

دسته‌بندی اهداف دریایی با استفاده از دو رادار با قدرت تفکیک بالا

علی محمد دهقانی^۱، استادیار؛ سید محمد علوی^۲، دانشیار؛ عباس شیخی^۳، استاد؛ رضا حق‌مرام^۴، استادیار

۱- دانشکده فناوری اطلاعات- دانشگاه جامع امام حسین (ع)- تهران- ایران - p9025963812@ihu.ac.ir

۲- دانشکده فناوری اطلاعات- دانشگاه جامع امام حسین (ع)- تهران- ایران - malavi@ihu.ac.ir

۳- دانشکده فنی مهندسی- دانشگاه شیراز- شیراز- ایران - sheikhi.ab@gmail.com

۴- دانشکده فناوری اطلاعات- دانشگاه جامع امام حسین (ع)- تهران- ایران - rhaghmrm@ihu.ac.ir

چکیده: در این مقاله یک روش جدید مبتنی بر اندازه‌گیری تعداد سلول‌های فاصله موجود در نمایه‌های برد آشکارشده از دو جهت متفاوت توسط دو رادار با قدرت تفکیک بالا مشابه معرفی می‌شود. در ابتدا با استفاده از تقریب مستطیلی و اندازه‌گیری طول و عرض اهداف دریایی، محاسبه تعداد سلول‌های فاصله موجود در نمایه‌برد آشکارشده انجام گرفته و در ادامه با توجه به اندازه‌گیری زاویه بین دو رادار نسبت به هدف، اقدام به تشکیل فضاهای ویژگی کرده و در انتها با استفاده از شبکه عصبی، دسته‌بندی اهداف دریایی انجام گرفته است. در ادامه سه شناور واقعی را در نرم‌افزار فکو مدل کرده و نمایه‌های برد به‌دست‌آمده را با نویز مخلوط کرده و به شبکه عصبی طراحی‌شده وارد می‌شود و بدین ترتیب دقت الگوریتم با توجه به مقادیر مختلف سیگنال به نویز سنجیده می‌شود. در بازه‌های معین، دقت عملکرد الگوریتم بالای ۹۹٪ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رادار با قدرت تفکیک بالا، نمایه برد، دسته‌بندی اهداف دریایی، شبکه عصبی، تقریب مستطیلی.

Classification of marine targets using two HRR radars

Ali mohammad Dehghani¹, PhD student; Mohammad Alavi², Associate Professor; Abbas Shaikhi³, Professor; Reza Haghmaram⁴, Assistant Professor

1- Faculty of Information Technology, University of Emam hossain, Tehran, Iran, Email: amdehghany@chmail.ir

2- Faculty of Information Technology, University of Emam hossain, Tehran, Iran, Email: malavi@ihu.ac.ir

3- Faculty of Engineering, University of Shiraz, Shiraz, Iran, Email: sheikhi.ab@gmail.com

4- Faculty of Information Technology, University of Emam hossain, Tehran, Iran, Email: rhaghmrm@ihu.ac.ir

Abstract: In this article, a novel method based on measuring the number of range cells in detected range profiles has been introduced according to two different aspects by two same high range resolution radars. At first, using rectangular approximation and measurement of the length and width of marine targets, calculation of the number of range cells is used in detected range profiles. On the following, according to the measurement of the angle between the two radars and target, Feature spaces are formed. Finally, classification of marine targets is formed using neural network. After completing the above steps and for testing the accuracy of the proposed algorithm, three real floatings are simulated in feko software. Then, range profiles obtained are mixed with noise and are imported to the neural network designed. Thus, the algorithm accuracy is measured according to different levels of signal to noise ratio. Accuracy of the algorithm, in certain confines, is above the 99%.

Keywords: HRR radar, Range profile, Classification of marine targets, Neural network, Rectangular approximation

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۳

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۲۱ و ۱۳۹۶/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۱

نام نویسنده مسئول: علی محمد دهقانی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - اتوبان شهید بابایی - دانشگاه جامع امام حسین (ع) - دانشکده فناوری و اطلاعات (فاوا).

۱- مقدمه

موضوع دسته‌بندی اهداف در رادارهای نظامی، یکی از مباحث مهم موجود در این سیستم‌ها می‌باشد. در رادارهای با پهنای پالس معمولی که ابعاد پالس در حدود ابعاد هدف یا حتی بیشتر از آن می‌باشد، تحقق این امر دشوار و حتی در برخی موارد غیرممکن است. برای انجام یک دسته‌بندی خوب در اهداف راداری، می‌توان از رادارهای با قدرت تفکیک بالا استفاده کرد. در رادارهای HRR با استفاده از نمایه برد به‌دست‌آمده، اقدام به دسته‌بندی اهداف می‌نمایند. روش کار بدین‌صورت می‌باشد که در ابتدا یک بانک داده از نمایه برد مربوط به اهداف موردنظر ایجاد کرده و سپس با در نظر گرفتن نمایه برد دریافتی از هدف روبرو و مقایسه آن با بانک داده ایجادشده، اقدام به تعیین کلاس هدف می‌شود. نکته مهم در خصوص تشکیل بانک داده این است که هرچه تعداد عناصر این بانک زیادتر باشد، کارایی و کیفیت دسته‌بندی بیشتر خواهد شد، اما سرعت انجام کار کمتر خواهد شد و در مقابل هرچه تعداد عناصر این بانک داده کمتر باشد، رسیدن به نتیجه سریع‌تر، ولی باکیفیت پایین‌تر انجام خواهد شد.

روند کار تشکیل بانک داده و تعیین کلاس هدف، بر اساس نقطه تمایز اهداف با یکدیگر که در ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن‌ها در نمایه برد مربوط به هر کدام از اهداف می‌باشد، استوار می‌گردد. بدین معنا که هر هدفی دارای یک سری ویژگی‌های منحصربه‌فرد می‌باشد که این ویژگی‌ها، با مقایسه نمایه حاصل از سیگنال برگشتی هدف، با بانک داده، تشخیص داده‌شده و بدین ترتیب کلاس هدف معین می‌شود. به فضای به وجود آمده، حاصل از این ویژگی‌ها، فضای ویژگی می‌گویند، به صورتی که هر ویژگی به یک هدف خاص مرتبط می‌شود.

در سال‌های اخیر از ویژگی‌های متعددی جهت دسته‌بندی اهداف استفاده شده است. مهم‌ترین این ویژگی‌ها عبارت‌اند از: استفاده از کل نمایه‌های برد اهداف به‌عنوان مجموعه ویژگی‌های اولیه [۱]، [۲]، استفاده از هندسه پراکندگی [۳]، استفاده از اثر به وجود آمده از هدف [۱]، در نظر گرفتن قله‌های مربوط به اهداف [۴]، [۵]، تبدیلات موجک [۶]، ابعاد هندسی نمودارها [۷]، استفاده از فرکانس‌های تشدید طبیعی هدف [۸].

همچنین از روش‌های دسته‌بندی که در سال‌های اخیر از آن‌ها استفاده شده است می‌توان به مواردی همچون کلاسترینگ [۹]، [۱۰]، فیلترهای همبستگی در حوزه‌های زمان و فرکانس [۲]، مدل‌های پنهان مارکوف [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]، انواع شبکه‌های عصبی [۱۴]، تأخیرهای زمانی وقتی [۴]، استفاده هم‌زمان از نمایه‌های برد و زوایای دید با به‌کارگیری یک رادار ردگیر [۱۵]، مقایسه فاصله قله‌های مهم در نمایه‌های برد و تأکید بر حرکات عمومی [۱۶]، [۱۷]، شناسایی هدف با استفاده از ویژگی‌های مربوط به قطبش [۱۸] و یا الگوریتم‌هایی از قبیل الگوریتم بهینه‌ساز ازدحام ذرات با گروه‌های مستقل [۱۹] اشاره کرد.

قبل از ورود به بحث اصلی ذکر چند نکته مهم است. یکی این که رادارهای SAR (رادارهای دهانه مصنوعی)، با گرفتن تصاویر دوبعدی و

انجام عملیات FFT (تبدیل فوریه سریع) در دو بعد برد و عمود بر برد قدرت تفکیک خیلی بالایی را ایجاد می‌نمایند [۲۰]. نمایه‌های HRR که به‌صورت یک رادار یک‌بعدی عمل می‌کنند، تنها در یک زاویه دید اقدام به انجام عملیات می‌نمایند. درواقع می‌توان گفت مزیت اصلی سیستم‌های HRR که به‌صورت خودکار اقدام به شناسایی هدف می‌نمایند، گرفتن تصمیم‌های مربوط به شناسایی اهداف، فقط با استفاده از یک نمایه برد یک‌بعدی می‌باشد و همین امر باعث می‌شود تا میزان محاسبات موجود در HRR کمتر از SAR شود. نکته دیگر این که قبل از پرداختن به مبحث دسته‌بندی اهداف، چگونگی آشکارسازی نمایه‌های برد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. روش‌های مختلفی برای حذف نویز از نمایه برد دریافتی وجود دارد که از جمله می‌توان به [۲۱] اشاره کرد.

