

عوامل مؤثر در عملکرد رادار

هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود در پایان این فصل:

- ۱- عوامل مؤثر در عملکرد رادار را نام ببرد.
- ۲- عوامل مؤثر در تعیین حداکثر بُرد رادار را تشریح کند.
- ۳- عوامل مؤثر در تعیین حداقل بُرد رادار را تشریح کند.
- ۴- تفکیک در فاصله را با استفاده از دستگاه رادار نشان دهد.
- ۵- تفکیک در سمت را با استفاده از دستگاه رادار نشان دهد.
- ۶- معادله رادار را بنویسد و توضیح دهد.
- ۷- مفهوم قدرت رادار را توضیح دهد.

۱-۲- عوامل مؤثر در عملکرد رادار

علاوه بر مشخصه‌های فنی دستگاه‌های مختلف یک سیستم رادار از قبیل قدرت فرستنده، حساسیت گیرنده، عرض پالس، زمان تکرار پالس،... و فرکانس تکرار پالس که بر عملکرد رادار تأثیرهای مختلفی دارند، عوامل دیگری نیز وجود دارند که هر یک به گونه‌ای خاص بر روی نحوه کار و عملکرد رادار تأثیر می‌گذارند. عمده‌ترین این عوامل عبارتند از:

۱- شرایط جوّی؛

۲- ارتفاع هدف نسبت به ارتفاع آنتن؛

۳- مشخصه‌های هدف.

۱-۱-۲- شرایط جوّی - امواج آبهای اطراف کشتی که در مسیر انتشار امواج راداری

قرار می‌گیرند، به‌عنوان مانع مقداری از انرژی منتشره را در جهات مختلف منعکس می‌کنند. بخشی از این انرژی بازتاب شده که دوباره از طریق آنتن دریافت می‌شود، باعث می‌شود تا اکوهای بر روی صفحه نشاندهنده رادار ظاهر شوند که به‌طور عمده از اکوی هدفهای واقعی ضعیفتر هستند. این اکوهای حاصل از امواج دریا را پژواک دریا (SEA CLUTTER یا SEA ECHO) می‌گویند.

مقدار این اکوها بستگی به وضعیت سطح دریا دارد. بدیهی است دره‌های طوفانی میزان پژواک دریا بر روی صفحه رادار زیاد بوده تا فواصل بیشتری توسعه می‌یابد و این امر، تشخیص هدفهایی را که پژواک آنها در محدوده این پژواکهای دریا قرار گرفته باشند بسیار دشوار می‌کند. در شرایط جوئی نامساعد، پدیده پژواکهای دریا ضمن این که باعث پراکندگی پرتوهای منتشره راداری خواهند شد که خود سبب می‌شود تا عملکرد رادار در تشخیص و کشف هدفهای دور دست ضعیف شود، در تشخیص اکوی هدفهایی که در فواصل نزدیکتر قرار گرفته‌اند نیز ایجاد دشواری خواهند کرد.

همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شد، برد رادار معمولاً محدود به افق است، زیرا لایه یونسفر برای فرکانسهای امواج راداری به عنوان یک سطح منعکس کننده عمل نمی‌کند. گاه شرایط جوئی خاصی به وجود می‌آید که سبب می‌شود افق رادار کمی بیشتر از افق دید باشد. اگر چه فرض بر این است که امواج رادار و نور کاملاً مستقیم حرکت می‌کنند، اما تغییرات درجه حرارت و رطوبت لایه تروپوسفر^۱ (Troposphere) باعث کاهش ضریب دی‌الکتریک آن با افزایش ارتفاع می‌شود؛ از این رو تشعشعات راداری همواره به سمت پایین انکسار^۲ (Refraction) پیدا کرده در نتیجه افق دید رادار به گونه‌ای می‌شود که گویی شعاع کره زمین $\frac{4}{3}$ میزان واقعی آن شده است. فرکانسهای پایین بیشتر انکسار پیدا می‌کنند؛ به همین دلیل در رادارهای دور برد از فرکانسهای پایین استفاده می‌شود. شرایطی که ذکر شد و در نتیجه آن امواج رادار مسیر منحنی شکلی را طی می‌کنند، باعث ایجاد بردهای غیر عادی زیاد یا کم رادار خواهد شد. برای مثال، هدفی که معمولاً در فاصله ۲۰ مایلی به وسیله رادار کشف می‌شود، ممکن است تحت شرایط خاص جوئی در ۱۲۰ مایلی نیز کشف شود یا برعکس اصلاً کشف نشود. به این پدیده که باعث افزایش یا کاهش غیر عادی برد رادار می‌شود، پدیده فوق انکسار (Super refraction یا Ducting) می‌گویند. توضیح این که وقتی انحنای پرتوهای رادار به سمت پایین باشد، افزایش برد را به دنبال خواهد داشت و برعکس وقتی انحنای پرتوها به سمت بالا باشد، نتیجه آن کاهش شدید برد خواهد بود.

