۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین‌طوسی

دانشکده مهندسی نقشه‌برداری (ژئودزی و ژئوماتیک)

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی عمران- نقشه‌برداری
گرایش سنجش از دور

# تعیین پارامترهای بهینه در تصاویر پلاریمتری SAR به منظور بهبود طبقه‌بندی پوشش زمینی

اساتید راهنما:
دکتر محمودرضا صاحبی
دکتر یاسر مقصودی

نگارش:
مریم صالحی فراهانی

تابستان ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

| | | |
|---|---|---|
| تاسیس ۱۳۰۷<br>دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی | **تأییدیه هیأت داوران** | شماره:<br>تاریخ: |

هیأت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان :

**"تعیین پارامترهای بهینه در تصاویر پلاریمتری SAR به منظور بهبود طبقه بندی پوشش زمینی"**

توسط **مریم صالحی فراهانی** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته گرایش **سنجش از دور** در تاریخ **۹۲/۶/۲۳** مورد تأیید قرار می‌دهند.

| | | |
|---|---|---|
| **۱- استاد راهنمای اول** | جناب آقای دکتر محمودرضا صاحبی | امضاء |
| **۲- استاد راهنمای دوم** | جناب آقای دکتر یاسر مقصودی | امضاء |
| **۳- استاد مشاور** | - | امضاء |
| **۴- ممتحن داخلی** | جناب آقای دکتر محمدجواد ولدان زوج | امضاء |
| **۵- ممتحن خارجی** | جناب آقای دکتر بابک منصوری | امضاء |
| **۶- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده** | جناب آقای دکتر محمد کریمی | امضاء |

۴۲۱۶-۱۳۸۷/۱۰/۲۹

| | | |
|---|---|---|
| تاسیس ۱۳۰۲<br>دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی | **اظهارنامه دانشجو** | شماره:<br>تاریخ: |

اینجانب مریم صالحی مزاهری دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی نقشه برداری

گرایش سنجش از دور دانشکده نقشه برداری (ژئودزی و ژئوماتیک) دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی

می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان

تعیین پارامترهای بهینه در تداخل‌سنجی راداری SAR به منظور بهبود طبقه‌بندی پوشش زمینی

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای / سرکار خانم دکتر محمودرضا صالحی و یاسر مقصودی ، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ: ۱۳۹۲/۶/۳۰

## حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد. هر گونه کپی‌برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا معاونت پژوهشی دانشگاه مجاز می‌باشد.

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 بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## تقدیر و تشکر

اکنون که با یاری خداوند متعال موفق به اتمام این مقطع تحصیلی شده‌ام، بر خود لازم می‌دانم از زحمات اساتید بزرگوار آقایان دکتر صاحبی و دکتر مقصودی خالصانه تشکر کنم. راهنمایی‌های ایشان در تمامی مراحل کار، همواره روشنگر و هدایت کننده مسیر این تحقیق بوده است.

از پدر و مادر عزیزم به خاطر حمایت‌های بی‌وقفه آنان در تمام مراحل زندگی صمیمانه سپاسگزارم و برایشان بهترین‌ها را از درگاه خداوند مسئلت دارم.

