

## پردازش دیجیتال در رادار جستجوگر دریایی با استفاده از FPGA

محسن امیدوار

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دشتستان، دشتستان، ایران

مژده حیدریان اصل\*

عضو هیات علمی، استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دشتستان، دشتستان، ایران

### چکیده

امروزه یکی از مهمترین سیستم های بنیادی در شناورها و کشتی ها ، رادار جستجوگر دریایی می باشد که به تعیین موقعیت در دریا می پردازد و همواره افزایش سرعت پردازش در این رادار ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. در حال حاضر رادارهای مذکور از پردازشگر های مبتنی بر پردازنده های با سرعت بالا استفاده می نمایند که با چالش هایی همراه است . در این پژوهش سعی در برطرف کردن عیوب رادارهای مبتنی بر پردازنده ، با بکارگیری از تراشه FPGA ارائه گردیده است . تراشه FPGA به علت انعطاف پذیری زیاد ، نیاز به منابع کم توان ، سرعت پیاده سازی، عیب یابی مناسب، انجام پردازش های موازی بسیار مورد توجه است. این روش مبتنی بر استفاده از نرم افزار شرکت زایلینکس بنام ISE می باشد که امکان طراحی و توسعه ساده تر پردازشگر دیجیتال مبتنی بر تراشه FPGA را در محیط نرم افزار سیمولینک متلب فراهم آورده است. نتایج شبیه سازی و مقایسه خروجی تراشه FPGA با دیگر پردازنده ها بیانگر کارایی بسیار خوب پردازشگر مبتنی بر تراشه FPGA برای رادارهای جستجوگر دریایی می باشد.

واژگان کلیدی: رادار دریایی ، گیرنده ی دیجیتال ، پردازش سیگنال ، تراشه ی FPGA

### مقدمه

رادار (RADAR) مخفف Radio Detection And Ranging ، به معنای کشف و فاصله یابی رادیویی گرفته شده است ( Skolnik,1981). رادار یک دستگاه الکترومغناطیسی است که برای کشف و تعیین موقعیت اشیاء بازتابنده از قبیل هواپیما، کشتی،

فضایما، خودرو و محیط پیرامونی به کار می رود و براساس تابش انرژی در فضا و آشکار نمودن پژواک بازگشتی از اشیاء یا اهداف بازتابنده کار می کند. انرژی برگشتی به رادار نه تنها وجود هدف را مشخص می کند بلکه از طریق مقایسه پژواک برگشتی با سیگنال ارسالی، موقعیت و سایر اطلاعات مربوط به هدف را مشخص می کند (علوی و همکاران، ۱۳۹۴).

رادار جستجوگر دریایی یکی از مهم ترین تجهیزات و سامانه هایی است که در شناورها و کشتی ها یا در ساحل دریا مورد استفاده قرار می گیرد و به مشاهده محیط دریا و تعیین موقعیت اهداف (شناورها) در دریا در شرایط مختلف جوی می پردازد و به عنوان مهم ترین وسیله در عملیات ناوبری شناخته می شود (Ji et al,2018; Liu et al,2004; Nikolic et al,2018).

از وظایف یک رادار جستجوگر دریایی، تعیین موقعیت و مشخصات حرکتی شناورها (مانند اطلاعات فاصله، سرعت، جهت حرکت و ...) نسبت به موقعیت رادار است. رادارهای جستجوگر دریایی معمولاً بصورت مونواستاتیک بوده، به این معنا که فرستنده و گیرنده رادار در کنار همدیگر و بدون فاصله یا با فاصله اندک از یکدیگر قرار می گیرند.

یکی از انواع رادارهای دریایی، رادارهای استقرار ساحلی بوده که با استفاده از خاصیت انتشار امواج باند HF در سطح دریا، قادر به آشکارسازی اهداف با فواصل بسیار زیاد خواهند بود (Dzvonkovskaya et al,2018; sun et al,2018; El-Darymli et al, 2018).

از آنجایی که این رادارها از خاصیت انتشار امواج در سطح دریا استفاده می کنند به رادارهای موج سطحی شهرت دارند. در شکل ۱، نمونه ای از این رادارها آورده شده است. این گونه رادارها، معمولاً محدوده برد وسیعی در حدود بیش از ۳۰۰ کیلومتر و محدوده زاویه ای در حدود ۹۰ تا ۱۲۰ درجه را پوشش می دهند.

در این رادارها از یک آرایه آنتن جهتی برای دریافت سیگنال ها استفاده می کنند. از مزایای استفاده از آنتن های آرایه ای می توان به افزایش نسبت سیگنال به نویز در گیرنده، مقابله با پدیده چند مسیری و نیز قابلیت استخراج زاویه رؤیت اهداف مختلف اشاره نمود.



شکل ۱: نمونه ای از یک رادار دریایی موج سطحی (Nikolic et al,2018)

عملکرد رادار جستجوگر دریایی و غیردریایی یکسان است، اما با توجه به وجود کلاترهای خاص دریایی (انعکاس ها ناخواسته از سطح آب دریا که مثل آینه عمل می کنند) ملاحظات ویژه ای در طراحی رادار های دریایی لحاظ می شود. سیگنال های کلاتر دریایی عامل محدود کننده عمده در شناسایی اهداف نزدیک آب و یا روی آب می باشد.

کلاتر در رادار، برگشت ناخواسته امواج از کلیه اجسام غیر از هدف را شامل می شود (علوی و همکاران، ۱۳۹۴ و مالکی و همکاران، ۱۳۹۴). کلاتر باعث کاهش کارایی رادار و از بین رفتن سیگنال هدف و ایجاد اهداف دروغین در رادار می شود. به سیگنال های بازگشتی از اهداف غیرحقیقی و مزاحم سیگنال کلاتر می گوئیم. کلاتر زمانی ایجاد اختلال می کند که توان سیگنال بازگشتی آن بیش از توان سیگنال بازگشتی از هدف باشد. چنانچه میزان انعکاس امواج از سطوح دریا نسبت به برگشت های امواج از هدف بیشتر باشد آشکارسازی هدف بسیار مشکل خواهد بود (Wang et al, 2013). رادار جستجوگر دریایی علاوه بر اینکه موقعیت سایر کشتی ها بصورت اطلاعات، فاصله و سمت نسبت به موقعیت کشتی خودی مشخص می کند، برای تعیین موقعیت خود کشتی نیز مورد استفاده قرار می گیرد که به نقطه یابی برای کشتی معروف است. همچنین رادار دریایی میتواند اطلاعات حرکتی اهداف شامل، راه و سرعت شناور مقابل، نزدیک ترین نقطه عبور شناور های اطراف کشتی (CPA) را محاسبه نماید. با توجه به وجود ۱۴ باند فرکانسی، رادارهای دریایی فقط از دو باند X و S استفاده می کنند و همچنین با توجه به طول موج این دو باند، ارتباط مستقیمی بین طول موج راداری و پهنای بیم افقی رادار وجود دارد. با باریک شدن پهنای بیم افقی رادار، تفکیک پذیری بهتر اهداف و دقت در اکوهای جزئیات اهداف می گردد. در رادار دریایی طول آنتن رادار با طول موج ایجاد شده ارتباط مستقیمی دارد بنابراین برای افزایش طول موج راداری نیاز به آنتن با ابعاد بزرگتر می باشد (علوی و همکاران، ۱۳۹۴).

