

بهبود مدل سازی کلاتر دریا و آشکارسازی هدف توسط تابع Tsallis

^۱وحید طباطبائی، ^۲محمد واحدی

^۱دانشکده برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران - نارمک

Mohammad.Vahedi@ee.iust.ac.ir , vakily@iust.ac.ir

چکیده: کلاتر دریا بازگشت‌های راداری سطحی از دریاست که توسط یک رادار پالسی آشکار شده و یکی از بخش‌های پیچیده در مدل سازی کلاتر رادار است. تاکنون تلاش‌های زیادی برای برازش دامنه کلاتر دریا به توزیع‌های آماری مختلف صورت پذیرفته ولی حالت غیرایستاد کلاتر دریا باعث می‌شود تا برازش داده‌های کلاتر به توزیع به‌طور کامل انجام نشده و پارامترهای توزیع‌ها به‌صورت تخمینی به دست آید که این مقوله عمل آشکارسازی هدف را از میان کلاتر دشوار می‌سازد. توزیع Tsallis یکی از توزیع‌هایی است که در دهه اخیر برای مدل سازی کلاتر دریا پیشنهاد شده است. این توزیع از آنتروپی Tsallis که تعمیم یافته آنتروپی شانون است، به دست می‌آید. با بررسی شبیه‌سازی‌های انجام شده، دو نقطه ضعف دیده شد، اولاً به دلیل استفاده از گام کوچک در تخمین پارامترها، زمان مدل سازی زیاد است و ثانیاً به دلیل استفاده از دنباله کوتاه شده داده‌های کلاتر، دقت آشکارسازی هدف پایین است. در این مقاله با در نظر گرفتن گام بزرگتر، سرعت تخمین پارامترها افزایش و با وارد کردن تمامی نمونه‌ها در شبیه‌سازی و کاهش خطا، دقت و اطمینان پذیری آشکارسازی هدف بهبود یافته است.

کلمات کلیدی: تابع توزیع Tsallis، خطای رادار، کلاتر دریا، آشکارسازی هدف توسط رادار.

Improvement of Sea Klatter Modeling and Target detection by Using Tsallis distribution Function

Vahid TabaTabavakili¹; Mohammad Vahedi²

Abstract: Sea Klatter is the rader reflection from water surface which can be detected by pulsating rader and it is a very complex part of radar klatter modeling. Many approaches for fitting sean klatter amplitude with statistical distribution functions have been done, but sea klatter nonstainary characteristics makes it here impossible to complete fitting with distribution funcrions. So, The parameters of distribution function to be estimated and hence target detection from sea klatter is more complicated. In The recent years, The Tsallis distribution have been proposed for klatter simulation. This distribution function resulted from Tsallis entropy which is generalized form of shanen entropy. Two main short comes of the Tsallis simulation are: First, short step size parameters estimation and long time comsuming; second, low target detection accuareey. Main Contribution of this paper increasing of step size for parameters estimation and improving target detection accurecy with using full samples set.

Keywords: Rader Target Detection, Sea Klatter, Tsallis Distribution Fuction.