**و تقدیم به تمامی کسانی که تجربه‌های زیبای زندگیم مدیون حضور آنهاست...**

## چکیده

طبقه‌بندی پوشش زمین بویژه در مناطق شهری یکی از مهم‌ترین کاربردهای تصاویر پلاریمتری SAR (PolSAR) محسوب می‌شود. به منظور استفاده از پتانسیل بالای اطلاعاتی این تصاویر ویژگی‌های متعددی را می‌توان از آن‌ها استخراج کرد. اگرچه هر یک از این ویژگی‌ها می‌تواند اطلاعات مناسبی را درباره عوارض مختلف فراهم کند ولی هیچ‌یک به تنهایی برای توصیف کامل یک عارضه کافی نمی‌باشد و از طرفی امکان استفاده از تمامی ویژگی‌ها وجود ندارد. بنابراین انتخاب ویژگی نقش مهمی در طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری ایفا می‌کند. هدف از این تحقیق، تعیین زیرمجموعه ویژگی بهینه از داده پلاریمتری به منظور بهبود طبقه‌بندی پوشش زمینی می‌باشد. در این راستا سه گام اساسی در طبقه‌بندی اتخاذ شده است: ۱) استخراج ویژگی در قالب سه گروه ویژگی‌های داده اصلی، ویژگی‌های تجزیه هدف، و تفکیک‌کننده‌های PolSAR؛ ۲) انتخاب ویژگی در چارچوب بهینه‌سازی تک‌هدفه و چندهدفه؛ و ۳) طبقه‌بندی با استفاده از ویژگی‌های انتخابی بهینه. در انتخاب ویژگی تک‌هدفه، روش‌های تلفیقی از الگوریتم ژنتیک (GA) و شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) و همچنین ماشین‌های بردار پشتیبان (SVMs) به منظور بیشینه کردن دقت طبقه‌بندی بکار گرفته شد. در انتخاب ویژگی چندهدفه به منظور کمینه‌سازی خطای طبقه‌بندی و همزمان تعداد ویژگی‌های انتخابی PolSAR، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب ۲ (NSGA-II) در مرحله جستجو و دو طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان و سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی (ANFIS) در مرحله ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی عملکرد الگوریتم‌ها از تصویر پلاریمتری شهر سانفرانسیسکو مربوط به سنجنده فضابرد رادارست ۲ استفاده شد. نتایج حاصل کارایی برتر الگوریتم‌های چندهدفه را نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده نشان می‌دهد. برای الگوریتم چندهدفه با طبقه‌بندی‌کننده SVM تعداد ویژگی ۱۶ و دقت کلی ۹۵/۸۷ و برای الگوریتم چندهدفه با طبقه‌بندی‌کننده ANFIS تعداد ویژگی ۱۴ و دقت کلی ۹۷/۳ حاصل شد.



واژگان کلیدی: داده پلاریمتری، طبقه‌بندی، بهینه‌سازی چندهدفه، ماشین بردار پشتیبان، سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی

## فهرست

**فصل اول: مقدمه ..... ۱**

۱-۱ کلیات و پیش‌درآمد ..... ۲

۱-۲ پیشینه تحقیق ..... ۳

۱-۳ ضرورت تحقیق ..... ۵

۱-۴ اهداف تحقیق ..... ۱۰

۱-۵ روش تحقیق ..... ۱۰

۱-۶ ساختار پایان‌نامه ..... ۱۱

**فصل دوم: مروری بر اصول پلاریمتری و ویژگی‌های پلاریمتری SAR ..... ۱۲**

۲-۱ اصول کلی پلاریمتری ..... ۱۳

۲-۲ ویژگی‌های پلاریمتری ..... ۱۴

۲-۲-۱ ویژگی‌های اصلی ..... ۱۵

۲-۲-۲ ویژگی‌های تفکیک‌کننده PolSAR ..... ۱۶

۲-۲-۳ ویژگی‌های تجزیه هدف ..... ۲۰

**فصل سوم: روش‌های پیشنهادی در تعیین ویژگی‌های بهینه PolSAR ..... ۴۲**

۳-۱ مقدمه ..... ۴۳

۳-۲ انتخاب ویژگی تک‌هدفه ..... ۴۴

۳-۲-۱ روش جستجو: الگوریتم ژنتیک (GA) ..... ۴۵

۳-۲-۲ تابع هدف ..... ۴۷

۳-۳ انتخاب ویژگی چندهدفه ..... ۵۵

۳-۳-۱ روش جستجو: الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب ۲ (NSGA-II) ..... ۵۸

۳-۳-۲ تابع هدف ..... ۶۲

۴-۳ روش‌های مبنا ..... ۶۶

**فصل چهارم: پیاده‌سازی الگوریتم‌ها و بررسی نتایج .....۶۸**

۴-۱ مقدمه ..... ۶۹

۴-۲ مجموعه داده و پیش‌پردازش..... ۶۹

۴-۳ نتایج پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشنهادی ..... ۷۲

۴-۴ سایر تحقیقات انجام شده با استفاده از ویژگی‌ها و الگوریتم های مختلف بر روی تصویر پلاریمتریک منطقه شهری سانفرانسیسکو ..... ۸۴

۴-۵تحلیل و بررسی برخی ویژگی‌های بهینه انتخاب شده در طبقه‌بندی پوشش زمین شهری ... ۸۶

**فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات .....۹۴**

۵-۱ بحث و نتیجه‌گیری ..... ۹۵

۵-۲ پیشنهادات .....۹۷

**مراجع ..... ۹۹**

**پیوست‌ها .....۱۰۵**

## فهرست اشکال

شکل ۲-۱. انتشار موج الکترومغناطیس. بردار میدان الکتریکی (قرمز) شامل مولفه‌های افقی (سبز) و عمودی (آبی) (Lee and Pottier, 2009) ..... ۱۳
شکل ۲-۲. بیضی پلاریزاسیون (Elachi and van Zyl, 2006) ..... ۱۴
شکل ۲-۳. تفسیر زاویه آلفا (Hellmann, 2001) ..... ۳۳
شکل ۲-۴. مکانیزم پراکنش زوج (تصویر راست)، پراکنش پراکنده (تصویر وسط)، پراکنش فرد (تصویر چپ) (Van Zyl, 1989) ..... ۳۸
شکل ۳-۱. طرح کلی روش پیشنهاد شده در این تحقیق به منظور بهبود طبقه‌بندی پوشش زمین تصاویر PolSAR ..... ۴۴
شکل ۳-۲. فلوچارت الگوریتم انتخاب ویژگی تک‌هدفه ..... ۴۵
شکل ۳-۳. ساختار شبکه عصبی با یک لایه میانی ..... ۴۸
شکل ۳-۴. توابع فعالسازی به ترتیب از راست به چپ: خطی، سیگموید (لگاریتمی)، سیگموید (تانژانت هایپربولیک)، تابع آستانه ..... ۴۸
شکل ۳-۵. خط‌های تفکیک‌کننده دو کلاس ..... ۵۱
شکل ۳-۶. تفکیک‌کننده بهینه برای دو کلاس کاملا جدا (Burges, 1998) ..... ۵۲
شکل ۳-۷. تفکیک‌کننده بهینه برای دو کلاس دارای همپوشانی (Burges, 1998) ..... ۵۳
شکل ۳-۸. چهار حالت ارتباط بین تک راه‌حل SOGA و مجموعه راه‌حل‌های نامغلوب MOGA (Emmanouilidis *et al.*, 2000) ..... ۵۷
شکل ۳-۹. فلوچارت الگوریتم انتخاب ویژگی چندهدفه ..... ۵۸
شکل ۳-۱۰. فلوچارت الگوریتم NSGA-II ..... ۵۹
شکل ۳-۱۱. طرح کلی الگوریتم NSGA-II، $P_T$ جمعیت اولیه، $Q_T$ جمعیت فرزندان در نسل T و $F_I$ نشان‌دهنده Front است (Deb et al., 2006). ..... ۵۹
شکل ۳-۱۲. مثالی از راه‌حل‌های مغلوب و بهینه پارتو در یک فضای جستجوی دو هدفه ..... ۶۲
شکل ۳-۱۳. ساختار ANFIS با دو ورودی و یک خروجی (Jang, 1993) ..... ۶۴

شکل ۳-۱۴. ساختار ANFIS مورد استفاده در این تحقیق با ۷ ویژگی ورودی ..... ۶۶
شکل ۴-۱. منطقه سانفرانسیسکو. الف) تصویر GOOGLE EARTH منطقه، ب) تصویر PAULI RGB منطقه که در آن $|S_{HH} - S_{VV}|$ با رنگ قرمز، $|S_{HV}|$ با رنگ سبز و $|S_{HH} + S_{VV}|$ با رنگ آبی نشان داده شده است. ..... ۷۰
شکل ۴-۲. نتیجه طبقه‌بندی نهایی حاصل از الگوریتم WISHART ..... ۷۴
شکل ۴-۳. نتیجه طبقه‌بندی نهایی حاصل از SVM با مجموعه ویژگی کامل ..... ۷۵
شکل ۴-۴. نتیجه طبقه‌بندی نهایی حاصل از GASVM ..... ۷۵
شکل ۴-۵. نتیجه طبقه‌بندی نهایی حاصل از GAMLP ..... ۷۶
شکل ۴-۶. مجموعه پارتو بهینه در MOGA-SVM ..... ۷۷
شکل ۴-۷. مجموعه پارتو بهینه در MOGA-ANFIS ..... ۷۷
شکل ۴-۸. نتیجه طبقه‌بندی نهایی حاصل از MOGA-SVM ..... ۸۱
شکل ۴-۹. نتیجه طبقه‌بندی نهایی حاصل از MOGA-ANFIS ..... ۸۲
شکل ۴-۱۰. مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی از نظر دقت کلی ..... ۸۳
شکل ۴-۱۱. مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی از نظر تعداد ویژگی ..... ۸۳
شکل ۴-۱۲. نتیجه طبقه‌بندی‌کننده ترکیبی از PCA و شبکه عصبی (ZHANG *ET AL.*, 2009) ..... ۸۴
شکل ۴-۱۳. نتیجه حاصل از روش پیشنهادی در (KIRANYAZ *ET AL.*, 2012) ..... ۸۵
شکل ۴-۱۴. نتیجه طبقه‌بندی‌کننده ترکیبی از PSO و شبکه عصبی RBF (INCE *ET AL.*, 2012) ... ۸۵
شکل ۴-۱۵. نتیجه طبقه‌بندی‌کننده ترکیبی از GA و MLP (HADDADI *ET AL.*, 2011) ..... ۸۶
شکل ۴-۱۶. ویژگی‌های پلاریمتریک بهینه حاصل از MOGA-SVM برای طبقه‌بندی پوشش زمین ۸۸
شکل ۴-۱۷. برخی ویژگی‌های پلاریمتریک بهینه حاصل از MOGA-ANFIS در طبقه‌بندی پوشش زمین ..... ۸۹
شکل ۴-۱۸. پل GOLDEN GATE. سمت راست: ویژگی آلفا، سمت چپ: ترکیب رنگی PAULI ..... ۹۲
شکل ۴-۱۹. نتیجه طبقه‌بندی پل در MOGA-ANFIS ..... ۹۳

