

تجزیه داده‌های پلاریمتری رادار با روزنه مصنوعی بر مبنای امضاءهای پلاریمتریک و مدل‌های ساختار پراکندگی مرجع

یاسر مقصودی^{۱*}، سعید طالقانی^۲

۱- استادیار، ۲- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(دریافت: ۹۵/۰۳/۲۲؛ پذیرش: ۹۶/۰۲/۱۱)

چکیده

تجزیه داده‌های پلاریمتری یکی از گام‌های مهم در تجزیه و تحلیل داده‌های راداری با روزنه مصنوعی می‌باشد. در روش‌های پیشین تنها از اطلاعات یک پایه پلاریزاسیون مشخص استفاده شده است. در این تحقیق، یک روش جدید برای تجزیه داده‌های راداری بر مبنای امضاء پلاریمتریک ارائه می‌شود. الگوریتم پیشنهادی دارای دو گام اصلی انتخاب امضاء پلاریمتریک مرجع و تعیین سهم ساختارهای پراکندگی مرجع می‌باشد. در این تحقیق، از داده‌های تمام پلاریمتریک سنجنده Radarsat2 مربوط به شهر سانفرانسیسکو واقع در ایالت کالیفرنیا آمریکا و شهر نیگاتا ژاپن مربوط به سنجنده Pi-SAR که به ترتیب در طول موج‌های C و L اخذ شده‌اند، استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی با چهار روش تجزیه Y40، Y4R، NNED-Arii و Freeman مقایسه شده است. با توجه به نتایج حاصل شده در روش پیشنهادی، شاهد کاهش برآورد بیش از اندازه ساختار پراکندگی حجمی و افزایش ساختار پراکندگی دووجهی در مناطق شهری به‌خصوص در مناطق با زاویه جهت‌گیری زیاد نسبت به پرتو رادار هستیم. همچنین از آنجایی که مقادیر توان تجزیه‌شده با استفاده از روش پیشنهادی همواره مثبت می‌باشند، بنابراین مشکل منفی شدن توان حاصل شده مطرح نمی‌باشد.

واژگان کلیدی

رادار پلاریمتری با روزنه مصنوعی، امضاء پلاریمتریک، تجزیه، سهم ساختار پراکندگی

۱- مقدمه

به دو گروه کلی مدل-مبنا و مقدار/بردار ویژه-مبنا تقسیم‌بندی کرد [۵] که در سال‌های اخیر تجزیه‌کننده‌های ناهمدوس مدل-مبنا بسیار مورد توجه بوده است. این تجزیه‌کننده‌ها دارای دو محدودیت وجود مقدار انرژی منفی حاصل شده در تجزیه و همچنین برآورد بیش از اندازه سهم ساختار پراکندگی حجمی هستند. در راستای همین مشکلات تحقیقاتی نیز صورت گرفت [۵-۷]. در تحقیق ارائه شده، برای برطرف نمودن محدودیت‌های ذکر شده از امضاء پلاریمتریک و طبقه‌بندی آن به ساختارهای پراکندگی مرجع استفاده شده است.

۲- مبانی نظری پژوهش

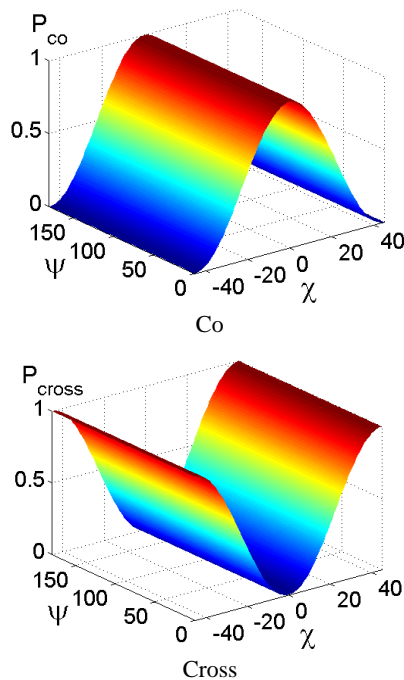
در این بخش مبانی امضاء پلاریمتریک و امضای پلاریمتریک اهداف به صورت مختصر بیان خواهند گردید.

۲-۱- امضای پلاریمتریک

پاسخ اهداف ثبت شده در داده‌های پلاریمتری تنها در یک پایه

در فناوری سنجنش از دور استفاده از حسگرهای فعال به دلیل نبودن محدودیت‌های آب و هوایی و توانایی اخذ داده در تمام طول روز، گسترش یافته است. رادار پلاریمتری با روزنه مصنوعی در زمینه‌های مختلف کاربرد دارد [۱] و تجزیه داده‌های پلاریمتری یکی از گام مهم در فرآیند پردازش داده‌های پلاریمتری می‌باشد. الگوریتم‌های تجزیه به تفسیر فرآیند پراکنش و اطلاعات فیزیکی موجود در مشاهدات پراکنشی مرتبط با سطوح مختلف کمک می‌کند که بر مبنای نوع ماتریسی که در آن‌ها استفاده می‌شود می‌توان الگوریتم‌های تجزیه را به دو دسته همدوس و ناهمدوس تقسیم‌بندی کرد [۲]. ویژگی‌های تجزیه همدوس براساس ماتریس پراکندگی مانند تجزیه‌کننده [۳] Cameron و ویژگی‌های تجزیه ناهمدوس براساس ماتریس‌های هم‌بستگی یا کوواریانس مانند تجزیه‌کننده [۴] Freeman می‌باشند. روش‌های تجزیه‌کننده ناهمدوس را می‌توان به طور کلی

شکل امضاء پلاریمتریکی این مدل سطحی برای هر دو حالت هم‌نام و عمود برهم در شکل (۱) نشان داده شده است. این تعریف از امضاء پلاریمتریکی در طبیعت به‌ندرت وجود خواهد داشت (نیاز به برآورده‌شدن فرض‌های اولیه است) و همچنین ساختار پراکندگی سطحی وابسته به ضریب گذردهی الکتریکی سطح و زاویه فرود پرتو رادار می‌باشد.



شکل (۱): امضاء پلاریمتریکی ساختار پراکندگی سطحی صفحه فلزی

برای ساختار پراکندگی سطحی از مدل براگ استفاده شده است که در آن، ρ_H و ρ_V به ترتیب ضرایب فرسnel افقی و عمودی می‌باشند [۱۳، ۱۴]:

$$S = \begin{bmatrix} \rho_H & 0 \\ 0 & \rho_V \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\rho_H = \frac{\cos \varphi - \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2 \varphi}}{\cos \varphi + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2 \varphi}} \quad (4)$$

$$\rho_V = \frac{(\varepsilon_r - 1)\{\sin^2 \varphi - \varepsilon_r(1 + \sin^2 \varphi)\}}{(\varepsilon_r \cos \varphi + \sqrt{\varepsilon_r - \sin^2 \varphi})^2} \quad (5)$$

که در آن، φ زاویه فرود محلی و ε_r ثابت گذردهی الکتریکی می‌باشند. برای بیش‌تر سطوح طبیعی مقدار حقیقی ثابت گذردهی خیلی بیش‌تر از مقدار موهومی آن می‌باشد [۷]. بنابراین، مقدار عددی ε_r ، ρ_H و ρ_V تقریباً مقداری واقعی خواهد بود. با بررسی امضاءهای پلاریمتریکی با مقادیر مختلف زاویه فرود و ثابت گذردهی الکتریکی، الگوهای بسیار پرتکرار به‌عنوان امضاءهای پلاریمتریکی پراکندگی سطحی انتخاب گردیدند. امضاءهای پلاریمتریکی شکل‌های (۱) و (۲) به‌عنوان امضاءهای پلاریمتریکی ساختار پراکندگی سطحی در نظر گرفته می‌شوند.

پلاریزاسیون می‌باشد اما می‌توان تنها با یک انتقال ریاضی ساده و بدون اضافه‌کردن هرگونه اندازه‌گیری، پاسخ اهداف را برای هر پایه پلاریزاسیون محاسبه نمود [۸]. امضاء پلاریمتریکی برای اولین بار توسط VanZyl معرفی گردید [۸] که یک نمایش گرافیکی از توان بازگشتی از هدف نسبت به موج ارسالی در پایه‌های پلاریزاسیون مختلف می‌باشد. محورهای افقی این نمایش گرافیکی را زاویه بیضویت و زاویه جهت‌گیری و همچنین محور سوم را نیز توان بازگشتی تشکیل می‌دهند. توان بازگشتی تابعی از پلاریزاسیون موج ارسالی و موج دریافتی است که می‌توان به صورت زیر بیان نمود [۸]:

$$\sigma(\chi_r, \psi_r, \chi_t, \psi_t) \quad (1)$$

$$= \frac{4\pi}{k^2} \begin{pmatrix} \cos 2\chi_r & \cos 2\psi_r \\ \cos 2\chi_r & \sin 2\psi_r \\ \sin 2\chi_r & \end{pmatrix} [M] \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\chi_t & \cos 2\psi_t \\ \cos 2\chi_t & \sin 2\psi_t \\ \sin 2\chi_t & \end{pmatrix}$$

که در آن، k ، χ و ψ به ترتیب عدد موج، زاویه بیضویت و زاویه جهت‌گیری می‌باشند. همچنین علامت‌های r و t نشان دهنده موج دریافتی و موج ارسالی می‌باشد. تغییرات زاویه بیضویت بین -45 تا $+45$ و بازه تغییرات زاویه جهت‌گیری بین صفر تا 180 درجه می‌باشد. امضاء پلاریمتریکی به دو صورت هم‌نام و عمود برهم می‌باشد که در حالت هم‌نام، پلاریزاسیون موج ارسالی با پلاریزاسیون موج بازگشتی همانند فرض می‌شود که به آن کوپلاریزه می‌گویند. اما در حالت عمود برهم، پلاریزاسیون موج بازگشتی عمود بر موج ارسالی فرض می‌شود که به آن کراس پلاریزه گفته می‌شود. به‌طور کلی، روش‌های استخراج اطلاعات از امضاء پلاریمتریکی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد [۹]:

- (۱) استخراج اطلاعات کمی مانند ارتفاع پدستال (PH) [۱۰]
- (۲) استخراج اطلاعات کیفی و تفسیر دیداری [۱۱]
- (۳) استفاده از الگوریتم‌های شناسایی الگو [۱۲].

