

# بررسی آماری مکانیزم پراکنندگی برای سطوح ناصاف دی الکتریک بر اساس تئوری تجزیه هدف در رادارهای پلاریمتری تصویر برداری

بیژن زاگری<sup>i</sup>؛ ایاز قربانی<sup>ii</sup>؛ مایکل گالیتی<sup>iii</sup>

## چکیده

در این مقاله، بررسی آماری پارامترهای هدف در رادارهای پلاریمتری سنجش از دور از جمله مکانیزم پراکنندگی و بی نظمی، استخراج و شبیه سازی شده اند. برای این منظور، تکنیک آنالیز برداری با استفاده از روش تجزیه هدف برای محاسبه بردارها و مقادیر ویژه اهداف و همچنین میزان احتمال هر یک از آنها برای ماتریس کوهرنسی و کوواریانس هدف مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر این، پارامترهای مکانیزم پراکنندگی و بی نظمی برای اهداف شبه کروی و سطوح ناصاف شبیه سازی شده است. در این روش، توزیع آماری اندازه قطر قطرات باران، به عنوان اهداف شبه کروی، بکار رفته است. نتایج شبیه سازی برای توزیع‌های مختلف استخراج شده و با داده‌های راداری سازمان فضایی آلمان مقایسه شده است.

## کلمات کلیدی

تئوری تجزیه هدف، رادارهای پلاریمتری، ماتریس کوهرنسی

## *Statistical Assessment of Scattering Mechanism for Rough Dielectric Surfaces Based on Target Decomposition Theorem in Imaging Polarimetric Radars*

Bijan Zakeri; Ayaz Ghorbani; Michele Galletti

### ABSTRACT

In this paper statistical assessment of target parameters, in polarimetric remote sensing radars, such as scattering mechanism and Entropy are extracted and simulated. For this objective eigenvector analysis technique by target decomposition method (TDM) used for calculating eigenvector as well as probability of them from their coherency or covariance matrix. In addition, a simulation scheme developed for calculating Entropy and Scattering mechanism for spheroid targets and rough surfaces. In this work, drop size distribution (DSD) is considered for stochastic process of spheroid rain droplet. Results for different distributions presented and compared with radar data set from German Aerospace center (DLR).

### KEYWORDS

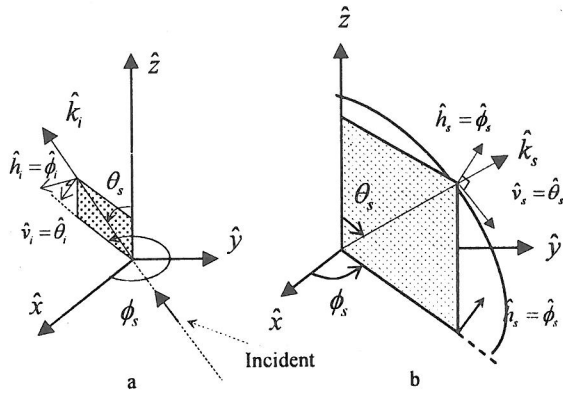
Target Decomposition Theorem, Polarimetric radars, Coherency matrix

<sup>i</sup> دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی امیر کبیر: Bij\_zakeri@aut.ac.ir

<sup>ii</sup> استادیار دانشکده برق دانشگاه صنعتی امیر کبیر: Ghorbani@aut.ac.ir

<sup>iii</sup> فارغ التحصیل دکترای مخابرات دانشگاه چمنیتز: michele@infotech.tu-chemnitz.de

$$\vec{E}(r) = \vec{E}_0(z) \frac{e^{-j \vec{k}_i \cdot \vec{r}}}{r} \quad (1)$$



شکل (۲): نمایش دستگاه مختصات برای مکانیزم تابش و پراکنندگی موج در رادارهای پلاریمتری

با تجزیه میدان به مولفه‌های افقی و عمودی خواهیم داشت:

$$\vec{E}(z) = \vec{E}_h(z) \vec{e}_h + \vec{E}_v(z) \vec{e}_v \quad (2)$$

که با فرض  $E_{h0} \neq 0, E_{v0} \neq 0$  داریم:

$$\vec{E}_v(z, t) = E_{v0} \cos(\omega t - kz) \quad (3)$$

$$\vec{E}_h(z, t) = E_{h0} \cos(\omega t - kz + \delta_0) \quad (4)$$

که  $\delta_0$  اختلاف فاز دو مولفه میدان است. با حذف  $\cos(\omega t - kz)$  در روابط فوق خواهیم داشت:

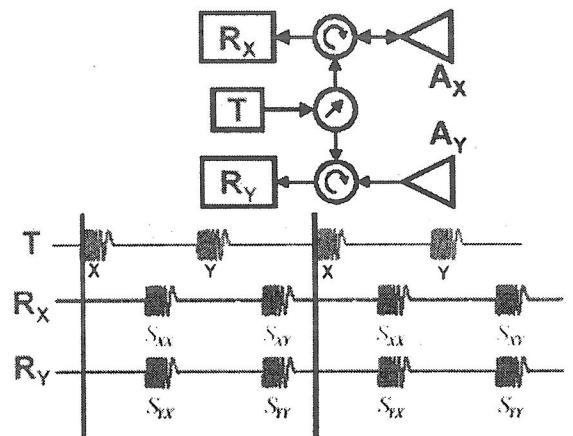
$$\left( \frac{E_h(\vec{r}, t)}{E_{h0}} \right)^2 + \left( \frac{E_v(\vec{r}, t)}{E_{v0}} \right)^2 - 2 \left( \frac{E_h(\vec{r}, t) E_v(\vec{r}, t)}{E_{h0} E_{v0}} \right) \cos(\delta_0) = \sin^2(\delta_0) \quad (5)$$

