



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق – مخابرات

طراحی، شبیه‌سازی و ساخت آنتن آرایه شکافی تغذیه موجبری با هدف افزایش پهنای باند برای  
رادار روزنه مصنوعی

توسط:

نوید نوله دان

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر رمضانعلی صادق زاده

تابستان ۱۳۹۲

الله الرحمن الرحيم

## تأییدیه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: نوید نوله دان

را با عنوان: آنتن پهن باند امیدانسی آرایه شکافی تغذیه موجبری برای رادار روزنه مصنوعی

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
	استادیار	رضانعلی صادق زاده	۱- استاد راهنما
			۲- استاد مشاور
			۳- استاد مشاور
	استادیار	غلامرضا داداش زاده	۴- استاد ممتحن
	استادیار	سمیه چمانی	۵- استاد ممتحن
			۶- نماینده تحصیلات تکمیلی

## تقدیم

تقدیم به مهربان فرشتگانی که:

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه‌های یکتا و زیبای  
زندگی، مدیون حضور آنهاست.

## تشر و قدردانی

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

## چکیده

یک آنتن آرایه شکافی تغذیه موجبری با پهنای باند مناسب جهت استفاده در رادار روزنه مصنوعی برای تصویربرداری و نقشه برداری کاربرد فراوان دارد. مشکل اصلی این آنتن، پهنای باند کم آن است. حداقل پهنای باند برای تصویربرداری با قدرت تفکیک ایده‌آل برای رادار روزنه مصنوعی، ۱ گیگاهرتز می‌باشد. در این پایان-نامه ابتدا روش‌های طراحی و تحلیل یک آنتن آرایه شکافی تغذیه موجبری بیان شده است. بعد از آن، به ارتباط یک آنتن آرایه شکافی با آنتن آرایه دوقطبی معادل اشاره شده و از تکنیک‌های قابل استفاده در آنتن آرایه دوقطبی برای بالا بردن پهنای باند آنتن آرایه شکافی بهره گرفته شده است. سپس روش‌هایی مثل افزایش پهنای شکاف، تکنیک زیر آرایه، موجبر برجسته، کاهش تعداد شکاف، تغذیه در وسط، شکاف بیضی شکل، شکاف‌های فراکتال و دمبلی که همه این روش‌ها پهنای باند آنتن آرایه شکافی را افزایش می‌دهد مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در انتها با بهره‌گیری از روش‌های ذکر شده و ابداع روش جدید مبتنی بر شکل شکاف مستطیلی گرد شده، آنتن آرایه شکافی ۸ عنصره تغذیه موجبری با پهنای باند ۱۷/۴ درصد برای تلفات بازگشتی کمتر از ۱۰- دی‌بی در فرکانس مرکزی ۹/۵ گیگاهرتز، نسبت لوب فرعی ۱۵- دی‌بی و گین ۱۵/۵ دی‌بی، طراحی، شبیه‌سازی و ساخته شده است.

**کلید واژه:** آنتن آرایه شکافی، رادار روزنه مصنوعی، شکاف فراکتال، شکاف مستطیلی گرد شده.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۴.....	فهرست جدول‌ها.....
۵.....	فهرست شکل‌ها.....
۱۰.....	مقدمه.....
۱۰.....	۱-۱- پیشگفتار.....
۱۲.....	۲-۱- معرفی رادار روزنه مصنوعی.....
۱۵.....	فصل ۲- مقدمه‌ای بر آنتن‌ها.....
۱۵.....	۱-۲- تعریف کلی آنتن.....
۱۵.....	۲-۲- تاریخچه.....
۱۶.....	۳-۲- کاربرد آنتن‌ها.....
۱۷.....	۴-۲- پارامترهای اساسی آنتن.....
۱۷.....	۱-۴-۲- پترن تشعشی.....
۱۹.....	۲-۴-۲- گلب‌رگ‌های الگوی تشعشی.....
۲۰.....	۳-۴-۲- پهنای باند.....
۲۲.....	۴-۴-۲- جهت‌داری یا دایرکتیویته.....
۲۳.....	۵-۴-۲- راندمان.....
۲۴.....	۶-۴-۲- پهنای باند نیم توان.....
۲۵.....	۷-۴-۲- گین یا بهره توان.....
۲۶.....	۸-۴-۲- مقاومت آنتن.....
۲۶.....	۹-۴-۲- پلاریزاسیون یا قطبی‌شدگی.....
۲۷.....	۵-۲- انواع آنتن‌ها.....

