

## ارائه روشی جدید جهت بهبود نتایج طبقه‌بندی حاصل از مدهای Compact پلاریمتری

امیر آقابالائی<sup>۱\*</sup>، حمید عبادی<sup>۲</sup>، یاسر مقصودی<sup>۳</sup>

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
- ۲- دانشیار گروه مهندسی سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- استادیار گروه مهندسی سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

### چکیده :

اخیراً مد جدیدی در سیستم‌های تصویربرداری Dual Polarimetry (DP) رادار با روزنه مجازی (SAR) ارائه شده است که Compact Polarimetry (CP) نامیده می‌شود. این مد چندین مزیت مهم را نسبت به مد Full Polarimetry (FP) دارا می‌باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به افزایش در پهنای نواری و نیز کاهش در پیچیدگی، هزینه و نرخ داده‌های یک سیستم تصویربرداری SAR اشاره کرد. علی‌رغم این مزایا، این مد اطلاعات کمتری از اهداف را نسبت به مد FP اخذ می‌کند. بنابراین نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از این مد، به مراتب کمتر از نتایج حاصل از به‌کارگیری مد FP خواهد بود. این تحقیق، روشی را جهت بهبود نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های CP پیشنهاد می‌دهد. برای این منظور، دو روش در نظر گرفته شده است. در روش اول، مدهای CP شبیه‌سازی شده از مد FP ماهواره RADARSAT-2، و در روش دوم، مدهای FP بازسازی شده از این مدهای CP (که Pseudo Quad Polarimetry (PQ) نامیده می‌شوند) در سطح ویژگی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب مدهای CP در سطح ویژگی، دقت‌های حاصل از طبقه‌بندی را بهبود داده و گاهی بهتر از دقت‌های حاصل از به‌کارگیری مد FP خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی : Compact پلاریمتری، تلفیق در سطح ویژگی، طبقه‌بندی.



## ۱- مقدمه

در مد Full Polarimetry (FP) سیستم‌های تصویربرداری رادار با روزنه مجازی (SAR)<sup>۱</sup> دو پالس با پلاریزاسیون‌های افقی و عمودی ارسال، و در مقابل دو پالس با پلاریزاسیون‌های افقی و عمودی به صورت هم‌زمان و کوهرنس<sup>۲</sup> دریافت می‌شود. بنابراین برای هر پیکسل از تصویر یک ماتریس پراکنش<sup>۳</sup>، که شامل چهار مقدار پس‌پراکنش<sup>۴</sup> می‌شود، تشکیل خواهد شد. این نوع نحوه ارسال و دریافت پلاریزاسیون اجازه می‌دهد تا اطلاعات بیشتری از اهداف اخذ شود. حقیقتاً مد FP پتانسیل بالای خود را در اخذ داده و نیز عملکرد بهتر خود را در کاربردهای مختلف نسبت به دیگر سیستم‌های تصویربرداری SAR اثبات کرده است. ولی متأسفانه دارای فرکانس تکرار پالس (PRF)<sup>۵</sup> بیشتری می‌باشد [۱]. از این رو طراحی سیستم‌های تصویربرداری SAR در این مد، هزینه‌بر و آنالیز داده‌های اخذ شده، پیچیده‌تر و زمان‌بر خواهد بود. همچنین پهنای نوار آن‌ها نصف شده و در نتیجه منطقه کمتری را می‌توانند پوشش دهند [۲].

در سیستم‌های تصویربرداری Dual Polarimetry (DP) (افقی یا عمودی) ارسال و در مقابل دو پلاریزاسیون (افقی و عمودی) دریافت می‌شود. این مدها تنها نیمی از اطلاعات ماتریس پراکنش را جمع‌آوری می‌کنند. بنابراین پردازش داده و نیز محتوای اطلاعاتی تصاویر پلاریمتریک این سیستم‌های تصویربرداری SAR، کاهش پیدا می‌کند.