این رابطه بیانگر یک معادله بیضوی است که کلی ترین شکل پلاریزاسیون موج را نشان می‌دهد. در نمایش بردار جونز از ترکیب خطی دو پلاریزاسیون عمود بر هم از یک موج صفحه‌ای تک فرکانس استفاده می‌شود. بردار دو بعدی  $\vec{E}$  به نام بردار جونز معروف است و به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\vec{E} = [E_h \quad E_v]^T \quad (6)$$

بردار جونز اطلاعات کاملی در مورد پلاریزاسیون موج در اختیار می‌گذارد. اگر به یک پراکنده گر یک موج صفحه ای با معادله بردار جونز تابیده شود موج برگشتی با رابطه  $\vec{E}^{re}$  مشخص و رابطه بین بردار موج تابشی و پراکنده شده با ماتریس جونز به صورت زیر بیان می‌شود:

تکنیک تصویربرداری به روش پلاریمتری در زمینه‌های مختلف، از جمله علم زمین شناسی، هواشناسی، کشاورزی، اکتشافات زیر سطحی، شناسایی و استخراج مشخصات اهداف، کاربردهای فراوانی دارد [۱]. اخیراً رادارهای سنجش از دور با بکارگیری تکنیک پلاریزاسیون موج و تئوری تجزیه هدف، به شناسایی اهداف از لحاظ کیفی و کمی می‌پردازند. یک رادار تصویر برداری، به یک دوربین عکاسی بسیار شبیه است؛ با این تفاوت که در رادارهای پلاریمتری از امواج الکترومغناطیس استفاده می‌شود. در این تکنیک با استفاده از رادارهای دوپلاریزه امواج الکترومغناطیس پالسی مطابق شکل (۱) در دو پلاریزاسیون افقی و عمودی به سمت هدف ارسال و انعکاسات موج برگشتی به صورت ماتریس پراکنندگی به عنوان توصیفگر اولیه هدف، در گیرنده دریافت و پس از پردازش به صورت کد رنگ نمایش داده می‌شوند. در تکنیک‌های تصویر برداری مایکروویوی پراکنندگی ناشی از تابش موج الکترومغناطیس به طور مستقیم به فرکانس کاری رادار، پلاریزاسیون موج، شکل هندسی، جهت‌گیری هدف و دیگر خصوصیات موج و پراکنده گر وابسته است [۲].



شکل (۱): سیستم رادار دو پلاریزه برای استخراج ماتریس پراکنندگی هدف

## ۲- نمایش بردار و ماتریس جونز

پلاریزاسیون از خواص موج است و در فرستنده ایجاد می‌شود و در کلی ترین شکل، بیضوی می‌باشد. برای استخراج معادلات پلاریزاسیون موج مطابق شکل (۲) به یک دستگاه مختصات نیاز داریم که مبدأ آن، مرکز فرستنده است. بر این اساس، میدان  $\vec{E}$  در فاصله  $r$  از فرستنده برابر است با [۱]:

حساب می‌شود. بردار هدف ماتریس پراکنندگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_L = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_{hh} & \sqrt{2} S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

و ماتریس کواریانس به صورت زیر به دست می‌آید:

$$[C] = K_L \cdot K_L^{*T} \quad (10)$$

و بر حسب پارامترهای ماتریس پراکنندگی خواهیم داشت:

$$[C] = \begin{bmatrix} S_{hh} \cdot S_{hh}^* & \sqrt{2} S_{hh} \cdot S_{hv}^* & S_{hh} \cdot S_{vv}^* \\ \sqrt{2} S_{hv} \cdot S_{hh}^* & 2 S_{hv} \cdot S_{hv}^* & \sqrt{2} S_{hv} \cdot S_{vv}^* \\ S_{vv} \cdot S_{hh}^* & \sqrt{2} S_{vv} \cdot S_{hv}^* & S_{vv} \cdot S_{vv}^* \end{bmatrix} \quad (11)$$

این ماتریس تقارن هرمیتی دارد و برای اهداف غیر متعارف دارای توزیع تصادفی می‌شود که باید میانگین گیری آماری شود. هدف از تجزیه غیر متعارف جداسازی ماتریس فوق به صورت ترکیبی از ماتریس‌های توصیف گر اجسام متعارف و ماتریس نویز است که قابلیت توصیف فیزیکی داشته باشند. با استفاده از این تئوری ماتریس‌های توصیفگر مرتبه دوم به صورت زیر قابل تجزیه‌اند [۹]:

$$\langle [C] \rangle = \sum_{i=1}^k p_i [C]_i \quad (12)$$

$[C]_i$  ها ماتریس‌های اهداف متعارف و  $p_i$  ها وزن‌های هر یک از آنهاست. ما، در این مقاله تجزیه بر مبنای مقادیر ویژه ماتریس کوهرنسی را مبنای کار خود قرار دادیم و پارامترهای پراکنندگی را شبیه سازی کردیم.

