

بهبود مدل سازی کلاتر دریا و آشکارسازی هدف توسط تابع Tsallis

وحدید طباطبائی، محمد واحدی

^۱ دانشکده 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 غیرایستادن 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

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 بسط‌ناپذیر 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.

۲. معرفی داده‌های کلاتر دریا

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 km/hr 60-90 با هر دو پلاریزاسیون HH (ارسال و دریافت افقی) و VV (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.

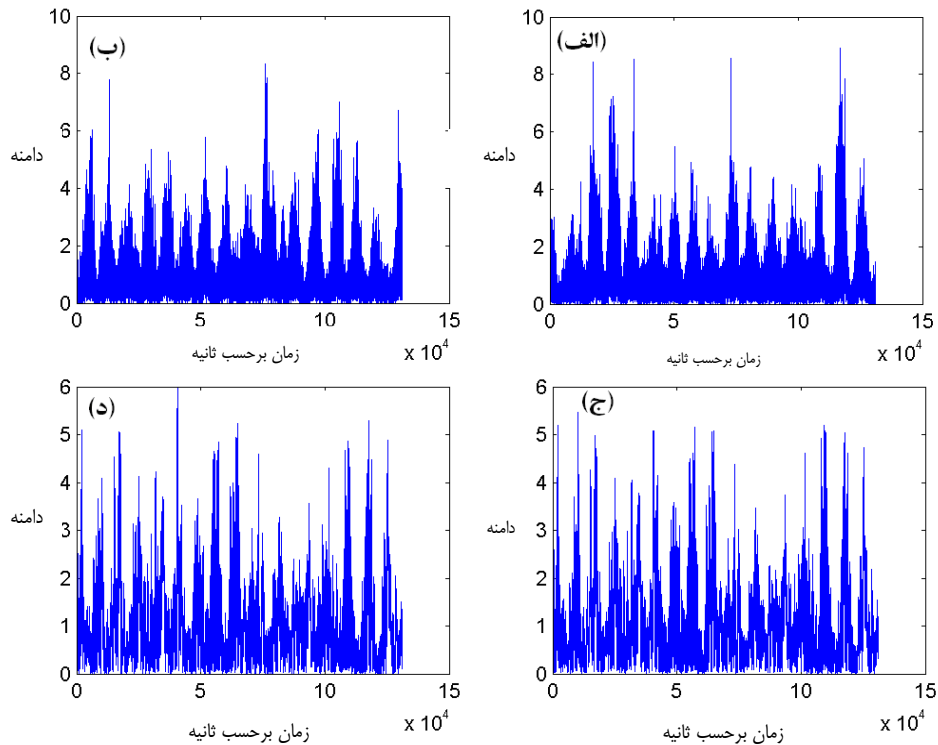
۳. مدل‌سازی غیرایستاد و بسط‌ناپذیر

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: Rangebin2، ب: Rangebin12 بدون هدف، ج: Rangebin8، د: Rangebin9 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

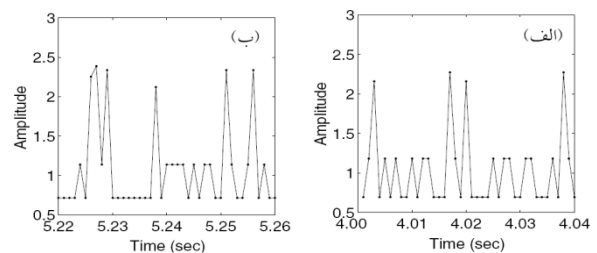
$$H_q^R = \log(m) \text{ مقادیر } q \text{ خواهیم داشت:}$$

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 می‌گردد.