رادارهای دریایی باند S با طول موج 10cm در مقایسه با رادارهای باند X با طول موج 3cm، دارای پالس بلندتر و پهنای بیم راداری بزرگتری هستند و به دلیل داشتن طول موج بلندتر، در هوای طوفانی و خراب، تاثیر اکوهای کاذب ناشی از امواج، روی آنها به مراتب کمتر است و دارای تصویری بهتر از هدف هستند. در رادارهای دریایی برای هدف یابی در فواصل دور از رادار باند S (بیشتر از ۱۲ مایل) استفاده می شود ولی در فواصل نزدیک (کمتر از ۱۲ مایل) از رادارهای باند X با طول موج 3cm که دارای دقت بالا در تشخیص جزئیات اهداف و تفکیک پذیری بهتری هستند استفاده می شود. رادارهای دریایی بر اساس آنتن از نوع مونو استاتیک تمام جهتی هستند و همچنین طبق تقسیم بندی نحوه ارسال امواج، از نوع رادار پالسی است و از یک آنتن به عنوان گیرنده و فرستنده استفاده می کند. در رادارهای دریایی فاصله تا هدف برحسب مایل است و اندازه یک مایل راداری در رادارهای دریایی برابر با ۱۲.۳۵ میکرو ثانیه است. عوامل موثر در میزان انعکاس امواج از سطح دریا عبارتند از: سرعت باد، طول مدت زمانی و جهت وزش باد، جهت امواج نسبت به پرتو اصلی رادار، امواج بلند آب دریا، وجود آلودگی در سطح آب، فرکانس کار رادار، نوع پلاریزاسیون موج ارسالی، زاویه تابیدن امواج رادار به سطح دریا نسبت به افق و اندازه سطح قابل رویت رادار. در کاربری رادارهای دریایی یکی از موضوعات مهم بکارگیری رادار با پردازشگر دیجیتال مبتنی بر تراشه FPGA می باشد که با آشنایی با مفاهیم و مبانی تراشه FPGA و طراحی خودکار مدار های دیجیتال با FPGA با زبان توصیف سخت افزار VHDL، میتوان تسلط و اطلاعات خیلی خوبی درباره رادار جستجوگر دریایی داشت (Merrill, 1981; علوی و همکاران، ۱۳۹۴).

استفاده از پردازشگر دیجیتال مبتنی بر تراشه FPGA در پردازشگر دیجیتال واحد گیرنده رادار جستجوگر دریایی منجر به افزایش کارایی در کشف و شناسایی اهداف، افزایش قابلیت اطمینان، سخت افزار کوچکتر و هزینه کمتر و همچنین افزایش بسیار زیاد سرعت پردازش سیگنال در مراحل طراحی و پیاده سازی و ساخت می شود. که این روش مبتنی بر استفاده از نرم افزار ارائه شده توسط شرکت زایلینکس بنام ISE می باشد که امکان طراحی و توسعه ساده تر پردازشگر دیجیتال مبتنی بر تراشه FPGA را فراهم آورده است. نتایج شبیه سازی سخت افزاری و مقایسه خروجی تراشه FPGA با پردازشگر مبتنی بر دیگر پردازنده ها بیانگر کارایی بسیار خوب پردازشگر مبتنی بر تراشه FPGA برای رادارهای جستجوگر دریایی می باشد.

با توجه به اینکه در حال حاضر رادارهای جستجوگر دریایی بکار برده شده بر روی شناور های صیادی و باری و همچنین اکثر شناور های نظامی از پردازشگر مبتنی بر پردازنده استفاده می کنند و با توجه به معایب اینگونه رادارها، طراحی و ساخت و بومی سازی رادارهای جستجوگر دریایی با پردازشگر مبتنی بر تراشه FPGA در داخل کشور و بی نیازی از واردات این گونه رادارها و جلوگیری از خروج ارز، در

راستای اجرای فرهنگ اقتصاد مقاومتی از ضرورت های خاص انجام این تحقیق می باشد. بهبود و اجرای پردازش الگوریتم های پیشرفته سیگنال های دریافتی رادار جستجوگر دریایی با استفاده از FPGA از اهداف این مقاله می باشد. در راستای انجام پژوهش جاری، ابتدا عملکرد پردازشگرهای مبتنی بر پردازنده در گیرنده رادار جستجوگر دریایی بررسی شده و نقاط قوت و ضعف این گونه پردازشگر ها در عملکرد رادار جستجوگر دریایی مشخص شده است. در ادامه سعی در برطرف کردن عیوب رادارهای مبتنی بر پردازنده با بکارگیری تراشه FPGA گردیده است. در نهایت نتایج بدست آمده با استفاده از پردازشگر مبتنی بر تراشه FPGA مقایسه می شود.

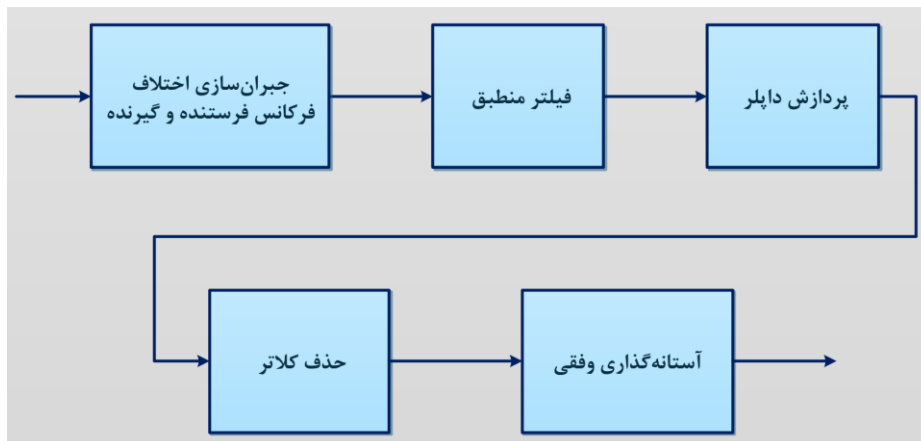
## روش تحقیق

پردازنده مبتنی بر FPGA به دلیل سرعت پردازش بسیار بالا در پیاده سازی توابع پیچیده دیجیتال بسیار مناسب است. همچنین، با استفاده از FPGA، سخت افزار مورد استفاده کاهش می یابد و دارای برنامه نویسی ساده و استاندارد می باشد. پردازش حجم زیادی از داده ها در این رادار، نیازمند فضای حافظه عظیمی است که تأمین این میزان حافظه به کمک منابع داخلی FPGA امکان پذیر نیست که برای ذخیره اطلاعات باید حافظه خارجی مورد استفاده قرار گیرد. برای این منظور از دو حافظه از نوع SDRAM و FLASH استفاده می گردد (Yang, 2017; Le, 2004).

### ۱. بلوک دیاگرام واحد پردازش

انتخاب پالس مناسب در رادارهای جستجوگر دریایی جهت بهبود آشکارسازی اهداف از اهمیت ویژه ای برخوردار است. از یک طرف، در سطح دریا اهداف زیادی با فاصله ی بسیار کم از یکدیگر در حال حرکت هستند، لذا لازم است رادار دریایی مورد نظر دارای قدرت تفکیک پذیری بالایی در برد باشد. با کاهش عرض پالس ارسالی می توان قدرت تفکیک پذیری را بهبود داد اما این کار باعث کاهش توان متوسط و لذا کاهش آشکارسازی اهداف خواهد شد. بنابراین، انتخاب مدولاسیون درون-پالسی مناسب جهت افزایش قدرت تفکیک پذیری رادار بدون کاهش توان متوسط ارسالی دارای اهمیت ویژه ای است. لذا، در گیرنده لازم است پردازش مناسب جهت فشرده سازی پالس در نظر گرفته شود. این پردازش در واقع همان فیلتر منطبق خواهد بود. از طرف دیگر، کلاتر دریا که همان امواج ساکن و متحرک دریا است دارای داپلر مشخصی بوده و لذا لازم است با استفاده از پردازش داپلر مناسب، کلاتر دریا و اهداف را از یکدیگر جدا نمائیم.

بعد از جداسازی کلاتر دریا از اهداف، مرحله بعد حذف کلاتر دریا بوده که این کار می تواند توسط یک فیلتر مناسب صورت پذیرد. از آنجایی که محدوده داپلر امواج دریا مشخص است، می توان یک فیلتر مناسب انتخاب نموده بگونه ای که همه فرکانس ها غیر از فرکانس داپلر مربوط به کلاتر دریا را عبور داده و تنها فرکانس های مربوط به کلاتر دریا را حذف نماید. بعد از مرحله پردازش سیگنال لازم است الگوریتم مناسب جهت آشکارسازی اهداف انتخاب شود. الگوریتم مناسب می تواند استفاده از آستانه گذاری باشد. از آنجایی که پردازش های در نظر گرفته شده شامل فیلتر و پردازش داپلر است. آستانه گذاری نیز باید در دو بُعد انجام شود. از این رو، بلوک دیاگرام بخش پرواز سیگنال و آشکارسازی اهداف می تواند به صورت شکل ۲ باشد که در ادامه به بررسی هر یک از این بلوک های پردازشی می پردازیم.