۲- تشکیل فضای ویژگی

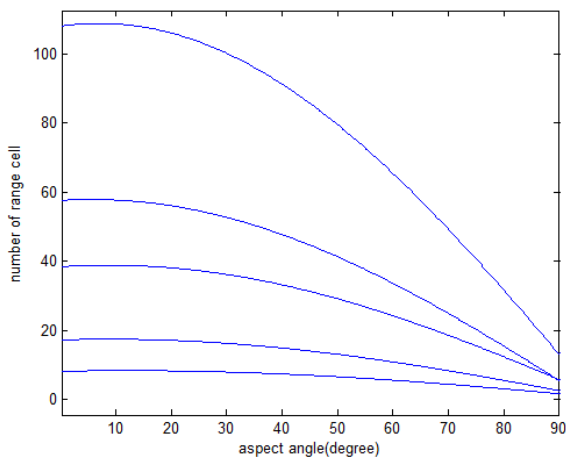
یکی از موارد بسیار مهم در خصوص دسته‌بندی اهداف در رادارهای HRR، که می‌تواند به نحو مناسبی به مسئله دسته‌بندی اهداف کمک نماید، بحث تخمین زاویه دید هدف می‌باشد. در روش پیشنهادی در این مقاله، استفاده از دو رادار HRR مشابه مدنظر می‌باشد. قبل از بحث در این مورد، موارد مربوط به هدف و تقریب شکلی و روابط حاکم بر آن، موردبحث قرار می‌گیرد.

این مقاله به‌صورت ویژه به بحث بر روی اهداف دریایی و شناورها پرداخته است. یکی از شاخصه‌های مهم اهداف دریایی این است که برخلاف اهداف هوایی که دارای مانور بالا و تغییر سریع زاویه دید هدف نسبت به رادار می‌باشند، این اهداف از مانور پایین برخوردار بوده و به همین دلیل نمی‌توان از روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی مشاهدات کوتاه‌مدت یا بلندمدت استفاده کرد [۲۲]. ابعاد هدف که همان، طول و عرض هدف می‌باشند، اساسی‌ترین ویژگی اهداف در این مقاله هستند. در این مقاله از تقریبی به نام تقریب مستطیلی استفاده می‌شود، بدین ترتیب که شناور را به شکل تقریبی یک مستطیل در نظر گرفته و با استفاده از دو رادار HRR مشابه، به آن موج تابانده و سپس با استفاده از طول نمایه حاصل از این دو بازتابش، به تعیین کلاس هدف پرداخته شده است. می‌توان با تقریب خوب، هر هدف شناوری را، از نظر ابعاد به‌صورت متقارن در نظر گرفت. حال اگر یک رادار HRR با یک زاویه دید معین به این هدف بتاباند، یک نمایه برد مجزا، با طول معین را ایجاد می‌نماید. در کل این مقاله، زاویه دید با حرف θ در نظر گرفته شده و در ضمن $\theta=0$ ، به معنای تابش امواج راداری از سمت طول هدف می‌باشد. همچنین $\theta=\varphi$ ، به معنای زاویه دید در راستای قطر هدف می‌باشد. به‌عبارت دیگر φ زاویه دید از طرف قطر هدف می‌باشد.

میزان قدرت تفکیک با توجه به پهنای پالس ارسالی رادار عبارت است از:

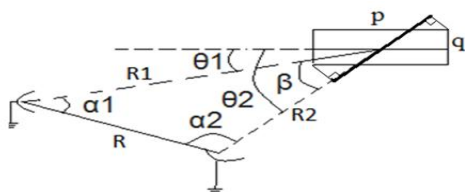
$$l = c \tau / 2 \quad (1)$$

در این قسمت با توجه به رابطه محاسبه شده، می‌توان فضای ویژگی مربوط به این تقریب را شبیه‌سازی نمود. نتیجه این شبیه‌سازی برای پنج مدل از اهداف دریایی، در محدوده زاویه دید بین 0 تا $\pi/2$ در شکل ۳ به نمایش درآمده است.



شکل ۳: فضای ویژگی بر اساس زاویه دید هدف و تعداد سلول‌های فاصله در نمایه برد برای ۵ کلاس هدف

شکل ۳، فضای ویژگی حاصل از کارکرد یک رادار HRR را نمایش می‌دهد. پس از تشکیل فضای ویژگی، می‌بایست از نمایه برد حاصل از بازتابش هدف، تعداد سلول‌های فاصله موجود را محاسبه و با استفاده از آن اقدام به تعیین کلاس هدف نمود. همان‌گونه که مشهود است، نمی‌توان به‌تنهایی و با استفاده از یک نمایه برد به‌دست‌آمده در یک زاویه دید خاص از یک هدف، کلاس آن هدف را معین نمود. چراکه اهداف متعددی از کلاس‌های مختلف شناوری، می‌توانند در زوایای دید خاصی، نمایه برد با طول مساوی ایجاد نمایند و به همین دلیل نمی‌توان کلاس هدف را مشخص نمود. لذا در این مقاله برای تعیین کلاس هدف با استفاده از شمارش تعداد سلول‌های فاصله ایجاد در نمایه برد، از دو رادار HRR مشابه استفاده شده است. این دو رادار در یک فاصله معین از یکدیگر قرار گرفته و با یکدیگر اقدام به تابش به سمت هدف می‌نمایند. هرکدام از این رادارها اقدام به اندازه‌گیری فاصله هدف تا خودشان می‌نمایند.



شکل ۴: تابش هم‌زمان دو رادار HRR به سمت یک هدف

با توجه به شکل ۴ و معادلات مثلثاتی موجود و معلوم بودن مقادیر R ، $R1$ و $R2$ می‌توان مقدار زاویه β را بر طبق رابطه ۵ محاسبه نمود.

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{R1^2 + R2^2 - R^2}{2R1R2} \right) \quad (5)$$

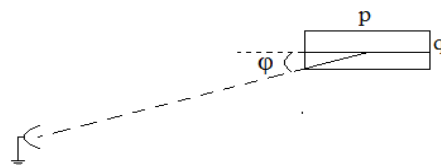
که در این رابطه τ پهنای پالس تابشی به سمت هدف و c سرعت نور می‌باشد. اساس کار در این مقاله، بر شمارش تعداد سلول‌های موجود در یک نمایه برد می‌باشد؛ بنابراین اگر زاویه تابش رادار، در راستای طول هدف باشد ($\theta=0$)، تعداد سلول‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌شود:



شکل ۵: زاویه دید صفر درجه $\theta=0$

$$n = \frac{2p}{ct} \quad (2)$$

که در اینجا p طول و q عرض هدف و n تعداد سلول‌های فاصله هدف در این راستا می‌باشند.



شکل ۶: تابش در راستای $\theta=\phi$ یا تابش در راستای قطر هدف

$$n = \frac{d}{l} \quad (3)$$

که در اینجا d اندازه قطر هدف می‌باشد.

حال می‌توان در تمام حالت‌های موجود بین رادار و هدف، تعداد سلول‌های فاصله موجود در نمایه برد آشکار شده را محاسبه و در قالب جدول ۱ بیان نمود:

جدول ۱: ارتباط بین محدوده زاویه دید با تعداد سلول‌های فاصله‌ها

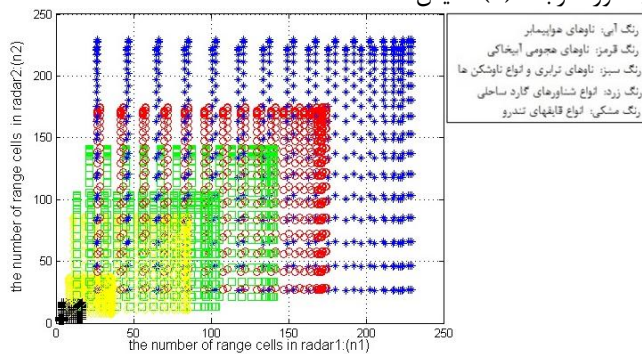
محدوده θ	تعداد سلول‌های فاصله‌ها
$0 \leq \theta \leq \pi/2$	
$\theta = \pi/2 + \alpha \quad \& \quad 0 \leq \alpha \leq \pi/2$	
$\theta = \pi + \alpha \quad \& \quad 0 \leq \alpha \leq \pi/2$	
$\theta = 3\pi/2 + \alpha \quad \& \quad 0 \leq \alpha \leq \pi/2$	

α یک زاویه کمکی برای شناساندن بهتر روابط می‌باشد و یک زاویه مستقل تعریفی نیست.