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 کمینه‌سازی اختلاف بین مقادیر تفاضلی داده‌ها و pdf محاسبه شده، به صورت بهینه به دست می‌آیند. جهت محاسبه مقدار بهینه از آزمون Kolmogorov-Smirnov استفاده شده است [۱۲] همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در برازش انجام شده توسط تابع Tsallis با پارامترهای به دست آمده به خوبی داده‌های کلاتر دنبال می‌شود [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 داده‌ها، با توجه به شکل ۴ و به دلیل کاهش تعداد تکرار، سرعت محاسبات برای مدل‌سازی کلاتر دریا، افزایش داده شده است. در برازش قبلی از حالت کوتاه‌شده داده‌های تفاضلی کلاتر استفاده شده است، در حالی که در برازش انجام شده در این مقاله تمامی داده‌های تفاضلی در محاسبات وارد شده‌اند. تمامی پارامترهای محاسبه شده در شکل ۳ و ۴ بر اساس نزدیک‌ترین فاصله با توجه به معیار K-S تابع توزیع تا داده‌های تفاضلی و به صورت عددی به دست آمده‌اند. به طور مثال به ازای هر (β, q) تابع Tsallis به دست آمده و فاصله آن را تا هیستوگرام داده‌ها محاسبه و سپس (β, q) کمترین فاصله گزارش می‌شود.

۳.۳. بررسی میزان بهینه بودن برازش (پارامترهای توزیع)

در مقاله حاضر جهت تسریع در انجام محاسبات، آزمون‌های 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 آزمون‌ها به دلیل انتگرال‌گیری یا وجود توان در روابط از نظر بار محاسباتی بسیار سنگین‌تر از آزمون Kolmogorov-Smirnov 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 داده‌های اولیه عمل می‌کند. 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 پراکندگی در زمان داده‌ها از آنتروپی Tsallis استفاده می‌کنیم. تابع Tsallis بر اساس بیشینه‌سازی آنتروپی داده‌های 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 می‌آید. در این رابطه q همان درجه آزادی در آنتروپی Tsallis است که با توجه به حداکثر آنتروپی تعیین می‌گردد. σ^2 گشتاور دوم داده‌ها می‌باشد و می‌توان آن را از تساوی زیر به دست آورد:

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

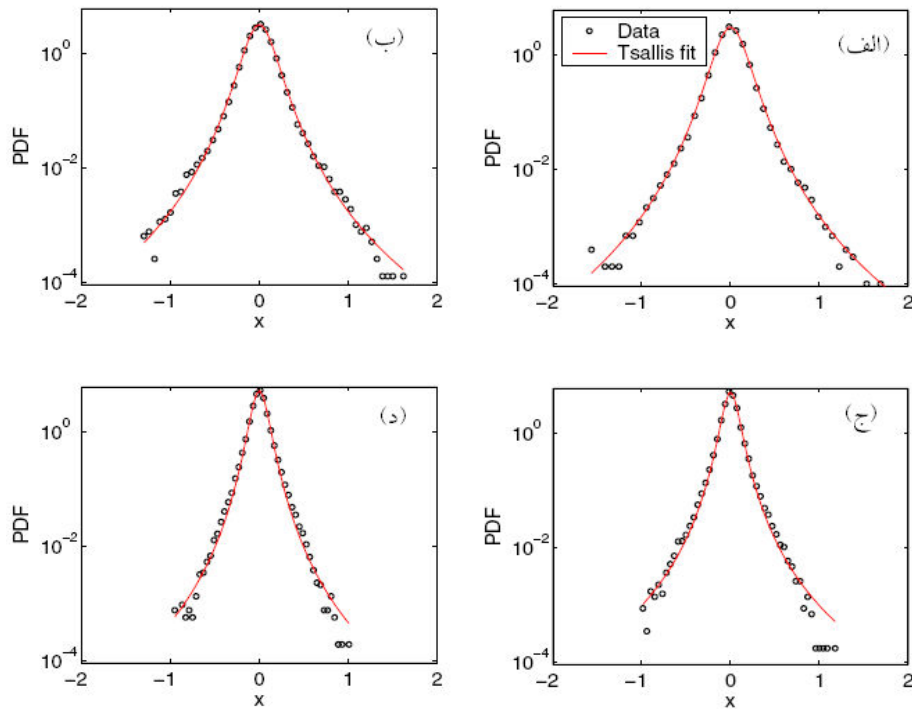
برای بیشینه‌سازی آنتروپی Tsallis از دو ضریب لاگرانژ استفاده می‌شود. لذا توزیع Tsallis به صورت زیر به دست می‌آید:

