

## بازیابی فنولوژی محصول با استفاده از امضای پلاریمتریک

الهه چراغی<sup>۱\*</sup>، یاسر مقصودی<sup>۲</sup>، مریم صالحی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

elahecheraghi91@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ymaghsoudi@yahoo.com

<sup>۳</sup> دکتری فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

msalehi@mail.kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۷، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۸)

### چکیده

امروزه محصولات کشاورزی نقش مهمی در زندگی بشر ایفا می‌کنند. یکی از روش‌های برای بالا بردن کیفیت محصولات کشاورزی پایش فنولوژی محصولات کشاورزی با استفاده از فناوری‌های نو مانند سنجش از دور و اطلاعاتی مانند داده‌های رادار روزنه مجازی است. در این تحقیق به بازیابی مراحل فنولوژی محصولات کشاورزی با استفاده از امضاهای پلاریزاسیون رایج و درجه پلاریزاسیون می‌پردازد. درجه پلاریزاسیون یکی از پارامترهای اصلی پراکنش موج در استخراج پارامترهای دوران ثابت محسوب می‌شود. این تحقیق نشان می‌دهد که اطلاعات بدست آمده از امضاهای رایج می‌تواند به عنوان اطلاعات تکمیلی برای بازیابی مراحل فنولوژی با استفاده از امضای درجه پلاریزاسیون به کار گرفته شود. در این روش از امضاهای پلاریمتریک و شباهت بین آن‌ها استفاده می‌شود. ابتدا امضای به صورت تصادفی به عنوان امضای مرجع برای هر یک از مراحل فنولوژی محصول انتخاب می‌شود. سپس با استفاده از روش‌های بررسی شباهت، شباهت بین امضای مرجع و سایر امضای پلاریزاسیون به دست آمده برای منطقه مورد مطالعه به دست می‌آید. در نهایت با آنالیز نتایج به دست آمده فنولوژی محصول به دست می‌آید. داده‌های مورد بررسی در این تحقیق برای یک دوره زمانی در زاویه‌ی فرودهای و گذرهای مختلف از تصاویر پلاریمتریک رادست<sup>۲</sup> منطقه Barrax برای محصولات پیاز، جو و جو دوسر است. استفاده از تصاویر در زاویه‌ی فرودها و گذرهای مختلف باعث ایجاد یه پایگاه داده مناسب برای بررسی فنولوژی محصول می‌شود. نتایج مناسب بودن امضای درجه پلاریزاسیون برای بازیابی فنولوژی محصول، دقت میانگین ۶۳ درصد، و مستقل بودن این امضا از زاویه‌ی فرود و وابستگی به ویژگی فیزیکی محصول مورد بررسی را نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که معیارهای شباهت براساس ویژگی‌های هندسی امضاهای پلاریزاسیون می‌تواند اطلاعات با ارزشی از محصولات مانند محصول جو، در اختیار قرار دهد.

**واژگان کلیدی:** درجه پلاریزاسیون، فنولوژی، امضای پلاریزاسیون، تصاویر سری زمانی، پلاریمتریک، کشاورزی

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

نیاز به منابع غذایی یکی از مهم‌ترین نیازهای بشر به شمار می‌آید. بخش کشاورزی به دلیل تامین بخش زیادی از این منابع دارای اهمیت است. پیش‌بینی محصول و تخمین میزان محصولات کشاورزی قبل از رسیدن محصول دارای اهمیت در تجارت مواد غذایی و سازمان‌های وابسته به مواد غذایی است. همچنین پیش به هنگام محصولات کشاورزی در مواردی مانند تعیین زمان کوددادن، آبیاری و آفت‌کشی به تولیدکنندگان و کشاورزان در رسیدن به بالاترین بازدهی محصول و آسیب‌رسانی کم‌تر به محیط زیست کمک می‌کند [۱]. مراحل فنولوژی محصول نشان دهنده‌ی دوره رشد محصول یعنی از کشت تا برداشت معمولاً به صورت عددی است [۲]. در واقع داشتن مراحل رشد محصول کشاورزی یکی از نیازهای مهم کشاورز برای داشتن محصولی با کیفیت بالاتر است و به او در انجام به موقع عملیات‌های کشاورزی یاری می‌کند.

با توجه به اهمیت کشاورزی از فناوری‌های نو برای داشتن محصولات با کیفیت و کمیت بالا استفاده می‌شود که سنسجش از دور یکی از این فناوری‌ها به حساب می‌آید. ماهواره‌های سنسجش از دور ابزاری مناسب برای بدست آوردن نقشه پارامترهای محصولات گیاهی است و امکان تهیه این نقشه‌ها را در ابعاد وسیع فراهم می‌کند [۳]. همچنین با استفاده از داده‌های سری زمانی موجود در سنسجش از دور می‌توان به صورت مداوم و پویا محصولات کشاورزی را مورد نظارت و بررسی قرار داد [۴].

مراحل رشد گیاه پیوسته و تابع زمان است. این مراحل را می‌توان به سه دسته اصلی زیر تقسیم‌بندی نمود:

- ۱- رویش<sup>۱</sup>؛ شروع رشد گیاه از دانه تا رشد کامل گیاه
- ۲- تکثیر<sup>۲</sup>؛ شامل گل‌دهی گیاه<sup>۳</sup> - بلوغ<sup>۳</sup> گیاه؛ مرحله رسیدن میوه تا پیری گیاه.

هر کدام از مراحل اصلی را نیز می‌توان به مراحل فرعی دیگر تقسیم کرد. مدل‌ها و پارامترهای مختلفی برای بازیابی مراحل مختلف فنولوژی محصولات کشاورزی با استفاده از داده‌های پلاریمتری SAR<sup>۴</sup> ارائه و مورد استفاده

قرار گرفته است که سعی در تقریب رفتار محصول را دارند. پیچیدگی زمین‌های کشاورزی و اطلاعات مختلف بازپراکنش راداری، پیدا کردن پارامتر و روش مناسب برای بازیابی فنولوژی محصول را دشوار می‌کند.

پایش رشد گیاه با استفاده از سیستم‌های مایکروویو موضوعی است که در گذشته به دلیل کمبود تصاویر سری زمانی مورد توجه نبوده است، زیرا وجود داده‌های یک دوره زمانی برای بررسی مراحل رشد گیاه الزامی است.

بعد از پرتاب سنجنده‌های ماهواره‌ای پلاریمتریک SAR (پلسار) با قابلیت تصویربرداری در دوره‌ی زمانی کوتاه و همچنین اندازه‌گیری در پلاریزیشن‌های مختلف مانند TerraSAR-X, RADARSAT2 و Sentinel-1، استفاده از داده‌های پلاریمتریک SAR در پایش فنولوژی محصولات کشاورزی به عنوان یک روش موثر شناخته شده است. همچنین الگوی امواج بازگشتی از محصولات کشاورزی ارتباط مستقیم با مراحل رشد گیاه دارد. همچنین جهت قرارگیری گیاه که در نحوه بازگشت امواج موثر است با مراحل رشد گیاه مرتبط است [۴].

داده پلسار در پایش محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا: ۱- بستگی به شرایط آب و هوایی ندارد، بنابراین می‌توان داده‌ها را به صورت یک سری زمانی برای پایش و بررسی محصولات به صورت مناسب مورد استفاده قرار داد. ۲- این داده‌ها به صورت ذاتی به ویژگی‌های گیاه مانند ساختار، آب موجود در گیاه، و ... حساس هستند.

تصاویر سری زمانی پلاریمتریک SAR در پایش محصولات کشاورزی به دلیل داشتن حساسیت پلاریزاسیون به ۱- ساختار گیاه مانند شکل، اندازه و جهت برگ، ساقه و میوه، ۲- ویژگی دی الکتریک تاج پوشش گیاه (آب درون گیاه) و ۳- ویژگی‌های فیزیکی خاک زیرین گیاه مانند رطوبت خاک و زبری سطح خاک، مورد توجه است. داده‌های پلاریمتری SAR برای محصولات مختلف و یا محصول در مراحل رشد متفاوت، اثر متفاوت تولید می‌کنند، بنابراین می‌توان از این داده‌ها برای پایش و بازیابی مراحل فنولوژی محصولات کشاورزی استفاده کرد.

