبارتند از:

- الکترومغناطیسی: گذردهی، نفوذپذیری، رسانایی، چگالی اسپین‌های هسته
- نوری: شاخص انکسار، ضریب جذب، ضریب بازتاب، ضریب نفوذ، نرخ و طول عمر فلورسانس
- اشعه‌ی ایکس: ضریب جذب، ضریب بازتاب
- صوتی<sup>۱</sup> (آکوستیک): چگالی، تراکم‌پذیری

از این خواص، برخی خواص دیگر به‌صورت غیرمستقیم بدست می‌آیند که می‌توان به موارد زیادی همچون فشار، درجه حرارت، رطوبت، مقاومت گرمایی، ترکیبات شیمیایی، ساختار اتمی، خواص فیزیولوژیکی و زیست‌شناختی مثل جریان خون، تمرکز هموگلوبین، مشخصات ژنی، ناهمسانی سلولی و غیره اشاره کرد. با بهینه کردن تصاویر و بدست آوردن اطلاعات از آن‌ها، می‌توان خواص مختلفی از نمونه‌ی<sup>۲</sup> موردنظر (هر چیزی مانند شی یا بافت زنده که عمل تصویربرداری از آن انجام می‌گیرد) بدست آورد.

در تصویربرداری مایکروویو از یک آنتن که مختص به آن طراحی شده است، برای اندازه‌گیری امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود. با توجه به خواص الکتریکی و مغناطیسی شیء موردنظر و ایجاد ناهمگنی نسبت به محیط تصویربرداری مایکروویو، از این اختلاف برای آشکارسازی تصویر استفاده می‌شود.

سیستم تصویربرداری الکترومغناطیس در فرکانس‌های مایکروویو در موارد زیادی از کاربردها همچون

عیب‌یابی صنعتی، بررسی سطوح زیرسطحی و تصویربرداری پزشکی به طور عملی استفاده می‌شود [۲].

---

<sup>1</sup> Acoustic

<sup>2</sup> Sample

## ۲-۱- تاریخچه

در سال ۱۸۷۳ هنگامی که آبه<sup>۱</sup> فرمول‌های مربوط به میکروسکوپ نوری را بررسی می‌کرد، متوجه شد که در میدان‌های الکترومغناطیسی، وضوح فضایی به نصف طول موج تشعشع در مورد امواج الکترومغناطیسی محدود می‌شود (یعنی بدست آوردن وضوح فضایی بالا با توجه به محدودیت طول موج امکان‌پذیر نیست) [۳].

در سال ۱۹۲۸، سینج<sup>۲</sup> روشی را ارائه داد که محدودیت توصیف شده توسط آبه را نداشت. روش ارائه شده بر این اساس بود که از طریق اسکن نقطه به نقطه در میدان نزدیک یک پروب کوچک، برای دستیابی به یک وضوح فضایی زیر طول موج انجام می‌شود. این روش امروزه با همان نام میکروسکوپ مایکروویو اسکن میدان نزدیک شناخته می‌شود. در سال ۱۹۴۴، بته<sup>۳</sup> کار سینج را بهبود داد و استفاده از حفره‌های تشدید برای بالا بردن حساسیت و ضریب کیفیت<sup>۴</sup> را پیشنهاد داد. پس از پیشنهاد اولیه سینج و نظریه بته در سال ۱۹۵۳، پاته<sup>۵</sup> استفاده از میکروسکوپ اسکن اشعه‌ی ایکس را پیشنهاد داد [۴].

در سال ۱۹۵۶، اکیف<sup>۶</sup> در مورد روش‌های خواندن سیگنال‌های زیر طول موج تحقیقاتی انجام داد. او از یک آشکارساز نوری برای اسکن و اندازه‌گیری نور بازتابی استفاده کرد، که موضوع اصلی برای ساخت میکروسکوپ نوری اسکن میدان نزدیک (NSOM<sup>۷</sup>) بود و تفاوت آن با میکروسکوپ مایکروویو اسکن میدان نزدیک (NSMM<sup>۸</sup>) در بازه‌ی فرکانس کاری آن‌ها و شیوه خواندن (آشکارسازی) اطلاعات می‌باشد. برای خواندن اطلاعات در NSMM از تشدیدگرهای بارگذاری شده<sup>۹</sup> استفاده می‌شود [۵]. در سال ۱۹۵۶، پاته با استفاده از امواج صوتی نشان داد که وضوح تصویر به طول موج غیر وابسته است [۶].