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

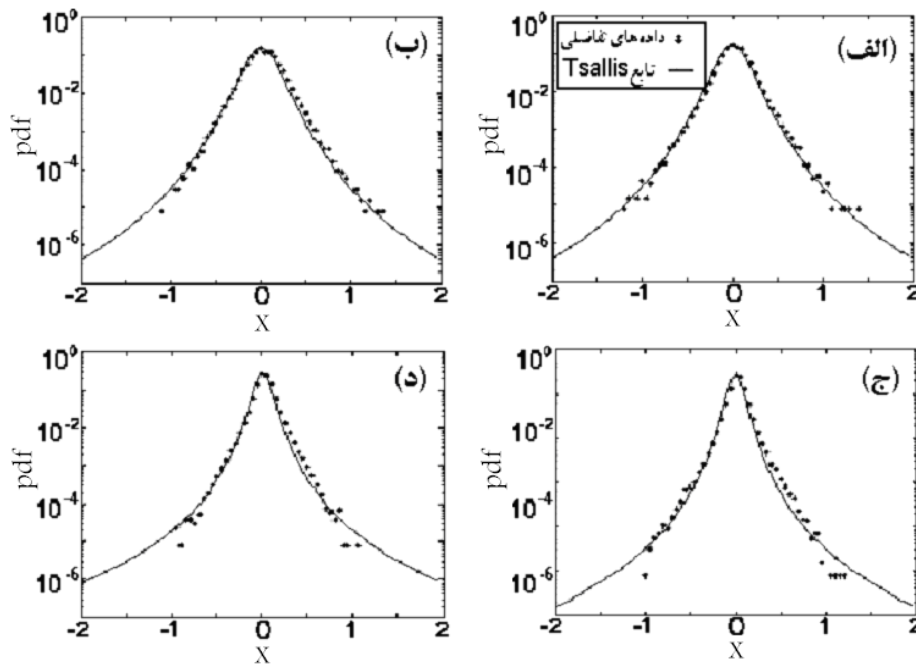
در آن Z_q ضریب بهنجارکننده توزیع و β گشتاور دوم توزیع است [۴]، [۵]. دلیل آن که بیشینه آنتروپی را در نظر می‌گیرند آن است که در حداکثر بی‌نظمی، توزیع را به دست آورند. p_i مبین احتمال تعداد وقوع یک دامنه خاص (کوآتیزه شده) در یک سری داده است و در صورتی که احتمال تمامی دامنه‌های موجود با هم برابر شود، نشانگر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

۳.۴. برازش داده‌های واقعی توسط توزیع Tsallis و مقایسه با برازش‌های انجام شده

روش اجرای برازش داده‌ها 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 داده‌های 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 می‌گردد. همچنین برای تخمین ضریب بهنجار Z_q ، مجموع تابع انتخابی به کار رفته است. روش پیاده‌سازی بدین شرح

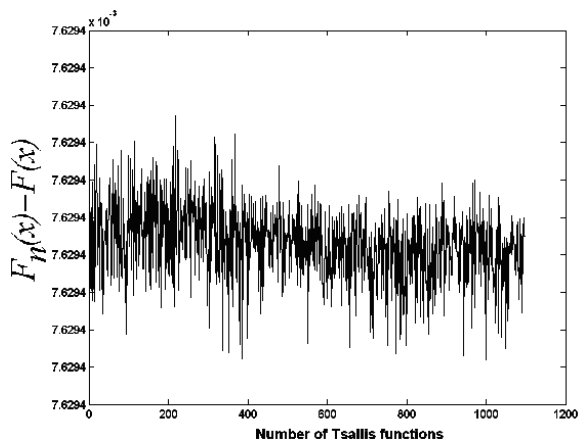


شکل ۳. نتایج برازش داده‌های تفاضلی یکی از اندازه‌گیری‌ها توسط تابع Tsallis (الف، ب) بدون هدف و (ج، د) به همراه هدف. پارامترهای تخمینی (β, q) به ترتیب (الف) (۱/۳۴ و ۴۳/۱۴)، (ب) (۱/۳۰ و ۴۴/۵۰)، (ج) (۱/۵۳ و ۱۵۴/۵۶) و (د) (۱/۵۱ و ۱۴۷/۰۶). نکته: مقدار D_e به ترتیب برابر (الف) ۰/۰۰۳۹، (ب) ۰/۰۰۵۶، (ج) ۰/۰۰۵۹، (د) ۰/۰۰۱۹ برای پلاریزاسیون ۷۷ از فایل داتلود شده شماره ۵۴ از سایت راداری IPIX (نمودارها در حالت Semi-Logarithm رسم شده‌اند) [۳]