تحقیقات انجام شده پتانسیل داده‌های پلاریمتریک SAR در بررسی محصول و تعیین مراحل فنولوژی آن را نشان می‌دهد. از تحقیقات انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: استفاده از داده‌های ERS-1 در پایش و تهیه

۱ Vegetative  
۲ Reproduction  
۳ Maturation  
۴ Synthetic Aperture Radar

بازپراکنش راداری شامل اطلاعات مختلطی از گیاه و خاک است. پارامترهای پلاریمتریکی که تاکنون به منظور بازیابی فنولوژی مورد استفاده قرار گرفته‌اند مانند پارامترهای میزان انرژی بازگشتی HH و VV، نسبت دو پلاریزاسیون HH و VV، نسبت دامنه و یا اختلاف فاز این دو پلاریزاسیون و پارامترهای تجزیه‌های هدف [۱۷]، پارامترهای شدت داده‌های پلاریمتریک در زمان و زاویه فرود مختلف، پارامترهایی همبستگی co-pol، انترپوی [۱۲] و پارامترهای استوکس [۱۸]، همواره دارای رفتار منظمی در بعد مکان و زمان نمی‌باشند و بنابراین روش‌های بازیابی ارائه شده ناگزیر به استفاده از حدآستانه‌های تجربی، غیردقیق و نامناسب هستند.

پیچیدگی‌های پراکنش راداری زمین‌های کشاورزی که حاوی اطلاعات مختلطی از گیاه و خاک زیرین است، انتخاب یک پارامتر مناسب برای تعیین و تخمین مراحل فنولوژی را دشوار می‌کند. روش‌های رایج برای بازیابی مراحل فنولوژی دارای معایبی می‌باشد. استفاده از حد آستانه تجربی و ترکیب پارامترهای SAR در تعیین مراحل فنولوژی محصول به دلیل رفتارهای نامنظم دشوار، غیر دقیق و نامناسب است. حد آستانه‌ها با توجه به منطقه مورد مطالعه تعیین شده و دارای محدودیت استفاده در مناطق دیگر است. همچنین با توجه به تغییرات پارامترهای مورد استفاده، تعیین این حدآستانه به آسانی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

هدف این مطالعه تعیین فنولوژی محصولات کشاورزی و برای برطرف کردن محدودیت‌های گفته شده روشی ارائه می‌شود که در آن نیازی به تعیین حد آستانه و استفاده از چند پارامتر به صورت همزمان نمی‌باشد. در واقع در این روش‌ها پتانسیل امضاهای پلاریزاسیون مختلف داده‌های سری زمانی و پارامترهای بهینه استخراجی از آنها جهت تعیین فنولوژی محصولات کشاورزی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

در ادامه این تحقیق در بخش دوم به توضیح مختصری از امضاهای پلاریمتریک و ارائه دقیق‌تر روش پیشنهادی می‌پردازیم. داده‌های منطقه مورد مطالعاتی مورد استفاده و در بخش سوم توضیح داده شده است. نتایج، بررسی و تحلیل آن‌ها در بخش چهارم ارائه شده است. نهایتاً در بخش پایانی نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی برای کارهای آینده ذکر می‌شود.

نقشه محصول برنج [۵] و [۶]، استفاده از پتانسیل داده‌های پلاریمتریک و اینترفرومتریک SAR در پایش محصولات [۷]، پایش محصولات کشاورزی با استفاده از داده‌های پلاریمتریک SAR در باند C سنجنده RADARSAT-2 [۸]، استفاده از داده‌های سری زمانی پلاریزاسیون دوگانه TerraSAR در باند X و فیلتر کالمن در پایش محصول برنج [۹]، تخمین فنولوژی برنج با استفاده از داده‌های سری زمانی پلاریمتریک در باند C [۱۰]، فنولوژی محصولات کشاورزی با استفاده از پلاریزیشن‌های دوگانه در باند X سنجنده TerraSAR و مفهوم سیستم‌های دینامیکی [۱۱]، پایش محصولات کشاورزی در باند C سنجنده RADARSAT-2 با استفاده از پارامترهای شدت داده‌های پلاریمتریک در زاویه فرودهای متفاوت، اطلاعات اختلاف فاز co-pol، نمودار پاسخ پلاریزاسیون و پارامترهای تجزیه‌های Cloude-Pottier و Freeman-Durden [۱۲]، بررسی مراحل رشد برنج با استفاده از ترکیب پارامترهای پلاریمتریک باند C در تصاویر سری زمانی [۱۳]، استفاده از داده‌های سری زمانی پلاریمتریک در باند C و پارامترهایی مانند همبستگی co-pol و انترپوی و در نهایت تخمین مراحل رشد محصولات جو و پیاز با استفاده از طبقه‌بندی درخت سلسله مراتبی (تفسیر فیزیکی روش‌های بازیابی فنولوژی گیاهان را آسان‌تر می‌کند) که اساس و قانون این الگوریتم‌ها براساس مکانیزم امواج بازگشتی است که خود متأثر از ویژگی‌های مراحل مختلف رشد گیاه است [۱۴]، تخمین فنولوژی با استفاده از تصاویر سری زمانی پلاریمتریک در باند C سنجنده RADARSAT-2 و طبقه بندی‌کننده ویشارت و محاسبه‌ی فاصله بین ماتریس‌های کوواریانس بدون نیاز به استخراج ویژگی‌های پلاریمتریک [۱۵]، و تعیین فنولوژی محصول برنج با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی مانند نزدیک‌ترین همسایگی و SVM برای تصاویر سری زمانی کوپلاریزیشن سنجنده TerraSA [۱۶] نمونه‌هایی دیگر از تحقیقات انجام شده مرتبط با تعیین فنولوژی محصولات کشاورزی هستند.

در تحقیقات گذشته پارامترهای مختلف از داده‌های پلاریمتری SAR استخراج گردیده و با توجه به رفتار این پارامترها در سری زمانی، فنولوژی و مراحل مختلف رشد محصول کشاورزی را بازیابی می‌کنند.

به دلیل یکنواخت نبودن زمین‌های کشاورزی، عدم تراکم مناسب گیاه در برخی مکان‌ها و یا زمان‌ها و ...

## ۲- روش تحقیق

این بخش به توضیح مختصری از مفاهیم و روابط ریاضیاتی مورد استفاده در این تحقیق می‌پردازد. مفاهیمی مانند درجه پلاریزاسیون و امضای پلاریزاسیون که به صورت مختصر در این بخش ارائه شده است.

در ادامه به تئوری روش پیشنهادی برای بازیابی مراحل فنولوژی محصول یعنی شرح استفاده از امضای پلاریزاسیون رایج و امضای درجه پلاریزاسیون به منظور بازیابی فنولوژی محصولات به صورت انتخاب برخی از امضاها به عنوان امضای مرجع و استفاده از معیارهای شباهت برای تعیین شباهت بین امضای مرجع و سایر امضاها، برای بازیابی فنولوژی محصولات ارائه شده است.

## ۲-۱- امضای پلاریزاسیون

به‌طور رایج امضای پلاریزاسیون یکی از راه‌های مناسب نمایش گرافیکی از تغییرات توان پراکنش بازگشتی که خود تابعی از پلاریزاسیون آنتن فرستنده است، می‌باشد. در این نوع امضا شدت پلاریزاسیون دریافتی را نسبت به زاویه‌های بیضی پلاریزاسیون آنتن فرستنده بدست می‌آورند، به این صورت که محور  $X$  و  $Y$  به ترتیب زاویه جهت‌گیری بیضی ( $\psi$ ) و زاویه بیضویت ( $\chi$ ) و محور  $Z$  توان پراکنش بازگشتی را نشان می‌دهد. امضای پلاریزاسیون رایج شامل دو امضای cross-polarized و copolarized می‌باشند [۱۹].

$$P_{\psi,\chi} = V_{re}^t [K] V_{tr} \quad (1)$$

در رابطه‌ی بالا  $P_{\psi,\chi}$  توان پراکنش بازگشتی،  $[K]$  ماتریس Kennaugh، tr و re به ترتیب نشان دهنده‌ی آنتن فرستنده و گیرنده است. هم‌چنین بردار  $R$  بردار استوکس به صورت زیر است:

$$R = \begin{bmatrix} R_0 \\ R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_0 \cos 2\psi \cos 2\chi \\ S_0 \sin 2\psi \cos 2\chi \\ S_0 \sin 2\chi \end{bmatrix} \quad (2)$$

که در صورت  $V_{tr} = V_{re}$  توان بدست آمده توان امضای co-pol و  $V_{tr}^\perp = V_{re}$  توان امضای cross-pol است. شکل زیر نمونه‌ای از امضای پلاریزاسیون رایج است.