در حالت کلی می‌توان تعداد سلول‌های فاصله را به‌صورت تابعی از زاویه دید، پهنای پالس ارسالی، طول و عرض هدف بیان نمود.

$$n(\theta, \tau, p, q) = \frac{2\sqrt{p^2 + q^2}}{ct} \cos(\theta - \tan^{-1} \frac{q}{p}) \quad (4)$$

آشکار شده توسط این دو رادار بر روی یک شناور دریایی بوده که به ترتیب برابر با n_1 و n_2 می‌باشند. می‌توان هر نقطه از این نمودار را به صورت رابطه (۷) نمایش داد.



شکل ۵: فضای ویژگی حاصل از کارکرد هم‌زمان دو رادار HRR مشابه بر روی اهداف دریایی

$$(n_{1A}(\theta_1), n_{2A}(\theta_2)) \quad (7)$$

n_{1A} و n_{2A} به ترتیب بیانگر تعداد سلول‌های فاصله آشکار شده، حاصل از تابش رادارهای شماره یک و دو، به هدفی از کلاس A می‌باشند. در نگاه اول، با توجه به فضای ویژگی به دست آمده در شکل ۵، به نظر می‌رسد که تفکیک کلاس‌های شناوری صورت نگرفته است، یعنی فضاهای ایجاد شده مربوط به کلاس‌های مختلف کاملاً درهم‌تنیده بوده و امکان جداسازی وجود ندارد، به گونه‌ای که می‌توان در بسیاری جاها نوشت $(n_{1C}, n_{2C}) = (n_{1B}, n_{2B}) = (n_{1A}, n_{2A})$ و $(n_{1D}, n_{2D}) = (n_{1A}, n_{2A})$ اما واقعیت به گونه دیگری می‌باشد. باید توجه داشت که این فضای ویژگی به وجود آمده در واقع یک فضای سه‌بعدی می‌باشد که ابعاد آن عبارت‌اند از (n_1, n_2, β) . بدین معنا که هر کدام از نقاط موجود در این فضای سه‌بعدی، به ازای زوایای متفاوت رادار دو نسبت به هدف، به وجود آمده‌اند؛ بنابراین درست است که در این

$$(n_{1A}(\theta_1), n_{2A}(\theta_2), \beta_A) \quad (8)$$

فضای دوبعدی، به حساب ظاهر ممکن است دو نقطه از دو کلاس متفاوت در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند، اما باید توجه داشت که در پارامتر سوم، یعنی زاویه β ، با یکدیگر متفاوت بوده و از همین امر می‌توان برای جداسازی این کلاس‌ها، استفاده کرد؛ بنابراین برای نمایش هر نقطه از این فضا (به عنوان مثال برای هدف A) باید از رابطه (۸) استفاده نمود. رابطه (۸) می‌تواند فضای ویژگی سه‌بعدی را بدین صورت بیان نماید: هر نقطه از این فضای ویژگی عبارت است از تعداد سلول‌های فاصله آشکار شده از یک هدف دریایی در یک کلاس خاص، حاصل از تابش دو رادار HRR مشابه با زوایای دید θ_1 و θ_2 ، در حالی که زاویه بین دو رادار نسبت به هدف برابر با β می‌باشد.

با توجه به موارد فوق و رابطه (۸)، می‌توان بیان نمود که در این روش دسته‌بندی، تنها با یک فضای ویژگی روبرو نبوده و باید برای هر زاویه β ، یک فضای ویژگی جداگانه در نظر گرفت و بر اساس آن اقدام

R_1 و R_2 به ترتیب، اندازه فاصله هدف تا رادارهای شماره یک و دو می‌باشند. R ، فاصله مستقیم دو رادار از یکدیگر می‌باشد. زاویه β ، برابر با مقدار زاویه بین دو رادار نسبت به هدف بوده که علاوه بر رابطه فوق برابر با رابطه (۶) نیز می‌باشد.

$$\beta = \theta_2 - \theta_1 \quad (6)$$

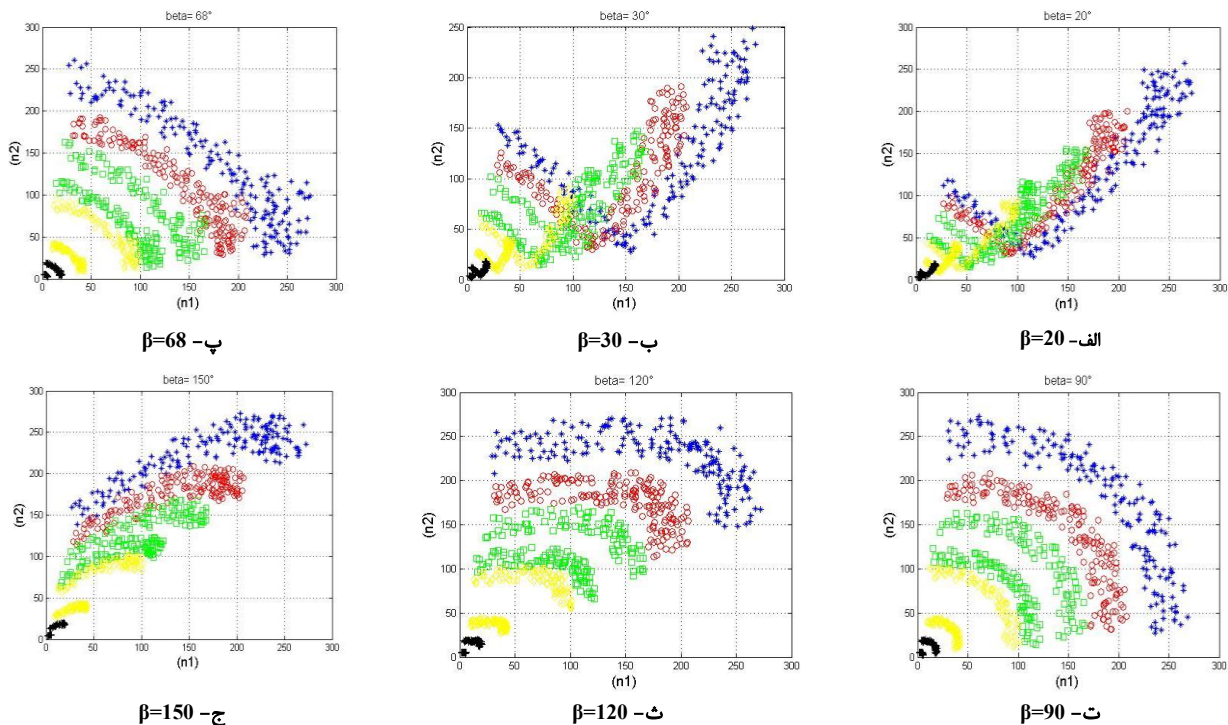
زاویه θ_1 و θ_2 به ترتیب برابر با مقدار زاویه دید رادار شماره یک و دو نسبت به هدف می‌باشند.

تذکر: قسمت پررنگ در شکل ۴، طول مؤثر نمایه برد مربوط به زاویه دید $\theta = \theta_2$ را نشان می‌دهد. با توجه به این که هدف در ناحیه دور از رادار قرار دارد، موج ارسالی را به صورت موج تخت در نظر گرفته و به همین دلیل طول نمایه به صورت طول مؤثر بیان می‌شود.

با توجه به رابطه (۵) و جدول ۱، می‌توان فضای ویژگی حاصل از کارکرد هم‌زمان دو رادار HRR را در تمام حالت‌ها به صورت شکل ۵، ترسیم نمود. برای ترسیم شکل ۵ و با توجه به روابط (۵) و (۶) و به دلیل تقارن موجود در تقریب مستطیلی محدوده زاویه θ و β به ترتیب به صورت $0 \leq \theta \leq 90$ و $0 \leq \beta \leq 180$ با گام‌های پنج درجه در نظر گرفته شده است. باید توجه داشت که برای هر کاربرد مشخص راداری به ویژه رادارهای با قدرت تفکیک بالا و استفاده از نمایه‌های برد، پهنای پالس و پهنای باند کاری رادار بسیار مهم و اساسی می‌باشند. با توجه به این که موضوع مقاله در خصوص شناورهای دریایی بوده و از طرفی این شناورها از نظر ابعاد، تفاوت‌های زیادی با یکدیگر دارند، این پارامترها باید به گونه‌ای انتخاب شوند که بتوانند هم شناورهای کوچک و هم شناورهای بزرگ را پوشش دهند. بر همین اساس برای هر دو رادار در نظر گرفته شده در ترسیم فضای ویژگی فوق، پهنای پالس ده نانوثانیه معادل با پهنای باند صد مگاهرتز در نظر گرفته شده است. با توجه به رابطه ۱ میزان قدرت تفکیک در این رادارها به اندازه ۱/۵ متر می‌باشد. این مقدار قدرت تفکیک در رادارها برای شناورهای با طول بیش از دو الی سه متر مناسب می‌باشد. بدین جهت که با عبور جبهه موج از روی کوچک‌ترین شناورها از هر جهت دلخواه، نمایه برد حاصل، بیش از دو قله مشخص و معین خواهد داشت که برای تفکیک شناورها می‌توان از آن استفاده نمود. البته باید توجه داشت که طول اکثریت شناورهای مدنظر در این مقاله بیش از این مقدار می‌باشد. شکل ۵، فضای ویژگی حاصل از کارکرد دو رادار HRR مشابه، بر روی ۱۰ مدل از شناورهای دریایی را به نمایش گذاشته است. این ده شناور، بر طبق جدول ۲، در پنج کلاس مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند. محور افقی، نمایشگر تعداد سلول‌های فاصله آشکار شده از شناورها توسط رادار شماره یک (n_1) و محور عمودی بیانگر تعداد سلول‌های فاصله آشکار شده از شناورها توسط رادار شماره دو (n_2) می‌باشد. بر اساس شکل ۴، فرض می‌شود که رادار شماره یک با زاویه دید θ_1 و رادار شماره دو با زاویه دید θ_2 ، به شناور دریایی نگاه می‌کنند. هر کدام از نقاط نمایش داده شده در شکل ۵، بیانگر تعداد سلول‌های فاصله