در محدوده فرکانسهای راداری، اتمسفر، به گونه‌ای که برای امواج الکترومغناطیسی با فرکانس کمتر از ۱۰۰۰ مگاهرتز شفاف و بدون مانع است، عمل نمی‌کند که این امر، کاهش انرژی، امواج

۱- تروپوسفر: پایین‌ترین قسمت اتمسفر را تروپوسفر می‌گویند. این لایه معمولاً از سطح زمین تا فاصله ۱۰ تا ۲۰ کیلومتری امتداد دارد.

۲- انکسار: شکست امواج را در اثر تغییرات چگالی ناحیه‌ای که امواج از آن عبور می‌کند، انکسار می‌نامند. اگر انکسار وجود نداشت، افق رادار با افق دید برابر می‌شد، در حالی که در اثر ایجاد پدیده انکسار افق رادار تقریباً ۱/۲۵ برابر افق دید است.

راداری را که در اتمسفر منتشر می‌شوند، پدید خواهد آورد. این کاهش انرژی به دلایل زیر است:

- ۱- جذب مستقیم انرژی به وسیله گازهای موجود در اتمسفر؛
- ۲- جذب و پراکندگی انرژی به وسیله مواد متراکم موجود در اتمسفر نظیر قطرات باران. از گازهای موجود در اتمسفر، اکسیژن و بخار آب انرژی امواج راداری را جذب می‌کنند. قطرات آب موجود در اتمسفر به صورت مه، ابر یا باران نیز باعث جذب یا پراکنده شدن امواج راداری می‌شوند؛ بنابراین اتمسفر خود نیز باعث تضعیف امواج راداری می‌شود که این در عملکرد رادار تأثیر منفی خواهد داشت.

۲-۱-۲- ارتفاع هدف نسبت به ارتفاع آنتن — ارتفاع رادار و همچنین خود هدف (بلندی هدف نسبت به سطح آب) از عواملی هستند که در تعیین فاصله هدف مؤثرند. بدیهی است هر چه آنتن رادار در ارتفاع بلندتری قرار گرفته باشد، میدان دید رادار وسیع‌تر شده و برد آن افزایش می‌یابد. به همین منوال هر چه هدف از سطح آب بالاتر باشد زودتر در میدان دید رادار قرار می‌گیرد. در اثر همین عوامل است که هواپیماهای دور پرواز در فاصله دورتری نسبت به کشتیها کشف می‌شوند. به‌طور کلی حد اکثر برد رادار که به وسیله دو عامل یاد شده محدود می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید که:

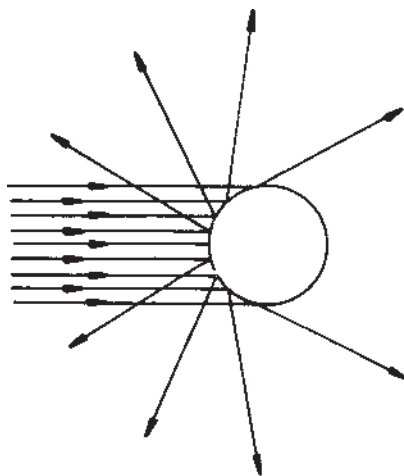
$$R_{\max} = \sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}$$

در آن R_{\max} حداکثر برد بر حسب مایل، h_1 ارتفاع آنتن رادار بر حسب فوت و h_2 ارتفاع یا بلندی هدف نسبت به سطح آب بر حسب فوت است.

