

مدل سازی و پیاده سازی نرم افزاری عملکرد سامانه های تصویربرداری SAR در حالت نورافکن

مجتبی بهزاد فلاح پورا^۱، حمید دهقانی^{۲*}، علی جبار رشیدی^۳ و عباس شیخی^۴

^{۱،۲،۳} دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

^۴ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران



چکیده

سامانه های تصویربرداری SAR به عنوان مکملی برای سنجنده های سنجش از دور غیر فعال مطرح هستند؛ اما پیچیدگی بالایی در مرحله تشکیل تصویر دارند. به طوری که تصویر نهایی در این سامانه ها پس از طی سه گام اساسی جمع آوری داده خام، تشکیل فضای سیگنالی و تشکیل فضای تصویری به وجود می آید. به علاوه در اطلاعات ثبت شده توسط سامانه های تصویربرداری SAR عوامل مختلف درون سیستمی و برون سامانه ای چون رادار، سکو حامل رادار، الگوریتم های پردازشی، ناحیه تصویربرداری و کانال نقش دارند که هر کدام از زیر پارامترهای فراوانی تشکیل شده اند و این موضوع نیز بر پیچیدگی نحوه رفتار SAR می افزاید؛ لذا با توجه به این پیچیدگی ها ارائه مدل هایی که نحوه عملکرد سامانه های تصویربرداری SAR را تشریح کند، بسیار مطلوب است. در این مقاله ابتدا نحوه عملکرد SAR در مرحله تشکیل تصویر و در حالت عملکردی نورافکنی به صورت تحلیلی، مدل سازی می شود؛ سپس مدل ارائه شده به صورت نرم افزاری پیاده سازی می شود که این پیاده سازی در برگیرنده هر سه گام اساسی بخش تشکیل تصویر است؛ به گونه ای که جمع آوری داده خام در محیط نرم افزاری CST و تشکیل فضای سیگنالی و تصویری در محیط نرم افزاری MATLAB انجام می شود؛ و اهمیت این پیاده سازی از آن جهت است که قابلیت های زیادی چون امکان تحلیل اثر پارامترهای مختلف سامانه های تصویربرداری SAR، تفسیر بهتر این نوع از تصاویر، امکان بررسی صحت راه کارهای مطرح شده را در جنگ الکترونیک یا پدافند غیرعامل برای مقابله با سامانه های SAR و ... به وجود خواهد آورد.

واژگان کلیدی: SAR، فضای سیگنالی، فضای تصویری، میدان پراکندگی، مدل عملکردی، پیاده سازی نرم افزاری

Modeling and Software Implementation of SAR Imaging System Performance in Spotlight Mode

Mojtaba Behzad Fallahpour¹, Hamid Dehghani^{2*}, Ali Jabbar Rashidi³ & Abbas Sheikhi⁴

^{1,2,3}. Malek e Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

⁴. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Shiraz, Shiraz, Iran

Abstract

SAR imaging systems are considered as a complement to passive remote sensing, but the process of image formation in such systems are so complex that the final images are formed under three basic steps i.e. raw data acquisition, forming the signal space and image space. In addition, various factors within and outside the system are involved in the information that are recorded by SAR, such as radar, platform, processing algorithm, imaging region and channel. Each of these have many sub-parameters which intensifies the complexity of the behavior of SAR. Regarding such complexities, providing a model describing the functional performances of SAR imaging system is highly desirable. In this paper, primarily, the performance of the SAR image formation in spotlight mode, is modelled analytically, then the model is implemented in a software pattern. The implementation includes three basic steps of image formation, so

that the raw data acquisition is performed in CST software and the signal and image formation in MATLAB software. The importance of this implantation is in determining the performance of the SAR imaging system and the multi-capabilities. Such as the followings:

1. The ability to analyze the effect of various parameters of SAR imaging system is provided; from this perspective, an important step towards will be taken the design and construction of this imaging system type.
2. On the other hand, there are various factors within and outside the system that are involved in the recorded information by SAR, such as radar, platform, processing algorithm, imaging region and channel. Therefore, modeling the system performance Help's us to have a better interpretation of SAR images.
3. This type of implementation allows for the simulation surfaces and targets from the perspective of the SAR images.
4. Due to the important role of SARs in today's war for collecting information from a battlefield, the performance modeling of SAR creates an ability of designing strategies them. In other words, studying the validity of solutions proposed in the electronic warfare sector will come into existence by this implementation.
5. Ability to produce images of distributed targets.

Keywords: SAR, Signal Space, Image space, field of scattering, Functional model, Software Implementation

عمل تصویربرداری در سامانه SAR با جابه‌جا کردن سکو در یک مسیر مستقیم که مسیر پرواز⁹ نامیده می‌شود و عمود بر خط ندیر(نقطه زیر سکو) است انجام می‌شود. ناحیه‌ای که آنتن رادار بر روی زمین پوشش می‌دهد، اثر یا رد زمینی آنتن¹⁰ نامیده می‌شود. با حرکت سکو در امتداد مسیر پرواز، ناحیه‌ای بر روی زمین پوشش می‌شود که به آن ناحیه تصویر (نوار پوشش رادار¹¹) گفته می‌شود. همانطور که در شکل (1) نشان داده شده است نحوه پوشش سطح، به‌طور معمول به یکی از صورت‌های عمده نواری¹² یا نورافکنی¹³ است. محور طولی ناحیه تصویر را که با مسیر پرواز موازی است، سمت و محور عرضی که بر مسیر پرواز عمود است، برد زمینی¹⁴ می‌نامند [3]، [4].

با این وجود، نحوه عملکرد در این نوع سامانه‌های تصویربرداری نسبت به سامانه‌های الکترواپتیکی بسیار پیچیده‌تر است. به‌طوری‌که تصویر نهایی در این سامانه‌ها پس از عبور از بخش تشکیل تصویر¹⁵ که شامل سه گام اساسی جمع‌آوری داده خام¹⁶، تشکیل فضای سیگنالی¹⁷ و تشکیل فضای تصویری¹⁸ است، به‌وجود می‌آید. درحالی‌که در سامانه‌های الکترواپتیکی بخش تشکیل تصویر وجود

۱- مقدمه

سامانه‌های تصویربرداری¹ SAR از نظر نوع اطلاعات، زمان اخذ داده و نحوه تشکیل تصویر، به‌عنوان مکملی برای سامانه‌های الکترواپتیکی محسوب می‌شوند. هدف سامانه‌های SAR، تصویربرداری راداری از یک سطح یا حجم است. منظور از تصویربرداری راداری استخراج میدان پراکندگی² مربوط به المان‌های سطح یا حجم مورد نظر و نمایش اطلاعات سطح مقطع راداری³ (RCS) آن به‌صورت سطوح خاکستری⁴ در یک صفحه نمایش دوبعدی است. درواقع تصویری که از سامانه SAR به‌دست می‌آید نمای ضریب انعکاس⁵ پیکسل‌های سطح در فرکانس مایکروویو است و ابعاد المان‌های سطحی یا حجمی را که RCS آنها اندازه‌گیری می‌شود، قدرت تفکیک⁶ سامانه SAR می‌گویند [1].

سامانه‌های SAR برای تصویربرداری نیاز به یک سکوی⁷ متحرک دارند تا از حرکت سکو استفاده کرده و در طول زمان با استفاده از یک آنتن کوچک، آنتن بزرگی را شبیه‌سازی کنند (دهانه مصنوعی) و بدین ترتیب به قدرت تفکیک بالایی در جهت سمت⁸ دست یابند [2].

⁹ Flight Path

¹⁰ Antenna Footprint

¹¹ Radar Swath

¹² Strip map

¹³ Spotlight

¹⁴ Ground Range

¹⁵ Image Formation

¹⁶ Data Acquisition

¹⁷ Signal Space

¹⁸ Image Space

¹ Synthetic Aperture Radar(SAR)

² Scattering Field(E-Field or H-Field)

³ Radar Cross Section(RCS)

⁴ Gray Level

⁵ Backscatter

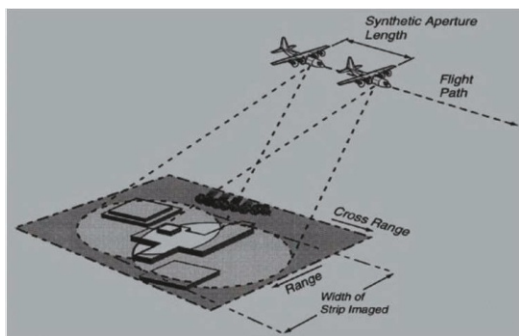
⁶ Resolution

⁷ Platform

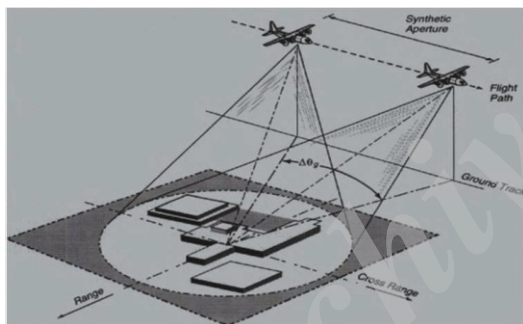
⁸ Azimuth

تصویر نیز مدل سازی شود.

