

Polarimetric Feature Comparison of Full and Dual Polarimetric SAR

Sara Attarchi.¹ and Mehdi Rahnama.^{*2}

1. Assistant prof. of Remote Sensing and GIS Dep., Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Assistant prof. of Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

Abstract

Full polarimetric SAR sensors can capture full polarimetric characteristics of targets. Therefore, in comparison with single and dual polarimetric sensors they offer more capabilities in target detection. However, operation in full polarimetric mode increases complexity, data volume and need more power. Full polarimetric sensors acquire images with less swath compared to dual mode. As a result, most of SAR sensors operate in dual mode and provide dual polarimetric images. Due to high availability, dual polarimetric images are increasingly being used in many researches. In this research, the efficiency of dual polarimetric images is compared with full polarimetric mode. The main goal is to find the best combination of two polarimetric bands which has the nearest results to full polarimetric mode.

One Advanced Land Observing Satellite / Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar scene had been processed. The scene was multi-looked and converted to the backscattering coefficient (sigma nought, dB). The image was decomposed by cluode-pottier method into alpha and entropy components. Three different combination of two polarimetric bands were considered; HH-HV; HH-VV and HV-VV. Alpha and entropy of each dual polarimetric mode were also computed. Then alpha and entropy driven from full-polarimetric mode were separately compared with alpha and entropy of each dual mode. Since different land cover types (i.e. built-up, cropland, bare land and water) exist in the scene, the computations were done separately for each land cover type. The comparison among alpha values from full polarimetric mode and dual polarimetric mode reveals that HH-HV combination shows the best conformity with full polarimetric mode. HH-VV dual mode has the poorest results. Entropy values of HH-HV mode had the least difference with full polarimetric mode. Entropy values of HH-VV shows the weakest similarity. The MAE values of HH-HV, HH-VV and HV-VV were 0.06, 0.22 and 0.17, respectively. The findings of this research shows that polarimetric features driven from HH-HV combination are more compatible with full-polarimetric mode. In case, no full polarimetric image is available, this dual combination can be substituted. Based on quantitative results, HH-HV combination is recommended to be used in case no full polarimetric image is available.

Keywords: Full polarimetric SAR, Dual polarimetric SAR, Alpha, Entropy, Mean absolute error.



بخش از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال دوازدهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۹
Vol.12, No. 1, Spring 2020

۸۷-۱۰۰



مقایسه مؤلفه‌های پولاریمتریک سار دوپولاریمتریک با سار تمام‌پولاریمتریک

سارا عطارچی^۱ و مهدی رهنما^{۲*}

۱. استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۳

چکیده

در تصاویر سار تمام‌پولاریمتریک، امکان شناسایی و تشخیص اهداف بر مبنای خصوصیات پولاریمتریک آن‌ها وجود دارد. با این حال، به دلیل پیچیدگی‌های سنجنده، بیشتر سنجنده‌های سار در حالت دوپولاریمتریک فعالیت می‌کنند و فراوانی داده‌های دوپولاریمتریک بسیار بیشتر از داده‌های تمام‌پولاریمتریک است. در این تحقیق، میزان کارایی مؤلفه‌های پولاریمتریک استخراج شده از حالت دوقطبی با حالت تمام‌پولاریمتریک مقایسه شده‌اند. بدین منظور، مؤلفه‌های آلفا و انتروپی در سه حالت HH-HV، HH-VV، HV-VV و تمام‌پولاریمتریک محاسبه شده است. با هدف بررسی دقیق‌تر، مقادیر آلفا و انتروپی به تفکیک کلاس‌های پوشش زمین استخراج شده‌اند. مقایسه مقادیر خطای مطلق میانگین بین مقادیر آلفا در حالت تمام‌پولاریمتریک با مقادیر حالت دوپولاریمتریک نشان می‌دهد که بین حالت HH-HV، با حالت تمام‌پولاریمتریک، کمترین خطا وجود دارد و بیشترین خطا به حالت HH-VV متعلق است. میزان خطای بین مقادیر انتروپی حالت تمام‌پولاریمتریک و حالت HH-HV، HH-VV و HV-VV، به ترتیب برابر ۰/۰۶ و ۰/۲۲ و ۰/۱۷ است. بر این اساس، حالت دوپولاریمتریک HH-HV بیشترین انطباق را با حالت تمام‌پولاریمتریک دارد و ترکیب باندهای هم‌قطب HH-VV کمترین انطباق را با حالت تمام‌پولاریمتریک داراست. در بین کلاس‌های متفاوت پوشش اراضی، مقادیر آلفای کلاس آب در حالت HH-HV بیشترین نزدیکی را با حالت تمام‌پولاریمتریک دارد. بین مقادیر انتروپی کلاس‌های متفاوت پوشش زمین در حالت HH-HV با حالت تمام‌پولاریمتریک، اختلاف معناداری وجود ندارد. بر اساس یافته‌های این تحقیق، نتیجه‌گیری می‌شود که ترکیب HH-HV به حالت تمام‌پولاریمتریک نزدیک‌تر است.

کلیدواژه‌ها: سار تمام‌پولاریمتریک، سار دوپولاریمتریک، آلفا، انتروپی، خطای مطلق میانگین.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، بزرگراه شهید همت (غرب)، بزرگراه شهید خرازی، بلوار پژوهش، پژوهشکده هواشناسی، کدپستی: ۱۶۳۸۵-۱۴۹۷۷. تلفن: ۴۴۷۸۷۶۵۱-۰۲۱، دورنگار: ۰۹۱۲۸۱۲۴۳۲۸، دورنگار: ۴۴۷۸۷۶۷۰.

۱- مقدمه

سنجنده‌های سار پولاریمتریک^۱، تا کنون، توانایی خود را در شناسایی و طبقه‌بندی عوارض سطح زمین اثبات کرده‌اند. این سنجنده‌ها به صورت تک‌قطبی، دوقطبی و یا قطبش کامل فعالیت می‌کنند. سنجنده‌های تمام‌پولاریمتریک توانایی دریافت کامل اطلاعات پولاریمتریک پدیده‌ها را دارند. این قابلیت سبب می‌شود در تصاویر تمام‌پولاریمتریک، در مقایسه با تصاویر تک‌قطبی و یا دوقطبی، امکان شناسایی و تشخیص اهداف بر مبنای خصوصیات پولاریمتریک افزایش پیدا کند. باین‌حال، برداشت تصاویر در حالت تمام‌پولاریمتریک سبب کاهش عرض برداشت، افزایش پیچیدگی سیستم، افزایش حجم داده و توان مصرفی مورد نیاز می‌شود (Izumi et al., 2017). به همین علت، بسیاری از سنجنده‌ها در حالت دوپولاریمتریک فعالیت می‌کنند. دسترسی بیشتر به تصاویر دوپولاریمتریک سبب شده است، در بسیاری از مطالعات، این داده‌ها برای شناسایی و طبقه‌بندی یا تشخیص تغییرات به‌کار روند. برای نمونه، کاربران تصاویر دوقطبی سنتینل را، به دلیل دسترسی رایگان و نامحدود، بیش‌ازپیش مورد استفاده قرار می‌دهند. با این‌حال، در بیشتر موارد، فرض بر این است که استفاده از داده‌های تمام‌پولاریمتریک سبب افزایش صحت الگوریتم‌های تفکیک، تشخیص و طبقه‌بندی پدیده‌ها می‌شود (Shan et al., 2011; Cloude, 2007). در واقع، جامعه کاربران همواره انتظار دارد، در صورت وجود داده‌های قطبش کامل، به صحت بیشتری دست پیدا کند. با توجه به فعالیت‌نداشتن برخی از سنجنده‌ها در حالت تمام‌پولاریمتریک و دسترسی کمتر به این تصویر، ضروری است تطابق داده‌های دوقطبی با داده‌های قطبش کامل بررسی شود. طبقه‌بندی و تفکیک پدیده‌ها، فقط بر پایه بازپخش آن‌ها در باندهای پولاریمتریک، کاری مشکل و چالش‌برانگیز است. فهم مکانیسم پخش پدیده‌ها شناسایی آن‌ها را با صحت بیشتری فراهم می‌کند. روش‌های متفاوتی برای تجزیه تصویر و استخراج