#### ۴- دسته بندی اهداف راداری

در سال ۱۹۹۶ آقایان اریک پوتر و روبرت کلود، زوش ترکیبی و کاربردی از تجزیه هدف به نام  $H/\alpha$  را برای دسته بندی اهداف راداری ارائه دادند [۹]. به منظور تحلیل فیزیکی مسأله پراکنندگی، دو پارامتر  $\alpha$  و  $H$  به ترتیب به نام‌های مکانیزم پراکنندگی و بی نظمی تعریف شده‌اند که به کمک آنها توصیف فیزیکی اهداف راداری به صورت کد رنگ نشان داده می‌شوند. بی نظمی که میزان دپلاریزاسیون موج پراکنده شده را نشان می‌دهد براساس مقادیر ویژه ماتریس کوهرنسی بیان می‌شود و همواره بین صفر و یک است.  $H=0$  نشانگر پراکنندگی از یک هدف متعارف و  $H=1$  پراکنندگی از هدف غیرمتعارف را نشان می‌دهد.  $\alpha$  زاویه ای است که مکانیزم پراکنندگی را مشخص می‌کند و بین صفر تا نود درجه است. پارامترهای بی‌نظمی و مکانیزم پراکنندگی طبق رابطه زیر تعریف می‌شوند:

$$H = -\sum_{i=1}^3 p_i \text{Log}_3(p_i) \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{E}_h^{re} \\ \bar{E}_v^{re} \end{bmatrix} = \frac{e^{-j k_i \cdot r}}{r} \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{E}_h^{tr} \\ \bar{E}_v^{tr} \end{bmatrix} \quad (7)$$

بدین ترتیب ماتریس، مختلط نرمالیزه جونز یا ماتریس

پراکنندگی با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \quad (8)$$

در این ماتریس،  $S_{hh}$  و  $S_{vv}$  مؤلفه‌های پلاریزاسیون همدوس و  $S_{vh}$  و  $S_{hv}$  مؤلفه‌های پلاریزاسیون غیرهمدوس ماتریس پراکنندگی می‌باشند که در حالت مونو استاتیک (راداری) مؤلفه‌های غیرهمدوس با هم برابرند [۱]. در نتیجه، برای به دست آوردن المان‌های ماتریس جونز باید پنج پارامتر مستقل را حساب کرد که سه پارامتر آن دامنه و بقیه فاز می‌باشند [۲].

#### ۳- تئوری تجزیه هدف

همان‌گونه که در بخش قبل اشاره شد، در سیستم‌های راداری سنجش از دور بروش پلاریمتری، از روی ماتریس پراکنندگی اطلاعات هدف را استخراج می‌کنند. برای این کار لازم است ماتریس توصیفگر ثانویه هدف به نام ماتریس کواریانس،  $[C]$ ، را به دست آوریم. جایگاه قضیه تجزیه هدف در این بحث از همین نقطه شروع می‌شود. بدین معنی که برای اهداف پیچیده ماتریس توصیفگر مرتبه دوم را به طور تحلیلی نمی‌توان به دست آورد و فقط با استفاده از توصیف آماری در حضور نویز لکه‌ای قابل بررسی‌اند [۲]. این ماتریس‌ها با سنسورهای پلاریمتری اندازه گیری و به ماتریس‌های متعارف تبدیل می‌شوند. قضیه تجزیه هدف کمک می‌کند تا در میانگین گیری داده‌های آماری بر مبنای تغییرات پلاریزاسیون موج پراکنده شده تصمیم گیری بهتری صورت گیرد [۱]. این قضیه به سه نوع مختلف تقسیم می‌شود: نوع اول که در پراکنندگی نور کاربرد دارد از خاصیت دوگانگی نور استفاده می‌کند و آقای هاین آن را پایه ریزی کرد و بارنز در سال ۱۹۸۸ آن را تکمیل کرد [۴]. نوع دوم که به تجزیه همدوس معروف است فقط با ماتریس پراکنندگی هدف سروکار دارد و این روش را آقای کروگیچر در سال ۱۹۹۰ معرفی کرد و آقای ویلیام کامرون در همان سال آن را تکمیل کرد [۵]، [۶]. دسته سوم و مهم‌ترین آنها به نام تجزیه ناهمدوس از ماتریس کواریانس برای اهداف غیر متعارف استفاده می‌کند که اولین بار روبرت کلود در سال ۱۹۸۵ آن را ارائه کرد [۷]. تجزیه غیر منسجم به سه دسته تجزیه هاین<sup>۱</sup>، تجزیه بر مبنای مدل فریم<sup>۲</sup> و تجزیه بر مبنای مقادیر ویژه<sup>۳</sup> تقسیم می‌شود. در شیوه اخیر بردار هدف از ماتریس پراکنندگی استخراج و از روی آن ماتریس کواریانس

همگن و با پراکندگی گوسی با میانگین صفر در نظر گرفته می‌شوند. بر این اساس، بردار  $\vec{k}$  با توزیع گوسی به صورت زیر توصیف می‌گردد [۱۰]:

$$p_k(\vec{k}) = \frac{1}{\pi^m |C|} \exp(-\vec{k}^H C^{-1} \vec{k}) \quad (17)$$

در حضور پدیده تصادفی نویز لکه‌ای ماتریس  $C$  حاصل از  $\vec{k}$  به صورت ماتریس  $Z_n$  تخمین زده می‌شود.

$$Z_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \vec{k}_i \cdot \vec{k}_i^H \quad (18)$$

ماتریس  $Z_n$  تخمین احتمال ماکزیمم<sup>۱</sup> ماتریس  $C$  است که نمونه کوواریانس<sup>۱</sup> نیز خوانده می‌شود. در رابطه (۱۸)  $\vec{k}_i$  به ازای  $i = 1, 2, \dots, m$  بردار هدف یکی از  $n$  نمونه دریافتی می‌باشد. توصیف آماری  $Z_n$  با توزیع ویشارت<sup>۱</sup> به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۱]:

$$p_{z_n}(z_n) = \frac{n^{mn} |z_n|^{n-m}}{|C|^n \tilde{\Gamma}_m(n)} \text{etr}(-nC^{-1}Z_n) \quad (19)$$