۱. مقدمه

۲. معرفی داده‌های کلاتر دریا

کلاتر دریا، بازگشت‌های راداری سطحی از دریاست که توسط یک رادار پالسی آشکار می‌شود. هدف از مدل‌سازی آماری کلاتر آن است که به الگوریتمی بهینه جهت آشکارسازی هدف از میان کلاتر راداری با کمترین خطا در آشکارسازی برسیم. کلاتر دریا در صورتی که زاویه خراش رادار کم باشد، به شدت غیرایستاد می‌گردد [۱] تاکنون پیشنهادها برای مدل‌سازی آماری کلاتر ارائه شده است از جمله مدل‌های: Weibull, Lognormal, K, Compound Gaussian, ... [۲] ولی تخمین پارامترهای این توابع دارای دنباله‌های محاسباتی طولی هستند و زمان محاسباتی زیادی به خود اختصاص می‌دهند و همچنین جهت تشخیص بین کلاتر دریا به همراه هدف و بدون هدف مناسب نیستند [۳], [۱]. محدودیت این توابع، به دلیل غیرایستاد بودن کلاتر دریا است. یکی از بهترین راه‌حلهایی که برای کاهش حالت غیرایستاد به ذهن می‌رسد، استفاده از تفاضل بین دامنه‌های کلاتر دریا است. در سال ۲۰۰۶ استفاده از تابع Tsallis برای مدل‌سازی دامنه‌های کلاتر دریا و آشکارسازی هدف از میان کلاتر توسط Hu و دستیارانش پیشنهاد گردید [۴]. این تابع بر اساس حداکثر آنتروپی Tsallis با شاخص q محاسبه می‌شود. آنتروپی Tsallis حالت تعمیم‌یافته‌ای از آنتروپی شانون است [۵]. هنگامی که q مساوی یک شود با آنتروپی شانون برابری می‌کند. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده، این تابع پیشنهادی بهتر از توزیع‌های قبلی می‌تواند کلاتر دریا را مدل کند. در مقاله ارائه شده توسط Hu و دستیارانش [۴] سرعت محاسبات بسیار پائین است و از حالت کوتاه شده داده‌ها در شبیه‌سازی استفاده گردیده و در مواردی که رادار (رادار یک پرده یا یک کشتی تندرو) به سطح دریا می‌نگرد، مشکل ساز خواهد بود و زمان و دقت کافی برای مدل‌سازی کلاتر و آشکارسازی هدف از میان کلاتر دریا را در اختیار نخواهد داشت [۶]. در مقاله حاضر تمامی نمونه‌ها در شبیه‌سازی استفاده شده‌اند و سرعت مدل‌سازی با در نظر گرفتن گام حرکتی بزرگتر و پذیرفتن خطای بیشتر ولی معقول افزایش پیدا کرده است. در بخش دوم داده‌های واقعی کلاتر دریا توصیف و میزان غیرایستاد بودن کلاتر دریا بر اساس اختلاف بین دامنه‌ها بررسی شده است. در بخش سوم به مدل‌سازی غیرایستاد و بسط-ناپذیر پرداخته شده و با نتایج مقاله [۴] مقایسه انجام شده و میزان بهینه بودن برازش آزمون می‌گردد. در بخش پایانی نیز به نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

داده‌های مذکور از ساحل شرقی کانادا توسط رادار با فرکانس مرکزی 9.39GHz، زاویه خراش پائین بین یک تا چند درجه، ارتفاع از سطح دریا حدود 0.8m تا 3.8m و سرعت باد بین 7-9 km/hr (ارسال و دریافت عمودی) و 9-60 با هر دو پلاریزاسیون HH (ارسال و دریافت افقی) و 7-9 (ارسال و دریافت عمودی) با نرخ نمونه‌برداری 1000Hz به دست آمده است. این داده‌ها در سایت دانشگاه McMaster قرار گرفته و توسط Prof. Haykin مدیریت شده است [۷]. هر اندازه‌گیری شامل ۱۴ قطعه- برد مکانی بوده و هر قطعه- برد دارای 2^{17} داده مختلط است. توسط برخی از قطعه- بردهای این رادار می‌توان سطحی با قطر ۱ متر را مشاهده کرد. هدف، با این ابعاد بسیار کوچک و آشکارسازی آن از میان کلاتر دریا مشکل است [۷]. در صورتی که از کنار به هدف به طور مثال کشتی بنگریم، دامنه بسیار قوی در بازگشت خواهیم داشت و به قطعه- برد آن، قطعه- برد اصلی گویند. در بررسی داده‌ها و برازش آنها توسط توزیع Tsallis، برخی دامنه‌ها را جهت تسریع محاسبات حذف کرده‌اند که ممکن است باعث حذف برخی اهداف کوچک شده و موجب افزایش خطا در نوبری دریایی و نظامی شود [۸]. در این مقاله تمامی داده‌های موجود در فایل CDF رادار IPIX در نظر گرفته شده است. شکل ۱ داده‌های اصلی و شکل ۲ داده‌هایی را که توسط [۴] مورد استفاده قرار گرفته است، نمایش می‌دهد.