زوایای دید θ_1 و θ_2 محاسبه و ترسیم می‌گردد. با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده و شکل‌های ترسیم‌شده معلوم می‌شود که برای زوایای $\beta \geq 68^\circ$ فضاهای ویژگی ایجادشده برای کلاس‌های مختلف از یکدیگر جدا بوده و تفکیک کلاس‌ها آسان‌تر خواهد بود. نکته دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد این است که در تقسیم‌بندی و ایجاد کلاس‌ها سعی شده است تا در هر کلاس دریایی، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین شناور در آن کلاس انتخاب‌شده و به‌عنوان داده‌های آموزشی به شبکه عصبی وارد شود.

به دسته‌بندی شناورهای دریایی در پنج کلاس مختلف نمود. شکل ۶، شش نمونه از فضاهای ویژگی را به تصویر کشیده است. در تمامی قسمت‌های شکل ۶، رنگ‌های آبی، قرمز، سبز، زرد و مشکی، به ترتیب فضاهای ویژگی مربوط به کلاس‌های A، B، C، D و E می‌باشند. برای ترسیم شکل ۶ زاویه β متناسب با هر شکل، ثابت در نظر گرفته‌شده و سپس زاویه θ_1 (زاویه دید از نظر رادار شماره یک) از صفر تا 90° درجه تغییر کرده و به‌این‌ترتیب زاویه θ_2 (زاویه دید از نظر رادار شماره دو) نیز بر اساس رابطه (۶) محاسبه و در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از جدول ۱، تعداد سلول‌های فاصله متناظر با



شکل ۶: فضاهای ویژگی در زوایای مختلف β

به جدول ۱، تعداد سلول‌های فاصله موجود در نمایه برد آشکارشده را محاسبه می‌نمایند. ذکر این نکته لازم است که زاویه تابش امواج الکترومغناطیسی از جهت افقی و عمودی مهم بوده و باید به‌عنوان یک مسئله به آن توجه داشت. در تولید نمایه‌های برد توسط نرم‌افزار فکو به این امر توجه ویژه شده و به‌دلیل وضعیت جغرافیایی منطقه موردنظر مقاله، زاویه عمودی ۱

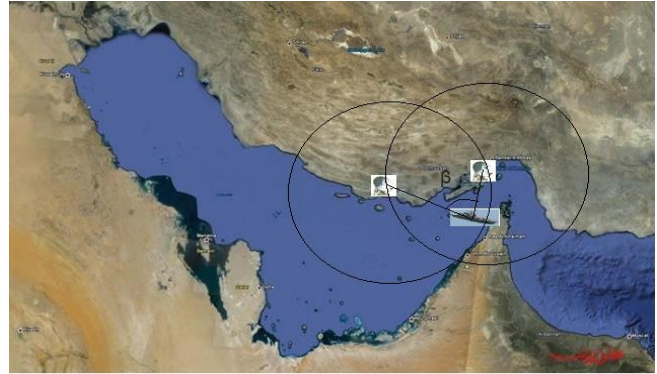
۳- الگوریتم پیشنهادی و استخراج ویژگی

پس از تشکیل فضای ویژگی، می‌توان الگوریتم پیشنهادی برای دسته‌بندی اهداف دریایی با استفاده از دو رادار HRR را به این صورت بیان نمود که در ابتدا باید منطقه تحت پوشش این دو رادار را به‌خوبی بررسی کرده و مکان دقیق استقرار رادارها را معین نمود. شرایط انتخاب بهینه این دو رادار به صورتی است که حداقل به مدت‌زمان معینی بتواند با حرکت هدف همچنان رابطه (۹) را برقرار نماید. اثبات رابطه (۹)، در بخش پنجم مقاله آورده شده است.

$$(9) \quad 3$$

البته ذکر این نکته مهم است که اولین مکان آشکارسازی هدف توسط دو رادار، در چه منطقه‌ای مدنظر می‌باشد، همانند شکل ۷. سپس هر دو رادار اقدام به تابش امواج الکترومغناطیسی کرده و هرکدام، نمایه‌برد به‌دست‌آمده از هدف در لحظه خاص را آشکار کرده و با توجه

شکل ۷: نمونه‌ای از انتخاب محل‌های استقرار رادارها و تعیین زاویه اولیه β



جدول ۲: معرفی کلاس‌های شناوری

نماد کلاس‌بندی	عنوان شناورها	شناورهای در نظر گرفته‌شده	طول شناور (m)	عرض شناور (m)
کلاس A	ناوهای هواپیمابر	ناو هواپیمابر کلاس ENTERPRISE	۳۴۲/۳	۴۰/۵
		ناو هواپیمابر کلاس کیتی هاوک (CVM)	۳۲۳/۸	۳۹/۶
کلاس B	ناوهای هجومی آبیخاکی	ناو هجومی آبیخاکی کلاس وسپ	۲۵۸/۲	۴۲/۷
		ناو هجومی آبیخاکی کلاس تراوا	۲۵۴/۲	۴۰/۲
کلاس C	ناوهای ترابری و انواع ناوشکن‌ها	ناو ترابری آبیخاکی کلاس SAN ANTONIO	۲۰۸/۴	۳۱/۹
		ناوشکن موشک‌انداز کلاس آرلی بورک (FLIGHT 1 و FLIGHT 2)	۱۵۳/۸	۲۰/۳
کلاس D	انواع شناورهای گارد ساحلی	شناور گارد ساحلی برد بلند کلاس LEGEND	۱۲۷/۴	۱۶/۵
		شناور چندمنظوره آبیخاکی کلاس LCU 2000	۵۳	۱۲/۸
کلاس E	انواع قایق‌های تندرو	قایق‌های تندرو گشت ساحلی کلاس MKV	۲۴/۷	۵/۳
		قایق‌های گشتی سبک PBF	۶/۸	۲/۶

به‌دلیل آن است که ورودی‌های آموزشی دوبعدی به شبکه عصبی، به حالت واقعی اهداف نزدیک‌تر شوند. از آنجایی که شکل واقعی شناور از مستطیل محیط شده بر آن کوچک‌تر می‌باشد، بنابراین با توجه به شش‌ده نمایه برد تولیدشده توسط نرم‌افزار فکو و مقایسه طول آن‌ها با موارد محاسبه‌شده توسط تقریب مستطیلی، ایجاد حدود ۲۰ درصد انحراف (به‌صورت کاهشی) شبکه عصبی را در بهترین حالت آموزش قرار می‌دهد. به‌عبارت دیگر، ورودی‌های آموزشی شبکه عصبی، با اعمال رابطه (۴) و با توجه به جدول ۱ بر روی مشخصات شناورهای تعریف‌شده در جدول ۲ به‌دست آمده‌اند. شکل ۸ چند نمونه از افراز فضای ویژگی توسط شبکه عصبی طراحی‌شده در شرایط مختلف را به نمایش گذاشته‌اند.