مؤلفه‌های پخش ارتقا یافته است. از بین انواع متفاوت روش‌های تجزیه تصاویر، روش کلود-پوتیه (پاتی‌یر)^۲ یکی از پرکاربردترین روش‌ها محسوب می‌شود که اساس آن بر محاسبه سه پارامتر آلفا، انترویی و انیزوتروپی است. در بیشتر مطالعات صورت گرفته، مؤلفه‌های پولاریمتریک استخراج شده از تصاویر قطبش کامل بررسی شده‌اند. مطالعات اندکی بر مؤلفه‌های پولاریمتریک مستخرج از باندهای پولاریمتریک تصاویر دوقطبی تمرکز کرده‌اند (Lee et al., 2001; Ainsworth et al., 2009; Turkar et al., 2011; Ji & Wu, 2015). همچنین، مطالعات محدودی مؤلفه‌های پولاریمتریک مستخرج از تصاویر قطبش کامل را، با مؤلفه‌های محاسبه شده از تصاویر دوقطبی، مقایسه کرده‌اند (Dhar et al., 2011; Sugimoto et al., 2013; Xie et al., 2015). در اغلب مطالعات، فقط کارایی باندهای پولاریمتریک، در دو حالت قطبش کامل و دوقطبی، مقایسه شده است (Lee et al., 2001; Simioni et al., 2019; Łoś et al., 2019).

مکانیسم پخش پدیده‌ها تابعی از طول موجی است که سنجنده در آن فعالیت می‌کند. در محدوده طول موج‌های کوتاه‌تر و بلندتر ماکروویو، امکان انتساب اشتباه مکانیسم بازپخش وجود دارد. در طول موج‌های کوتاه‌تر نظیر محدوده C و X ماکروویو، انتساب اشتباه مکانیسم پخش حجمی به پیکسل‌ها ممکن است. در طول موج بلند P، بیشتر پیکسل‌ها ممکن است به‌خطا با مکانیسم پخش سطحی شناسایی شوند. در طول موج مربوط به باند L، مکانیسم پخش غالب به مکانیسم حقیقی نزدیک‌تر است. توانایی نفوذ^۳ در این طول موج نیز سبب شناسایی و تفکیک بهتر پدیده‌ها می‌شود (Lee et al., 2004).

هدف اصلی، در این تحقیق، مقایسه کارایی تصاویر دوقطبی با تمام‌پولاریمتریک، در تفکیک پدیده‌های

1. Polarimetric Synthetic Aperture Radar (SAR)
2. Cloude-Pottier
3. penetration

(1996). درحقیقت، مکانیسم پخش اهداف براساس موقعیت آن در صفحه آلفا-انترویی مشخص می‌شود. برای ساده‌کردن، این صفحه به چند بخش تقسیم شده است و مکانیسم پخش غالب و خصوصیات فیزیکی هدف، براساس قرارگرفتن آن در هر بخش، مشخص می‌شود. یاماگوشی چهار مکانیسم پخش را معرفی کرد. براساس این روش، مکانیسم پخش غالب ممکن است حجمی، دوگانه، سطحی و یا از نوع هلیکس^۵ باشد.

روش کلود-پوتیه، در ابتدا، برای داده‌های تمام‌پولاریمتریک ارتقا یافت. باین‌حال، بعدها برای کاربرد در روش دوپولاریمتریک نیز اصلاح شد (Shan et al., 2011; Cloude, 2007). دو مؤلفه آلفا و انترویی طبق فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود.

$$\sum_{i=1}^3 P_i * \alpha_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\sum_{i=1}^3 -P_i \log_3 P_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

* $p_i = \lambda_i / \sum_{j=1}^3 \lambda_j$, ** λ_j : eigen values from coherency matrix

داده مورد استفاده در این تحقیق مربوط به سنجنده آلس/پالسا^۶ است. تصویر در حالت VSLC دریافت شده است. در این تصویر، هر چهار باند پولاریمتریک شامل HH، HV، VH و VV وجود دارند. در گام نخست، این تصاویر چنددیده^۷ شدند. پس از این پردازش، ابعاد پیکسل برابر با 12.5×12.5 متر شد. برای حذف خطای ناشی از توپوگرافی در تصویر، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، تصحیح رادیومتری - توپوگرافی^۸ انجام گرفت. در مرحله بعد، با استفاده از معادله (۳) و ضریب واسنجی، اعداد رقومی تبدیل به ضریب بازپخش (برحسب دسی‌بل) شدند (Lavalle & Wright, 2009).

متفاوت زمینی است. بر این اساس، مؤلفه‌های پولاریمتریک مستخرج از باندهای قطبی، در حالت دوپولاریمتریک و تمام‌پولاریمتریک، با یکدیگر مقایسه می‌شود. به این منظور، از تصاویر تمام‌پولاریمتریک سنجنده پالسا مهوره آلس، که در باند L فعالیت می‌کند، استفاده شده است. در ادامه، ساختار مقاله از این ترتیب پیروی می‌کند: پس از مقدمه، روش تجزیه پولاریمتریک شرح داده می‌شود؛ در بخش سوم، داده مورد استفاده و چگونگی پردازش‌ها و روش‌های ارزیابی مطرح می‌شود؛ نتایج اجرا نیز در بخش چهارم آورده شده است؛ تحلیل نتایج و بحث در آخرین بخش مطرح می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

با افزایش دریافت تصاویر راداری در حالت دوپولاریمتریک و استفاده روزافزون از تصاویر دوقطبی، ضروری است محتوای اطلاعاتی این تصاویر با تصاویر تمام‌پولاریمتریک مقایسه شود. روش‌های تجزیه پولاریمتریک با هدف شناسایی مکانیسم‌های بازپخش غالب پدیده‌ها در تصاویر راداری ارتقا یافته‌اند. امکان تفکیک و طبقه‌بندی صحیح پدیده‌ها، با دانستن مکانیسم پخش، افزایش می‌یابد. از مهم‌ترین روش‌های تجزیه پولاریمتریک و تعیین مکانیسم پخش، می‌توان به روش کلود-پوتیه (1996)، فریمن - دوردن^۱ (1998)، یاماگوشی^۲ (Yamaguchi et al., 2005)، توزی^۳ (Touzi, et al., 1992) و ون زیل^۴ (1989) اشاره کرد. روش فریمن-دوردن مؤلفه پخش را به سه جزء پخش حجمی، پخش دوگانه و پخش سطحی تجزیه می‌کند. در روش کلود-پوتیه، سه شاخص زاویه آلفا و انترویی و انیزوتروپی از باندهای پولاریمتریک استخراج می‌شود. زاویه آلفا نشان‌دهنده مکانیسم پخش است. مقادیر بالای آلفا بیانگر مکانیسم پخش حجمی و چندگانه و مقادیر پایین بیانگر پخش سطحی‌اند. درواقع، انترویی شاخصی از بی‌نظمی به‌شمار می‌آید. براساس مقادیر آلفا و انترویی هدف، مکانیسم پخش غالب پدیده مشخص می‌شود (Cloude & Pottier, 2009).