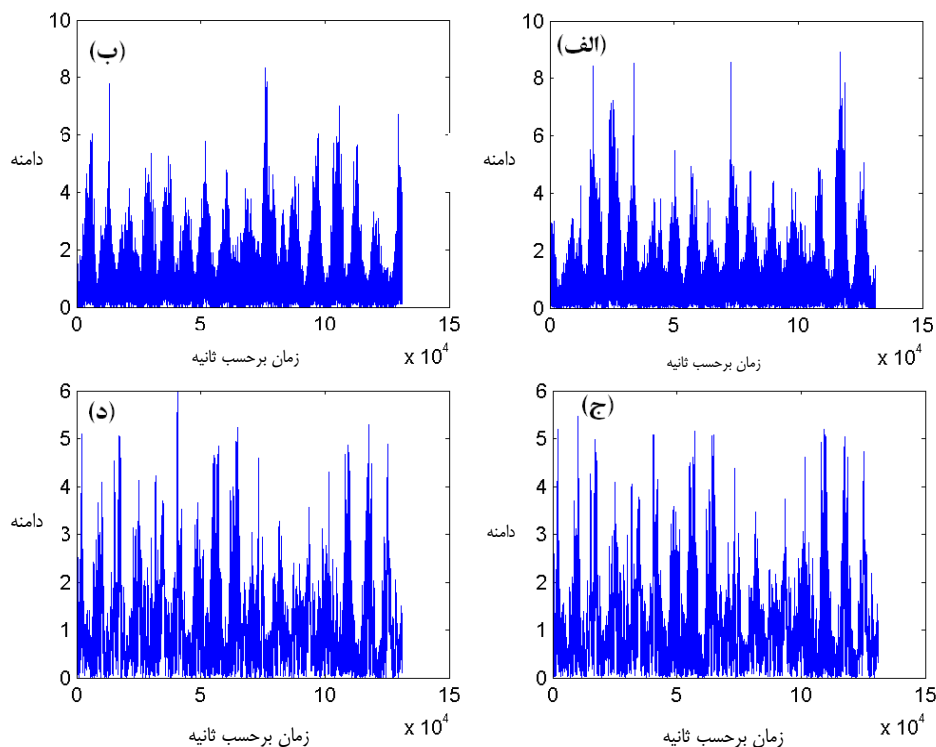
۳. مدل‌سازی غیرایستاد و بسط‌ناپذیر

نشان داده شده است که در بازه زمانی حدود ۰/۰۱ ثانیه تا چند ثانیه، کلاتر دریا دارای چگالی طیفی شبه قانون توان بوده و می‌توان در شرایط غیرایستاد، آن را دسته‌بندی کرد [۱۰], [۱۱]. در این بخش ابتدا داده‌های مورد نیاز محاسبات را از داده‌های IPIX به دست می‌آوریم، به طوری که $n=1,2,\dots$ ، $y(n)$ داده‌های اولیه و داده‌های تفاضلی $x(n)$ مورد استفاده در محاسبات به صورت زیر است:

$$x(n) = y(n) - y(n-1) \quad (1)$$

۳.۱. آنتروپی و توزیع Tsallis

آنتروپی Tsallis نوعی تعریف (به صورت کمیت اسکالر) برای آنتروپی اطلاعات H می‌باشد. همان‌طور که می‌دانیم برای n داده



شکل ۱. نمونه‌ای از داده‌های دامنه کلاتر دریا به کار رفته در محاسبات مقاله. الف: Rangebin 2، ب: Rangebin 12 بدون هدف، ج: Rangebin 8، د: Rangebin 9 همراه هدف

$$\bullet H_0^R = \log(m) \text{ آنتروپی یکنواخت است.}$$

• اگر $p_1 = p_2 = \dots = p_m = 1/m$ باشد، برای تمامی

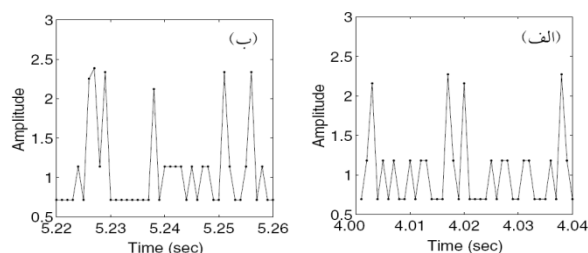
$$\text{مقادیر } q \text{ خواهیم داشت: } H_q^R = \log(m).$$

برای سرعت در محاسبات، Tsallis آن را به صورت زیر تعریف کرده است:

$$H_q^T = \frac{1 - \sum_{i=1}^m p_i^q}{q - 1}, \quad (q \in R) \quad (4)$$

در این رابطه $m \in N$ تعداد کل نمونه‌ها و q مقداری حقیقی به عنوان یک درجه آزادی است. آنتروپی Tsallis را اغلب به عنوان بسط آنتروپی اطلاعات معرفی می‌کنند. به وسیله آنتروپی Tsallis، آنتروپی یک سیستم ترکیب شده از دو زیرسیستم کمتر از جمع آنتروپی هر دو زیرسیستم به صورت جداگانه است، مشروط بر آن که q برابر یک نباشد. این خاصیت به دلیل بسط ناپذیری آنتروپی Tsallis می‌باشد. رابطه آنتروپی Tsallis را با آنتروپی Reyni می‌توان به صورت زیر نوشت [۵]:

$$H_q^R = \frac{\ln[1 + (1 - q)H_q^T]}{1 - q} \quad (5)$$



شکل ۲. داده‌های کوتاه شده کلاتر دریا به کار رفته در محاسبات [۴]. الف: کلاتر دریا بدون هدف، ب: کلاتر دریا همراه هدف