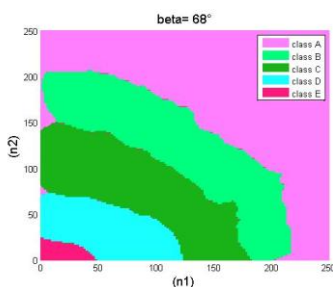
۴- تست و سنجش دقت الگوریتم

تا این قسمت از مقاله، ارائه الگوریتم بر اساس شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته بر روی ده مدل شناوری که در جدول ۲ معرفی شد و با توجه به تقریب مستطیلی، انجام گرفت. اطلاعات به‌دست‌آمده تاکنون

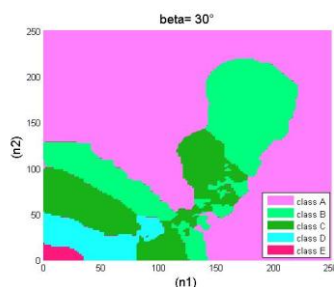
درجه در نظر گرفته شده است. این مطلب بدان معناست که رادارها در ساحل واقع شده و روی ارتفاع بلند قرار ندارند. بدین ترتیب مقادیر n_1 و n_2 معلوم می‌گردند. سپس با توجه به زاویه بین دو رادار نسبت به هدف (β)، فضای ویژگی، انتخاب شده و می‌توان با تطابق نقطه‌ای (n_1, n_2) با این فضای ویژگی، اقدام به تعیین کلاس هدف نمود. این تطابق از طریق شبکه عصبی احتمالی PNN، انجام می‌گیرد. شبکه‌های عصبی احتمالی به‌طور گسترده‌ای در مسائل مربوط به دسته‌بندی و تشخیص الگو به‌کار می‌روند. در الگوریتم PNN، تابع چگالی احتمال یا PDF هر کلاس تقریب زده می‌شود. سپس احتمال کلاس مربوط به هر داده ورودی جدید تخمین زده شده و به وسیله قانون بیز، کلاسی که بیشترین احتمال وقوع را دارد به‌عنوان کلاس داده ورودی جدید تخصیص داده می‌شود [۲۳]. ورودی‌های آموزشی شبکه عصبی طراحی‌شده، به‌صورت دوبعدی می‌باشند. برای آموزش این شبکه عصبی ورودی‌ها همان تعداد سلول‌های فاصله آشکارشده در رادارهای یک و دو با استفاده از تقریب مستطیلی و اعمال ماکزیمم ۲۰٪ انحراف به‌صورت تصادفی در آن‌ها می‌باشند. این ۲۰٪ انحراف

لازم به ذکر است که در این مبحث منظور از سیگنال به نویز، سیگنال به نویز در خروجی آشکارساز و ورودی الگوریتم می‌باشد. بدین معنا که فرض می‌شود، نمایه برد برگشتی از هدف در ابتدا در قسمت آشکارساز، حذف نویز شده و سپس با نسبت معینی از سیگنال به نویز در ورودی الگوریتم قرار می‌گیرد؛ یعنی در تولید نمایه‌های برد در نرم‌افزار فکو، شبیه‌سازی از بعد از آشکارساز صورت پذیرفته است؛ بنابراین نویز در نظر گرفته شده مربوط به نویز محیط بوده که پس از آشکارسازی همچنان مقداری از آن در میان نمایه برد موجود می‌باشد. مباحث مربوط به آشکارسازی نمایه‌های برد خود یک مقوله مستقل بوده که در مقالات مختلفی مورد تحقیق قرار گرفته‌اند [۲۱]. چون هدف، از نوع اهداف دریایی می‌باشد، مبحث کلاتر خود یکی از مباحث موجود در این زمینه می‌باشد. برای تولید سیگنال برگشتی از کلاتر دریا و دسته‌بندی وضعیت‌های مختلف دریا نیز تحقیق‌های مختلفی انجام شده است [۲۵]. در شبیه‌سازی نمایه‌های برد، دریا به صورت آرام در نظر گرفته شده است. در [۲۵] برای سنجش وضعیت دریا و نحوه انعکاس امواج از آن، سرعت باد و میزان شوری آب به عنوان دو پارامتر مهم لحاظ شده است. پس از آن که نمایه برد در ورودی دسته‌بندی کننده قرار گرفت، تعداد سلول‌های فاصله موجود در آن اندازه‌گیری می‌شود. برای این منظور، یک سطح آستانه معین را در نظر گرفته و با توجه به آن ابتدا و انتهای نمایه تعیین می‌گردد. همان‌گونه که در شکل‌های فوق مشهود می‌باشد

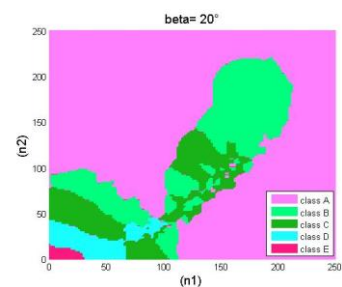
برای آموزش شبکه عصبی طراحی شده مورد استفاده قرار گرفته است. برای تست الگوریتم، سه مدل شناور در کلاس‌های D و E را انتخاب کرده و نمایه‌های برد مربوط به زوایای دید مختلف در نرم‌افزار feko، شبیه‌سازی شده است [۲۴]. برای شبیه‌سازی نمایه‌های برد، در ابتدا شناور مورد نظر را انتخاب کرده و سپس اقدام به مدل کردن این شناور در نرم‌افزار فکو می‌شود. بدین ترتیب که سعی شده است تا مدلی کاملاً شبیه شناور اصلی تهیه گردد. در ادامه مشخصات رادار مورد نظر را به نرم‌افزار داده و به صورت نرم‌افزاری در جهات مختلف اقدام به تابش امواج الکترومغناطیسی به طرف هدف می‌شود. سپس برای هر جهت خاص، RCS مورد نظر محاسبه شده و اقدام به ترسیم آن در حوزه فرکانس می‌شود. در ادامه با استفاده از کد متلب، نمودار حاصل که بیانگر سیگنال برگشتی از شناور در یک جهت خاص یا همان نمایه برد هدف می‌باشد، تولید شده است. پس از تولید نمایه‌های برد و با توجه به اضافه کردن نویز به این نمایه‌ها، اقدام به آشکارسازی و دسته‌بندی شناورها نموده و بدین ترتیب دقت الگوریتم بر اساس میزان نسبت سیگنال به نویز سنجیده می‌شود. در ابتدا، پس از ایجاد نمایه‌ها در نرم‌افزار feko، اقدام به اضافه کردن مقدار معینی از نویز به این نمایه‌ها کرده و این نمایه‌های نویزی، به عنوان سیگنال ورودی به گیرنده رادار در نظر گرفته می‌شوند. نویز در نظر گرفته شده از نوع نویز سفید گوسی جمع‌شونده می‌باشد. در شکل ۹ به عنوان نمونه، نمایه برد مربوط به یک شناور شبیه‌سازی شده در زاویه دید ۰/۵ درجه با SNR های



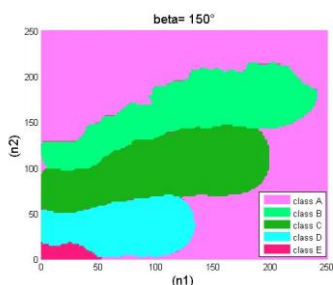
پ-β=68



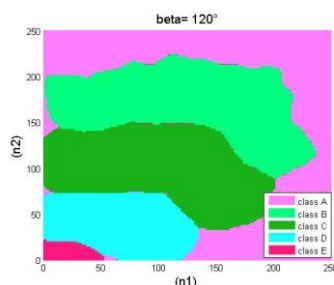
پ-β=30



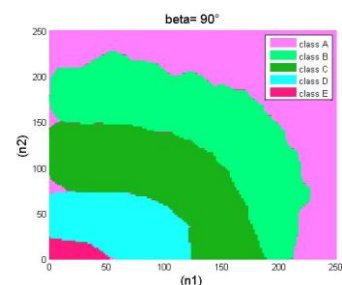
الف-β=20



ج-β=150



ث-β=120



ت-β=90

شکل ۸: افراز فضای ویژگی توسط شبکه عصبی طراحی شده با استفاده از تقریب مستطیلی

برای اطمینان از آن که نویز به تنهایی خود در شمارش تعداد سلول‌های فاصله تأثیر نداشته است یا اگر تأثیر داشته، میزان آن در

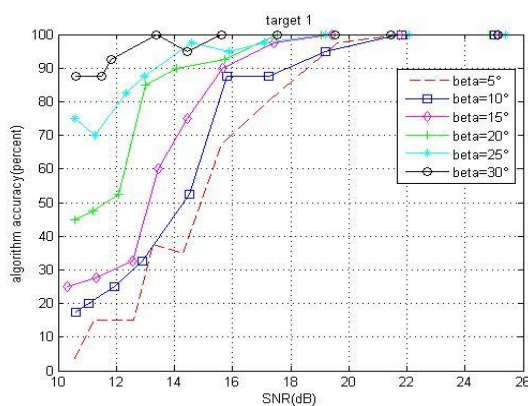
مختلف ترسیم شده است.

می‌شود. در نهایت از نتایج حاصل میانگین‌گیری کرده و نمودار به‌دست‌آمده ترسیم می‌گردد. در مجموع ششصد نمایه برد از زوایای مختلف در سه شناور شبیه‌سازی و اعمال شده است. شکل ۱۰، نشان‌دهنده نتایج به‌دست‌آمده می‌باشد. هدف اول از نوع قایق‌های تندروی کوچک و از کلاس E، هدف دوم از نوع قایق‌های تندروی بزرگ و از کلاس E و هدف سوم از نوع شناورهای گارد ساحلی و از کلاس D انتخاب شده و در نرم‌افزار feko شبیه‌سازی شده‌اند.

