

# شبیه‌سازی و تحلیل اثر زاویه فرود و شکل اهداف در تصاویر SAR

مجتبی بهزاد فلاح پور<sup>۱</sup>  
علی جبار رشیدی<sup>۳</sup>  
حمید دهقانی<sup>۲</sup>  
عباس شیخی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۲/۳۰

\*\*\*\*\*

## چکیده

عوامل تأثیرگذار در تصاویر SAR را می‌توان به پنج دسته کلی رادار، سکوی حامل رادار، کانال، ناحیه تصویربرداری و بخش پردازش داده‌های خام تقسیم نمود. در هر کدام از این عوامل، پارامترهای متنوع فیزیکی، ساختاری، سخت افزاری و نرم افزاری تأثیرگذار بوده، به گونه‌ای که می‌توان نقش هر کدام را در تصویر تشکیل شده نهایی مشاهده کرد. مدلسازی، تحلیل و در مجموع شناخت اثر هر کدام از این پارامترها، درک بهتری از نحوه عملکرد سامانه‌های تصویربرداری SAR ایجاد می‌کند و از این منظر، نه تنها گام مهمی در جهت طراحی و ساخت این نوع سامانه‌ها خواهد بود، بلکه امکان تفسیر و تحلیل این نوع تصاویر را نیز فراهم می‌آورد. برای این منظور در مقاله حاضر اثر زاویه فرود و شکل اهداف که جزء پارامترهای رادار و ناحیه تصویربرداری می‌باشند، در تصاویر SAR شبیه‌سازی می‌گردد. اشکال به کار گرفته شده در این شبیه‌سازی استوانه، مخروط و مکعب هستند که در دنیای واقعی بیانگر ساختمان‌ها، سوله‌ها، تنه‌های درخت و ... می‌باشند، لذا از فراوانی زیادی در تصاویر SAR برخوردارند. همچنین برای جامع‌تر بودن نتایج، زوایای فرود مختلف ۳۰، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۶۰ درجه برای شبیه‌سازی انتخاب شده‌اند. با این شبیه‌سازی و تحلیل نتایج حاصل از آن، الگوی رفتاری اشکال هندسی فوق در زوایای فرود مختلف از منظر سامانه‌های تصویربرداری SAR استخراج می‌شود و بدین ترتیب گام مهمی در جهت شناسایی و تشخیص اشکال مختلف که یکی از موضوعات بسیار مهم در تفسیر تصاویر SAR محسوب می‌گردد برداشته خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: SAR، سنجش از دور، فضای سیگنالی، فضای تصویری، الگو

\*\*\*\*\*

۱. دانشجوی دکتری رشته برق - مخابرات، دانشگاه صنعتی مالک اشتر (نویسنده مسئول) m\_behzad-fp@yahoo.com

۲. استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر hamid\_deh@yahoo.com

۳. دانشیار مجتمع دانشگاهی برق و الکترونیک دانشگاه صنعتی مالک اشتر aiorashid@yahoo.com

۴. استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه شیراز sheikhi@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

فضاپایه<sup>۶</sup> و هواپایه<sup>۷</sup> می باشد. علاوه بر نوع نگاه، نحوه اسکن (مد تصویربرداری) ناحیه تصویربرداری در این سامانه‌ها نیز به یکی از صورت‌های عمده Stripmap، Spotlight و ScanSAR است که در نگاره ۲ نشان داده شده‌اند (Galber, et al., 2014) و (Li, et al., 2015).

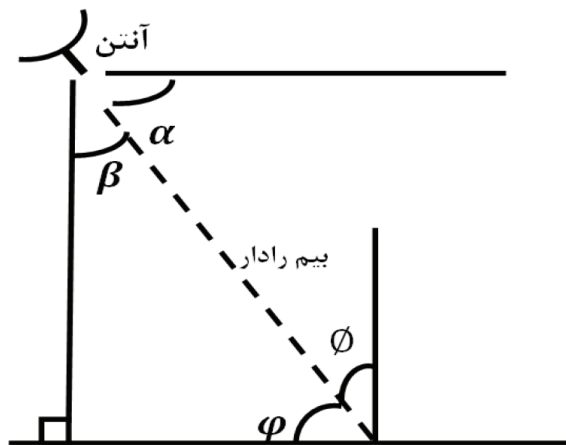
با این وجود تفسیر تصاویر SAR و استخراج اطلاعات از آنها بسیار پیچیده می باشد. زیرا عوامل درون سیستمی و برون سیستمی زیادی چون رادار، سکوی حامل رادار، کانال، ناحیه تصویربرداری و بخش پردازش داده‌های خام در تصاویر SAR اثرگذار هستند که هرکدام از زیر پارامترهای فراوانی تشکیل شده‌اند (معیار در بیان درون سیستمی و برون سیستمی، سیستم SAR است). در این مقاله، اثر زاویه فرود<sup>۸</sup> که یک عامل درون سیستمی بوده و پارامتر رادار محسوب می شود و شکل اهداف که یک عامل برون سیستمی بوده و پارامتر ناحیه تصویربرداری می باشد، شبیه سازی می شود. با این شبیه سازی و تحلیل نتایج حاصل از آن الگوی رفتاری

از نظر نوع اطلاعات، زمان اخذ داده و نحوه اخذ تصویر، سنجش از دور راداری SAR<sup>۱</sup> به عنوان مکملی برای سنجش از دور الکترواپتیکی محسوب می شود (Cumming, Wong, 2006). از نظر نوع اطلاعات، سامانه‌های تصویربرداری SAR، امکان اخذ اطلاعاتی را فراهم می آورند که توسط سنجش از دور الکترواپتیکی امکانپذیر نیست. برای مثال در این نوع سامانه‌های تصویربرداری امکان ثبت فاز و ثبت اطلاعات در پلاریزاسیون‌های مختلف وجود دارد.

به طوری که از اطلاعات فاز برای اندازه‌گیری تداخل‌ها و تغییرات ارتفاعی سطح با دقت بسیار بالا استفاده می شود. همچنین از امکان اخذ اطلاعات در پلاریزاسیون‌های مختلف نیز جهت استخراج اطلاعاتی در ارتباط با شکل و جهت اهداف و بافت‌های مختلف سطح استفاده می گردد (Richards, 2009) و (Banda, et al., 2014).

از نظر زمان اخذ داده، با توجه به فعال بودن و همچنین قابلیت انتخاب طول موج ارسالی در رادارهای SAR، این سامانه‌ها به ابزار قدرتمندی برای دید در شب و شرایط جوی ابری، بارندگی و گرد و غبار تبدیل شده‌اند (Melvin, 2013).