سرانجام در سال ۱۹۶۲، سوهو<sup>۱۰</sup> اولین آزمایش را در مورد ایده‌ی سینج انجام داد که وضوح ۲۵ میکرومتر را در فرکانس ۵/۵ گیگاهرتز بدست آورد. آزمایش سوهو می‌توانست سبب خراب شدن نمونه مورد آزمایش شود؛ زیرا آزمایش از طریق تماس نمونه با دهانه‌ی آنتن انجام می‌گرفت. روش تماس داشتن پروب با نمونه استفاده

---

1 Abbe

2 Syngé

3 Bethe

4 Quality factor

5 Pattee

6 O'Keefe

7 Near-Field Scanning Optical Microscopy

8 Near-Field Scanning Microwave Microscopy

9 Loaded Resonator

10 Soohoo

می‌شد تا این‌که در سال ۱۹۶۵، گان<sup>۱</sup> و براین<sup>۲</sup> اولین آزمایش NSMM را به‌صورت بدون تماس<sup>۳</sup> با نمونه با وضوح فضایی یک میلی‌متر در فرکانس ۴۵۰ مگاهرتز انجام دادند [۷]. در سال ۱۹۷۲، واژه‌ی NSMM به‌وسیله‌ی آش<sup>۴</sup> و نیکولز<sup>۵</sup> در قالب یک مقاله علمی معرفی شد. این کار در فرکانس ۱۰ گیگاهرتز، تصویری با وضوح فضایی ۰/۵ میلی‌متر ایجاد می‌کند و از جمله خواص آن تشدیدگر<sup>۶</sup> با ضریب کیفیت بالا می‌باشد [۸]. در همین سال‌ها بلانک<sup>۷</sup> و مَتی<sup>۸</sup> نشان دادند که حساسیت سیستم با ضریب کیفیت رابطه‌ی مستقیم دارد [۹]. همچنین در سال ۱۹۶۵، گوتمن<sup>۹</sup> اختلاف شدت بین پروب‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی را نشان داد که در سال‌های بعد توسط طیب‌آذر عملی گردید. در روش طیب‌آذر از نوک فلزی تیز برای پروب‌های میدان الکتریکی و حلقه‌های سیمی کوچک برای پروب میدان مغناطیسی استفاده می‌شد [۱۰]. در سال ۱۹۸۱ در شرکت IBM، رُهر<sup>۱۰</sup> و بینینگ<sup>۱۱</sup> میکروسکوپ اسکن تونل‌زنی (STM<sup>۱۲</sup>) را ساختند و در سال ۱۹۸۷، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM<sup>۱۳</sup>) نیز تکمیل شد. با ترکیب AFM و NSMM یک میکروسکوپ با مزایای دقت نانومتر و تزویج قوی بین پروب، نمونه و نواحی اسکن خیلی کوچک در حدود ۱۰۰ میکرومتر با تشخیص معایب سطحی نمونه‌ها ساخته شد [۱۱]. بدین ترتیب سیر تکاملی تصویربرداری از اشیا با افزایش وضوح تصویر و دقت بسیار بالا تا امروزه ادامه پیدا کرده است.

### ۳-۱- انواع میکروسکوپ

علاقه‌ی بشر به بزرگ نشان دادن اشیا، برای بهتر دیدن و شناسایی آن‌ها و توجه به این موضوع که این کار از طریق چشم غیرمسلح (چشم طبیعی انسان) صورت نمی‌گرفت، او را به فکر ساخت وسیله‌ای برای بزرگ‌نمایی اشیا انداخت. در این راستا ساخت میکروسکوپ از اوایل قرن هفدهم جهت تحقق این هدف آغاز گردید. اختراع

---

1 Gunn

2 Bryant

3 Non-Contact

4 Ash

5 Nicholls

6 Resonator

7 Blanc

8 Matey

9 Guttman

10 Rohrer

11 Binnig

12 Scanning Tunnelling Microscopy

13 Atomic Force Microscopy