در رابطه‌ی بالا  $S_0$  شدت کل موج،  $\psi$  زاویه جهت‌گیری،  $\chi$  زاویه بیضویت، \* نماد مزدوج مختلط و | نماد قدر مطلق می‌باشند.

با جاگزین کردن پارامترهای پلاریزمتریک دیگر با توان پراکنش بازگشتی می‌توان امضای پارامترهای مختلف را در زوایای مختلف بدست آورد. کافی است پارامتر مورد نظر تابعی از زوایای بیضی پلاریزاسیون باشد. به عنوان مثال می‌توان به امضای درجه پلاریزاسیون (DoP)<sup>۱</sup> اشاره کرد. پارامتر درجه پلاریزاسیون نسبت به دوران پلاریزاسیون پایه دریافتی نامتغیر است. به عبارت دیگر با دوران محور های  $x$  و  $y$  پلاریزاسیون پایه دریافتی در جهت انتشار، پارامتر نامتغیر باقی می‌ماند و تنها حاوی اطلاعات تارگت مورد نظر است و امضای این پارامتر حاوی اطلاعات تکمیلی و بیشتر برای پراکنش‌های پیچیده است [۲۰].

نسبت بین بخش قطبیده و شدت کل پراکنش امواج الکتریکی درجه پلاریزاسیون نامیده می‌شود. این نسبت برای امواج کاملاً قطبیده یک و برای امواج ناقطبیده صفر است [۲۱]:

$$DoP = \frac{\sqrt{R_1^2 + R_2^2 + R_3^2}}{R_0} \quad (3)$$

در رابطه‌ی بالا  $R_0, R_1, R_2, R_3$  مولفه‌های بردار استوکس هستند. پراکنش‌ها و بازتاب‌های چندگانه تاثیر عمده‌ای بر روی این پارامتر دارند و به عبارتی این پارامتر میزان تاثیر بازتاب‌های چندگانه را توضیح می‌دهد. بنابراین می‌تواند به عنوان یک پارامتر مهم در تفسیر پراکنش موج مورد استفاده قرار گیرد. این پارامتر ارتباط زیادی با ویژگی‌های فیزیکی عارضه هدف دارد. به عنوان مثال زمین‌های بایر و ساختمان‌های بلند به دلیل پراکنش‌های سطحی و دوسطحی دارای درجه پلاریزاسیون بالایی هستند [۲۲].

امضای درجه پلاریزاسیون با جایگزین کردن توان پراکنش بازگشتی با پارامتر درجه پلاریزاسیون حاصل می‌شود. پارامتر درجه پلاریزاسیون تنها تابعی از زاویه‌های بیضی پلاریزاسیون آنتن فرستنده می‌باشد:

$$\vec{R} = [M] \cdot \vec{T} \quad (4)$$

در رابطه بالا  $M$  ماتریس Mueller [۲۳]،  $R$  بردار استوکس موج بازگشتی و  $T$  بردار استوکس موج ارسالی است که به صورت زیر قابل تعریف است:

<sup>۱</sup> Degree of polarization

امضای این پارامتر نیز اطلاعات بیشتری را برای پراکنش-های پیچیده ارائه می‌دهد [۲۰]. در زمین‌های کشاورزی در طول رشد محصول پراکنش‌های بازگشتی از سطح زمین دارای پیچیدگی‌هایی می‌باشد که این پیچیدگی حاصل تاثیر عوامل مختلف مانند امواج بازگشتی از خاک زیرین محصول است. بنابراین استفاده از امضای درجه پلاریزاسیون می‌تواند در بازیابی مراحل فنولوژی محصولات کشاورزی مفید و موثر باشد.

معیارهای شباهت مورد استفاده در این تحقیق معیار فاصله تطابق امضاها (SMD<sup>۱</sup>) [۲۴]، رابطه‌ی (۶)، و تبدیل زاویه طیفی (SAM<sup>۲</sup>) [۲۵]، رابطه‌ی (۸)، می‌باشند. تحلیل معیارهای اندازه‌گیری شباهت بر اساس ویژگی‌های شکل و مقادیر دامنه امضاها می‌باشد. معیارهایی که براساس دامنه ارائه شده‌اند با توجه به مقادیر امضاها، و معیارهایی که براساس شکل ارائه شده‌اند با توجه به شکل و جهت امضاها تعیین شباهت می‌کنند [۲۶].

$$SMD = c(m_{P_1 \rightarrow P_2}^d) + c(m_{P_2 \rightarrow P_1}^d) - 2\lambda c(m_{P_1 \leftrightarrow P_2}^d) \quad (6)$$

در رابطه (۶) تابع فاصله است. تابع استفاده شده در این مطالعه به صورت رابطه (۷) است:

$$c(m_{P_1 \rightarrow P_2}^d) = \frac{\sum_1^m p_1 \cdot \frac{d(p_1, p_2)}{\min\{p_1, p_2\}}}{\sum_1^m p_1} \quad (7)$$

در رابطه‌ی (۷)  $d$  تابع فاصله‌ی دو امضا است که در این تحقیق فاصله‌ی بین امضای پلاریزاسیون مرجع و پیرو است.  $\lambda$  بین صفر و یک قرار دارد و میزان تاثیر فاصله‌ی دو طرفه بین امضاها را در مقدار معیار شباهت نشان می‌دهد. براساس بررسی‌های انجام گرفته، در این تحقیق  $\lambda = 0$  انتخاب شده است. هر چه مقدار این معیار به صفر نزدیک‌تر باشد شباهت بین دو امضا بیشتر و مقدار صفر این معیار شباهت کامل بین دو امضا را نشان می‌دهد.

$$SAM = \cos^{-1} \left( \frac{\sum_1^m P_1 P_2}{[\sum_1^m P_1^2]^{1/2} [\sum_1^m P_2^2]^{1/2}} \right) \quad (8)$$

در رابطه‌ی بالا  $P_1$  و  $P_2$  المان‌های دو امضا را نشان می‌دهند که در این تحقیق توان بازگشتی (یا سایر

$$\bar{T} = \begin{bmatrix} T_0 \\ T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} = [T_0] \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\chi_t \cos 2\psi_t \\ \cos 2\chi_t \sin 2\psi_t \\ \sin 2\chi_t \end{bmatrix} \quad (5)$$

در این رابطه  $T_0$  شدت ارسالی کل،  $\psi_t$  زاویه‌ی جهت‌گیری و  $\chi_t$  زاویه‌ی بیضویت می‌باشند.

با استفاده از رابطه‌ی (۴) می‌توان پارامتر DoP را به صورت تابع زوایای بیضی پلاریزیشن فرستنده بدست آورد. با توجه به روابط (۴) و (۳) این پارامتر تنها تابع زوایای پلاریزیشن آنتن فرستنده است. نهایتاً با تغییر زوایای پلاریزیشن ارسالی (برای مثال با فاصله ۱ درجه) امضای پلاریزاسیون برحسب پارامتر DoP بدست می‌آید.

## ۲-۲- روش پیشنهادی

انتظار می‌رود که یک محصول در قطعه زمین‌های متفاوت در هر مرحله از مراحل مختلف رشد محصول میزان توان پراکنش بازگشتی متفاوت با مراحل دیگر و مشابه با هم داشته باشد. این امر سبب می‌شود که امضاها پلاریزاسیون نیز متفاوت باشند و بتوان از آنها در بازیابی فنولوژی محصولات استفاده کرد. امضاها مورد استفاده در این تحقیق امضاها پلاریزاسیون رایج و امضای درجه پلاریزاسیون می‌باشد.