در رابطه فوق،  $\text{etr}(x)$  برابر تابع نمایی Trace ماتریس  $x$  است. به شرطی که  $n > m$  تابع گاما  $\tilde{\Gamma}_m(n)$  با استفاده از تابع گاما  $\Gamma(x)$  به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۱]:

$$\tilde{\Gamma}_m(n) = \pi^{m(m-1)/2} \prod_{i=1}^m \Gamma(n-i+1) \quad (20)$$

با فرض ماتریس هرمیتین  $m \times m$  برای  $C$  و با استفاده از قضیه تجزیه هدف داریم:

$$\Sigma = U^H C U \quad (21)$$

به نام ماتریس مقادیر ویژه و  $U'$  ماتریس بردارهای ویژه ماتریس  $C$  می‌باشند. از آنجا که  $Z_n$  تخمین ماتریس  $C$  است می‌توان آن را نیز با استفاده از قضیه تجزیه هدف به صورت زیر نشان داد:

$$\Xi = U^H Z_n U \quad (22)$$

$\Xi$  به نام ماتریس مقادیر ویژه و  $U$  ماتریس بردارهای ویژه  $Z_n$  است. همان‌گونه که در معادله (۲۲) مشاهده می‌شود ماتریس  $Z_n$  را به صورت ماتریس  $\Xi$  با  $m$  مقدار ویژه و ماتریس  $U$  را با سه بردار ویژه نشان دادیم. برای به دست آوردن تابع احتمال مقادیر ویژه باید معادله فوق را با استفاده از دترمینان ژاکوبین حل کنیم که لازم است ضرب خارجی شکل دیفرانسیلی  $Z_n$  را حساب کنیم تا برای توزیع ویشارت آماده شود [۱۰]. دوم این که باید  $m(m-1)$  پارامتر بردارهای ویژه ماتریس  $Z_n$  محاسبه شود. بدین ترتیب مقادیر ویژه ماتریس  $Z_n$  با استفاده از رابطه (۲۲) به صورت زیر تخمین زده می‌شود [۱۱]:

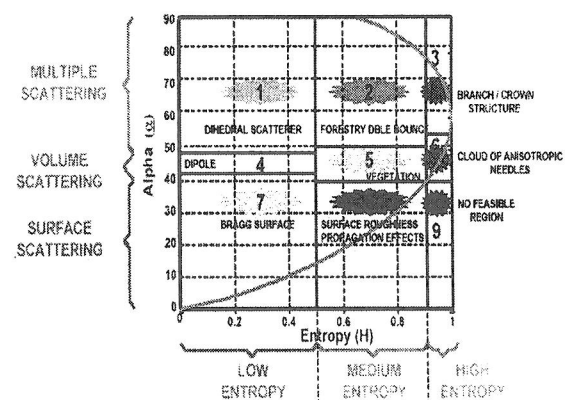
$$\alpha = \sum_{i=0}^3 p_i \alpha_i \quad (14)$$

در روابط فوق،  $p_i$  احتمال مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس است و از رابطه زیر بدست می‌آید [۸]، [۹]:

$$p_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \quad (15)$$

$\alpha_i$  زاویه پراکندگی متناظر با مقدار ویژه  $\lambda_i$  حاصل از درایه اول بردارهای ویژه است [۹]. مطابق شکل (۳) برای داشتن توصیف فیزیکی در صفحه دوبعدی، مکانیزم پراکندگی و بی‌نظمی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود هشت ناحیه مختلف برای دسته بندی اهداف<sup>۱</sup> مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

SEGMENTATION OF THE  $H/\alpha$  SPACE



شکل (۳): مکانیزم های پراکندگی و دسته بندی اهداف راداری در صفحه  $H/\alpha$

## ۵- مکانیزم آماری پراکندگی اهداف

همان‌گونه که اشاره شد اهداف متعارف یا نقطه ای<sup>۱</sup> مثل کره یا شبه کره دی الکتریک اهدافی هستند که ماتریس پراکندگی آنها از لحاظ تحلیلی قابل محاسبه می‌باشند. در صورتی که پراکندگی اهداف غیر متعارف یا توزیع شده<sup>۲</sup> مثل پوشش‌های جنگلی و بوته‌ای، مزارع کشاورزی، پوشش‌های شهری، سطوح ناصاف، رفتار آماری خواهند داشت. در رادارهای پلاریمتری چند بعدی به  $m$  ماتریس پراکندگی  $S_i$  برای  $i = 1, 2, \dots, m$  نیاز داریم که بردار هدف آنها به صورت زیر نوشته می‌شود [۹]:

$$\vec{k} = [S_1, S_2, S_3, \dots, S_m]^T \quad (16)$$

بردار هدف،  $\vec{k}$ ، برای اهداف نقطه‌ای کاملاً معین در حالت مونواستاتیک سه بعدی خواهد بود. در رادارهای سنجنش از دور با اهدافی تصادفی سروکار داریم که داده‌های آماری آنها

$$\lambda_i = l_i + \frac{l_i}{n} \sum_{j \neq i}^m \frac{l_j}{l_i - l_j}, i=1,2,\dots,m$$

در رابطه فوق،  $l_i$  مقدار ویژه  $i$  ام ماتریس کوواریانس و  $n$  تعداد مشاهدات در نمونه گیری آماری است. در بخش بعد با استفاده از این تکنیک به مسأله پراکندگی اجسام می‌پردازیم و پارامترهای  $H$  و  $\alpha$  را شبیه سازی می‌کنیم. برای این کار، ذرات باران را برای سه نوع توزیع مختلف توزیع احتمال مارشال/پالمر<sup>۱۱</sup>، جوس/تندرسون<sup>۱۲</sup> و توزیع گاما<sup>۱۳</sup> و همچنین برای سطوح ناصاف دی الکتریک در نظر می‌گیریم و با استفاده از نتایج شبیه‌سازی، قابلیت‌های تکنیک  $H/\alpha$  را در صفحه هدف نشان می‌دهیم.