۲۷..... ۱-۵-۲- آنتن‌های سیمی

۲۸..... ۲-۵-۲- آنتن‌های روزنه‌ای

۲۸..... ۳-۵-۲- آنتن‌های بازتابنده

۲۹..... ۴-۵-۲- آنتن‌های لنز

۳۰..... ۵-۵-۲- آنتن‌های میکرواستریپ

۳۱..... ۶-۵-۲- آنتن‌های شیاری

۴۳..... ۷-۵-۲- آنتن‌های آرایه‌ای

### فصل ۳- افزایش پهنای باند..... ۵۸

۵۸..... ۱-۳- مقدمه

۵۸..... ۲-۳- روش‌های افزایش پهنای باند در آنتن دوقطبی

۵۸..... ۱-۲-۳- افزایش شعاع آنتن دوقطبی استوانه‌ای

۶۰..... ۲-۲-۳- آنتن دوقطبی تا شده

۶۱..... ۳-۲-۳- تطبیق

۶۲..... ۳-۳- روش‌های افزایش پهنای باند آنتن آرایه شکاف موجبری

۶۲..... ۱-۳-۳- موجبر پهن باند

۶۳..... ۲-۳-۳- تکنیک زیر آرایه

۶۳..... ۳-۳-۳- مبدل امپدانسی

۶۳..... ۴-۳-۳- موجبر برجسته

۶۵..... ۵-۳-۳- افزایش پهنای شکاف

۶۵..... ۶-۳-۳- کاهش ضخامت دیواره

۶۵..... ۷-۳-۳- کاهش تعداد شکاف

۶۶..... ۸-۳-۳- تغذیه در وسط

۶۷..... ۹-۳-۳- شکل هندسی شکاف



۷۱	.....بیضی ۱۰-۳-۳
۷۳	.....آرایه شکاف مایل مرکزی ۱۱-۳-۳
۷۷	.....نتایج شبیه‌سازی فصل ۴
۷۷	.....کاهش تعداد شکاف ۱-۴
۷۹	.....افزایش عرض شکاف ۲-۴
۸۱	.....کاهش ضخامت دیواره‌ها ۳-۴
۸۲	.....شکل هندسی شکاف ۴-۴
۸۲	.....بیضی ۱-۴-۴
۸۴	.....فراکتال ۲-۴-۴
۸۶	.....دمبلی ۳-۴-۴
۸۸	.....تغذیه از وسط ۵-۴
۸۹	.....بیضی ۱-۵-۴
۹۱	.....فراکتال ۲-۵-۴
۹۲	.....ساخت و اندازه‌گیری فصل ۵
۹۹	.....پیشنهادات و نتیجه‌گیری
۱۰۰	.....فهرست مراجع
۱۰۲	.....واژه نامه فارسی به انگلیسی
۱۰۳	.....واژه نامه انگلیسی به فارسی

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۶۰	جدول ۱-۳: شعاع معادل
۷۸	جدول ۱-۴: نتایج تغییر تعداد شکاف یک آنتن تغذیه موجبری روی پارامترهای آنتن
۸۰	جدول ۲-۴: نتایج تغییر عرض شکاف یک آنتن تغذیه موجبری روی پارامترهای آنتن
۸۳	جدول ۳-۴: نتایج تغییر تعداد شکاف یک آنتن تغذیه موجبری بیضی شکل روی پارامترهای آنتن