از نظر نحوه اخذ تصویر، سامانه‌های SAR به سامانه‌های جانبگر<sup>۲</sup> معروف هستند که از کنار به ناحیه تصویربرداری نگاه می کنند. لذا زاویه دید<sup>۳</sup> (زاویه میان بردار عمود بر سطح زمین و راستای موج در محل سنجنده (نگاره ۱))،  $\beta$ ، در آنها بین ۰ تا ۹۰ درجه می باشد. زیرا در نگاه عمودی  $\beta = 0$  و نگاه مستقیم  $\beta = 90$  به ناحیه مورد نظر، همواره دو نقطه در ناحیه تصویربرداری وجود دارند که اکوی هر دوی این نقاط در یک لحظه در گیرنده دریافت شده و این موضوع سبب ایجاد ابهام در تصاویر SAR می شود. از اینرو هنده جانبگر یک هندسه استاندارد برای SARهای



نگاره ۱: مفهوم زوایای مختلف در تصویربرداری SAR.  $\alpha$  زاویه گسترش (زاویه تورفتگی)،  $\beta$  زاویه دید، زاویه Grazing و زاویه  $\phi$  فرود. اگر سطح زمین صاف باشد زاویه دید و فرود با یکدیگر برابر خواهند بود (Melvin, 2013).

6- Space Borne  
 7- Air Borne  
 8- Incident Angle  
 9- Depression Angle

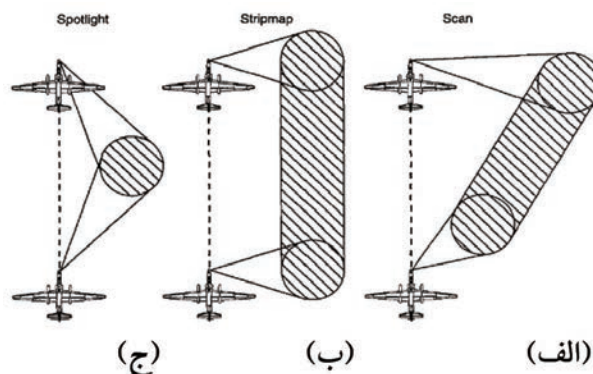
1- Synthetic Aperture Radar (SAR)  
 2- Side Looking  
 3- Look Angle  
 4- Downward Looking  
 5- Forward Looking

حجم مورد نظر است که به صورت سطوح خاکستری<sup>۲</sup> در یک صفحه دو بعدی در اختیار کاربر قرار داده شده و به عنوان تصویر SAR شناخته می‌شود. در واقع تصویری که از سامانه SAR بدست می‌آید نمای ضریب انعکاس<sup>۳</sup> پیکسل‌های سطح در فرکانس مایکروویو است. ابعاد المان‌های سطحی یا حجمی که RCS آنها اندازه‌گیری می‌شود را قدرت تفکیک مکانی<sup>۴</sup> سامانه SAR می‌گویند (Li, et al., 2015).

عمل تصویربرداری در سامانه SAR با جابجا نمودن سکو در یک مسیر مستقیم که مسیر پرواز نامیده می‌شود و عمود بر خط ندیر است انجام می‌گردد. ناحیه‌ای که آنتن رادار بر روی زمین پوشش می‌دهد اثر یا رد زمینی آنتن<sup>۵</sup> نامیده می‌شود. با حرکت سکو در امتداد مسیر پرواز، ناحیه‌ای بر روی زمین اسکن می‌شود که به آن ناحیه تصویر (نوار اسکن رادار)<sup>۶</sup> گفته می‌شود. محور طولی ناحیه تصویر که با مسیر پرواز موازی است را سمت<sup>۷</sup> و محور عرضی که بر مسیر پرواز عمود است را برد زمینی<sup>۸</sup> می‌نامند (Massonnet, et al., 2008).

برای تشکیل یک تصویر در سامانه‌های SAR سه گام اساسی وجود دارد که به ترتیب عبارتند از: جمع آوری داده‌ی خام، تشکیل فضای سیگنال و تشکیل فضای تصویری (Cumming, Wong, 2006). این سه گام در این مقاله، فرآیند تصویربرداری SAR نامیده شده‌اند (نگاره ۳).

منظور از جمع‌آوری داده‌ی خام، بدست آوردن سطح مقطع راداری در هر موقعیت از سمت است. سطح مقطع راداری خصوصیتی است که توسط آن میزان توان بازگشتی از یک هدف مشخص می‌شود و در رادارهای SAR از اهمیت بالایی برخوردار است. زیرا بالا بودن آن معرف این است که توان بیشتری از آن هدف به سمت رادار برگشته و آن هدف در تصویر SAR روشن‌تر دیده می‌شود (Shan, et al., 2013).



نگاره ۲: نحوه اسکن سطح توسط سامانه تصویربرداری SAR. الف) Scan SAR (ب) Strip map (ج) Spotlight (Carrara, et al., 1995).

اشکال هندسی متفاوت در زوایای فرود مختلف از منظر سامانه‌های تصویربرداری SAR استخراج می‌گردد. بدین ترتیب گام مهمی در جهت شناسایی و تشخیص اشکال مختلف که یکی از موضوعات بسیار مهم در تفسیر تصاویر SAR محسوب می‌شود و موضوع اصلی این مقاله نیز است، برداشته خواهد شد. به علاوه شناخت بهتر سامانه و امکان طراحی سطوح و شکل اهداف واقعی، کاذب و رادارگریز برای پدافند غیرعامل و جنگ الکترونیک در برابر سامانه‌های تصویربرداری SAR نیز از دیگر قابلیت‌های جانبی بوجود آمده در این مقاله هستند.

در این راستا مقاله‌ی حاضر در پنج بخش ارائه گردیده است. در بخش دوم اصول عملکرد سامانه‌های تصویربرداری SAR بیان می‌شود. در ادامه و در بخش سوم تأثیر زاویه فرود و شکل اهداف در تصاویر SAR بیان می‌گردد. در بخش چهارم الگوی اشکال هندسی مختلف در تصاویر SAR استخراج می‌شود و در نهایت در بخش پنجم به تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی پرداخته خواهد شد.