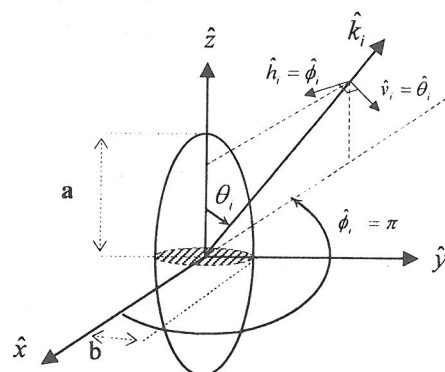
### ۶- نتایج شبیه سازی پارامترها

در این بخش با استفاده از تئوری تجزیه هدف و تکنیک  $H/\alpha$  به مسأله پراکندگی اجسام پرداخته و پارامترهای  $H$  و  $\alpha$  را شبیه سازی و در پایان با استفاده از توزیع ویشارت، تابع احتمال مقادیر ویژه ماتریس کوهرنسی و همچنین مقادیر ویژه ماتریس ها را تخمین می‌زنیم.

### ۶-۱- شبه کره دی الکتریک

برای محاسبه بی نظمی،  $H$ ، و مکانیزم پراکندگی،  $\alpha$ ، یک جسم متعارف مانند ذره دی الکتریک شبه کره<sup>۱۴</sup> مطابق شکل (۴) ابتدا ماتریس پراکندگی آن را به دست می‌آوریم. برای این کار با استفاده از تئوری پراکندگی موج و تقریب رایلی گانز<sup>۱۵</sup> موج انعکاسی میدان دور ذره دی الکتریک شبه کره با دی الکتریک  $\epsilon_r$  و حجم  $V$  با رابطه زیر به دست می‌آید [۱۲]:

$$\vec{E}^s = \frac{k_0^2}{4\pi} \left( \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} \right) 3V [\vec{E}^i - \hat{r}(\hat{r} \cdot \vec{E}^i)] \quad (۲۴)$$



شکل (۴): قطره دی الکتریک شبه کره برای مدل سازی هدف متعارف راداری برای محاسبه مکانیزم پراکندگی و بی نظمی

این میدان بر حسب بردار پلاریزاسیون برابر است با:

$$\vec{E}^s = \frac{k_0^2}{4\pi\epsilon_0} [\vec{P} - \vec{k}_s (\vec{k}_s \cdot \vec{P})] \quad (۲۵)$$

که  $\vec{P} = \overline{\alpha} \cdot \vec{E}^i(o)$  بردار پلاریزاسیون دی الکتریک و  $\vec{E}^i(o)$  میدان تابشی در مبدأ دستگاه مختصات است. اگر  $\overline{\alpha} = V\epsilon_0(\epsilon_r - 1)\overline{\Lambda}$  را قابلیت پلاریزه شونده جسم دی الکتریک تعریف کنیم خواهیم داشت:

$$\vec{P} = V\epsilon_0(\epsilon_r - 1)\overline{\Lambda} \cdot \vec{E}^i \quad (۲۶)$$

در نتیجه ماتریس پراکندگی بصورت زیر در می‌آید [۱۲]:

$$\vec{E}^s = \frac{k_0^2}{4\pi\epsilon_0} \left[ \overline{\alpha} \cdot \vec{E}^i(o) - \vec{k}_s (\vec{k}_s \cdot [\overline{\alpha} \cdot \vec{E}^i(o)]) \right] \quad (۲۷)$$

با قرار دادن  $E_v^i = 0$  و  $E_h^i = 1$  اولین درایه ماتریس پراکندگی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$(S_{hh})_{FSA} = \hat{h}_s \cdot \vec{E}^s = \quad (۲۸)$$

$$\frac{k_0^2}{4\pi\epsilon_0} [\alpha \hat{h}_s \cdot \hat{h}_i + (\alpha_z - \alpha)(\hat{h}_s \cdot \hat{z})(\hat{h}_i \cdot \hat{z})]$$

به همین روش، سه درایه دیگر ماتریس قابل استخراج است.

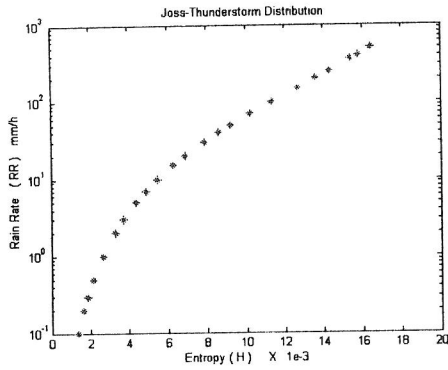
در این صورت، ماتریس پراکندگی به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$[S]_{BSA}(\theta_i = 90) = \frac{k_0^2}{4\pi\epsilon_0} \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \alpha_z \end{bmatrix} \quad (۲۹)$$

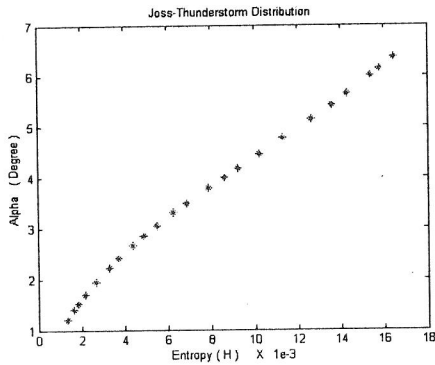
مطابق با روابط حاکم بر رادارهای پلاریزتری با داشتن ماتریس پراکندگی و با میانگین‌گیری روی مقادیر ماتریس کوواریانس خواهیم داشت [۱۲]:

$$\langle C_{ij} \rangle = \int C_{ij} \cdot C_{ij}^* \cdot N(D) dD \quad (۳۰)$$

در شکل (۵) مکانیزم پراکندگی و بی‌نظمی بر حسب نرخ ریزش باران برای قطرات شبه کره و برای توزیع احتمال مارشال/پالمر نشان داده شده است. همان گونه که می‌بینیم مقدار زاویه پراکندگی حدود ۱۰ درجه و مقدار بی‌نظمی آن حدود صفر است. در شکل (۶) مکانیزم پراکندگی در صفحه  $H/\alpha$  نشان می‌دهد که هدف در ناحیه اول قرار گرفته است. همان مکانیزم برای توزیع احتمال جوس/تندرسون در شکل (۷) و (۸) نشان داده شده است. در شکل (۹) مقایسه‌ای بین این دو روش صورت گرفته که مؤید نتایج تئوری تجزیه هدف برای پراکندگی اجسام متعارف راداری و پراکندگی سطحی است.