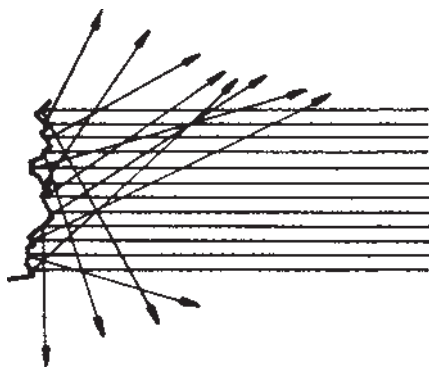
۳-۱-۲- مشخصه‌های هدف — نوع جنس تشکیل دهنده هدف، شکل و اندازه آن از مشخصه‌هایی است که هر یک به‌گونه‌ای بر عملکرد رادار تأثیر می‌گذارد. اشعه‌های نور که با یک جسم برخورد می‌کنند، یا منعکس می‌شوند یا جذب می‌شوند و یا مانند شیشه شعاعهای نور را از خود عبور می‌دهند. همین شرایط در مورد امواج رادار نیز حکمفرما است و همواره جذب بخشی از امواج راداری به وسیله هدف، قابل انتظار است. بعضی از عناصر، نظیر پوشش مخصوص انتهای خروجی کانال هادی موج در آنتن، امواج را از خود عبور می‌دهد. در بحث رادار، عمل انعکاس که اساس کار بوده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا مقدار زیادی به عناصر تشکیل دهنده جسم منعکس کننده بستگی دارد. برای نمونه، عمل انعکاس در عناصری مثل فلز و آب بهتر از چوب، سنگ، زمین و نباتات صورت می‌گیرد.

شکل جسم یا هدف نیز یکی از دیگر مشخصه‌های هدف است که بر نحوه کار رادار تأثیر می‌گذارد. پرتوهای رادار پس از برخورد با هدف و باتوجه به شکل آن، ممکن است در یک جهت منعکس شده

یا در تمام جهات منعکس شوند. بدیهی است در شرایطی که بازتاب از هدف در یک جهت صورت گیرد، در نحوه کار رادار تأثیر مثبت خواهد داشت. در مواردی که سطح منعکس کننده هدف غیر هموار باشد، انعکاس بیشتر در یک جهت همراه با انعکاساتی در سایر جهات صورت خواهد پذیرفت. روشن است که هر چه بازتابهای برگشتی به آنتن گیرنده بیشتر باشد، تصویر بهتری بر روی صفحه نشان دهنده رادار ظاهر خواهد شد. در شکل (۱-۲) نحوه انعکاس از یک گوی که در تمام جهات بازتاب می شوند، نشان داده شده است. همچنین در شکل (۲-۲) نیز نحوه انعکاس از یک سطح ناهموار نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- انعکاس در تمام جهات