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۱	شکل ۱-۱: نگاشت دوبعدی هدف روی ابعاد برد و بردمقاطع
۱۲	شکل ۲-۱: تصاویر گرفته شده توسط SAR و ISAR
۱۳	شکل ۳-۱: نحوه حرکت آنتن در رادارهای SAR
۱۸	شکل ۱-۲: تشعشع یک خط انتقال
۲۰	شکل ۲-۲: گلبرگ‌های الگوی تشعشعی آنتن
۲۴	شکل ۳-۲: مدار معادل آنتن
۲۵	شکل ۴-۲: نمودار تشعشع دو بعدی آنتن دوقطبی نصف طول موج
۲۷	شکل ۵-۲: مدل‌های آنتن سیمی
۲۸	شکل ۶-۲: آنتن بوقی هرمی شکل
۲۸	شکل ۷-۲: آنتن بوقی مخروطی شکل
۲۸	شکل ۸-۲: موجبر مستطیلی
۲۹	شکل ۹-۲: ساختار متداول بازتابنده
۳۲	شکل ۱۰-۲: خط‌های جریان
۳۳	شکل ۱۱-۲: شکل‌های مختلف شیار روی موجبر مستطیلی
۳۴	شکل ۱۲-۲: شیار طولی در دیواره پهن موجبر
۳۴	شکل ۱۳-۲: شیار عمودی در دیواره پهن موجبر
۳۵	شکل ۱۴-۲: شیار مایل در دیواره پهن موجبر
۳۶	شکل ۱۵-۲: شکاف با تغذیه موجبری
۳۷	شکل ۱۶-۲: مدار آنتن آرایه‌ای شکافی
۳۹	شکل ۱۷-۲: مدار معادل یک شکاف بر روی دیواره پهن موجبر
۴۱	شکل ۱۸-۲: اصل باینه
۴۴	شکل ۱۹-۲: مدل‌های انواع آنتن‌های آرایه‌ای

- شکل ۲-۲۰: آنتن آرایه خطی..... ۴۶
- شکل ۲-۲۱: ضریب پرتو آرایه‌ها..... ۴۷
- شکل ۲-۲۲: منحنی دامنه آنتن نسبت به تغییر فاز ..... ۴۹
- شکل ۲-۲۳: آرایه برادساید..... ۵۰
- شکل ۲-۲۴: پرتوی آرایه براد ساید..... ۵۱
- شکل ۲-۲۵: اختلاف فاز در آرایه اندفایر..... ۵۱
- شکل ۲-۲۶: آرایه اندفایر و برادساید با طول یک طول موج..... ۵۲
- شکل ۲-۲۷: شبکه مداری تزویج بین دو آنتن..... ۵۴
- شکل ۲-۲۸: تزویج دو آنتن در حالت فرستندگی..... ۵۶
- شکل ۲-۲۹: تزویج دو آنتن در حالت گیرندگی..... ۵۷
- شکل ۳-۱: نمایش آنتن دوقطبی استوانه‌ای تغذیه از وسط..... ۵۸
- شکل ۳-۲: تغییر رزیستانس آنتن دوقطبی سیمی نسبت به تغییر شعاع..... ۵۹
- شکل ۳-۳: تغییر راکتانس آنتن دوقطبی سیمی نسبت به تغییر شعاع..... ۵۹
- شکل ۳-۴: منحنی رزیستانس آنتن دوقطبی تا شده..... ۶۱
- شکل ۳-۵: منحنی راکتانس آنتن دوقطبی تا شده..... ۶۱
- شکل ۳-۶: تطبیق با خط‌های ربع طول موج..... ۶۲
- شکل ۳-۷: زیر آرایه عنصر ۴ در ۴ با ۲ عنصر سری..... ۶۳
- شکل ۳-۸: شمای داخلی یک موجبر برجسته..... ۶۴
- شکل ۳-۹: شمای بیرونی یک آنتن شکاف آرایه‌ای موجبر برجسته..... ۶۴
- شکل ۳-۱۰: تغییر پهنای پترن بر روی نسبت موج ساکن در بازه فرکانسی معین..... ۶۵
- شکل ۳-۱۱: منحنی تغییر تعداد شکاف با پهنای باند..... ۶۶
- شکل ۳-۱۲: نمونه طراحی تغذیه از وسط در آرایه..... ۶۷
- شکل ۳-۱۳: شکل مولد فراکتال مینکوفسکی..... ۶۸
- شکل ۳-۱۴: فراکتال  $3/2$  منحنی..... ۶۹
- شکل ۳-۱۵: آنتن حلقوی مربعی و آنتن حلقوی فراکتال مینکوفسکی..... ۷۰