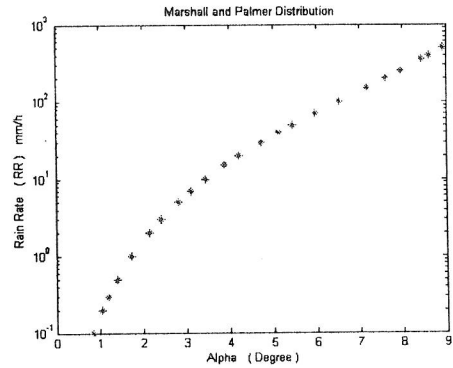
شکل (۷): تقریب جوس/تندرسون برای پراکندگی و بی نظمی



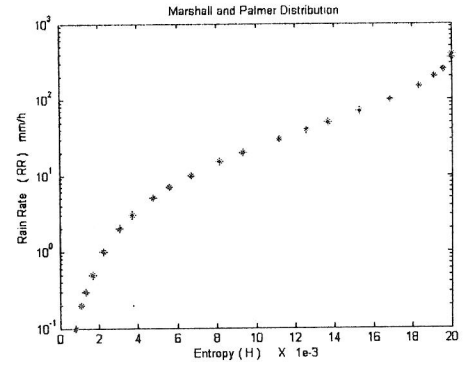
شکل (۸): تقریب جوس/تندرسون برای پراکندگی و بی نظمی و موقعیت هدف در صفحه  $H/\alpha$

### ۶-۲- شبه کره دی الکتریک با توزیع تصادفی گاما

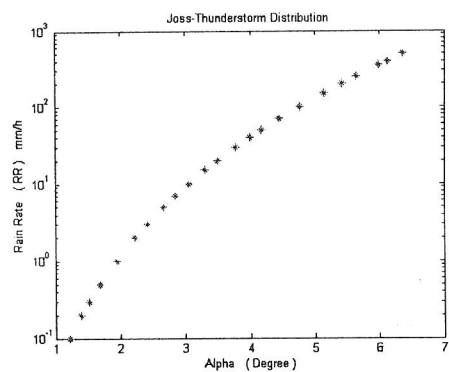
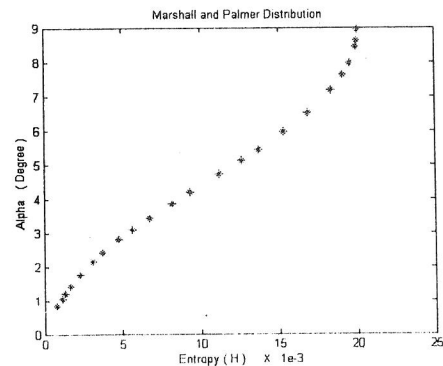
برای قطرات شبه کره کروی با توزیع تصافی قطر قطره، ابتدا مقادیر ویژه ماتریس کوهرنسی و یا کوواریانس را به دست می‌آوریم و مشابه بخش قبل با استفاده از این روش مقادیر مربوط به زاویه مکانیزم پراکندگی و مقدار بی‌نظمی را استخراج و با تکنیک تجزیه  $H/\alpha$  مشخصات هدف را پیدا می‌کنیم. در شکل (۱۰) مکانیزم پراکندگی برای قطرات باران با توزیع گاما نشان داده شده است. برای مقایسه نتایج شبیه سازی با داده‌ای واقعی از داده‌های سازمان فضایی آلمان استفاده کردیم. در شکل (۱۱) مکانیزم پراکندگی و بی‌نظمی برای محیط شهری و در شکل (۱۲) بی‌نظمی برای قطرات باران بر حسب ارتفاع نمایش داده شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که مقدار زاویه مکانیزم پراکندگی برای سطوح ناصاف حدوداً برابر ۱۰ درجه است که کاملاً با داده‌های شبیه سازی شده مطابق است. برای کمیت بی‌نظمی نیز این مقدار حدود صفر است.

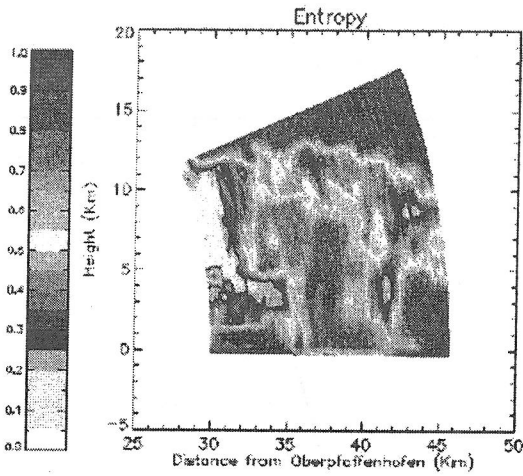


شکل (۵): تقریب مارشال/پالمیر برای پراکندگی و بی نظمی



شکل (۶): تقریب مارشال/پالمیر برای پراکندگی و بی نظمی و موقعیت هدف در صفحه  $H/\alpha$