شکل ۲: بلوک دیاگرام بخش پردازش سیگنال و آشکارسازی اهداف

## ۲. جبران سازی اختلاف فرکانس فرستنده و گیرنده

از آنجایی که ممکن است در فرستنده و گیرنده از مولدهای فرکانس متفاوتی (مانند DDSهای با دقت بیت مختلف) استفاده کنند، مقدار دقیق فرکانسهای فرستنده و گیرنده یکسان نبوده و یک اختلاف جزئی در حدود چند صد هرتز ایجاد می شود. از این رو، قبل از شروع پردازش لازم است این اختلاف فرکانس جبران سازی شود. از آنجایی که سیگنال ورودی به صورت مختلط بوده و از دو بخش  $I$  و  $Q$  تشکیل می شود، می توان سیگنال ورودی را در یک سینوسی مختلط با فرکانسی برابر اختلاف فرکانس اشاره شده ضرب نمود. در صورتی که سیگنال ورودی را با رابطه (۱) نشان دهیم:

$$s(t) = I(t) + jQ(t) \quad (1)$$

سیگنال جبران سازی شده برابر است با:

$$s_c(t) = s(t) \times e^{j2\pi\Delta f t} \quad (2)$$

که در رابطه فوق،  $\Delta f$  همان اختلاف فرکانس اشاره شده است.

## ۳. بررسی تئوری فیلتر منطبق

همان گونه که در فصل قبل اشاره شد، به منظور افزایش توان متوسط ارسالی و نیز بهبود قدرت تفکیک پذیری رادار دریایی، لازم است از پالس بلند با مدولاسیون درون - پالسی مناسب استفاده نماییم. یکی از مدولاسیون های پر کاربرد در رادارهای دریایی مدولاسیون خطی فرکانس LFM است. رابطه پالس LFM با عرض پالس  $\tau$  و پهنای باند  $B$  به صورت زیر است:

$$p(t) = e^{jk\pi t^2}, \quad -\frac{\tau}{2} \leq t < \frac{\tau}{2} \quad (3)$$

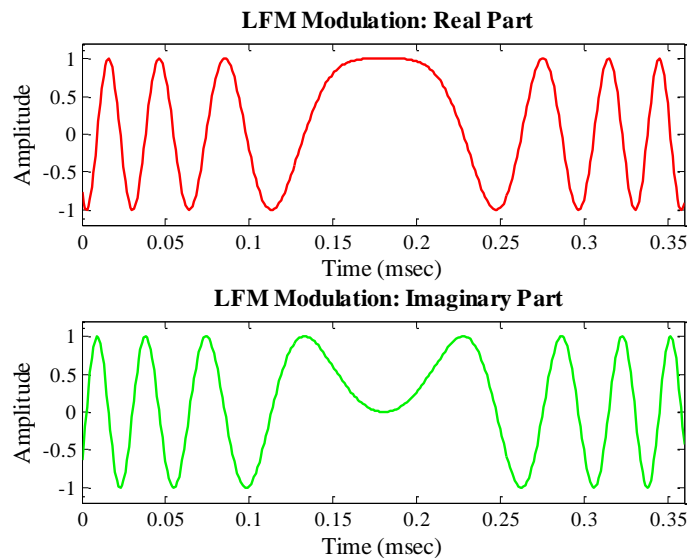
که در رابطه فوق،  $k \triangleq \frac{B}{T}$  است. در شکل ۳، بخش های حقیقی و موهومی پالس LFM نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، فرکانس پالس LFM ابتدا کاهش و سپس افزایش می یابد [56, 57, 58, 59, 60]. با توجه به رابطه فوق، فاز سیگنال LFM برابر است با:

$$\phi(t) = k\pi t^2 \quad (4)$$

با مشتق گیری از رابطه فوق، فرکانس لحظه ای به صورت زیر بدست می آید:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt} = \frac{1}{2\pi} \times 2k\pi t = kt \quad (5)$$

همانگونه که مشاهده می کنیم، یک فاز خطی با ضریب  $k$  بدست آمده است. به منظور آشکارسازی پالس LFM فوق در گیرنده لازم است از یک آشکارساز مبتنی بر فیلتر منطبق استفاده نمائیم. فیلتر منطبق یک فیلتر FIR بوده که ضرایب آن همان پالس LFM مورد استفاده است. از آنجایی که پالس LFM یک پالس مختلط است، لذا ضرایب فیلتر FIR نیز مختلط خواهند بود.



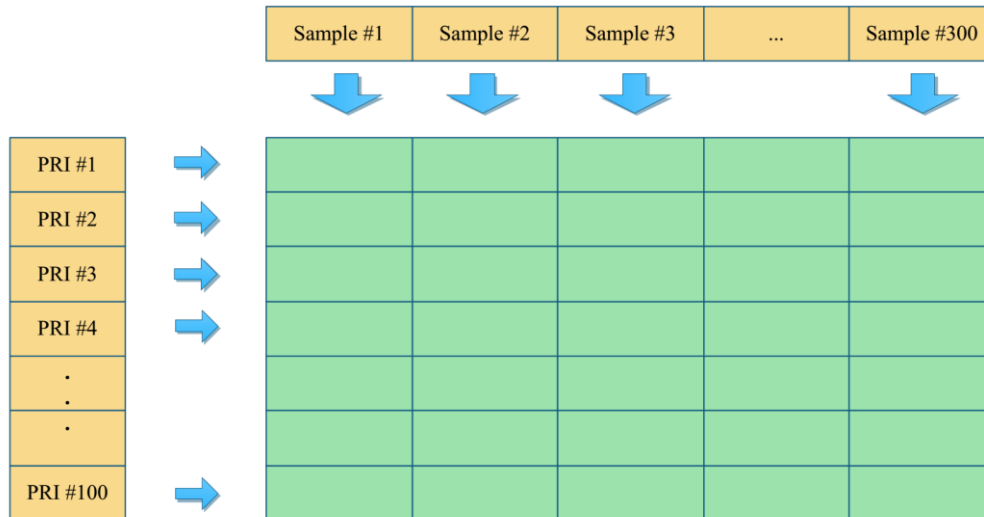
شکل ۳: بخش های حقیقی و موهومی پالس LFM

#### ۴. بررسی تئوری اثر و پردازش داپلر

در فصل های قبل اشاره کردیم که حرکت نسبی اهداف نسبت به رادار و کلاتر دریا باعث جابجایی فرکانس سیگنال بازگشتی نسبت به سیگنال ارسالی می گردد. این جابجایی فرکانس را اصطلاحاً فرکانس داپلر می گویند که به سرعت شعاعی هدف نسبت به رادار  $v_r$  و طول موج کاری رادار  $\lambda$  بستگی دارد. مقدار فرکانس داپلر از رابطه زیر بدست می آید (lu,2019; Brandwood,2011):

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda}$$

(۶)



شکل ۴: نمای مفهومی ماتریس دو-بعدی برد-دایر

به عنوان مثال، در صورتی که سرعت شعاعی یک کشتی نسبت به رادار برابر ۶ متر بر ثانیه و فرکانس کاری رادار ( $f_c$ ) برابر ۵۰ مگاهرتز باشد، طول موج رادار و فرکانس هدف به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = \frac{3 \times 10^8}{50 \times 10^6} = 6 \text{ m}$$

(۷)

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} = \frac{2 \times 6}{6} = 2 \text{ Hz}$$

(۸)

