۱۳۰۷

**دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین‌طوسی**

**دانشکده مهندسی نقشه‌برداری (ژئودزی و ژئوماتیک)**

**پایان‌نامه کارشناسی ارشد**

**در رشته مهندسی عمران – نقشه‌برداری**

**گرایش سنجش از دور**

# طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری SAR با استفاده از میدان‌های تصادفی مارکوف

**اساتید راهنما:**

دکتر علی‌اکبر آبکار و دکتر یاسر مقصودی

**استاد مشاور:**

دکتر محمدجواد ولدان زوج

**نگارش:**

اکبر درگاهی

تابستان ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

**تقدیم به**

پدر و مادر فداکارم که توانستم در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. پدر و مادری که با حمایت‌ها و از خود گذشتگی‌های خود، آسایش روحی و فکری را به من اهداء نمودند.

# تقدیر و تشکر

حمد وسپاس مخصوص خدایی مهربان که به من توفیق عطا کرده تا در راه علم و دانش گام بردارم و متناسب با توانایی‌های خود تلاش کنم. حال که توفیق جمع‌آوری و تهیه این مجموعه را یافته‌ام بر خود واجب می‌دانم از تمامی عزیزانی که در طی انجام این پژوهش مرا یاری نمودند تشکر و قدردانی کنم.

ابتدا، مراتب تقدیر و سپاس فراوان خود را از اساتید گرانقدر، جناب آقای دکتر علی‌اکبر آبکار و جناب آقای دکتر یاسر مقصودی که هدایت این پایان‌نامه را بر عهده داشتند و از جناب آقای دکتر محمدجواد ولدان زوج به عنوان استاد مشاور، که در تمامی مراحل تحقیق مرا راهنمایی نمودند، اعلام می‌دارم.

همچنین، از همکاری سازمان جنگل‌داری کانادا به خاطر داده‌های زمینی جمع‌آوری شده و اجازه استفاده از تصاویر PolSAR ماهواره RADARSAT-2 در این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

## فرم حق چاپ و تکثیر

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هر گونه کپی برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه با ذکر مرجع بلامانع است.

## چکیده

جمع‌آوری داده توسط سنجش از دور یک مرحله اساسی در مدیریت پایدار زمین می‌باشد. یکی از پردازش‌های مهم و پرکاربرد بر روی تصاویر سنجش از دور، طبقه‌بندی است. از دیدگاه تصمیم گیری، نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی می‌توانند مفید واقع شوند، زیرا، این الگوریتم‌ها اطلاعات پیچیده طیفی- مکانی را در تعداد محدودی کلاس مورد نیاز، خلاصه می‌کنند.

داده‌های پلاریمتریک SAR[1] به دلیل دارا بودن اطلاعات غنی از محیط، در چند دهه اخیر به یکی از پراستفاده‌ترین داده‌های سنجش از دوری تبدیل شده‌اند. به طور کلی، برای طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتریک از دو منبع اطلاعاتی شامل، نوع مکانیسم پراکنش عوارض و توزیع آماری داده‌ها استفاده می‌کنند. معروف‌ترین توزیع آماری تصاویر پلاریمتریک، توزیع ویشارت بوده، و طبقه‌بندی کننده ویشارت نیز یکی از روش‌های پایه برای طبقه‌بندی این تصاویر محسوب می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم یکی از مشکلات روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه مخصوصاً به دلیل وجود اسپکل در تصاویر SAR، وجود کلاس‌های ناهمگن و پیکسل‌های پراکنده در خروجی نقشه طبقه‌بندی شده می‌باشد. در این تحقیق، برای غلبه بر این مشکل و بهبود نتایج طبقه‌بندی، در روند طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتریک SAR علاوه بر استفاده از توزیع ویشارت، از اطلاعات موجود در همسایگی پیکسل‌ها نیز استفاده شد. برای مدل‌سازی اطلاعات همسایگی پیکسل‌ها، میدان‌های تصادفی مارکوف را به‌کار گرفته و تلفیق آن با توزیع آماری تصاویر یعنی توزیع ویشارت، طبقه‌بندی را انجام دادیم. برای مدل‌سازی اطلاعات همسایگی توسط میدان‌های تصادفی مارکوف، از یک مدل ایزوتروپیک با یک سیستم همسایگی مرتبه دوم و برای پیدا کردن ماکزیمم احتمال موخر (مینیمم تابع انرژی) از روش ICM[2] استفاده نمودیم.