در حالت نواری سامانه های SAR به صورت پیوسته و نواری از زمین تصویربرداری کرده و در هر موقعیت از سمت، پالسی را به سمت ناحیه تصویربرداری ارسال می کنند. بعد از گذشت زمان تأخیر ناشی از فاصله رادار تا هدف، بازگشت سیگنال ارسالی در گیرنده دریافت شده و پس از انتقال به باند پایه، نمونه برداری می شود؛ سپس این نمونه ها در یک آرایه دوبعدی که به آن فضای سیگنالی یا داده خام می گویند، قرار داده خواهند شد [7].



(الف)
(a)



(ب)
(b)

(شکل-1): حالت های عملکردی SAR. (الف) حالت نواری، (ب) حالت نورافکن [5].

(Figure-1): SAR operational modes. a) Stripmap. b) Spotlight [5]

۲- تشریح عملکرد SAR در حالت نواری

داده ها در فضای سیگنالی توان تفکیک پایینی دارند؛ به علاوه میزان سیگنال به نوفه در این فضا نیز یک مقدار منفی است؛ لذا تصویر فضای سیگنالی به صورت نوفه، تصادفی و غیر قابل فهم است که اطلاعات بصری خاصی برای کاربر ندارد. برای حل این مشکل، فضای دیگری در سامانه های تصویربرداری SAR تعریف می شود که به آن فضای تصویری می گویند که

نداشته و فضای تصویری در آنها به طور مستقیم و بدون دخالت الگوریتم های تشکیل تصویر ایجاد می شود [1]. به علاوه در اطلاعات ثبت شده توسط سامانه های تصویربرداری SAR عوامل مختلف درون سامانه ای و برون سامانه ای چون رادار، سکو حامل رادار، الگوریتم های پردازشی، ناحیه تصویربرداری و کانال نقش دارند که هر کدام از زیر پارامترهای فراوانی تشکیل شده اند و این موضوع نیز بر پیچیدگی نحوه رفتار SAR می افزاید؛ لذا با توجه به این پیچیدگی ها، ارائه مدل هایی که نحوه عملکرد سامانه های تصویربرداری SAR را تشریح کند، بسیار مطلوب است.

در این مقاله، ابتدا نحوه عملکرد SAR های نورافکن در بخش تشکیل تصویر به صورت تحلیلی مدل می شود؛ سپس مدل ارائه شده به صورت نرم افزاری پیاده سازی می شود. این پیاده سازی دربرگیرنده هر سه گام اساسی جمع آوری داده خام، تشکیل فضای سیگنالی و تشکیل فضای تصویری است و نوآوری اصلی موجود در آن، استفاده از نرم افزار CST در قالب رادار SAR برای استخراج میدان پراکندگی از اهداف مختلف است. البته استفاده از CST برای به دست آوردن میدان پراکندگی در رادارهای ثابت یک امر معمول است؛ ولی استفاده از آن در قالب رادار SAR با چالش هایی همراه است که از جمله آن می توان به حرکت رادار SAR و همچنین هم صفحه نبودن منبع تشعشع و هدف در رادار SAR اشاره کرد؛ لذا در این مقاله ضمن پیاده سازی نرم افزاری نحوه عملکرد SAR در بخش تشکیل تصویر، دو چالش بالا نیز حل شده و بدین ترتیب امکان استفاده از نرم افزار CST به جای رادار SAR برای تولید داده های خام دقیق مبتنی بر واقعیت به وجود می آید.

برای ارائه مدل عملکردی برای سامانه های تصویربرداری SAR در این مقاله، ابتدا نحوه عملکرد سامانه های تصویربرداری SAR در حالت نواری تشریح می شود. سپس به مدل سازی عملکرد آنها در حالت نورافکن پرداخته خواهد شد. در بخش چهارم مدل ارائه شده به صورت نرم افزاری پیاده سازی می شود و در انتها نتیجه گیری ارائه می شود.

در [6] نحوه عملکرد SAR های نواری در بخش تشکیل تصویر به صورت تحلیلی مدل سازی شده است. در این قسمت ضمن بیان این مدل سازی، مهم ترین تفاوت های حالت های عملکردی نواری و نورافکن نیز بیان می شود تا با تلفیق آنها با یکدیگر، نحوه عملکرد SAR های نورافکن در بخش تشکیل

عملکرد SARهای نواری در بخش تشکیل تصویر به خوبی قابل توصیف است. در ادامه، با اطلاعات به دست آمده از این مدل می‌توان به مقایسه SARهای نواری و نورافکن پرداخت. SARهای نواری و نورافکن از جنبه‌های مختلفی چون نحوه تصویربرداری، نوع مأموریت، میزان قدرت تفکیک مکانی، نحوه تشکیل فضای سیگنالی و تصویری و ... قابل مقایسه هستند. از نظر نحوه تصویربرداری، SARهای نورافکن برخلاف SARهای نواری که به صورت پیوسته و نواری از زمین تصویربرداری می‌کنند، تنها بر روی یک ناحیه خاص از زمین متمرکز شده و عمل تصویربرداری در آنها به صورت گسسته است. به عبارت دیگر SARهای نورافکن مدت زمان بیشتری را صرف مشاهده یک ناحیه خاص کرده، در نتیجه میزان قدرت تفکیک مکانی آنها در جهت سمت بیشتر از قدرت تفکیک مکانی SARهای نواری است؛ ولی از نظر قدرت تفکیک مکانی در جهت برد تفاوتی با یکدیگر ندارند. از نظر نوع مأموریت با توجه به بیشتر بودن قدرت تفکیک مکانی SARهای نورافکن در جهت سمت، از آنها برای به دست آوردن تصاویر دقیق از نواحی حساس جهت مقاصد مختلف نظامی، تجاری و پژوهشی استفاده می‌شود. از نظر نحوه تشکیل فضای سیگنالی، SARهای نواری همان‌طور که در شکل (۲) و رابطه ۲ نشان داده شده است، به صورت کانولوشن دوبعدی در حوزه مکان رفتار کرده، در نتیجه عملکرد الگوریتم‌های تشکیل تصویر در این حالت، برای به دست آوردن فضای تصویری نیز به صورت دی‌کانولوشن دوبعدی است. در حالی که در SARهای نورافکن، همان‌طور که در بخش بعد نشان داده خواهد شد، فضای سیگنالی از تبدیل فوریه دوبعدی در یک شبکه قطبی به دست می‌آید. در نتیجه عملکرد الگوریتم‌های تشکیل تصویر نیز به صورت عکس تبدیل فوریه دو بعدی است.

۳- مدل سازی عملکرد SARهای

نورافکن در بخش تشکیل تصویر

در این بخش تلاش می‌شود تا با دانش به دست آمده از نحوه مدل سازی رفتار SARهای نواری و ترکیب آن با تفاوت‌های دو حالت نواری و نورافکن، یک مدل تحلیلی از نحوه عملکرد SARهای نورافکن در بخش تشکیل تصویر ارائه شود. در ادامه، گام‌هایی که برای رسیدن به این مدل طی خواهند شد، به شرح زیر هستند:

تصویر آن از کیفیت و قدرت تفکیک بالایی برخوردار است. برای نگاشت فضای سیگنالی به فضای تصویری از الگوریتم‌های مختلف تشکیل تصویر استفاده می‌شود که مهم‌ترین این الگوریتم‌ها در حالت نواری، RDA¹، CSA² و Omega-k هستند [8].

در [6] رفتار سامانه تصویربرداری SAR در حالت نواری به صورت یک پاسخ ضربه دوبعدی مطابق رابطه ۱ مدل سازی شده است.

$$h_{imp}(t, \eta) = W_r(t - 2R(\eta)/c) W_a(\eta - \eta_c) \times \exp\{-j4\pi f_0 R(\eta)/c\} \times \exp\{j\pi K_r(t - 2R(\eta)/c)^2\} \quad (1)$$

که در آن t زمان در جهت برد، η زمان در جهت سمت، f_0 فرکانس حامل، K_r نرخ چیرپ، $W_r(t)$ پوش سیگنال ارسالی در جهت برد که به طور معمول به صورت مستطیلی است، $W_a(\eta - \eta_c)$ پوش در جهت سمت، C سرعت نور، $R(\eta)$ فاصله لحظه‌ای رادار تا هدف و تابع $h_{imp}(t, \eta)$ پاسخ ضربه مربوط به بخش تشکیل فضای سیگنالی در سامانه تصویربرداری SAR است. در صورتی که این پاسخ ضربه از یکی از توابع نگاشت فضای سیگنال به فضای تصویر عبور داده شود، پاسخ ضربه کل سامانه تصویر برداری SAR ایجاد خواهد شد. این پاسخ ضربه کلی در [6]، مدل رفتاری یا مدل عملکردی سامانه تصویربرداری SAR نامیده شده است.