1. Freeman-Durden
2. Yamaguchi
3. Touzi
4. Van Zyl
5. helix-type
6. Advanced Land Observing Satellite / Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (ALOS/PALSAR)
7. single look complex
8. multi-look
9. radiometric-terrain correction

x_i مقدار مؤلفه‌های پولاریمتریک در حالت دوپولاریمتریک
 x مقدار مؤلفه‌های پولاریمتریک در حالت تمام‌پولاریمتریک

$$\sigma^{\circ}(\text{dB}) = 10 \log(DN^2) + CF \quad (3)$$

σ° ضریب بازپخش

DN عدد رقومی تصویر در باندهای پولاریمتریک

CF ضریب واسنجی ۸۳-

۳- نتایج

۳-۱- تحلیل میزان بازپخش کلاس‌های پوشش زمین

در باندهای پولاریمتریک

به‌منظور بررسی بازپخش کلاس‌های پوشش زمین در باندهای پولاریمتریک، مقادیر میانگین و انحراف معیار آن‌ها بررسی شد. شکل ۱ نمودارهای پراکنش نمونه‌ها را، در فضای دوبعدی، نمایش می‌دهد. کمترین میزان بازپخش در باندهای پولاریمتریک متعلق به کلاس آب است. مقدار میانگین کلاس آب تفاوت بسیاری با دیگر کلاس‌ها دارد. به‌طور کلی، بیشترین میزان بازپخش به دو کلاس زمین‌های ساخته‌شده و زمین‌های بایر برمی‌گردد. بازپخش زمین‌های زراعی شامل مقادیر متوسط بازپخش می‌شود. در نمودار پراکنش HH-HV، دو کلاس زمین‌های بایر و مناطق ساخته‌شده مقادیر بازپخش نزدیک‌تری به هم دارند اما زمین‌های زراعی و آب کاملاً تفکیک‌پذیرند. در نمودار پراکنش HV-VV، مشاهده می‌شود که مقادیر بازپخش کلاس‌های پوشش زمین در باند VV کمتر از باند HV است؛ باین‌حال، در این نمودار پراکنش نیز، همان روند کلی مشاهده می‌شود. در نمودار پراکنش HH-VV نیز، مقادیر میانگین بازپخش در کلاس‌های متفاوت به هم نزدیک‌تر است. در این نمودار هم، فاصله میانگین کلاس زمین‌های بایر و مناطق ساخته‌شده اندک است. کلاس زمین‌های زراعی با مقادیر بازپخش متوسط است و میانگین کلاس آب در فاصله دورتری قرار دارد.

برای کاهش تأثیرات لکه‌های راداری^۱، از فیلتر لی بهبودیافته^۲ استفاده شد. لکه‌های راداری ظاهری متفاوت به تصاویر راداری می‌دهد و فرایند تفکیک عوارض و پدیده‌ها را با دشواری همراه می‌کند. پنجره با اندازه ۵×۵ تنظیم شد. اندازه ابعاد پنجره فیلتر براساس شاخص فشردگی لکه راداری^۳ انتخاب شد. این ابعاد پنجره جزء ابعاد متوسط فیلتر به‌شمار می‌آید. ابعاد کمتر در پنجره کارآیی کاهش لکه‌ها را ندارد. با توجه به ابعاد موجود در تصویر نیز، فیلتر دارای ابعاد بزرگ‌تر سبب از بین رفتن جزئیات تصویر می‌شود.

با توجه به انواع متفاوت کلاس‌های پوشش زمین در تصویر و برای پرهیز از پیکسل‌های مختلط^۴، از تصویر گوگل ارث، با قدرت تفکیک بالا، مربوط به زمان اخذ تصویر کمک گرفته شد. در نهایت، ۱۰۵ پیکسل برای مناطق ساخته‌شده، ۵۴۰ پیکسل برای اراضی کشاورزی، ۴۷۶ پیکسل برای کلاس زمین‌های بایر و ۳۵ پیکسل برای کلاس آب در نظر گرفته شده است. نامتوازن بودن تعداد پیکسل‌های نمونه هر کلاس به علت تفاوت در مساحت نسبی هر کلاس در تصویر است.

سپس مقادیر مربوط به هر نمونه در باندهای پولاریمتریک و مؤلفه‌های آلفا و انتروپی محاسبه‌شده از تصاویر تمام‌پولاریمتریک و ترکیب دوگانه باندهای پولاریمتریک استخراج شدند. برای محاسبه میزان تطابق مؤلفه‌های پولاریمتریک محاسبه‌شده از تصاویر تمام‌پولاریمتریک با تصاویر دوپولاریمتریک، خطای مطلق میانگین^۵ مقادیر پیکسل‌های نمونه، بین حالت تمام‌پولاریمتریک و حالت دوپولاریمتریک، محاسبه شد (رابطه (۴)).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x| \quad (4)$$

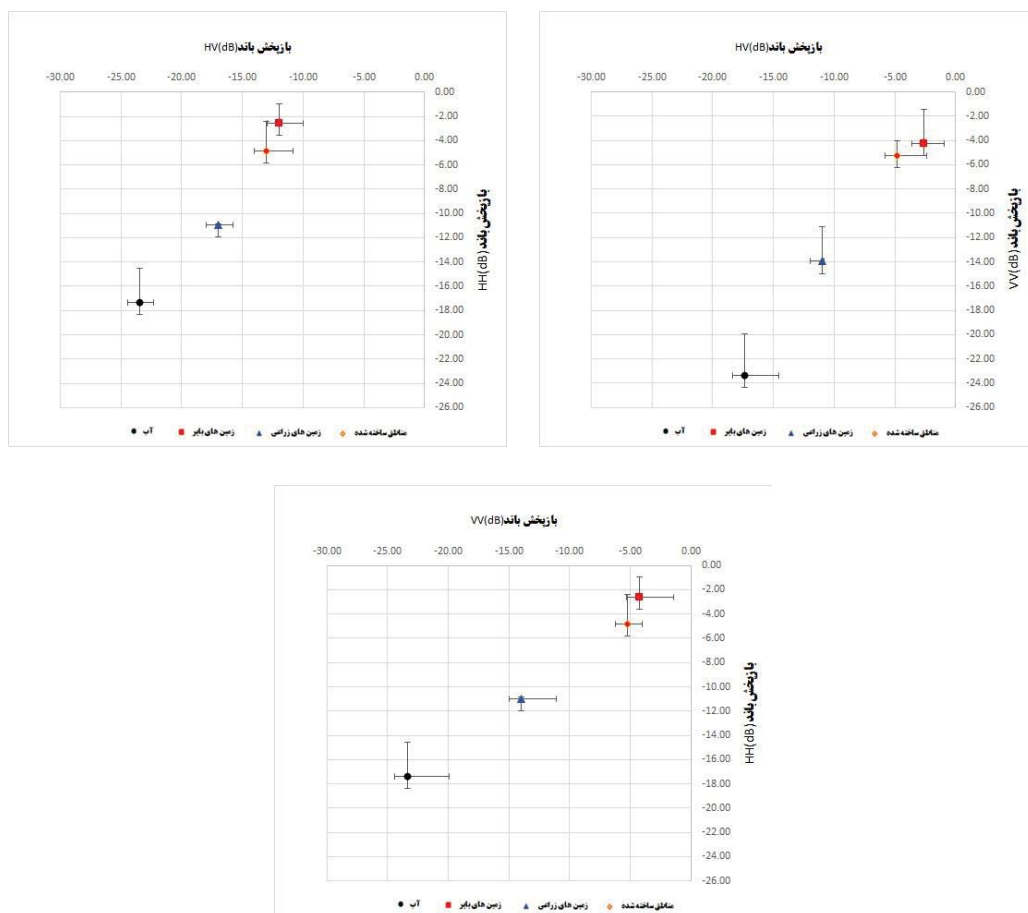
MAE خطای مطلق میانگین

1. speckle
2. enhanced Lee filter
3. Speckle Suppression Index (SSI)
4. mixed pixel
5. Mean Absolute Error (MAE)

۲-۳- مقایسه مؤلفه آلفا در تصاویر تمام‌پولاریمتریک با پولاریمتریک دوگانه

برای درک کامل رفتار مؤلفه آلفا در حالت دوپولاریمتریک، مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک با مقادیر آلفا، در ترکیب دوگانه پولاریمتریک، در مورد عوارض متفاوت بررسی شد. در شکل ۲، مقادیر آلفای دوپولاریمتریک HH-HV و تمام‌پولاریمتریک به نسبت یکدیگر پلات شده‌اند. محور افقی مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک و محور عمودی مقادیر آلفا را در حالت دوپولاریمتریک HH-HV نشان می‌دهد. طبق مقایسه کلی، بین دو مقدار، تناسب نزدیک به ۱:۱ برقرار است.