## فهرست جداول

جدول ۴-۱. تعداد نمونه‌های آموزش و تست ..... ۷۳
جدول ۴-۲. ویژگی‌های پلاریمتری مورد استفاده در این تحقیق ..... ۷۱
جدول ۴-۳. مقایسه‌ای از نتایج روش‌های تک‌هدفه و روش‌های مبنا ..... ۷۴
جدول ۴-۴. ویژگی‌های POLSAR راه‌حل انتخابی در MOGA-SVM ..... ۷۸
جدول ۴-۵. دقت کلی و ضریب کاپا به ازای ترکیبات مختلف ویژگی‌های بهینه در الگوریتم MOGA-ANFIS ..... ۷۸
جدول ۴-۶. ماتریس خطای طبقه‌بندی. دقت تولیدکننده، دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا در GASVM ..... ۸۰
جدول ۴-۷. ماتریس خطای طبقه‌بندی. دقت تولیدکننده، دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا حاصل از راه‌حل انتخابی در MOGA-SVM ..... ۸۰
جدول ۴-۸. ماتریس خطای طبقه‌بندی. دقت تولید کننده، دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا حاصل از راه‌حل انتخابی در MOGA-ANFIS ..... ۸۱

# فصل اول: مقدمه

## ۱-۱ کلیات و پیش‌درآمد

فراهم کردن اطلاعات پوشش زمین دقیق و به‌هنگام در مدیریت شهرها از اهمیت فوق العاده بالایی برخوردار است. سنجش از دور SAR[1] به عنوان یکی از روش‌های نوین با قابلیت امکان تصویربرداری در شرایط مختلف آب و هوایی و در طول شبانه‌روز می‌تواند مدیریت شهری را در کسب اطلاعات مناسب و قابل اعتماد یاری دهد.

معمولا مناطق شهری بسیار ناهمگن[2] هستند و مکانیزم‌های پراکندگی مختلفی را شامل می‌شوند. برخوردهای پیچیده بین سیگنال‌های راداری و عوارض شهری، ساختار بسیار متغیر این مناطق، که ترکیبی از عوارض ساخت بشر، عوارض طبیعی و دیگر المان‌های غیر قابل پیش‌بینی مانند وسایل نقلیه می‌باشد، شباهت‌های پراکندگی در کلاس‌های پوشش زمین و ... موجب شده است که طبقه‌بندی تصویر SAR شهری چالشی بزرگ در حوزه پوشش و کاربری اراضی محسوب شود (Franceschetti *et al*., 2006).

ظهور سیستم‌های SAR فضابرد با رزولوشن بالا امکان استخراج اطلاعات جزئی را از پوشش زمین در مناطق شهری فراهم کرده است. مجموعه ماهواره‌های رادارست از جمله اولین سری ماهواره‌های فضابرد سنجش از دور فعال هستند که از سنجندهٔ SAR جهت تولید تصاویر استفاده کرده‌اند. نشان داده شده است که داده رادارست ۱ پتانسیل خوبی برای تهیه نقشه پوشش زمین منطقه شهری دارد، اما تنها حاوی اطلاعات پلاریزاسیون HH می‌باشد (Ban and Hu, 2007). با پرتاب ماهواره رادارست ۲ در سال ۲۰۰۷ امکان تولید داده‌های پلاریمتری برای این مجموعه ماهواره‌ها نیز فراهم گشت. رادارست ۲ یکی از پیشرفته‌ترین ماهواره‌های تجاری باند C (۵/۴۰۵ گیگاهرتز) است که می‌تواند تصاویر پلاریمتری شامل هر چهار کانال HH، VH، HV و VV را دریافت کند.