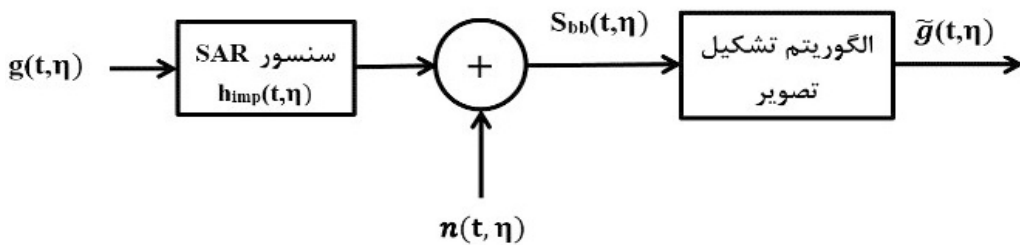
شکل (۲) مدل عملکردی سامانه SAR را در حالت نواری که در [6] آمده است، نشان می‌دهد که در آن برای شبیه سازی سیگنال راداری SAR دریافت شده از کل ناحیه تصویربرداری، کافی است کانولوشن دوبعدی $h_{imp}(t, \eta)$ و $g(t, \eta)$ مطابق رابطه ۲ محاسبه شود.

$$S_{bb}(t, \eta) = g(t, \eta) * h_{imp}(t, \eta) + n(t, \eta) \quad (2)$$

که در آن $g(t, \eta)$ نشان دهنده انعکاس‌های سطح از منظر طول موج استفاده شده در رادار سامانه SAR، $*$ عملگر کانولوشن، $n(t, \eta)$ نوفه کانال که به صورت جمع شونده مدل شده است و $S_{bb}(t, \eta)$ فضای سیگنالی متناسب با ناحیه تصویربرداری است و در نهایت برای تشکیل تصویر، مطابق شکل (۲) لازم است که از یکی از توابع نگاشت از فضای سیگنال به فضای تصویر استفاده شود. با ارائه این مدل، نحوه

¹Range Doppler Algorithm(RDA)

²Chirp Scaling Algorithm (CSA)



(شکل-۲): مدل سازی عملکرد SAR در حالت نواری [6]
 (Figure-2): Modeling SAR performance in Strip map mode [6]

که در آن C سرعت نور، θ زاویه بین محور U و X در شکل (۳) و $f(x_0, y_0)$ میدان پراکندگی است که مختلط بوده و به صورت رابطه ۵ تعریف می شود [5]:

$$f(x_0, y_0) = |f(x_0, y_0)| \exp(j\angle f(x_0, y_0)) \quad (5)$$

که در آن $\angle f(x_0, y_0)$ اختلاف فازی است که در سیگنال منعکس شده به وجود می آید و مانند $|f(x_0, y_0)|$ ناشی از خصوصیات الکترومغناطیسی هدف است. در ضمن راداری هدف را در رابطه ۵ می توان نماینده سطح مقطع راداری با مقدار $|f(x_0, y_0)|$ در فرآیند تصویربرداری SAR بیان می شود [1].

تا اینجا سیگنال بازگشتی به سمت رادار از یک هدف نقطه ای و در یک θ مشخص به دست آمد و بدین ترتیب گام نخست کامل شد؛ اما از آنجا که مدل تحلیلی باید دربرگیرنده تمام اهداف نقطه ای موجود در ناحیه تصویربرداری باشد، به دنبال ایجاد سیگنال بازگشتی از کل ناحیه تصویربرداری خواهیم بود؛ لذا در گام دوم یک فرم بسته بین ناحیه تصویربرداری و سیگنال بازگشتی ایجاد خواهد شد. منظور از فرم بسته استخراج یک رابطه دقیق و جامع بین این دو ناحیه است که ایجاد چنین فرمی در SARهای نورافکن بر خلاف SARهای نواری امکان پذیر است؛ زیرا در SARهای نورافکن تنها یک ناحیه خاص از زمین در طول آنتن مصنوعی مشاهده می شود و این در حالی است که در SARهای نواری همواره چندین ناحیه تصویربرداری در طول آنتن مصنوعی وجود دارد.

در این مقاله برای ایجاد این فرم بسته از تعریف Projection اهداف که در [5]، [10] آمده، استفاده شده است.

۱- ابتدا رابطه سیگنال بازگشتی به سمت رادار از یک هدف نقطه ای و در یک موقعیت مشخص از سمت به دست می آید.

۲- یک فرم بسته^۱ بین سیگنال دریافتی و کل ناحیه تصویربرداری ایجاد خواهد شد.

۳- با اضافه کردن اثر کانال بر این فرم بسته، فضای سیگنالی SARهای نورافکن استخراج می شود.

۴- در نهایت با عبور فضای سیگنالی از الگوریتم های تشکیل تصویر فضای تصویری مربوط به ناحیه تصویربرداری تشکیل می شود.

همان طور که بیان شد، در گام نخست به دنبال سیگنال بازگشتی یک هدف نقطه ای خواهیم بود. برای این منظور از سیگنالینگ SAR استفاده می شود. متداول ترین سیگنالی که در سامانه های SAR برای ارسال استفاده می شود، یک چیرپ^۲ LFM است که فرم مختلط یا معادل باند پایه آن در رابطه ۳ آمده است [9].

$$s(t) = \begin{cases} e^{j(\omega_0 t + \alpha t^2)}, & |t| \leq \frac{T_p}{2} \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

که در آن t زمان در جهت برد، ω_0 فرکانس حامل، 2α نرخ چیرپ و T_p عرض پالس ارسالی است.

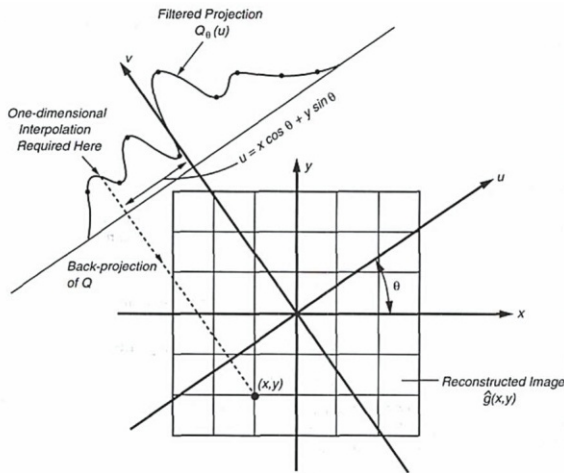
بعد از ارسال قسمت حقیقی سیگنال بالا، $\Re(s(t))$ ، سیگنال برگشتی از یک هدف نقطه ای که در مختصات (x_0, y_0) و فاصله R_0 از رادار قرار دارد، به صورت رابطه ۴ به دست می آید [5].

$$V_{(\theta, x_0, y_0)}(t) = \Re \left\{ f(x_0, y_0) s \left(t - \frac{2R_0}{c} \right) \right\} dx dy = |f(x_0, y_0)| \cos \left(\omega_0 \left(t - \frac{2R_0}{c} \right) + \alpha \left(t - \frac{2R_0}{c} \right)^2 + \angle f(x_0, y_0) \right) dx dy \quad (4)$$

¹ Close Form or Exact Form or Analytical Form

² Linear Frequency Modulation

$$\bar{r}_\theta(t) = \int_{-L}^L q_\theta(u) \exp\left\{j\frac{u\alpha^2}{c^2}\right\} \cdot \exp\left\{-j\frac{2}{c}(\omega_0 + 2\alpha(t - \tau_0))u\right\} du \quad (9)$$



شکل ۴: نحوه استخراج تصویر از داده‌های Projection (Figure-4): How to extract projection of targets [5]

ن آرد که $\tau_0 = \frac{2R}{c}$ نشان آتدندهد و ی لاسرال انگیس نیبیرخ مت. ساردارای تفایردال جهه بجوتابه دراینکل عم به مولرمعطو $4\alpha u^2 \leq c^2$ استرارقربزا ، عبتمر ره و دوم ملاحرم $\exp\left\{j\frac{u\alpha^2}{c^2}\right\}$ نظر فصد ردمکو بربیتق نی المبد می تهشنو ریز ترصوبه ی تشگزاب ل انگیشود [11] :

$$r_\theta(t) = \int_{-L}^L q_\theta(u) \exp\left\{-j\frac{2}{c}(\omega_0 + 2\alpha(t - \tau_0))u\right\} du = \int_{-L}^L q_\theta(u) \exp\{-j\Omega(t)u\} du \quad (10)$$

نی اگرم درگشتی بازل انگیس زابیان واقع نمون گزارهایی یهرفول یدب $q_\theta(u)$ کبیشک یردی بطقست آن رد که انس کفر $\Omega(t)$ به ترور $\frac{2}{c}(\omega_0 + 2\alpha(t - \tau_0))$ ده ش فبیرت است (شکل ۵).