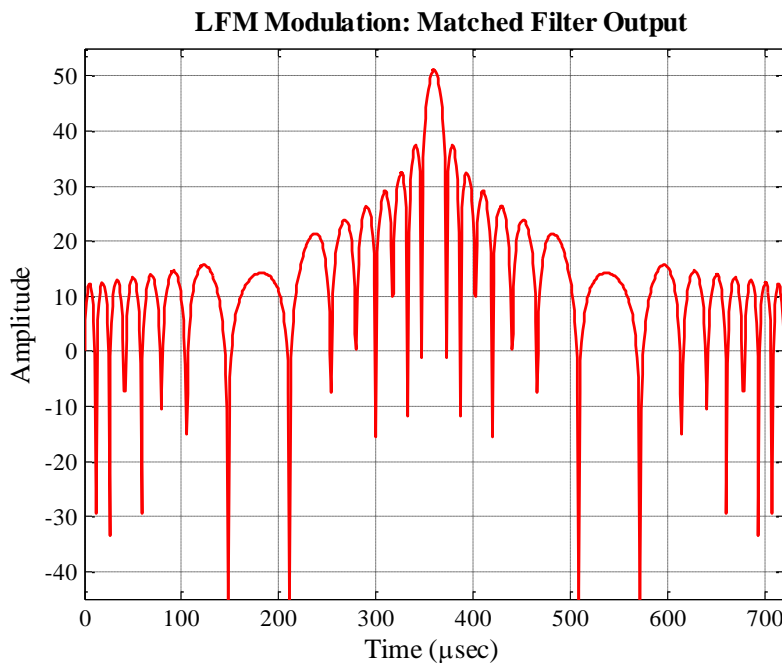
بنابراین، از دید گیرنده رادار، سیگنال برگشتی حامل یک سیگنال سینوسی با فرکانسی برابر فرکانس داپلر هدف بوده و اثر این سیگنال سینوسی را می‌توان بر روی دامنه پالس‌های برگشتی در PRI‌های متوالی مشاهده نمود. به بیان دیگر، سیگنال دریافتی در PRI‌های متوالی حاوی یک سیگنال سینوسی است که با استفاده از تکنیک FFT می‌توان این سیگنال سینوسی را در حوزه فرکانس به خوبی آشکارسازی کرد. لازمه این کار این است که سیگنال‌های برگشتی از یک هدف در PRI‌های متوالی کنار هم قرار گرفته و سپس از تکنیک  $\{FFT\}$  استفاده شود. مطابق بلوک دیاگرام شرح داده شده در ابتدای این بخش، ابتدا سیگنال‌های برگشتی از فیلتر منطبق عبور داده می‌شوند. در مرحله بعد، سیگنال‌های مربوط به در PRI‌های متوالی زیر هم قرار داده می‌شوند. در صورتی که تعداد نمونه‌های سیگنال در یک PRI برابر  $M$  نمونه و تعداد PRI‌های متوالی جهت اعمال تکنیک FFT برابر  $N$  در نظر گرفته شود، بعد از قرار دادن زیر هم سیگنال‌های برگشتی از PRI‌های متوالی، یک ماتریس  $N \times M$  حاصل خواهد شد (مطابق شکل ۴). تکنیک FFT بر روی هر یک از ستون‌های ماتریس حاصل اعمال می‌شود (Brandwood, 2011).

یافته ها

## پیاده سازی الگوریتم های پردازش یک رادار دریایی نوعی در FPGA

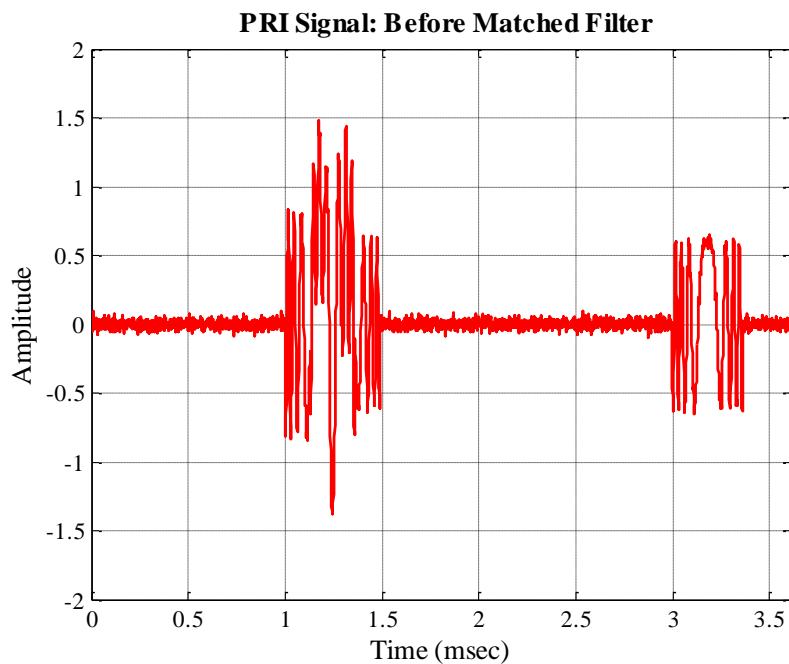
### ۱. پیاده سازی فیلتر منطبق در MATLAB

در شکل ۵، اندازه پاسخ خروجی فیلتر منطبق برای پالس LFM نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می کنیم، عرض پالس خروجی فیلتر منطبق که همان لوب اصلی است، بسیار کمتر از عرض پالس LFM است. در بخش پردازش لازم است سیگنال های دریافتی در بازه ی یک PRI از فیلتر منطبق عبور کنند. در این صورت، اهداف موجود در یک PRI با استفاده از فیلتر منطبق آشکارسازی و از یکدیگر تفکیک می شوند. در شکل های ۶ و ۷، سیگنال برگشتی ناشی از حضور ۳ هدف در محدوده دید رادار که در یک PRI دریافت شده اند، قبل و بعد از فیلتر منطبق مشاهده می شود. همانگونه که می بینیم، اهداف بعد از فیلتر منطبق به خوبی از یکدیگر تفکیک شده اند.