داده‌های پلاریمتری به دلیل داشتن خصوصیات امواج مایکروویو و دارا بودن اطلاعاتی به مراتب بیشتر نسبت به داده‌های معمولی SAR، نقش مهمی را در کاربردهای مختلف سنجش از دور مانند طبقه‌بندی پوشش زمین ایفا کرده‌اند. با توسعه ماهواره‌های سنجش از دور پلاریمتری SAR، استخراج

[1] Synthetic Aperture Radar
[2] heterogeneous

اطلاعات از تصاویر این ماهواره‌ها به یک موضوع تحقیقاتی مهم برای سالیان اخیر تبدیل شده است. ایجاد سیستم‌های کاملا پلاریمتریک علاوه بر آنکه منجر به افزایش میزان اطلاعات بدست آمده از سنسورهای SAR شده است، پیچیدگی آنالیز و تفسیر داده را نیز بیشتر کرده است. به منظور استفاده از داده‌های پلاریمتری ویژگی‌های متعددی را می‌توان از آن‌ها استخراج کرد. ویژگی‌های پلاریمتری به سه دسته تقسیم می‌شوند (Maghsoudi *et al.*, 2012): ۱) پارامترهای اصلی، ۲) تفکیک‌کننده‌های PolSAR[۱] و ۳) پارامترهای الگوریتم‌های تجزیه هدف[۲] که خود به دو دسته همدوس[۳] و ناهمدوس[۴] تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های همدوس براساس ماتریس پراکندگی[۵] و روش‌های ناهمدوس براساس ماتریس‌های همبستگی[۶] یا کواریانس می‌باشند. اگرچه هر یک از این ویژگی‌ها می‌تواند اطلاعات مناسبی را درباره عوارض مختلف فراهم کند ولی هیچ‌یک به تنهایی برای توصیف کامل یک عارضه کافی نمی‌باشد. از طرفی به علت وجود ویژگی‌های اضافی[۷] و نامناسب[۸]، استفاده از تمامی ویژگی‌های استخراج شده عملا منجر به کاهش کارایی طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین نیاز به توسعه روش‌های جدید برای تعیین ویژگی‌های بهینه در تهیه نقشه پوششی شهری از داده پلاریمتریک می‌باشد.

## ۱-۲ پیشینه تحقیق

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه بکارگیری ترکیبات مختلف ویژگی‌های پلاریمتری در کاربردهای گوناگون سنجش از دور صورت گرفته است، اما مجموعه‌ای منحصر به فرد از این ویژگی‌ها نمی‌توان ارائه داد (صالحی، ۱۳۹۱). همچنین تحقیقات زیادی بر مبنای استفاده از تنها ویژگی‌های تجزیه همدوس یا ناهمدوس در طبقه‌بندی انجام شده است (Alberga *et al.*, 2004; Cloude and Pottier, 1997; Ferro-Famil *et al.*, 2001). از آنجا که ویژگی‌های استخراج شده از روش‌های تجزیه همدوس و ناهمدوس می‌توانند مکمل یکدیگر باشند در طبقه‌بندی پوشش زمین بهتر است ویژگی‌های هر دو

[1] PolSAR discriminators
[2] Target Decomposition
[3] coherent
[4] incoherent
[5] Scattering
[6] Coherency
[7] redundant
[8] irrelevant

دسته در نظر گرفته شود. بر همین اساس در سال‌های اخیر محققان در الگوریتم‌های پیشنهادی خود از پارامترهای بیشتری به عنوان ویژگی‌های ورودی استفاده کرده و هر دو دسته الگوریتم‌های تجزیه را بکار برده‌اند. Haddadi و همکاران (2011) روشی بر مبنای الگوریتم ژنتیک[۱] (GA) و شبکه‌های عصبی مصنوعی[۲] به منظور طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری SAR پیشنهاد کردند. انتخاب بهترین ویژگی‌ها از ۵۷ پارامتر استخراج شده از تصویر شهر سانفرانسیسکو از سنجنده هوابرد[۳] AirSAR در باند L انجام گرفت. لازم به ذکر است که زاویه فرود[۴] داده مورد استفاده در این تحقیق از برد نزدیک[۵] تا برد دور[۶]، در محدوده ۵ درجه تا ۶۰ درجه قرار دارد و همین مسئله می‌تواند منجر به اختلاف دقت طبقه‌بندی در سمت چپ و راست تصویر شود. روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی تصاویر پلاریمتری سنجنده‌های هوابرد مانند AirSAR ارائه شده است (Chen *et al*., 2003; Zhang *et al*., 2009)، اما تحقیقات کمی در این زمینه با استفاده از سیستم‌های پیشرفته فضابرد مانند رادارست ۲ وجود دارد.