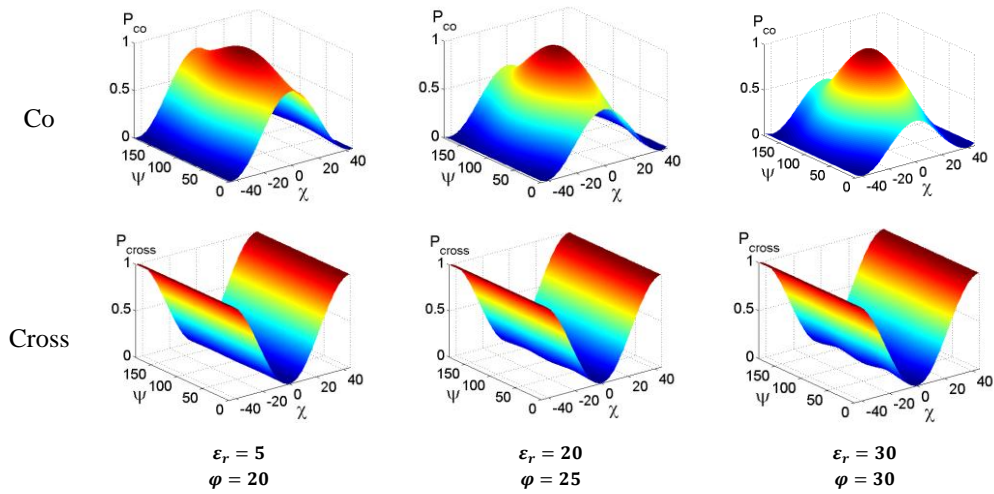
۲-۲- امضاءهای پلاریمتریکی ساختار پراکندگی‌های مرجع

در ادامه نگاهی به ساختارهای پراکندگی مرجع و امضاءهای پلاریمتریکی آن‌ها خواهیم داشت.

۲-۲-۱- مدل ساختار پراکندگی سطحی

با فرض این‌که یک صفحه فلزی بزرگ قرار داده‌شده در زوایای عمود بر پرتو رادار وجود داشته باشد، یک پرتو پلاریزه خطی فرودی بر روی چنین صفحه‌ای کاملاً بازتاب داده خواهد شد. بنابراین، می‌توان ماتریس پراکندگی آن‌را به شکل زیر نوشت [۱]:

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$



شکل (۲): امضاهای پلاریمتریک الگوهای پر تکرار مدل سطحی براگ

ناچیز می‌باشد.

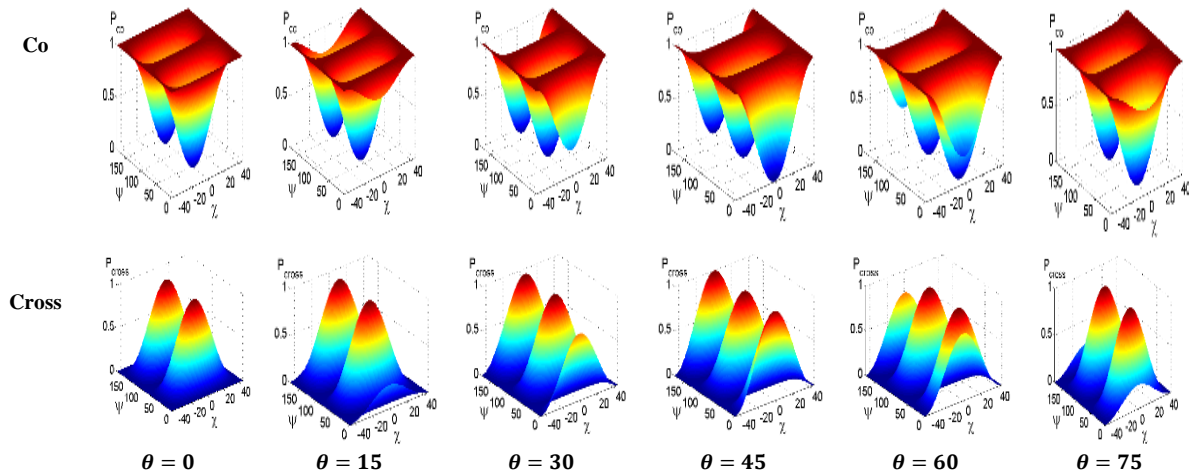
به همین منظور، بازه تغییرات زاویه θ در این تحقیق برابر با ۱۵ درجه در نظر گرفته شده است. همچنین، رفتار امضاء پلاریمتریک در بازه $[0^\circ \ 90^\circ]$ برابر با $[90^\circ \ 180^\circ]$ می‌باشد. بنابراین، امضاهای پلاریمتریک در بازه زاویه‌ای $[0^\circ \ 90^\circ]$ انتخاب گردیده‌اند. شکل (۳) امضاهای پلاریمتریک ذکر شده را نشان می‌دهد. شایان ذکر است ساختار پراکندگی دووجهی ذکر شده به صورت تئوریک بوده در حالی که در مناطق مطالعاتی، ساختار پراکندگی دووجهی متأثر از زاویه فرود موج ارسالی و ثابت گذردهی الکتریکی سطوح می‌باشد.

۲-۲-۲- مدل ساختار پراکندگی دووجهی

ساختار پراکندگی یک دووجهی به پراکنش دو انعکاسی یا زوج مانند زمین و تنه درخت اشاره دارد. هنگامی که یک دووجهی فلزی در راستای پرتو رادار قرار داشته باشد، رابطه (۶) ماتریس پراکندگی دووجهی دوران داده شده را نشان می‌دهد.

$$S' = \begin{bmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

که در آن، θ زاویه قرارگیری تارگت نسبت به پرتو رادار می‌باشد. با تغییر زاویه θ امضاء پلاریمتریک دووجهی فلزی نیز تغییر می‌کند اما این تغییرات برای تغییرات کوچک زاویه θ بسیار



شکل (۳): امضاهای پلاریمتریک دو وجهی تئوریک

عمود بر زمین می‌باشد. شایان ذکر است در روابط (۹-۸) زاویه فرود بر سطح عمود بر زمین برابر متمم زاویه فرود موج ارسالی در سطح زمین می‌باشد [۱۰].

با توجه به این نکته، ماتریس پراکندگی دووجهی به صورت رابطه (۷) بیان می‌شود [۱۰] که در آن ρ_{Gh} و ρ_{Gv} برابر ضرایب بازتاب در حالت پلاریزاسیون افقی و عمودی برای سطح زمین هستند در حالی که ρ_{Th} و ρ_{Tv} ضرایب بازتاب مربوط به سطح

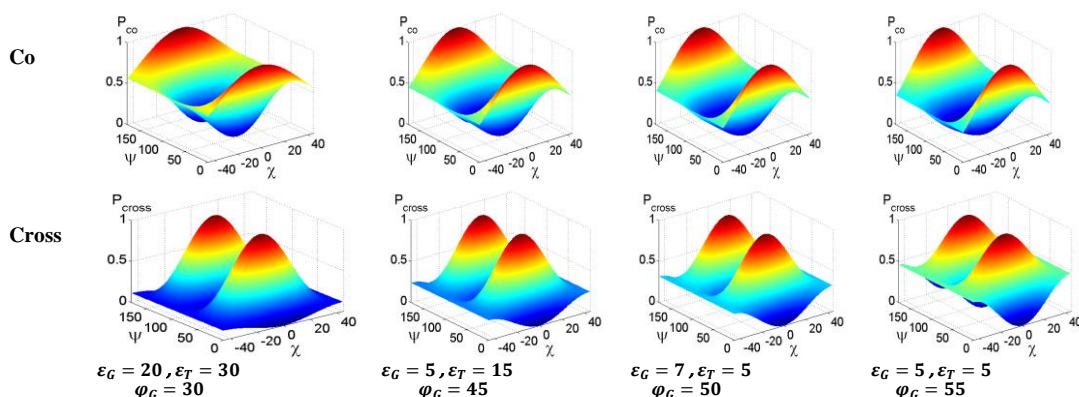
زوایای فرود و ثابت‌های گذردهی مختلف مشاهده گردید که الگوهای نشان داده شده در شکل (۴) پرتکرار می‌باشند. به همین منظور، امضاءهای پلاریمتریک این الگوها و همچنین امضاءهای دووجهی تئوریک نمایش داده شده در شکل (۳) به‌عنوان مرجع ساختار پراکندگی دووجهی انتخاب گردیدند.