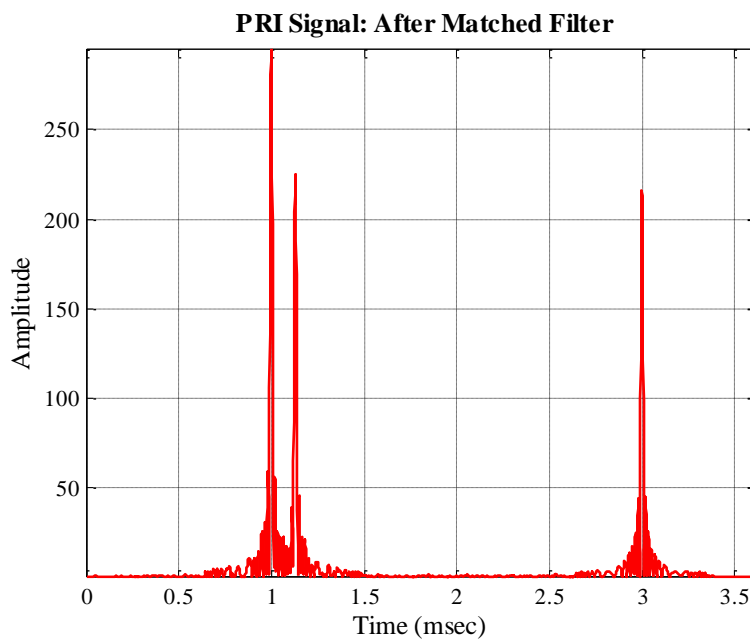


شکل ۵: منحنی اندازه پاسخ خروجی فیلتر منطبق برای پالس LFM





شکل ۶: سیگنال برگشتی ناشی از حضور ۳ هدف در یک PRI قبل از فیلتر منطبق

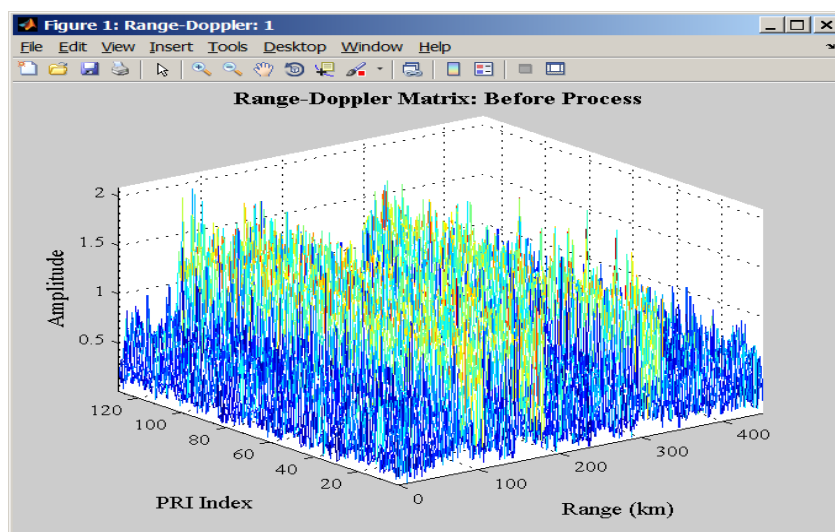


شکل ۷: سیگنال برگشتی ناشی از حضور ۳ هدف در یک PRI بعد از فیلتر منطبق

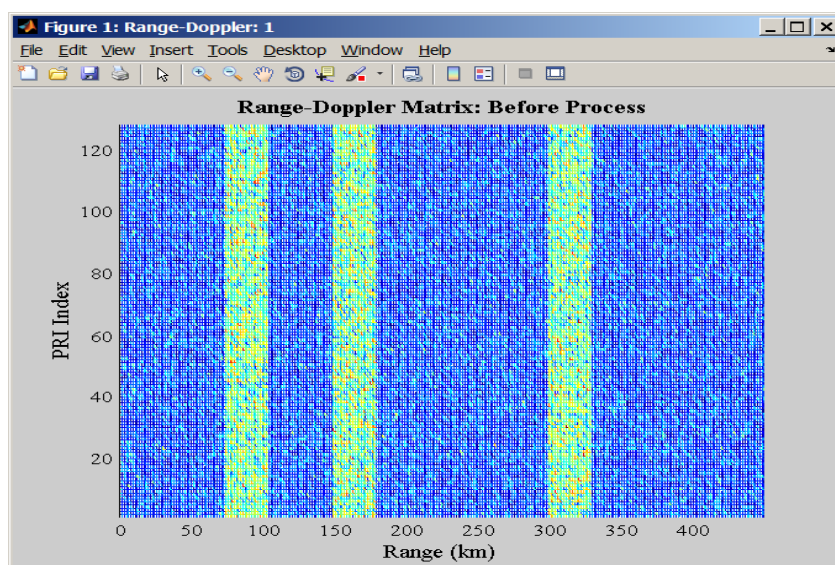
## ۲. پیاده سازی اثر و پردازش داپلر در MATLAB

در شکل های ۸ تا ۱۳، سیگنال های برگشتی قبل از فیلتر منطبق، قبل از پردازش داپلر و بعد از پردازش داپلر نشان داده شده اند. در این شبیه سازی، تعداد نمونه ها در یک PRI برابر ۳۰۰ نمونه و تعداد PRI های متوالی جهت اعمال تکنیک FFT برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده

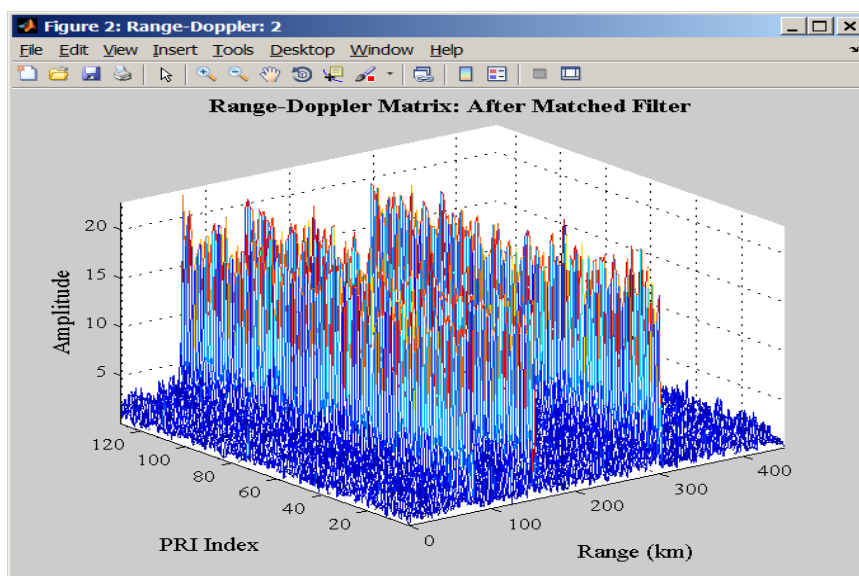
است. همانگونه که مشاهده می کنیم، قبل از پردازش، سیگنال های برگشتی از اهداف در PRI های متوالی حاوی سه هدف به SNR پایین و پخش شدگی زیاد در بُرد است. با عبور سیگنال های دریافتی از فیلتر منطبق، سیگنال های مربوط به اهداف، در بُرد فشرده شده و SNR آنها نیز افزایش یافته است. اما در بُرد داپلر، پخش شدگی در همه PRI ها وجود دارد. به منظور افزایش بیشتر SNR و کاهش پخش شدگی در بُرد داپلر، سیگنال های خروجی فیلتر منطبق را به بخش پردازش داپلر می دهیم. در بخش پردازش داپلر، از سیگنال دو-بُعدی خروجی فیلتر منطبق و در بُرد دوم، FFT گرفته می شود. بمنظور اعمال تکنیک FFT، می توان تعداد نقاط FFT را برابر توانی از ۲ در نظر گرفت. این مقدار باید از تعداد PRI های دریافتی در یک بازه زمانی پردازش همدوس بیشتر باشد. در مثال فوق، تعداد نقاط FFT را می توان برابر ۱۲۸، ۲۵۶، ۵۱۲ یا ... در نظر گرفت.



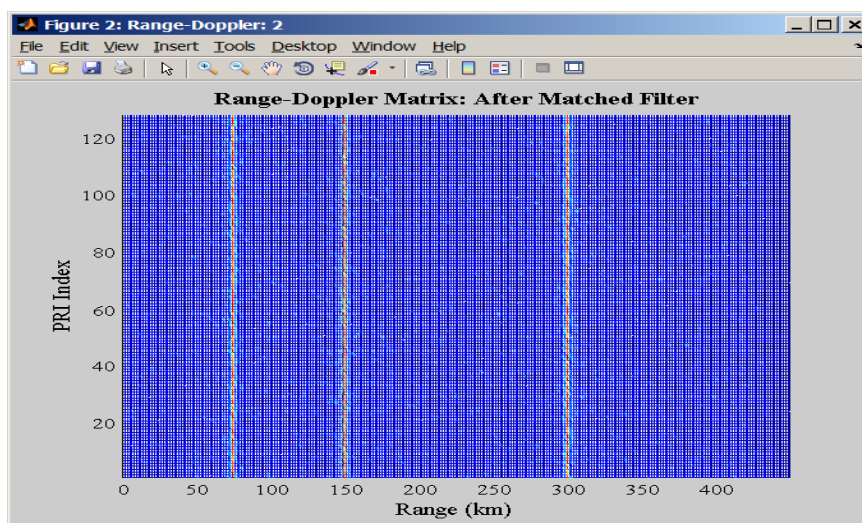
شکل ۸: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر قبل از پردازش



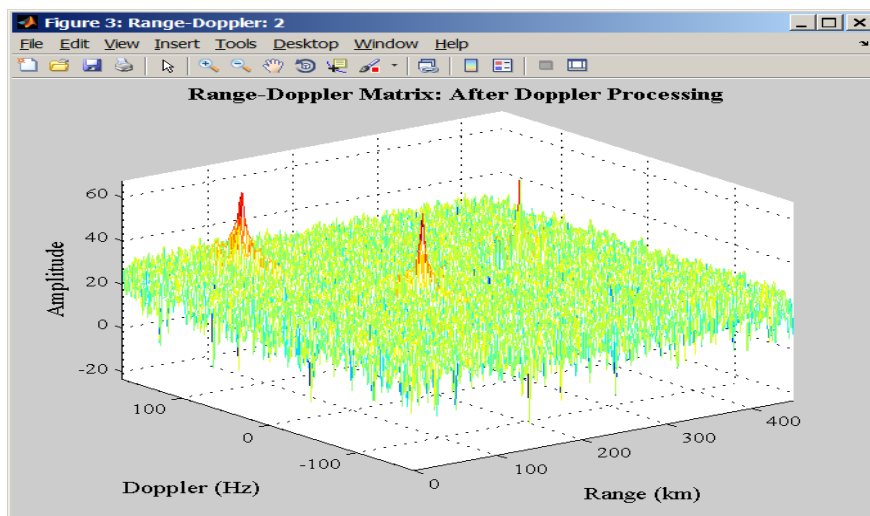
شکل ۹: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر قبل از پردازش (نمای دو-بُعدی)