- شکل ۳-۱۶: شمای آرایه شکافی موجبری با استفاده از شکاف بیضی شکل ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۷: گین آرایه آنتن بیضی شکل ..... ۷۲
- شکل ۳-۱۸: نسبت موج ساکن برای آنتن شکاف آرایه بیضی شکل ..... ۷۲
- شکل ۳-۱۹: دامنه برای آنتن شکاف آرایه بیضی شکل ..... ۷۲
- شکل ۳-۲۰: یک شکاف مایل در موجبر مستطیلی ..... ۷۳
- شکل ۳-۲۱: امپدانس نرمالیزه یک شکاف مایل مرکزی ..... ۷۵
- شکل ۳-۲۲: مدار معادل آرایه شکاف با فواصل نامساوی ..... ۷۵
- شکل ۳-۲۳: نسبت موج ساکن برای آرایه ۱۶ شکاف تغذیه موج- ساکن ..... ۷۶
- شکل ۳-۲۴: نسبت موج ساکن برای آرایه ۱۰ شکاف تغذیه موج- متحرک ..... ۷۶
- شکل ۴-۱: آرایه آنتن ۴ عنصره مستطیلی ..... ۷۷
- شکل ۴-۲: آرایه آنتن ۸ عنصره مستطیلی ..... ۷۷
- شکل ۴-۳: منحنی تغییرات تعداد شکاف روی پارامتر **S11** آنتن ..... ۷۸
- شکل ۴-۴: آرایه آنتن ۶ عنصره مستطیلی با عرض شکاف ۱/۶ میلیمتر ..... ۷۹
- شکل ۴-۵: آرایه آنتن ۶ عنصره مستطیلی با عرض شکاف ۳/۶ میلیمتر ..... ۷۹
- شکل ۴-۶: منحنی تغییرات عرض شکاف روی پارامتر **S11** آنتن ..... ۸۰
- شکل ۴-۷: نمودار تغییرات ضخامت دیواره‌های موجبر روی پهنای باند آنتن ..... ۸۱
- شکل ۴-۸: نمودار تغییرات ضخامت دیواره‌های موجبر روی گین آنتن ..... ۸۱
- شکل ۴-۹: آرایه آنتن ۶ عنصره با شکافهای بیضی ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۰: منحنی پارامتر **S11** دو آرایه آنتن ۲ عنصره با شکافهای مستطیلی و بیضی ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۱: منحنی پارامتر **S11** دو آرایه آنتن ۸ عنصره با شکافهای مستطیلی و بیضی ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۲: الگوی شکاف فراکتال ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۳: آرایه آنتن ۶ عنصره با شکاف فراکتال ..... ۸۵
- شکل ۴-۱۴: منحنی پارامتر **S11** آرایه آنتن ۶ عنصره با شکاف فراکتال ..... ۸۵
- شکل ۴-۱۵: عرض فرورفتگی در طول و عرض شکاف دمبلی ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۶: الگوی شکاف دمبلی ..... ۸۶

- شکل ۴-۱۷: آرایه آنتن ۶ عنصره با شکاف دمبلی ..... ۸۶
- شکل ۴-۱۸: منحنی پارامتر  $S_{11}$  برای دو آرایه آنتن با شکاف مستطیلی و فراکتال ..... ۸۷
- شکل ۴-۱۹: نمودار اثر تغییرات عرض فرورفتگی در طول و ثابت نگاه داشتن عرض فرورفتگی در عرض شکاف دمبلی روی پهنای باند آنتن ..... ۸۸
- شکل ۴-۲۰: نمودار اثر تغییرات عرض فرورفتگی در عرض و ثابت نگاه داشتن عرض فرورفتگی در طول شکاف دمبلی روی پهنای باند آنتن ..... ۸۸
- شکل ۴-۲۱: آنتن موجبری تغذیه شده از وسط ..... ۸۹
- شکل ۴-۲۲: نمودار تاثیر محل تغذیه آنتن آرایه‌ای ۶ عنصره با شکاف بیضی روی پهنای باند، گین و نسبت لوب فرعی ..... ۸۹
- شکل ۴-۲۳: میدان دور برای طراحی آرایه آنتن ۶ عنصره تغذیه از انتها با شکاف بیضی ..... ۹۰
- شکل ۴-۲۴: میدان دور برای طراحی آرایه آنتن ۶ عنصره تغذیه از وسط با شکاف بیضی ..... ۹۰
- شکل ۴-۲۵: نمودار تاثیر محل تغذیه آنتن آرایه‌ای ۶ عنصره با شکاف فراکتال روی پهنای باند، گین و نسبت لوب فرعی ..... ۹۱
- شکل ۵-۱: شمای آنتن آرایه‌ای ۸ عنصره تغذیه شده از وسط با شکاف مستطیلی گرد شده در نرم افزار CST ..... ۹۲
- شکل ۵-۲: تلفات بازگشتی آنتن ۸ عنصره تغذیه شده از وسط با شکاف مستطیلی گرد شده در نرم افزار CST ..... ۹۳
- شکل ۵-۳: گین آنتن ۸ عنصره تغذیه شده از وسط با شکاف مستطیلی گرد شده در نرم افزار CST ..... ۹۴
- شکل ۵-۴: الگوی میدان دور آنتن ۸ عنصره تغذیه شده از وسط با شکاف مستطیلی گرد شده در نرم افزار CST ..... ۹۴
- شکل ۵-۵: الگوی میدان دور آنتن ۸ عنصره تغذیه شده از وسط با شکاف مستطیلی گرد شده در مختصات دکارتی ..... ۹۵
- شکل ۵-۶: بازده خطی تابشی و نهایی آنتن ۸ عنصره تغذیه شده از وسط با شکاف مستطیلی گرد شده در نرم افزار CST ..... ۹۵
- شکل ۵-۷: قدرت تشعشع آنتن ۸ عنصره تغذیه شده از وسط با شکاف مستطیلی گرد شده در نرم افزار CST ..... ۹۶
- شکل ۵-۸: شمای بالای آنتن آرایه موجبری ساخته شده ..... ۹۶
- شکل ۵-۹: شمای جانبی آنتن آرایه موجبری ساخته شده ..... ۹۷