شکل ۹: یک نمونه از نمایه‌های برد در SNRهای مختلف. الف- نمایش نمایه برد اصلی و نویزی در زاویه دید 0.5° درجه و سیگنال به نویز ۱۰dB-ب-

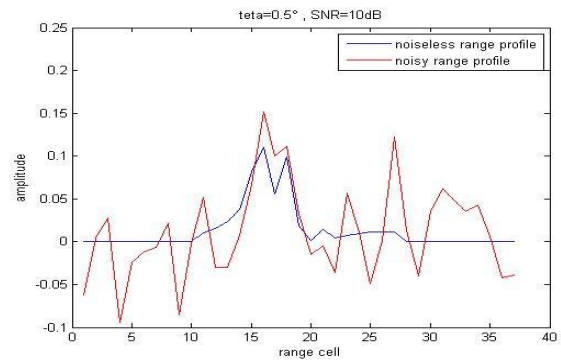
نمایش نمایه برد اصلی و نویزی در زاویه دید 0.5° درجه و سیگنال به نویز ۱۵dB-ج- نمایش نمایه برد اصلی و نویزی در زاویه دید 0.5° درجه و سیگنال به نویز ۲۵dB

جهت ترسیم شکل فوق مراحل مختلفی انجام گرفته است. در ابتدا توسط نرم‌افزار feko اقدام به تشکیل نمایه‌های برد در زوایای گوناگون شده است. سپس در هر مرحله با توجه به زاویه در نظر گرفته‌شده برای β ، یک زاویه دید مجزا برای هر کدام از رادارها انتخاب می‌شود. به‌عنوان مثال برای ایجاد شکل فوق زوایای دید انتخاب‌شده برای هر دو رادار مطابق با جدول ۳ در نظر گرفته شده است. در شکل ۷ همانند شکل ۶، با همان زوایای β معین اما با زوایای دید متفاوت، دقت عملکرد الگوریتم

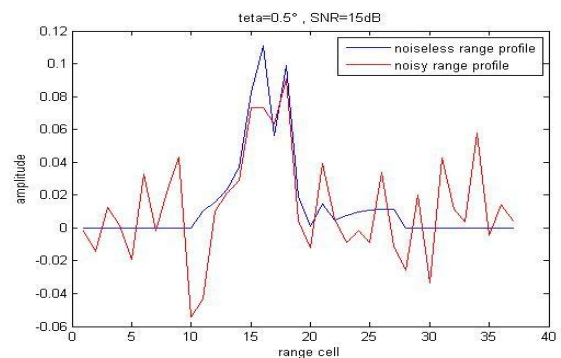


شکل ۱۰: نمایش میزان دقت الگوریتم پیشنهادی برحسب SNR بر روی شناور اول

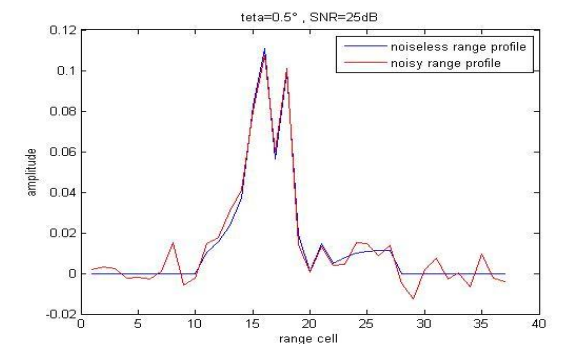
پیشنهادی در سیگنال به نویزهای مختلف محاسبه و ترسیم شده است. باید به این نکته توجه داشت که هر چه میزان SNR بیشتر باشد، به دلیل ضعیف بودن نویز شکل نمایه‌برد نویزی به شکل اصلی نزدیک‌تر بوده و شباهت بیشتری خواهد داشت. به همین جهت میزان انحراف در شمارش تعداد سلول‌های فاصله کمتر بوده و نتیجه دسته‌بندی اهداف توسط شبکه عصبی با موفقیت بیشتری همراه خواهد بود. در کل منظور از موفقیت الگوریتم و محاسبه دقت، این است که از مجموع دفعاتی که نمایه‌های برد تولیدی به الگوریتم تحویل داده شده و اقدام به دسته‌بندی نموده، چند بار موفقیت‌آمیز بوده و به‌طور صحیح دسته‌بندی شده‌اند. نکته‌ای که در این قسمت قابل ذکر می‌باشد این



الف



ب



ج

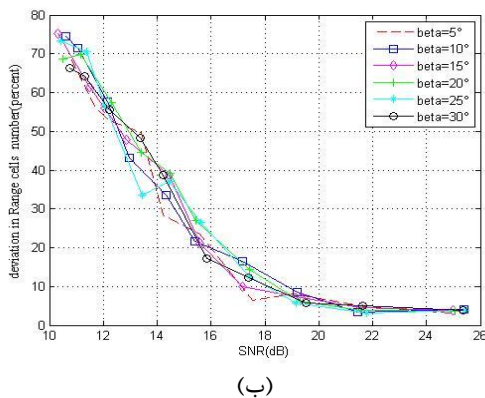
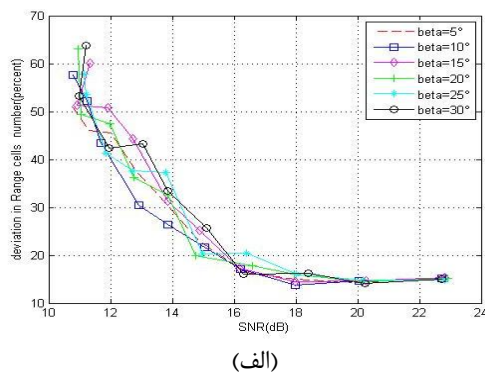
روند شمارش تعداد سلول‌های فاصله برای سنجش دقت الگوریتم منظور گردد، تعدادی صفر به ابتدا و انتهای نمایه حاصل از نرم‌افزار feko اضافه کرده و پس از نویزی کردن نمایه جدید، اقدام به اعمال سطح آستانه و شمارش تعداد سلول‌های فاصله می‌شود. سطح آستانه بر اساس واریانس نویز تنظیم می‌گردد. بدین ترتیب که با تغییرات واریانس نویز، احتمال هشدار غلط همچنان برابر با 10^{-4} ثابت بماند.

البته ذکر این نکته مهم است که تمام این عملیات در هر دو رادار انجام می‌گیرد. حال این تعداد سلول‌های فاصله اندازه‌گیری شده در هر دو رادار را به شبکه عصبی طراحی‌شده بر اساس تقریب مستطیلی، وارد کرده و بدین ترتیب کلاس هدف، تخمین زده می‌شود. برای هر زاویه β ، نویز با واریانس مشخص را چهل بار تولید و به نمایه برد اضافه کرده و هر بار اقدام به تخمین کلاس هدف

شکل ۱۳: نمایش میزان دقت الگوریتم پیشنهادی بر حسب SNR بر روی شناور سوم

۵- انتخاب بهترین محدوده‌های زاویه β

با توجه به شکل ۱۰ تا شکل ۱۳ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش زاویه β ، روند دقت عملکرد الگوریتم پیشنهادی نیز افزایش پیدا می‌کند. بدین ترتیب که در این شکل‌ها، شیب نمودارها با افزایش زاویه β افزایش یافته و دقت عملکرد الگوریتم می‌تواند با میزان سیگنال به نویز کمتری، مقادیر بالاتری را به دست آورد. البته این نتیجه، از فضاهای ویژگی به وجود آمده بر اساس تقریب مستطیلی و در ادامه، تشکیل شبکه‌های عصبی نیز قابل پیش‌بینی بود. چراکه با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه β ، در هم‌تنیدگی فضاهای ویژگی کاهش یافته و امکان جداسازی کلاس‌های شناورها ارتقا می‌یابد. با دقت در نمودارهای حاصل از اعمال الگوریتم پیشنهادی به نمایه‌های برد حاصل از نرم‌افزار feko مربوط به هر سه شناور موردنظر، می‌توان دریافت که این الگوریتم با مقادیر سیگنال به نویزهای حدود ۱۵dB و زوایای β بالاتر از ۲۵ درجه،



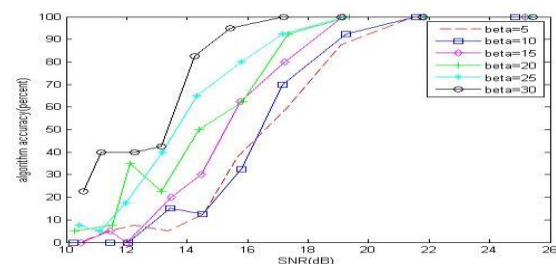
شکل ۱۴: میزان انحراف اندازه‌گیری مابین نمایه‌های برد تولیدی در نرم‌افزار فکو و الگوریتم پیشنهادی

دقت عملکردی بالاتر از ۹۵٪ را از خود نشان می‌دهد. به عنوان مثال در شکل ۱۳ و برای زاویه $\beta=30^\circ$ ، در هر ۴۰۰ بار تکرار الگوریتم، تشخیص کلاس هدف با موفقیت همراه بوده است. به همان نسبت که زاویه بتا کمتر بشود، برای رسیدن به دقت‌های بالا نیازمند به سیگنال به

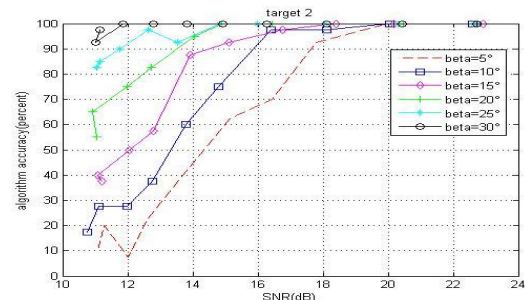
است که به دلیل محدودیت‌های سخت‌افزاری امکان شبیه‌سازی دیگر شناورها در نرم‌افزار feko وجود نداشت، چراکه برای استفاده از این نرم‌افزار جهت تولید نمایه‌های برد در کشتی‌های بزرگ‌تر نیاز به وجود رایانه‌های خیلی قوی‌تری بود که این امکان برای نویسنده مقاله میسر نبود.