و ی تشگزاب ل انگیس نیبیتسهب مفرکی اجنید الم Projection ب فادهله بی برا. دمآ تسهدست دان یم نیبیتسهب مفر ن دروآ و ی گدنکپرا فطبار ود بیکتر ز ای تشگزاب ل انگیس و ۱۰، طه بار ۱۱ به: دمآ دهاخو تسد

$$r_\theta(t) = \int_{|u| \leq L} \iint_{x^2 + y^2 \leq L^2} \delta(u - x \cos \theta - y \sin \theta) f(x, y) \exp\{-j\Omega(t)u\} dx dy du = \iint_{x^2 + y^2 \leq L^2} f(x, y) \exp\{-j\Omega(t)(x \cos \theta + y \sin \theta)\} dx dy \quad (11)$$

رابطه ۱۱ داری ویربر تصاحیه نل کز ای تفایرد یرادار ل انگیس نشان می یه پادنا برد رای ضف، هطبار نی ازا دهافتس اب. دهد

Projection دافها $(q_\theta(u))$ طبق ابق مطو فبیرت ل کث (۳) و (۴) به کی فدهامه هی گدنکپرا نادیم عمج ترصو نی اسکید بر $R+u$ ده هاشم یهوزا رد و رادرا θ دنتسه می فبیرت نیبیتسهب فبیرت نی اقبط دو $f(x, y)$ و $q_\theta(u)$ به رابطه ترصوبه می تسد [10] :

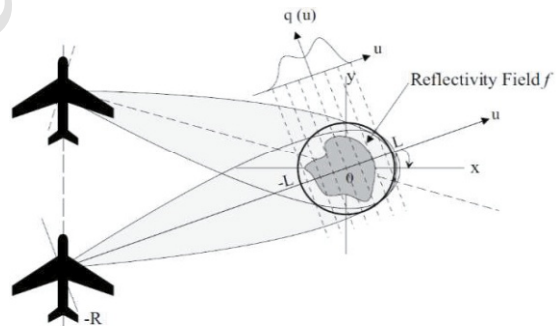
$$q_\theta(u) = \iint_{x^2 + y^2 \leq L^2} \delta(u - x \cos \theta - y \sin \theta) f(x, y) dx dy \quad (6)$$

ن آرد که می یردابرصوت می حازع اعشز زاده فقس اب. دشاب، ه رابطه ر خط دار دمت راه ستی بشگزاب ل انگیس، خواه لد $u=R$ به رابطه صورت V به می تسد [9] :

$$V_{(u, \theta_0)}(t) = \Re\{q_\theta(u_0) s\left(t - \frac{2(R+u_0)}{c}\right)\} du \quad (7)$$

که در لمه صافرد که متسای فدهامامت ز ای تشگزاب ع ق $R+u$ د. درنردا رراق رادار زا ه احینل کز ای تشگزاب ه جیتت ده هاشم یهوزا رد یردابرصوت ه طبار ترصوبه دهخو بود [9] :

$$V_{(\theta)}(t) = \Re\left\{\int_{-L}^L q_\theta(u) s\left(t - \frac{2(R+u)}{c}\right)\right\} du \quad (8)$$



شکل ۳: عمجه سدنهد: در هداد یرو SAH ای هن کفارون [5] (Figure-3): Geometry of SAR data acquisition in spotlight mode [5].

کامل می یز مود ماگ بیتر نیبیدبال به دن سوم گام رد. دوش ر ضمن ظونم نی ای راد. دبو میهخوا ی لانگیس یاضفل بیکشت لانگیس تفایرد $V_{(\theta)}(t)$ به را ن آ، ه دنیرگ ردتور الودمد کم که IQ به ی دبعبود ه یرا آ ک یرد و ده کر ل قتمه یه پادنا بهام ز سیگنال فضای ی. دش دهواخ یره خذ تروص نی ارب $\bar{r}_\theta(t)$ که لهودمد ی تشگزاب ل انگیسست وقعیده در ملسه تکو اسس به رابطه صورت ۹ به می تسد [11].

مختلفی انجام می‌شود که سه نمونه آن در شکل (۷) نمایش داده شده است. به‌عنوان مثال همان‌طور که در شکل (۷-الف) مشاهده می‌شود، برای درون‌یابی، کل ناحیه (تمامی نمونه‌ها) در نظر گرفته شده است و این مسأله باعث می‌شود، قدرت تفکیک در حد مناسبی باشد؛ اما در مقابل نوفه زیادی نیز وارد سامانه می‌شود و کیفیت تصویر کاهش می‌یابد. در شکل (۷-ب) در مقایسه با شکل (۷-الف) تعداد نمونه‌های کمتری در نظر گرفته شده و مقدار نوفظ کمتری نیز وارد سامانه می‌شود. در نتیجه قدرت تفکیک کاهش یافته، اما کیفیت تصویر بهتر می‌شود و در نهایت در شکل (۷-ج) نسبت به شکل (۷-الف و ب) تعداد نمونه‌ها خیلی کمتر شده، ولی هیچ نوفه‌ای وارد سامانه نمی‌شود؛ در نتیجه قدرت تفکیک به مراتب کمتر از دو مرحله قبل شده، ولی کیفیت تصویر بیش‌تر از دو مرحله قبلی است. در نتیجه نحوه درون‌یابی در الگوریتم PFA بسته به میزان قدرت تفکیک و کیفیت تصاویر به یک مصالحه نیاز دارد.

بعد از درون‌یابی در مرحله نخست (رابطه ۱۳)، عکس تبدیل فوریه در مرحله دوم انجام می‌شود. در نهایت بعد از طی دو مرحله قبل اندازه سیگنال برگشتی پردازش شده که در واقع نمای ضریب انعکاس پیکسل‌های سطح است به‌عنوان تصویر نهایی SAR نمایش داده خواهد شد [12] و بدین ترتیب مدل تحلیلی ارائه‌شده نیز کامل می‌شود (رابطه ۱۴).

$$g(x, y) = \text{Interpolation}(\text{Sbb}_\theta(t)) \quad (13)$$

$$\tilde{f}(x, y) = |\text{IFFT2D}(g(x, y))| \quad (14)$$



(شکل ۶): روندنمای الگوریتم تشکیل تصویر PFA در حالت

نورافکن [12]

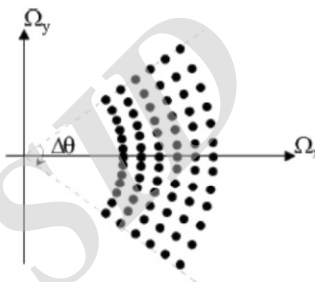
(Figure-6): Block diagram of PFA image formation algorithm in spotlight mode [12]

سیگنالی تشکیل شده در SAR های نورافکن به‌صورت رابطه ۱۲ خواهد بود.

$$\text{Sbb}_\theta(t) = r_\theta(t) + n_\theta(t) \quad (12)$$

که در آن فضای سیگنالی و $n_\theta(t)$ نوفه کانال است که به‌صورت جمع‌شونده مدل شده است. لازم به ذکر است که اثرات دیگر کانال چون جمر و ... را نیز می‌توان به سیگنال دریافتی اضافه کرد.

با استخراج فضای سیگنالی، گام سوم نیز کامل شده و گام نهایی که گام تشکیل تصویر است، انجام می‌شود. در این گام، برای تولید تصویر SAR متناسب با صحنه $f(x, y)$



(شکل ۵): سیگنال بازگشتی در حالت نورافکن در مختصات قطبی

که به‌صورت نمونه‌هایی از تبدیل فوریه دوبعدی ناحیه تصویر

است. Ω_x و Ω_y به ترتیب فرکانس در جهت x و y می‌باشند [5].

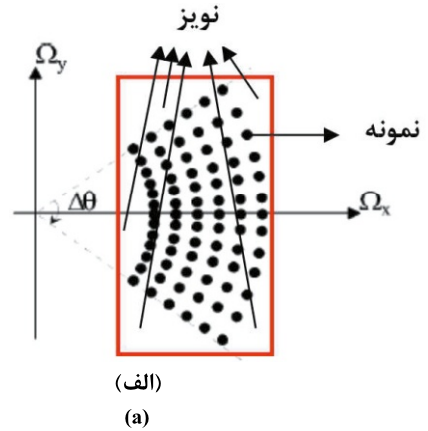
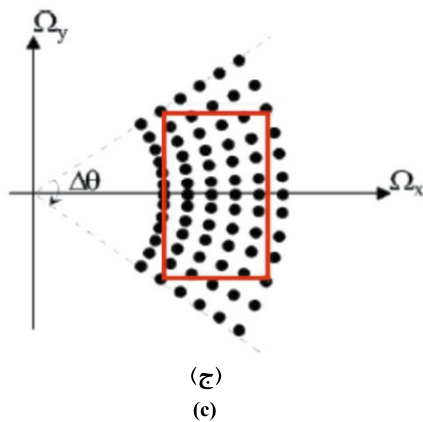
(Figure-5): Return signal in polar coordinates in spotlight mode, which are samples of two-dimensional Fourier transform of the image area. Ω_x and Ω_y are frequencies in x and y directions [5].