هدف اصلی این تحقیق، پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم طبقه‌بندی به صورت نظارت شده می‌باشد. ولی در کنار این تحقیق، با استفاده از نتایج طبقه‌بندی بر مبنای فضای $H/\alpha$ (طبقه‌بندی نظارت نشده)، طبقه‌بندی را به صورت نظارت نشده نیز انجام دادیم. استفاده از ویژگی‌های آنتروپی و زاویه آلفا در طبقه‌بندی نظارت نشده، بیشتر برای آنالیزهای پلاریمتریکی کلاس‌ها مفید بودند. از آنجا که تخمین پارامترها در حالت نظارت شده بر

[1] Synthetic Aperture RADAR (SAR)
[2] Iterative Conditional Mode (ICM)

مبنای داده‌های آموزشی جمع‌آوری شده است، نتایج بدست آمده در طبقه‌بندی نظارت شده مستحکم و اعتمادپذیر می‌باشند. برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی نظارت شده از ماتریس خطا و برای طبقه‌بندی نظارت نشده از معیار Purity استفاده نمودیم. با توجه به پیچیدگی و مشابهت کلاس‌های منطقه، به منظور بهبود نتایج طبقه‌بندی و افزایش قدرت تفکیک‌پذیری کلاس‌ها، به طور همزمان از دو تصویر پلاریمتریک SAR مربوط به دو فصل زمستان و تابستان از یک منطقه مشابه، در طبقه‌بندی استفاده کردیم. البته، طبقه‌بندی در حالت تک تصویر نیز اجرا شد.

با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین مقدار بهبود در دقت کلی طبقه‌بندی با روش WMRF (تلفیق MRF و ویشارت) نسبت به روش ویشارت، در حالت تلفیق دو تصویر و فیلتر اسپکل با پنجره ۳×۳ حاصل شد. در این حالت دقت کلی با روش ویشارت و روش WMRF به ترتیب برابر با، ۶۵/۴٪ و ۷۶/۴٪ بدست آمد. به عبارتی، میزان بهبود در دقت کلی برابر ۱۱٪ بوده، در حالی که بدون در نظر گرفتن کلاس آب (در هر دو روش دارای دقت ۱۰۰٪ و بدون اطلاعات بافت) برای ۴ کلاس باقی مانده، میزان بهبود به ۱۵٪ افزایش می‌یابد. بیشترین دقت کلی حاصله برای طبقه‌بندی، در حالت تلفیق دو تصویر و فیلتر اسپکل با پنجره ۷×۷ بدست آمد. در این حالت، دقت روش ویشارت و روش WMRFبه ترتیب برابر با، ۷۹/۶٪ و ۸۴/۷٪ بودند.

**کلمات کلیدی:** رادار با روزنه مجازی، پلاریمتری، تجزیه هدف، طبقه‌بندی متنی، میدان‌های تصادفی مارکوف، مدل‌سازی آماری

# فهرست مطالب

**فهرست مطالب..... ح**
**فهرست اشکال..... ذ**
**فهرست جداول..... ش**
**فصل ۱: مقدمه .....۱**
۱-۱ تعریف مسئله .....۱
۱-۲ پیشینه تحقیق .....۳
۱-۳ ضرورت و انگیزه‌های تحقیق .....۱۲
۱-۴ اهداف و سوالات تحقیق .....۱۵
۱-۵ روش انجام تحقیق .....۱۵
۱-۶ ساختار پایان‌نامه .....۱۸
**فصل ۲: مبانی تئوری تحقیق .....۲۰**
۲-۱ مقدمه .....۲۰
۲-۲ اصول سیستم‌های راداری .....۲۰
۲-۲-۱ خصوصیات سیستم SAR .....۲۳
۲-۳ سنجنده‌های راداری .....۲۴
۲-۳-۱ سیستم‌های هوابرد .....۲۴
۲-۳-۲ سیستم‌های فضابرد .....۲۶
۲-۴ پلاریمتری .....۲۸
۲-۴-۱ امواج الکترومغناطیس .....۲۹
۲-۴-۲ بیضی پلاریزیشن .....۳۲
۲-۴-۳ بردار جونز .....۳۵
۲-۴-۴ توصیف‌گرهای پلاریمتریکی پراکنده‌گرها .....۳۶
۲-۴-۴-۱ ماتریس پراکندگی .....۳۶
۲-۴-۴-۲ بردارهای پراکندگی k و Ω .....۳۸