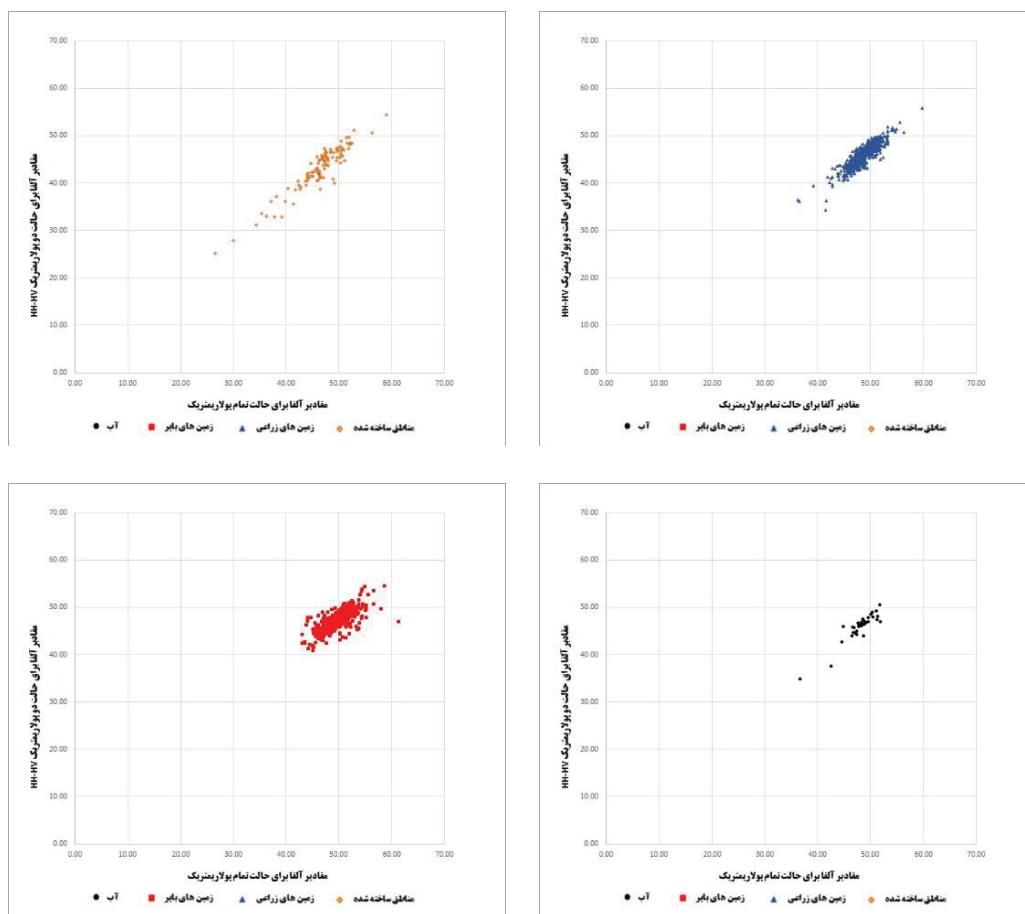
این تناظر در مورد تمامی کلاس‌های پوشش زمین حفظ شده است. در جدول ۱، مقادیر خطای مطلق میانگین بین مقدار مؤلفه آلفا در حالت تمام‌پولاریمتریک، با مقدار همین مؤلفه در حالت دوپولاریمتریک HH-HV، آمده است. میزان خطا برابر با ۲.۷۳ درجه است. بررسی مقایسه‌ای مقادیر آلفا در مورد هر کلاس پوشش زمین نشان می‌دهد که، در کلاس مناطق ساخته‌شده، مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک از مقادیر آلفای HH-HV بیشتر است و این اختلاف، در مقادیر آلفای بیشتر از ۴۵ درجه، افزایش می‌یابد. میزان خطای مطلق میانگین در این کلاس ۳.۲۶ است. در کلاس زمین‌های زراعی، مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک از مقادیر آلفای HH-HV بیشتر است.



شکل ۱. میانگین و انحراف معیار ضرایب بازیش کلاس‌های متفاوت پوشش زمین در حالت‌های متفاوت دوپولاریمتریک

آلفا در حالت تمام‌پولاریمتریک حدود ۳-۲ درجه بیشتر از حالت HH-HV است و این میزان اختلاف، به‌طور همگن، در تمامی مقادیر آلفا حفظ شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که مقادیر آلفا، هنگام استفاده از باندهای هم‌قطبی، با مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک انطباق خوبی ندارد. دامنه مقادیر آلفا در حالت HH-VV بسیار محدود است و بین ۱۱ و ۴۰ قرار دارد؛ در صورتی که مقادیر آلفای مستخرج از حالت تمام‌پولاریمتریک بین ۲۶ و ۶۱ است. به‌طور کلی، مقادیر آلفای حالت HH-VV بسیار کوچک‌تر از مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک است. این اختلاف زیاد سبب انتساب اشتباه مکانیسم پخش در حالت HH-VV می‌شود.

بیشترین اختلاف در مقادیر آلفای بیشتر از ۵۰ مشاهده می‌شود و اختلاف‌هایی، حدود ۶ تا ۷ درجه نیز، وجود دارد. میزان خطای محاسبه‌شده در کلاس زمین‌های زراعی برابر با ۲.۷۵ است. خطای مطلق میانگین کلاس زمین بایر ۲.۶۳ محاسبه شده است. آلفای HH-HV کلاس زمین بایر، در بعضی موارد، از حالت تمام‌پولاریمتریک نیز بیشتر است اما در آلفاهای بالا، مانند سایر کلاس‌های پوشش زمین، مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک بیشتر از آلفای HH-HV است. مقادیر آلفا، در دو حالت تمام‌پولاریمتریک و HH-HV، انطباق بیشتری در کلاس آب دارد. خطای مطلق میانگین برابر با ۲.۴۲ است. در واقع، در این کلاس، میانگین مقادیر

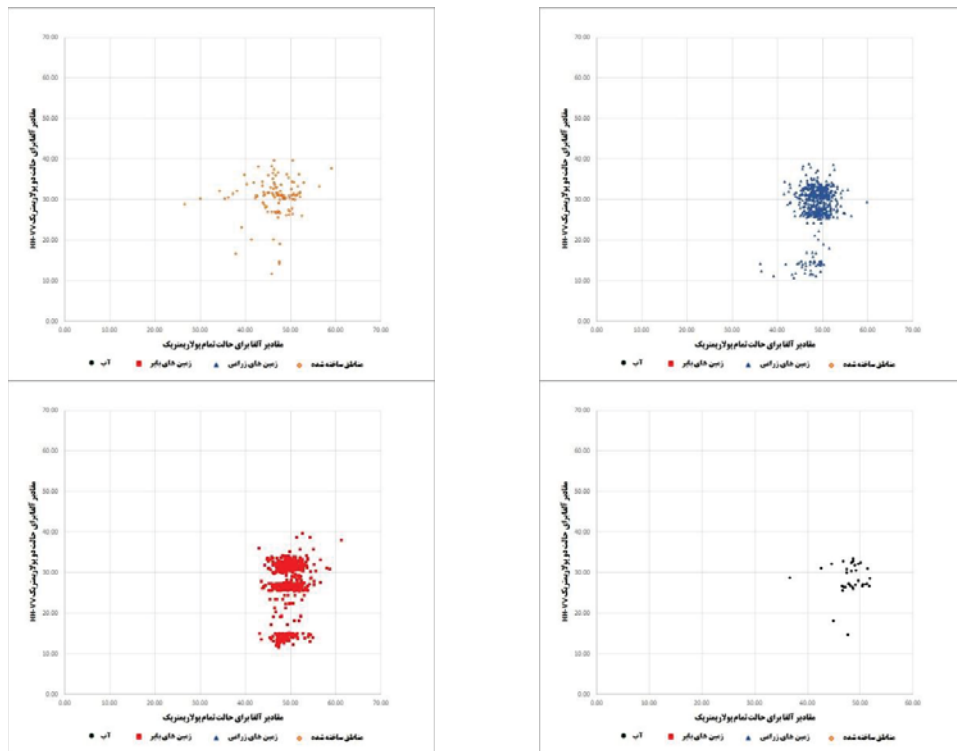


شکل ۲. مقایسه مقادیر آلفا در حالت دوپولاریمتریک HH-HV با حالت تمام‌پولاریمتریک، در کلاس‌های متفاوت پوشش زمین