لازم است از الگوریتم‌های تشکیل تصویر استفاده شود که مهم‌ترین این الگوریتم‌ها در حالت نورافکن، PFA^1 و FBP^2 هستند. در این مقاله از الگوریتم پردازشی PFA^2 استفاده شده است. این الگوریتم همان‌طور که در روندنمای کلی آن در شکل (۶) نشان داده شده است، شامل سه مرحله است. در مرحله نخست درون‌یابی^۳ از مختصات قطبی به دکارتی انجام می‌شود؛ زیرا همان‌طور که در بالا بیان شد، نحوه عملکرد SAR در حالت نورافکن در هر موقعیت از سمت (θ) به‌گونه‌ای است که نمونه‌هایی از تبدیل فوریه دوبعدی ناحیه تصویر را در یک شبکه قطبی به‌دست می‌آورد؛ لذا پردازش لازم در حالت نورافکن به‌صورت عکس تبدیل فوریه است که پیاده‌سازی عکس تبدیل فوریه در مختصات دکارتی امکان‌پذیر است. درون‌یابی از مختصات قطبی به مختصات دکارتی در الگوریتم PFA بسته به میزان قدرت تفکیک و کیفیت تصاویر از منظر نوفه، به‌صورت‌های

¹ Polar Format Algorithm

² Filter Back Projection

³ Interpolation

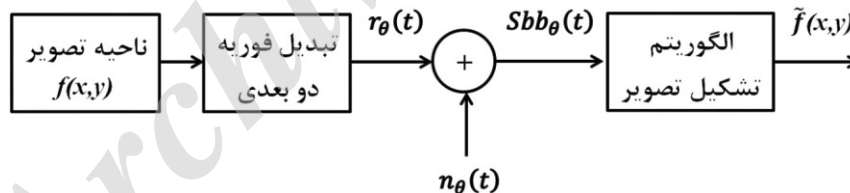
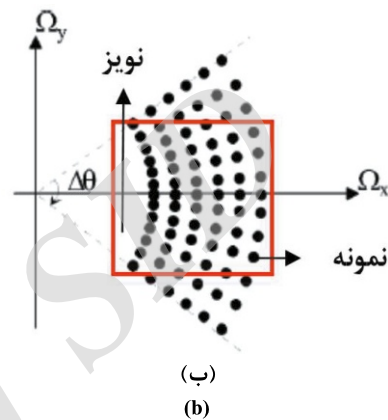


(شکل-۷): الف، ب و ج) صورت‌های مختلف درون‌یابی از

مختصات قطبی به دکارتی در حالت نورافکن

(Figure-7): a, b and c) Different methods of interpolation from polar to Cartesian coordinates in spotlight mode

با توجه به مطالب بالا مدل عملکردی پیشنهادی این مقاله برای SARهای نورافکن به صورت شکل (۸) است. لازم به ذکر است که به دلیل محدود بودن پهنای باند سیگنال ارسالی و همچنین محدود بودن ناحیه تصویربرداری، منظور از بلوک تبدیل فوریه دوبعدی در شکل (۸)، یک تبدیل فوریه کامل و ایده‌آل نبوده بلکه منظور به دست آوردن نمونه‌هایی از تبدیل فوریه سیگنال در هر موقعیت از سمت (زاویه مشاهده) است. در قسمت بعد، مدل ارائه شده در این بخش با استفاده از دو نرم‌افزار CST و MATLAB پیاده‌سازی نرم‌افزاری می‌گردد.



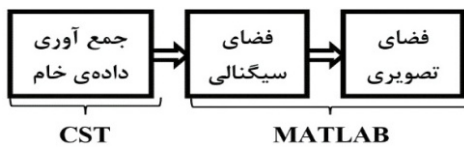
(شکل-۸): مدل‌سازی عملکرد SAR در حالت نورافکن

(Figure-8): Modeling SAR performance in the spotlight mode

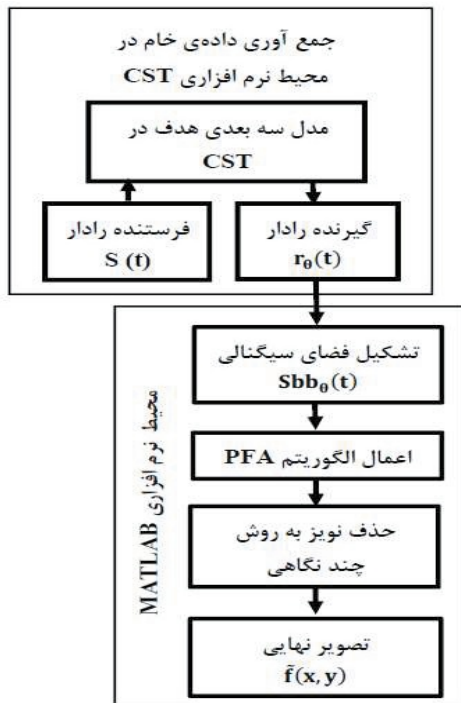
است [13]-[16]. ضعف عمده این روش استفاده از نرم افزار MATLAB در گام جمع آوری داده‌ی خام است که باعث می‌شود، سطح مقطع راداری هر نقطه از یک جسم میزان ثابتی در نظر گرفته شود؛ زیرا MATLAB ابزار مناسبی برای استخراج سطح مقطع راداری نیست و با آن در عمل نمی‌توان سطح مقطع راداری یک جسم پیچیده را در هر موقعیت از سمت به دست آورد (حجم محاسبات بسیار زیاد می‌شود). این در حالی است که به دلیل حرکت SAR و تغییر زاویه مشاهده یک هدف، سطح مقطع راداری آن در هر موقعیت از سمت تغییر کرده و میزان ثابتی نیست.

۴- پیاده‌سازی نرم‌افزاری عملکرد SARهای نورافکن در بخش تشکیل تصویر

برای پیاده‌سازی مدل ارائه شده به صورت نرم‌افزاری نیازمند پیاده‌سازی سه گام اساسی جمع آوری داده خام، تشکیل فضای سیگنالی و تشکیل فضای تصویری به صورت نرم‌افزاری هستیم. در کارهای قبلی در حوزه پیاده‌سازی نرم‌افزاری نحوه عملکرد SAR، از روندنمای شکل (۹) استفاده شده



(شکل-۱۰): ساختار پیشنهادی برای پیاده‌سازی نرم‌افزاری مدل عملکرد SAR در بخش تشکیل تصویر
(Figure-10): The proposed structure for software implementation of SAR operation in image formation section

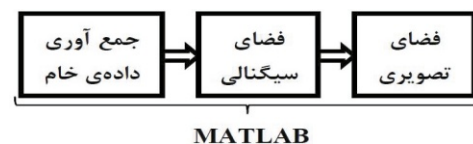


(شکل-۱۱): روندنمای پیشنهادی برای پیاده‌سازی نرم‌افزاری
(Figure-11): The proposed flowchart for software implementation

چالش اصلی در روش پیاده‌سازی پیشنهادی این مقاله، نبودن رادار SAR در محیط نرم‌افزاری CST است؛ لذا در ادامه به امکان‌سنجی استفاده از CST در قالب رادار SAR پرداخته می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم رادار SAR دارای حرکت بوده و مسافتی را به طول دهانه مصنوعی (Ls) طی می‌کند و در هر موقعیت از سمت، میدان پراکندگی از هدف مورد نظر را استخراج می‌کند. از طرف دیگر نرم‌افزار CST نیز در یک مختصات کروی از دو جهت به پویا هدف مورد نظر می‌پردازد. این دو جهت θ و ϕ می‌باشند که به ترتیب پویا در جهت عمودی و اسکن در جهت افقی نامیده می‌شوند. در این مقاله با توجه به تعریف زاویه فرود در SAR که زاویه میان راستای موج و خط عمود بر سطح زمین تعریف می‌شود، پویا در جهت عمودی (θ) مطابق شکل (۱۲-الف) معادل با زاویه فرود SAR در نظر گرفته می‌شود.

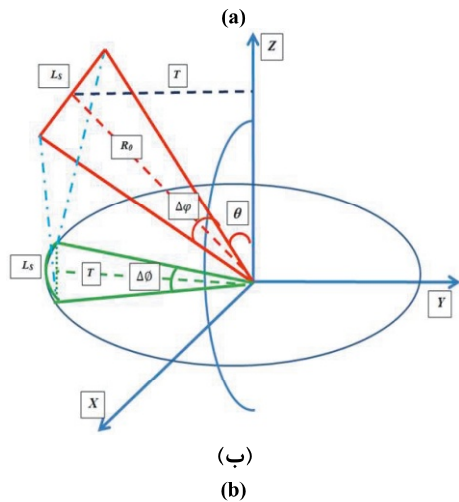
برای حل این مشکل، در این مقاله از ترکیب دو نرم‌افزار MATLAB و CST برای پیاده‌سازی نرم‌افزاری نحوه عملکرد SAR استفاده شده است. CST نرم‌افزاری قدرتمند برای استخراج میدان پراکندگی است و می‌تواند سطح مقطع راداری جسم را در هر موقعیت از سمت به درستی استخراج کند. برای این منظور ابتدا مدل سه‌بعدی هدف در نرم‌افزار CST تشکیل می‌شود. برای تشکیل این مدل هم می‌توان از اشکال موجود در این نرم‌افزار استفاده کرد و هم با استفاده از نرم‌افزارهای دیگری چون Auto Cad مدل ایجاد شده را به‌عنوان ورودی به CST وارد کرد. سپس با تشکیل موج ارسال رادار SAR در CST، آن را به سمت هدف مورد نظر ارسال کرده و بازگشتی آن را در هر موقعیت از سمت، در گیرنده موجود در CST دریافت کرد. بدین ترتیب میدان پراکندگی هدف مورد نظر در محیط نرم‌افزاری CST استخراج شده و با انتقال دامنه و مرحله آن به محیط MATLAB، ماتریس دوبعدی فضای سیگنالی ایجاد می‌شود و در نهایت با اعمال الگوریتم تشکیل تصویر، تصویر نهایی SAR تشکیل می‌شود. لازم به ذکر است که در این مقاله برای حذف نوفه لکه‌ای^۱ که جزء جدایی‌ناپذیر تصاویر SAR است و باعث لکه‌ای شدن (ساختار برفکی) تصاویر SAR می‌شود از روش حذف نوفه چند نگاهی^۲ که در [1] آمده، استفاده شده است.