شکل ۵-۱۰: شمای پشت آنتن آرایه موجبری ساخته شده ..... ۹۷

شکل ۵-۱۱: تلفات بازگشتی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای آنتن ساخته شده ..... ۹۸

شکل ۵-۱۲: گین اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای آنتن ساخته شده ..... ۹۸

### ۱-۱- پیشگفتار

آنتن‌های پر طرفدار برای ایستگاه‌های زمینی و سیستم‌های راداری هوابرد شامل آنتن‌های بوقی، بازتابنده و آنتن شکاف موجبری است. این آنتن‌ها دارای پهنای بیم باریک بوده و جابجایی ساده‌ای دارند. رادارهای دیده-بانی هوابرد و رادارهای نظامی هوایی به طور معمول نیاز به آنتن‌های آرایه فازی برای انتقال بیم برای هدف-یابی و ردگیری دارند. این آنتن‌ها باید لوب اصلی باریک و لوب‌های فرعی ضعیف و کم داشته باشند. در بسیاری از کاربردها به طراحی آنتن‌های با ویژگی جهت‌داری خوب (بهره‌ی بسیار بالا)، جهت پاسخگویی به تقاضای ارتباط‌های راه دور، نیاز است. این فقط می‌تواند با افزایش تعداد آنتن‌ها در یک آرایه تحقق یابد.

آنتن‌های شکاف موجبری گزینه بهتری از آنتن‌های حجیم و بزرگ است. این آنتن‌ها کاربردهای بسیاری در بحث مخابرات و سیستم‌های راداری دارند. ساختار موجبری می‌تواند انرژی را در وضعیت خیلی دقیق انتقال داده و از تلف کمی برخوردار است. آنتن‌های شکاف موجبری قابل استفاده در سیستم‌های راداری انتقال فازی با طراحی ساده‌تر هستند. از فواید آنتن‌های شکاف موجبری می‌توان به مواردی چون ارزان بودن، کم وزن بودن، ساخت آسان، گین بالا، نسبت لوب فرعی کم و ساختار مکانیکی مقاوم اشاره کرد.

رادار در اوایل جنگ جهانی دوم پا به عرصه حیات گذاشت و در آن زمان وسیله بسیار ساده‌ای برای آشکارسازی هواپیماها بود. اما با رشد سریع تکنولوژی و دخالت کامپیوتر در پردازش سیگنال، سیستم‌های راداری در مسیر پیشرفت گام نهادند و امروزه کاربردهای بسیار متنوعی در امور نظامی و غیرنظامی نظیر مراقبت و جستجو<sup>۱</sup>، ناوبری و ردیابی<sup>۲</sup>، تصویربرداری و هواشناسی یافته‌اند. یکی از کاربردهای رادار، تصویر برداری است که شامل دو بخش نقشه برداری از زمین و تصویربرداری از اهداف متحرک می‌باشد. تصویر برداری نگاشتی از یک هدف سه بعدی بر روی یک نقشه دو بعدی متشکل از ابعاد برد<sup>۳</sup> و برد متقاطع<sup>۴</sup> است. منظور از برد، فاصله شعاعی رادار تا هدف بوده و بُعد برد بیانگر جهتی است که در امتداد پرتوهای رادار می‌باشد. بعد برد متقاطع بیانگر امتدادی عمود بر بعد برد است.