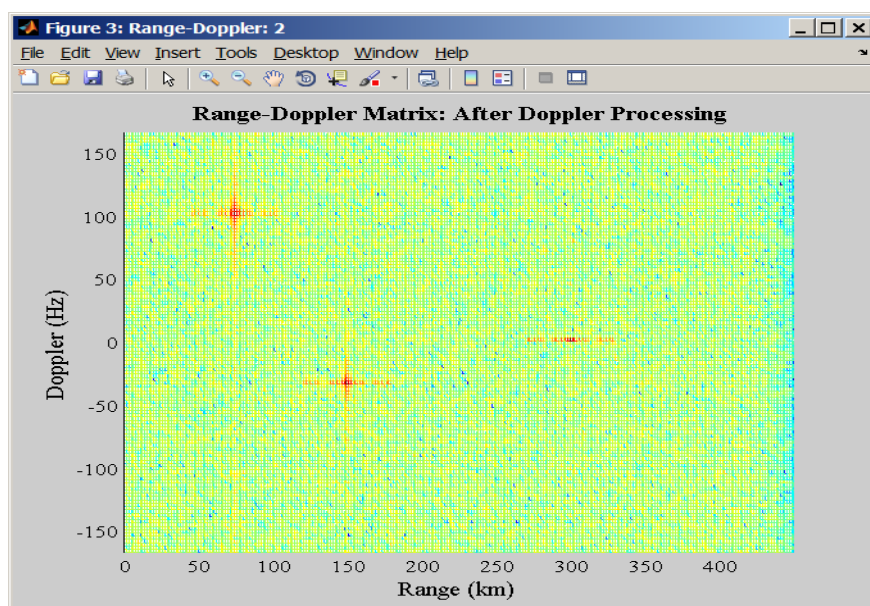
شکل ۲: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر بعد از فیلتر منطبق



شکل ۳: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر بعد از فیلتر منطبق (نمای دو-بُعدی)



شکل ۱۲: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر بعد از پردازش داپلر

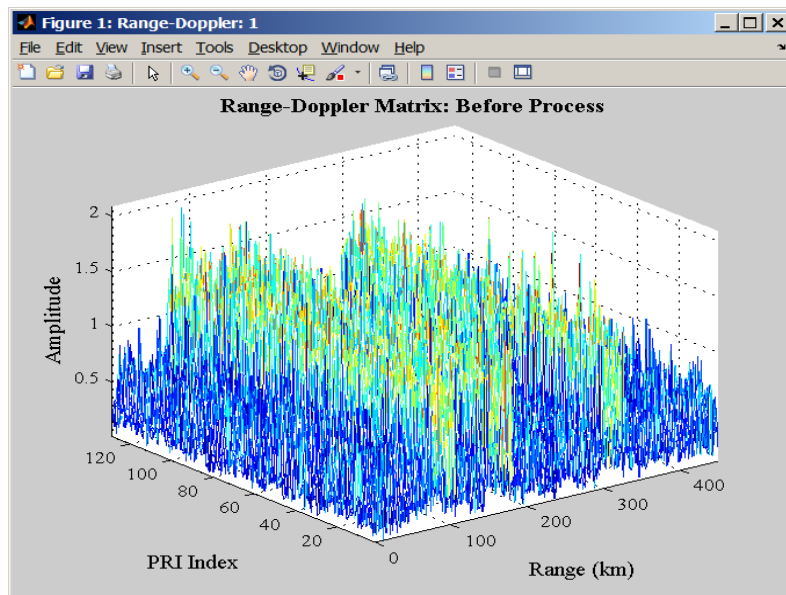


شکل ۱۳: (نمای دو-بُعدی) ماتریس و-بُعدی برد-داپلر بعد از پردازش داپلر

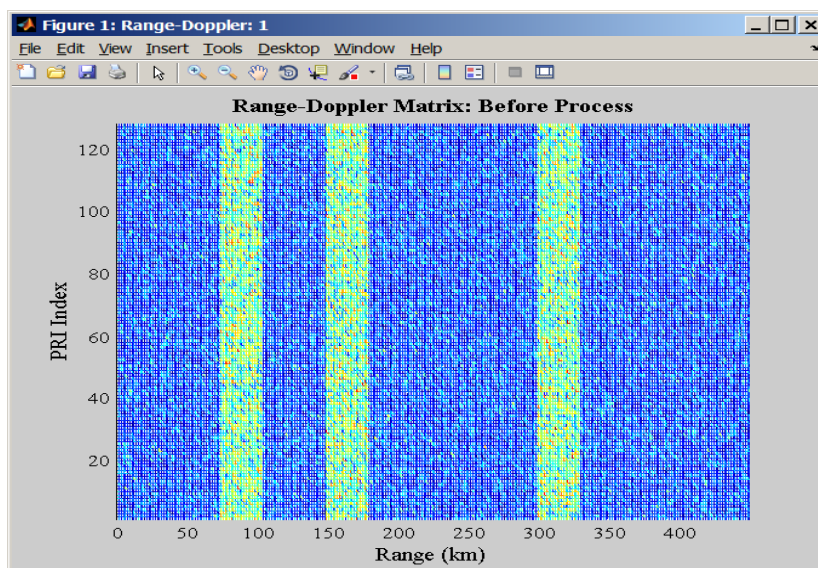
### ۳-۱۶. حذف کلاتر دریا با استفاده از شبیه سازی در نرم افزار MATLAB

یکی از مزایای استفاده از پردازش داپلر، امکان جداسازی اهداف از کلاتر دریا است. از آنجایی که امواج دریا دارای یک حرکت نسبی نسبت به رادار هستند، لذا برگشتی ناشی از این امواج دارای یک فرکانس داپلر غیر صفر است. در شکل های ۸ تا ۱۳، شبیه سازی ها بدون حضور کلاتر دریا انجام شده است. اما، در شکل های ۱۴ تا ۱۹، کلاتر دریا با استفاده از توزیع لاگ-نرمال شبیه سازی شده و پردازش های فوق بر روی این سیگنال اعمال شده است. توزیع لاگ-نرمال یکی از توزیع های معروف جهت مدل سازی رفتار کلاتر دریا است.