۲-۴-۴-۳ ماتریس همبستگی و کواریانس ..... ۳۹
۲-۵ الگورتیم تجزیه هدف Cloude and Pottier ..... ۴۱
۲-۶ تعداد منظرهای معادل ..... ۴۳
۲-۷ مدل‌سازی بافت با میدان‌های تصادفی مارکوف ..... ۴۴
۲-۷-۱ میدان‌های تصادفی مارکوف و گیبز ..... ۴۵
۲-۷-۱-۱ میدان‌های تصادفی مارکوف ..... ۴۶
۲-۷-۱-۲ میدان‌های تصادفی گیبز ..... ۴۷
۲-۷-۲ شکل ساده شده MRF ..... ۴۹
۲-۷-۲ محاسبه پارامترهای مدل به روش برازش کمترین مربعات ..... ۵۰
۲-۷-۴ الگوریتم ICM ..... ۵۲
**فصل ۳: مواد و روش تحقیق ..... ۵۴**
۳-۱ مقدمه ..... ۵۴
۳-۲ منطقه مطالعاتی ..... ۵۴
۳-۳ داده‌های آموزشی و تست ..... ۵۵
۳-۴ تصاویر PolSAR ..... ۵۶
۳-۵ آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها ..... ۵۸
۳-۶ مدل‌سازی روش پیشنهادی ..... ۶۲
۳-۶-۱ استخراج تابع تمایز ..... ۶۴
۳-۷ روش ارزیابی نتایج ..... ۶۹
**فصل ۴: پیاده‌سازی و نتایج ..... ۷۱**
۴-۱ مقدمه ..... ۷۱
۴-۲ نتایج پیش‌پردازش ..... ۷۱
۴-۳ محاسبه ENL ..... ۷۴
۴-۴ نتایج طبقه‌بندی نظارت شده . ..... ۷۸

۴-۴-۱ تک تصویر فصل تابستان ..... ۷۹
۴-۴-۲ تک تصویر فصل زمستان ..... ۸۴
۴-۴-۳ ترکیب دو تصویر تابستان و زمستان ..... ۸۹
۴-۵ نتایج طبقه‌بندی نظارت نشده . ..... ۹۴
۴-۶ خلاصه نتایج ..... ۱۰۱
**فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ..... ۱۰۳**
۵-۱ نتیجه‌گیری ..... ۱۰۳
۵-۲ پیشنهادات برای کارهای آینده . ..... ۱۰۵
**منابع ..... ۱۰۸**

## فهرست اشکال

شکل ۱-۱: روند کلی تحقیق ..... ۱۶
شکل ۲-۱: طیف الکترومغناطیس و میزان گذردهی اتمسفر در مسیر بین زمین و فضا [۲۳] ..... ۲۱
شکل ۲-۲: اصول اساسی آنتن‌های مجازی و روابط مربوط به قدرت تفکیک در جهت آزیموت برای سیستم SAR [۲۶] ..... ۲۳
شکل ۲-۳: دسته بندی حالت‌های مختلف اخذ داده در SAR از دید پلاریمتری [۲۵]..... ۲۸
شکل ۲-۴: بردار میدان الکتریکی (قرمز) و مولفه‌های افقی (سبز) و قائم (آبی) آن و بیضی پلاریزیشن [۳۴]. ۳۳
شکل ۲-۵: بیضی پلاریزیشن و پارامترهای آن [۹] ..... ۳۳
شکل ۲-۶: مقادیر H و A برای ۴ حالت مختلف مقادیر ویژه [۳۷]..... ۴۲
شکل ۲-۷: صفحه دو بعدی H و $\alpha$ [۹] ..... ۴۳
شکل ۲-۸: (a) همسایه‌های مرتبه اول دارای چهار پیکسل هستند. (b) همسایه‌های مرتبه دوم که چهار پیکسل در گوشه پیکسل مرکزی قرار دارند و (c) همسایه‌های مرتبه بالا (تا مرتبه ۵) که به همان ترتیب توسعه داده شده‌اند [۲۰] ..... ۴۶
شکل ۲-۹: انواع دسته‌های موجود در سیستم همسایگی مرتبه اول و دوم به همراه پارامترهای مرتبط. (a) تک مکان (b) همسایه‌های افقی و قائم (c) همسایه‌های قطری (d) سه گانه (e) چهار همسایه [۲۰] ..... ۴۷
شکل ۲-۱۰: دسته‌های مربوط به سیستم همسایگی مرتبه دوم برای پیکسل r [۲۰] ..... ۴۸
شکل ۳-۱: نقشه منطقه مطالعاتی- اخذ شده از Google Map..... ۵۴
شکل ۳-۲: داده‌های زمینی برای ۵ کلاس به صورت، کاج سفید: زرد رنگ، بلوط قرمز: قرمز رنگ، صنوبر سیاه: ارغوانی، پوشش گیاهی: سبز و کلاس آب با رنگ آبی الف) داده‌های آموزشی ب) داده‌های تست..... ۵۵
شکل ۳-۳: نمایش مجموعه داده‌های استفاده شده؛ الف): موقعیت جغرافیایی کل تصویر در محیط Google Earth ب): تصویر پلاریمتری RADARSAT-2 مربوط به فصل تابستان بدون اعمال فیلتر اسپکل، (باند قرمز ، HH)، (باند سبز ، VV) و (باند آبی ، HV)، ج) مدل ارتفاع رقومی منطقه د) تصویر تصحیح هندسی شده

