دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه مخابرات

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات – سیستم

طراحی پارامترهای کلان سیستم و شبیه‌سازی الگوریتم پردازش رادار دهانه مصنوعی فضاپایه

نگارش:

سجاد سپه‌وند

استاد راهنما:

دکتر صادق صمدی

استاد مشاور:

دکتر رضا محسنی

بهمن ۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

طراحی پارامترهای کلان سیستم و شبیه سازی الگوریتم پردازشی رادار دهانه مصنوعی فضاپایه

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

نگارش:

سجاد سپه‌وند

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر صادق صمدی استادیار در رشته مهندسی برق- مخابرات سیستم(استاد راهنما)

دکتر رضا محسنی استادیار در رشته مهندسی برق- مخابرات سیستم (استاد مشاور)

دکتر محمد صادق هل فروش دانشیار در رشته مهندسی برق- مخابرات سیستم(داور)

دکتر محسن اسلامی استادیار در رشته مهندسی برق- مخابرات سیستم(داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانب **سجاد سپه‌وند** دانشجوی رشته **برق- مخابرات سیستم** مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی **۹۰۱۱۴۰۱۴** تأیید می‌نماید کلیه نتایج این پایان نامه/رساله، بدون هیچگونه دخل و تصرف، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی در این زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/ رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: سجاد سپه‌وند

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر صادق صمدی

تاریخ:

امضا:

تقدیم به **مادر** عزیزتر از جانم:

مادرم هستی من

ز هستی توست تا هستم

تا هستی دارمت دوست

گلشن جاودانی **مادر** است

چشم سار مهربانی **مادر** است

تقدیم با بوسه بر دستان **پدرم**:

به او که نمی دانم از بزرگیش بگویم یا مردانگی سخاوت، سکوت، مهربانی و...

پدرم راه تمام زندگیست

پدرم دلخوشی همیشگیست

تشکر و قدردانی:

سپاس **خدای** را که هرچه هست از اوست و مرا یاری نمود تا بتوانم این درجه از درجات علمی را با موفقیت پشت سر گزارم.

اکنون که این رساله به پایان رسیده بر خود لازم می دانم که از استاد گرانقدر:

دکتر صادق صمدی

که افتخار شاگردی ایشان را داشتم و در تمام مدت این پژوهش همواره راهنما و مشوق اینجانب بوده اند کمال تشکر را بنمایم.

و با تشکر و قدردانی از دکتر **رضا محسنی** که زحمت مشاوری این پایان نامه را بر عهده داشته اند

و سایر اساتید محترم گروه مخابرات سیستم دانشگاه صنعتی شیراز

چکیده

طراحی پارامترهای کلان سیستم و شبیه‌سازی الگوریتم پردازشی رادار دهانه مصنوعی فضاپایه

نگارش:

سجاد سپه‌وند

رادار دهانه مصنوعی فضاپایه به علت پوشش وسیع، تصویربرداری مداوم و ارائه اطلاعات منحصر به فرد همواره مورد توجه بوده است. این پایان‌نامه به تحلیل و طراحی یک سیستم رادار دهانه مصنوعی فضاپایه برای اولین بار در کشور می‌پردازد. تعدد پارامترهای سیستمی از یک طرف و وابستگی به پارامترهای مداری و ویژگیهای حرکت زمین از طرف دیگر طراحی چنین سیستمی را پیچیده می‌نماید. در این پایان نامه، ابتدا طراحی کلان پارامترهای فرستنده، گیرنده، آنتن و مشخصات هندسه تصویربرداری برای رسیدن به امکان تصویربرداری مطلوب با توجه به یک صورت مسئله‌ی طراحی عملی انجام می‌گیرد. در ادامه، شبیه‌سازی الگوریتم تشکیل تصویر سیستم بر مبنای پارامترهای سیستم طراحی‌شده، انجام گرفته است. در سیستم رادار دهانه مصنوعی فضاپایه به خاطر دوران و انحنای زمین و نیز قرار گرفتن سیستم در مدار حرکتی مخالف مدار حرکتی زمین ثابت، فرکانس داپلر نسبت به مرکز آن جابه‌جا می‌شود و در نتیجه سطح ابهام تصویر خروجی افزایش می‌یابد. در این پایان نامه، برای کاهش ابهام و داشتن تصویری با کیفیت مناسب، دو روش متفاوت بکار رفته است؛ یک روش مبتنی بر چرخش محورهای محلی ماهواره و روش دیگر مبتنی بر تخمین مرکز داپلر از روی داده دریافتی. سپس تحلیل اولیه خطا برای سیستم طراحی‌شده انجام و تأثیر خطای محورهای دورانی و ارتفاعی بر روی عملکرد سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت، محدوده مجاز تغییرات پارامترهای سیستمی مرتبط با خطاهای دورانی و ارتفاعی، برای عملکرد صحیح سیستم بدست آمده است. نتایج شبیه‌سازی در هر بخش مؤید کارایی سیستم طراحی شده است.