$$S = \begin{bmatrix} \rho_{Th}\rho_{Gh} & 0 \\ 0 & -\rho_{Tv}\rho_{Gv} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\rho_{iH} = \frac{\cos \varphi_i - \sqrt{\varepsilon_i - \sin^2 \varphi_i}}{\cos \varphi_i + \sqrt{\varepsilon_i - \sin^2 \varphi_i}} \quad (8)$$

$$\rho_{iv} = \frac{-\varepsilon_i \cos \varphi_i + \sqrt{\varepsilon_i - \sin^2 \varphi_i}}{\varepsilon_i \cos \varphi_i + \sqrt{\varepsilon_i - \sin^2 \varphi_i}} \quad (9)$$

با استفاده از روابط (۷) - (۹) و بررسی حالات مختلف به ازای



شکل (۴): امضاءهای پلاریمتریک دو وجهی الگوهای پرتکرار

۲-۲-۴- ساختار پراکندگی حجمی

مدل پراکندگی حجمی معمولاً توسط ابری از پراکنده‌کننده‌های استوانه‌ای نازک (دو قطبی) جهت‌دار مدل می‌شود [۱ و ۱۰]. ماتریس پراکندگی یک دو قطبی که دارای زاویه قرارگیری θ نسبت به پرتو رادار می‌باشد در معادله (۱۱) نشان داده شده است. امضاءهای پلاریمتریک دو قطبی در زوایای مختلف در شکل (۶) نشان داده شده است که به‌عنوان ساختار پراکندگی حجمی مرجع در نظر گرفته می‌شوند.

$$S' = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & 0.5 \sin 2\theta \\ 0.5 \sin 2\theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix}$$

مدل دو قطبی با این فرض بوده است که ضخامت استوانه نسبت به طول موج رادار نازک باشد اما در صورتی که ضخامت استوانه نسبت به طول موج رادار نازک نباشد، شاهد افزایش مقدار S_{HH} هستیم [۱۵]. بنابراین، از مدل استوانه‌ای Cameron نیز به‌عنوان مدل حجمی استفاده شده است [۳]. ماتریس پراکندگی برای مدل استوانه‌ای به‌صورت معادله (۱۲) می‌باشد. همچنین امضاءهای پلاریمتریک این مدل استوانه‌ای نیز در شکل (۷) نمایش داده شده است.

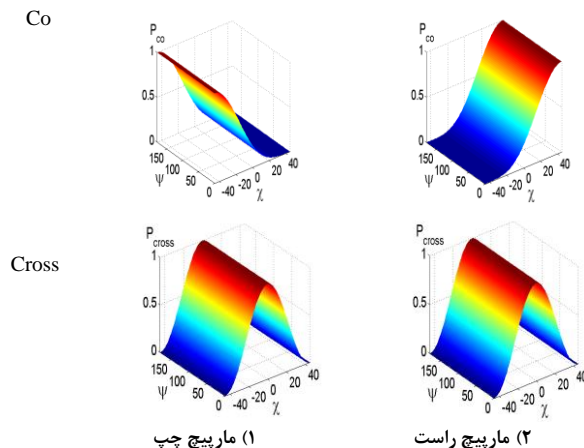
$$S' = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos^2 \theta + 0.5 \sin^2 \theta & 0.5 \sin \theta \cos \theta \\ 0.5 \sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta + 0.5 \cos^2 \theta \end{bmatrix}$$

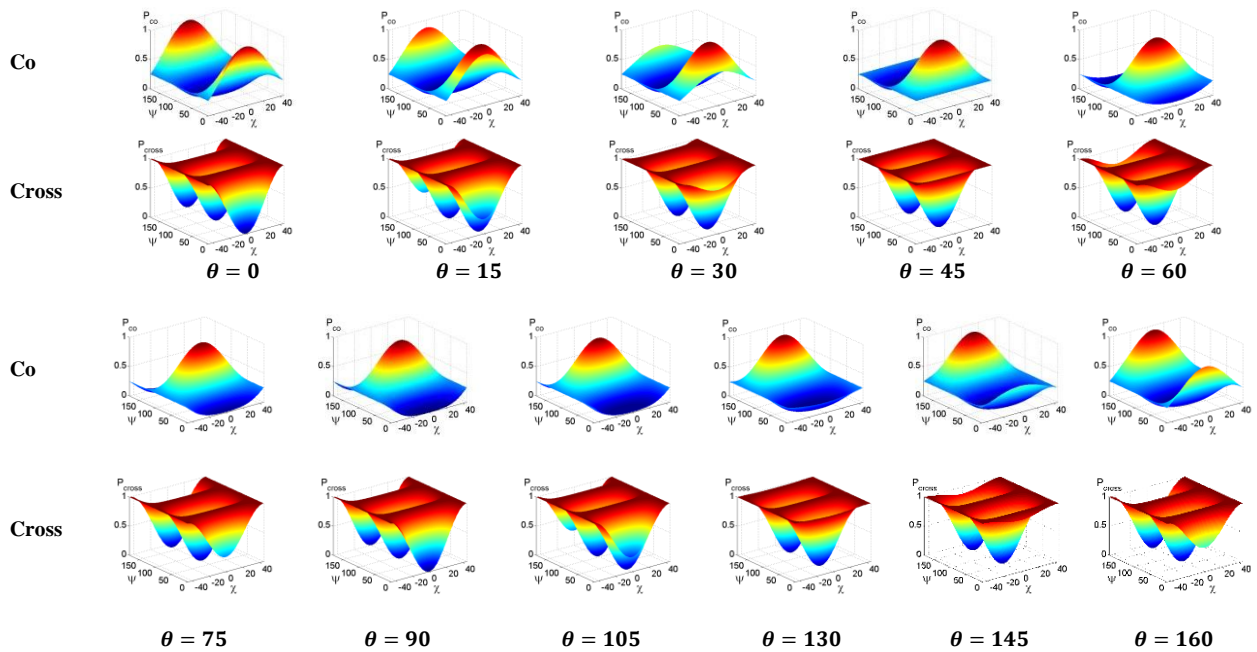
۲-۲-۳- مدل ساختار پراکندگی ماریچ

ساختار پراکندگی مرجع ماریچ به دو صورت ماریچ راست و ماریچ چپ می‌باشد و همچنین این ساختار پراکندگی تحت تأثیر ضریب گذردهی و زاویه فرود نمی‌باشد. رابطه (۱۰) ماتریس پراکندگی ساختار پراکندگی ماریچ و شکل (۵) امضاء پلاریمتریک ماریچ راست و ماریچ چپ را نمایش می‌دهد. ز نشان‌گر عدد موهومی است و اگر علامت آن + باشد نوع ماریچ، ماریچ راست و اگر - باشد، ماریچ چپ می‌باشد.

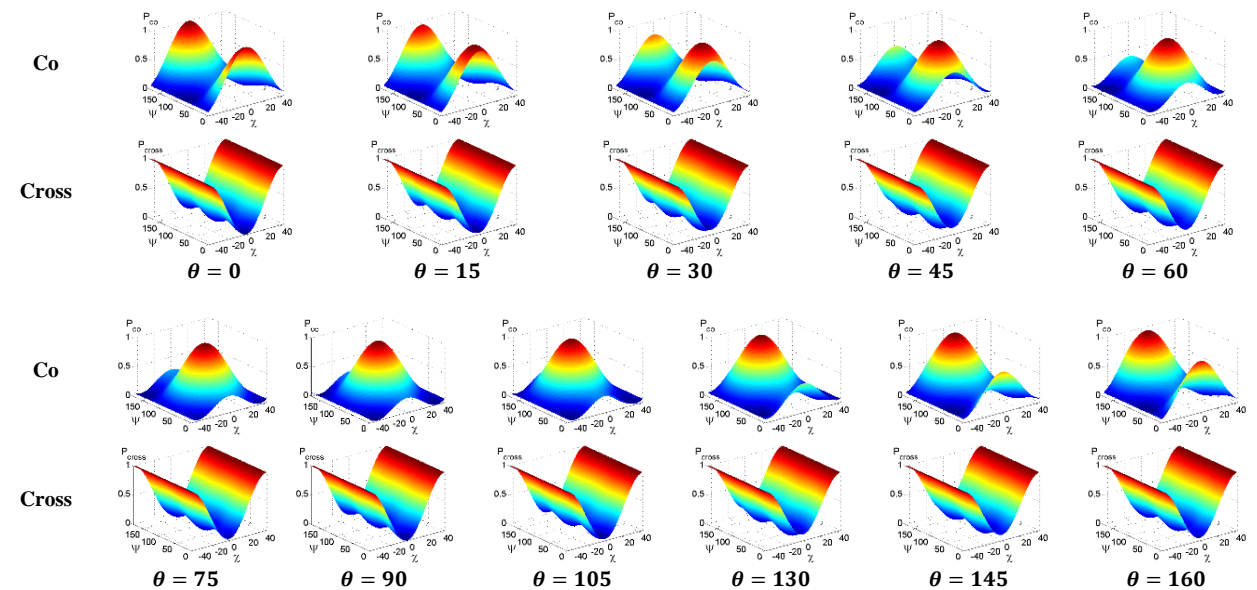
$$S = \frac{e^{-2j\theta}}{2} \begin{bmatrix} 1 & \pm j \\ \pm j & -1 \end{bmatrix} \quad (10)$$