RADARSAT-1 مربوط به همان منطقه ..... ۵۷

شکل ۳-۴: سه روش رایج برای کالیبراسیون تصاویر SAR که عبارتند از: Sigma-nought ($\sigma^0$)، Beta-nought ($\beta^0$) و Gamma-nought ($\gamma^0$) ..... ۵۹

شکل ۳-۵: منطقه انتخاب شده به ابعاد ۱۵۰۰×۱۶۰۰ الف) تصویر فصل تابستان (دارای برگ) بر مبنای بردار Pauli ب) تصویر فصل زمستان (بدون برگ) بر مبنای بردار Pauli ..... ۶۱

شکل ۳-۶: روند کلی انجام تحقیق ..... ۶۳

شکل ۳-۷: استفاده از ماتریس خطا برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی [۱] ..... ۶۹

شکل ۴-۱: نتایج فیلتر اسپکل تصویر تابستان و نمایش آنها با اختصاص مولفه‌های قطر اصلی ماتریس کواریانس پلاریمتری به ترتیب به باندهای قرمز، سبز و آبی الف) تصویر اصلی و بدون فیلتر ب) ابعاد پنجره ۳×۳ ج) ابعاد پنجره ۵×۵ د) ابعاد پنجره ۷×۷ ..... ۷۲

شکل ۴-۲: نتایج فیلتر اسپکل تصویر زمستان و نمایش آنها با اختصاص مولفه‌های قطر اصلی ماتریس کواریانس پلاریمتری به ترتیب به باندهای قرمز، سبز و آبی الف) تصویر اصلی و بدون فیلتر ب) ابعاد پنجره ۳×۳ ج) ابعاد پنجره ۵×۵ د) ابعاد پنجره ۷×۷ ..... ۷۲

شکل ۴-۳: مقایسه تصحیح هندسی در دو حالت مختلف بر مبنای پلی‌گونهای موجود از منطقه الف) منطقه ۱ و تصحیح بدون DEM ب) منطقه ۱ و تصحیح توپوگرافی به کمک DEM ج) منطقه ۲ و تصحیح بدون DEM د) منطقه ۲ و تصحیح توپوگرافی به کمک DEM ..... ۷۳

شکل ۴-۴: هیستوگرام ENLها برای تصاویر، زمستان (ستون چپ)، تابستان (ستون وسط) و ترکیب دو تصویر (ستون راست)، پنجره فیلترینگ در ابعاد ۳×۳ (سطر بالا)، ۵×۵ (سطر وسط) و ۷×۷ (سطر پائین) ..... ۷۵

شکل ۴-۵: مقادیر ENL برای هر کلاس در تصاویر، زمستان (ستون چپ)، تابستان (ستون وسط) و ترکیب دو تصویر (ستون راست)، پنجره فیلترینگ در ابعاد ۳×۳ (سطر بالا)، ۵×۵ (سطر وسط) و ۷×۷ (سطر پائین). در نمودارهای نشان داده شده محور افقی بیان کننده نام کلاس‌ها و محور قائم مقادیر ENL می‌باشد. ..... ۷۷

شکل ۴-۶: نقشه طبقه‌بندی تصویر تابستان با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۸۰

شکل ۴-۷: نقشه طبقه‌بندی تصویر تابستان با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۸۲

شکل ۴-۸: نقشه طبقه‌بندی تصویر تابستان با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۸۴

شکل ۴-۹: نقشه طبقه‌بندی تصویر زمستان با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۸۶

شکل ۴-۱۰: نقشه طبقه‌بندی تصویر زمستان با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۸۸

شکل ۴-۱۱: نقشه طبقه‌بندی تصویر زمستان با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۸۹