## ۲- اصول عملکرد سامانه‌های تصویربرداری SAR

هدف سامانه‌های SAR، تصویربرداری راداری از یک ناحیه می‌باشد. منظور از تصویربرداری راداری استخراج سطح مقطع راداری<sup>۱</sup> (RCS) مربوط به المان‌های سطح یا

2- Gray Level  
 3- Backscatter  
 4- Spatial Resolution  
 5-Flight Path  
 6- Antenna Footprint  
 7- Radar Swath  
 8- Azimuth  
 9- Ground Range

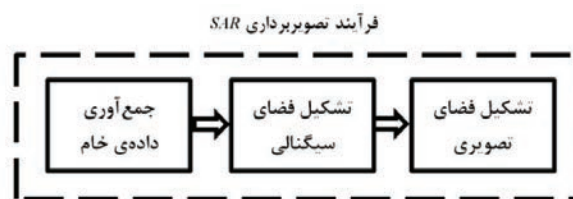
1- Radar Cross Section(RCS)

بین قدرت تفکیک برد زمینی و سیگنال به نویز سیگنال بازگشتی نیاز می‌باشد. از این رو زاویه فرود در سامانه‌های تصویربرداری SAR، معمولاً ۴۵ درجه انتخاب می‌شود (جانبنگر) تا مزیت‌های توان و قدرت تفکیک را به صورت همزمان داشته باشد. (Massonnet, et al., 2008)

با توجه به موارد ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که زاویه فرود اثر زیادی در روشنایی تصویر دارد. به طوریکه زاویه فرود کوچک منجر به بازگشت پرتو راداری قوی‌تر و تصویر روشن‌تر و زاویه فرود بزرگتر منجر به بازگشت پرتو راداری ضعیف‌تر و تصویر تاریک‌تر می‌گردد. به عبارت دیگر در زاویه فرود کوچک تابش عمودی تر بوده و در نتیجه تقریباً تمام موج تابش شده به سمت رادار باز می‌گردد ولی در زاویه فرود بزرگ تابش مایل‌تر بوده و در نتیجه بخش اعظمی از آن به سمت‌های دیگر پراکنده شده و قسمت کوچکی از آن به سمت رادار باز می‌گردد.

علاوه بر زاویه فرود، شکل اهداف نیز یکی از عوامل مهم در تعیین میزان روشنایی تصاویر SAR می‌باشد و اهداف مختلف با توجه به شکلی که دارند در مقابل امواج راداری عکس‌العمل‌های متفاوتی خواهند داشت. به طوری که طبق قوانین بازتابش اسنل و با توجه به نگاره ۵، بعضی از آنها مطابق یک شکل هموار عمل کرده (A) و تمامی امواج را بازتاب آینه‌ای می‌کنند. چنین اشکالی به صورت تیره در تصویر راداری دیده می‌شوند و بعضی از آنها به صورت سطوح ناهموار، امواج را در جهت‌های مختلف بازتابش می‌کنند (B) که چنین سطوحی در تصویر SAR روشن‌تر دیده می‌شوند و بعضی هم مانند بازتاب کننده‌های گوشه‌ای<sup>۲</sup> (C) قوی‌ترین امواج را به سمت رادار می‌فرستند که در تصویر رادار بسیار روشن دیده می‌شوند. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که هر دو عامل شکل هدف و زاویه فرود در میزان توان سیگنال بازگشتی به سمت رادار مؤثر هستند و باعث ایجاد تغییرات در میزان روشنایی تصاویر SAR می‌شوند.

بعد از استخراج سطح مقطع راداری نوبت به اعمال این مقادیر در فرآیند تصویربرداری SAR و تشکیل فضای سیگنالی می‌رسد. برای این منظور اکوی سیگنال ارسالی در گیرنده دریافت شده و پس از انتقال به باند پایه، در جهت برد نمونه‌برداری می‌شود. این نمونه‌ها در یک آرایه دوبعدی که به آن فضای سیگنالی می‌گویند قرار داده خواهند شد (Yang, Chang., 2012). بعد از تشکیل فضای سیگنالی و اعمال الگوریتم‌های تشکیل تصویر بر روی آن، فضای تصویری بوجود می‌آید. تصویر بوجود آمده نحوه رفتار هدف مورد نظر را از منظر سامانه‌های تصویربرداری SAR نشان می‌دهد و به آن الگوی رفتاری یا عملکردی آن هدف خاص می‌گویند (Zhao, et al., 2013) و (Luo, et al., 2014).



نگاره ۳: فرآیند تصویربرداری SAR

### ۳- تأثیر زاویه فرود و شکل اهداف در تصاویر SAR

زاویه بین راستای موج و خط عمود بر شیب محلی عارضه زمین را زاویه فرود محلی<sup>۱</sup> می‌گویند (نگاره ۴) و در زمانی که ناحیه مورد تصویربرداری بر روی زمین، یک سطح صاف باشد، زاویه فرود و زاویه فرود محلی با هم برابر خواهند شد. زاویه فرود در سامانه‌های تصویربرداری SAR، با توجه به دو عامل میزان توان سیگنال بازگشتی و قدرت تفکیک برد زمینی تعیین می‌شود. قدرت تفکیک برد زمینی زمانی حداکثر است که زاویه فرود ۹۰ درجه باشد به عبارت دیگر در زاویه فرود ۹۰ درجه، قدرت تفکیک برد زمینی و برد مایل یکسان خواهند شد (دید مستقیم). همچنین سیگنال بازگشتی به رادار، زمانی از حداکثر توان برخوردار است که با زاویه فرود صفر درجه به هدف تابیده شود (عمودنگر). لذا در تعیین زاویه فرود به یک مصالحه

2- Corner Reflector

1- Local Incident Angle

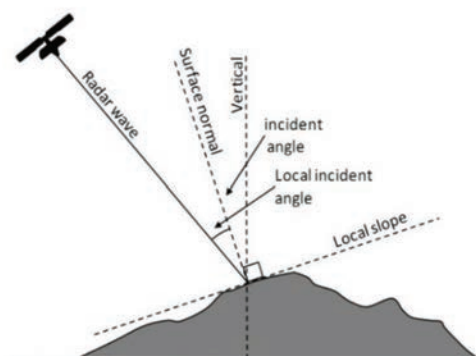
معمولاً سامانه تصویربرداری SAR در حین تصویربرداری بیشتر با آنها مواجه می‌شود و فراوانی زیادی در تصاویر SAR دارند، استخراج می‌شود. این اشکال مکعب، استوانه و مخروط هستند که در ابعاد نقطه‌ای<sup>۱</sup> تعریف شده‌اند و در دنیای واقع و از منظر کلان، می‌توانند بیانگر اهداف گسترده‌ای<sup>۲</sup> چون ساختمان‌ها، سوله‌ها، تنه‌های درخت و ... در سطح زمین باشند. زیرا طبق مدل پراکندگی نقطه آرمانی<sup>۳</sup>، یک هدف گسترده را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از اهداف نقطه‌ای در نظر گرفت (Andrew, et al., 2003) که از این منظر، استخراج الگوی اهداف نقطه‌ای در این مقاله، به عنوان زیربنای شناسایی اهداف گسترده در تصاویر SAR مطرح می‌باشد.