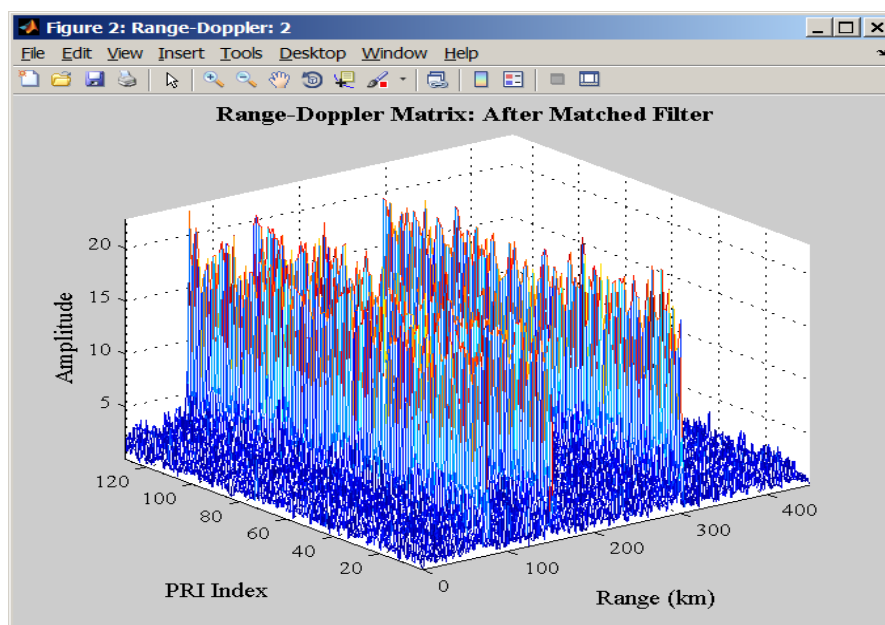




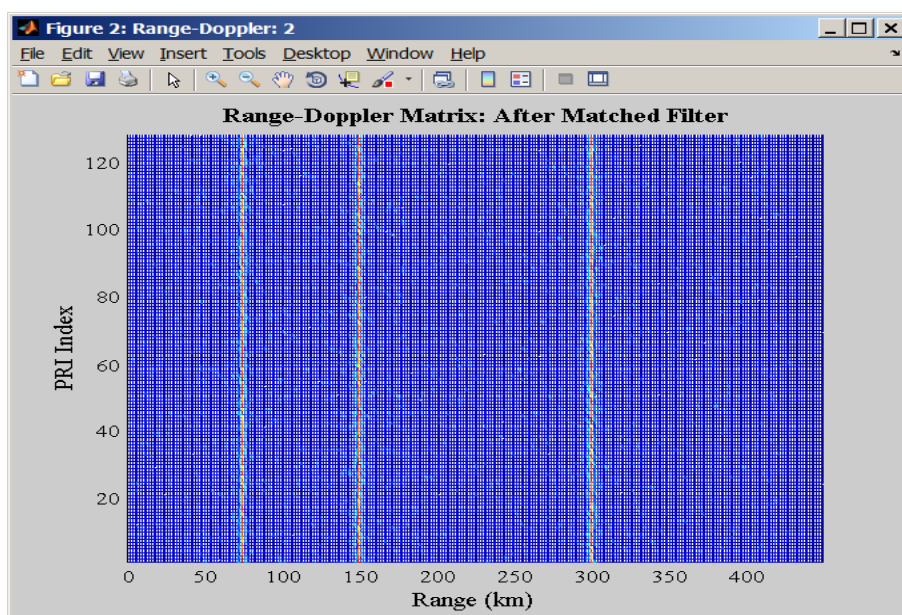
شکل ۱۴: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر در حضور کلاتر و قبل از پردازش



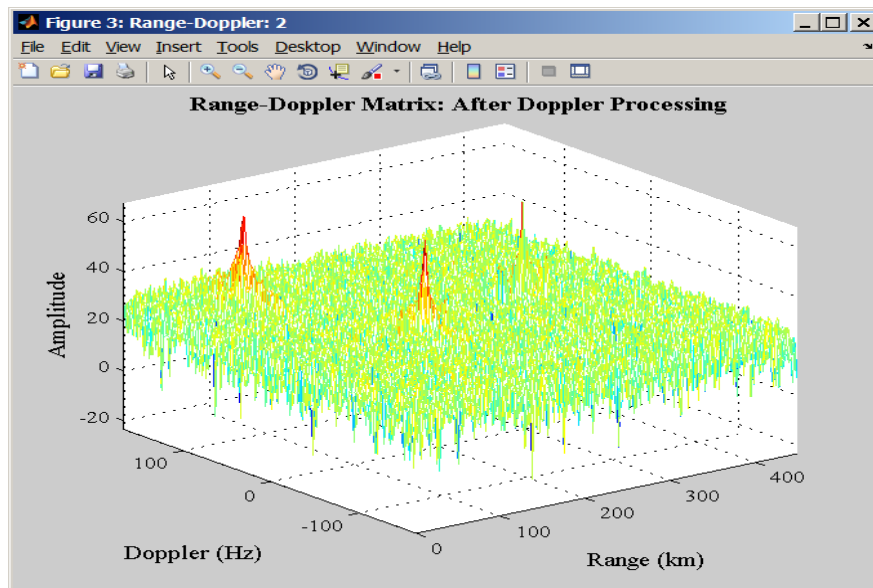
شکل ۱۵: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر در حضور کلاتر و قبل از پردازش (نمای دو-بُعدی)



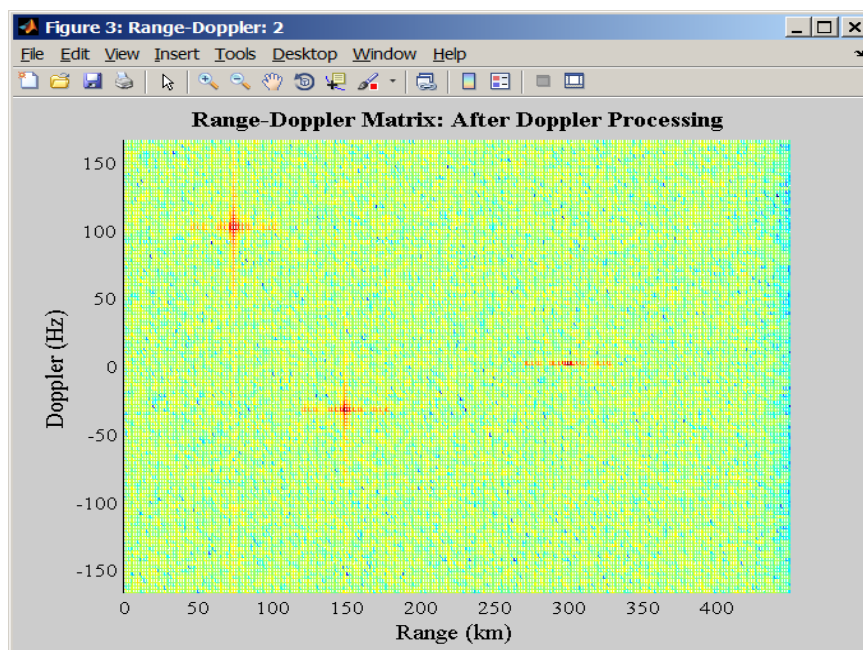
شکل ۱۶: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر در حضور کلاتر و بعد از فیلتر منطبق



شکل ۱۷: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر در حضور کلاتر و بعد از فیلتر منطبق (نمای دو-بُعدی)



شکل ۱۸: ماتریس دو-بُعدی برد-داپلر در حضور کلاتر و بعد از پردازش داپلر



شکل ۱۹: (نمای دو-بُعدی) ماتریس و-بُعدی برد-داپلر در حضور کلاتر و بعد از پردازش داپلر

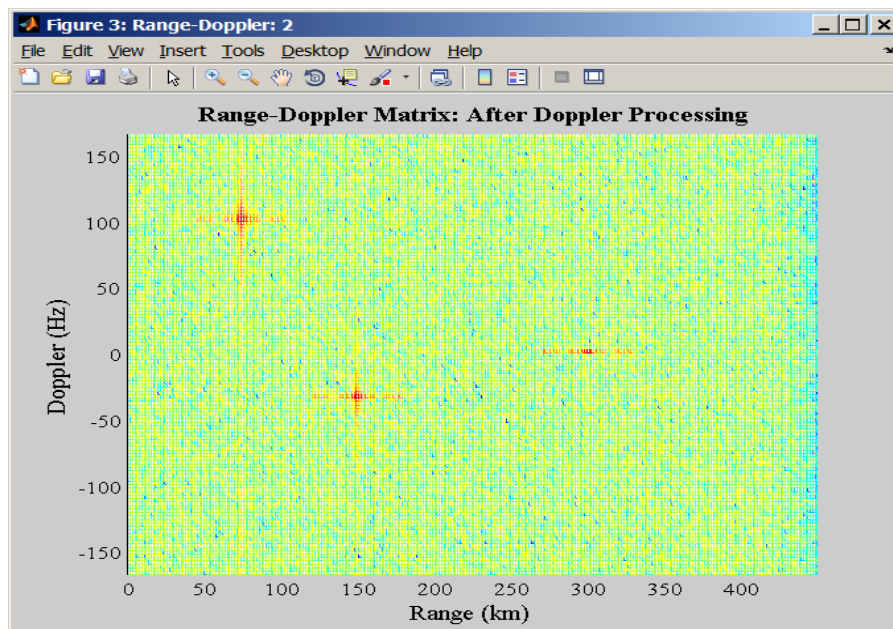
همانطور که در شکل‌های ۱۴ تا ۱۹ دیده می‌شود، کلاتر دریا به خوبی از اهداف تفکیک شده است. بعد از جداسازی کلاتر دریا از اهداف، مرحله بعد حذف کلاتر دریا بوده که این کار می‌تواند توسط یک فیلتر مناسب صورت پذیرد. از آنجایی که محدوده داپلر امواج دریا مشخص است، می‌توان یک فیلتر مناسب انتخاب نموده بگونه‌ای که همه فرکانس‌ها غیر از فرکانس داپلر مربوط به کلاتر دریا را عبور داده



و تنها فرکانسهای مربوط به کلاتر دریا را حذف نماید. راهکار ساده تر این است که مؤلفه های مربوط به کلاتر دریا در خروجی پردازش داپلر صفر گردند. در شکل ۲۰، سیگنال خروجی بخش حذف کلاتر دیده می شود که مؤلفه های کلاتر در آن حذف شده اند.