با بدست آوردن امضای هر یک از مراحل فنولوژی محصول مورد نظر یک امضا به عنوان امضای مرجع در نظر گرفته می‌شود. انتخاب امضا برای بدست آوردن امضای مرجع به صورت تصادفی است. مرحله فنولوژی تخمین زده شده برای امضای مورد بررسی برابر با مرحله فنولوژی امضای مرجعی است که شباهت امضای بیشتری با آن امضا داشته باشد. برای محاسبه شباهت بین امضاها مرجع و سایر امضاها از معیارهای شباهت استفاده می‌شود. همان‌طور که گفته شد پراکنش‌ها و بازتاب‌های چند-گانه تاثیر عمده‌ای بر روی درجه پلاریزاسیون دارند. بنابراین درجه پلاریزاسیون می‌تواند به عنوان یک فاکتور مهم در تفسیر پراکنش بازگشتی مورد استفاده قرار گیرد. این پارامتر ارتباط زیادی با ویژگی‌های فیزیکی عارضه هدف دارد [۲۲]. هم‌چنین این پارامتر در زوایای بیضی پلاریزاسیون، نسبت به دوران پلاریزاسیون پایه دریافتی نامتغیر است. به عبارت دیگر با دوران محورهای  $x$  و  $y$  پلاریزاسیون پایه دریافتی در جهت انتشار، پارامتر نامتغیر باقی می‌ماند و تنها حاوی اطلاعات تارگت مورد نظر است.

<sup>۱</sup> Signature Matching Distance

<sup>۲</sup> Spectral Angle Mapper

در این مقاله فنولوژی محصول برای محصولات پیاز، جو و جو دوسر<sup>۱</sup> بازیابی شده است. در ادامه نتایج بدست آمده را ارائه کرده و به تحلیل آن می‌پردازیم.

#### ۴- نتایج

پیاز یک محصول دو ساله است یعنی برای رشد نیاز به دو سال زمان دارد. مراحل رشد پیاز به این صورت است که در سال اول تخم پیاز رشد و به پیازگل تبدیل می‌شود و سپس پیازگل شروع به رشد می‌کند. [۲۹]. برداشت پیاز به عنوان یک محصول خوراکی در انتهای مرحله رویش آن یعنی در پایان سال اول رشد صورت می‌گیرد. بنابراین پایش محصول برای دانستن زمان مناسب برای برداشت باعث داشتن محصول بهتر و داشتن پیازی مناسب‌تر هم چنین آگاهی از زمان مناسب برای برداشت دانه‌های پیاز مرغوب نیز ضروری است [۳۰].

این تحقیق تنها مرحله‌ی رویش پیاز یعنی سال اول رشد پیاز را مورد بررسی و بازیابی قرار می‌دهد. مراحل فنولوژی محصول پیاز در سال اول رشد در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- تصویر قطعه‌های محصولات مختلف منطقه Barrax

در این تحقیق از شش قطعه زمین پیاز منطقه‌ی Barrax برای بازیابی و تشخیص فنولوژی استفاده شده است. قطعه‌ها با نماد o در شکل ۱ نشان دهنده‌ی این قطعه زمین‌ها است.

<sup>۱</sup> barley

پارامترهای مورد استفاده) دو امضای پلاریزاسیون مختلف است، به عنوان مثال در امضای درجه پلاریزاسیون، مقدار DoP تصویر مرجع و پیرو جایگزین می‌شود و m در رابطه بالا تعداد حالت پلاریزاسیون را نشان می‌دهد. مقدار این معیار بین صفر و یک قرار می‌گیرد. مقدار یک این معیار بیان کننده‌ی عدم شباهت بین دو امضا است و در شباهت کامل مقدار این معیار صفر می‌باشد [۲۷].

#### ۳- داده‌های SAR، داده‌های زمینی و منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، منطقه‌ی Barrax (39° 5'14.87"N, 2° 1'39.78"W) واقع در اسپانیا در ارتفاع ۷۰۰ متری از سطح دریا می‌باشد. از تحقیقات انجام شده در این منطقه می‌توان به [۱۵]، [۲۸]، [۱۴] و [۸] اشاره کرد. داده‌های SAR و داده‌های زمینی مورد استفاده توسط ESA در قالب داده‌های AgriSAR 2009 تهیه شده است. این داده‌ها شامل بیش از ۱۰۰ قطعه زمین کشاورزی (شامل محصولات گندم، جو، انواع ذرت، پیاز، آفتابگردان و نخود سبز) برای تقریباً دو فصل می‌باشد. اطلاعات زمینی این منطقه شامل مراحل فنولوژی هر تاریخ از برداشت داده برای تمام قطعه‌های زمین و محصولات کشاورزی (اطلاعات فنولوژی ابتدای رشد محصول تا انتهای رشد آن) است. همچنین اطلاعات زمینی اضافی تنها برای ۲۳ قطعه زمین شامل تراکم محصول، جهت و ارتفاع محصول، اطلاعات آبیاری و اطلاعات هواشناسی آن مناطق مانند میزان بارش، سرعت باد و دمای هوا موجود می‌باشد.

در این تحقیق داده‌های پلاریمتریک SLC رادارست ۲ در باند C در مد تصویربرداری Fine-Quad با فاصله زمانی ۲۴ روز در شش ماه (شروع از ۲ آوریل)، با زاویه فرود بین ۲۰ تا ۴۱ درجه در گذرهای صعودی و نزولی استفاده شده است. اطلاعات بیشتر داده‌های پلاریمتریک در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های تصاویر رادارست ۲

مد	گذر ماهواره در مدار	متوسط زاویه‌ی فرود (بر حسب درجه)
FQ4	صعودی	۲۳
FQ6	نزولی	۲۵
FQ9	صعودی	۲۸
FQ11	نزولی	۳۱
FQ14	صعودی	۳۴
FQ16	نزولی	۳۶
FQ20	صعودی	۳۹

پس از بدست آوردن امضاهای مرجع و امضاهای پیرو برای هر قطعه و زاویه فرود، با توجه به تعداد کل مراحل فنولوژی تخمین زده شده و تعداد تخمین‌های درست، دقت تعیین فنولوژی با پارامتر پیشنهادی را به دست می‌آوریم. دقت هر یک از کلاس‌های در نظر گرفته شده نیز به صورت مجزا محاسبه می‌شود. برای تخمین مراحل فنولوژی از معیارهای شباهت استفاده می‌شود.

پس از بدست آوردن امضاهای مرجع و امضاهای پیرو برای هر قطعه و زاویه فرود، با توجه به تعداد کل مراحل فنولوژی تخمین زده شده و تعداد تخمین‌های درست، دقت تعیین فنولوژی با پارامتر پیشنهادی را به دست می‌آوریم. دقت هر یک از کلاس‌های در نظر گرفته شده نیز به صورت مجزا محاسبه می‌شود. برای تخمین مراحل فنولوژی از معیارهای شباهت استفاده می‌شود. به عنوان نمونه، شکل ۲ مقادیر معیارهای شباهت SAM و SMD را برای امضاهای درجه پلاریزاسیون مراحل رشد پیاز در کلاس‌های اول، دوم و سوم در تمامی قطعه زمین‌ها و برخی از زاویه فرودها نشان می‌دهد. مقادیر کمتر این معیارها، شباهت بیشتر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مقادیر شباهت امضاهای مرجع با امضاهای کلاس اول، دوم و سوم معمولاً دارای یک روند می‌باشند. در بازیابی مراحل فنولوژی، با توجه به شباهت بین امضاها کلاس فنولوژی امضای مورد بررسی به کلاس امضای پلاریزاسیون با بیشترین شباهت تعلق می‌گیرد. کلاس دوم به دلیل شباهت امضاهای مرجع در این کلاس به امضاهای مرجع کلاس اول و سوم دارای تغییرات معیار شباهت نامنظم‌تری است.

برای نمونه تصاویر مرجع امضای درجه پلاریزاسیون برای محصول پیاز در تصویر ۳ آورده شده است. هم‌چنین امضاهای درجه پلاریزاسیون پیاز در قطعه زمین اول (زاویه فرود ۲۵ درجه) در مراحل مختلف رشد در شکل ۴ نشان داده شده است. با مقایسه شکل ۳ و شکل ۴، می‌توان شباهت بین امضای مرجع و پیرو هر مرحله از رشد محصول را مشاهده نمود. به عنوان مثال امضای مرحله اول در شکل ۴ مشابه امضای مرجع مرحله اول در شکل ۳ می‌باشد.