#### ۴- استخراج الگوی اشکال مختلف در تصاویر SAR

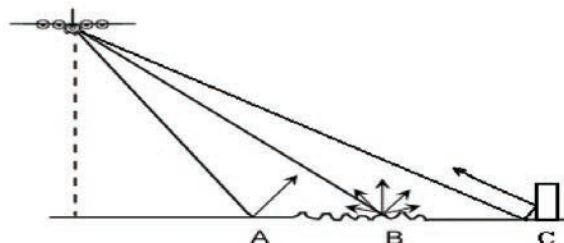
در این مقاله برای استخراج الگوی رفتاری اشکال مکعبی، استوانه‌ای و مخروطی در زوایای فرود مختلف از بلوک دیاگرام موجود در نگاره ۷ و مشخصات سامانه تصویربرداری RADARSAT<sup>۱</sup> که یک SAR فضاپایه در فرکانس کاری 5.3 GHz، پلاریزاسیون افقی و زاویه فرود ۴۵ درجه است، استفاده شد. جزییات مربوط به بلوک دیاگرام موجود در نگاره ۷، در فلوچارت نگاره ۸ نشان داده شده است.

همانطور که در فلوچارت موجود در نگاره ۸ مشاهده می‌شود پیشنهاد استفاده از نرم افزار CST در این مقاله، این امکان را بوجود می‌آورد که اثر پارامترهای درون سیستمی و برون سیستمی باهم مورد مطالعه قرار گیرند. به طوریکه تأثیر پارامترهای درون سیستمی را در قسمت فرستنده رادار و تأثیر پارامترهای برون سیستمی را در قسمت مدلسازی سه بعدی از هدف می‌توان ایجاد نمود.

از این منظر، برای اولین بار، در مقاله‌ی حاضر به استخراج الگوی رفتاری دقیق از اشکال مختلف در زوایای



نگاره ۴: زاویه فرود و زاویه فرود محلی (Lopez, 2008)



نگاره ۵: ساختار شکلی اهداف (Lopez, 2008)

برای استخراج الگوی اشکال هندسی متفاوت در زوایای فرود مختلف نیازمند اعمال این اثر در فرآیند تصویربرداری SAR خواهیم بود. برای این منظور از مفهوم سطح مقطع راداری استفاده می‌شود. زیرا همانطور که در بخش دوم گفته شد، سطح مقطع راداری خصوصیتی است که تعیین کننده میزان توان سیگنال بازگشتی از یک هدف به سمت رادار است. به عبارت دیگر سطح مقطع راداری یک پارامتر کلان است که دربرگیرنده زیرپارامترهایی چون زاویه فرود و شکل اهداف می‌باشد (نگاره ۶).

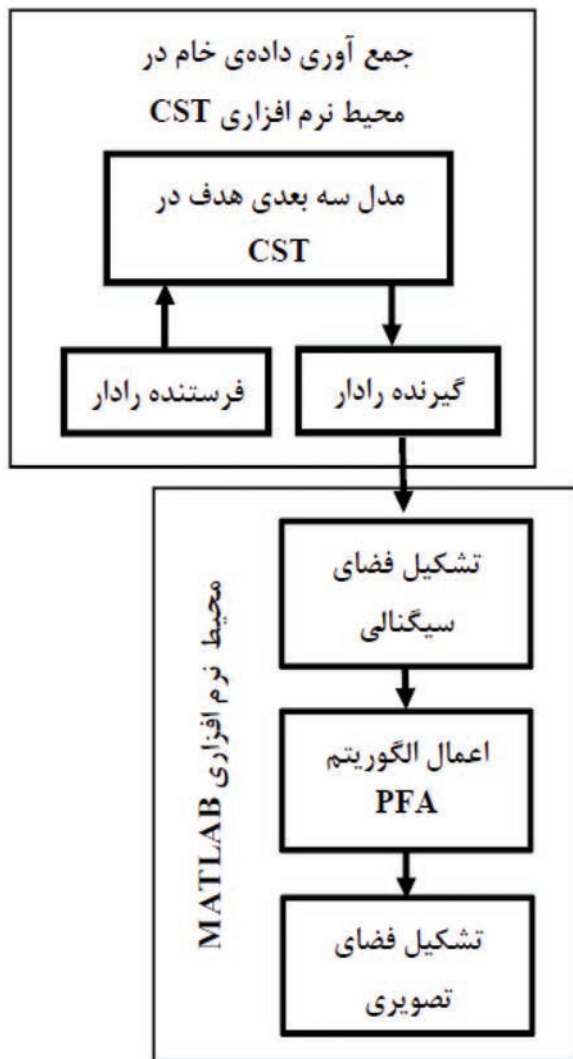


نگاره ۶: تأثیر زاویه فرود و شکل اهداف در تصویربرداری SAR

در ادامه با توجه به مطالب بیان شده در دو قسمت قبلی و تلفیق آنها با یکدیگر، الگوی چند هدف استاندارد و واقعی که

1- Pointing  
 2- Distributed Target  
 3- Ideal Point Scatter Model

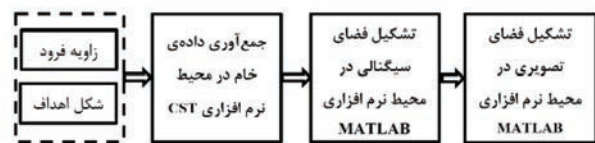




فرود مختلف پرداخته شده است و این در حالی است که در سایر مقالات معمولاً یک اثر را ثابت و دیگری را متغیر در نظر می‌گیرند. برای شبیه‌سازی، مطابق فلوجارت نگاره ۸، ابتدا مکعب، استوانه و مخروط در محیط نرم افزاری CST<sup>۱</sup> ایجاد شدند (نگاره ۹). سپس عمل جمع‌آوری داده‌ی خام در این محیط و در زوایای فرود ۳۰، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۶۰ انجام شد تا ضمن پوشش دادن عمده زوایا در این حوزه، امکان دستیابی به نتایج و تحلیل جامع در آن نیز بوجود آید. در نهایت بعد از انتقال داده‌های خام به محیط نرم‌افزاری MATLAB و تشکیل فضای سیگنالی، الگوریتم تشکیل تصویر<sup>۲</sup> PFA بر روی آن اعمال شده و تصویر نهایی SAR مطابق نگاره ۱۰ استخراج شد.

در ادامه برای اثبات صحت شبیه‌سازی‌های انجام شده فضای تصویری یک کره‌ی منزوی نیز در این بخش استخراج خواهد شد. منظور از کره‌ی منزوی یک هدف نقطه‌ای کروی شکل در زمینه<sup>۳</sup> خالی است که در دنیای واقع می‌تواند بیانگر بازتاب کننده‌ی گوشه‌ای باشد. از مقایسه فضای تصویری شبیه‌سازی شده برای کره‌ی منزوی در این مقاله و فضای تصویری ارائه شده در مرجع (Jakowatz, et al., 1996) (نگاره ۱۱-ج) درستی شبیه‌سازی‌های انجام شده اثبات می‌شود.