واژه‌های کلیدی: رادار دهانه مصنوعی فضاپایه، طراحی سیستم، ابهام، خطا

فهرست مطالب

۱.فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- اهمیت و ضرورت طراحی سیستم ۳

۱-۳- تاریخچه ۳

۱-۴- مرور مختصری بر چگونگی عملکرد SAR فضاپایه ۴

۱-۴-۲- سیگنال ارسالی ۶

۱-۴-۳- پردازش در راستای برد ۶

۱-۴-۴- پردازش در راستای سمت ۷

۱-۵- بخش‌های پایان نامه ۹

۲.فصل دوم: مشخصات سیستم‌های SAR فضاپایه ساخته شده **۱۱**

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- سیستم‌های SAR فضاپایه ۱۲

۲-۲-۲- ماهواره کویل ۱۴

۲-۲-۳- سیستم Seasat ۱۴

۲-۲-۴- ماهواره‌های سری SIR SAR ۱۵

۲-۲-۵- ماهواره‌های ERS-1، ERS-2 ..... ۱۶

۲-۲-۶- ماهواره J-ERS-1 ..... ۱۶

۲-۲-۷- ماهواره‌ای Radarsat-1 ..... ۱۷

۲-۲-۸- رادار ENVISAT ۲۰

۲-۲-۹- ماهواره PALSAR ۲۱

۲-۲-۱۰-TerraSAR-X ۲۳

۲-۲-۱۱-TecSAR ۲۴

۲-۲-۱۲- رادار HJ-1-C ۲۵

۲-۲-۱۳-*SAR*-Lupe ۲۶

۲-۲-۱۴- سنجنده RISAT ۲۶

۲-۲-۱۵- ماهواره‌ی MAPSAR ۲۸

۲-۲-۱۶- جمع‌بندی از سیستم‌های SAR معرفی‌شده ۲۸

۲-۳- محدودیت‌های سیستمی SAR ۳۰

۲-۳-۱- محدودیت در توان و وزن سیستم ۳۰

۲-۳-۲- تله متری ماهواره و نرخ ارسال داده ۳۰
۲-۳-۳- موارد دیگر از مشکلات موجود در سیستم SAR ۳۱
۲-۴- نتیجه گیری ۳۳

۳.فصل سوم: بررسی اختلاف بین فرآیند طراحی کلان رادارهای تصویربرداری فضاپایه و هواپایه ۳۴

۳-۱- مقدمه ۳۵
۳-۲- تفاوت در هندسه تصویربرداری ۳۵
۳-۳- تفاوت در باند فرکانسی ۳۸
۳-۳-۱- تلفات جوی ۳۸
۳-۳-۲- محدودیت در ابعاد و وزن سیستم ۳۸
۳-۳-۳- محدودیت در عرض نوار تصویربرداری ۳۹
۳-۴- تفاوت در ارتفاع ۳۹
۳-۵- مدل حرکتی و سرعت ۴۰
۳-۶- محاسبه مشخصات هندسه تصویربرداری ۴۱
۳-۶-۲- محاسبه عرض نوار تصویربرداری ۴۲
۳-۶-۳- رنج مایل ۴۳
۳-۷- مشخصات فرستنده ۴۳
۳-۷-۱- توان ارسالی ۴۳
۳-۷-۲- نرخ تکرار پالس ۴۳
۳-۷-۳- عرض پالس ۴۴
۳-۸- تفاوت در پردازش ۴۵
۳-۹- نتیجه گیری ۴۶

۴.فصل چهارم: طراحی پارامترهای کلان سیستمی ۴۷

۴-۱- مقدمه ۴۸
۴-۲- تعریف و تحلیل صورت مسئله طراحی ۴۸
۴-۳- طراحی ساختار و بلوک دیاگرام کلی سیستم ۵۲
۴-۴- تعیین پارامترهای مداری ۵۴
۴-۴-۱- سرعت ماهواره ۵۴
۴-۴-۲- دوره تناوب مداری ۵۵
۴-۴-۳- زاویه میل مدار ۵۶