شکل (۵): امضاء پلاریمتریک ماریچ



شکل (۶): امضاءهای پلاریمتریک حجمی حاصل از دوقطبی



شکل (۷): امضاءهای پلاریمتریک حجمی حاصل از مدل استوانه‌ای

دوقطبی‌ها نتایج حاصل شده از دقت خوبی برخوردار نیستند، به همین منظور آقای Yamaguchi و همکارانش با عدم چنین فرضی و استفاده از تمامی درایه‌های ماتریس کوواریانس یک روش تجزیه چهار عضوی را ارائه نمودند که عضو چهارم در این روش پراکندگی ماریچ می‌باشد. پراکندگی ماریچ در مناطق دست‌ساز بشر با شکل و ساختار پیچیده رخ می‌دهد که می‌تواند ویژگی مناسبی برای مطالعه مناطق شهری باشد. این روش به اختصار با عنوان Y40 شناخته می‌شود [۱۶]. نتایج حاصله در مناطق شهری دارای دقت بالاتری نسبت به روش Freeman-Durden بودند اما در مناطق شهری با زاویه جهت‌گیری زیاد نسبت به پرتو

۳- روش پیشنهادی تجزیه داده‌های پلاریمتری

براساس امضاء پلاریمتریک

همان‌گونه که اشاره گردید، روش‌های تجزیه غیرهمدوس به دلیل سادگی و هم‌چنین تعبیر مستقیم فیزیکی پراکندگی‌های حاصل بسیار مورد توجه بوده‌اند. روش تجزیه Freeman-Durden [۱] با فرض تقارن محوری^۱، با تجزیه ماتریس کوواریانس پیکسل به ۳ ماتریس از پیش تعیین شده پراکندگی حجمی، سطحی و دووجهی و به دست آوردن ضرایب مربوطه، سهم هر پراکندگی را محاسبه می‌کند. براساس فرض تقارن محوری و توزیع یکنواخت

1- Reflection symmetry

تحقیق، از معیار هم‌بستگی طیفی^۱ (SCM) به‌منظور اندازه‌گیری شباهت بین امضاءهای پلاریمتریک استفاده‌شده است [۱۹]. معیار هم‌بستگی طیفی از ضریب همبستگی پواسون^۲ حاصل می‌شود و مقدار آن بین -۱ تا +۱ متغیر می‌باشد.

$$SCM = \frac{n \sum_1^n PS_1 PS_2 - \sum_1^n PS_1 \sum_1^n PS_2}{\sqrt{[n \sum_1^n PS_1^2 - (\sum_1^n PS_1)^2][n \sum_1^n PS_2^2 - (\sum_1^n PS_2)^2]}} \quad (۱۳)$$

در معیار SCM، PS و n به ترتیب بیان‌گر امضاء پلاریمتریک و تعداد پایه‌های پلاریزاسیون آن می‌باشند. در ابتدا، قبل از محاسبه SCM باید امضاء پلاریمتریک پیکسل بین ۰ تا ۱ نرمالیزه شود زیرا تمامی مراجع بین این دو مقدار نرمالیزه شده‌اند.

برای هر پیکسل، تنها یک امضاء پلاریمتریک از بین امضاءهای موجود در هر مرجع باید به عنوان معرف آن مرجع انتخاب گردد. به همین منظور، امضاء پلاریمتریک در هر مرجع که دارای بیش‌ترین مقدار SCM با امضاء پلاریمتریک پیکسل باشد، آن امضاء به‌عنوان آن مرجع انتخاب می‌گردد. این فرآیند برای امضاءهای Co و Cross به‌صورت مستقل و جدا از هم صورت می‌گیرد. شکل (۸) فلوجارت گام اول را نشان می‌دهد.

در تحقیق [۹] نیز از معیار شباهت SCM نیز استفاده‌شده است اما هدف در آن، طبقه‌بندی داده‌های به کلاس‌های از پیش تعیین‌شده می‌باشد. در تحقیق صورت‌گرفته در [۹] به دلیل طبقه‌بندی داده‌های پلاریمتری، تأثیر زاویه فرود محلی موج ارسالی، ضریب گذردهی الکتریکی و ارتفاع پدستال در تصمیم‌گیری پایه‌های پلاریزاسیون در نظر گرفته نشده است و این در صورتی است که عوامل ذکرشده در تعیین سهم ساختارهای پراکندگی‌های مراجع، تأثیرگذار بوده و در این تحقیق تأثیر آن‌ها بررسی و اعمال گردیده است.

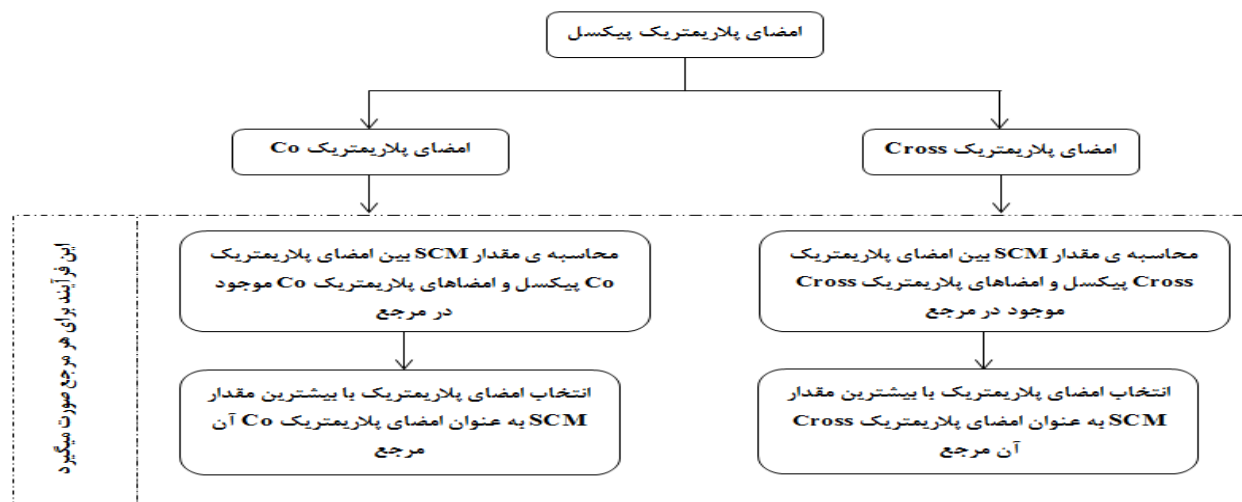
رادار هنوز شاهد برآورد بیش از اندازه پراکنش حجمی هستیم. آقای Yamaguchi و همکارانش به‌منظور کاهش این اثر از تصحیح اثر دوران استفاده کردند که این روش جدید به اختصار با عنوان Y4R شناخته می‌شود [۱۷]. نتایج حاصله با استفاده از روش Y4R نشان‌دهنده کاهش مقدار برآورد بیش از اندازه پراکنش حجمی در مناطق شهری بوده است. به‌منظور به‌دست آوردن نتایج حاصل از الگوریتم تجزیه با دقت بالاتر در مناطق پوشیده از گیاهان، آقای Arii و همکارانش یک روش تجزیه براساس مقادیر ویژه پیشنهاد نمودند [۶]. در روش پیشنهادی مدل پراکندگی حجمی با استفاده از زاویه غالب جهت‌گیری دوقطبی‌ها و میزان درجه تصادفی بودن تعیین می‌شود. با استفاده از این روش، افزایش دقت نتایج حاصل در مناطق جنگلی مشاهده شده است.

به‌منظور بهبود محدودیت‌های ذکرشده در روش‌های پیشین تجزیه، در این تحقیق سعی بر ارتقاء نتایج با استفاده از امضاء پلاریمتریک شده است. روش پیشنهادی دارای دو گام اصلی می‌باشد:

گام اول) انتخاب تنها یک امضاء پلاریمتریک در هر مرجع به‌عنوان معرف آن مرجع
گام دوم) تعیین سهم هر ساختار پراکندگی مرجع با استفاده از امضاءهای پلاریمتریک انتخاب‌شده در گام اول.