شکل ۴-۱۲: نقشه طبقه‌بندی تلفیق دو تصویر با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۹۱

شکل ۴-۱۳: نقشه طبقه‌بندی تلفیق دو تصویر با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۹۳

شکل ۴-۱۴: نقشه طبقه‌بندی تلفیق دو تصویر با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۹۴

شکل ۴-۱۵: نتایج اجرای الگوریتم تجزیه هدف بر روی ماتریس همبستگی تصویر فصل تابستان الف) طبقه‌بندی نظارت نشده بر مبنای فضای $\boldsymbol{H/\alpha}$ ب) ویژگی آنتروپی (رنگ آبی: آنتروپی پائین، رنگ قرمز: آنتروپی بالا) ج) ویژگی زاویه آلفا د) راهنمای رنگ نقشه طبقه‌بندی و شماره آنها برای ۸ خوشه ح) چگالی حضور پیکسل‌های تصویر در ۸ ناحیه صفحه $\boldsymbol{H/\alpha}$ (از رنگ آبی (چگالی پائین) به طرف رنگ قرمز (چگالی بالا)) ..... ۹۶

شکل ۴-۱۶: تعداد پیکسل‌های موجود در هر خوشه در خروجی طبقه‌بندی بر مبنای فضای H/α الف) به صورت

جدول ب) به صورت نمودار میله‌ای که محور افقی این نمودار شامل شماره خوشه‌ها و محور قائم تعداد پیکسل‌های هر خوشه می‌باشد. ..... ۹۷
شکل ۴-۱۷: نقشه طبقه‌بندی نظارت نشده در حالت تلفیق دو تصویر با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۹۹
شکل ۴-۱۸: نقشه طبقه‌بندی نظارت نشده در حالت تلفیق دو تصویر با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۱۰۰
شکل ۴-۱۹: نقشه طبقه‌بندی نظارت نشده در حالت تلفیق دو تصویر با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ الف) روش ویشارت ب) روش WMRF ..... ۱۰۰
شکل ۴-۲۰: میزان بهبود دقت کلی (٪) طبقه‌بندی با روش WMRF نسبت به ویشارت در تمامی حالات طبقه‌بندی نظارت شده، محور افقی و قائم به ترتیب، ابعاد پنجره فیلترینگ و میزان بهبود دقت کلی طبقه‌بندی را نشان می‌دهد. ..... ۱۰۲

# فهرست جداول

جدول ۲-۱: پارامترهای به کار رفته در روابط ماکسول ..... ۳۰
جدول ۲-۲: بردارهای یکّه جونز و پارامترهای بیضی پلاریزیشن نظیر آن برای چند حالت پلاریزیشن استاندارد [۹] ..... ۳۵
جدول ۳-۱: تعداد نمونه‌های آموزشی و تست برای هر کلاس ..... ۵۶
جدول ۳-۲: اطلاعات مربوط به مجموعه داده‌های استفاده شده ..... ۵۷
جدول ۴-۱: مقادیر میانگین منظرهای معادل (ENL) و اسمی برای حالات مختلف فیلترینگ درتصاویر مورد استفاده ..... ۷۶
جدول ۴-۲: اصطلاحات به کار رفته در ماتریس خطا ..... ۷۸
جدول ۴-۳: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم ویشارت برای تصویر تابستان با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ .... ۷۹
جدول ۴-۴: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم WMRF برای تصویر تابستان با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ ... ۸۰
جدول ۴-۵: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم ویشارت برای تصویر تابستان با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ .... ۸۱
جدول ۴-۶: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم WMRF برای تصویر تابستان با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ ... ۸۲
جدول ۴-۷: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم ویشارت برای تصویر تابستان با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ .... ۸۳
جدول ۴-۸: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم WMRF برای تصویر تابستان با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ ... ۸۳
جدول ۴-۹: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم ویشارت برای تصویر زمستان با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ .... ۸۵
جدول ۴-۱۰: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم WMRF برای تصویر زمستان با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ . ۸۶
جدول ۴-۱۱: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم ویشارت برای تصویر زمستان با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ .. ۸۷
جدول ۴-۱۲: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم WMRF برای تصویر زمستان با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ . ۸۷
جدول ۴-۱۳: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم ویشارت برای تصویر زمستان با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ .. ۸۸
جدول ۴-۱۴: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم WMRF برای تصویر زمستان با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ . ۸۹
جدول ۴-۱۵: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم ویشارت در حالت تلفیق دو تصویر با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ

..... ۹۰
جدول ۴-۱۶: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم WMRF در حالت تلفیق دو تصویر با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ ..... ۹۱
جدول ۴-۱۷: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم ویشارت در حالت تلفیق دو تصویر با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ ..... ۹۲
جدول ۴-۱۸: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم WMRF در حالت تلفیق دو تصویر با پنجره ۵×۵ برای فیلترینگ ..... ۹۲
جدول ۴-۱۹: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم ویشارت در حالت تلفیق دو تصویر با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ ..... ۹۳
جدول ۴-۲۰: دقت طبقه‌بندی (٪) با الگوریتم WMRF در حالت تلفیق دو تصویر با پنجره ۷×۷ برای فیلترینگ ..... ۹۴
جدول ۴-۲۱: نتایج طبقه‌بندی (٪) در فضای H/α بر مبنای معیار Purity با پنجره ۳×۳ برای فیلترینگ .... ۹۸
جدول ۴-۲۲: دقت طبقه‌بندی نظارت نشده (٪) در حالت تلفیق دو تصویر با فیلترینگ ۳×۳ بر مبنای معیار Purity ..... ۹۸
جدول ۴-۲۳: دقت طبقه‌بندی نظارت نشده (٪) در حالت تلفیق دو تصویر با فیلترینگ ۵×۵ بر مبنای معیار Purity ..... ۹۹
جدول ۴-۲۴: دقت طبقه‌بندی نظارت نشده (٪) در حالت تلفیق دو تصویر با فیلترینگ ۷×۷ بر مبنای معیار Purity ..... ۹۹
جدول ۴-۲۵: مقدار بهبود دقت (٪) طبقه‌بندی نظارت نشده روش WMRF نسبت به روش ویشارت بر مبنای Purity ..... ۱۰۱
جدول ۴-۲۶: مقدار بهبود دقت (٪) طبقه‌بندی نظارت شده روش WMRF نسبت به روش ویشارت بر مبنای دقت تولید کننده (PA) برای کلاس‌ها و دقت کلی (OA) طبقه‌بندی ..... ۱۰۱

# فصل ۱: مقدمه

## ۱-۱ تعریف مسئله

امروزه برای مدیریت صحیح منابع انسانی، اقتصادی، طبیعی و ... به یک برنامه‌ریزی دقیق و اطلاعات به روز در سطح ملی و منطقه‌ای نیاز می‌باشد. جمع‌آوری چنین اطلاعات حجیم و دقیق با استفاده از روش‌های سنتی و مبتنی بر اپراتورهای انسانی کاری زمان‌بر و پرهزینه و در برخی موارد غیر ممکن می‌باشد. امروزه، جمع‌آوری داده توسط سنجش از دور یک مرحله اساسی در مدیریت پایدار زمین محسوب می‌شود.

یکی از پردازش‌های مهم و پرکاربرد بر روی تصاویر سنجش از دور، فرایند طبقه‌بندی است. از دیدگاه تصمیم گیری، نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی می‌توانند مفید واقع شوند، زیرا، این الگوریتم‌ها اطلاعات پیچیده طیفی- مکانی را در تعداد محدودی کلاس مورد نیاز، خلاصه می‌کنند. برخی از الگوریتم‌های طبقه‌بندی، از قبیل الگوریتم قدیمی بیشترین شباهت و یا الگوریتم‌های پیشرفته مانند ماشین‌های بردار پشتیبان[1] فقط از اطلاعات خود پیکسل‌ها برای تعیین کلاس‌ها استفاده می‌کنند. در حالی که مستقل فرض نمودن یک پیکسل از پیکسل‌های همسایه خود، در فرایند طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور در صورت وجود شرایط لازم، کار زیاد منطقی نمی‌باشد. در تصاویر سنجش از دور به دلایلی مانند، بزرگ بودن یک نوع خاص پوشش زمینی در یک منطقه نسبت به قدرت تفکیک مکانی سنجنده، پیکسل‌های همسایه دارای همبستگی می‌باشند [۱]. پس میزان همبستگی پیکسل‌های مجاور وابستگی شدیدی به قدرت تفکیک مکانی سنجنده و مقیاس نواحی طبیعی روی زمین دارد (یکنواخت بودن)، و هر چه قدرت تفکیک مکانی سنجنده در مقایسه با ابعاد عوارض زمینی بهتر باشد این اطلاعات غنی‌تر هستند. در نتیجه، پیکسل‌های همسایه، همبستگی مکانی قابل توجهی دارند و اگر یک پیکسل متعلق به یک کلاس باشد، به احتمال زیاد پیکسل‌های همسایه نیز متعلق به همان کلاس هستند. نتایج الگوریتم‌های طبقه‌بندی که، از اطلاعات همسایگی پیکسل‌ها استفاده می‌کنند، به علت همگن شدن کلاس‌های نقشه نهایی و پیکسل‌های پراکنده کمتر، نسبت به نتایج طبقه‌بندی کننده‌هایی که به اطلاعات فقط خود