۴-۵- مشخصات آنتن ۵۷
۴-۵-۱- گین آنتن ۵۷
۴-۵-۲- عرض بیم و سطح سایدلوب آنتن ۵۸
۴-۶- عرض نوار تصویربرداری ۵۹
۴-۷- نسبت سیگنال به نویز(SNR) ۶۲
۴-۸- تلفات و عدد نویز گیرنده ۶۵
۴-۸-۱- تلفات جوی ۶۶
۴-۸-۲- تلفات فیلتر منطبق ۶۶
۴-۸-۳- تلفات مبدل آنالوگ به دیجیتال ۶۸
۴-۸-۴- تلفات جبران مهاجرت بین سلولی اهداف ۶۸
۴-۸-۵- تلفات شکل بیم آنتن در راستای سمت ۶۹
۴-۸-۶- تلفات شکل بیم راستای ارتفاع ۷۰
۴-۸-۷- تلفات مسیرهای رفت و برگشت موج ۷۱
۴-۸-۸- عدد نویز گیرنده ۷۱
۴-۹- حدتفکیک سیستم ۷۲
۴-۱۰- پهنای باند سیگنال ارسالی ۷۳
۴-۱۱- انتخاب PRF سیستم ۷۴
۴-۱۲- مشخصات کلی گیرنده ۸۶
۴-۱۲-۱- عدد نویز گیرنده ۸۶
۴-۱۲-۲- مشخصات واحد نمونه‌بردار (ADC) ۸۹
۴-۱۲-۳- ماکزیمم گین گیرنده ۹۰
۴-۱۲-۴-IIP3 و OIP3 ..... ۹۱
۴-۱۲-۵- محدوده دینامیکی بدون ابهام گیرنده ۹۲
۴-۱۳- مشخصات لینک ارسال داده سیستم ۹۳
۴-۱۴- نتیجه‌گیری ۹۵

۵.فصل پنجم: شبیه‌سازی الگوریتم تشکیل تصویر سیستم ۹۶

۵-۱- مقدمه ۹۷
۵-۲- الگوریتم‌های تشکیل تصویر در مد نواری ۹۷
۵-۲-۱- الگوریتم RDA ۹۷
۵-۲-۲- الگوریتم CSA ۹۸
۵-۲-۳- الگوریتم Omega-K ۹۸

۵-۳- مزایا و معایب الگوریتم‌های مورد استفاده در مد نواری..... ۹۹
۵-۳-۱- مزایا و معایب الگوریتم RDA..... ۹۹
۵-۳-۲- مزایا و معایب الگوریتم CSA..... ۱۰۰
۵-۳-۳- مزایا و معایب الگوریتم Omega-K..... ۱۰۲
۵-۴- شبیه‌سازی الگوریتم تشکیل تصویر مبتنی بر الگوریتم RDA..... ۱۰۳
۵-۴-۲- تولید داده خام..... ۱۰۴
۵-۴-۳- فشرده‌سازی در راستای برد..... ۱۰۶
۵-۴-۴- انتقال داده‌ها به حوزه رنج داپلر..... ۱۰۷
۵-۴-۵- جبران مهاجرت بین سلولی(RCMC)..... ۱۰۹
۵-۴-۶- فشرده‌سازی در راستای سمت..... ۱۱۱
۵-۵- نتیجه‌گیری..... ۱۱۳

۶.فصل ششم: اصلاح اثر دوران زمین و تخمین مرکز فرکانس داپلر از روی داده‌ی ورودی ۱۱۴

۶-۱- مقدمه..... ۱۱۵
۶-۲- فرکانس داپلر..... ۱۱۵
۶-۳- اصلاح دوران زمین در سیستم طراحی شده..... ۱۲۱
۶-۴- تخمین مرکز داپلر از روی داده ورودی..... ۱۲۷
۶-۵- تخمین تعداد ابهام در مرکز فرکانس داپلر..... ۱۳۲
۶-۵-۲- تبدیلRadon..... ۱۳۵
۶-۵-۳- تبدیل رادون به منظور استخراج ویژگی‌های خط..... ۱۳۵
۶-۵-۴- اعمال تبدیل رادون برای تخمین ابهام در فرکانس داپلر مرکزی..... ۱۳۶
۶-۵-۵- ارتباط بین شیب مهاجرت بین سلولی و مرکز فرکانس داپلر..... ۱۳۹
۶-۶- نتیجه‌گیری..... ۱۴۱