برای تعیین مرحله فنولوژی پس از بدست آوردن امضاهای درجه پلاریزاسیون و امضاهای رایج در تمامی زاویه‌ها و قطعه‌های مختلف و مقایسه آن‌ها با امضاهای مرجع با استفاده از معیارهای شباهت، مرحله رشد محصول به کلاسی که امضاهای مرجع آن بیشترین شباهت را با امضای مورد بررسی دارد تعلق می‌گیرد.

جدول ۲- مراحل فنولوژی محصول پیاز در سال اول رشد

مرحله فنولوژی محصول پیاز	شماره مرحله فنولوژی
جوانه زنی	۱
ظاهر شدن ۲ برگ	۲
ظاهر شدن ۳-۲ برگ	۳
ظاهر شدن ۴-۳ برگ	۴
ظاهر شدن ۵-۶ برگ	۵
ظاهر شدن ۶-۷ برگ	۶
شروع متورم شدن پیازگل	۷
متورم شدن پیازگل	۸
رسیدن محصول	۹

برای قطعه‌های ۱۱ و ۱۲ تمامی مدهای اخذ تصویر در نظر گرفته شده است. برای قطعه‌های ۶ و ۷ تمامی مدها به جز مدهای FQ16 و FQ20 استفاده شده است و برای قطعه‌های ۹ و ۲ نیز تنها مد FQ20 استفاده نشده است. تمامی برداشت داده‌ها از ماه آپریل تا آگوست وجود دارد. هم‌چنین اطلاعات زمینی فنولوژی محصول در تمام تاریخ‌های اخذ تصویر موجود می‌باشد.

مراحل فنولوژی جو و جو دوسر در جدول ۳ ارائه شده است. هم‌چنین قطعه زمین‌های جو و جو دوسر به ترتیب با نمادهای A و B در شکل ۱ نشان داده شده است.

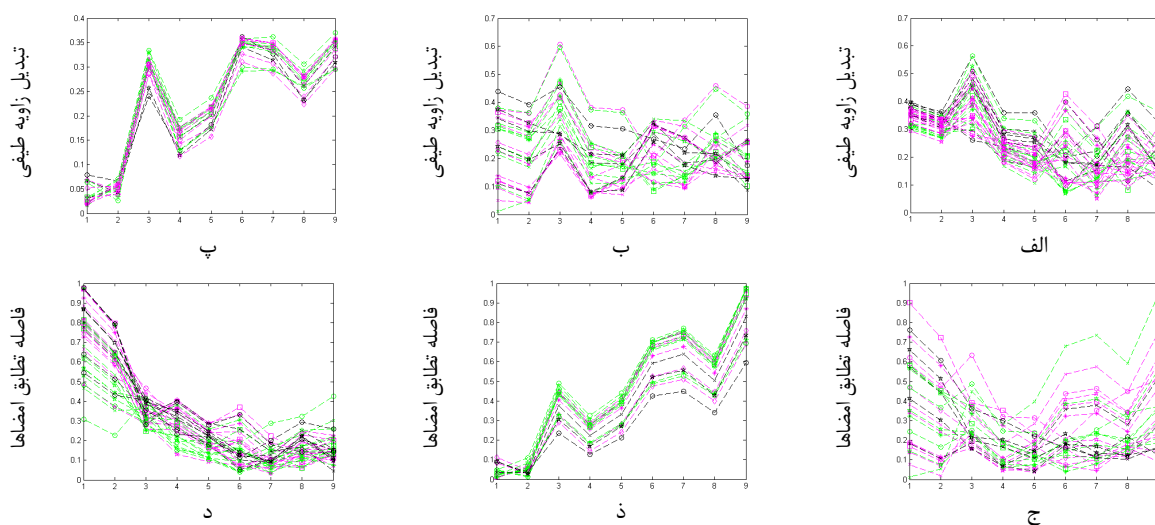
تمامی مدهای اخذ تصویر برای هر سه قطعه جو استفاده شده است. هم‌چنین برای قطعه‌های ۱، ۸ و ۱۲ جو دوسر تمامی مدها در نظر گرفته شده است. برای قطعه ۴ جو دوسر تمامی مدها به جز مد FQ20 استفاده شده است. هم‌چنین اطلاعات زمینی فنولوژی در تمامی تاریخ‌های اخذ تصویر موجود می‌باشد.

جدول ۳- مراحل فنولوژی محصول جو و جو دوسر

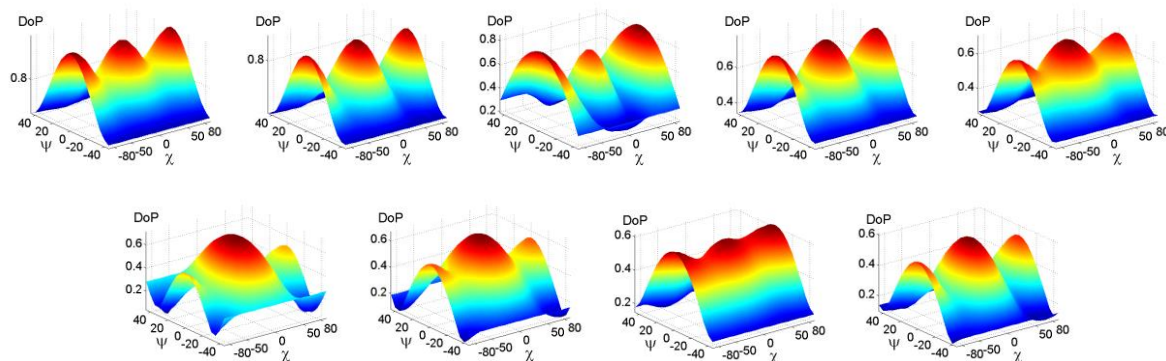
مرحله فنولوژی محصول جو	شماره مرحله فنولوژی
جوانه زنی	۱
آغاز بوته زنی	۲
بوته زنی	۳
آغاز رشد ساقه	۴
رشد ساقه	۵
پایان رشد ساقه	۶
ظهور گل و گل‌دهی	۷
هسته در حالت بین خمیری و مایع	۸
هسته در حالت خمیری	۹
هسته در حالت سخت و محکم	۱۰

تواند همواره دارای نتایج مناسب در بازایی باشد. مشاهدات ارائه شده در [۲۰] نیز این نتایج را تایید می-کنند. امضای cross-polarized حساسیت کمتری نسبت به امضای copolarized به زاویه فرود دارد [۲۰]. اطلاعات این دو امضا نیز دارای هم پوشانی می باشد [۱۹]. جدول های ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ دقت های بدست آمده در بازایی مراحل رشد را با استفاده از امضای درجه پلاریزاسیون و امضای پلاریزاسیون رایج و معیارهای شباهت SAM و SMD نشان می دهند.