اخیراً رشد قابل توجهی در سیستم‌های تصویربرداری DP شده است که Compact Polarimetry (CP) نامیده می‌شود. این مد قابلیت دارد تا پیچیدگی، هزینه و نرخ داده‌های یک سیستم تصویربرداری SAR را کاهش دهد، در حالی که تلاش می‌کند تا بسیاری از قابلیت‌های یک سیستم SAR در مد FP را حفظ کند [۳]. همانند دیگر سیستم‌های DP، در سیستم‌های تصویربرداری CP نیز یک پلاریزاسیون ارسال، و در مقابل دو پلاریزاسیون دریافت می‌شود. با این تفاوت که پلاریزاسیون‌های ارسالی یا دریافتی می‌توانند دایره‌ای نیز باشند. مزیت اصلی این سیستم‌ها آن است که نه تنها اطلاعات بیشتری از اهداف را نسبت به مدهای استاندارد DP جمع‌آوری می‌کنند، بلکه پهنای نوار وسیع‌تری را نسبت به مد FP پوشش می‌دهند [۴]. در حال حاضر سه مد برای سیستم‌های تصویربرداری CP وجود دارد: مد  $\pi/4$  (ارسال خطی-دریافت خطی)، مد CTRL<sup>۶</sup> (ارسال دایره‌ای-دریافت خطی) و مد DCP<sup>۷</sup> (ارسال دایره‌ای-دریافت دایره‌ای). این نکته باید توجه شود که در مدهای ارسال دایره‌ای، پلاریزاسیون ارسالی می‌تواند دایره‌ای راست‌گرد یا دایره‌ای چپ‌گرد باشد.

علی‌رغم مزایای اشاره شده در فوق، مدهای CP هنوز اطلاعات پلاریمتریک کمتری از اهداف را نسبت به مد FP اخذ می‌کنند. از این رو، داده‌های CP عملکرد ضعیف‌تری در فرآیند طبقه‌بندی نسبت به داده‌های FP خواهند داشت. در این تحقیق، روشی جهت بهبود نتایج حاصل از طبقه‌بندی به‌وسیله مدهای CP ارائه شده است. نتیجه روش پیشنهادی با نتیجه به‌دست آمده از مد FP مقایسه و ارزیابی شده است.

## ۲- روش پیشنهادی این تحقیق

در این پژوهش، جهت بهبود دقت‌های طبقه‌بندی، مدهای CP در سطح ویژگی‌های پلاریمتریک استخراج شده، با یکدیگر تلفیق می‌شوند. برای این منظور، دو روش در نظر گرفته شده است. در روش اول، مدهای CP که از مد FP

<sup>1</sup> Synthetic Aperture RADAR

<sup>2</sup> Coherence

<sup>3</sup> Scattering Matrix

<sup>4</sup> Backscatter

<sup>5</sup> Pulse Repetition Frequency

<sup>6</sup> Circular Transmit-Linear Receive

<sup>7</sup> Dual Circular Polarimetric



ماهواره RADARSAT-2 شبیه‌سازی شده‌اند، و در روش دوم مدهای PQ که با استفاده از روش تکراری Souyris [5] بازسازی شده‌اند، با یکدیگر تلفیق می‌شوند. هر دو روش شامل سه مرحله اصلی می‌شود: استخراج ویژگی‌های پلاریمتریک، انتخاب ویژگی‌های بهینه و طبقه‌بندی.

## ۲-۱- استخراج ویژگی‌های پلاریمتریک

در روش اول، از هر یک از ماتریس‌های کوواریانس  $2 \times 2$  مدهای CP تعداد ۴۰ ویژگی پلاریمتریک استخراج می‌شود. این ویژگی‌ها به‌طور کلی شامل زوایای استوکس<sup>۸</sup>، اجزای استوکس<sup>۹</sup>، توصیف‌گرهای موج<sup>۱۰</sup>، و ویژگی‌های اصلی و تجزیه‌های هدف<sup>۱۱</sup> می‌شوند. این ویژگی‌ها را می‌توان در جدول (۱) مشاهده کرد.