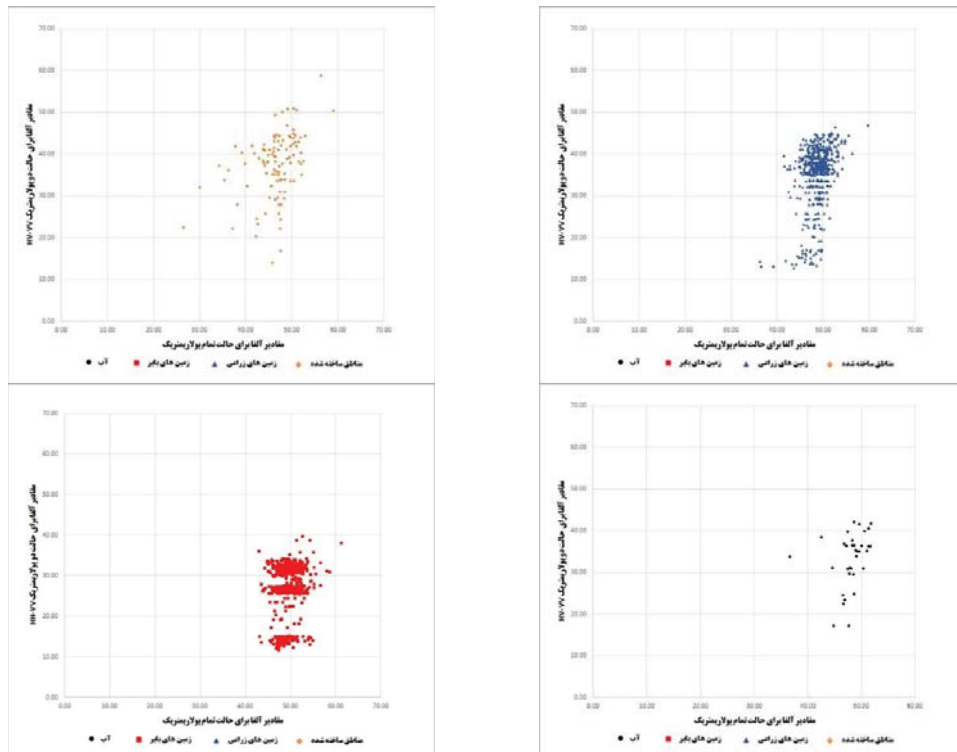
این ترکیب دوباندی، به‌ویژه، قادر به تفکیک مکانیسم پخش حجمی نیست و به پدیده‌هایی با مکانیسم پخش حجمی، مکانیسم پخش سطحی منتسب خواهد شد. میانگین خطای مطلق بین مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک با مقادیر آلفا در حالت دوپولاریمتریک HH-VV برابر با ۲۱.۰۷ است. بررسی مقادیر آلفا به تفکیک کلاس‌ها به شرح زیر است: در کلاس مناطق ساخته‌شده، مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک با مقادیر آلفای HH-VV اختلاف دارد و این اختلاف روند ثابتی ندارد. اختلاف یادشده، در بعضی نقاط، حدود ۱۰ درجه و در برخی نقاط، تا ۳۰ درجه هم می‌رسد. میانگین خطای مطلق، در این کلاس، برابر با ۱۵.۹۴ است. در کلاس زمین‌های زراعی، دامنه مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک محدودتر است؛ در صورتی که مقادیر آلفای HH-VV در دامنه گسترده‌تری قرار می‌گیرد. اختلاف بین مقادیر آلفا، در دو حالت، بسیار متغیر است، از اختلافات بسیار اندک تا اختلافات بالا و تا حدود ۳۰ درجه را شامل می‌شود و روند مشخصی، چه در مقادیر بالا و چه مقادیر پایین، ندارد. باین‌حال، میانگین خطای مطلق مقادیر آلفا برابر با ۲۰.۰۴ است. در کلاس زمین‌های بایر، بین مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک و HH-VV اختلاف وجود دارد اما، در مقادیر بالا، اختلاف مشاهده‌شده کمتر است. مقدار خطای مطلق میانگین ۲۳.۶۳ است. در کلاس آب، دامنه مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک کوچک‌تر است و اختلاف بین مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک و HH-VV، در مقادیر بالاتر، کمتر است. مقدار خطای مطلق بین مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک و دوپولاریمتریک HH-VV محاسبه شده است.

شکل ۴ مقایسه آلفای تمام‌پولاریمتریک با آلفای محاسبه‌شده از باندهای دوپولاریمتریک HV-VV را نمایش می‌دهد. براساس این شکل، دامنه مقادیر آلفا در حالت HV-VV بزرگ‌تر از دامنه مقادیر آلفای

تمام‌پولاریمتریک است. آلفای استخراج‌شده از دو باند HV و VV از مقادیر پایین حدود ۱۳ درجه شروع و تا حدود ۵۸ درجه را شامل می‌شود. مقدار خطای مطلق میانگین بین مقادیر آلفای دو حالت برابر با ۱۵.۳۸ است. در کلاس زمین‌های ساخته‌شده، دامنه مقادیر آلفای حالت HV-VV نزدیک به دامنه مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک است. تقریباً در تمامی موارد، مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک از حالت آلفای HV-VV بیشتر است. بیشترین انطباق در مقادیر آلفای بزرگ‌تر از ۵۰ درجه مشاهده می‌شود. مقدار خطای مطلق میانگین، در این کلاس، ۹.۳۵ است. در کلاس زمین‌های زراعی، رفتار متفاوتی دیده می‌شود. دامنه مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک، در این کلاس، از دامنه مقادیر آلفا در حالت HV-VV کوچک‌تر است. مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک محدود به مقادیر بین ۳۵ تا ۵۵ می‌شود؛ در حالی که مقادیر آلفای استخراج‌شده از دو باند HV و VV بین اعداد ۱۲ تا ۴۸ است. در این کلاس، اختلاف آلفای تمام‌پولاریمتریک و حالت دوپولاریمتریک زیاد است. مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک همواره از آلفای استخراج‌شده از HV-VV بزرگ‌تر است. میانگین خطای مطلق ۱۳.۵۵ محاسبه شده است. در کلاس اراضی بایر، دامنه مقادیر آلفای دوپولاریمتریک بسیار زیاد است و هیچ روند خاصی بین آلفای تمام‌پولاریمتریک و دوپولاریمتریک HV-VV دیده نمی‌شود. تنها انطباق مشاهده‌شده بین مقادیر آلفای بزرگ‌تر از ۵۵ درجه است. میانگین خطای مطلق بین مقادیر آلفا، در حالت دوپولاریمتریک HV-VV، با حالت تمام‌پولاریمتریک برابر با ۱۸.۶۸ در این کلاس است. در کلاس آب، میانگین خطا ۱۵.۱۱ است. در این کلاس، بیشتر مقادیر آلفای تمام‌پولاریمتریک در بازه ۴۰ تا ۵۰ قرار دارد؛ در صورتی که مقادیر آلفای دوپولاریمتریک بین ۱۵ تا ۴۲ در نوسان است و ارتباط مستقیمی بین این دو حالت وجود ندارد.



شکل ۳. مقایسه مقادیر آلفا در حالت دوپولاریزمتریک HH-VV با حالت تمام‌پولاریزمتریک در کلاس‌های متفاوت پوشش زمین



شکل ۴. مقایسه مقادیر آلفا در حالت دوپولاریزمتریک HH-VV، با حالت تمام‌پولاریزمتریک در کلاس‌های متفاوت پوشش زمین

مقایسه مؤلفه‌های پولاریمتریک سار دوپولاریمتریک با سار تمامپولاریمتریک

جدول ۱. مقادیر خطای مطلق میانگین بین مقادیر آلفا، در حالت تمامپولاریمتریک، با مقادیر انتروپی دوپولاریمتریک