[1] Support Vector Machine (SVM)

پیکسل اکتفا می‌کنند، دارای دید بصری و دقت بهتری می‌باشند. ادعای ذکر شده، زمانی می‌تواند درست باشد که، شرایط مورد نیاز برای این نوع طبقه‌بندی از قبیل، قدرت تفکیک مکانی بیشتر سنجنده، همگن بودن نوع پوشش‌های زمینی به عنوان مثال، یک منطقه جنگلی در مقایسه با یک منطقه شهری، و روش‌های مناسب برای استخراج اطلاعات مربوط به ارتباط مکانی پیکسل‌های همسایه در فرایند طبقه‌بندی، برقرار باشد. با فرض فراهم بودن دو شرط اوّل، موضوع قابل بحث روش استفاده از اطلاعات مربوط به ارتباط مکانی پیکسل‌ها (بافت یا همان اطلاعات موجود در متن تصویر[۱]) می‌باشد.

به طور کل، از اطلاعات بافت به سه روش می‌توان در طبقه‌بندی استفاده کرد[۲]. روش‌های پیش‌پردازش[۲]، که در این روش‌ها اطلاعات بافت را به عنوان یک سری ویژگی استخراج (مانند ویژگی‌های حاصل از ماتریس GLCM[۳]) و بعد از انتخاب ویژگی‌هایی با تفکیک‌پذیری بالا (مرحله اختیاری)، بردار ویژگی انتخاب شده را وارد مرحله طبقه‌بندی می‌کنند. دومین دسته، روش‌های پس پردازش[۴] است، که بعد از اتمام طبقه‌بندی از اطلاعات مکانی برای بهبود نقشه نهایی مانند اعمال فیلتر اکثریت، استفاده می‌کنند. عیب این دسته از روش در این است که، ویژگی‌های بافت به طور مستقیم در فرایند طبقه‌بندی نقش نداشته و فقط به عنوان یک ابزار برای بهبود بصری نتایج بکار رفته می‌شوند. در دسته سوم، که اصطلاحاً روش‌های حین پردازش[۵] می‌گویند، از اطلاعات مکانی به طور همزمان در روند طبقه‌بندی استفاده می‌شود، و نقشی تعیین کننده و اساسی در نتیجه طبقه‌بندی دارند. میدان‌های تصادفی مارکوف[۶] یکی از معروف‌ترین روش‌ها برای ترکیب اطلاعات مکانی در روند طبقه‌بندی به این صورت، می‌باشد.

از آنجا که هدف طبقه‌بندی داده‌های پلاریمتریک[۷] SAR می‌باشد، یکی از مهم‌ترین مشکلات این تصاویر وجود نویز اسپکل است. همانطور که قبلاً گفته شد، اگر در طبقه‌بندی این تصاویر نیز از اطلاعات فقط خود پیکسل استفاده شود، به دلیل عامل جدیدتری نسبت به تصاویر اپتیک به نام اسپکل، نقشه نهایی

[1] Contextual Information
[2] Pre-Processing
[3] Gray level Co-occurrence Matrix
[4] Post-Processing
[5] Processing
[6] Markov Random Field(MRF)
[7] PolSAR

طبقه‌بندی دارای کلاس‌های غیر همگن و پیکسل‌های پراکنده می‌باشد. ولی در صورت استفاده از اطلاعات همسایگی می‌توان تاثیر منفی آن را کاهش داد. بنابراین در این تحقیق، اطلاعات همسایگی را با استفاده از میدان‌های تصادفی مارکوف مدل نموده و برای طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری از آن کمک می‌گیریم. از عمده منابع عدم قطعیت در این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ✓ پیچیدگی منطقه و تغییر در میزان پراکنش سیگنال راداری در یک منطقه خاص به دلیل عوامل موثر در پراکنش (مانند بارانی بودن یک منطقه نسبت به مناطق دیگر).
- ✓ وجود اشتباه در داده‌های آموزشی و تست.
- ✓ عدم تعیین صحیح تعداد کلاس‌ها.
- ✓ تخمین نامناسب پارامترهای مدل.
- ✓ ضعف در توزیع احتمال داده‌ها و ساختار تابع انرژی در مدل MRF و یا به عبارتی طراحی نامناسب تابع هدف.
- ✓ مشکلات مربوط به بهینه سازی تابع هدف.