که هر کدام دارای احتمال p_i هستند، آنتروپی اطلاعات شانون به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (2)$$

واحد H بیت یا Nat است در صورتی که پایه لگاریتم به ترتیب ۲ یا e باشد. حال آنتروپی Reyni به صورت رابطه ۳ معرفی می‌شود:

$$H_q^R = \frac{1}{1 - q} \log\left(\sum_{i=1}^m p_i^q\right), \quad (q \in R) \quad (3)$$

که دارای خواص زیر است:

• اگر $q=1$ باشد، آنگاه H_1^R برابر آنتروپی شانون می‌شود.

است: انتخاب پارامتر q بین $1/1$ تا $2/4$ با گام حرکت $0/1$ (چون در تمامی محاسبات q بین $1/12$ تا $2/3$ به دست آمده است) و برای هر مقدار q ، مقدار β محاسبه می گردد.

در مقاله [۴] مقدار q بین 1 تا 3 با گام $0/1$ در نظر گرفته شده و ضریب بهنجار Z_q با توجه به بهنجار بودن تابع چگالی احتمال محاسبه و از روش Nelder-Meade [۱۱] جهت تخمین Z_q استفاده شده است. تمامی مقادیر (β, q, Z_q) بر اساس کمیته سازی اختلاف بین مقادیر تفاضلی داده ها و 'pdf' محاسبه شده، به صورت بهینه به دست می آیند. جهت محاسبه مقدار بهینه از آزمون Kolmogorov-Simirnov استفاده شده است [۱۲] همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود، در برازش انجام شده توسط تابع Tsallis با پارامترهای به دست آمده به خوبی داده های کلاتر دنبال می شود [۴] که این مستلزم زمان محاسباتی زیادی است. در مقاله حاضر با در نظر گرفتن حدهای کمتر برای (β, q) و گام بزرگتر برای پارامترها جهت همگرایی به داده ها، با توجه به شکل ۴ و به دلیل کاهش تعداد تکرار، سرعت محاسبات برای مدل سازی کلاتر دریا، افزایش داده شده است. در برازش قبلی از حالت کوتاه شده داده های تفاضلی کلاتر استفاده شده است، در حالی که در برازش انجام شده در این مقاله تمامی داده های تفاضلی در محاسبات وارد شده اند. تمامی پارامترهای محاسبه شده در شکل ۳ و ۴ بر اساس نزدیک ترین فاصله با توجه به معیار K-S- تابع توزیع تا داده های تفاضلی و به صورت عددی به دست آمده اند. به طور مثال به ازای هر (β, q) تابع Tsallis به دست آمده و فاصله آن را تا هیستوگرام داده ها محاسبه و سپس (β, q) کمترین فاصله گزارش می شود.

۳.۳. بررسی میزان بهینه بودن برازش (پارامترهای توزیع)

در مقاله حاضر جهت تسریع در انجام محاسبات، آزمون های دیگری مانند: آزمون Shapiro-Wilk [۱۳] و معیار Cramer-Von-Mises [۱۴] $W^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} [p(x) - p^*(x)]^2 dp(x)$ در نظر گرفته شد، ولی این آزمون ها به دلیل انتگرال گیری یا وجود توان در روابط از نظر بار محاسباتی بسیار سنگین تر از آزمون Kolmogorov-Simirnov بود، (جدول ۱) لذا آزمون (S-K) که در پائین به آن اشاره خواهد شد، انتخاب گردید [۱۲]. روش آزمون (K-S) بر اساس بیشینه انحراف تابع از هیستوگرام داده های اولیه عمل می کند. این آزمون به وسیله مقایسه بین تابع توزیع تجمعی فرضی $F_n(x)$

$$\lim_{q \rightarrow 1} H_q^R = \lim_{q \rightarrow 1} H_q^T = - \sum_{i=1}^m p_i \ln(p_i) \quad (6)$$