۷.فصل هفتم: تحلیل خطای اولیه سیستم و بررسی تأثیر خطای دورانی و ارتفاعی بر روی عملکرد سیستم ۱۴۲

۷-۱- مقدمه..... ۱۴۳
۷-۲- خطا..... ۱۴۳
۷-۳- منابع خطای داخلی سیستم..... ۱۴۴
۷-۳-۱- ناشی از عدم دقت پارامترهای سیستمی..... ۱۴۴
۷-۳-۲- مباحث طراحی آنتن..... ۱۴۵

۷-۳-۳- خطای فاز ناشی از اسیلاتورهای فرستنده و گیرنده..... ۱۴۶
۷-۳-۴- خطای ناشی از پردازش نامناسب داده‌ها (خطای پردازشی)..... ۱۴۶
۷-۴- منابع خطای خارجی سیستم..... ۱۴۷
۷-۴-۱- خطای ناشی از جابجای مرکز بیم آنتن..... ۱۴۷
۷-۴-۲- خطای اتمسفری..... ۱۵۳
۷-۴-۳- خطاهای دورانی و تأثیرات آن بر روی مرکز فرکانس داپلر..... ۱۵۴
۷-۵- نتیجه‌گیری..... ۱۶۷

۸.فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها **۱۶۸**
۸-۱- جمع‌بندی مطالب..... ۱۶۹
۸-۲- پیشنهادها..... ۱۷۰

مراجع **۱۷۲**

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ : مفهوم دهانه مصنوعی..... ۵
شکل ۱-۲ : هندسه تصویربرداری برای بیان فرکانس داپلر..... ۸
شکل ۱-۳ : نحوه تولید مدولاسیون خطی و تغییرات دامنه سیگنال برگشتی از هدف..... ۹
شکل ۲-۱ :ماهواره Seasat-a [۶]..... ۱۵
شکل ۲-۲ : مدهای تصویربرداری در PALSAR [۲۴]..... ۲۲
شکل ۲-۳ : سنجنده TecSAR که برخلاف آنتن‌های مورد استفاده مستطیلی..... ۲۵
شکل ۳-۱ : تأثیر تغییرات عرض نوار بر روی زاویه دید..... ۳۶
شکل ۳-۲ : تغییرات زاویه دید در حالت فضاپایه..... ۳۷
شکل ۳-۳ : تفاوت سیستم‌های هواپایه و فضاپایه از لحاظ ارتفاع[۴۶] ۴۰
شکل ۳-۴ : هندسه تصویربرداری در حالت فضاپایه[۳۳] ۴۱
شکل ۳-۵ : هندسه تصویربرداری در حالت هواپایه ۴۲
شکل ۳-۶ : تقریبی از انحنای زمین با حالت خطی[۸]..... ۴۶
شکل ۴-۱ :کمترین سطح مقطع موثر آنتن در دو باند فرکانسی X,L بر حسب تغییرات..... ۵۰
شکل ۴-۲ :بلوک دیاگرام کلی سیستم رادار دهانه مصنوعی فضاپایه ۵۲
شکل ۴-۳ : فاصله رادار از سطح زمین..... ۵۴
شکل ۴-۴ : الگوی تشعشعی آنتن برای سطح سایدلوب -13dB,-20dB,-30dB..... ۵۸
شکل ۴-۵ : هندسه عرض نوار تصویربردار و نحوه محاسبه آن ۶۰
شکل ۴-۶ : تغییرات عرض نوار تصویربرداری با تغییرات زاویه برخورد ۶۱
شکل ۴-۷ : تغییرات عرض نوار برای نزدیکترین و دورترین زاویه برخورد..... ۶۱
شکل ۴-۸ : تغییرات سطح مقطع نرمالیزه سطوح صاف، مزارع و تپه‌های جنگلی..... ۶۵
شکل ۴-۹: تلفات اتمسفری بر حسب تغییرات ارتفاع به ازای زوایای ارتفاع مختلف[۴۱]..... ۶۶
شکل ۴-۱۰ :نتیجه شبیه‌سازی فیلتر منطبق..... ۶۷
شکل ۴-۱۱ : ماهیت تلفات عرض بیم آنتن در راستای سمت[۴۴]..... ۶۹
شکل ۴-۱۲ : ماهیت تلفات عرض بیم در راستای برد ۷۰
شکل ۴-۱۳ : متوسط توان ارسالی بر حسب حد تفکیک در راستای برد به ازای ۷۲
شکل ۴-۱۴: تغییرات حدتفکیک در راستای برد بر حسب تغییرات زاویه برخورد..... ۷۳