نگاره ۷: بلوک دیاگرام استفاده شده در این مقاله برای



استخراج الگوی اهداف

### ۵- تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی

در بخش قبل الگوی رفتاری اشکال استوانه‌ای، مکعبی و مخروطی در تصاویر SAR شبیه‌سازی شده. در این بخش به تحلیل نتایج موجود در این شبیه‌سازی‌ها پرداخته می‌شود.

نگاره ۸: فلوجارت روش استفاده شده در این مقاله

برای این منظور، ابتدا نمایه دوبعدی فضاهای تصویری موجود در نگاره ۱۰ (برش عرضی و افقی از فضاهای تصویری) در دو جهت بردو سمت مطابق نگاره ۱۲ تشکیل می‌شود. سپس با تحلیل این نمایه‌ها به استخراج مهم‌ترین شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود در آنها پرداخته می‌شود تا با استفاده از تفاوت‌ها، ضمن اثبات یکتا بودن الگوی اشکال مختلف در تصاویر SAR، به تشخیص و شناسایی این نوع از اشکال در تصاویر راداری نیز پرداخته شود. این نتایج که به دو بخش شباهت‌ها و تفاوت‌ها تقسیم شده‌اند به شرح

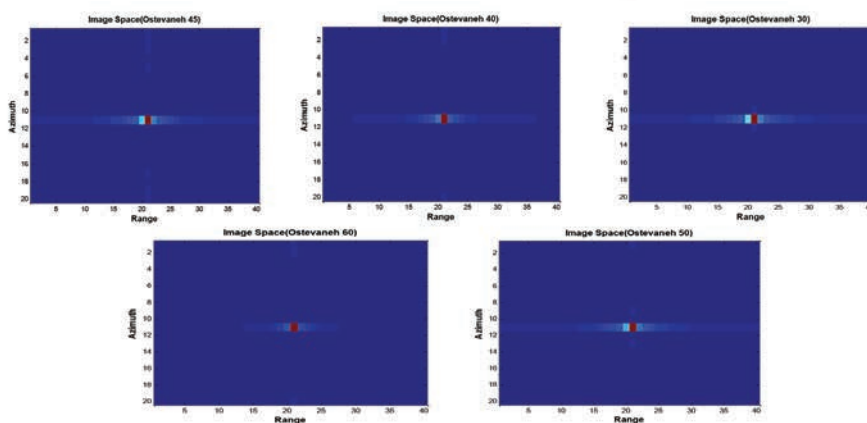
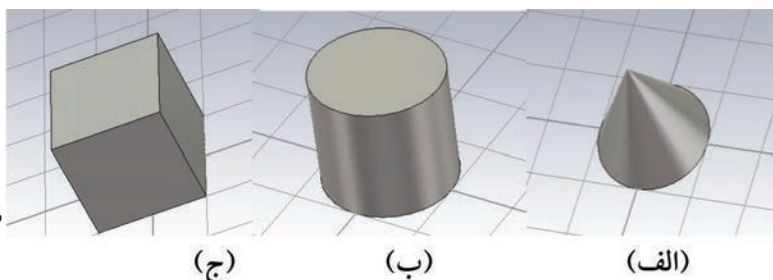
1- Computer Simulation Technology(CST)

2-Polar Format Algorithm(PFA)

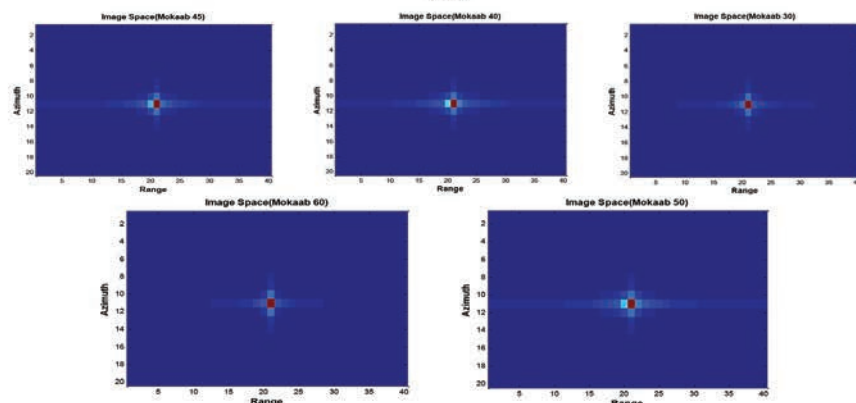
3-Background

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)  
 شبیه‌سازی و تحلیل اثر زاویه فرود و شکل ... / ۱۳۵

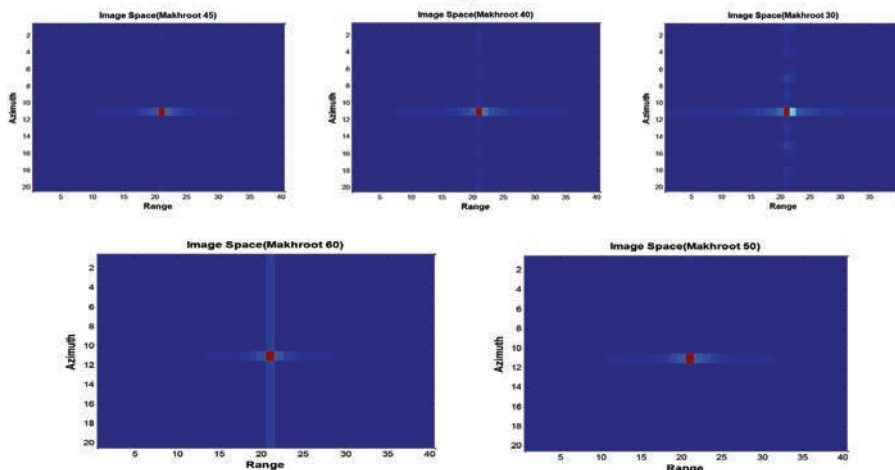
نگاره ۹: ایجاد اهداف مختلف در نرم افزار CST (الف) یک هدف استوانه‌ای شکل با ابعاد  $R=0.5, z=1$  متر، (ب) یک هدف مکعبی شکل با ابعاد  $x=1, y=1, z=1$  متر، (ج) یک هدف مخروطی شکل با ابعاد  $R=0.5, z=1$  متر.