برای بررسی میزان غیرایستاد بودن و پراکنندگی در زمان داده ها از آنتروپی Tsallis استفاده می کنیم. تابع Tsallis بر اساس بیشینه سازی آنتروپی داده های مکانی Tsallis و با فرض:

$$\sigma^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x^2 [p(x)]^q dx}{\int_{-\infty}^{\infty} [p(x)]^q dx} \quad (7)$$

به دست می آید. در این رابطه q همان درجه آزادی در آنتروپی Tsallis است که با توجه به حداکثر آنتروپی تعیین می گردد. σ^2 گشتاور دوم داده ها می باشد و می توان آن را از تساوی زیر به دست آورد:

$$\int_{-\infty}^{\infty} [x^2 - \sigma^2] [p(x)]^q dx = 0 \quad (8)$$

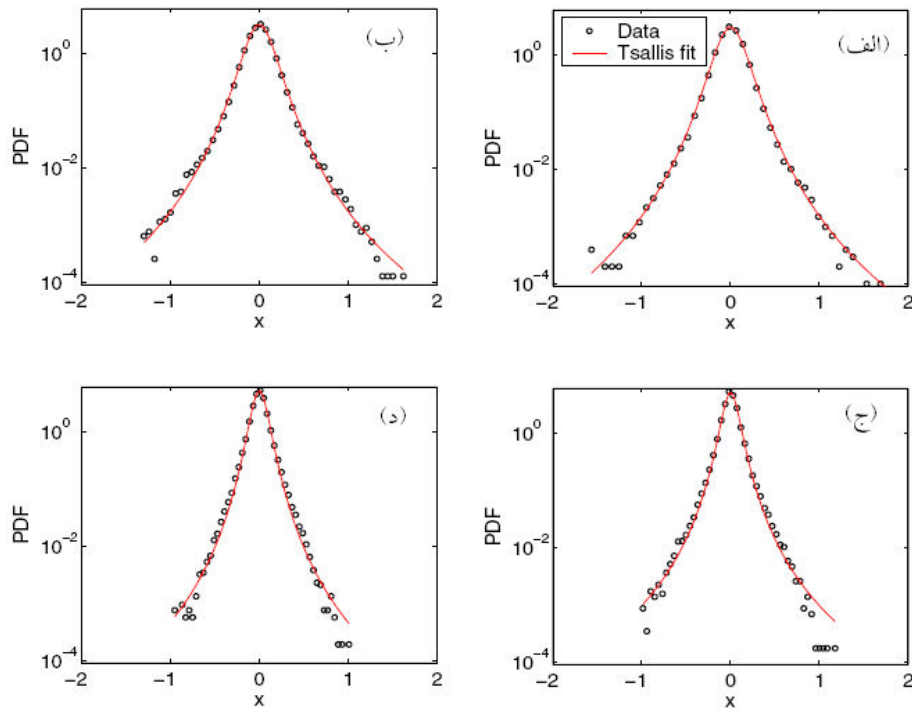
برای بیشینه سازی آنتروپی Tsallis از دو ضریب لاگرانژ استفاده می شود. لذا توزیع Tsallis به صورت زیر به دست می آید:

$$p(x) = \frac{1}{Z_q} [1 + \beta(q-1)x^2]^{1/(q-1)} \quad (9)$$

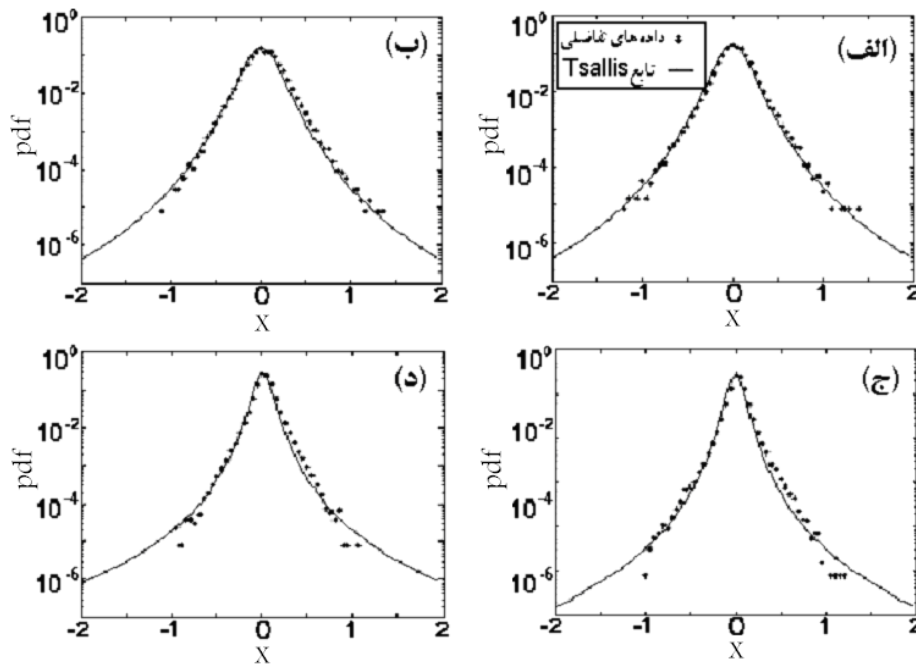
در آن Z_q ضریب بهنجار کننده توزیع و β گشتاور دوم توزیع است [۴]، [۵]. دلیل آن که بیشینه آنتروپی را در نظر می گیرند آن است که در حداکثر بی نظمی، توزیع را به دست آورند. p_i مبین احتمال تعداد وقوع یک دامنه خاص (کوآتیزه شده) در یک سری داده است و در صورتی که احتمال تمامی دامنه های موجود با هم برابر شود، نشانگر آن است که بی نظمی حداکثر گردیده است. لذا در این حالت آنتروپی حداکثر شده و در بدترین شرایط توزیع تعیین خواهد شد.