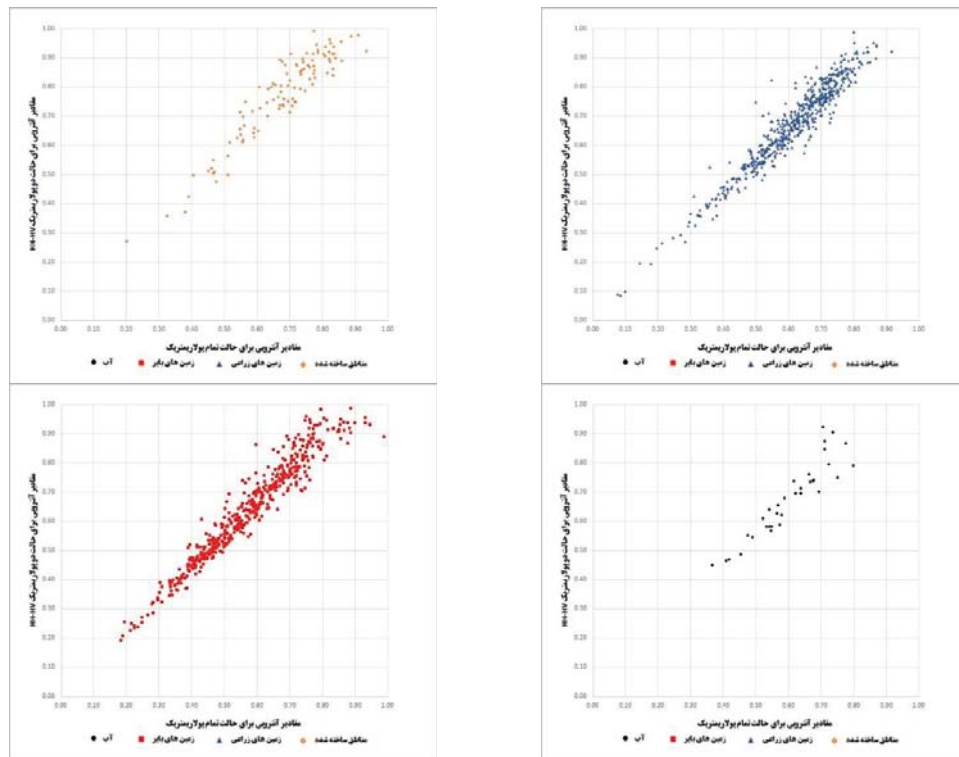
HV-VV	HH-VV	HH-HV	کلاس پوشش زمین
9.35	15.94	3.26	مناطق ساخته شده
13.55	20.04	2.75	زمین‌های زراعی
18.67	23.36	2.63	زمین‌های بایر
15.11	19.94	2.45	آب
15.38	21.07	2.73	کل

۳-۳- مقایسه مؤلفه انتروپی تمامپولاریمتریک با پولاریمتریک دوگانه

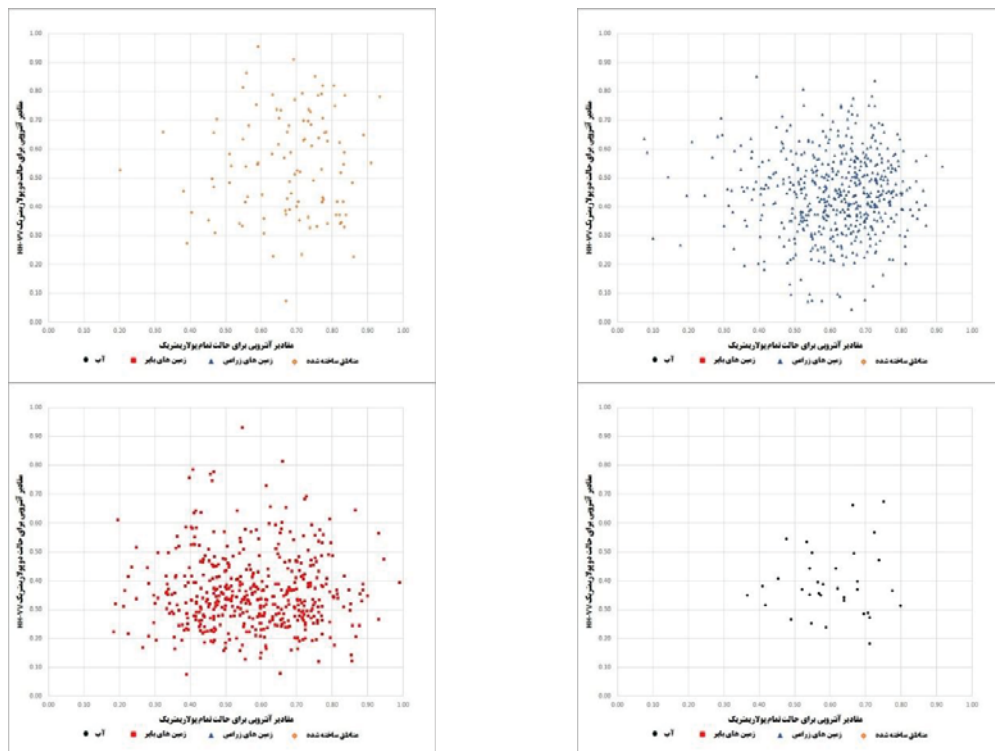
مقادیر انتروپی تمامپولاریمتریک و مقادیر انتروپی دوپولاریمتریک HH-HV دارای تناظر نزدیک به یک‌به‌یک است. دامنه مقادیر، در هر دو حالت، تقریباً بر هم منطبق است و تمامی مقادیر ممکن را دربر می‌گیرد. براساس شکل ۵، انتروپی بین مقادیر نزدیک به صفر تا یک را به خود اختصاص داده است. مقایسه کلی، همچنین، نشان می‌دهد که مقادیر انتروپی استخراج شده از دو باند پولاریمتریک HH و HV بزرگ‌تر از مقادیر آلفای تمامپولاریمتریک است. طبق جدول ۲، خطای مطلق میانگین برابر با ۰.۰۶ است. کلاس اراضی ساخته شده همان روند کلی را نشان می‌دهد. مقادیر انتروپی حالت دوپولاریزه از حالت تمامپولاریمتریک بزرگ‌تر است. در مقادیر بین ۰.۵ تا ۰.۸، تطابق بیشتری بین حالت تمامپولاریمتریک و پولاریمتریک دوگانه وجود دارد؛ ضمن اینکه، در این کلاس، دامنه مقادیر کوچک‌تر است و بین اعداد ۰.۳ تا ۰.۹ قرار دارد. مقدار خطای مطلق میانگین برابر با ۰.۰۹ است. در کلاس زمین‌های زراعی نیز، بین انتروپی تمامپولاریمتریک و انتروپی دوپولاریمتریک باندهای HH-HV، انطباق یک‌به‌یک وجود دارد. مقادیر انتروپی متوسط، در حالت دوپولاریمتریک HH-HV، از مقادیر انتروپی تمامپولاریمتریک بالاتر است. مقدار خطای مطلق میانگین برابر با ۰.۰۶ است. روند یکسانی در کلاس زمین‌های بایر وجود دارد. میانگین میزان خطای مطلق بین انتروپی حالت تمامپولاریمتریک با حالت HH-HV برابر با ۰.۰۶ است. در این کلاس، مقادیر

انتروپی در حالت تمامپولاریمتریک با مقادیر انتروپی در حالت HH-HV تقریباً برابر است. در کلاس آب، مقادیر انتروپی دامنه محدودتری را دربر می‌گیرد. بین مقادیر ۰.۳۵ تا ۰.۷، تناظر یک‌به‌یک بین انتروپی دو حالت وجود دارد و این تناظر، در انتروپی‌های بزرگ‌تر از ۰.۷ برقرار نیست. میانگین مقدار خطای مطلق، در دو حالت، ۰.۰۶ است.

مقایسه انتروپی استخراج شده از دو باند HH-VV با مقادیر انتروپی تمامپولاریمتریک هیچ همبستگی‌ای ندارد. مقادیر انتروپی در حالت HH-VV از مقادیر نزدیک به صفر تا نزدیک به یک را دربر می‌گیرد. شکل ۶ نشان می‌دهد اختلاف بین مقادیر انتروپی دوپولاریمتریک HH-VV و مقادیر انتروپی تمامپولاریمتریک، در بعضی نقاط، تا ۶۰ درجه هم می‌رسد. میانگین خطای مطلق بین مقادیر انتروپی در این حالت با حالت تمامپولاریمتریک برابر با ۰.۲۳ است. در کلاس مناطق ساخته شده، روند خاصی بین مقادیر انتروپی در دو حالت وجود ندارد. همین وضعیت در دو کلاس زمین‌های زراعی و زمین‌های بایر نیز وجود دارد. در مورد کلاس آب، مقادیر انتروپی دو حالت تمامپولاریمتریک و مقادیر انتروپی استخراج شده از حالت HH-VV در دامنه‌ای کوچک‌تر از دیگر کلاس‌ها قرار دارد. با این حال، در این دو حالت، روند خاصی بین مقادیر انتروپی مشاهده نمی‌شود. مقدار خطای مطلق میانگین بین مقادیر انتروپی دوپولاریمتریک HH-VV و تمامپولاریمتریک برای کلاس زمین ساخته شده، زمین‌های کشاورزی، زمین‌های بایر و آب، به ترتیب، برابر با ۰.۲ و ۰.۲۱ و ۰.۲۴ و ۰.۲۲ است.