۳-۱- انتخاب امضاءهای پلاریمتریک مرجع

چندین روش به‌منظور تجزیه امضاء پلاریمتریک وجود دارد [۹] مانند استخراج معیارها از امضاء پلاریمتریک، ارزیابی کمی شباهت بین امضاء پلاریمتریک پیکسل و امضاء پلاریمتریک مراجع استاندارد. در تحقیقات قبلی، روش‌های تشخیص مطابقت الگو به‌منظور تشخیص و اندازه‌گیری شباهت بین امضاء پلاریمتریک مورد استفاده قرار گرفته است [۹، ۱۸]. در این



شکل (۸): فلوجارت گام اول روش پیشنهادی

۲-۳- تعیین سهم هر پراکندگی مرجع

پس از مشخص شدن تنها یک امضاء پلاریمتریک در هر مرجع، به‌منظور تعیین سهم هر ساختار پراکندگی مرجع در پیکسل، امضاء پلاریمتریک پیکسل طبقه‌بندی می‌شود. در ابتدا اگر هر یک از مراجع انتخاب‌شده در گام قبلی دارای مقدار منفی SCM با امضاء پلاریمتریک باشد، مقدار سهم آن برابر صفر در نظر گرفته می‌شود زیرا مقدار منفی SCM نشان‌دهنده هم‌بستگی معکوس است. امضاء پلاریمتریک شامل 91×181 پایه پلاریزاسیون است. به‌منظور طبقه‌بندی امضاء پلاریمتریک پیکسل، فاصله اقلیدسی هر پایه پلاریزاسیون امضاء پلاریمتریک پیکسل با پایه‌های پلاریزاسیون متناظر در هر چهار مرجع مقایسه می‌شود و پایه پلاریزاسیون متعلق به مرجعی است که دارای کم‌ترین فاصله با آن مرجع باشد. رابطه (۱۴) نشان‌دهنده فاصله اقلیدسی استفاده‌شده می‌باشد که در آن، قدر مطلق اختلاف مقدار عددی پایه پلاریزاسیون پیکسل و مرجع مورد نظر در پایه پلاریزاسیون φ, τ به دست می‌آید.

$$ED(PPS, RPS_{reference})_{\varphi, \tau} = \left| \text{Polarization value}_{\text{pixel}} - \text{Polarization value}_{\text{reference}} \right| \quad (14)$$

به دلیل شباهت امضاءهای پلاریمتریک مراجع به یکدیگر، در برخی پایه‌های پلاریزاسیون این فاصله اقلیدسی بسیار به هم نزدیک هستند و اختلاف بین فاصله اقلیدسی حاصل‌شده کم هست در نتیجه، تصمیم‌گیری با استفاده از فاصله اقلیدسی دشوار می‌باشد. بدین منظور، در مورد این پایه‌های پلاریزاسیون که اختلاف بین فاصله اقلیدسی دو مرجع نزدیک به یکدیگر کم‌تر از 0.4 بوده باشد، از دو معیار ارتفاع پدستال امضاء پلاریمتریک پیکسل و معیار شباهت SCM استفاده‌شده است. اگر دو مرجع که دارای فاصله اقلیدسی بسیار نزدیک به هم در پایه پلاریزاسیون موردنظر هستند، غیر حجمی باشند، آن پایه پلاریزاسیون متعلق به مرجعی است که دارای بیش‌ترین مقدار SCM با امضاء پلاریمتریک پیکسل باشد. اما اگر یکی از مراجع مرجع ساختار پراکندگی حجمی باشد، از معیار ارتفاع پدستال امضاء پلاریمتریک پیکسل استفاده می‌شود. اگر ارتفاع پدستال امضاء پلاریمتریک پیکسل از یک حد آستانه‌ای کم‌تر باشد، پایه پلاریزاسیون موردنظر متعلق به مرجع غیر حجمی می‌باشد و در

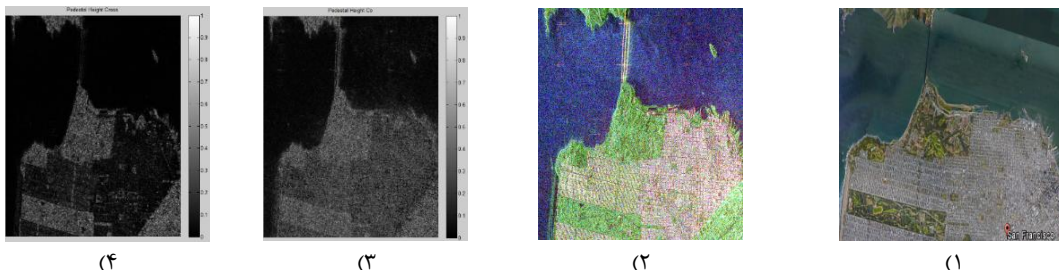
غیر این صورت، متعلق به مرجع حجمی می‌باشد. مقدار این حد آستانه از رابطه (۱۵) به دست می‌آید:

$$(15) \quad \text{میانگین ارتفاع پدستال کل تصویر} = \text{حد آستانه}$$

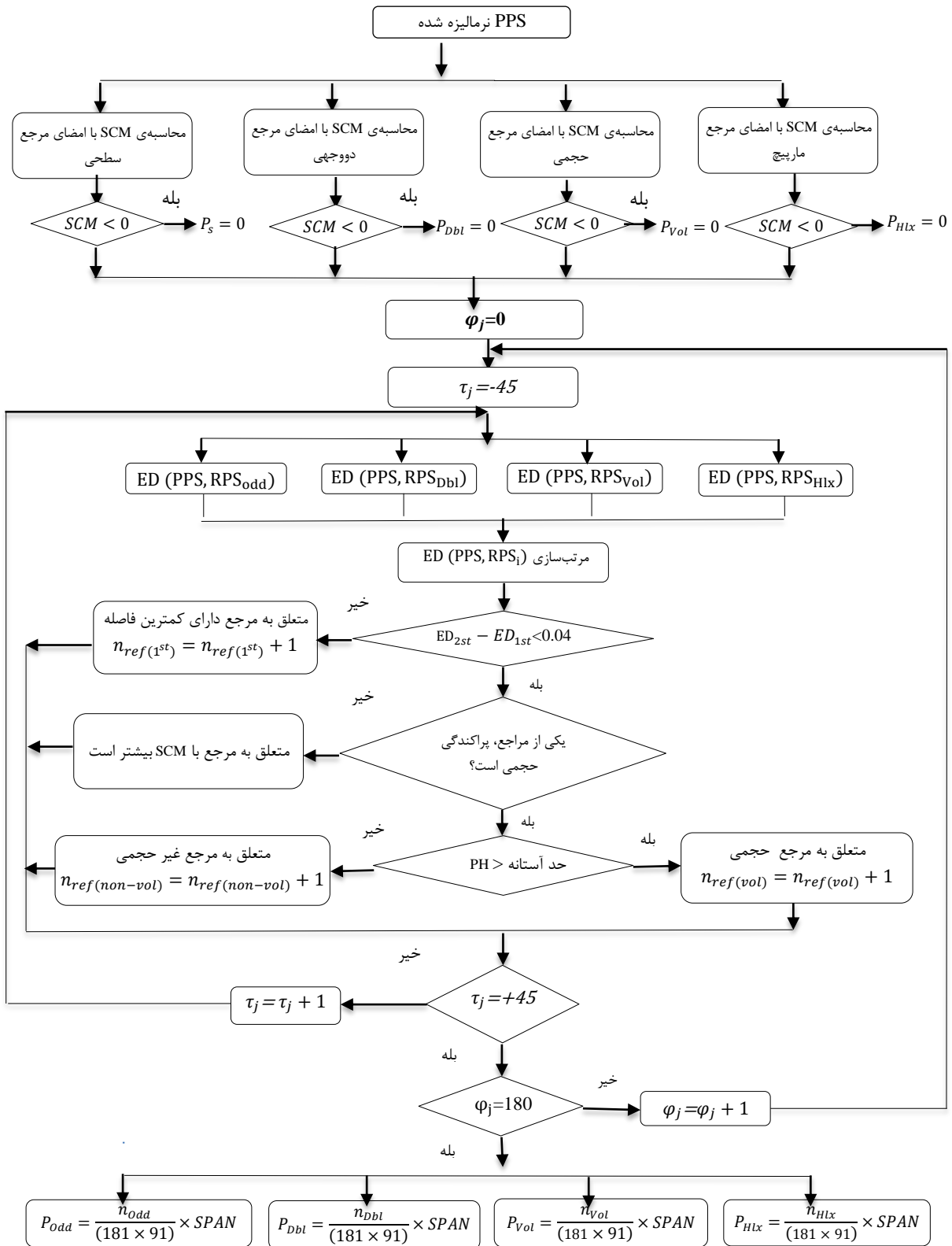
انحراف معیار استاندارد ارتفاع پدستال کل تصویر +

در تحقیق [۹]، از فاصله اقلیدسی حاصل از اختلاف تمامی پایه‌های پلاریزاسیون به‌عنوان معیار شباهت استفاده‌شده است که تأثیر پایه‌های پلاریزاسیون مشابه به یک اندازه در نظر گرفته‌شده است. هم‌چنین در [۹] بیان گردیده است که معیارهای استفاده‌شده قادر به تفکیک بین امضاءهای پلاریمتریک پراکندگی‌های حجمی و سطحی با دقت مناسب نمی‌باشند. به همین منظور، از معیارهایی به‌غیر از توان بازگشتی استفاده‌شده است. در صورتی که هدف از الگوریتم‌های تجزیه، تجزیه توان بازگشتی به ساختارهای پراکندگی مرجع می‌باشد.