شکل (۱۲): نتایج حاصل از داده های سازمان فضایی آلمان برای تعیین بی نظمی قطرات باران بر حسب ارتفاع و مقایسه آن با نتایج شبیه سازی شده

### ۶-۳- سطوح ناصاف دی الکتریک با توزیع گوسی

با فرض مدل آماری سطح ناصاف دی الکتریک با توزیع گوسی با واریانس  $\sigma_s$  که در شکل (۱۳) دیده می شود، مکانیزم پراکندگی را استخراج می کنیم [۱۱]. همان گونه که قبلا اشاره شد در یک سیستم رادار پلاریمتری چند بعدی به  $m$  ماتریس  $2 \times 2$  پراکندگی  $S_i$  برای  $i = 1, 2, \dots, m$  نیاز داریم که بردار هدف آن به صورت زیر نوشته می شود:

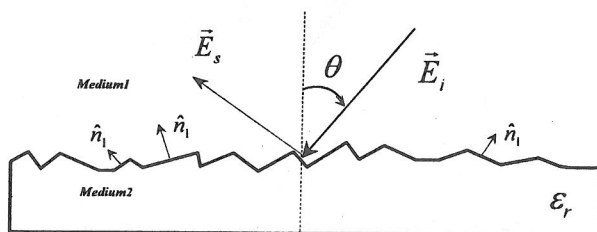
$$k = [S_1, S_2, S_3, \dots, S_m]^T \quad (31)$$

بنابراین، تخمین ماتریس  $C$  برابر است با:

$$Z_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i k_i^H \quad (32)$$

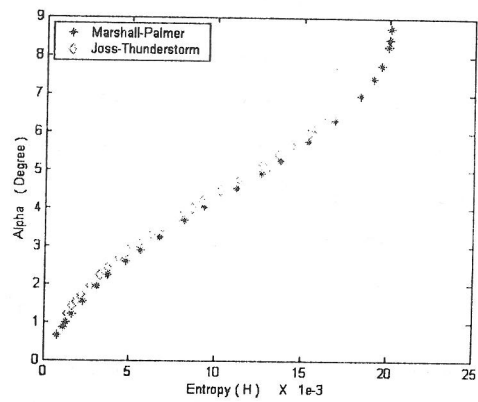
ماتریس  $Z_n$  تخمین احتمال ماکزیم ماتریس  $C$  است که توصیف آماری آن توسط توزیع ویشارت به صورت زیر تعریف می شود [۱۰]:

$$p_{z_n}(z_n) = \frac{n^{mn} |Z_n|^{n-m}}{|C|^n \tilde{\Gamma}_m(n)} \text{etr}(-nC^{-1}Z_n) \quad (33)$$

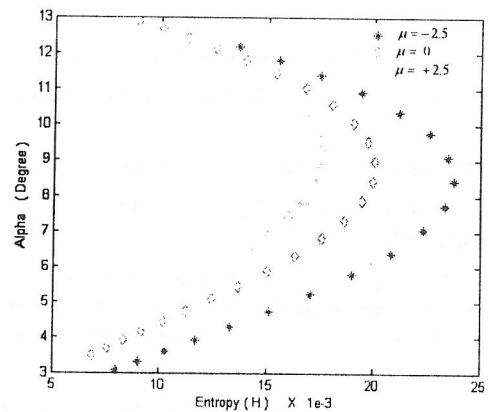


شکل (۱۳): مدل سطح ناصاف دی الکتریک

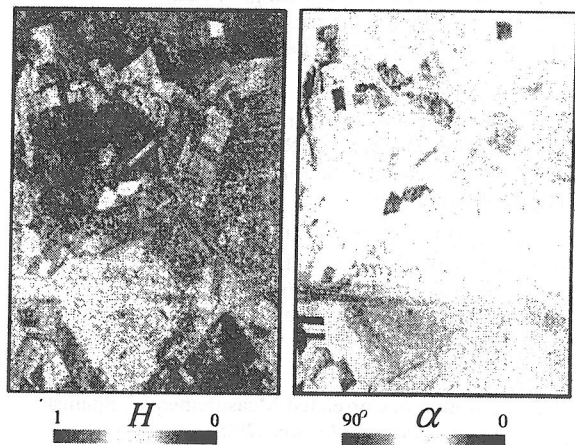
نتایج حاصل از تخمین مقادیر ویژه در شکل های (۱۴) تا (۱۶) نشان داده شده است. در این کار برای این که نتایج حدی مقادیر ویژه را برای تعداد مشاهدات بیشتر نشان دهیم، بازه



شکل (۹): مقایسه زاویه مکانیزم پراکندگی و بی نظمی در تقریبهای مارشال/پالمر و جوس/تندرسون



شکل (۱۰): نتایج حاصل از توضیح گاما به ازای پارامتر  $\mu$  برای تعیین زاویه مکانیزم پراکندگی و بی نظمی



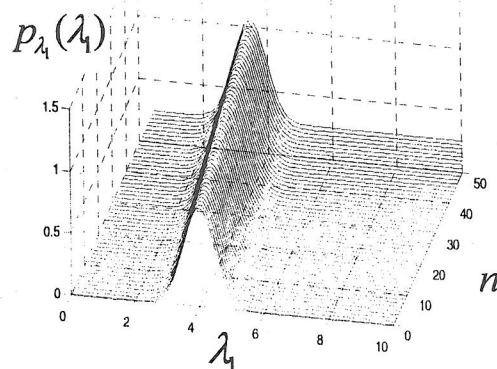
شکل (۱۱): نتایج حاصل از داده های سازمان فضایی آلمان برای تعیین زاویه مکانیزم پراکندگی و بی نظمی

احتمال مربوط به مکانیزم پراکندگی و بی‌نظمی را که بیان کننده مقدار دیپلاریزاسیون موج انعکاسی است، به دست آوردیم. این نتایج نشان می‌دهد مقادیر حدی زاویه پارامتر پراکندگی برای اهداف متعارف و سطوح ناصاف نزدیک ده درجه است و پارامتر بی‌نظمی نزدیک صفر می‌باشد. این نتایج مؤید موقعیت آنها در صفحه هدف بر مبنای تئوری تجزیه هدف است.