۳.۴. برازش داده های واقعی توسط توزیع Tsallis و مقایسه با برازش های انجام شده

روش اجرای برازش داده ها همانند روش انتخابی Hu و دستیارانش [۴] در نظر گرفته شده است. با این تفاوت که گام حرکت q به جای $0/1$ ، $0/01$ و کمترین فاصله تا داده های تفاضلی D_e به عنوان مرجع خطا در این مقاله انتخاب شده است. در مقاله Hu [۴] مقداری به عنوان فاصله مرجع در نظر گرفته شده که باعث افزایش خطا می گردد. همچنین برای تخمین ضریب بهنجار Z_q ، مجموع تابع انتخابی به کار رفته است. روش پیاده سازی بدین شرح



شکل ۳. نتایج برازش داده‌های تفاضلی یکی از اندازه‌گیری‌ها توسط تابع Tsallis (الف، ب) بدون هدف و (ج، د) به همراه هدف. پارامترهای تخمینی (β, q) به ترتیب (الف) $(1/34, 43/14)$ ، (ب) $(44/50, 1/30)$ و (ج) $(154/56, 1/53)$ ، (د) $(147/06, 1/51)$. نکته: مقدار D_e به ترتیب برابر (الف) 0.0039 ، (ب) 0.0056 ، (ج) 0.0059 ، (د) 0.0019 برای پلاریزاسیون ۷۷ از فایل داتلود شده شماره ۵۴ از سایت راداری IPIX (نمودارها در حالت Semi-Logarithm رسم شده‌اند) [۳]

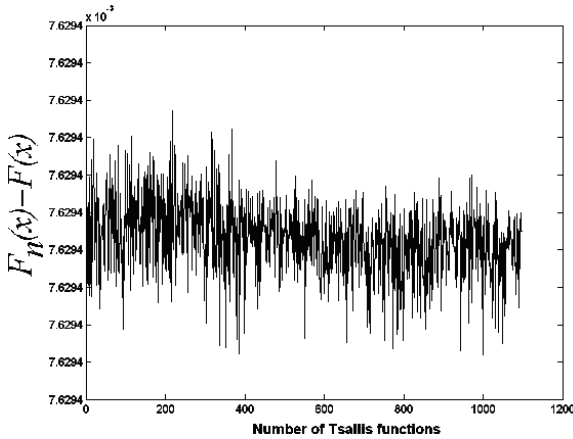


شکل ۴. نتایج برازش داده‌های تفاضلی استفاده شده در شکل ۳ بعد از اعمال محدودیت‌های ذکر شده جهت بهبود و افزایش سرعت برازش (الف، ب) بدون هدف و (ج، د) به همراه هدف. پارامترهای تخمینی (β, q) به ترتیب برابر (الف) $(40/01, 1/13)$ ، (ب) $(39/5, 1/35)$ ، (ج) $(140/3, 1/46)$ ، (د) $(140, 1/43)$ و مقادیر محاسبه شده برای D_e عبارتند از: (الف) 0.0021 ، (ب) 0.007 ، (ج) 0.003 ، (د) 0.005 در پلاریزاسیون ۷۷