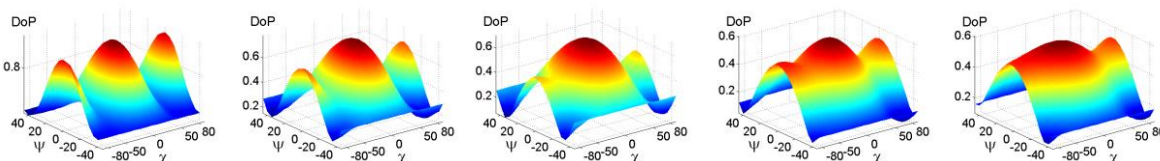
با توجه به شکل های ۵، ۶ و ۷ امضای پلاریزاسیون بدست آمده برای این سه محصول در دو زاویه فرود مختلف و بررسی امضای در زاویه فرودهای مختلف از یک مرحله از مراحل رشد، امضای درجه پلاریزاسیون مستقل از زاویه فرود و وابسته به محصول و پراکنش های بازگشتی از آن است، در حالی که امضای cross-polarized و polarized وابسته به زاویه فرود است [۳۱]. هم چنین استفاده از امضای مرجع cross-polarized و polarized در زاویه فرودهای مختلف نمی



شکل ۲- نمودارهای (الف)، (ب) و (پ) مقادیر شباهت SAM بین امضای مرجع که شماره آنها در محور افقی آمده است و امضای پیرو در کلاس اول، دوم و سوم، نمودارهای (د)، (ز) و (ج) مقادیر شباهت SMD بین امضای مرجع و امضای پیرو در کلاس اول، دوم و سوم، برای قطعه های ۲، ۶، ۷، ۹، ۱۱ و ۱۲ در زاویه فرودهای متوسط ۲۵، ۲۸ و ۳۶ درجه به ترتیب به رنگ های سبز، بنفش و سیاه



شکل ۳- امضای مرجع درجه پلاریزاسیون برای ۹ مرحله رشد محصول پیاز، ۴ مرحله ابتدایی در ردیف اول به ترتیب از چپ به راست، ۴ مرحله رشد بعدی در ردیف دوم و آخرین مرحله رشد در ردیف سوم



شکل ۴- امضای درجه پلاریزاسیون برای قطعه ۶، ۳ امضا در ردیف اول به ترتیب از چپ به راست مراحل ۱، ۴ و ۶، ۲ امضای ردیف دوم مراحل رشد ۸ و ۹ را نشان می دهد



جدول ۵- دقت‌های بازیابی مراحل فنولوژی محصول پیاز در سال اول  
رشد با استفاده از امضاهای پلاریزاسیون و معیار شباهت SMD

شماره کلاس در بازیابی	۱	۲	۳
دقت امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی هر کلاس (%)	۹۳/۸۷۸	۵۳/۰۳	۶۷/۴۱۶
دقت کلی امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی (%)	۶۹/۱۱۸		
دقت امضای copolarized در بازیابی هر کلاس (%)	۲۸/۵۷۱	۴۵/۴۵۴	۵۲/۸۰۹
دقت کلی امضای copolarized در بازیابی (%)	۴۴/۶۰۷		
دقت امضای cross-polarized در بازیابی هر کلاس (%)	۶۹/۳۸۷	۷۷/۲۷۳	۸۲/۰۲۲
دقت کلی امضای cross-polarized در بازیابی (%)	۷۷/۴۵۱		

جدول ۴- دقت‌های بازیابی مراحل فنولوژی محصول پیاز در سال اول  
رشد با استفاده از امضاهای پلاریزاسیون و معیار شباهت SAM

شماره کلاس در بازیابی	۱	۲	۳
دقت امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی هر کلاس (%)	۹۵/۹۱۸	۴۶/۹۷	۶۴/۰۴۵
دقت کلی امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی (%)	۶۶/۱۷۶		
دقت امضای copolarized در بازیابی هر کلاس (%)	۲۴/۴۸۹	۳۹/۳۹۴	۳۷/۰۷۹
دقت کلی امضای copolarized در بازیابی (%)	۳۴/۶۳۴		
دقت امضای cross-polarized در بازیابی هر کلاس (%)	۴۲/۸۵۷	۵۷/۵۷۶	۴۳/۸۲
دقت کلی امضای cross-polarized در بازیابی (%)	۴۸/۰۳۹		

جدول ۶- بازیابی مراحل فنولوژی محصول جو در طول رشد با از استفاده امضاهای پلاریزاسیون و معیار شباهت SAM

شماره کلاس در بازیابی	۱	۲	۳	۴	۵
دقت امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی هر کلاس (%)	-	۶۷/۷۴۲	۷۲/۲۲۲	۰	۹۶/۶۶۷
دقت کلی امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی (%)	۷۲/۴۱۴				
دقت امضای copolarized در بازیابی هر کلاس (%)	-	۲۹/۰۳۲	۳۸/۸۸۹	۰	۳۰
دقت کلی امضای copolarized در بازیابی (%)	۲۸/۷۳۵				
دقت امضای cross-polarized در بازیابی هر کلاس (%)	-	۱۶/۱۲۹	۵۵/۵۵۵	۲۵	۴۳/۳۳۳
دقت کلی امضای cross-polarized در بازیابی (%)	۳۴/۴۸۳				

جدول ۷- دقت‌های بازیابی مراحل فنولوژی محصول جو در طول رشد با از استفاده امضاهای پلاریزاسیون و معیار شباهت SMD

شماره کلاس در بازیابی	۱	۲	۳	۴	۵
دقت امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی هر کلاس (%)	-	۶۷/۷۴۲	۶۱/۱۱۱	۱۲/۵	۸۳/۳۳۳
دقت کلی امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی (%)	۶۶/۶۶۷				
دقت امضای copolarized در بازیابی هر کلاس (%)	-	۹/۶۷۷	۲۲/۲۲۲	۰	۱۳/۳۳۳
دقت کلی امضای copolarized در بازیابی (%)	۱۲/۶۴۴				
دقت امضای cross-polarized در بازیابی هر کلاس (%)	-	۳/۲۲۶	۵۰	۶۲/۵	۲۳/۳۳۳
دقت کلی امضای cross-polarized در بازیابی (%)	۲۵/۲۸۷				

جدول ۸- دقت‌های بازیابی مراحل فنولوژی محصول جو دوسر در طول رشد با استفاده از امضاهای پلاریزاسیون و معیار شباهت SAM

شماره کلاس در بازیابی	۱	۲	۳	۴	۵
دقت امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی هر کلاس (%)	-	۷۰/۸۳۳	۵۴/۵۴۵	۶۶/۶۶۷	۴۲/۴۲۴
دقت کلی امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی (%)	۵۶/۰۴۴				
دقت امضای copolarized در بازیابی هر کلاس (%)	-	۱۶/۶۶۷	۴۰/۹۰۹	۰	۲۴/۲۴۲
دقت کلی امضای copolarized در بازیابی (%)	۲۳/۰۷۷				
دقت امضای cross-polarized در بازیابی هر کلاس (%)	-	۳۷/۵	۲۷/۲۷۳	۱۶/۶۶۶	۵۴/۵۴۵
دقت کلی امضای cross-polarized در بازیابی (%)	۳۸/۴۶۱				

جدول ۹- دقت‌های بازیابی مراحل فنولوژی محصول جو دوسر در طول رشد با استفاده از امضاهای پلاریزاسیون و معیار شباهت SMD

شماره کلاس در بازیابی	۱	۲	۳	۴	۵
دقت امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی هر کلاس (%)	-	۷۵	۵۹/۰۹	۶۶/۶۶۷	۵۱/۵۱۵
دقت کلی امضای درجه پلاریزاسیون در بازیابی (%)	۶۱/۵۳۸				
دقت امضای copolarized در بازیابی هر کلاس (%)	-	۲۰/۸۳۳	۲۲/۷۲۷	۸/۳۳۳	۳۰/۳۰۳
دقت کلی امضای copolarized در بازیابی (%)	۲۳/۰۷۷				
دقت امضای cross-polarized در بازیابی هر کلاس (%)	-	۳۷/۵	۲۲/۷۲۷	۲۵	۳۹/۳۹۴
دقت کلی امضای cross-polarized در بازیابی (%)	۳۲/۹۶۷				

## ۵- تحلیل و بررسی

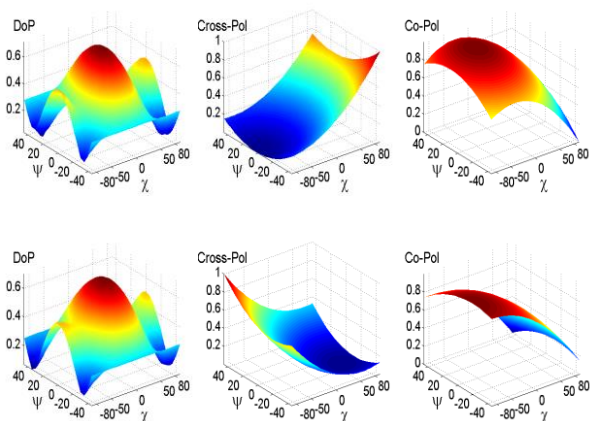
امضاهای رایج پلاریزاسیون همواره انرژی دریافتی از سطح را نشان می‌دهد که می‌تواند تحت تاثیر عوامل مختلف باشد. این در حالی است که امضای درجه پلاریزاسیون وابسته به ویژگی‌های فیزیکی سطح است. به طور کلی استفاده از امضای درجه پلاریزاسیون برای بازیابی فنولوژی محصول می‌تواند نتایج بهتری نسبت به سایر امضاها داشته باشد. به طور کلی استفاده از امضای درجه پلاریزاسیون نتایج بهتری را نسبت به سایر امضاهای پلاریزاسیون ارائه می‌دهد.