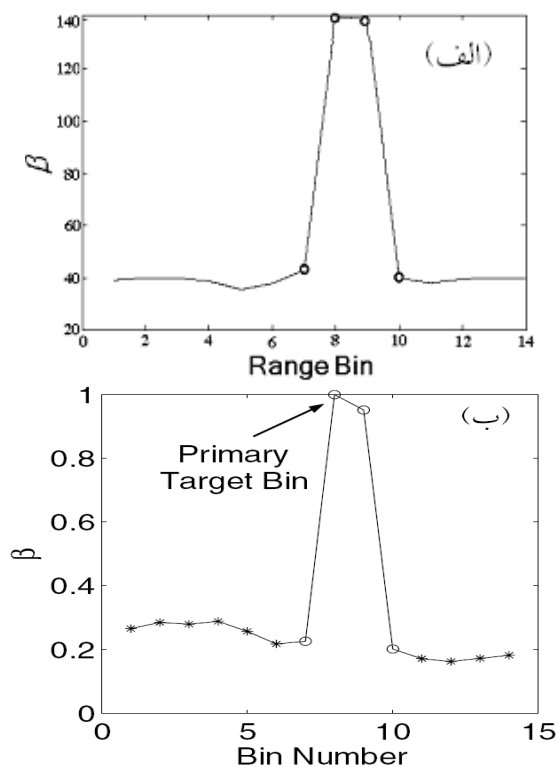


شکل ۴. نتایج برازش داده‌های تفاضلی استفاده شده در شکل ۳ بعد از اعمال محدودیت‌های ذکر شده جهت بهبود و افزایش سرعت برازش (الف، ب) بدون هدف و (ج، د) به همراه هدف. پارامترهای تخمینی (β, q) به ترتیب برابر (الف) (۱/۱۳ و ۴۰/۰۱)، (ب) (۱/۳۵ و ۳۹/۵)، (ج) (۱/۴۶ و ۱۴۰/۳)، (د) (۱/۴۳ و ۱۴۰) و مقادیر محاسبه شده برای D_e عبارتند از: (الف) ۰/۰۰۲۱، (ب) ۰/۰۰۰۷، (ج) ۰/۰۰۰۳، (د) ۰/۰۰۰۵ در پلاریزاسیون ۷۷

هدف هستند مشاهده می شود. محاسباتی که در این مقاله انجام گرفته است با توجه به تغییرات q نشان می دهد که دریا در حالت نه خیلی منظم و نه خیلی نامنظم می باشد. برای حالت های نامنظم - تر آشکارسازی هدف توسط Tsallis مشکل تر می شود.



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]

جدول ۱. میزان بار محاسباتی آزمون ها

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	$N(N+N) = 2N^2$

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

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

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

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

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

۳.۴. آشکارسازی هدف از میان کلاتر دریا

به طور کلی می توان گفت، اصلی ترین علت مدل سازی کلاتر (دریا) آشکارسازی اهداف مختلف از میان آن است. پردازش سیگنال های راداری سطح دریا کاربردهای مهمی دارد، از جمله:

- ۱- آشکارسازی کشتی ها، زیر دریایی ها، موشک ها و هواپیماهای پائین پرواز.
- ۲- راهنمایی کشتی ها برای تشخیص لکه های نفتی، تکه های 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.

- [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.

۴. نتیجه گیری

کلاتر دریا به دلیل بی‌نظمی و وابستگی آن به پارامترهای مختلف محیطی و همچنین غیرایستانت بودن دامنه آن، از نظر مدل‌سازی بسیار مورد توجه قرار دارد. جهت کاهش حالت غیرایستانت 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