شکل ۴-۱۵ : فضای تغییرات PRF بر حسب تغییرات عرض پالس ارسالی..... ۷۷
شکل ۴-۱۶ : تغییرات PRF بر حسب تغییرات عرض نوار تصویربرداری..... ۷۸
شکل ۴-۱۷ : تغییرات PRF بر حسب تغییرات ارتفاع ماهواره..... ۷۹
شکل ۴-۱۸ : تغییرات PRF بر حسب تغییرات زاویه برخورد..... ۸۰
شکل ۴-۱۹ : نسبت ابهام به سیگنال راستای سمت در زاویه برخورد ۳۵ درجه..... ۸۲
شکل ۴-۲۰ : نسبت ابهام به سیگنال در راستای برد در زاویه برخورد 35 درجه..... ۸۳
شکل ۴-۲۱ : نسبت سیگنال به ابهام برای PRF انتخابی به ازای تغییرات زاویه..... ۸۵
شکل ۴-۲۲: المانهای سری در مسیر گیرند با عدد نویز و گین مشخص[۶۸]..... ۸۷
شکل ۴-۲۳ : خروجی فیلتر منطبق به ازای مقادیر g برابر 2 و 1.2 الف)..... ۹۰
شکل ۴-۲۴ :مشخصه گیرنده غیرخطی[۶۸]..... ۹۲
شکل ۴-۲۵ : محدوده بدون ابهام گیرنده‌گی[۶۸]..... ۹۳
شکل ۵-۱ : بلوک دیاگرام الگوریتم RDA..... ۱۰۴
شکل ۵-۲ : داده خام سیستم بعد از نمونه‌برداری. الف) اطلاعات دامنه.ب) اطلاعات فاز ۱۰۶
شکل ۵-۳ :اطلاعات بعد از فشرده‌سازی در راستای برد..... ۱۰۷
شکل ۵-۴ : انتقال داده‌ها به حوضه رنج- داپلر..... ۱۰۹
شکل ۵-۵ : داده‌های شبیه‌سازی شده بعد از جبران RCM..... ۱۱۱
شکل ۵-۶ :تصویر فشرده‌شده در راستای سمت(تصویر نهایی)..... ۱۱۲
شکل ۶-۱ :هندسه مداری ماهواره SAR و مختصات آن[۱۲]..... ۱۱۶
شکل ۶-۲ : مختصات محلی ماهواره SAR..... ۱۱۹
شکل ۶-۳ : یاو و پیچ در هندسه ماهواره[۷۶]..... ۱۲۰
شکل ۶-۴ : شیفت داپلر بر روی زمین در موقعیت‌های مختلف ماهواره در مدار. ۱۲۲
شکل ۶-۵ :زاویه یاو محور داپلر صفر تابعی از موقعیت ماهواره در مدار..... ۱۲۴
شکل ۶-۶ : میزان تصحیح دوران محور در صفحه عمود بر محور ندیر..... ۱۲۵
شکل ۶-۷ :دوران زاویه پیچ، نسبت به اندازه‌های مختلف زاویه رول به منظور..... ۱۲۶
شکل ۶-۸ :میزان دوران یاو، به منظور تصحیح اثر دوران زمین بر روی فرکانس داپلر..... ۱۲۷
شکل ۶-۹ :طیف داپلر سیگنال برگشتی و محدوده‌های ابهام در آن..... ۱۲۸
شکل ۶-۱۰ : اطلاعات دامنه و فاز سیگنال برگشتی در راستای سمت برای یک هدف..... ۱۳۰
شکل ۶-۱۱ :بردار افزایش فاز و متوسط آن در سیستم طراحی‌شده در دو حالت..... ۱۳۱