شکل (۱۰) روندنمای کلی از نحوه پیاده‌سازی نرم‌افزاری پیشنهادی در این مقاله را نشان می‌دهد که در آن، نرم‌افزار CST پوشش‌دهنده گام نخست بوده و برای استخراج میدان پراکندگی در هر موقعیت از سمت استفاده می‌شود. دو گام بعدی نیز در محیط نرم‌افزاری MATLAB پیاده‌سازی می‌شود. همچنین شکل (۱۱) نیز، زیر مراحل موجود در هر گام را نشان می‌دهد.

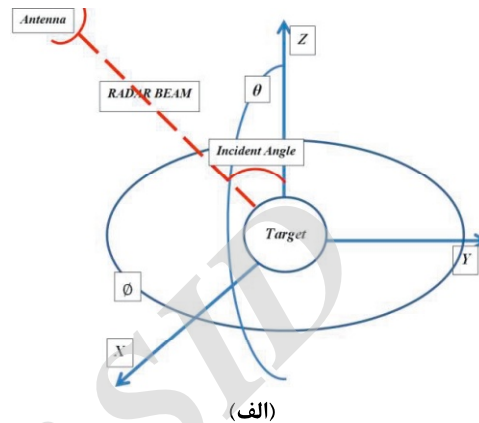


(شکل-۹): ساختار استفاده شده در کارهای قبلی برای پیاده‌سازی نرم‌افزاری مدل عملکرد SAR در بخش تشکیل تصویر
(Figure-9): The structure used in previous works for software implementation of SAR operation model in image formation section

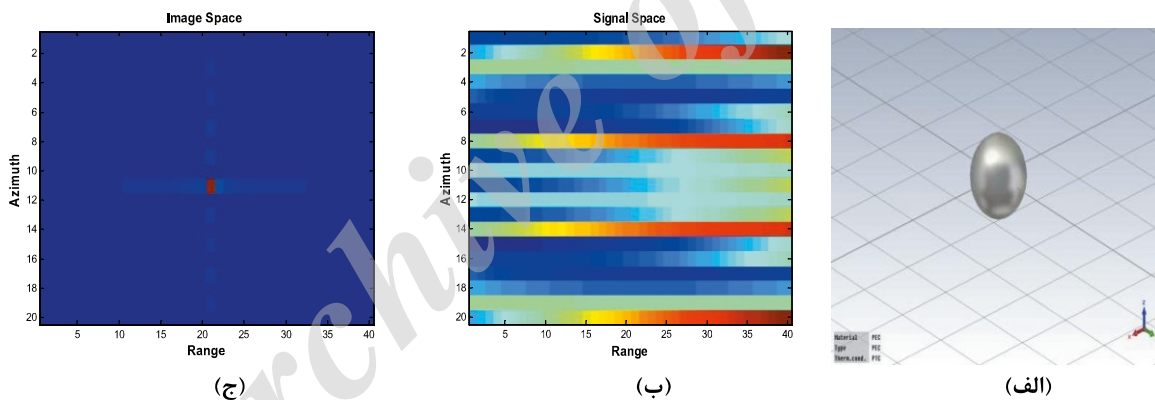
¹ Speckle Noise
² Multilook



همچنین با توجه به شکل (۱۲-الف) می‌توان پویا در جهت افقی (θ) را معادل با حرکت SAR در نظر گرفت؛ اما مقدار و میزان این اسکن ($\Delta\theta$) در مختصات کروی موجود در CST بسیار حائز اهمیت است. برای به دست آوردن این مقدار مطابق شکل (۱۲-ب) میزان حرکت SAR در فضا یعنی L_s به مقدار پویا در مختصات کروی یعنی $\Delta\theta$ نگاشت داده می‌شود.

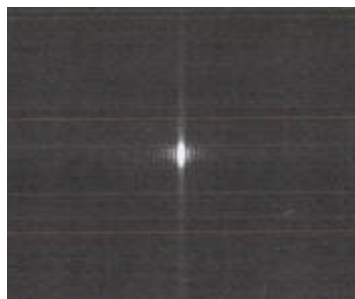


(شکل-۱۲): الف) نحوه پویا هدف توسط SAR و CST (ب) چگونه نگاشت SAR از فضا به درون مختصات کروی موجود در CST. (Figure-12): a) How to scan a target by SAR and CST. b) SAR mapping of the space into spherical coordinates in CST.



(شکل-۱۳): الف) جمع‌آوری داده‌های خام در محیط نرم‌افزاری CST. ب) انتقال داده‌های خام از CST به MATLAB و تشکیل فضای سیگنالی. ج) اعمال الگوریتم تشکیل تصویر PFA بر روی فضای سیگنالی و استخراج فضای تصویری

(Figure-13): a) Raw data acquisition in CST software environment. b) Transferring of raw data from CST to MATLAB and signal space formation. c) Applying the PFA algorithm on the signal space and image space formation.

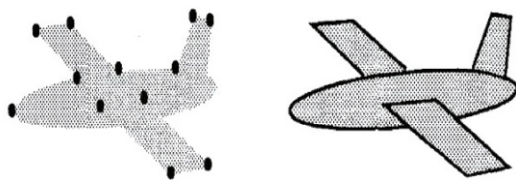


(شکل-۱۴): فضای تصویری کره‌ی منزوی موجود در [5] - محور افقی سمت و محور عمودی برد می‌باشد. (Figure-14): Image space of isolated sphere in [5] - The horizontal axis is azimuth and vertical axis is range.

به‌دست‌آمده نیز واقعی‌تر خواهد بود. به‌عبارت دیگر در بهترین شرایط که تعداد نقاط به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، الگوی نقطه‌ای هدف به شکل خود هدف تبدیل شده و آنگاه تصویر SAR تولیدی از آن به‌طورکامل با واقعیت تطبیق خواهد داشت. در این مقاله با توجه به نمودار موجود در شکل (۱۱) می‌توان الگوی سه‌بعدی هدف را به‌صورت کامل در CST ایجاد کرد یعنی به جای مدل نقطه‌ای از خود هواپیما (شکل ۱۵) استفاده کرد و سیگنال SAR را به آن تاباند و سیگنال‌های دریافتی از آن را پردازش و تصویر آن را استخراج کرد. به‌عنوان نمونه در ادامه با توجه به دراختیارداشتن الگوی سه‌بعدی یک گلایدر تصویر آن با استفاده از روش پیشنهادی این مقاله به‌دست می‌آید و سپس تصویر یک هواپیما با استفاده از مدل نقطه‌ای آن استخراج می‌شود و درنهایت با هم مقایسه می‌شوند.

در شکل (۱۶) الگوی سه‌بعدی ایجادشده از یک گلایدر بزرگ به ابعاد ۱۴ متر طول (از دماغه تا انتها) و ۱۳٫۷ متر عرض (طول بالها) در محیط نرم‌افزاری CST مشاهده می‌شود که یک SAR فرضی با مشخصات موجود در جدول (۱) به تصویربرداری از آن می‌پردازد. پس از انجام پردازش‌های لازم تصویر SAR از این گلایدر مطابق شکل (۱۷) به‌دست آمد. تا اینجا تصویر یک هدف گسترده با استفاده از روش پیشنهادی این مقاله استخراج شد. در ادامه به استخراج تصویر هواپیما با استفاده از مدل نقطه‌ای آن پرداخته می‌شود.

مدل نقطه‌ای یک هواپیما با توجه به مطالب موجود در [16]–[14] مطابق شکل (۱۸) در نظر گرفته شده است. با استفاده از روندنمای شکل (۹) فضای تصویری حاصل از این مدل نقطه‌ای مطابق شکل (۱۹) استخراج می‌شود. با مقایسه شکل‌های (۱۷) و (۱۹) از نظر بصری، مشخص می‌شود که روش پیشنهادی این مقاله برای پیاده‌سازی نرم‌افزاری تطبیق بیشتری با واقعیت دارد. در نتیجه مشاهده شد که بر خلاف شبیه‌سازی‌های گذشته می‌توان به جای مدل نقطه‌ای، از خود هدف استفاده و تصویر واقعی‌تری از آن استخراج کرد.



(شکل-۱۵): یک جسم گسترده به همراه مدل نقطه‌ای آن [13]
(Figure-15): A distributed target with its pointing model [13]

بدین ترتیب امکان استفاده از نرم‌افزار CST در قالب رادار SAR به‌وجود می‌آید و با آن می‌توان به جمع‌آوری میدان پراکنندگی از اهداف مختلف پرداخت. در ادامه با انجام شبیه‌سازی و مقایسه نتیجه حاصل از آن با مراجع معتبر، صحت پیاده‌سازی ارائه‌شده اثبات می‌شود. در این شبیه‌سازی فضای تصویری یک کره منزوی استخراج می‌شود.

منظور از کره منزوی یک هدف نقطه‌ای^۱ کروی شکل است که در یک زمینه^۲ خالی وجود دارد. برای انجام شبیه‌سازی‌ها از مشخصات سامانه^۳ RADARSAT استفاده شده است.

همان‌طور که در شکل (۱۳-الف) مشاهده می‌شود، ابتدا کره منزوی در نرم‌افزار CST شبیه‌سازی شد و پس از استخراج میدان پراکنندگی در هر موقعیت از سمت، فضای سیگنالی متناسب با آن در محیط MATLAB تشکیل شد (شکل ۱۳-ب) و درنهایت با اعمال الگوریتم تشکیل تصویر PFA بر روی آن فضای تصویری مربوط به کره منزوی استخراج شد (شکل ۱۳-ج). درنهایت با مقایسه فضای تصویری حاصل‌شده در این مقاله و فضای تصویری موجود در [5] (شکل ۱۴) صحت پیاده‌سازی انجام‌شده در این مقاله اثبات می‌شود.