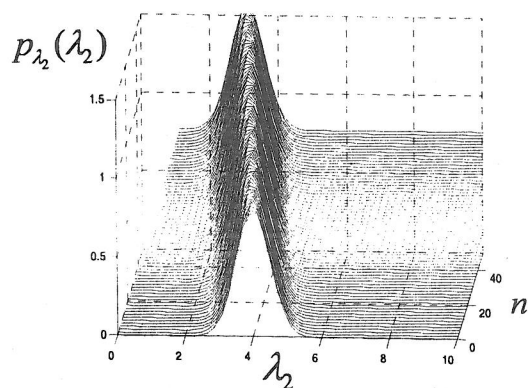
## ۸- مراجع

- [۱] V. Chandrasekhar and V. N. Bringi, 'Polarimetric Doppler weather radar.' Cambridge University press 2001.
- [۲] F. T. Ulaby, R. K. Moore and A. K. Fung, 'Microwave Remote Sensing Volume I', Addison-Wesley, Reading, MA, 1981.
- [۳] F. T. Ulaby, R. K. Moore and A. K. Fung, 'Microwave Remote Sensing Volume II', Addison-Wesley, Reading, MA, 1982.
- [۴] J. R. Huynen, 'Phenomenological theory of radar targets', PhD dissertation, Technical Univ. Delft, the Nederland, 1970.
- [۵] J. Yang, Y. Peng, Y. Yamaguchi and H. Yamada, "On Hymen's Decomposition of a Kennaugh Matrix." *IEEE Geosci. And Remote Sens. Letters*, Vol. 3, No. 3, July 2006.
- [۶] E. Krogager, "A new decomposition of the radar target scattering matrix," *IEE Electron. Lett.*, Vol. 26 No. 18, pp 1525-1526, 1990.
- [۷] W. L. Cameron and L. K. Leung, "Feature motivated polarization scattering matrix decomposition," in *Proc. IEEE Int. Radar Conf., Arlington, VA*, pp. 549-557, May7-10, 1990.
- [۸] S. R. Cloude and E. Pottier, "A Review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 34 No. 2, pp 498-518, March 1996.
- [۹] M. Galletti, M. Chandra, E. Pottier and A. Ghorbani, "Application of the Cloude/Pottier decomposition to weather radar signatures," *Advances in Radio Science, Copernicus GmbH* Vol. 3, pp 413-420, Copernicus GmbH 2005.
- [۱۰] C. Lopez. Martinez and E. Pottier, "Speckle Noise Characterization in Correlated Measurements," *Spanish Education and Science Ministry*, 2005.
- [۱۱] C. Lopez. Martinez, E. Pottier, "Statistical Assessment of Eigenvector-Based Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry," *IEEE Trans. On Geos. And Remote Sensing*, 2004
- [۱۲] C. L. Martinez, E. Pottier, "Statistical Assessment of Eigenvector-Based Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry," *IEEE Trans. On Geos. And Remote Sensing*, Vol. 43 No. 9, Sep. 2005

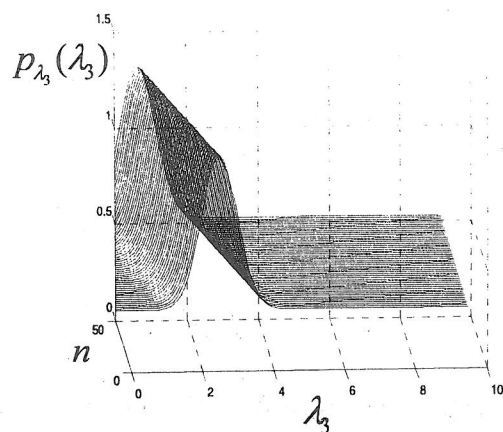
تغییرات را برای  $n$  از صفر تا ۵۰ در نظر می‌گیریم و نتایج شبیه سازی را برای مقادیر ویژه  $\lambda_1$  ها تکرار می‌کنیم. این نتایج نشان می‌دهد که بعد از چند بار تکرار مقادیر تخمینی به مقادیر واقعی همگرا می‌شوند.



شکل (۱۴): تابع احتمال مقدار  $\lambda_1$  را برای  $n$  مشاهده



شکل (۱۵): تابع احتمال مقدار  $\lambda_2$  را برای  $n$  مشاهده



شکل (۱۶): تابع احتمال مقدار  $\lambda_3$  را برای  $n$  مشاهده

## ۷- نتیجه

در این مقاله، تکنیک تجزیه هدف در رادارهای پلاریمتری را بررسی کردیم و برای قطرات شبه کرووی با توزیع‌های مختلف



- 1 Speckle Noise
- 2 Huynen Decomposition
- 3 Model-Based Freeman Decomposition
- 4 Eigenvector based Decomposition
- 5 Target Classification
- 6 Point Targets
- 7 Distributed Target
- 8 Maximum Likelihood Estimator (MLE)
- 9 Sample Covariance
- 10 Wishart Distribution
- 11 Marshall and Palmer Distribution(MPD)
- 12 Joss-Thunderstorm Distribution(JTD)
- 13 Gamma Distribution
- 14 Spheroid
- 15 Rayleigh-Gans approximation