شکل ۶-۱۲ : مدل هندسی جمع‌آوری داده در SAR..... ۱۳۳
شکل ۶-۱۳ :مهاجرت بین سلولی هدف نقطه‌ای بعد از فشرده‌سازی در راستای برد..... ۱۳۴
شکل ۶-۱۴ :اهداف نقطه‌ای بعد از فشرده‌سازی در راستای برد..... ۱۳۶
شکل ۶-۱۵ :تبدیل Radon داده‌های فشرده‌شده در راستای برد..... ۱۳۷
شکل ۶-۱۶ : برش‌های افقی در چهار زاویه برای شکل ۵-۱۵..... ۱۳۸
شکل ۶-۱۷ : تخمین زاویه شیب تغییرات مهاجرت بین سلولی اهداف..... ۱۳۹
شکل ۷-۱ : مراجع آنتن و نحوه ایجاد خطا در محورهای آن..... ۱۴۸
شکل ۷-۲ : تعریف زوایای سمت و ارتفاع در این تحلیل ۱۵۰
شکل ۷-۳ : تغییرات خطای مرکز فرکانس داپلر بر حسب تغییرات خطای استاتیکی ۱۵۳
شکل ۷-۴ :تأثیر خطای اولیه پیچ بر روی حداکثر خطای قابل‌قبول یاو برای تعیین..... ۱۶۰
شکل ۷-۵ : تأثیر خطای اولیه یاو بر روی حداکثر خطای قابل قبول پیچ برای تعیین..... ۱۶۱
شکل ۷-۶ : بررسی تغییرات زاویه a و تأثیرات آن بر روی حداکثر خطای قابل‌قبول. ۱۶۲
شکل ۷-۷ : بررسی اثر تغییرات زاویه رول بر روی حداکثر خطای قابل‌قبول زاویه یاو و پیچ ۱۶۳
شکل ۷-۸ : بررسی اثر عرض جغرافیایی مدار بر روی انحراف معیار زاویه‌ی ی..... ۱۶۴
شکل ۷-۹ : بررسی اثر ارتفاع ماهواره بر روی انحراف معیار خطای یاو و پیچ..... ۱۶۵
شکل ۷-۱۰ : بررسی اثر انتخاب PRF بر روی حداکثر خطای قابل‌قبول محورهای دورانی ۱۶۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ : مشخصات کلی ماهواره‌های SAR فضاپایه ۱۳
جدول ۲-۲ : مدهای تصویربرداری Radarsat-2 ..... ۲۰
جدول ۴-۱ : پارامترهای اولیه جهت طراحی ۴۸
جدول ۴-۲ :پنجره‌های مورد استفاده برای کاهش سطح سایدلوب ۶۸
جدول ۴-۳ : تلفات سیستم و عدد نویز ۷۱
جدول ۴-۴ : پارامترهای اولیه مورد نیاز برای طراحی فضای انتخاب PRF ۷۷
جدول ۴-۵: تغییرات PRF و عرض پالس ارسالی بر حسب تغییرات زاویه برخورد ۸۵
جدول ۵-۱ : پارامترهای اولیه جهت شبیه‌سازی الگوریتم تشکیل تصویر ۱۰۴
جدول ۵-۲ :درون‌یابی سینک کرنل وزن دهی شده[۸] ۱۱۰
جدول ۷-۱ : پارامترهای اولیه جهت تحلیل خطای دورانی و ارتفاعی ماهواره ۱۵۹

فهرست نشانه‌های اختصاری

سرعت نور ، متر بر ثانیه	c
فرکانس حامل، هرتز	f_0
فرکانس تکرار پالس	F_a
فرکانس راستای سمت(داپلر)، هرتز	f_η
فرکانس راستای برد، هرتز	f_τ
فرکانس داپلر مرکزی، هرتز	f_{η_c}
قسمت باند پایه فرکانس داپلر مرکزی	$f_{\eta_c}^{'}$
نرخ تغییرات فرکانس راستای برد، هرتز بر ثانیه	K_r
نرخ تغییرات فرکانس راستای سمت برای هدف نقطه، هرتز بر ثانیه	K_a
طول آنتن در راستای سمت، متر	L_a
طول دهانه مصنوعی، متر	L_{syn}
ابهام در داپلر	M_{amb}
رنج مایل در بعد زمان، متر	$R(\eta)$
رنج مایل زمانی که هدف در مرکز بیم قرار دارد	R_0
دامنه سیگنال برگشتی در راستای سمت	$\rho_a(\eta)$
دامنه سیگنال هدف در راستای برد بعد از فشرده سازی در راستای برد	$\rho_r(\tau)$
زمان، ثانیه	t
زمان که هدف نقطه ای در عرض بیم رادار قرار دارد	T_a
عرض پالس سیگنال ارسالی	T_r
سرعت بیم آنتن بر روی زمین، بر حسب متر بر ثانیه	V_g
سرعت موثر رادار	V_r
سرعت نسبی بین رادار و هدف	V_{eff}
پترن آنتن در راستای سمت	$\omega_a(\eta)$