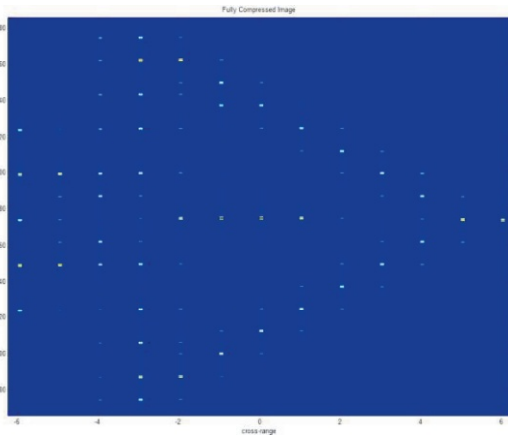
با این پیاده‌سازی، مدل نرم‌افزاری SARهای نورافکن در بخش تشکیل تصویر نیز کامل شده و علاوه‌بر تشریح چگونگی رفتار این سامانه‌ها قابلیت‌های زیادی چون امکان تحلیل اثر پارامترهای مختلف سامانه‌های تصویربرداری SAR، تفسیر بهتر تصاویر SAR، امکان بررسی صحت راه‌کارهای مطرح‌شده در جنگ الکترونیک یا پدافند غیرعامل برای مقابله با سامانه‌های SAR، امکان تولید تصویر از اهداف گسترده^۳ و ... به‌وجود خواهد آمد. در ادامه برای تشریح بیشتر قابلیت‌های به‌وجودآمده، در قالب دو مثال، به تولید تصویر از هدف گسترده و همچنین شبیه‌سازی و تحلیل تأثیر ابعاد بدنه هدف به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در تصاویر SAR پرداخته می‌شود.

در مقالات موجود در زمینه رادارهای SAR به‌طورمعمول از مدل نقطه‌ای اهداف گسترده برای تولید تصویر از آنها استفاده می‌شود. روندنمای استفاده‌شده برای این روش مطابق شکل (۹) است. به‌عنوان مثال همان‌طور که در شکل (۱۵) نشان داده شده است، می‌توان به جای هواپیما از مدل نقطه‌ای آن استفاده کرد. که این روش تقریبی بوده و به تعداد نقاط استفاده‌شده در آن بستگی دارد. به‌طوری‌که هرچقدر این تعداد بیشتر باشد، تصویر

¹ Point Target

² Background

³ Distributed Target



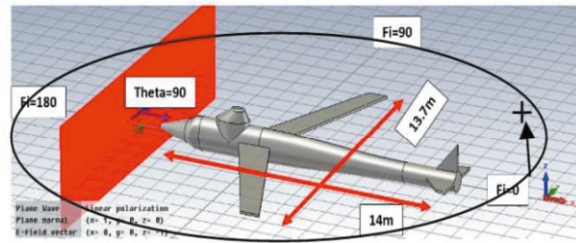
(شکل-۱۹): تصویر به دست آمده از مدل نقطه‌ای هواپیما
(Figure-19): The image obtained from the pointing model of plane

در مثال دوم برای بررسی تأثیر ابعاد بدنه هدف در تصاویر SAR، دو هدف مکعبی شکل با ابعاد $-0.25 < x < 0.25$ ، $-1 < y < 1$ و $z = 0.25$ در محیط نرم‌افزاری CST تولید شدند و سپس با استفاده از مشخصات سامانه SAR فرضی موجود در جدول (۱) تنها با این تفاوت که زاویه فرود در اینجا سی درجه است، به استخراج فضای تصویری از آنها مطابق شکل (۲۰-الف و ب) پرداخته شد. با تحلیل نمایه^۱ آنها در جهت برد یا سمت شکل (۲۰) مشخص می‌شود که دامنه پیک اصلی در موج بازگشتی از مکعب بزرگتر (۰،۴۷)، نسبت به مکعب کوچکتر (۰،۱۶) بیشتر است. از این رو در تصاویر SAR شکل داده شده، الگوی تشکیل شده برای مکعب بزرگتر بسیار روشن‌تر از الگوی تشکیل شده برای مکعب کوچکتر است. نتیجه جانبی اینکه در یک دقت رادئومتریک محدود برای تصویر SAR، الگوی مکعب بزرگتر کشیده‌تر از الگوی مکعب کوچکتر به نظر می‌رسد که این موضوع در فضای تصویری شکل (۲۰) به‌طور کامل مشهود است. در نتیجه با توجه به اینکه از دیدگاه سنجش از دور راداری، یک هدف مکعبی شکل در دنیای واقع می‌تواند بیان‌گر خانه‌ها و ساختمان‌ها باشد، می‌توان گفت که الگوی یک ساختمان بزرگ در تصویر SAR، نسبت به یک ساختمان کوچک، کشیده‌تر و روشن‌تر است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله ضمن مدل‌سازی عملکرد SARهای نورافکن در بخش تشکیل تصویر به‌صورت تحلیلی، به پیاده‌سازی نرم‌افزاری آن نیز پرداخته شد. اهمیت این پیاده‌سازی از آن

¹ Profile



(شکل-۱۶): ایجاد یک هدف گسترده (گلايدر) در محیط

نرم‌افزاری CST.

(Figure-16): Creating a distributed target (glider) in CST software environment.

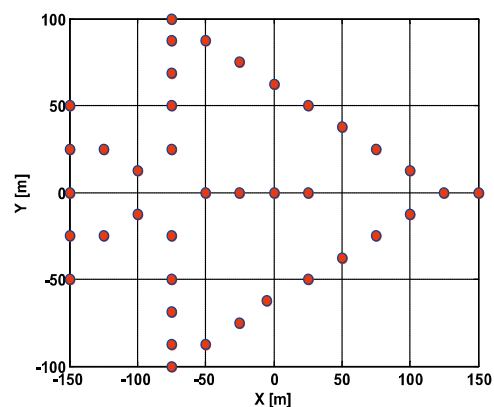
(جدول-۱): مشخصات یک سامانه SAR فرضی

(Table-1): Hypothetical SAR characteristics

مشخصات	مقدار
قدرت تفکیک برد	2m
قدرت تفکیک سمت	2m
فرکانس کاری	10GHz
پلاریزاسیون	Horizontal
زاویه فرود (θ)	90 Deg
زاویه اسکن (ϕ)	180 Deg
$\Delta\phi$	0.43 Deg



(شکل-۱۷): تصویر راداری به دست آمده از گلايدر
(Figure-17): Radar image obtained from the glider



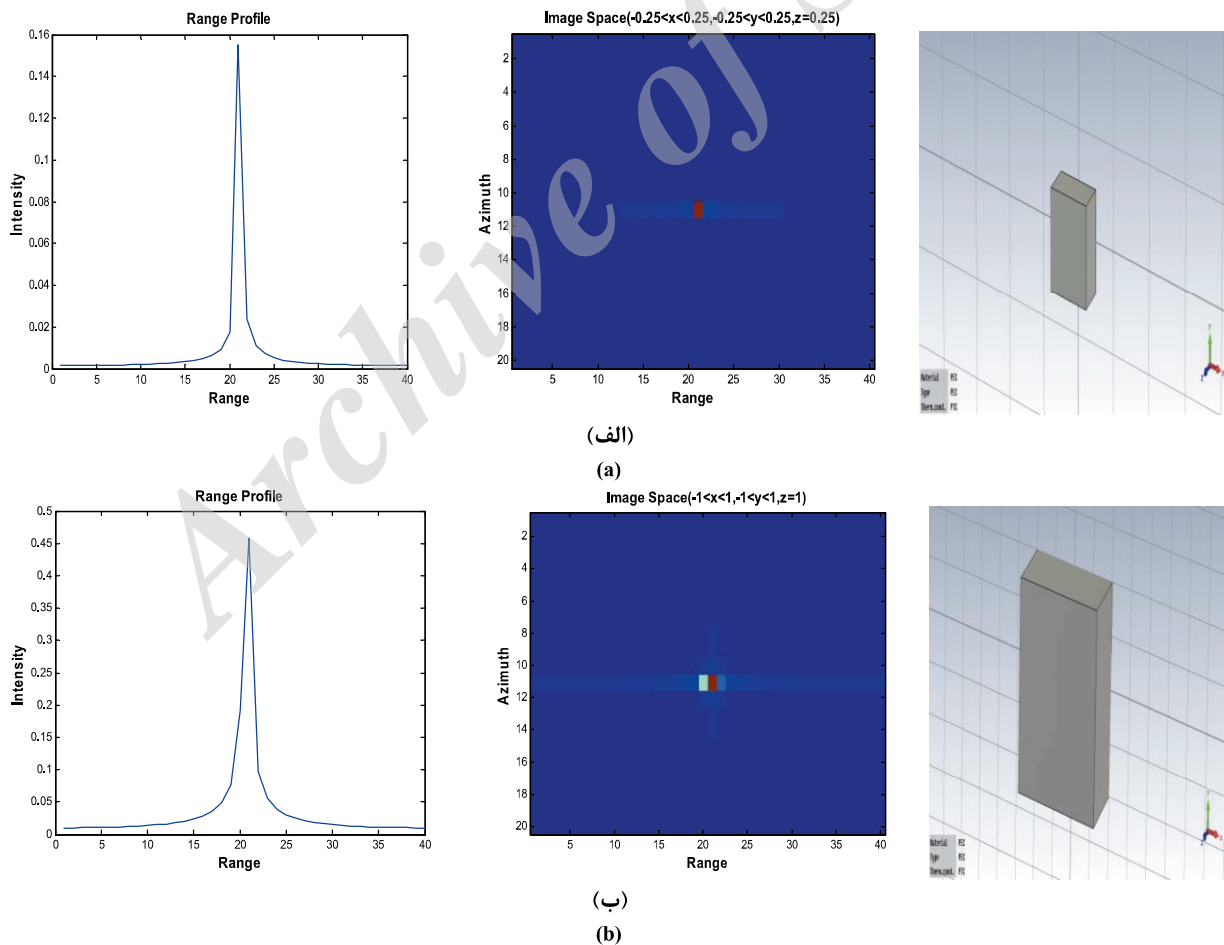
(شکل-۱۸): مدل نقطه‌ای هواپیما
(Figure-18): Pointing model of plane