همان‌طور که گفته شد امضای درجه پلاریزاسیون وابسته به زاویه فرود نمی‌باشد و مستقل از پلاریزیشن دریافتی است، بنابراین بهتر می‌تواند نمایانگر ویژگی‌های فیزیکی خود محصول باشد.

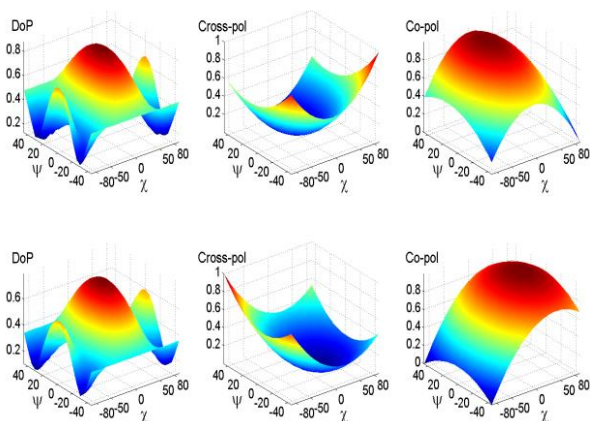
البته برای محصول پیاز بهترین دقت بازیابی برای امضای cross-polarized با استفاده از معیار شباهت SMD است. این در حالی است که دقت بازیابی با استفاده از این امضا و معیار شباهت SAM دقت مناسبی نیست. این نتیجه می‌تواند نشان دهنده شباهت نداشتن همه جانبه امضاهای cross-polarized و همواره کاربردی نبودن در تمامی زمین‌ها باشد.

بنابراین این امضا نمی‌تواند امضای مناسب در بازیابی فنولوژی محصول باشد. دقت‌های بازیابی با استفاده از امضاهای copolarized که حساسیت بیشتری به زاویه فرود دارند، نیز پایین است.

بازیابی کلاس‌های اول و سوم محصول پیاز به ترتیب از دقت بالاتری برخوردارند و کلاس دوم با توجه به شکل ۵ و شباهت امضاهای این کلاس با کلاس‌های قبل و بعد این کلاس، دارای دقت بازیابی پایین‌تری می‌باشد.



شکل ۵- از سمت راست به چپ در ردیف بالا به ترتیب امضاهای درجه پلاریزاسیون، cross-polarized و copolarized در زاویه‌ی فرود ۲۸ درجه و مرحله‌ی ششم رشد محصول پیاز و در ردیف پایین به ترتیب امضاهای درجه پلاریزاسیون، cross-polarized و copolarized در زاویه‌ی فرود ۲۵ درجه و مرحله‌ی ششم رشد محصول پیاز



شکل ۶- از سمت راست به چپ در ردیف بالا به ترتیب امضاهای درجه پلاریزاسیون، cross-polarized و copolarized در زاویه‌ی فرود ۳۹ درجه و مرحله‌ی سوم رشد محصول جو و در ردیف پایین به ترتیب امضاهای درجه پلاریزاسیون، cross-polarized و copolarized در زاویه‌ی فرود ۲۵ درجه و مرحله‌ی سوم رشد محصول جو

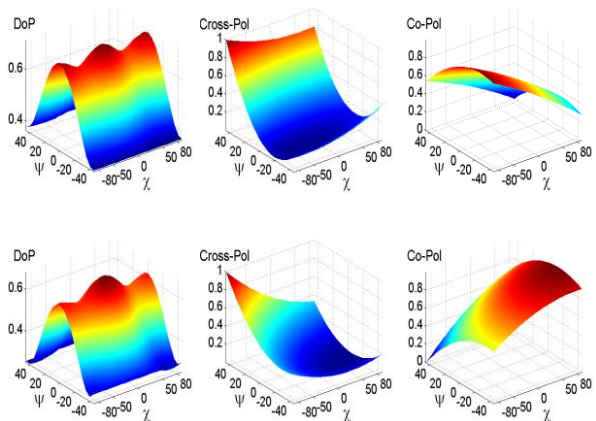
بهتری دارد. همچنین دقت‌های بازیابی با استفاده از امضاهای copolarized و cross-polarized که وابسته به زاویه فرود هستند، کم است.

## ۶- خلاصه و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت پایش و بازیابی فنولوژی محصول در کشاورزی، در این مطالعه به بررسی پتانسیل داده‌های پلاریمتریک رادارست ۲ باند C در تعیین فنولوژی ۳ محصول پیاز، جو و جو دوسر پرداخته شد. در این راستا استفاده از امضاهای پلاریزاسیون رایج و امضای درجه پلاریزاسیون برای تعیین فنولوژی پیشنهاد شد.

ابتدا برای هر یک از مراحل فنولوژی محصول یک امضای پلاریزاسیون به صورت تصادفی به عنوان امضای مرجع انتخاب شد. سپس امضاهای تمامی تصاویر قطعه-های زمین محصول را بدست آورده و با استفاده از معیارهای شباهت، شباهت این امضاها با امضاهای مرجع محاسبه شد. امضای مورد بررسی مرحله فنولوژی امضای مرجعی را به خود گرفت که با توجه به مقادیر معیارهای شباهت بیشترین شباهت بین امضای آن و امضای مرجع وجود داشت.

با توجه به نتایج و دقت‌های بدست آمده، بازیابی محصول پیاز با استفاده از امضای cross-polarized و معیار شباهت‌های فاصله مینا دارای دقت بهتری می‌باشد. بهترین دقت در محصول پیاز ۷۷/۴۵۱ با استفاده از امضای cross-polarized است. اما این امضاها شباهت و دقت کمی با استفاده از معیارهای براساس ویژگی شکل دارد. همچنین بهترین دقت بدست آمده محصول جو و جو دوسر به ترتیب ۷۲/۲۲۲ و ۵۶/۰۴۴ و با استفاده از امضای درجه پلاریزاسیون است. می‌توان نتیجه گرفت که امضای درجه پلاریزاسیون نتایج بهتری را نسبت به سایر امضاها برای بازیابی مراحل فنولوژی به دنبال داشت، از آنجا که امضای درجه پلاریزاسیون وابسته به زاویه فرود نمی‌باشد، و از امضاهای حاصل از تصاویر در زاویه فرودهای متفاوت به عنوان امضاهای مرجع استفاده شده است. همچنین استفاده از پارامتر درجه پلاریزاسیون همان طور که گفته شد، ارتباط زیادی با ویژگی‌های فیزیکی عارضه هدف دارد و نسبت به دوران پلاریزیشن پایه دریافتی نامتغیر است. لازم به ذکر است که در روش‌های پیشنهادی استفاده از معیارهای شباهت متفاوت در تعیین



شکل ۷- از سمت راست به چپ در ردیف بالا به ترتیب امضاهای درجه پلاریزاسیون، cross-polarized و copolarized در زاویه فرود ۲۸ درجه و مرحله سوم رشد محصول جو دوسر و در ردیف پایین به ترتیب امضاهای درجه پلاریزاسیون، cross-polarized و copolarized در زاویه فرود ۳۹ درجه و مرحله سوم رشد محصول جو دوسر

در محصول جو با توجه به جداول ۶ و ۷ نیز به طور کلی استفاده از امضاهای درجه پلاریزاسیون نتایج مناسب‌تری را نسبت به سایر امضاهای پلاریزاسیون ارائه می‌دهد. بهترین دقت در بازیابی این محصول برای امضای درجه پلاریزاسیون با استفاده از معیار شباهت SAM حاصل شده است که می‌تواند نشان دهنده شباهت امضاهای مرجع و سایر امضاها در مبنای جهت باشد و همچنین شباهت بر مبنای فاصله کم‌تر است. بازیابی کلاس چهارم در امضاهای مختلف دارای دقت پایین است که می‌تواند به دلیل وجود یک مرحله فنولوژی در این کلاس و شباهت این مرحله با مراحل موجود در کلاس‌های قبل و بعد باشد. همچنین دقت‌های بازیابی با استفاده از امضاهای copolarized و cross-polarized که وابسته به زاویه فرود هستند، پایین است.