(الف)

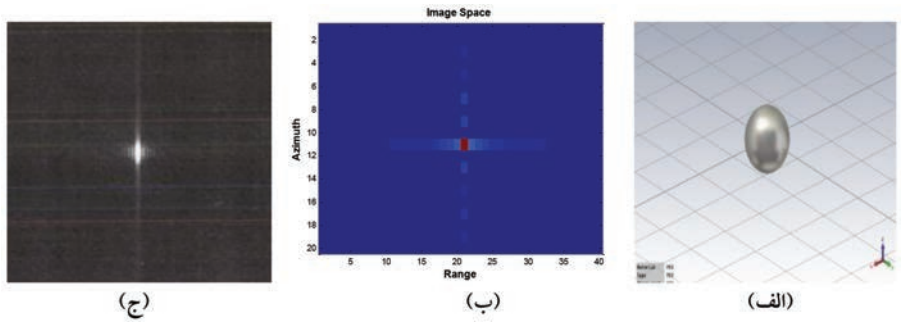


(ب)

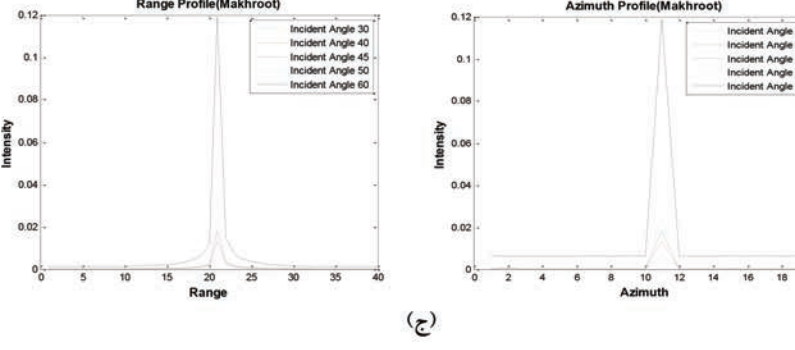
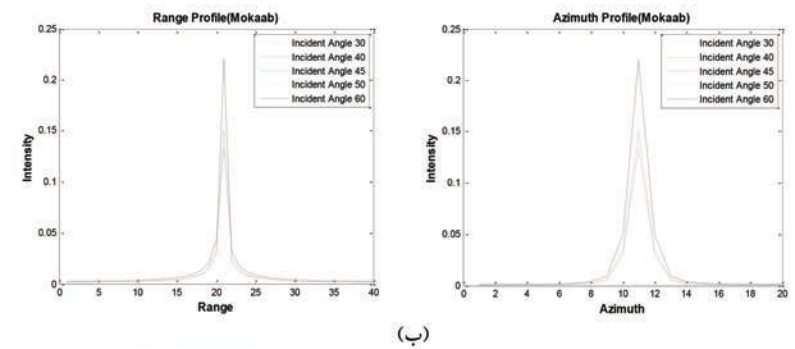
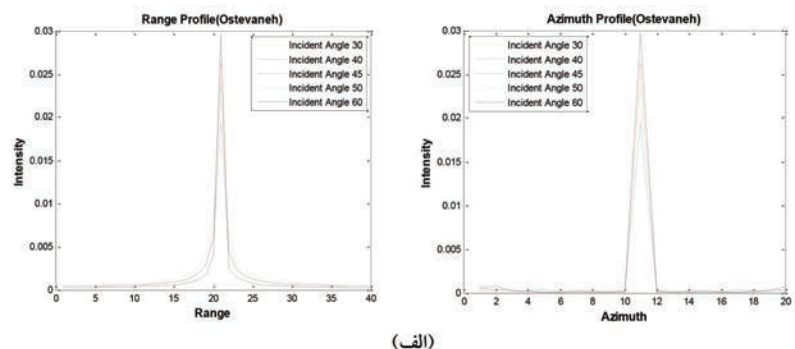


(ج)

نگاره ۱۰: استخراج فضای تصویری اشکال. (الف) استوانه‌ای، (ب) مکعبی و (ج) مخروطی در زوایای فرود مختلف ۳۰، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۶۰ درجه.



نگاره ۱۱: اثبات صحت شبیه‌سازی‌های انجام شده با مقایسه فضای تصویری استخراج شده برای کره‌ی منزوی در این مقاله (ب) و مرجع (Jakowatz, et al., ۱۹۹۶) (ج)



نگاره ۱۲: نمایه فضای تصویری اهداف الف) استوانه‌ای شکل، ب) مکعبی شکل و ج) مخروطی شکل در دو جهت بردو سمت در زوایای فرود مختلف ۳۰، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۶۰ درجه.

تصویر SAR، پاسخ به ضربه به عنوان خروجی برای آنها بدست آمده است.

زیر می‌باشند: شباهت‌ها

۱- در نگاه اول، الگوی کلی (الگوی شکلی) تشکیل شده برای این اشکال در تصویر SAR یکسان است. به عبارت دیگر چون همه شکل‌ها در ابعاد ضربه تعریف شده‌اند، در

۲- در امواج ثبت شده برای مکعب در زوایای فرود مختلف، شدت موج بازگشتی با قدر مطلق کسینوس زاویه فرود رابطه مستقیم دارد. به عبارت دیگر هرچه زاویه فرود



مخروط است. از این رو در تصویر SAR مکعب، اختلاف روشن‌ترین نقطه با نقاط روشن بعدی خیلی زیاد نیست و در جهت سمت نقاط نسبتاً روشن زیادی دیده می‌شود. این موضوع در نگاره‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است.

۳- نوع رفتار استوانه در زوایای فرود مختلف به مکعب شبیه‌تر است و این در حالی است که رفتار مخروط در زاویه فرودهای مختلف با رفتار استوانه و مکعب متفاوت است و این مسئله به زاویه دیواره مخروط با سطح زمین (در حالت کلی با زاویه فرود موج با دیواره مخروط) ارتباط دارد.

۴- افت پیک‌های فرعی در استوانه بسیار سریع است (نگاره ۱۴) لذا انتظار می‌رود تصویر SAR شکل گرفته به ضربه بسیار نزدیک‌تر باشد. مقایسه نگاره‌های ۱۰-الف و ۱۵ تأیید کننده موضوع فوق می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان ادعا کرد که الگوی تشکیل شده برای هر کدام از اشکال استوانه‌ای، مخروطی و مکعبی یکتا بوده و با توجه به مشخصات و ویژگی‌های موجود در آنها می‌توان به تشخیص و شناسایی این نوع از اشکال در تصاویر SAR پرداخت. در ادامه ضمن بیان یک مثال نحوه استفاده از نتایج فوق برای شناسایی اهداف در تصاویر SAR توضیح داده می‌شود.

بر سطح عمودتر باشد شدت موج بازگشتی بیشتر است. به کمک این خاصیت می‌توان در شرایط یکسان برای دو هدف مکعبی زاویه قرارگیری هر کدام را در سطح نسبت به دیگری اندازه‌گیری نمود. مشابه مکعب، در استوانه و مخروط نیز می‌توان زاویه قرارگیری آنها نسبت به سطح را از روی تصویر SAR استخراج کرد.