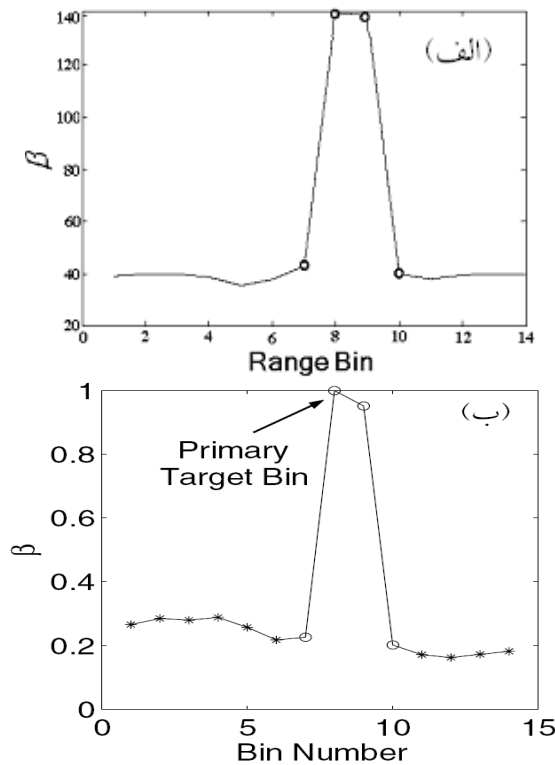
جدول ۱. میزان بار محاسباتی آزمون‌ها

آزمون	بار محاسباتی
Shapiro-Wilk	$(N \times N)^2 + (N \times N^2) = N^4 + N^3$
Cramer-Von-Mises	$N(N+N)^2 = 4N^3$
Kolmogorov-Smirnov	$N(N+N) = 2N^2$

هدف هستند مشاهده می‌شود. محاسباتی که در این مقاله انجام گرفته است با توجه به تغییرات q نشان می‌دهد که دریا در حالت نه خیلی منظم و نه خیلی نامنظم می‌باشد. برای حالت‌های نامنظم-تر آشکارسازی هدف توسط Tsallis مشکل‌تر می‌شود.



شکل ۵. اختلاف بین تابع Tsallis (با پارامترهای تخمینی) و نقاط تفاضلی برای Rangebin12 در فایل استفاده شده در شکل (۱)



شکل ۶. مقدار β با توجه به Range bin، مقادیر نشان داده شده با دایره توخالی مبین Range bin های شامل هدف. الف: نتایج محاسبات پیشنهادی این مقاله، ب: نتایج محاسبات مرجع [۴]

نمایانگر تابع توزیع n بار مشاهده y_i و $F(x)$ تابع توزیع تجمعی (CDF) Tsallis با پارامترهای مفروض، مقادیر بهینه را انتخاب می‌نماید:

$$D_e = \max (F_n(x) - F(x)) \quad (10)$$

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{y_i \leq x} \quad (11)$$

$$\delta_{y_i \leq x} = \begin{cases} 1 & \text{if } y_i \leq x \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

در برازش انجام شده قبلی [۴] فرض بهینه بودن بر اساس مقداری به عنوان مقدار بحرانی $(D_{crit})^2$ در نظر گرفته شده بود. وجود مقادیر کمتر از D_{crit} برای D_e ها محتمل است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، D_e به‌ازای مجموعه توابع Tsallis با پارامترهای مختلف دارای چندین مقدار کمینه است. در این مقاله ابتدا تمامی D_e ها به‌ازای تمامی توابع Tsallis ممکن محاسبه و سپس مقادیر کمینه جستجو می‌شود که باعث افزایش دقت محاسبات می‌گردد.

۳.۴. آشکارسازی هدف از میان کلاتر دریا

به‌طور کلی می‌توان گفت، اصلی‌ترین علت مدل سازی کلاتر (دریا) آشکارسازی اهداف مختلف از میان آن است. پردازش سیگنال‌های راداری سطح دریا کاربردهای مهمی دارد، از جمله:

- ۱- آشکارسازی کشتی‌ها، زیردریایی‌ها، موشک‌ها و هواپیماهای پائین پرواز.
- ۲- راهنمایی کشتی‌ها برای تشخیص لکه‌های نفتی، تکه‌های یخی و شناورهای کوچک.
- ۳- عملیات پلیسی برای حفظ محیط زیست.