جدول ۱: ویژگی‌های پلاریمتریک استخراج شده از ماتریس‌های کوواریانس  $2 \times 2$  مدهای CP.

تعداد	نماد	توضیح	ویژگی
۱	$\tau$	زاویه بیضویت	زوایای استوکس [۶]
۱	$\varphi$	زاویه توجیه	
۴	g	بردار استوکس	اجزای استوکس [۶]
۲	p	احتمالات مقادیر ویژه	توصیف‌گرهای موج [۶]
۲	$\lambda$	مقادیر ویژه	
۱	CONT	کنتراست	
۱	LPR	نسبت پلاریزاسیون خطی	
۱	CPR	نسبت پلاریزاسیون دایره‌ای	
۱	DoLP	درجه پلاریزاسیون خطی	
۱	DoCP	درجه پلاریزاسیون دایره‌ای	
۱	H	بی‌نظمی	
۱	A	ناهمسنگردی	
۱	m	درجه پلاریزاسیون	
۱	$\delta$	فاز نسبی	
۱	$\alpha$	زاویه پلاریزاسیون	
۱	Span	مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس کوواریانس	
۳	[C]	ماتریس کوواریانس CP	ویژگی‌های اصلی [۵]
۳	[m- $\delta$ ]	تجزیه m-delta	تجزیه‌های هدف [۷-۱۰]
۳	[m- $\chi$ ]	تجزیه m-chi	
۳	[m- $\psi$ ]	تجزیه m-psi	
۳	[m- $\alpha$ ]	تجزیه m-alpha	
۴	$\alpha_s, m_s, m_v, \phi$	تجزیه Cloude	
۴۰		مجموع	

در روش دوم، از هر یک از ماتریس‌های کوواریانس  $3 \times 3$  مدهای PQ تعداد ۵۰ ویژگی پلاریمتریک که شامل ویژگی‌های اصلی، تجزیه‌های هدف و توصیف‌گرهای SAR می‌شود، استخراج می‌شود. این ویژگی‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است.

<sup>8</sup> Stokes Angle

<sup>9</sup> Stokes Components

<sup>10</sup> Wave Description

<sup>11</sup> Target Decompositions

جدول ۲: ویژگی‌های پلاریمتری استخراج شده از ماتریس‌های کوواریانس  $3 \times 3$  مدهای PQ و FP.

ویژگی	توضیح	نماد	تعداد	
ویژگی‌های اصلی [۶]	PQ ماتریس کوواریانس	[C]	۴	
	PQ ماتریس کوهرنسی	[T]	۴	
تجزیه‌های هدف [۶]	تجزیه H/A/Alpha	Alpha, Beta, Delta, Gamma, Lambda, H, A, HA, H(1-A), (1-H)A, (1-H)(1-A)	۱۱	
	تجزیه سه جزئی Freeman	[Free]	۳	
	تجزیه سه جزئی Van Zyl	[Van]	۳	
	تجزیه سه جزئی Yamaguchi	[Yama]	۳	
	تجزیه سه جزئی Yang و An	[An]	۳	
[۶] SAR توصیف‌گرهای	احتمالات مقادیر ویژه	p	۳	
	مقادیر ویژه	$\lambda$	۳	
	شاخص پوشش گیاهی راداری	RVI	۱	
	ارتفاع پدستال	PH	۱	
	عدم تقارن پلاریزاسیون	PA	۱	
	اختلاف نسبی مقادیر ویژه	SERD, DERD	۲	
	بی‌نظمی شنون	SE, SE <sub>r</sub> , SE <sub>p</sub>	۳	
	غیرپلاریزاسیون	DP	۱	
	ضریب همبستگی	Ro13, CCC	۲	
	کسر پلاریزاسیون	PF	۱	
	مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس کوواریانس	Span	۱	
	مجموع			۵۰