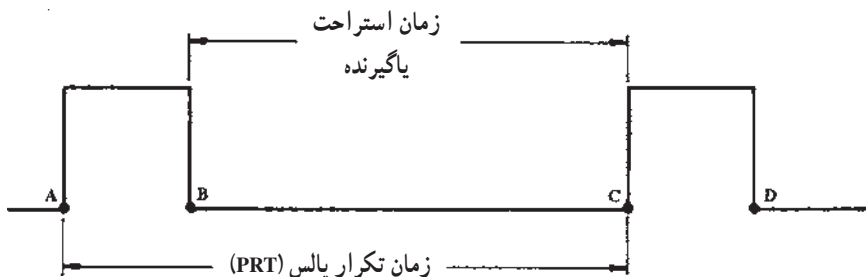


شکل ۲-۲- انعکاس از سطح ناهموار

علاوه بر نوع جنس و شکل جسم که بر بازتاب امواج راداری اثر می‌گذارد، اندازه جسم نیز بر انرژی اکوهای بازتاب شده اثر می‌گذارد. از این طریق می‌توان به کوچکی یا بزرگی دو اکو که در فاصله مساوی از کشتی خودی قرار دارند پی برد، زیرا اکوی مربوط به یک کشتی بزرگ قویتر از اکوی یک کشتی کوچک که در همان فاصله نسبت به کشتی خودی قرار گرفته است، خواهد بود. در بحث اندازه جسم در مورد هدفهای راداری واژه‌ای به کار گرفته می‌شود که نشانگر اندازه هدف است. این واژه «سطح مقطع راداری» است (Radar Cross Section)^۱ که مشخص می‌کند سطح مؤثر هدف که امواج را منعکس می‌کنند، به چه میزانی است. برای تشریح مفهوم سطح مقطع راداری، چنانچه یک سطح منعکس کننده ایده‌آلی را در نظر بگیریم که به طور دقیق همان مقدار از انرژی امواج راداری را که خود هدف حقیقی نیز بازتاب می‌دهد منعکس کند، در این صورت میزان مساحت این سطح منعکس کننده ایده‌آل مجازی را سطح مقطع راداری هدف می‌گویند. لازم به توضیح است که وقتی صحبت از اندازه هدف می‌کنیم، در حقیقت منظورمان اندازه‌ای است که امواج رادار در زاویه و حالتی که به هدف برخورد می‌کنند هدف را می‌بینند. برای روشن شدن مطلب به این نکته اشاره می‌کنیم که وقتی یک کشتی را از سینه مشاهده کنیم تصویری از آن حاصل می‌شود که با تصویر به دست آمده از حالتی که کشتی را از پهلو (برد راست یا چپ) مشاهده کنیم کاملاً متفاوت خواهد بود و این، همان چیزی است که به عنوان سطح مقطع راداری مطرح است.

۲-۲- عوامل مؤثر در تعیین حداکثر برد رادار

شکی نیست که به نوعی، برد حداکثر متناسب با قدرت امواج ارسالی رادار است و هر چه قدرت امواج بیشتر باشد، پرتوهای ارسالی فاصله دورتری را طی خواهند کرد. در این مبحث آنچه که مورد نظر است، تعیین حداکثر برد رادار با توجه به مشخصه‌های پالس رادار است. در شکل (۲-۳)



شکل ۲-۳- پالس رادار

۱- سطح مقطع راداری را Echo Area یا Target Cross - Section نیز می‌نامند.

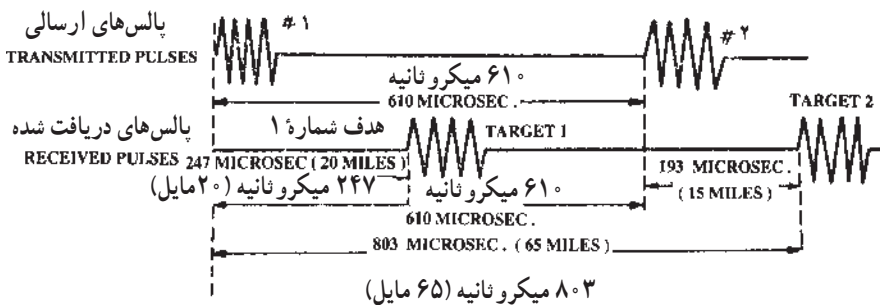
یک پالس رادار نشان داده شده است. همان طور که قبلاً شرح داده شد، در فاصله A تا B پالس ارسال می شود و در فاصله B تا C که تحت عنوان زمان استراحت یا زمان گیرنده نامیده می شود، گیرنده رادار آمادگی دریافت بازتابهای پالس ارسال شده را دارد؛ بنابراین طولانی ترین فاصله ای که رادار می تواند ببیند، از نظر زمانی به وسیله مقدار PRT مشخص می شود.