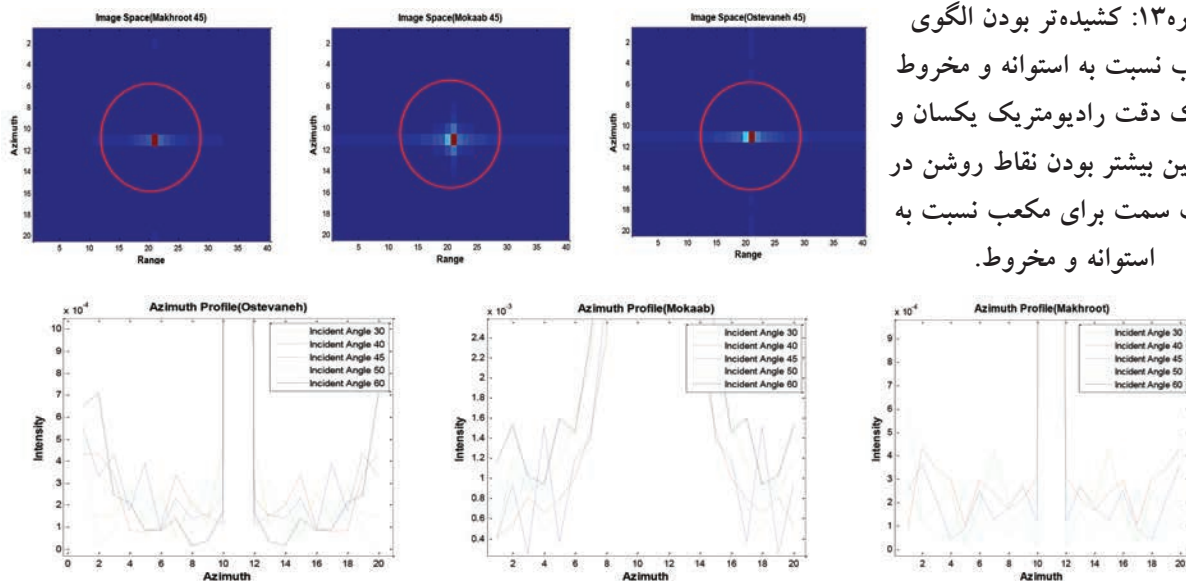
### تفاوت‌ها

۱- دامنه پیک اصلی در موج بازگشتی از مکعب نسبت به دو شکل دیگر بسیار بیشتر است. به طوریکه در ضعیف‌ترین حالت برای مکعب، این شدت بیشتر از قوی‌ترین شدت برای استوانه و مخروط است.

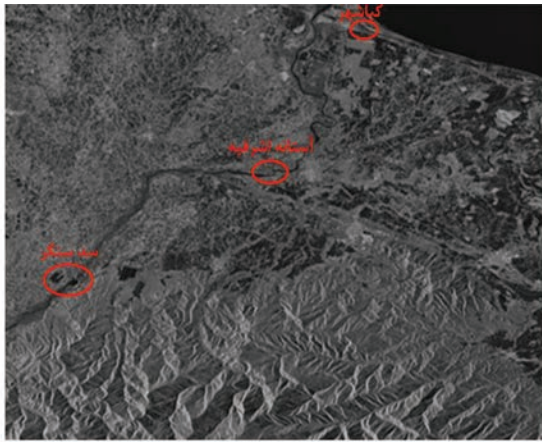
از اینرو در تصاویر SAR تشکیل شده در نگاره ۱۰، الگوی تشکیل شده برای مکعب بسیار روشن‌تر از الگوی تشکیل شده برای استوانه و مخروط است. نتیجه جانبی اینکه، این مسئله باعث می‌شود در یک دقت رادیومتریکی محدود برای تصویر SAR، الگوی مکعب کشیده‌تر از الگوی استوانه و مخروط به نظر برسد که این موضوع در نگاره ۱۳ نشان داده شده است.

۲- افت دامنه در پیک‌های فرعی در جهت سمت در مکعب بسیار کندتر از افت پیک‌های فرعی در استوانه و

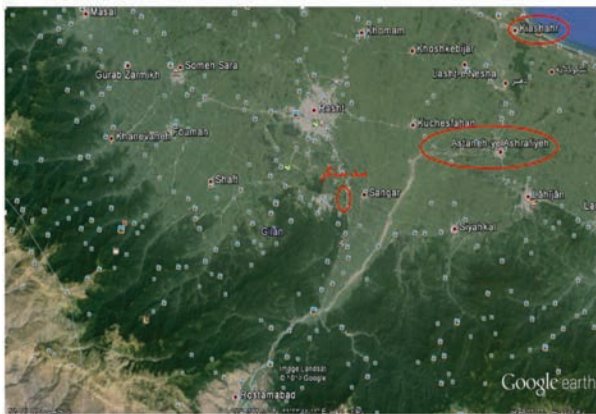
نگاره ۱۳: کشیده‌تر بودن الگوی مکعب نسبت به استوانه و مخروط در یک دقت رادیومتریکی یکسان و همچنین بیشتر بودن نقاط روشن در جهت سمت برای مکعب نسبت به استوانه و مخروط.



نگاره ۱۴: کندتر بودن افت دامنه در پیک‌های فرعی در جهت سمت در مکعب نسبت به استوانه و مخروط.



(الف)

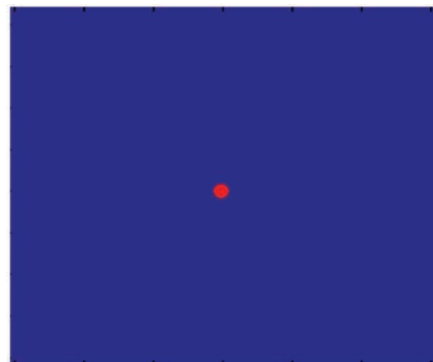


نگاره ۱۶-الف) تصویر SAR گرفته شده از منطقه گیلان توسط ماهواره RADARSAT۱. ب) تصویر اپتیکی همان منطقه

### نتیجه گیری

در این مقاله الگوی رفتاری اشکال مخروطی، مکعبی و استوانه‌ای که در دنیای واقع می‌توانند بیانگر ساختمان‌ها، سوله‌ها، تنه‌های درخت و ... باشند و از فراوانی زیادی در تصاویر SAR برخوردارند، در زوایای فرود مختلف ۳۰، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۶۰ درجه استخراج شد. با توجه به مشخصات و ویژگی‌های موجود در الگوهای استخراج شده، مشاهده شد که:

- ۱- الگوی رفتاری اهداف مختلف کاملاً به شکل و زاویه فرود موج به آنها وابسته است.
- ۲- نوع رفتار استوانه در زوایای فرود مختلف به مکعب شبیه‌تر است و این در حالی است که رفتار مخروط در زاویه



نگاره ۱۵: تابع ضربه دو بعدی

در نگاره ۱۶-الف، تصویر SAR گرفته شده از استان گیلان توسط ماهواره RADARSAT که در مُد تصویربرداری Fine4 و در تاریخ ۲۶-۰۴-۱۹۹۹ با موقعیت جغرافیایی  $37^{\circ}16'5,04''N$  و  $29^{\circ}52'27,18''E$  گرفته شده، نشان داده شده است.