جدول ۳: زوایای دید در نظر گرفته‌شده برای سنجش دقت عملکرد الگوریتم به‌ازاء زوایای β معین

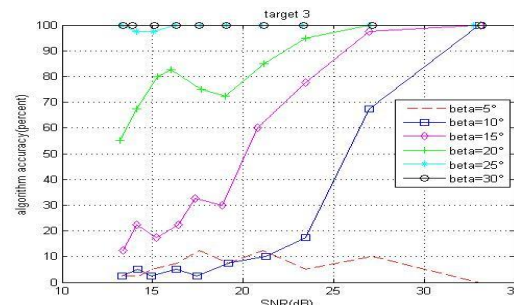
زاویه β در نظر گرفته‌شده بر حسب درجه	شکل ۱۰		شکل ۱۱	
	زاویه دید رادار ۱ (θ_1)	زاویه دید رادار ۲ (θ_2)	زاویه دید رادار ۱ (θ_1)	زاویه دید رادار ۲ (θ_2)
۵	۰	۵	۲۲	۲۷
۱۰	۰	۱۰	۱۳	۲۳
۱۵	۰	۱۵	۳	۱۸
۲۰	۰	۲۰	۹	۲۹
۲۵	۰	۲۵	۱	۲۶
۳۰	۰	۳۰	۰	۳۰



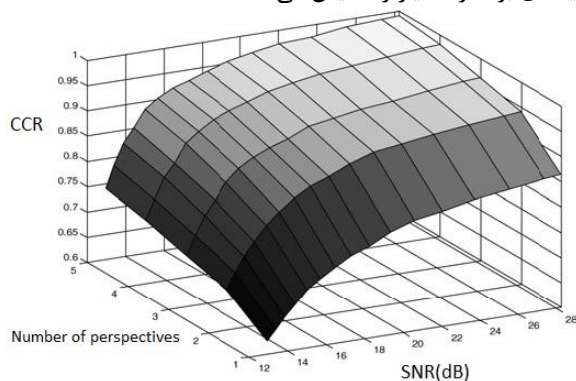
شکل ۱۱: نمایش میزان دقت الگوریتم پیشنهادی بر حسب SNR بر روی شناور اول با زوایای دید متفاوت نسبت به شکل ۱۰



شکل ۱۲: نمایش میزان دقت الگوریتم پیشنهادی بر حسب SNR بر روی شناور دوم



شده است که بتوان امواج الکترومغناطیسی را از جهات مختلف به یک هدف مجزا تاباند و با تجزیه و تحلیل نمایه‌های برد حاصل از هر رادار اقدام به دسته‌بندی اهداف در سه کلاس مختلف نمود. شکل ۱۵ نشان‌دهنده نتایج نهایی حاصل از عملکرد روش‌های بیان‌شده در [۲۶] بر اساس تعداد نمایه‌های برد در اختیار به صورت هم‌زمان می‌باشد. همان‌گونه که در شکل فوق معلوم است، زمانی که از دو نمایه برد برای تشخیص کلاس هدف استفاده شده است در بهترین حالت که مربوط به روش FANN می‌باشد، به عملکردی نزدیک به ۹۵٪ رسیده است. این در حالی است که بر طبق شکل‌های ۱۰ تا ۱۳ روش پیشنهادی تقریب مستطیلی که در اینجا نیز از دو نمایه برد برای تشخیص کلاس هدف استفاده شده است، در صورتی که زاویه بین دو رادار در محدوده رابطه (۹) قرار گرفته باشد، می‌توان به دقتی در حدود ۹۹٪ و بالاتر رسید. از سویی باید توجه داشت که دقت ۹۵٪ حاصل از روش FANN، در چه نسبت سیگنال به نویز به دست آمده است. شکل ۱۶ بیان‌کننده پاسخ به این سؤال می‌باشد. شکل ۱۶ میزان دقت عملکرد روش FANN برحسب نسبت سیگنال به نویز و تعداد نمایه‌های برد در اختیار را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۶: درصد عملکرد روش FANN برحسب SNRهای مختلف و تعداد نمایه‌های برد در اختیار

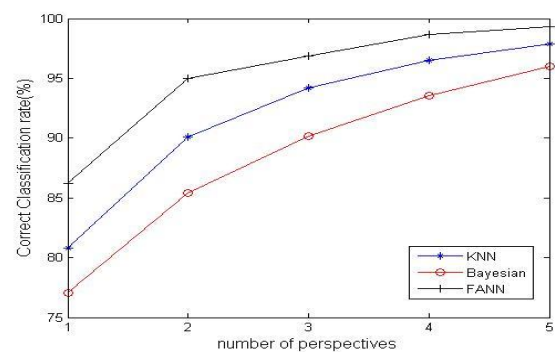
با دقت در این شکل معلوم می‌شود در حالتی که از دو نمایه برد برای تشخیص کلاس هدف استفاده شده است، روش FANN در نسبت سیگنال به نویز ۲۸dB می‌تواند به دقتی در حدود ۹۵٪ دست یابد و این در حالی است که روش تقریب مستطیلی در نسبت سیگنال به نویزهای حدود ۱۵dB به همین دقت عملکرد و حتی بیشتر از آن رسیده است. به عبارت دیگر می‌توان بیان کرد که روش پیشنهادی تقریب مستطیلی در نسبت سیگنال به نویزهای حدود ۲۸dB تقریباً با دقت ۹۹٪ کار می‌کند که این بیانگر بهبود نسبت سیگنال به نویز در روش پیشنهادی تقریب مستطیلی نسبت به دیگر روش‌ها می‌باشد.

۶ نتیجه‌گیری

یکی از موارد مهم در سیستم‌های راداری، دسته‌بندی اهداف می‌باشد که در این مقاله با استفاده از دو رادار HRR، اقدام به انجام این کار شده است. استفاده هم‌زمان این دو رادار و آشکارسازی اهداف دریایی از دو منظر متفاوت، روشی را مهیا ساخته که با تلفیق این عملیات با

نویزهای بالاتری می‌باشد. به عنوان مثال برای زاویه $\beta=15^\circ$ درجه برای رسیدن به دقت بالاتر از ۹۵٪، سیگنال به نویز در حدود ۳۰dB لازم است. با توجه به موارد بیان‌شده، می‌توان نواحی پیشنهادی برای عملکرد مناسب الگوریتم را به صورت رابطه (۹) در نظر گرفت.

در شکل ۱۴ میزان انحراف موجود در زوایای مختلف β ، مابین تعداد سلول‌های فاصله آشکارشده در نمایه‌های نویزی و تعداد سلول‌های فاصله معین‌شده در الگوریتم پیشنهادی (تقریب مستطیلی)، ترسیم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در سیگنال به نویزهای موردنظر (به صورت تقریبی ۱۵dB) در بیشترین حالت حدود ۲۰٪ انحراف وجود دارد. میزان این انحراف‌ها در سیگنال به نویزهای بالا به سمت یک مقدار معین میل کرده است. این مقدار معین همان انحراف بین الگوریتم پیشنهادی با خروجی‌های نرم‌افزار feko می‌باشد. با توجه به شکل‌های فوق نتیجه گرفته می‌شود که شبکه عصبی طراحی‌شده بر اساس داده‌های اعمالی از سوی الگوریتم پیشنهادی، می‌تواند با رعایت محدوده‌های تعیین‌شده برای زاویه β و سیگنال به نویزهای موردنیاز، به خوبی کار دسته‌بندی اهداف را انجام دهد.