درحالتی که PRT رادار خیلی کم باشد (PRF زیاد)، مشاهده می شود که زمان گیرنده کوتاه است؛ از این رو سیگنال بازتاب برخی از هدفها که در فواصل دورتر قرار دارند، ممکن است پس از ارسال پالس بعدی به گیرنده برسند. بروز چنین وضعی بدیهی است که باعث ابهام در اندازه گیری فاصله می شود، زیرا رادار بازتاب را مربوط به پالس دوم در نظر گرفته (چون بازتاب در زمان گیرنده بعد از پالس بعدی وارد گیرنده خواهد شد) فاصله ای کوتاهتر از مقدار واقعی را نشان می دهد؛ بنابراین حداکثر فاصله ای که رادار قادر است برد هدف را به طور واقعی نشان دهد، فاصله ای است که بازتاب هدف قبل از شروع پالس بعدی (نقطه C در شکل ۳-۲) به گیرنده رسیده باشد. این فاصله را تحت عنوان «حداکثر فاصله واضح» می نامند و مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید.

$$\text{حداکثر فاصله واضح} = \frac{\text{PRT}}{12/35}$$

در این رابطه فاصله برحسب مایل دریایی و PRT برحسب میکروثانیه است. توضیح این که عدد ۱۲/۳۵ همان مایل راداری، یعنی زمان رفت و برگشت پالس برای فاصله یک مایل دریایی است و رابطه فوق با یک تناسب ساده حاصل می شود.

برای درک بهتر مطلب به شکل (۴-۲) توجه کنید. در این شکل یک پالس راداری با RRT برابر ۶۱ میکروثانیه نشان داده شده است. این مقدار PRT مشخص می کند که حداکثر فاصله واضح این رادار حدود ۵۰ مایل است. فرض کنید این پالس در مسیر انتشار خود به دو هدف برخورد کند که

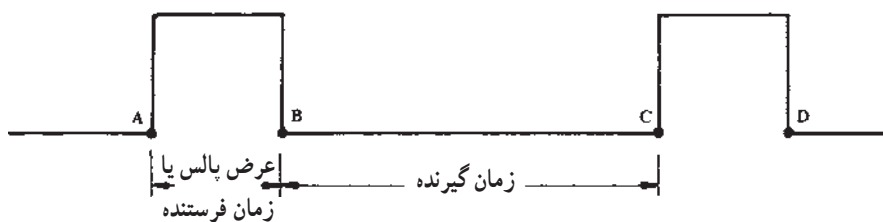


شکل ۴-۲. حداکثر فاصله واضح

هدف اول در فاصله ۲۰ مایلی و هدف دوم در فاصله ۶۵ مایلی قرار گرفته باشند. بازتاب مربوط به هدف اول، ۲۴۷ میکروثانیه و بازتاب مربوط به هدف دوم ۸۰۳ میکروثانیه پس از ارسال و انتشار پالس اول به گیرنده خواهند رسید. همان طوری که در شکل (۲-۴) نیز مشاهده می‌شود، بازتاب هدف اول به طور صحیح و در موقعیت زمانی خود نشان داده می‌شود، زیرا فاصله هدف کمتر از حداکثر فاصله واضح رادار (حدود ۵۰ مایل) است؛ اما بازتاب هدف دوم چون زمان رفت و برگشت پالس بیش از مقدار PRT است، موقعی به گیرنده خواهد رسید که پالس دوم انتشار یافته، گیرنده این بازتاب را در اثر برخورد پالس دوم با هدفی که در فاصله نزدیک قرار گرفته باشد در نظر گرفته و لذا بر روی صفحه نشان دهنده رادار فاصله هدف دوم را ۱۵ مایل نشان خواهد داد که صحیح نمی‌باشد. بنابراین حداکثر فاصله واضح و یا به عبارت دیگر حداکثر فاصله یا برد موثر رادار بستگی به میزان PRT داشته و هر قدر PRT بیشتر باشد، حداکثر برد رادار بیشتر خواهد شد.