## ۲-۲- انتخاب ویژگی‌های بهینه

در این تحقیق، انتخاب ویژگی‌های پلاریمتریک بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک [۱۱] انجام شده است. مزیت اصلی الگوریتم ژنتیک آن است که به اطلاعات زیادی درباره تابع بهینه‌سازی نیاز ندارد و قابل اجرا حتی در فضای جستجوی بزرگ می‌باشد. جهت استفاده از الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه برابر با ۵۰ کروموزوم و به صورت تصادفی تولید می‌شود. در هر نسل، ۲ کروموزوم برتر به نسل بعد انتقال پیدا می‌کنند. همچنین از روش Tournament برای انتخاب والدین، تقاطع تک نقطه‌ای با نرخ ۸۰٪ و جهش یکنواخت استفاده می‌شود. در صورتی که تفاوت بین بهترین نتیجه ۱۰ نسل متوالی از ۰/۰۰۰۰۰۱ کمتر باشد، الگوریتم متوقف خواهد شد. در ضمن دقت کلی طبقه‌بندی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است.

## ۲-۳- طبقه‌بندی

در این پژوهش، روش غیرپارامتریک نظارت شده SVM<sup>۱۲</sup> [۱۲] جهت طبقه‌بندی ویژگی‌های پلاریمتریک استخراج شده، به کار برده شده است. مزیت اصلی SVM، قابلیت آن در حل مسائل غیرخطی و به‌ویژه طبقه‌بندی به‌وسیله بردارهای ویژگی است. همچنین بسته کتابخانه‌ای LIBSVM [۱۳] جهت محاسبات طبقه‌بندی کننده SVM، و تابع RBF<sup>۱۳</sup> به عنوان تابع کرنل انتخاب شدند.