## ۱-۲ پیشینه تحقیق

در این قسمت خلاصه‌ای از روش‌های اصلی طبقه‌بندی تصاویر PolSAR ذکر شده است. طبقه‌بندی عوارض زمین یکی از مهم‌ترین کاربردها در آنالیز تصاویر PolSAR محسوب می‌شود. در این راستا، الگوریتم‌های زیادی برای طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده توسعه داده شده‌اند. اوایل تکنیک‌های پردازش تصویر برای طبقه‌بندی بکار گرفته می‌شدند. در بیشتر این تکنیک‌ها از ۹ پارامتر ماتریس کواریانس به عنوان یک بردار ویژگی و با فرض اینکه این بردار ویژگی دارای توزیع گوسین است، استفاده می‌نمودند. یک معیار اندازه‌گیری بر مبنای توزیع گوسین توسعه داده، و سپس روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده مانند ISODATA و یا Fuzzy c-means به کار گرفته شدند. در روش‌های نظارت شده به عنوان مثال، در [۳, ۴] به منظور طبقه‌بندی داده‌های تک منظر[1] مختلط PolSAR از یک معیار اندازه‌گیری برای طبقه‌بندی به روش ماکزیمم شباهت بر مبنای توزیع گوسین مختلط استفاده شده است. یکی از مهمترین مشکلات طبقه‌بندی داده‌های تک

[1] Single Look

منظر وجود نویز اسپکل است، بنابراین در اکثر موارد تصاویر PolSAR را به صورت چند منظر[1] پردازش می‌کنند. برای اخذ تصاویر چند منظر دو روش کلی وجود دارد. اولاً، پهنای باند سیگنال راداری را به چندین قسمت که به هر قسمت یک منظر می‌گوییم، تقسیم می‌کنند و سپس از میانگین‌گیری اطلاعات کل منظرها اطلاعات نهایی بدست می‌آید. ثانیاً، میانگین‌گیری مکانی در سطح تصویر و با در نظر گرفتن یک پنجره با ابعاد فرد صورت می‌پذیرد. قدرت تفکیک مکانی در این داده‌ها نسبت به داده‌های تک منظر ضعیف‌تر است. ولی چون احتمال رخداد پدیده تداخل سازگار یا ناسازگار به طور یکسان (عامل اصلی در وجود پدیده نویز اسپکل در تصاویر راداری) در همه منظرها کم است، و با اعمال پروسه میانگین‌گیری بر روی داده‌ها اثر اسپکل به میزان قابل قبولی کاهش می‌یابد. همان طور که گفته شد، در داده‌های چند منظر PolSAR نیاز به میانگین گیری از ماتریس‌های کواریانس چندین تک منظر مستقل می‌باشد. یکی دیگر از مزیت‌های داده‌های چند منظر علاوه بر کاهش اثر اسپکل، فشرده‌سازی داده‌ها است. پرکاربردترین روش برای طبقه‌بندی داده‌های چند منظر PolSAR استفاده از توزیع مختلط ویشارت بوده و طبقه‌بندی کننده ویشارت بر مبنای آن طراحی شده است [۵]. از مهمترین خصوصیات طبقه‌بندی کننده ویشارت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ✓ قابلیت اجرای طبقه‌بندی کننده ویشارت در داده‌های فیلتر شده به دلیل مستقل بودن آن از تعداد منظرها. این ویژگی طبقه‌بندی کننده ویشارت را در موارد پردازش به صورت چند منظر یا اعمال فیلتر اسپکل برای تصاویر پلاریمتریک SAR را کاربردی می‌کند زیرا، تعداد منظرهای واقعی هر پیکسل می‌تواند متفاوت باشد.
- ✓ نتیجه طبقه‌بندی به نوع پلاریزیشن داده‌های استفاده شده وابسته نیست.
- ✓ می‌توان در طبقه‌بندی تصاویر چند فرکانسه از آن استفاده نمود.
- ✓ فاصله ویشارت می‌تواند به عنوان معیاری در تلفیق یا جداسازی کلاس‌ها در طبقه‌بندی نظارت نشده استفاده شود.

در برخی از تحقیقات برای طبقه‌بندی تصاویر PolSAR از الگوریتم‌های طبقه‌بندی کننده غیر

[1] Multilook