در بازیابی فنولوژی محصول جو دوسر، جدول‌های ۸ و ۹، به طور کلی استفاده از امضاهای پلاریزاسیون رایج نتایج مناسبی را نمی‌دهد، با این وجود امضای درجه پلاریزاسیون با توجه به نکات گفته شده درباره‌ی این امضا نتایج مناسب‌تری را ارائه می‌دهد. بهترین دقت در بازیابی این محصول برای امضای درجه پلاریزاسیون با استفاده از معیار شباهت SMD حاصل شده که همان‌طور که در شکل امضاها دیده می‌شود شباهت بین امضاهای این محصول از نظر مقادیر نسبت به جهت قرارگیری آن‌ها بیشتر است. بنابراین معیار SMD که یک معیار مقدار مبناست نسبت به معیارهای شکل مینا یعنی SAM عملکرد

cross-polarized و جو با استفاده از امضای درجه پلاریزاسیون نسبت به دو محصول دیگر ارائه می‌دهد. در واقع رفتار این محصولات با پارامترهای که در این در نظر گرفته شده است منطبق‌تر بود است.

### سپاسگزاری

در پایان از آژانس فضایی اروپا برای ارائه اطلاعات SAR که در طول AgriSAR 2009 جمع آوری شده است تشکر می‌کنیم.

شباهت بین امضاهای درجه پلاریزاسیون نشان از شباهت بین این امضاها از جنبه‌های متفاوت بررسی شباهت است. در مقابل، استفاده از امضاهای cross-polarized و copolarized به دلیل وابستگی به زاویه فرود همواره دقت‌های خوبی ارائه نداد. همچنین استفاده از معیارهای شباهت متفاوت به دلیل شباهت نداشتن امضاها از تمامی جنبه‌های بررسی شباهت، نتایج متفاوتی به همراه داشت. به عنوان مقایسه‌ای بین محصولات مختلف، نتایج حاکی از آن بود که روش‌های پیشنهادی عملکرد بهتری در بازیابی فنولوژی محصول پیاز با استفاده از امضای

### مراجع

- [1] Wiseman, G., et al., RADARSAT-2 polarimetric SAR response to crop biomass for agricultural production monitoring. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens*, 2014. 7(11): p. 4461-4471.
- [2] Zadoks, J.C., T.T. Chang, and C.F. Konzak, A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 1974. 14(6): p. 415-421.
- [3] Baghdadi, N., et al., Potential of SAR sensors TerraSAR-X, ASAR/ENVISAT and PALSAR/ALOS for monitoring sugarcane crops on Reunion Island. *Remote Sensing of Environment*, 2009. 113(8): p. 1724-1738.
- [4] Wang, H., R. Magagi, and K. Goita, Polarimetric Decomposition for Monitoring Crop Growth Status. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2016. 13(6): p. 870-874.
- [5] Le Toan, T., et al., Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997. 35(1): p. 41-56.
- [6] Kurosu, T., M. Fujita, and K. Chiba, Monitoring of rice crop growth from space using the ERS-1 C-band SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1995. 33(4): p. 1092-1096.
- [7] Lopez-Sanchez, J.M. and J.D. Ballester-Berman, Potentials of polarimetric SAR interferometry for agriculture monitoring. *Radio Science*, 2009. 44(02): p. 1-20.
- [8] Lopez-Sanchez, J.M., et al. Estimating phenology of agricultural crops from space. in *ESA Living Planet Symp.*, Edinburgh, UK. 2013.
- [9] De Bernardis, C.G., et al., Estimation of key dates and stages in rice crops using dual-polarization SAR time series and a particle filtering approach. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2015. 8(3): p. 1008-1018.
- [10] Lopez-Sanchez, J.M., et al., Polarimetric response of rice fields at C-band: Analysis and phenology retrieval. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2014. 52(5): p. 2977-2993.
- [11] Vicente-Guijalba, F., T. Martinez-Marin, and J.M. Lopez-Sanchez, Crop phenology estimation using a multitemporal model and a Kalman filtering strategy. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2014. 11(6): p. 1081-1085.
- [12] Cable, J.W., et al., Agricultural monitoring in northeastern Ontario, Canada, using multi-temporal polarimetric RADARSAT-2 data. *Remote Sensing*, 2014. 6(3): p. 2343-2371.
- [13] Yang, Z., et al., Rice growth monitoring using simulated compact polarimetric C band SAR. *Radio Science*, 2014. 49(12): p. 1300-1315.
- [14] Mascolo, L., Polarimetric SAR for the monitoring of agricultural crops. 2015, *Universita'degli Studi di Cagliari*.
- [15] Mascolo, L., et al., A complete procedure for crop phenology estimation with PolSAR data based on the complex Wishart classifier. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2016. 54(11): p. 6505-6515.
- [16] Küçük, Ç., G. Taşkın, and E. Erten, Paddy-rice phenology classification based on machine-learning methods using multitemporal co-polar X-band SAR images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2016. 9(6): p. 2509-2519.

- [17] Lopez-Sanchez, J.M., J.D. Ballester-Berman, and I. Hajnsek, First results of rice monitoring practices in Spain by means of time series of TerraSAR-X dual-pol images. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 2011. 4(2): p. 412-422.
- [18] Ponnuram, G.G., et al., Soil moisture estimation using hybrid polarimetric SAR data of RISAT-1. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2016. 54(4): p. 2033-2049.
- [19] Van Zyl, J.J., H.A. Zebker, and C. Elachi, Imaging radar polarization signatures: Theory and observation. *Radio science*, 1987. 22(4): p. 543-529.
- [20] Touzi, R., J. Hurley, and P.W. Vachon, Optimization of the degree of polarization for enhanced ship detection using polarimetric RADARSAT-2. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015. 53(10): p. 5403-5424.
- [21] Lee, J.-S. and E. Pottier, *Polarimetric radar imaging: from basics to applications*. 2009: CRC press.
- [22] Chang, G. and Y. Oh. Polarimetric SAR image classification based on the degree of polarization and co-polarized phase-difference statistics. in *Microwave Conference, 2007 .APMC 2007. Asia-Pacific. 2007*. IEEE.
- [23] Boerner, W.-M., H. Mott, and E. Luneburg. Polarimetry in remote sensing: basic and applied concepts. in *Geoscience and Remote Sensing, 1997. IGARSS'97. Remote Sensing-A Scientific Vision for Sustainable Development., 1997 IEEE International. 1997*. IEEE.
- [24] Beecks, C., *Distance-based similarity models for content-based multimedia retrieval*. 2013.
- [25] Galal, A., H. Hasan, and I. Imam, Learnable hyperspectral measures. *Egyptian Informatics Journal*, 2012. 13(2): p. 94-85.
- [26] Chen, J., R. Wang, and C. Wang, Combining magnitude and shape features for hyperspectral classification. *International Journal of Remote Sensing*, 2009. 30(14): p. 3625-3636.
- [27] Raghavendra, R., et al. Robust gender classification using extended multi-spectral imaging by exploring the spectral angle mapper. in *Identity, Security, and Behavior Analysis (ISBA), 2018 IEEE 4th International Conference on. 2018*. IEEE.
- [28] Moran, M.S., et al., A RADARSAT-2 quad-polarized time series for monitoring crop and soil conditions in Barrax, Spain. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2012. 50(4): p. 1057-1070.
- [29] Lee, R., et al., FLOWERING LOCUS T genes control onion bulb formation and flowering. *Nature communications*, 2013. 4: p. 2884.
- [30] Brewster, J.L., *Onions and other vegetable alliums*. Vol. 15. 2008: CABI.
- [31] Schuler, D.L., J.-S. Lee, and K.W. Hoppel, Polarimetric SAR image signatures of the ocean and Gulf Stream features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1993. 31 : (۱) p. 1210-1221.