شکل ۱۵: درصد عملکرد سه روش پیشنهادی برحسب تعداد نمایه‌های برد در اختیار

در مقام مقایسه با دیگر روش‌ها که با استفاده از رادارهای HRR و بهره‌گیری از زوایای دید مختلف اقدام به دسته‌بندی اهداف نموده‌اند، می‌توان به روش‌های KNN، FANNs و بیزین اشاره کرد [۲۶]. روش KNN یک نظریه تصمیم‌گیری است که در مسائل دسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش پس از تشکیل بردار ویژگی، اندازه‌گیری و انتخاب K تا از نزدیک‌ترین همسایگان یعنی کمترین فاصله‌ها نسبت به قالب‌های موجود صورت گرفته و بدین ترتیب بردار ویژگی به دست آمده، جزء همان قالبی در نظر گرفته می‌شود که فاصله کمتری نسبت به آن داشته باشد و دسته‌بندی انجام می‌گیرد. اساس این کار بر مبنای معیار K نزدیک‌ترین همسایه می‌باشد [۲۷]. FANN یکی از انواع شبکه‌های عصبی با عنوان شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد که برای مسائل دسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اینجا نیز با استفاده از آموزش و یادگیری می‌توان وزن‌های مربوطه را تنظیم و پس از ورود داده‌های موردنظر اقدام به دسته‌بندی نمود. هر دوی این روش‌ها در [۱۱] تعریف و مورد بحث قرار گرفته است. در [۲۶] فرض

- شبکه‌های عصبی، دسته‌بندی اهداف دریایی را ممکن ساخته است. در صورتی که استقرار دو رادار، برای آشکارسازی اهداف دریایی، در محل‌های مناسب انجام پذیرد، ثابت شد که می‌توان با دقت بالای ۹۵ درصد و در وضعیت‌های مناسب بالاتر از ۹۹٪، اقدام به دسته‌بندی اهداف نمود. از مزایای مهم هر طرح برای شناسایی و دسته‌بندی اهداف، سادگی و کم‌بودن بار محاسباتی آن می‌باشد. این مزیت‌ها، در طرح پیشنهادی استفاده از تقریب مستطیلی که می‌توان آن را در اهداف دریایی به کار برد وجود دارد. یکی از موارد موجود در این طرح، این است که هر چه کار آشکارسازی با دقت بالاتری انجام گیرد، نتیجه دسته‌بندی باکیفیت بهتری به دست خواهد آمد. در نهایت پیشنهاد می‌شود که سه مورد در خصوص عملکرد هر چه بهتر این الگوریتم انجام شود. یکی این که می‌توان از روش‌های آشکارسازی دیگری برای عملیات آشکارسازی نمایه‌های برد استفاده کرد تا همچنان بتوان با نسبت سیگنال به نویزهای کمتری دقت‌های بالاتری را به دست آورد و دیگر این که رادارها در ارتفاع بالاتر و مناسبی نسبت به هدف قرار گیرند تا میزان انحراف در محاسبات الگوریتم نسبت به واقعیت، به سبب کاهش مکان‌هایی از هدف که در سایه دیگر مکان‌ها قرار گرفته‌اند، به حداقل برسد. همچنین اگر امکان افزایش تعداد رادارها و ایجاد ارتباط مناسب بین آن‌ها نمود و بتوان ورودی‌های شبکه عصبی را سه‌بعدی یا چندبعدی در نظر گرفت، بر میزان دقت عملکرد الگوریتم اضافه خواهد شد.
- مراجع**
- [8] C. W. Cher. *Radar target identification based on complex natural resonances*, PhD Thesis, University of Queensland, 124, 2015.
 - [9] I. Yuehua and X. Xingjian, "Radar HRRP Target Recognition Based on the Improved Kernel Distance Fuzzy C-Means Clustering Method," *IEICE Transaction on Information and Systems*, vol. 98.9 pp. 1683-1690, 2015
 - [10] U. Batuhan, C. Stanley, and A. Mitchell, "Efficient ATR using compression," *IEEE transactions on aerospace and electronic systems*, vol. 33.4, pp. 1199-1211, 1997.
 - [11] D. et al., *Pattern Classification: 2nd Edition*, New York, John Wiley & Sons, 2001
 - [12] S. Mallinis and M. Tsakiri-Strati, "A hidden markov models approach for crop classification: linking crop phenology to Time Series of multi-sensor remote sensing data," *Remote Sensing*, vol. 7.4, pp. 3633-3650, 2015.
 - [13] M. Achut, "Multiple-instance hidden markov model for gpr-based landmine detection," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, vol. 53.4, pp. 1737-1745, 2015.
 - [14] W. Yadong, "Radar vertical profile of reflectivity correction with tRMM observations using a neural network approach," *hydrometeorology*, vol. 16.5, pp. 2230-2247, 2015.
 - [15] C. Marvin, "Radar signature database validation for automatic target recognition," *U.S. Patent No. 8.350.749*, 8, Jan. 2013.
 - [16] F. Beckner, et. al. *Automatic Radar Target Identification (ARTI) Phase H (U)*. Technical Report WRDC-TR-90-1003, Wright-Patterson AFB, OH: General Dynamics (Pomona) and U.S. Air Force Wright Labs, General Dynamics, March 1992
 - [17] Unknown, Author. *Automatic Radar Target Identification (ARTI) Phase IliA: Algorithm Q User's Manual*. Technical Report contract F33615-89-C-1099, Item 0001, CDRL 018-AID, General Dynamics, September 1991
 - [18] H. Arthur, B. Dominic and R. Hadley, "Polarization-diverse, heterodyne optical receiving system," *U.S. Patent No. 8.401.401.19*, Mar. 2013.
 - [۱۹] سیدمحمد رضا موسوی، محمد خویشه؛ احسان ابراهیمی و فلاح محمدزاده، «دسته‌بندی اهداف سوناری توسط الگوریتم بهینه‌ساز ازدحام ذرات با گروه‌های مستقل»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، ۴۷، ۲۶۳-۲۷۴، بهار ۱۳۹۶
 - [۲۰] رحیم انتظاری، علی جبار رشیدی، «استخراج تصویر از اهداف با حرکت غیریکنواخت در رادار دهانه ترکیبی معکوس»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، ۴۷، ۳۹۱-۴۰۰، ۱۳۹۶
 - [21] M. zhu and B. zhao, "Sparse Representation Denoising for Radar High Resolution Range Profiling," *Antennas and Propagation*, vol. 17, 2014.
 - [۲۲] مهدی هادوی، عبدالله آجورلو، محمد مهدی نایی، محمدحسن باستانی، «مدلسازی وابستگی کوتاه مدت و بلندمدت نمونه‌های متوالی تابع پروفیل فاصله اهداف به منظور
 - [1] D. Freitas, A.J Pieter de Villiers and Willie AJ Nel, "Joint inference of dominant scatterer locations and motion parameters of an extended target in high range-resolution radar," *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 9, pp. 519-530, 2015.
 - [2] T. Jinsong and Zhu. Zhaoda, "Comparison study on high resolution radar target recognition," *Aerospace and Electronics Conference*, Vol. 1, 1996
 - [3] H. Xiao, et al. "Aircraft target recognition using adaptive time-delay neural network," *Aerospace and Electronics Conference, Proceedings of the IEEE* Vol. 2, 1997.
 - [4] H. Xiao, et al. "On Notions of Information Transfer in VLSI Circuits." *Proceedings of the IEEE National Aerospace and Electronics Conference*. 1997
 - [5] M. Richard and J. Westerkamp. "A statistical feature based classifier for robust high range resolution radar target identification," *Automatic Target recognition Working Group*, 1997.
 - [6] E. Christopher, "Classification of Ultra High Range Resolution Radar Using Decision Boundary Analysis," *Air force inst of tech wright-patterson AFB OH*, 1994.
 - [7] T. J. and Z. Zhu. "High resolution radar detection based on fractal dimension," *Aerospace and Electronics Conference, Proceedings of the IEEE*, Vol. 1, 1996.

تشخیص اهداف راداری»، مجله رادار دانشگاه جامع امام

حسین (ع)، ۳، ۵۲-۴۲، تابستان ۱۳۹۴

[23] G. Sun, X. Dong, and G. Xu, "Tumor tissue identification based on gene expression data using DWT feature extraction and PNN classifier," *Neurocomputing*, vol. 69, pp. 387-402, 2006.

[۲۴] مریم‌السادات خاتمی، تولید نمایه‌های برد در رادارهای با

قدرت تفکیک بالا، کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی،

تهران، ۹۶، ۱۳۹۵

[۲۵] علی‌محمد دهقانی، سیدمحمد علوی، عباس شیخی، رضا

حق‌مرام و مریم‌السادات خاتمی، «تخمین حالت دریا با

استفاده از رادار با قدرت تفکیک بالا»، مجله رادار دانشگاه

جامع امام حسین (ع)، ۱۴، ۴۰-۳۱، زمستان ۱۳۹۵

[26] V. Michele, J. Baker, and D. Griffiths. "Radar target classification using multiple perspectives," *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 1.4, pp. 300-307, 2007.

[۲۷] وحیده منعمی‌زاده، جواد حمیدزاده، «جستجوی k

نزدیک‌ترین همسایه با روش ترکیب خطی»، مجله مهندسی

برق دانشگاه تبریز، ۸۱، ۱۲۴۹-۱۲۷۳، پاییز ۱۳۹۶