شکل ۵. مقایسه مقادیر انترویی در حالت دوپولاریمتریک HH-HV با حالت تمامپولاریمتریک، در کلاس‌های متفاوت پوشش زمین

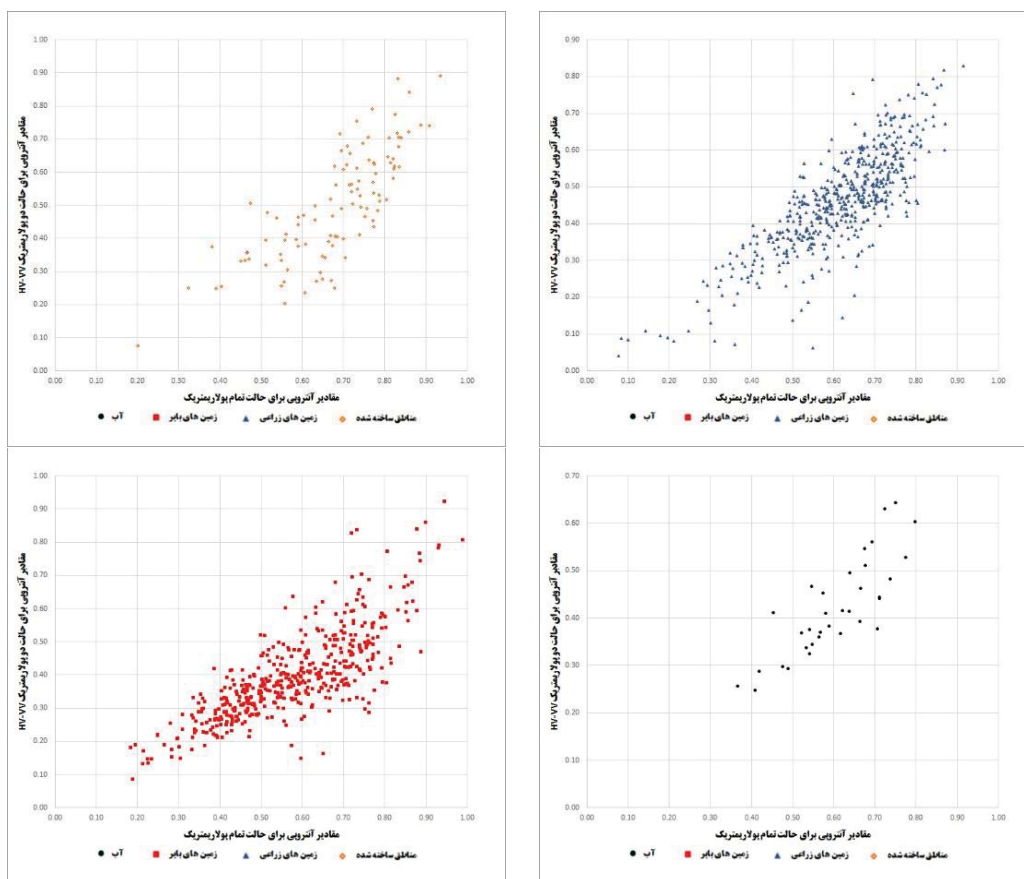


شکل ۶. مقایسه مقادیر انترویی دوپولاریمتریک HH-VV با تمامپولاریمتریک، در کلاس‌های متفاوت پوشش زمین

مقایسه مؤلفه‌های پولاریمتریک سار دوپولاریمتریک با سار تمامپولاریمتریک

دوپولاریمتریک HV-VV و حالت تمامپولاریمتریک، ۰.۱۵ است. مقادیر آنتروپی زمین‌های بایر در محدوده کوچک‌تری قرار دارد. تقریباً تمامی مقادیر آنتروپی استخراج‌شده از حالت دوپولاریمتریک کمتر از حالت تمامپولاریمتریک است. میانگین خطای مطلق برابر ۰.۱۸ است. مقادیر آنتروپی تمامپولاریمتریک، در کلاس آب، کمتر از دیگر کلاس‌های پوشش زمین است و صرفاً بین ۰.۴ تا ۰.۸ قرار دارد. مانند سایر کلاس‌های پوشش زمین، مقادیر آنتروپی حالت دوگانه کوچک‌تر از حالت تمامپولاریمتریک است. مقدار خطای مطلق بین مقادیر آنتروپی در حالت HV-VV با حالت تمامپولاریمتریک برابر با ۰.۱۸ است.

آنتروپی‌های استخراج‌شده از دو باند پولاریمتریک HV-VV کوچک‌تر از آنتروپی تمامپولاریمتریک است. براساس شکل ۷، بین آنتروپی در این دو حالت، تناظر یک‌به‌یک برقرار نیست. این حالت در تمامی دامنه مقادیر آنتروپی دیده می‌شود. فقط در مقادیر آنتروپی پایین‌تر از ۰.۳ و بالاتر از ۰.۸، مقادیر آنتروپی به هم نزدیک است. میانگین خطای مطلق برابر با ۰.۱۷ است. در کلاس اراضی ساخته‌شده نیز، همین روند دیده می‌شود. میانگین خطای مطلق ۰.۱۸ است. روند آنتروپی زمین‌های زراعی نیز به روند کلی بسیار شباهت دارد. میانگین خطای مطلق، بین مقادیر آنتروپی در حالت



شکل ۷. مقایسه مقادیر آنتروپی در حالت دوپولاریمتریک HV-VV با حالت تمامپولاریمتریک، در کلاس‌های متفاوت پوشش زمین

جدول ۲. مقادیر خطای مطلق میانگین بین مقادیر انتروپی تمام پولا ریتریک با مقادیر انتروپی دوپولا ریتریک

HV-VV	HH-VV	HH-HV	کلاس پوشش زمین
0.18	0.20	0.09	مناطق ساخته شده
0.15	0.21	0.06	زمین های زراعی
0.18	0.25	0.06	زمین های بایر
0.18	0.22	0.06	آب
0.17	0.23	0.06	کل

۴- بحث و نتیجه گیری

مشاهده نمی شود. در ترکیب HH-HV، در تمامی کلاس های کاربری زمین، به جز آب، بیشترین میزان اختلاف مقادیر آلفا با حالت تمام پولا ریتریک در مقادیر آلفای بالاتر از ۴۵ درجه مشاهده می شود. بیشترین میزان انطباق مقادیر آلفا مربوط به کلاس آب است. همگنی نمونه ها و نبود پیکسل های مخلوط ممکن است دلیل اصلی این نتیجه باشد. علاوه بر این، در کلاس آب، مقدار آلفا تغییرات چندانی ندارد و در دامنه محدودی قرار گرفته است. مقایسه مقادیر خطای مطلق نشان می دهد که کمترین خطا در حالت دوپولا ریتریک HH-HV و بیشترین خطا در حالت HH-VV مشاهده شده است. بین کلاس های متفاوت پوشش اراضی، تفاوت معناداری وجود ندارد؛ با این حال، کلاس آب دقتی بیشتر از سایر کلاس ها دارد.