---

<sup>1</sup> Search & Surveillance

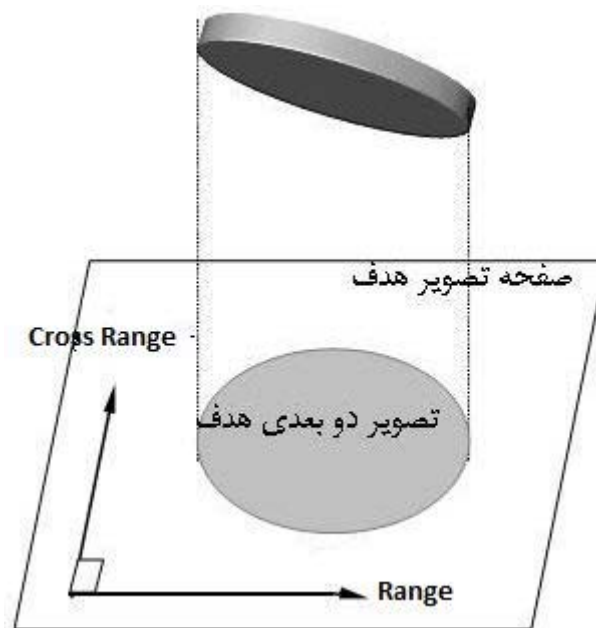
<sup>2</sup> Navigation & Tracking

<sup>3</sup> Range

<sup>4</sup> Cross-Range



شکل ۱-۰ با فرض یک هدف و جهتی معین برای پرتوهای رادار، نگاشت هدف بر این دو بعد را مشخص می‌کند.



شکل ۱-۰: نگاشت دوبعدی هدف روی ابعاد برد و بردمقاطع

تشکیل تصویر به کمک پردازش همدوس<sup>۱</sup> پژواک‌های<sup>۲</sup> دریافتی از هدف انجام می‌شود. ابتدا فرستنده رادار دنباله‌ای از پالس‌ها را به سمت هدف ارسال می‌کند و پژواک آنها توسط گیرنده دریافت می‌شود. سپس از سیگنال دریافتی نمونه برداری شده و این داده‌های خام مورد پردازش قرار می‌گیرند. نهایتاً داده‌های پردازش شده در یک ماتریس دو بعدی جای می‌گیرند که همان ماتریس تصویر دو بعدی هدف است. رادارهای تصویربرداری در زمره‌ی رادارهای با قدرت تفکیک بالا<sup>۳</sup> هستند، بدین معنا که برای بهره‌مندی از قدرت تفکیک بالا در بعد برد، سیگنال ارسالی آنها پهنای باند وسیعی دارد. این رادارها شامل دو نوع رادار روزنه مصنوعی<sup>۴</sup> و رادار روزنه مصنوعی معکوس<sup>۵</sup> هستند که به ترتیب می‌توان آنها را رادار دهانه-مرکب و رادار دهانه-معکوس نامید. برای نقشه‌برداری از زمین و اهداف ثابت روی آن از رادار SAR و برای تصویربرداری از اهداف متحرکی نظیر هواپیماها و کشتی‌ها از رادار ISAR استفاده می‌شود. تصاویر سطح زمین به‌دست آمده از رادارهای SAR به‌طور معمول دارای کیفیتی نظیر تصاویر اپتیکی می‌باشند، اما تصاویر ISAR هرچند که

<sup>1</sup> Coherent

<sup>2</sup> Echo

<sup>3</sup> High Resolution Radar (HRR)

<sup>4</sup> Synthetic Aperture Radar (SAR)

<sup>5</sup> Inverse SAR

اغلب با قدرت تفکیک خیلی بیشتری به دست می‌آیند، اما به طور معمول دارای کیفیت کمتری هستند که این به علت خاصیت ذاتی عوارض طبیعی زمین و اهداف مصنوعی در برابر امواج راداری و میزان انعکاس این امواج توسط هریک از آن‌ها می‌باشد. شکل ۲-۰ تصویر SAR بدست آمده از بخشی از زمین و تصویر ISAR بدست آمده از یک هواپیمای ۷۲۷ را نشان می‌دهد.