در آنالیزی شی‌گرا، Qi و همکاران (2012) ۶۶ ویژگی از تصاویر پلاریمتری رادارست ۲ را برای طبقه‌بندی پوشش و کاربری زمین بکار گرفتند. نتایج آن‌ها افزایش دقت طبقه‌بندی را بویژه در مناطق ساخته‌شده نسبت به طبقه‌بندی‌کننده بر مبنای توزیع ویشارت (Lee *et al*., 2001) و روش‌های رایج طبقه‌بندی مانند نزدیکترین همسایه نشان داد. به علت حضور نویز اسپکل[۷] در داده SAR، موفقیت روش‌های شی‌گرا بسیار وابسته به نتیجه قطعه‌بندی[۸] اشیا می‌باشد و طبقه‌بندی شی‌گرا نیازمند توسعه روش‌های موجود قطعه‌بندی تصاویر PolSAR می‌باشد.

روش‌های انتخاب ویژگی غیرپارامتریک[۹] (NFS) و انتخاب ویژگی کلاس‌مبنا[۱۰] (CBFS) توسط Maghsoudi و همکاران (2012) به منظور انتخاب ویژگی از ۵۸ پارامتر اولیه تصاویر رادارست ۲ در طبقه‌بندی جنگل بکار گرفته شد. NFS انتخاب ویژگی را براساس تعریفی غیرپارامتریک از تابع

[1] genetic algorithm
[2] Artificial Neural Networks
[3] airborne
[4] incidence angle
[5] near range
[6] far range
[7] speckle
[8] segmentation
[9] nonparametric feature selection
[10] class-based feature selection

ارزیابی انجام می‌دهد. در CBFS انتخاب ویژگی به طور جداگانه برای هر کلاس انجام شده و سپس طبقه‌بندی‌کننده روی هر زیرمجموعه ویژگی انتخابی آموزش می‌بینند، بنابراین تعداد طبقه‌بندی‌کننده‌ها به تعداد کلاس‌ها می‌باشد. در نهایت از طریق یک مکانیزم ترکیب خروجی طبقه‌بندی‌کننده‌ها ترکیب می‌شوند. نتایج این الگوریتم‌ها نشان داد که مرحله انتخاب ویژگی دقت طبقه‌بندی جنگل را در مقایسه با طبقه‌بندی‌کننده با مجموعه ویژگی کامل و طبقه‌بندی‌کننده ویشارت به طور قابل توجهی بهبود می‌دهد. در این تحقیق، به علت پیچیدگی محیط شهری به بررسی و ارزیابی پتانسیل داده رادارست ۲ در طبقه‌بندی این مناطق پرداخته شده و ویژگی‌های اولیه بیشتری به منظور استفاده کامل از پتانسیل داده پلاریمتری در تمییز کلاس‌ها بکار برده شده است.

## ۱-۳ ضرورت تحقیق

از آنجا که با افزایش تعداد ویژگی‌ها، مشکلاتی مانند افزایش تعداد داده‌های آموزشی مورد نیاز در طبقه‌بندی، افزایش حافظه مورد نیاز و کاهش سرعت پردازش داده ایجاد می‌شود، امکان استفاده از تمامی ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر PolSAR در طبقه‌بندی پوشش زمین وجود ندارد. از طرف دیگر، عملکرد طبقه‌بندی‌کننده به شدت وابسته به مجموعه ویژگی‌های استفاده شده در آن می‌باشد و تنها ویژگی‌های مناسب می‌تواند منجر به طبقه‌بندی صحیح شود. کاهش تعداد ویژگی‌ها می‌تواند منجر به کاهش خطای تفکیک شود، به این علت که با کم شدن تعداد ویژگی‌ها، تعداد پارامترهای تفکیک‌کننده که باید تخمین زده شود و در نتیجه پیچیدگی تفکیک‌کننده کاهش می‌یابد.