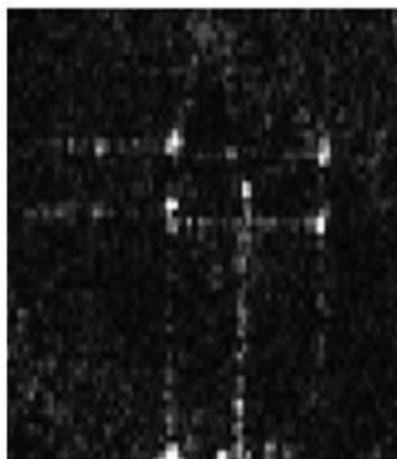
این تصویر از سازمان فضایی ایران تهیه شده و تصویر اپتیکی این منطقه نیز توسط Google Earth در نگاره ۱۶-ب نمایش داده شده است. با بررسی یک ناحیه خاص در نگاره ۱۶-ب مشاهده می‌شود که در منطقه دستک از توابع کیشهر در استان گیلان که یک ناحیه‌ی ساحلی می‌باشد چهار عدد دکل فلزی مخابراتی وجود دارند که در میان آنها یک ساختمان مکعبی شکل مشاهده می‌شود. این موضوع با رفتن به آن منطقه و گرفتن عکس توسط خود نویسنده تأیید شده است (نگاره ۱۷). وقتی معادل این منطقه در تصویر راداری استخراج می‌گردد (نگاره ۱۸) نتایج زیر به خوبی از آن قابل استنباط است:

- ۱- الگوی چهار دکل در تصویر راداری یکسان بوده و با الگوی ساختمان متفاوت است.
- ۲- الگوی دکل‌ها در تصویر SAR به شکل ضربه بسیار نزدیک است. در نتیجه می‌توان ادعا کرد که شکل دکل‌ها تقریباً استوانه‌ای است.
- ۳- الگوی ساختمان در نگاره ۱۸ کشیده‌تر از الگوی دکل‌ها بوده که این موضوع با نتایج بدست آمده از تحلیل شکل‌های مکعبی، استوانه‌ای و مخروطی کاملاً مطابقت دارد. لذا از تصویر SAR به خوبی می‌توان نتیجه گرفت که ساختمان موجود در آن ناحیه، تقریباً مکعبی شکل است.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)  
 شبیه‌سازی و تحلیل اثر زاویه فرود و شکل ... / ۱۳۹



نگاره ۱۷: تصویر گرفته شده توسط نویسنده از منطقه دستک با دوربین اپتیک (چون منطقه حفاظت شده است امکان عکسبرداری از ساختمان مابین دکل‌ها وجود نداشت)



نگاره ۱۸: قالب الگوی دکل‌های مخابراتی که شبیه الگوی استوانه است (شکل سمت راست تصویر اپتیک (Google Earth) و شکل سمت چپ تصویر SAR)

دکل  
 دکل  
 ساختمان



method for spaceborne synthetic aperture radar (SAR) geolocation and application to geometrical SAR image registration, IET Journals & Magazines, pp.67-74, 2015.

8. Lopez. J. P. A, Assessment and modeling of angular backscattering variation in ALOS Scan SAR image over tropical forest areas, Master of Science, Geo-information Science and Earth Observation, February, 2008.

9. Luo. X, Deng. Y, Wang. R. W. Xu, Luo. Y, and Guo. L, Full-Aperture SAR Data Focusing in the Spaceborne Squinted Sliding-Spotlight Mode, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 11, No. 10, pg. 1692-1696 October 2014.

10. Massonnet. D, Souyris. J.C, Imaging with Synthetic Aperture Radar, edition, EPFL Press, Swiss, 2008.

Melvin. W. L, Scheer. J. A, Principles of Modern Radar, SciTech, 2013.

11. Richards. J. A, Remote Sensing with Imaging Radar, edition, Springer, New York, 2009.

12. Shan. X. J, Yin. J. Y, Yu. D. L, Li. C. F, Zhao. J.J, Zhang. G.F, Analysis of artificial corner reflector's radar cross section: a physical optics perspective, Springer Journal, pp. 2755-2765, 2013.

13. Yang. L. C, Chang, J. Y, SAR Echo-wave Signal Simulation System Based on MATLAB, in IEEE conference, 2012.

14. Zhao. B, Qi. X, Song. H, Wang. R, Zhang. Z, Jiang. H, A New Approach for Spotlight Geosynchronous SAR Data Focusing, in IEEE conference, pp. 899-902, 2013.

فرودهای مختلف با رفتار استوانه و مکعب متفاوت است و این مسئله به زاویه دیواره مخروط با سطح زمین (در حالت کلی با زاویه فرود موج با دیواره مخروط) ارتباط دارد.

۳- در یک دقت رادیومتریک محدود برای تصویر SAR، الگوی مکعب کشیده‌تر از الگوی استوانه و مخروط می‌باشد.

۴- با توجه به اینکه افت پیک‌های فرعی در استوانه بسیار سریع است لذا انتظار می‌رود تصویر SAR شکل گرفته از استوانه به الگوی ضربه بسیار نزدیک باشد.

در نتیجه با تحلیل نتایج بدست آمده در این مقاله و مقایسه شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود در آنها، ضمن ایجاد امکان تشخیص و شناسایی این نوع از اشکال در تصاویر SAR، گام مهمی در جهت تفسیر و تحلیل بهتر تصاویر SAR برای استخراج اطلاعات سنجش از دوری موجود در آنها برداشته شد.

#### منابع و مأخذ

1. Andrew. J. K, John. W. F, Alan. S. W., Detection and Analysis of Anisotropic Scattering in SAR Data, Multidimensional Systems and Signal Processing, Kluwer Academic Publishers, 49- 82, 2003.
2. Banda. F, Ferro-Famil. L, Tebaldini. S, Polarimetric time-frequency analysis of vessels in Spotlight SAR images, IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (IGARSS), 2014.
3. Carrara. W. G, Goodman. R. S, Majewski R. M, Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms, ArtechHouse, Boston, 1995.
4. Cumming. I. G and Wong. F.H, Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data, edition, Artech House, London, 2006.
5. Gabler. B, Horn. R, Jöger. M, Reigber. A, Accurate Antenna Characterization for Wideband Synthetic Aperture Radar Processing, IEEE, IeeGermany, 2014.
6. Jakowatz. C. V, Whal. D. E, Eichel. P. H, Ghiglia. D. C, Thompson. P. A, Spotlight-Mode Synthetic Aperture Radar a signal Processing Approach, Kluwer Academic Publishers, 1996.
7. Li. J. W, Li. Z. F, Hou. Y. L, Bao. Z, Efficient