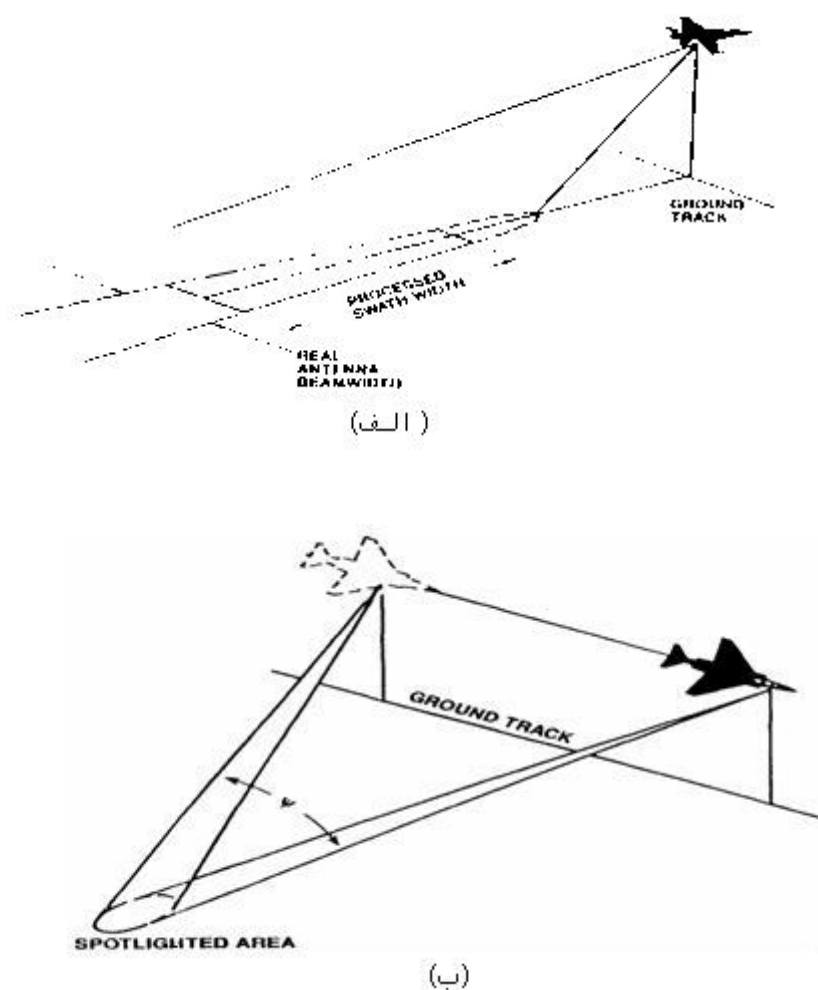
شکل ۲-۰: الف- تصویر گرفته شده از سطح زمین توسط SAR ب- تصویر ISAR هواپیمای ۷۲۷ [6]

## ۱-۲- معرفی رادار SAR

SAR راداری متحرک است که برای نقشه برداری از سطح زمین بکار رفته و توسط هواپیما یا ماهواره حمل می‌گردد. این رادار نخستین بار در سال ۱۹۵۳ در فلوریدا آزمایش شد.

قدرت تفکیک یک رادار معمولی در بعد برد متقاطع، برابر پهنای بیم آنتن بر روی هدف است و با طول موج رادار و فاصله هدف رابطه عکس داشته و با ابعاد آنتن رابطه مستقیم دارد، یعنی برای برخورداری از قدرت تفکیک بالا در بعد برد متقاطع باید از آنتنی با ابعاد بسیار بزرگ استفاده کرد که در عمل ناممکن است. روش دهانه-مرکب که در رادارهای SAR و ISAR بکار می‌رود سبب می‌شود تا بدون نیاز به چنین ابعاد بزرگی، قدرت تفکیک را در برد متقاطع افزایش دهیم. در واقع عبارت دهانه مرکب در نام رادار SAR به حرکت آنتن رادار توسط یک هواپیما یا ماهواره در مقابل سطح زمین اشاره می‌کند و اینکه ارسال سیگنال به سمت هدف و دریافت پژواک سطح هدف، توسط یک آنتن اما در مکان‌های مختلف (توسط یک آنتن متحرک) صورت می‌گیرد. بنابراین می‌توان تصور کرد که مجموعه‌ای مرکب از آنتن‌ها در کنار یکدیگر وجود دارند که هر کدام جداگانه و به ترتیب به ارسال و دریافت سیگنال می‌پردازند و داده‌های راداری، از مجموعه سیگنال‌های دریافت شده از آن‌ها فراهم می‌آید. پردازش همدوس داده‌های بدست آمده از این طریق، سبب افزایش قدرت رادار در تفکیک نقاط هدف، روی بعد برد متقاطع می‌شود.