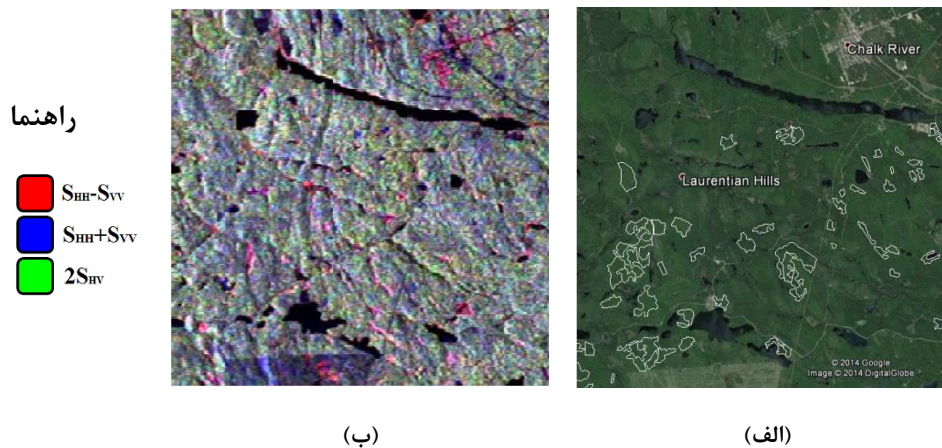
<sup>۱۲</sup> Support Vector Machine

<sup>۱۳</sup> Radial Basis Function



### ۳- منطقه مطالعاتی و داده‌ها

جنگل تحقیقاتی Petawawa، واقع در یکی از ایالت‌های شرقی کانادا، برای این پژوهش انتخاب شده است. این جنگل که نزدیک رودخانه Chalk بوده و تقریباً در ۲۰۰ کیلومتری شمال غربی شهر Ottawa قرار دارد، اساساً شامل درختان نرم‌چوب و سخت‌چوب می‌شود. شکل (۱-الف) پلی‌گون‌های داده مرجع گونه‌های مختلف جنگلی را بر تصویر رزولوشن بالا نشان می‌دهد. همچنین جدول (۳) مجموعه کلاس‌های نهایی انتخاب شده در این تحقیق، که شامل شش کلاس بلوط قرمز (سخت‌چوب)، کاج سفید (نرم‌چوب)، صنوبر سیاه (نرم‌چوب)، منطقه شهری، رودخانه و پوشش‌های گیاهی می‌شوند، را همراه با تعداد نمونه‌های آموزشی و تست مربوطه‌شان نمایش می‌دهد. داده مورد استفاده در این پژوهش، در تاریخ ۴ آگوست ۲۰۰۹ توسط ماهواره RADARSAT-2 در مد FP و در باند C اخذ شده است. شکل (۱-ب) این داده را در یک تصویر رنگ کاذب Pauli-RGB، که در آن  $S_{HH} - S_{VV}$ ،  $2S_{HV}$  و  $S_{HH} + S_{VV}$  به ترتیب رنگ‌های قرمز، سبز و آبی هستند، نشان می‌دهد.



شکل ۱: (الف) پلی‌گون‌های داده مرجع گونه‌های مختلف جنگلی را بر تصویر رزولوشن بالای گرفته شده از سایت Google Map، و (ب) داده RADARSAT-2 در مد FP به صورت نمایش Pauli-RGB.

جدول ۳: مجموعه کلاس‌های نهایی انتخاب شده در این تحقیق

تعداد پیکسل‌های تست	تعداد پیکسل‌های آموزشی	کلاس
۷۷۲	۹۸۰	بلوط قرمز
۳۷۵	۳۰۵	کاج سفید
۷۸۲	۹۰۰	صنوبر سیاه
۴۹۴	۵۷۰	منطقه شهری
۸۱۰	۱۰۴۷	رودخانه
۶۳۱	۹۷۸	پوشش‌های گیاهی

### ۴- بحث و بررسی نتایج تحقیق

در هر یک از دو روش توضیح داده شده در قسمت روش پیشنهادی، ابتدا یک سری ویژگی‌های پلاریمتریک از هر یک از مدها استخراج می‌شود. سپس این ویژگی‌ها باهم ترکیب شده و یک مجموعه ویژگی جدید را تشکیل می‌دهند. حال به منظور کسب دقت‌های طبقه‌بندی بالاتر، الگوریتم ژنتیک بر روی این مجموعه ویژگی جدید اجرا شده و ویژگی‌های بهینه انتخاب می‌شوند. نهایتاً روش SVM جهت طبقه‌بندی ویژگی‌های انتخاب شده به کار می‌رود (این روش GA\_SVM نامیده شده است). ویژگی‌های پلاریمتریک برگزیده شده توسط الگوریتم ژنتیک، دقت‌های طبقه‌بندی



حاصل از روش SVM برای هر مد و مدهای تلفیق شده، و نیز تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از روش GA\_SVM برای هر دو روش اول و دوم به صورت زیر به دست آمدند.

جدول ۴: ویژگی‌های پلاریمتریک برگزیده شده از مدهای CP توسط الگوریتم ژنتیک.

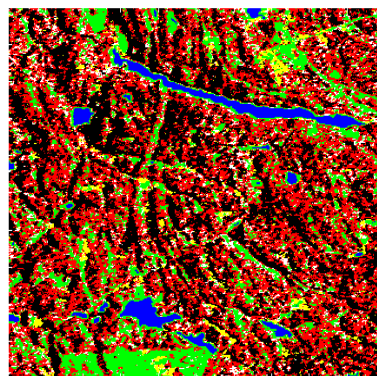
مد	زوایای استوکس	اجزای استوکس	توصیف‌گرهای موج	ویژگی‌های اصلی	تجزیه‌های هدف
CTLR_L	$\tau$		CPR, CONT	$C_{22}$	$[m - \delta]_{P_V}, \alpha_S$
CTLR_R			CPR, $\delta$		$[m - \delta]_{P_d}, [m - \chi]_{P_V}, \Phi$
DCP_L		$g_0, g_2$	$\lambda_1, H, DoCP$		
DCP_R			H	$C_{22}$	$[m - \psi]_{P_d}, [m - \alpha]_{P_S}$
pi//4		$g_1, g_2$	LPR, A, $\lambda_1$	$C_{12}$	$[m - \psi]_{P_V}, [m - \psi]_{P_S}$ $[m - \chi]_{P_V}, \Phi$

جدول ۵: دقت‌های طبقه‌بندی حاصل از روش SVM با استفاده از مدهای CP، و نیز روش GA\_SVM (بر حسب درصد).