شکل (۱-۹) تا (۴-۹) تصویر Google Earth شهر سانفرانسیسکو واقع در ایالت کالیفرنیا آمریکا، تصویر پائولی سنجنده RADARSAT-2 منطقه، ارتفاع پدستال حاصل از امضاء پلاریمتریک Cross و Co را نشان می‌دهد. با توجه به منطقه مطالعاتی و شکل (۳-۹) تا (۴-۹) به‌وضوح مشخص است که ارتفاع پدستال حاصل از امضاء پلاریمتریک Cross تفکیک‌پذیری مناسب‌تری بین عوارض جنگلی و عوارض غیر جنگلی دارد. بنابراین در این تحقیق، از ارتفاع پدستال امضاء پلاریمتریک Cross پیکسل (CPH) استفاده‌شده است. پس از طبقه‌بندی تمامی پایه‌های پلاریزاسیون به مراجع، مقدار سهم هر مرجع با توجه به تعداد پایه‌های پلاریزاسیون تعلق‌گرفته به آن مرجع و تعداد کل پایه‌های پلاریزاسیون امضاء پلاریمتریک تعیین می‌شود. شکل (۱۰) فلوجارت گام دوم روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در این فلوجارت، φ, τ به ترتیب نشان‌دهنده زاویه بیضویت و زاویه جهت‌گیری هستند. میزان سهم ساختار پراکندگی سطحی، دووجهی، حجمی و مارپیچ به ترتیب با نمادهای P_S, P_{Dbi}, P_{Vol} و P_{Hix} نشان داده‌شده است. n_t که {سطحی، دووجهی، حجمی، مارپیچ} $t \in$ ، بیان‌گر تعداد پایه‌های پلاریزاسیون تعلق‌گرفته به مرجع t در مرحله طبقه‌بندی می‌باشد.



شکل (۹): منطقه سانفرانسیسکو: (۱) تصویر Google Earth (۲) تصویر Pauli (۳) ارتفاع پدستال Co منطقه (۴) ارتفاع پدستال Cross منطقه



شکل (۱۰): فلوجارت گام دوم روش پیشنهادی

۴- نتایج و ارزیابی

جهت‌گیری زیاد نسبت به پرتو رادار می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان‌دهنده این است که الگوریتم پیشنهادی بر اساس امضاء پلاریمتریک Cross دارای عملکرد بهتری نسبت به امضاء پلاریمتریک Co می‌باشد. در منطقه ارزیابی A شاهد افزایش درصد سهم پراکندگی دوجبهی تقریباً به اندازه ۸٪ نسبت به الگوریتم‌های دیگر هستیم. منطقه ارزیابی A دارای ساختمان‌هایی با تراکم بالا می‌باشد. هم‌چنین تصحیح اثر زاویه جهت‌گیری (OC) نیز تأثیر مثبتی بر روی نتایج مناطق شهری به‌خصوص در منطقه ارزیابی B داشته است. نتایج حاصل از الگوریتم‌های تجزیه ذکرشده در این نواحی، دچار برآورد بیش از اندازه مقدار ساختار پراکندگی حجمی هستند. درحالی‌که در روش پیشنهادی، شاهد یک ارتقاء نتیجه هستیم. در منطقه ارزیابی B، بیش‌ترین مقدار ساختار پراکندگی حاصله در روش‌های ذکرشده مربوط به روش Arii-NNED با ۲۰٪ می‌باشد. درحالی‌که بهترین نتیجه با استفاده از روش پیشنهادی (Cross (OC)) برابر ۴۰٪ یعنی ۲۰٪ افزایش سهم ساختار پراکندگی دوجبهی می‌باشد. نتایج بیان‌گر علت این امر این است که در روش‌های ذکرشده تنها عامل ساختار پراکندگی حجمی، عنصر HV در نظر گرفته می‌شود، درحالی‌که این فرض کاملاً درستی نمی‌باشد. امضاء پلاریمتریک با در نظر گرفتن اطلاعات فیزیکی در تمامی پایه‌های پلاریزاسیون می‌تواند عملکرد بهتری داشته باشد. عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مناطق جنگلی نیز مناسب بوده و همانند روش‌های ذکرشده سهم ساختار پراکندگی حجمی در این مناطق بسیار بالاتر از سایر ساختارهای پراکندگی می‌باشد. بخش عظیمی از منطقه مطالعاتی D را موج دریا تشکیل می‌دهد. در نتایج حاصله از روش‌های ذکرشده شاهد یک برآورد بیش از اندازه برای ساختار پراکندگی حجمی هستیم، درحالی‌که در روش پیشنهادی، بیش‌ترین سهم در منطقه مطالعاتی مربوط به ساختار پراکندگی سطحی می‌باشد. در این منطقه ارزیابی شاهد افزایش تقریباً ۱۰٪ سهم ساختار پراکندگی سطحی هستیم. عملکرد روش Free-man نسبت به سه روش ارزیابی دیگر ضعیف‌تر می‌باشد که علت آن متقارن فرض کردن ماتریس کوواریانس و توزیع یکنواخت دوقطبی‌ها می‌باشد. روش Y4R، در واقع ارتقاء یافته‌ی روش Y4O می‌باشد که در آن اثر زاویه جهت‌گیری جبران گردیده است.

در این مقاله، به‌منظور نمایش نتایج حاصل از الگوریتم تجزیه پیشنهادی، از تصویر مربوط به سنجنده RADARSAT-2 باند C شهر سانفرانسیسکو و تصویر شهر نیگاتا ژاپن مربوط به سنجنده Pi-SAR باند L استفاده شده است. به‌منظور بررسی حساسیت روش پیشنهادی به زاویه جهت‌گیری هدف نسبت به پرتو رادار، الگوریتم پیشنهادی بر روی داده‌هایی که تصحیح اثر زاویه جهت‌گیری بر روی آنان اعمال شده (OC¹) نیز پیاده‌سازی گردیده است. زاویه جهت‌گیری هدف با استفاده از معادلات (۱۶) - (۱۷) محاسبه و ماتریس پراکندگی جدید برای هر پیکسل محاسبه می‌گردد [۱].

$$\tan 4\theta = \frac{4\text{Re}(S_{HV}^*(S_{HH} - S_{VV}))}{(|S_{HH} - S_{VV}|^2) - 4(|S_{HV}|^2)} \quad (16)$$

$$S_{\text{new}} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} S \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (17)$$

هم‌چنین به‌منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، نتایج به‌دست‌آمده با نتایج حاصل از روش‌های تجزیه [۲۰] Y4O، [۵] Y4R، [۶] Arii-NNED و [۴] Freeman مقایسه شده است.

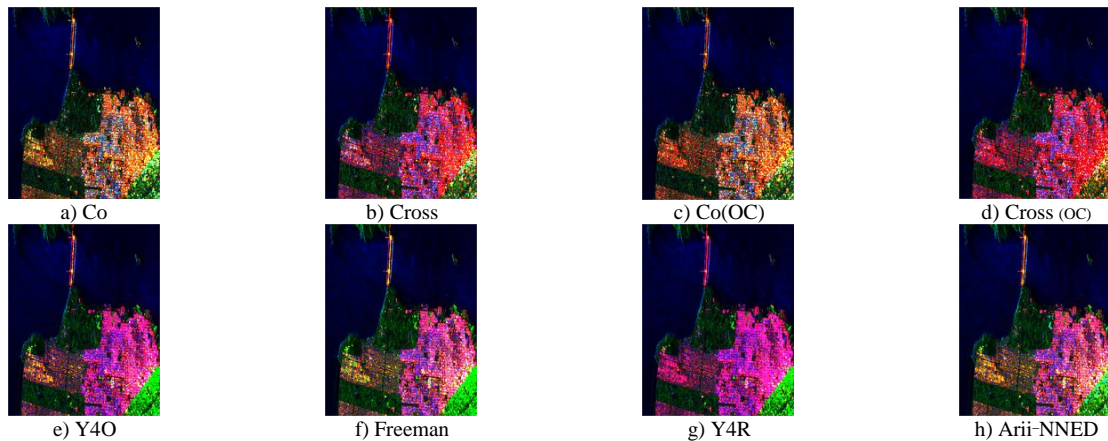
۴-۱- منطقه مطالعاتی سانفرانسیسکو

این داده در تاریخ ۲۰۰۸/۰۴/۰۹ و به‌صورت تمام پلاریمتریک در حالت FQ9 و به‌صورت SLC^۲ اخذشده است. شهر سانفرانسیسکو شامل مناطق جنگلی، اقیانوسی و مناطق شهری با زاویه جهت‌گیری مختلف می‌باشد (شکل‌های (۹-۱)). در شکل (۱۱) نتایج حاصله از الگوریتم‌های ذکرشده و الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است.