فرآیند انتخاب ویژگی شامل دو مولفه اصلی است: استراتژی جستجو و تابع ارزیابی (تابع هدف). هدف از بکارگیری یک استراتژی جستجو، یافتن راه‌حلی است که به طور موثر تابع هدف اتخاذ شده را بهینه کند. یک جستجوی جامع برای راه‌حل بهینه تمامی ترکیبات ممکن از ویژگی‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد و از دید محاسباتی حتی برای تعداد ویژگی‌های کم روشی غیر قابل کنترل[1] محسوب می‌شود (Jain and Zongker, 1997). برای حل این مشکل روش‌هایی مانند SFS[2] و SBS[3]، بدون

[1] intractable
[2] sequential forward selection
[3] sequential backward selection

لزوم بررسی همه ترکیبات ممکن ویژگی‌ها ارائه شده است (Pudil *et al*., 1994). اشکال جدی این روش‌ها آن است که اجازه برگشت به عقب[۱] نمی‌دهند. در SFS، وقتی ویژگی‌ها انتخاب می‌شوند، نمی‌توان آن‌ها را کنار گذاشت. به همین نحو در SBS، وقتی ویژگی‌ها حذف می‌شوند، نمی‌توان آن‌ها را مجددا به زیرمجموعه ویژگی انتخاب شده اضافه کرد. برای توسعه این روش‌ها، دو روش جستجوی ترتیبی SFFS[۲] و SBFS[۳] ارائه شده است (Pudil *et al*., 1994). نشان داده شده است که این روش‌ها برای مسائل انتخاب ویژگی با ابعاد بالا مناسب نیستند (Kudo and Sklansky, 2000). همچنین از آنجا که این روش‌ها تصمیم‌گیری محلی[۴] دارند، نمی‌توان انتظار داشت راه‌حل‌های بهینه سراسری[۵] را پیدا کنند. روش‌های جستجوی کلاسیک مانند گرادیان نزولی[۶] نیز محلی هستند. بهینه‌ای که این روش‌ها به دنبال آن می‌باشند در همسایگی نقطه فعلی بهترین است. اگر تابع چند بهینه محلی داشته باشد و یا مشتق‌پذیر نباشد این روش‌ها با مشکل مواجه خواهند شد.

در سال‌های اخیر، بهره‌گیری از الگوریتم‌های تکاملی در علوم و مهندسی به طور چشم‌گیری افزایش پیدا کرده است. این الگوریتم‌ها، با داشتن قابلیت حل مسائل بهینه‌سازی در حالت سراسری، توانایی خود را در بهینه‌سازی مسائل ناپیوسته، مشتق ناپذیر و نویزی به اثبات رسانده‌اند. همچنین این الگوریتم‌ها، دارای قابلیت حل مسائل چندهدفه[۷] پیچیده می‌باشند. از جمله این روش‌ها می‌توان به الگوریتم ژنتیک اشاره کرد که به طور رایج برای جستجوی بهترین زیرمجموعه ویژگی بکار گرفته شده است (Dash and Liu, 2003).

روش‌های انتخاب ویژگی را می‌توان براساس تابع ارزیابی به دو دسته فیلترمبنا و پوششی[۸] تقسیم کرد (Kohavi and John, 1997). فیلترها معیارهای مبتنی بر فاصله را به عنوان تابع ارزیابی در نظر می‌گیرند. در این روش‌ها انتخاب ویژگی مستقل از عملکرد طبقه‌بندی‌کننده انجام می‌گیرد و با وجود سرعت بالا ممکن است زیرمجموعه ویژگی بهینه حاصل نشود. معمولا این روش‌ها به تخمین ضعیفی

[1] backtracking
[2] sequential forward floating selection
[3] sequential backward floating selection
[4] local
[5] global
[6] gradient descent
[7] multiobjective
[8] wrapper

از تفکیک‌پذیری منجر می‌شوند. روش‌های پوششی دقت طبقه‌بندی را به عنوان معیار عملکرد هر زیرمجموعه ویژگی در نظر می‌گیرند. در این روش‌ها با وجود دقت بالا، پیچیدگی و هزینه محاسباتی بیشتر از دسته اول می‌باشد.

معمولا الگوریتم‌های انتخاب ویژگی تنها دقت طبقه‌بندی را به عنوان تابع هدف و معیار ارزیابی هر زیر مجموعه ویژگی در نظر می‌گیرند و تعیین ویژگی‌های بهینه در قالب یک مسئله بهینه‌سازی تک‌هدفه انجام می‌گیرد. همان‌طور که اشاره شد، این الگوریتم‌ها به زمان زیادی برای رسیدن به یک راه‌حل خوب نیاز دارند. یک الگوریتم تک‌هدفه موثر راه‌حلی با کیفیت بالا برای یک تابع هدف تولید می‌کند. در مسائل تک‌هدفه، مقدار کمینه یا بیشینه یک تابع هدف، کیفیت پاسخ بدست آمده را به طور کامل منعکس می‌کند. اما در برخی موارد، لازم است که چندین تابع هدف تعریف شده و به طور همزمان مقدار بهینه آن‌ها تعیین شود.