۳-۲- عوامل مؤثر در تعیین حداقل برد رادار

عرض پالس یا زمان فرستنده مدت زمانی است که فرستنده در حال انتشار پالس رادار است و در این فاصله زمانی گیرنده رادار به آنتن وصل نبوده هیچ‌گونه بازتابی دریافت نخواهد شد. حال چنانچه هدفی آن قدر به کشتی خودی نزدیک باشد که سیگنال بازتاب آن قبل از سپری شدن زمان فرستنده، یعنی قبل از خاموش شدن فرستنده و در مدار آمدن گیرنده به آنتن برسد دریافت نخواهد شد، زیرا گیرنده هنوز خاموش است. همان طور که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است، کوتاهترین



شکل ۲-۵- حداقل فاصله رادار

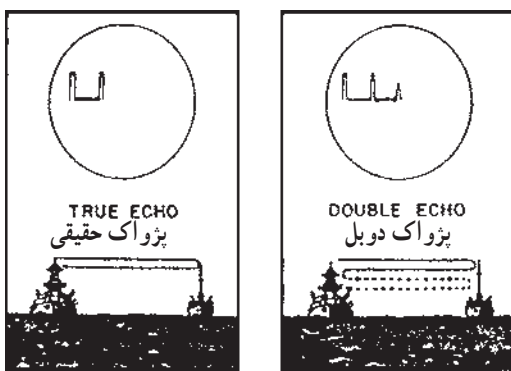
فاصله‌ای که بازتاب یک هدف می‌تواند وارد گیرنده شده بر روی صفحه نشان دهنده رادار ظاهر شود، فاصله‌ای است که بازتاب آن در نقطه B، یعنی بلافاصله در شروع به کار گیرنده وارد آنتن رادار شود. با توجه به این که زمان رفت و برگشت پالس باید برابر با زمان عرض پالس (PW) باشد؛ بنابراین حداقل فاصله از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$\text{حداقل فاصله رادار} = 164 \times PW$$

در این رابطه فاصله برحسب یارد و عرض پالس (PW) برحسب میکروثانیه خواهد بود. توضیح این که بنا بر تعریف مایل راداری، زمان رفت و برگشت پالس برای هدفی که در فاصله ۱۶۴ یاردی واقع شده باشد، برابر یک میکروثانیه خواهد بود و رابطه فوق با یک تناسب ساده حاصل خواهد شد.

در راستای توضیح بیشتر درباره حداقل فاصله یا برد رادار، چنانچه کل زمان ارسال پالس (عرض پالس) برابر با ۲ میکروثانیه باشد، هیچ پالسی در این محدوده زمانی ۲ میکروثانیه دریافت نخواهد شد. به عبارت دیگر، هیچ بازتابی از هدفهای نزدیکتر از ۳۲۸ یارد ($328 = 164 \times 2$) حداقل فاصله) دریافت نمی‌شود. بدین ترتیب عامل تعیین کننده حداقل برد رادار، عرض پالس است. هر قدر عرض پالس کمتر باشد هدفهای با فاصله کمتر از کشتی خودی بیشتر قابل کشف خواهند بود.

۱-۲-۳- بازتاب دوبل - هنگامی که فاصله هدف تا کشتی کمتر از حداقل فاصله رادار باشد، بازتاب پالس وقتی از هدف به کشتی فرستنده امواج می‌رسد گیرنده خاموش بوده قابل دریافت نخواهد بود. در این حالت چنانچه موج ارسال شده به اندازه کافی قوی باشد و شرایط خاصی از نظر نحوه استقرار کشتی و هدف نسبت به یکدیگر وجود داشته باشد، موج بازتاب شده به سطح کشتی خودی برخورد کرده دوباره بازتاب می‌شود. این موج اخیر که در جهت هدف انتشار می‌یابد، در برخورد با هدف همانند یک موج رادار عمل کرده دوباره منعکس می‌شود و به طرف کشتی خودی باز می‌گردد. چون به اندازه کافی زمان سپری شده است و گیرنده روشن است، این بازتاب وارد گیرنده شده به عنوان اکوی هدفی که در فاصله‌ای دو برابر فاصله حقیقی هدف باشد ظاهر می‌شود، زیرا در حقیقت دوبار این مسیر رفت و برگشت را طی کرده است. چنین بازتابهایی را بازتاب دوبل (Double Echo) می‌نامند. این حالت در شکل (۶-۲) نشان داده شده است. البته لازم به ذکر است



شکل ۶-۲- بازتاب فانویه

که وقوع چنین حالتی برای هدفهایی هم که در فاصله نزدیک اما بیشتر از حداقل فاصله رادار از کشتی قرار گرفته باشند امکانپذیر است. در این صورت اکوی حقیقی نیز بر روی صفحه نشان دهنده رادار ظاهر خواهد شد. همان طور که مشاهده می شود، شکل (۶-۲) این حالت را نشان می دهد.