مد/روش	بلوط قرمز	کاج سفید	صنوبر سیاه	منطقه شهری	رودخانه	پوشش‌های گیاهی	دقت کلی
CTLR_L	۵۶/۳۴	۱۵/۴۶	۶۷/۷۷	۴۲/۹۱	۱۰۰	۹۳/۳۴	۶۸/۱۶
CTLR_R	۵۶/۸۶	۲۸/۲۶	۶۲/۹۱	۵۴/۸۵	۱۰۰	۸۶/۶۸	۶۸/۹۶
DCP_L	۵۲/۴۶	۱۴/۶۶	۵۳/۴۵	۷۹/۹۵	۱۰۰	۹۰/۴۹	۶۸/۶۸
DCP_R	۴۵/۲۰	۷/۴۷	۶۰/۲۳	۶۶/۵۹	۱۰۰	۹۴/۷۷	۶۶/۸۹
pi/4	۶۶/۰۶	۱۲/۵۳	۶۸/۶۷	۸۴/۸۱	۱۰۰	۹۳/۹۷	۷۵/۴۶
CP_GA_SVM	۶۹/۴۳	۳۷/۳۳	۷۰/۹۷	۹۲/۱۰	۱۰۰	۹۲/۸۶	۷۹/۷۶

#### راهنما

- بلوط قرمز
- کاج سفید
- صنوبر سیاه
- منطقه شهری
- رودخانه
- پوشش‌های گیاهی



شکل ۲: تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از روش GA\_SVM با استفاده از مدهای CP.



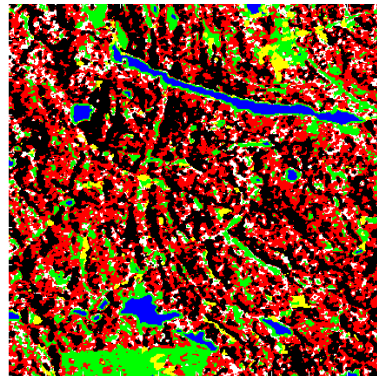
جدول ۶: ویژگی‌های پلاریمتریک برگزیده شده از مدهای PQ توسط الگوریتم ژنتیک.

مد	ویژگی‌های اصلی	تجزیه‌های هدف	SAR توصیفگرهای
PQ_CTLR_L	$T_{12}, T_{22}$	Beta, Delta, Gamma, H, (1-H)A, (1-H) (1-A), [Free] <sub>OB</sub>	$p_1, p_3, DERD$
PQ_CTLR_R	$C_{22}$	Alpha, Beta, HA, (1-H)A, [Free] <sub>DB</sub> , [Yama] <sub>OB</sub>	$\lambda_2, SE$
PQ_DCP_L		Alpha, H, H (1-A), [Free] <sub>DB</sub> , [Van] <sub>OB</sub> , [Yama] <sub>OB</sub> , [An] <sub>OB</sub>	$p_3, SPAN, Ro13$
PQ_DCP_R	$C_{13}, C_{22}$	Beta, HA, [Yama] <sub>v</sub> , [An] <sub>v</sub>	SERD, PF, PA, RVI, SE <sub>f</sub> , Ro13
PQ_pi/4	$C_{33}, T_{12}, T_{22}$	Alpha, Delta, A, (1-H)(1-A), [An] <sub>OB</sub> , [An] <sub>v</sub>	$\lambda_1, \lambda_3, CCC, Ro13$

جدول ۷: دقت‌های طبقه‌بندی حاصل از روش SVM با استفاده از مدهای PQ و FP، و نیز روش GA\_SVM (برحسب درصد).