با توجه به بررسی پارامترهای مختلف تابع توزیع Tsallis و میزان تغییرات آنها در مواقع وجود یا عدم وجود هدف، پارامتر β بیشترین تغییر را در هنگام وجود هدف در جهت صعودی داشت. با تغییراتی که در تخمین پارامترها انجام شده، سرعت تخمین β و در نتیجه سرعت آشکارسازی هدف نیز افزایش یافته است. در شکل ۶ میزان تغییرات β با توجه به قطعه-بردهایی که دارای هدف و/یا بدون

Andrew Publishing, 2002.

۴. نتیجه گیری

- [4] Hu J., Tung W.W., Gao J.B., "Modeling Sea Clutter as a Nonstationary and Nonextensive Random Process", *IEEE Conference on Radar*, 24-27 April 2006, pp. 412-416.
- [5] Tsallis C., Levy S.V.F., Souza A.M.C., Maynard R., "Statistical-Mechanical Foundation of the Ubiquity of Levy Distributions in Nature", *Phys. Rev. Lett.*, 1995, pp. 3589-3593.
- [6] Lacomme P., Hardange J.P., Marchais J.C., Normant E., *Air and Spaceborne Radar Systems*, William Andrew Publishing, 2001.
- [7] <http://soma.ece.mcmaster.ca/ipix/dartmouth/datasets.html>.
- [8] Tetley L., Calcutt D., *Electronic Navigation Systems*, 3rd Edition, Butterworth-Heinemann, 2001.
- [9] Davis A., Marshak A., Wiscombe W., Cahalan R., "Multifractal Characterizations of Nonstationary and Intermittency in Geophysical Fields: Observed, Retrieved, or Simulated", *Geophys. Res. Journal*, 1994, pp. 8055.
- [10] Davis A., Marshak A., Wiscombe W., Cahalan R., *Current Trends in Nonstationary Analysis*, World Scientific Journal, Singapore, 1996, pp. 97-158.
- [11] Antipov I., "Analysis of Sea Clutter Data", Research DSTO Report, Australia, 2004.
- [12] Siegel S., John Castellan Jr N., *Non-Parametric Statistics for the Behavioral Sciences*, Mc Graw-Hill, New York, 2nd Edition, 1988.
- [13] http://en.wikipedia.org/wiki/Shapiro-Wilk_test.
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/Cram%C3%A9ron-Mises_criterion.
- [15] Sharma R., "A Clutter Based Motion Estimation and Compensation Technique for a Nonstationary Radar Platform", *IEEE Conference on Radar*, 24-27 April 2006, pp. 4.

کلاتر دریا به دلیل بی‌نظمی و وابستگی آن به پارامترهای مختلف محیطی و همچنین غیرایستاد بودن دامنه آن، از نظر مدل‌سازی بسیار مورد توجه قرار دارد. جهت کاهش حالت غیرایستاد دامنه از اختلاف آن استفاده می‌کنیم و به وسیله آنالیز سری زمانی از دامنه‌های کلاتر دریا در شرایط جوی مختلف می‌توان آنرا به توزیع Tsallis به خوبی برازش داد. در این مقاله با در نظر گرفتن گام بزرگتر، به دلیل تعداد تکرار کمتر جهت همگرایی، سرعت تخمین پارامترها افزایش و با وارد کردن تمامی نمونه‌ها در شبیه‌سازی و کاهش خطا، دقت و اطمینان‌پذیری آشکارسازی هدف بهبود یافته است، این بهبود به دلیل آن است که تعداد نمونه‌های استفاده شده در [۴]، ۲۰ درصد داده‌های اصلی است ولی با در نظر گرفتن گام بزرگتر تعداد محاسبات ۱۰ درصد خواهد شد که در مجموع محاسبات کاهش خواهد یافت. از محاسن دیگری که برای توزیع Tsallis ذکر شد، آشکارسازی هدف بود که توسط یکی از پارامترهای آن می‌توان انجام داد. در مقاله حاضر با افزایش سرعت تخمین پارامترها، آشکارسازی اهداف از میان کلاتر دریا را نیز می‌توان سریع‌تر انجام داد. به هر ترتیب توزیع Tsallis برازش بهتری نسبت به توزیع‌های قبلی برای داده‌های دامنه کلاتر دریا دارد و جایگزین مناسبی برای توزیع‌های قبلی می‌باشد.

منابع

- [1] Long M.W., *Radar Reflectivity of Land and Sea*, 3rd Edition, Artech House, 2001.
- [2] Dong Y., "Clutter Spatial Distribution and New Approaches of Parameter Estimation for Weibull, and K Distributions", Research DSTO Report, Australia, 2004.
- [3] Billingsley J.B., *Low Angle Land Clutter Measurements and Empirical Models*, William