۴-۲- مفهوم تفکیک در فاصله

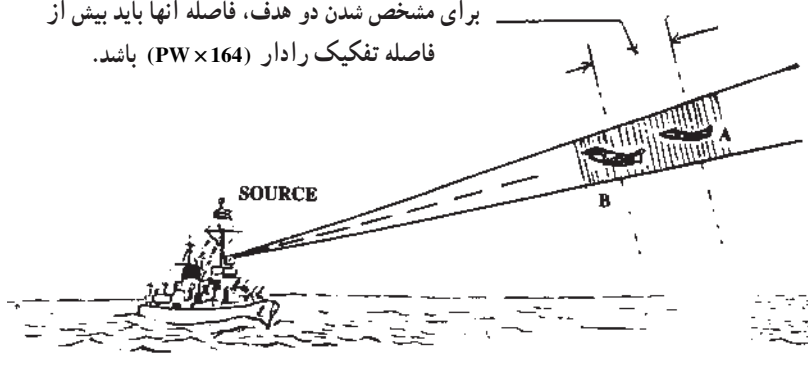
تفکیک در فاصله عبارت است از توانایی یک رادار در تشخیص و تفکیک دو هدف که دارای سمت یکسان نسبت به کشتی خودی بوده، اما فاصله آنها متفاوت باشد. در عمل وقتی دو هدف در یک سمت بوده و فاصله میان آنها کم باشد، از نظر رادار به صورت یک هدف بر روی صفحه نشان دهنده رادار ظاهر خواهند شد. حداقل فاصله ای که بین این دو هدف باید باشد تا آنها به صورت دو هدف جداگانه به تصویر درآیند، حد تفکیک فاصله نامیده می شود.

حد تفکیک فاصله رادار تابعی است از عرض پالس و میزان آن از رابطه زیر به دست می آید که در آن حد تفکیک فاصله برحسب یارد و عرض پالس (PW) نیز برحسب میکروثانیه است :

$$\text{حد تفکیک فاصله} = 164 \times PW$$

مفهوم تفکیک در فاصله و یا به عبارت دیگر دقت در فاصله در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. برای مثال، چنانچه راداری را با عرض پالس ۱ میکروثانیه در نظر بگیریم، با استفاده از رابطه مربوطه، میزان حد تفکیک فاصله برابر با ۱۶۴ یارد است؛ یعنی اگر دو هدف با فاصله ای نزدیک به هم و در یک سمت از کشتی خودی قرار گرفته باشند، برای این که دو اکوی مجزا و قابل تفکیک بر روی صفحه نشان دهنده داشته باشند باید حداقل ۱۶۴ یارد از یکدیگر فاصله داشته باشند، در غیر

برای مشخص شدن دو هدف، فاصله آنها باید بیش از فاصله تفکیک رادار ($PW \times 164$) باشد.



شکل ۷-۲- حد تفکیک در فاصله

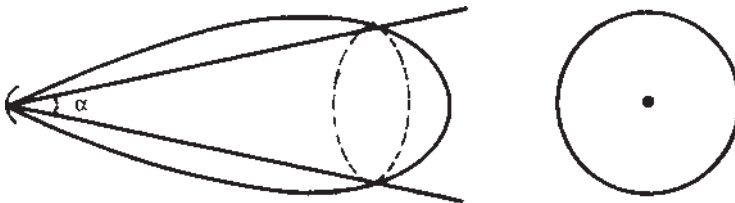
این صورت تنها یک اکو ظاهر خواهد شد.