مد/روش	بلوط قرمز	کاج سفید	صنوبر سیاه	منطقه شهری	رودخانه	پوشش‌های گیاهی	دقت کلی
PQ_CTLR_L	۶۰/۴۹	۳۱/۴۶	۷۳/۷۸	۵۵/۰۶	۱۰۰	۹۷/۳۰	۷۳/۹۶
PQ_CTLR_R	۷۳/۰۵	۵۱/۴۶	۷۲/۵۰	۷۳/۰۷	۱۰۰	۸۶/۶۸	۷۸/۷۲
PQ_DCP_L	۵۷/۲۵	۴۲/۱۳	۷۴/۵۵	۴۴/۳۳	۱۰۰	۹۶/۵۱	۷۳
PQ_DCP_R	۷۰/۰۷	۴۵/۸۶	۷۳/۰۱	۴۹/۳۹	۱۰۰	۸۲/۰۹	۷۳/۹۱
PQ_pi/4	۷۶/۵۵	۴۲/۴۰	۷۵/۹۵	۸۹/۸۷	۱۰۰	۹۳/۰۲	۸۲/۴۲
FP	۷۸/۱۰	۴۵/۶۰	۷۵/۱۹	۹۶/۷۶	۱۰۰	۹۴/۷۷	۸۴/۰۵
PQ_GA_SVM	۷۲/۵۳	۴۹/۶۰	۷۹/۹۲	۹۸/۷۸	۱۰۰	۹۷/۶۲	۸۵/۰۱

#### راهنما



شکل ۳: تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از روش GA\_SVM با استفاده از مدهای PQ.

همان‌طور که از جداول (۵) و (۷) مشاهده می‌شود، تلفیق مدهای CP نتایج بهتری را در فرآیند طبقه‌بندی فراهم می‌کند. همچنین دقت‌های به‌دست آمده از این روش پیشنهادی، گاهی از دقت‌های طبقه‌بندی به‌دست آمده توسط مد FP بهتر خواهد بود (جدول (۷) را ببینید).

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روشی جهت بهبود در دقت‌های طبقه‌بندی حاصل از مدهای CP پیشنهاد شد و نتایج، کارایی و عملکرد موثر روش پیشنهادی را اثبات کرد. اگرچه داده‌های CP همیشه دارای اطلاعات پلاریمتریک کمتری نسبت به داده‌های



FP هستند، ولی به دلیل دارا بودن چندین مزیت مهم نسبت به دیگر سیستم‌های چندپلاریزاسیون SAR، هنگامی که منابع سیستم‌های پلاریمتریک محدود هستند و یا در دسترس نیستند، می‌توانند یک استراتژی موثر باشند. همچنین با تلفیق این داده‌ها در سطح ویژگی‌های پلاریمتریک می‌توان به نتایج بهتری دست یافت. این نوع تلفیق امکان‌پذیر است چراکه در حال حاضر حداقل سه ماهواره که قابلیت اخذ داده در مد CP را دارند، در مدار قرار داشته و یا در آینده‌ای نزدیک به فضا پرتاب خواهند شد. این ماهواره‌ها شامل RISAT-1<sup>۱۴</sup> هندی، ALOS-2<sup>۱۵</sup> ژاپنی و RCM<sup>۱۶</sup> کانادایی می‌شوند.