شکل (۱۱) سهم ساختارهای پراکندگی مرجع بر اساس توان کل بازگشتی بوده و پراکندگی دوجبهی، حجمی و سطحی به ترتیب با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی نمایش داده شده‌اند. به‌منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی از مناطق ارزیابی با ساختار مختلف استفاده شده است. شکل (۱۲) مناطق ارزیابی انتخاب شده بر روی تصویر Pauli و جداول (۱) نتایج را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۱)، تفاوت الگوریتم تجزیه پیشنهادی با الگوریتم‌های ذکرشده در مناطق شهری و به‌خصوص در مناطق شهری با زاویه

1- Orientation Compensation

2- Single Look Complex



شکل (۱۱): نتایج حاصله از الگوریتم‌های تجزیه ذکر شده و پیشنهادی

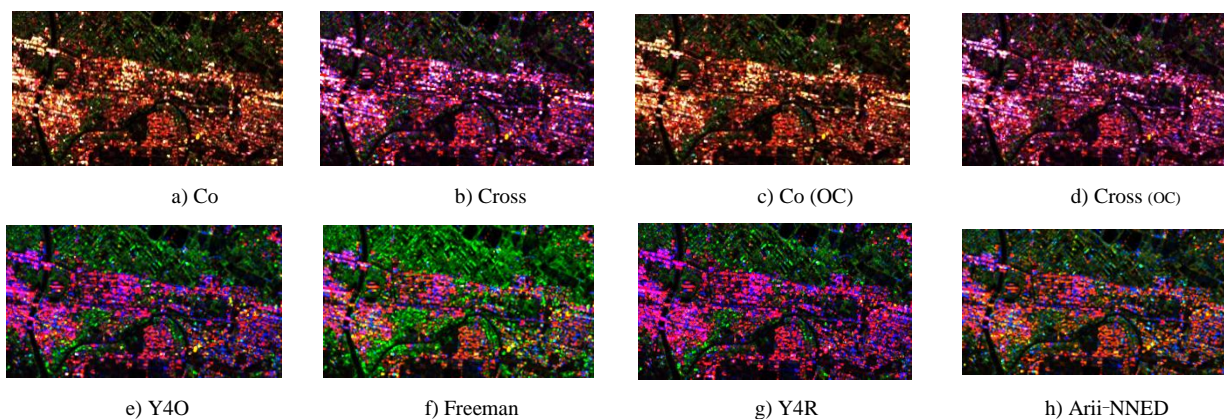


شکل (۱۲): مناطق ارزیابی انتخاب شده با ساختار مختلف

با مقایسه شکل (۱۱) به وضوح مشخص است که این تصحیح اثر دارای نتایج مثبت به خصوص در مناطق شهری بوده است. با در نظر گرفتن چنین تصحیحی، هنوز شاهد برآورد بیش از اندازه پراکنش حجمی در مناطق شهری با زاویه جهت‌گیری زیاد هستیم. عملکرد روش Arii-NNED با در نظر گرفتن تعیین زاویه غالب دوقطبی‌ها در فضا، دارای عملکرد بهتری نسبت به روش Free-man می‌باشد. هم‌چنین در این روش، برآورد بیش‌ازاندازه پراکنش حجمی نسبت به روش Y4R کم‌تر می‌باشد زیرا مدل حجمی استفاده‌شده در این روش انعطاف‌پذیری بیشتری دارد.

جدول (۱): نتایج الگوریتم‌های مختلف تجزیه

نوع پراکنش	Test Area A							
	Co	Cross	Co (OC)	Cross (OC)	Y4O	Y4R	Freeman	Arii-NNED
سطحی	٪۱۹	٪۲۶	٪۱۹	٪۲۵	٪۳۴	٪۳۶	٪۳۱	٪۳۰
دووجهی	٪۴۹	٪۶۰	٪۵۱	٪۶۲	٪۵۳	٪۵۴	٪۵۳	٪۵۵
حجمی	٪۲۴	٪۱۲	٪۲۳	٪۱۱	٪۱۰	٪۸	٪۱۶	٪۱۶
مارپیچ	٪۸	٪۱	٪۷	٪۱	٪۲	٪۲		
	Test Area B							
	Co	Cross	Co (OC)	Cross (OC)	Y4O	Y4R	Freeman	Arii-NNED
سطحی	٪۱۶	٪۱۸	٪۱۶	٪۱۴	٪۶	٪۸	٪۴	٪۱۲
دووجهی	٪۲۰	٪۳۰	٪۲۵	٪۴۴	٪۷	٪۱۱	٪۵	٪۲۰
حجمی	٪۴۷	٪۴۷	٪۴۳	٪۳۹	٪۷۸	٪۷۳	٪۹۱	٪۶۷
مارپیچ	٪۱۷	٪۵	٪۱۶	٪۳	٪۸	٪۸		
	Test Area C							
	Co	Cross	Co(OC)	Cross(OC)	Y4O	Y4R	Freeman	Arii-NNED
سطحی	٪۳۱	٪۲۴	٪۳۰	٪۲۳	٪۲۵	٪۲۷	٪۲۰	٪۲۳
دووجهی	٪۱۳	٪۱۳	٪۱۴	٪۱۴	٪۸	٪۹	٪۷	٪۸
حجمی	٪۵۰	٪۶۳	٪۵۰	٪۶۳	٪۶۲	٪۵۹	٪۷۳	٪۶۹
مارپیچ	٪۶	<٪۱	٪۶	<٪۱	٪۵	٪۵		
	Test Area D							
	Co	Cross	Co (OC)	Cross (OC)	Y4O	Y4R	Freeman	Arii-NNED
سطحی	٪۹۳	٪۹۲	٪۹۳	٪۹۲	٪۸۱	٪۸۱	٪۷۹	٪۷۹
دووجهی	٪۱	٪۳	٪۱	٪۳	٪۶	٪۶	٪۶	٪۶
حجمی	٪۵	٪۵	٪۵	٪۵	٪۱۲	٪۱۲	٪۱۵	٪۱۵
مارپیچ	٪۱	۰	٪۱	۰	٪۱	٪۱		



شکل (۱۳): نتایج حاصله از الگوریتم‌های تجزیه ذکر شده و پیشنهادی

همان‌گونه که مطابق با نتایج درج شده در جدول (۲) مشخص شده است، عملکرد الگوریتم پیشنهادی در منطقه مطالعاتی دوم نیز بهتر از سایر الگوریتم‌ها بوده است. در منطقه ارزیابی A، شاهد افزایش سهم ساختار پراکندگی دووجهی به اندازه ۱۳٪ و کاهش برآورد بیش از اندازه ساختار پراکندگی حجمی به اندازه ۲۲٪ نسبت به روش Arii-NNED برای روش پیشنهادی (Cross(co)) می‌باشیم که بیانگر عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. هم‌چنین با توجه به دو مناطق ارزیابی دیگر، شاهد افزایش سهم ساختار پراکندگی دووجهی به اندازه ۷٪ و ۲٪ به ترتیب نسبت به روش Arii می‌باشیم. نتایج به دست آمده، بیانگر این موضوع است که عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مناطق شهری خواه با زاویه جهت‌گیری ناچیز و یا زیاد، نسبت به چهار الگوریتم دیگر بهتر بوده است.

۴-۲- منطقه مطالعاتی نیگاتا

شهر نیگاتا دارای مناطق مسکونی با ساختار و جهت‌گیری‌های مختلف می‌باشد. داده توسط سنجنده تمام پلاریمتریک Pi-SAR در تاریخ ۱۹۹۹/۱۰/۱۴ و با ساختار ماتریس پراکندگی اخذ شده است. علت انتخاب این منطقه مطالعاتی ساختار پیچیده شهری آن می‌باشد.

به صورت بصری، عملکرد روش پیشنهادی در مناطق شهری به خصوص مناطق با زاویه جهت‌گیری زیاد، دارای عملکرد بهتری نسبت به روش‌های دیگر می‌باشد. به منظور ارزیابی کمی نتایج، مناطق ارزیابی مطابق شکل (۱۴) انتخاب شده‌اند. هم‌چنین نتایج حاصله از این مناطق در جدول (۲) درج شده‌اند.