۴. نظر به کلیدی‌شدن فناوری SAR در کسب برتری اطلاعاتی در میدان نبرد، مدل‌سازی عملکرد این نوع سامانه‌های تصویربرداری امکان طراحی راه‌کارهای مقابله با آنها را امکان‌پذیر می‌کند؛ زیرا ناحیه تصویربرداری و کانال که دو عامل اصلی در پدافند غیرعامل و جنگ الکترونیک محسوب می‌شوند به راحتی قابل مدل‌سازی در نرم‌افزار ایجاد شده هستند. به علاوه مدل ایجاد شده بستری را برای اثبات صحت راه‌کارهای مطرح شده در جنگ الکترونیک و پدافند غیرعامل در برابر سامانه‌های SAR فراهم می‌کند.

۵. قابلیت تولید تصویر از اهداف گسترده به وجود می‌آید. به علاوه می‌توان مدل نقطه‌ای دقیق از اهداف گسترده را نیز استخراج کرد.

جهت است که علاوه بر تشریح چگونگی رفتار SAR، قابلیت‌های متعددی را به وجود می‌آورد. از جمله این قابلیت‌ها عبارتند از:

۱. امکان تحلیل اثر پارامترهای مختلف سامانه‌های تصویربرداری SAR فراهم می‌شود. از این منظر گام مهمی در جهت طراحی و ساخت این نوع سامانه‌های تصویربرداری برداشته خواهد شد.
۲. از طرف دیگر با توجه به آنکه عوامل مختلف درون سامانه‌ای و بیرون سامانه‌ای چون رادار، سکو حامل سنجنده، الگوریتم‌های پردازشی، ناحیه تصویربرداری و کانال در اطلاعات ثبت شده توسط سامانه‌های تصویربرداری SAR نقش دارند، مدل‌سازی عملکرد این سامانه‌ها به تفسیر تصاویر SAR نیز کمک قابل توجهی خواهد کرد.
۳. این نوع مدل‌سازی‌ها امکان شبیه‌سازی سطوح و اهداف را از منظر سامانه‌های تصویربرداری SAR فراهم می‌آورد.



(شکل-۲۰): الف و ب) شبیه‌سازی تأثیر ابعاد بدنه هدف
(Figure-20): a, b) Simulate the effect of body size target

- [12] Bo. Fan, Q. Yuilang, P. You, H. Qiangwang, "An Improved PFA with Aperture Accommodation for Widefield Spotlight SAR Imaging," *Geoscience and Remote Sensing Letter*, vol. 12, pp. 3-7, 2015.
- [13] R. Bhalla, H. Ling, "Three-Dimensional Scattering Center Extraction Using the Shooting and Bouncing FLayer Technique," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 44, pp. 1445-1453, November 1996.
- [14] A. Kaya, M. Kartal, "Point Scatterer Model for RCS Prediction Using ISAR Measurements," *IEEE 4th International Conference on Recent Advances Technologies in Space (RAST '09)*, 2009, pp. 422-425.
- [15] G. Cakir, L. Sevgi, "Radar Cross-Section (RCS) Analysis of High Frequency Surface Wave Radar Targets," *Turkish Journal of Electronic Engineering and Computer Science (TUBITAK)*, vol. 18, pp. 457-467, 2010.
- [16] J. Zhang, J. Hu, Y. Gao, R. Zhan, and Q. Zhai, "Three-Dimensional Scattering Centers Extraction of Radar Targets Using High Resolution Techniques," *Progress In Electromagnetics Research Journal*, vol. 37, pp. 127-137, 2014.



مجتبی بهزاد فلاح پور مدرک

کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق مخابرات- سیستم از دانشگاه صنعتی ماک اشتر تهران در سال ۱۳۹۱ دریافت کرد. او در سال

۱۳۹۲ وارد مقطع دکترا در رشته برق- مخابرات- سیستم در دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران شد و هم‌اکنون دانشجوی این مقطع است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش سیگنال راداری، بهینه سازی و ناوبری رادیویی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

m_behzad_fp@yahoo.com

7-References

۷-مراجع

- [1] I. G. Cumming and F.H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*, 1st edition, Artech House, London, 2006.
- [2] W. L. Melvin, J. A. Scheer, *Principles of Modern Radar*, SciTech, 2013.
- [3] J. A. Richards, *Remote Sensing with Imaging Radar*, 1st edition, Springer, New York, 2009.
- [4] X. Luo, Y. Deng, R. Wan, W. Luo, Y. Xu and L. Guo, "Full-Aperture SAR Data Focusing in the Spaceborne Squinted Sliding-Spotlight Mode," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 11, pp. 1692-1696, October 2014.
- [5] C. V. Jakowatz, D. E. Whal, P. H. Eichel, D. C. Ghiglia, P. A. Thompson, *Spotlight-Mode Synthetic Aperture Radar a signal Processing Approach*, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [۶] دهقانی، حمید، ریوندی، علی، بهزاد فلاح پور، مجتبی، موسی زاده، کیومرث، "مدل سازی عملکرد سامانه های تصویربرداری SAR"، فصلنامه علمی پژوهشی علوم و فناوری فضایی، جلد ۶، شماره ۱، ص. ۴۷-۵۶، بهار ۹۲.
- [6] H. Dehghani, A. Reyvandi, M. Behzad Fallahpour, k. Mousazade, "SAR Imaging Systems Performance Modeling", *Journal of Space Science and Technology*, Vol. 6, No. 1, pp.47-56, 2013.
- [7] S. Roedelsperger, C. Trampuz, A. Coccia, "Latest Meta Sensing ground, airborne and space borne SAR developments," *IEEE 13th International Symposium Radar (IRS)*, 2012.
- [8] Y. Deng, W. Yu, R. Wang, "On Space Borne Synthetic Aperture Radar (SAR) Systems in China," *General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS)*, 2014.
- [9] W. G. Carrara, R. S. Goodman, R. M. Majewski, *Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms*, Artech House, Boston, 1995.
- [10] F. Banda, L. Ferro-Famil, S. Tebaldini, "Polarimetric Time-Frequency Analysis of Vessels in Spotlight SAR Images," *IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (IGARSS)*, 2014.
- [11] S. Guangcai, J. Guobin, Y. Jun, C. Gushun, X. Mengdao, "Beam Steering SAR Data Processing By a Generalized PFA," *IEEE 10th European*



حمید دهقانی مدرک کارشناسی ارشد و دکترای خود را در رشته مهندسی برق مخابرات گرایش سیستم در دانشگاه تربیت مدرس به ترتیب در سال های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۵ دریافت کرد. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان سنجش از دور و شناسایی الگو است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

Hamid_deh@yahoo.com



علی جبار رشیدی متولد ۱۳۴۹ هجری شمسی، مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق-الکترونیک از دانشگاه شهید باهنر کرمان و کارشناسی ارشد و دکترای تخصصی خود را در مهندسی برق-مخابرات به ترتیب در سال های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۳ از دانشگاه تربیت مدرس دریافت نمود. او دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی مخابرات دانشگاه صنعتی مالک اشتر است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش و ادغام اطلاعات در سامانه ها و حس گرهای چندگانه، طراحی سامانه های رادار، ناوبری و هوشمندسازی گروهی است. نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

aiorashid@yahoo.com



عباس شیخی متولد ۱۳۵۰ هجری شمسی، مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق-الکترونیک از دانشگاه شیراز در سال ۱۳۷۲ و کارشناسی ارشد و دکترای تخصصی خود را به ترتیب در رشته های مهندسی پزشکی-بیو الکترونیک و مهندسی برق-مخابرات در سال های ۱۳۷۴ و ۱۳۷۸ از دانشگاه صنعتی شریف دریافت کرد. او از سال ۷۸ تاکنون عضو هیئت علمی دانشگاه شیراز و مرتبه علمی وی استاد است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش سیگنال راداری، تئوری تخمین و تئوری آشکارسازی است. نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

sheikhi@shirazu.ac.ir

Archive of SID