رادار SAR دارای دو نوع مجزا است. در نوع دهانه-مرکب پهلو-نما<sup>۱</sup>، بیم رادار نسبت به هواپیمای حامل آن ثابت بوده و به طور معمول عمود بر مسیر حرکت آنتن است. در این رادار حداکثر قدرت تفکیک به دست آمده در بعد برد متقاطع معادل نصف پهناي بیم واقعی رادار روی سطح هدف است. نوع دیگر دهانه-مرکب نورافکنی<sup>۲</sup> می باشد که در آن بیم رادار در مدت زمان نقشه برداری در حین حرکت آنتن، بر سطح مورد نظر باقی می ماند و همراه با حرکت آنتن حرکت نمی کند. در این حالت قدرت تفکیک در بعد برد متقاطع با پهناي بیم واقعی رادار محدود نشده و با افزایش زاویه پیموده شده توسط آنتن افزایش می یابد. در شکل ۳-۰ این دو روش نشان داده شده اند. مراجع [5][5] و [6] برای مطالعه بیشتر در این زمینه مناسب هستند.



شکل ۳-۰: نحوه حرکت آنتن در Side-looking SAR در ب- نحوه حرکت آنتن در spotlight SAR [6]

<sup>1</sup> Side-looking SAR

<sup>2</sup> Spotlight SAR

بعد از بررسی قدرت تفکیک در بعد برد متقاطع، قدرت تفکیک در بعد برد که از پهنای باند سیگنال ارسالی توسط آنتن ناشی می‌شود، را بررسی می‌کنیم. قدرت تفکیک تصاویر به دست آمده در بعد برد، به پهنای باند امپدانس آنتن بستگی دارد. پهنای باند امپدانس آنتن تحت توصیف تلفات بازگشتی یا نسبت موج ساکن ولتاژ است. قدرت تفکیک ایده‌ال در بعد برد برای این رادار  $0.2 \times 0.2$  متر می‌باشد که طبق معادله (۱-۱) به پهنای باند آنتن مرتبط می‌گردد.

$$P_r = \frac{C}{2B} \quad (1-1)$$

در رابطه (۱-۱)،  $C$  سرعت نور،  $B$  پهنای باند و  $P_r$  قدرت تفکیک می‌باشد. طبق این رابطه برای رسیدن به قدرت تفکیک ایده‌ال  $0.2 \times 0.2$  متر نیاز به پهنای باندی معادل ۱ گیگاهرتز می‌باشد.

هدف نهایی از این پایان‌نامه، بررسی تکنیک‌های افزایش پهنای باند یک آنتن آرایه شکافی موجبری و ساخت آنتنی با پهنای باند حداقل ۱۰ درصد در باند ایکس برای  $S_{11} < -10 \text{ dB}$ ، که در سیستم‌های راداری از جمله رادار روزنه مصنوعی کاربرد بسیار دارند، می‌باشد. در این رادار هرچه پهنای باند امپدانس آنتن بیشتر باشد، تصاویر با کیفیت بهتر و قدرت تفکیک بالاتر قابل دریافت خواهد بود. در فصل ۲ مقدمه‌ای بر انواع آنتن‌ها، آنتن‌های آرایه‌ای و بررسی آنتن‌های روزنه‌ای آورده شده است. در فصل ۳ ارتباط آنتن شکافی با آنتن دی-پل معادل و روش‌های شناخته شده برای بهبود پهنای باند امپدانس آنتن دی‌پل، همچنین روش‌های گفته شده در مقالات، بیان شده است. در فصل ۴ جمع‌بندی و مقایسه روش‌های ذکر شده در فصل قبل و تاثیر تکنیک‌های ذکر شده در مقالات بر روی پارامترهای دیگر آنتن غیر از پهنای باند و همچنین بررسی روش جدید فراکتال برای شکل هندسی شکاف‌ها آورده شده است. سپس در فصل آخر با بهره‌گیری از روش‌های ذکر شده در فصول قبل و ابداع روشی جدید، آنتن آرایه شکافی ساخته شده، بررسی و اندازه‌گیری شده است.