به علاوه، طی مقایسه نتایج مقادیر انتروپی تمام پولا ریتریک با دوپولا ریتریک، مشخص می شود مقادیر انتروپی دوپولا ریتریک HH-HV بیشترین همبستگی را با مقادیر انتروپی تمام پولا ریتریک دارد. مقدار خطای مطلق میانگین، در این ترکیب دوباندی، از سایر ترکیبات دوباندی کمتر است. در این حالت، مقادیر انتروپی از حالت تمام پولا ریتریک بالاتر است و در عین حال، تناظر یک به یک مشاهده می شود. مقادیر انتروپی استخراج شده از دو ترکیب دیگر، یعنی HV-VV و HH-VV، رفتار خاصی با مقادیر انتروپی تمام پولا ریتریک ندارد. ضعیف ترین شرایط متعلق به ترکیب HH-VV است. فقدان باند غیرهم قطب، در این ترکیب، علت نتیجه ضعیف محسوب می شود. بررسی

هدف اصلی، در این تحقیق، بررسی میزان انطباق مؤلفه های پولا ریتریک استخراج شده از حالت تمام پولا ریتریک با حالت دوپولا ریتریک است. برای این منظور، سه ترکیب دوباندی HH-VV و HH-HV و HV-VV در نظر گرفته شد. سپس، مؤلفه های آلفا و انتروپی روش کلود- پوتیه حالت تمام پولا ریتریک با مقادیر آلفا و انتروپی استخراج شده از ترکیبات دوباندی مقایسه شد. به قصد بررسی دقیق تر، این مقایسه در مورد کلاس های متفاوت پوشش زمین شامل زمین های ساخته شده، اراضی کشاورزی، زمین های بایر و آب صورت گرفت. همچنین، به منظور بررسی کمی، مقادیر خطای میانگین مطلق بین مؤلفه های تمام پولا ریتریک و دوپولا ریتریک محاسبه شد. مقادیر آلفای دوپولا ریتریک HH-HV، در مقایسه با دیگر حالت های دوپولا ریتریک، انطباق بیشتری با مقادیر آلفای تمام پولا ریتریک دارد. کمترین میزان تطابق در آلفای محاسبه شده از دو باند هم قطب HH-VV دیده می شود. در این حالت، دامنه مقادیر آلفا بسیار کوچک است و به طور محسوس، از حالت تمام پولا ریتریک کمتر است. افزون بر آن، مکانیسم پخش حجمی مشخص نیست و به بیشتر پیکسل های مکانیسم غالب، به اشتباه، مکانیسم پخش سطحی تعلق خواهد گرفت. فقدان باند پولا ریتریک غیرهم قطب، در این ترکیب باندی، منجر به این نتیجه شده است. در حالت دوپولا ریتریک HV-VV، برخلاف دو حالت دیگر، مقادیر آلفا بزرگ تر از حالت تمام پولا ریتریک است. با این حال، در مقایسه مقادیر این حالت با حالت تمام پولا ریتریک، روند منظمی

- Geoscience and Remote Sensing, 34(2), PP. 498-518.
- Dhar, A.T., Gray, B.D. & Menges, C.C., 2011, **Comparison of Dual and Full Polarimetric Entropy/Alpha Decompositions with TerraSAR-X, Suitability for Use in Classification**, In 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, PP. 456-458, IEEE.
- Freeman, A. & Durden, S.L., 1998, **A Three-component Scattering Model for Polarimetric SAR Data**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36(3), PP. 963-973.
- Izumi, Y., Demirci, S., bin Baharuddin, M., Watanabe, T. & Sumantyo, J., 2017, **Analysis of Dual-and Full-circular Polarimetric SAR Modes for Rice Phenology Monitoring: An Experimental Investigation through Ground-based Measurements**, Applied Sciences, 7(4), P. 368.
- Ji, K. & Wu, Y., 2015, **Scattering Mechanism Extraction by a Modified Cloude-pottier Decomposition for Dual Polarization SAR**, Remote Sensing, 7(6), PP. 7447-7470.
- Lavalle, M. & Wright, T., 2009, **Absolute Radiometric and Polarimetric Calibration of ALOS PALSAR Products**, Document Issue (1), Revision (3).
- Lee, J.S., Grunes, M.R. & Pottier, E., 2001, **Quantitative Comparison of Classification Capability: Fully Polarimetric Versus Dual and Single-polarization SAR**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(11), PP. 2343-2351.
- Lee, J.S., Grunes, M.R., Pottier, E. & Ferro-Famil, L., 2004, **Unsupervised Terrain Classification Preserving Polarimetric Scattering Characteristics**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42(4), PP. 722-731.
- رفتار مؤلفه‌انتروپیی دوپولاریمتریک HH-HV، در کلاس‌های متفاوت پوشش زمین، نشان می‌دهد که مقادیر انتروپیی بسیار گسترده و در اغلب موارد، از حالت تمام‌پولاریمتریک بالاتر است. در تمامی کلاس‌های پوشش اراضی، در مقادیر انتروپیی متوسط (۰.۳ تا ۰.۸) بیشترین میزان تطابق مشاهده می‌شود. اختلاف معناداری بین مقادیر خطای مطلق میانگین، در کلاس‌های متفاوت پوشش اراضی، وجود ندارد و میان مقادیر انتروپیی تمامی کلاس‌های پوشش زمین، در حالت HH-HV با حالت تمام‌پولاریمتریک، انطباق خوبی وجود دارد.
- به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که بهترین ترکیب باندی، برای جایگزینی حالت تمام‌پولاریمتریک، ترکیب دوپولاریمتریک HH-HV است. همچنین، به‌علت درک پدیده تغییر قطبش، وجود باندهای غیرهم‌قطب ضروری است. از بین کلاس‌های متفاوت پوشش اراضی نیز، مقادیر آلفای دوپولاریمتریک HH-HV، در کلاس آب، انطباق بیشتری با حالت تمام‌پولاریمتریک دارد.

۵- سپاسگزاری

تصویر آلوس/ پالسار به‌کاررفته در این پژوهش از سایت آژانس فضایی اروپا، به‌رایگان، دریافت شده است.

۶- منابع

- Ainsworth, T.L., Kelly, J.P. & Lee, J.S., 2009, **Classification Comparisons between Dual-pol, Compact Polarimetric and Quad-pol SAR Imagery**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(5), PP. 464-471.
- Cloude, S., 2007, **The Dual Polarization Entropy/Alpha Decomposition: A PALSAR Case Study**, Science and Applications of SAR Polarimetry and Polarimetric Interferometry, Vol. 644.
- Cloude, S.R. & Pottier, E., 1996, **A review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry**, IEEE Transactions on

- Łoś, H., Osńska-Skotak, K., Pluto-Kossakowska, J., Bernier, M., Gauthier, Y. & Pawłowski, B., 2019, **Performance Evaluation of Quad-pol Data Compare to Dual-pol SAR Data for River Ice Classification**, European Journal of Remote Sensing, 52(sup1), PP. 79-95.
- Shan, Z., Wang, C., Zhang, H. & Chen, J., 2011, **H-alpha Decomposition and Alternative Parameters for Dual Polarization SAR Data**, Proc. PIERS, SuZhou, China.
- Simioni, J.P.D., Guasselli, L.A., Nascimento, V.F., Ruiz, L.F.C. & Belloli, T.F., 2019, **Integration of Multi-sensor Analysis and Decision Tree for Evaluation of Dual and Quad-Pol SAR in L-and C-bands Applied for Marsh Delineation**, Environment, Development and Sustainability, 1-18.
- Sugimoto, M., Ouchi, K. & Nakamura, Y., 2013, **On the Similarity between Dual-and Quad-eigenvalue Analysis in SAR Polarimetry**, Remote Sensing Letters, 4(10), PP. 956-964.
- Touzi, R., Goze, S., Le Toan, T., Lopes, A. & Mougin, E., 1992, **Polarimetric Discriminators for SAR Images**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30(5), PP. 973-980.
- Turkar, V., Deo, R., Hariharan, S. & Rao, Y.S., 2011, **Comparison of Classification Accuracy between Fully Polarimetric and Dual-polarization SAR Images**, In 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, PP. 440-443.
- Van Zyl, J.J., 1989, **Unsupervised Classification of Scattering Behavior Using Radar Polarimetry Data**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 27(1), PP. 36-45.
- Xie, L., Zhang, H., Wang, C. & Shan, Z., 2015, **Similarity Analysis of Entropy/alpha Decomposition between HH/VV Dual-and Quad-polarization SAR Data**, Remote Sensing Letters, 6(3), PP. 228-237.
- Yamaguchi, Y., Moriyama, T., Ishido, M. & Yamada, H., 2005, **Four-component Scattering Model for Polarimetric SAR Image Decomposition**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 43(8), PP. 1699-1706.