## مراجع

- [1] T. Ainsworth, J. Kelly, and J.-S. Lee, "Classification comparisons between dual-pol, compact polarimetric and quad-pol SAR imagery," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 64, pp. 464-471, 2009.
- [2] P. C. Dubois-Fernandez, J.-C. Souyris, S. Angelliaume, and F. Garestier, "The compact polarimetry alternative for spaceborne SAR at low frequency," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 46, pp. 3208-3222, 2008.
- [3] S. Boularbah, M. Ouarzeddine, and A. Belhadj-Aissa, "Investigation of the capability of the Compact Polarimetry mode to Reconstruct Full Polarimetry mode using RADARSAT2 data," *Advanced Electromagnetics*, vol. 1, pp. 19-28, 2012.
- [4] M. Daboor and T. Geldsetzer, "Towards sea ice classification using simulated RADARSAT Constellation Mission compact polarimetric SAR imagery," *Remote Sensing of Environment*, vol. 140, pp. 189-195, 2014.
- [5] J.-C. Souyris, P. Imbo, R. Fjørtoft, S. Mingot, and A.-S. Lee, "Compact polarimetry based on symmetry properties of geophysical media: The  $\pi/4$  mode," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 43, pp. 634-646, 2005.
- [6] J.-S. Lee and E. Pottier, *Polarimetric radar imaging: from basics to applications*: CRC press, 2009.
- [7] F. Charbonneau, B. Brisco, R. Raney, H. McNairn, C. Liu, P. Vachon, *et al.*, "Compact polarimetry overview and applications assessment," *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 36, pp. S298-S315, 2010.
- [8] S. R. Cloude, D. G. Goodenough, and H. Chen, "Compact decomposition theory," *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, vol. 9, pp. 28-32, 2012.
- [9] L. Kumar, J. Kishore, and P. Rao, "Decomposition Methods for Detection of Oil Spills Based on RISAT-1 SAR," *International Journal of Remote Sensing & Geoscience*, vol. 3, pp. 21-27, 2014.
- [10] R. K. Raney, J. T. Cahill, G. Patterson, and D. B. J. Bussey, "The m-chi decomposition of hybrid dual-polarimetric radar data," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International*, 2012, pp. 5093-5096.
- [11] S. Sivanandam and S. Deepa, *Introduction to genetic algorithms*: Springer Science & Business Media, 2007.
- [12] V. Vapnik, *The nature of statistical learning theory*: Springer Science & Business Media, 2013.
- [13] C.-C. Chang and C.-J. Lin, "LIBSVM: A library for support vector machines," *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, vol. 2, p. 27, 2011.

<sup>14</sup> Radar Imaging Satellite

<sup>15</sup> Advanced Land Observing Satellite

<sup>16</sup> RADARSAT Constellation Mission





## A New Method To Improve The Results Of Classification Obtained From Compact Polarimetry Data

Aghabalaei, A.\*<sup>1</sup>, Ebadi, H.<sup>2</sup>, Maghsoudi, Y<sup>3</sup>

1- Graduated Student from Remote Sensing Department of Geomatics, Faculty of Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

2- Associate Professor in Remote Sensing Department of Geomatics, Faculty of Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor in Remote Sensing Department of Geomatics, Faculty of Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

### Abstract

Recently, a new mode is proposed in Dual Polarimetry (DP) imaging systems that is called Compact Polarimetry (CP) which has several important advantages in comparison with Full Polarimetry (FP) such as reduction ability in complexity, cost, mass, and data rate of a Synthetic Aperture RADAR (SAR) system. Despite these advantages, the CP mode, compared to the FP mode, still achieves less information to be extracted from targets. Therefore, results of classification obtained from CP data are lower than those obtained from FP data. In this paper, a new method is proposed to improve the results of classification obtained by using CP data. For this propose, two ways are considered. First, the CP modes simulated by RADARSAT-2 FP mode, and second, Pseudo Quad Polarimetry (PQ) modes reconstructed by exploited CP modes are combine in the extracted polarimetric feature level. Results of this study show that this combination can be increase the classification accuracies.

**Keywords:** Compact Polarimetry, Combination in Feature Level, Classification.

Correspondence Address: Faculty of Geomatics Engineering, No. 1346, Vali-Asr Street, Mirdamad, Crossing, Photogrammetry & Remote Sensing Department, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

Tel: +98 912 5170838

Email: [a.aghabalaei@mail.knut.ac.ir](mailto:a.aghabalaei@mail.knut.ac.ir)