## ۱۷. بررسی روش آشکارسازی اهداف با استفاده از نرم افزار MATLAB

بعد از اعمال الگوریتم های فیلتر منطبق و پردازش داپلر، در مرحله بعد لازم است اهداف از آشکارسازی شده و پارامترهای آنها استخراج شود. به منظور آشکارسازی اهداف از نویز، می توان از یک روش آستانه گذاری وفقی مانند CA-CFAR (استفاده نمود Slobodan (2014)) با فرض اینکه کلاتر دریا در بخش حذف کلاتر به خوبی حذف شده است، الگوریتم CA-CFAR راهکار بسیار مناسبی خواهد بود. در این راهکار، آستانه تصمیم گیری در هر سلول متناسب است با متوسط سلول های مجاور آن. در بخش قبل دیدیم که خروجی حاصل از فیلتر منطبق و پردازش داپلر به صورت یک ماتریس  $N \times M$  است. بنابراین، آستانه گذاری وفقی در این حالت به صورت دو-بعدی خواهد بود. اهدافی که بالاتر از سطح آستانه قرار بگیرند به عنوان هدف واقعی شناخته می شوند.



شکل ۲۰: ماتریس دو-بعدی برد-داپلر بعد از حذف کلاتر (نمای دو-بعدی)

## بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش ابتدا عملکرد پردازشگرهای مبتنی بر پردازنده در گیرنده رادار جستجوگر دریایی بررسی و سپس نقاط قوت و ضعف این گونه پردازشگرها در عملکرد رادار جستجوگر دریایی مشخص شده است. در ادامه سعی در برطرف کردن عیوب رادارهای مبتنی بر پردازنده با بکارگیری تراشه FPGA گردیده است. در نهایت نتایج بدست آمده با استفاده از پردازشگر مبتنی بر تراشه FPGA مقایسه می شود و مشخص گردید در رادارهای جستجوگر مبتنی بر تراشه FPGA، کشف و رهگیری اهداف دریایی با سرعت و سهولت و وضوح خیلی بیشتری امکان پذیر است. با توجه به اهمیت و کاربردهای فراوان رادارهای جستجوگر دریایی در انواع شناورها و صنعت دریانوردی از جمله در کشف و رهگیری اهداف در فواصل مختلف، پیشنهاد می گردد در این نوع رادارها بجای پردازنده به عنوان هسته ی مرکزی



از تراشه FPGA استفاده گردد و همچنین پیشنهاد همکاری دانشگاه و صنایع دریانوردی به منظور ارتقاء و تبدیل رادارهای فعلی به رادار جدید داده می شود.

## منابع

سیدمحمد علوی، احسان ویسی، رضا کرمی، "تحلیل و بررسی رادار روزنه مصنوعی و چالش های پیاده سازی بر روی FPGA"، ۱۳۹۴، دانشگاه امام حسین (ع)، پژوهشکده الکترونیک و رادار.

کلیو مکس فیلد، "مفاهیم و مبانی FPGA"، ۱۳۹۴، علی مالکی، انتشارات ناقوس.

Merrill I. Skolnik, "Introduction to Radar Systems", McGraw-Hill Book Company, 1981.

Y. Ji and J. Zhang and Y. Wang and W. Sun and M. Li, "Target monitoring using small-aperture compact high-frequency surface wave radar", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 33, no. 3, pp. 22-31, 2018.

Shun Liu and H. Hagiwara and R. Shoji and H. Tamara and T. Okano, "Radar network system to observe and analyse Tokyo Bay vessel traffic", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 19, no. 11, pp. 3-11, 2004.

Nikolic, Dejan and Stojković, Nikola and Lekic, Nikola, "Maritime over the Horizon Sensor Integration: High Frequency Surface-Wave-Radar and Automatic Identification System Data Integration Algorithm", Sensors (Basel, Switzerland), vol. 18, no. 4, pp. 1-7, 2018.

A. Dzvonkovskaya, "HF surface wave radar for tsunami alerting: from system concept and simulations to integration into early warning systems", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 33, no. 3, pp. 48-58, 2018.

H. Sun, "Conceptual study on bistatic shipborne high frequency surface wave radar", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 33, no. 3, pp. 4-13, 2018.

K. El-Darymli and N. Hansen and B. Dawe and E. W. Gill and W. Huang, "Design and implementation of a high-frequency software-defined radar for coastal", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 33, no. 3, pp. 14-21, 2018.

Wang, Y., Liu, Q., & Fathy, A. E. (2013). "CW and pulse-Doppler radar processing based on FPGA for human sensing applications". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 51(5), 3097-3107.

Chen Yang and Bingyi Li and Liang Chen and Chunpeng Wei and Yizhuang Xie and He Chen, and Wenye Yu, "A Spaceborne Synthetic Aperture Radar Partial Fixed-Point Imaging System Using a Field- Programmable Gate Array—Application-Specific Integrated Circuit Hybrid Heterogeneous Parallel Acceleration Technique", Sensors (Basel), vol. 17, July 2017.



C. Le et al., "Onboard FPGA-based SAR processing for future spaceborne systems," Proceedings of the 2004 IEEE Radar Conference (IEEE Cat. No.04CH37509), Philadelphia, PA, USA, 2004, pp. 15-20, doi: 10.1109/NRC.2004.1316388.

Jiaguo Lu, "Signal Processing," in Design Technology of Synthetic Aperture Radar, IEEE, 2019, pp.193-247, doi: 10.1002/9781119564621.ch6.

David Brandwood, Fourier Transforms in Radar and Signal Processing, Second Edition, Artech, 2011.

Slobodan SIMIĆ and Milenko ANDRIĆ and Bojan ZRNIĆ, "An FPGA Based Implementation of a CFAR Processor Applied to a Pulse-Compression Radar System", Radioengineering, vol. 23, no. 1, April 2014.

## Digital processing in marinesearch radar using FPGA

**Mohsen Omidvar**

Department of Electrical Engineering, Islamic Azad  
University, Dashtestan Branch, Dashtestan, Iran

**Mozhde Heydarianasl**

Department of Electrical Engineering, Islamic Azad  
University, Dashtestan Branch, Dashtestan, Iran

### Abstract - ۱-۱

Nowadays, one of the significant basic systems in vessels and ships is the marine search radar, which determines the positions in the sea, and increasing the speed of processing in these radars that is always important. Currently, the aforementioned radars use processors based on high-speed processors, which are associated with challenges. In this research, an attempt has been made to solve the defects of processor-based radars by using FPGA chip. FPGA chip is very popular due to high flexibility, low power resource requirement, implementation speed, proper troubleshooting, parallel processing. This method is based on the use of Xilinx software called ISE, which provides the possibility of simpler design and development of digital processor based on FPGA chip in Simulink MATLAB software environment. The simulation results and comparison of the FPGA chip output with other processors show the very good performance of the FPGA chip- based processor for marine search radars.

**Keywords:** marine radar, digital receiver, signal processing, FPGA chips