شکل (۱۴): مناطق ارزیابی انتخاب شده با ساختار مختلف

جدول (۲): نتایج الگوریتم‌های مختلف تجزیه

نوع پراکنش	Test Area A							
	Co	Cross	Co(OC)	Cross(OC)	Y4O	Y4R	Freeman	Arii-NNED
سطحی	۱۴٪	۳۲٪	۱۳٪	۳۰٪	۱۹٪	۲۱٪	۷٪	۲۲٪
دووجهی	۳۷٪	۳۸٪	۳۸٪	۴۰٪	۱۶٪	۲۱٪	۹٪	۲۷٪
حجمی	۳۳٪	۲۹٪	۳۳٪	۲۹٪	۵۷٪	۵۰٪	۸۵٪	۵۱٪
مارپیچ	۱۶٪	۱٪	۱۶٪	۱٪	۸٪	۸٪		
	Test Area B							
	Co	Cross	Co(OC)	Cross(OC)	Y4O	Y4R	Freeman	Arii-NNED
سطحی	۱۲٪	۳۰٪	۱۱٪	۳۰٪	۳۵٪	۳۵٪	۲۵٪	۲۸٪
دووجهی	۵۸٪	۵۵٪	۵۹٪	۵۷٪	۴۶٪	۴۸٪	۴۵٪	۵۰٪
حجمی	۲۰٪	۱۴٪	۲۰٪	۱۲٪	۱۶٪	۱۳٪	۳۰٪	۲۲٪
مارپیچ	۱۰٪	۱٪	۱۰٪	۱٪	۴٪	۳٪		
	Test Area C							
	Co	Cross	Co(OC)	Cross(OC)	Y4O	Y4R	Freeman	Arii-NNED
سطحی	۱۲٪	۳۱٪	۱۲٪	۲۹٪	۳۵٪	۳۶٪	۲۷٪	۲۸٪
دووجهی	۵۸٪	۵۶٪	۵۸٪	۵۶٪	۵۰٪	۵۳٪	۵۰٪	۵۴٪
حجمی	۲۱٪	۱۲٪	۲۱٪	۱۴٪	۱۲٪	۹٪	۲۳٪	۱۸٪
مارپیچ	۹٪	۱٪	۹٪	۱٪	۳٪	۳٪		

۵- نتیجه گیری

پیشنهادی چون مقادیر توان تجزیه شده همواره مثبت می‌باشند، بنابراین، مشکل منفی شدن توان حاصله مطرح نمی‌باشد. در تحقیقات آتی به منظور بهبود عملکرد الگوریتم پیشنهادی در تجزیه داده‌های پلاریمتری در مناطق با ساختار پراکنندگی غالب حجمی، توصیه می‌گردد حد آستانه مربوط به ارتفاع پدستال امضاء پلاریمتریک Cross پیکسل حذف گردد و یا به صورت محلی در یک پنجره با ابعاد مشخص باشد. همچنین روش پیشنهادی بر روی تصاویر با طول موج X نیز بررسی گردد.

در این مقاله، یک الگوریتم تجزیه بر مبنای امضاء پلاریمتریک ارائه گردید. تمامی الگوریتم‌های تجزیه پیشین تنها از اطلاعات یک پایه پلاریزاسیون استفاده می‌نموده‌اند. نتایج روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های ذکر شده دارای عملکرد بهتری به خصوص در مناطق شهری با زاویه جهت‌گیری زیاد بوده است. به دلیل وجود اطلاعات فیزیکی بیشتر و جزئیات بیشتری که از پایه‌های پلاریزاسیون بیشتر به دست می‌آید، شاهد بهبود نتایج در مناطق شهری و سطحی در الگوریتم پیشنهادی بودیم. در منطقه شهری با زاویه جهت‌گیری زیاد به ترتیب در مناطق مطالعاتی اول و دوم شاهد افزایش سهم پراکنندگی دووجهی به مقدار ۲۴٪ و ۱۳٪ در روش پیشنهادی بر مبنای Cross(OC) نسبت به بهترین نتیجه حاصله از بین چهار روش دیگر هستیم. شایان ذکر است کاهش برآورد بیش از اندازه پراکنش حجمی در مناطق شهری نیز قابل توجه بوده است. مقدار این کاهش برآورد بیش از اندازه در منطقه مطالعاتی اول و دوم به ترتیب به میزان ۲۸٪ و ۲۲٪ بوده است. همچنین نتایج به دست آمده بیانگر این واقعیت است که الگوریتم پیشنهادی بر مبنای امضاء پلاریمتریک Cross پیکسل دارای عملکرد بهتری نسبت به امضاء پلاریمتریک Co پیکسل می‌باشد. در روش‌های تجزیه مدل-مبنا به دلیل این که سهم ساختار پراکنندگی حجمی تنها وابسته به مقدار عنصر HV در ماتریس پراکنندگی می‌باشد، شاهد برآورد بیش از اندازه سهم ساختار پراکنندگی حجمی و همچنین مقدار انرژی منفی به دست آمده برای برخی از پیکسل‌ها بوده‌ایم اما در روش

۶- مراجع

- [1] J. S. Lee and E. Pottier, "Polarimetric radar imaging: from basics to applications.," CRC press, 2009.
- [2] Y. Maghsoudi, M. J. Collins, and D. G. Leckie, "Radarsat-2 polarimetric SAR data for boreal forest classification using SVM and a wrapper feature selector," Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, vol. 6, pp. 1531-1538, 2013.
- [3] W. L. Cameron, N. N. Youssef, and L. K. Leung, "Simulated polarimetric signatures of primitive geometrical shapes," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 34, pp. 793-803, 1996.
- [4] A. Freeman and S. L. Durden, "A three-component scattering model for polarimetric SAR data," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 36, pp. 963-973, 1998.
- [5] Y. Yamaguchi, A. Sato, W.-M. Boerner, R. Sato, and H. Yamada, "Four-component scattering power decomposition with rotation of coherency matrix," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 49, pp. 2251-2258, 2011.
- [6] M. Arii, J. J. Van Zyl, and Y. Kim, "A general characterization for polarimetric scattering from vegetation canopies," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 48, pp. 3349-3357, 2010.

- [7] S. W. Chen, X.-S. Wang, S.-P. Xiao, and M. Sato, "General polarimetric model-based decomposition for coherency matrix," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 52, pp. 1843-1855, 2014.
- [8] J. J. Zyl, H. A. Zebker, and C. Elachi, "Imaging radar polarization signatures: Theory and observation," *Radio Science*, vol. 22, pp. 529-543, 1987.
- [9] M. Jafari, Y. Maghsoudi, V. Zoej, and M. Javad, "A New Method for Land Cover Characterization and Classification of Polarimetric SAR Data Using Polarimetric Signatures," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, vol. 8, pp. 3595-3607, 2015.
- [10] M. Migliaccio, F. Nunziata, and A. Gambardella, "Polarimetric signature for oil spill observation," in *US/EU-Baltic International Symposium, 2008 IEEE/OES*, pp. 1-5, 2008.
- [11] Y. Shelat, B. Leblon, A. Larocque, J. Harris, C. Jefferson, D. Lentz, et al., "Effects of incidence angles on mapping accuracy of surficial materials in the Umiujalik Lake area, Nunavut, using RADARSAT-2 polarimetric SAR images," Part 2, Polarimetric analysis, *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 38, pp. 404-423, 2012.
- [12] M. Jafari, Y. Maghsoudi, and M. J. V. Zoej, "Analyzing polarimetric signatures for different features in polarimetric SAR data," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International*, pp. 2782-2785, 2014.
- [13] J. A. Richards, "Remote sensing with imaging radar, vol. 1," Springer, 2009.
- [14] M. Migliaccio, F. Nunziata, and A. Gambardella, "Polarimetric signature for oil spill observation," in *2008 IEEE/OES US/EU-Baltic International Symposium*, pp. 1-5, 2008.
- [15] J. J. van Zyl, "Synthetic aperture radar polarimetry," vol. 2, John Wiley & Sons, 2011.
- [16] Y. Yamaguchi, T. Moriyama, M. Ishido, and H. Yamada, "Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 43, pp. 1699-1706, 2005.
- [17] Y. Yamaguchi, A. Sato, W.-M. Boerner, R. Sato, and H. Yamada, "Four-component scattering power decomposition with rotation of coherency matrix," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, pp. 2251-2258, 2011.
- [18] S. Porzycka, J. Strzelczyk, M. Bielecka, and A. Leśniak, "Preliminary pattern recognition in polarimetric signatures," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International*, pp. 3486-3488, 2012.
- [19] O. A. De Carvalho and P. R. Meneses, "Spectral correlation mapper (SCM): an improvement on the spectral angle mapper (SAM)," in *Summaries of the 9th JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication*, pp. 0-18, 2000.
- [20] Y. Yamaguchi, Y. Yajima, and H. Yamada, "A four-component decomposition of POLSAR images based on the coherency matrix," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 3, pp. 292-296, 2006.

Polarimetric SAR Data Decomposition Based On Polarimetric Signatures And Reference Scattering Models

Y. Maghsoudi*, S. Taleghani

K.N.Toosi University of Technology

(Received: 11/16/2016, Accepted: 01/05/2017)

Abstract

The polarimetric decomposition is one of the most important steps in SAR data processing and analyzing. Conventional decomposition methods use polarimetric information only in a restricted number of polarization bases. This paper presents a new decomposition method based on polarimetric signatures. The proposed decomposition includes two main steps: 1) selection of the reference polarimetric signatures, and 2) Classification of the pixel's polarimetric signature. The presented method was tested on the Radarsat-2 image in C band collected over San Francisco and the Pi-SAR image in L band collected over Niigata University in Japan. The proposed decomposition was compared with Y4O, Y4R, Aii-NNED and Freeman decomposition methods. According to the results of the suggested method, in urban areas especially in areas with a large orientation angle, it is clearly seen that the overestimation of the volume contribution has been reduced and the double-bounce contribution has been increased. In addition, the obtained power values of the proposed decomposition are always positive; therefore, the problem of negative power value cannot be achieved.

Keywords: Polarimetric Synthetic Aperture Radar (Polsar), Polarimetric Signature, Decomposition, Scattering Contributions

* Corresponding author E-mail: ymaghsoudi@kntu.ac.ir