در ایجاد یک مدل طبقه‌بندی مناسب علاوه بر دقت لازم است همزمان معیارهایی مانند پیچیدگی مدل نیز در نظر گرفته شود (Igel, 2005). یک مدل با عملکرد تعمیم‌دهی[1] بالا و خطای طبقه‌بندی پائین معمولا بهترین انتخاب نیست، بویژه اگر یک مدل بسیار پیچیده از نظر محاسباتی داشته باشیم (Narzisi, 2007). از طرفی هدف از انتخاب ویژگی فراهم کردن حداقل تعداد ویژگی‌های مناسب برای رسیدن به عملکرد مشابه یا حتی بهتر در مقایسه با بکارگیری تمام ویژگی‌ها می‌باشد. رسیدن به ترکیبی از ویژگی‌های PolSAR که بالاترین دقت طبقه‌بندی را با کمترین تعداد ویژگی‌ها ایجاد کند می‌تواند منجر به حل یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه شود. تحقیقات مختلفی در زمینه انتخاب ویژگی تک‌هدفه تصاویر پلاریمتری صورت گرفته است، اما در این تحقیق بکارگیری روش‌های چندهدفه نیز در تعیین ویژگی‌های بهینه این تصاویر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

علاوه بر مسئله تعیین تعداد و نوع ویژگی‌های پلاریمتری، بکارگیری طبقه‌بندی‌کننده مناسب نیز در انتخاب ویژگی‌های بهینه و بهبود طبقه‌بندی بسیار حائز اهمیت است. طرح‌های طبقه‌بندی موفق تنها وابسته به اطلاعات موجود در ویژگی‌های پلاریمتری نمی‌باشد و به طور قابل توجهی مربوط به

[1] generalization

روش طبقه‌بندی است.

طبقه‌بندی‌کننده‌های پارامتریک به علت نیاز به تخمین توزیع آماری کلاس‌ها و عدم توازن بین تعداد ویژگی‌ها و تعداد نمونه‌های آموزشی، با پدیده هیوز[1] مواجه می‌شوند که منجر به برازش بیش از حد[2] داده آموزشی و در نتیجه توانایی تعمیم ضعیف طبقه‌بندی‌کننده می‌شود. به منظور رفع مشکلات این طبقه‌بندی‌کننده‌ها، طبقه‌بندی‌کننده‌های غیر پارامتریک مختلفی در سال‌های اخیر ارائه شده‌اند، از جمله: شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین‌های بردار پشتیبان[3] (SVM) و شبکه‌های عصبی فازی.

شبکه‌های عصبی که اولین بار توسط Pottier و همکاران (1991) برای طبقه‌بندی تصویر پلاریمتریک SAR استفاده شدند نیازی به دانش قبلی درباره توزیع آماری داده ورودی ندارند، اگرچه این شبکه‌ها معمولا به آهستگی همگرا شده و عملکرد آن‌ها به مسائلی از قبیل اندازه داده آموزشی، ساختار شبکه و مقداردهی اولیه وابسته است. علاوه بر این، آموزش این شبکه‌ها براساس روش‌های گرادیان مبنا انجام می‌شود و بنابراین می‌توانند به آسانی در بهینه محلی گرفتار شوند. Hara و همکاران (1994) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و المان‌های ماتریس کواریانس در طبقه‌بندی پوشش زمین به نتایجی بهتر از سایر روش‌های مورد استفاده دست یافتند. تاکنون الگوریتم‌هایی ترکیبی نیز از شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه[4] (MLP) و الگوریتم ژنتیک (Haddadi *et al.*, 2011) و شبکه‌های عصبی با تابع پایه شعاعی[5] (RBF) و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[6] (PSO) (Ince *et al.*, 2012) به منظور انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی پوشش زمین تصاویر پلاریمتریک بکار گرفته شده است.

تاکنون مطالعات زیادی نشان داده‌اند که طبقه‌بندی با ماشین‌های بردار پشتیبان ارائه شده توسط Vapnik در سال 1995، می‌تواند از سایر روش‌های طبقه‌بندی غیرپارامتریک مانند شبکه‌های عصبی و همچنین روش‌های پارامتریک مانند طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال دقیق‌تر باشد ( Foody and

[1] hughes phenomenon
[2] overfitting
[3] support vector machines
[4] multi-layer perceptron
[5] radial basis function
[6] particle swarm optimization