علت به وجود آمدن این وضعیت که دو هدف تنها یک اکو داشته باشند این است که وقتی دو هدف به هم نزدیک باشند، هنگامی که لبه جلویی پالس بر روی هدف دورتر قرار گرفته هدف نزدیکتر نیز در داخل پالس ارسالی بوده و یا حداکثر لبه عقبی پالس بر روی آن قرار می‌گیرد؛ در نتیجه یک بازتاب ایجاد خواهد شد، مگر آن که وقتی لبه جلویی پالس بر روی هدف دورتر قرار گرفت لبه عقبی پالس از روی هدف نزدیکتر گذشته باشد که در این صورت دو اکوی مجزا تشکیل خواهد شد.

۲-۵- مفهوم تفکیک در سمت

تفکیک در سمت عبارت است از توانایی یک رادار در تشخیص و تفکیک دو هدف که دارای فاصله یکسان از کشتی خودی بوده و سمت آنها متفاوت اما نزدیک به هم باشد. وقتی دو هدف در یک فاصله و در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند، قابل تفکیک از یکدیگر نبوده یک تصویر راداری را ایجاد خواهند کرد، مگر آن که فاصله آنها از یکدیگر بیش از مقدار معینی باشد.

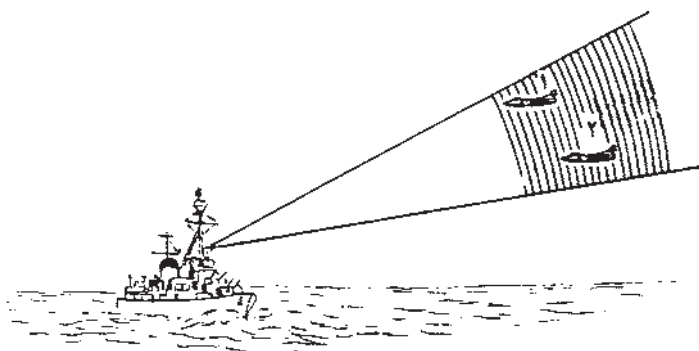
امواج راداری وقتی از آنتن انتشار می‌یابند به صورت یک خط راست نیستند، بلکه لبه جلویی موج به صورت یک سطح کروی شکل بوده که در طول مسیر انتشار هر چه فاصله زیادتر باشد قطر پرتو رادار بیشتر می‌شود. برای اندازه‌گیری قطر پرتو که به عنوان یک مشخصه پرتو رادار مطرح است، از مفهوم عرض پرتو (Beam Width) که یک معیار زاویه‌ای است، استفاده می‌شود. در شکل (۲-۸) تصویری از یک پرتو رادار و همچنین مفهوم عرض پرتو نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲-۸) ملاحظه می‌شود که هر قدر عرض پرتو کمتر باشد، پرتو باریکتر بوده در مسیر انتشار فضای کمتری را تحت پوشش قرار می‌دهد. زاویه . را عرض پرتو می‌نامند و معمولاً میزان آن را با درجه بیان می‌کنند.



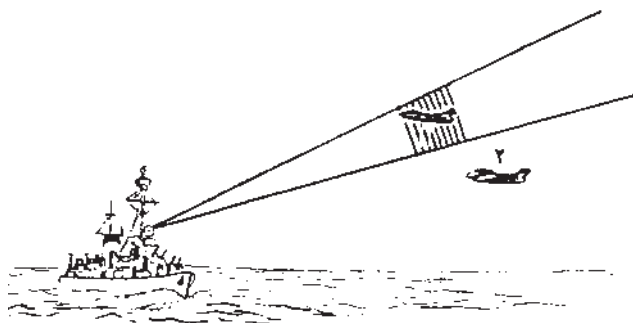
شکل ۲-۸- تصویری از یک پرتو موج، مفهوم عرض پرتو و سطح مقطع لبه جلویی پرتو

هنگامی که پرتو رادار به دو هدف که در یک فاصله بوده اما نزدیک به هم قرار گرفته باشند برسد، هر دو هدف همزمان در داخل پرتو قرار می‌گیرند و در نتیجه به عنوان یک هدف تلقی شده یک

اکو تولید می کنند، مگر آن که پرتو رادار به اندازه ای باریک باشد که هر دو هدف همزمان در داخل پرتو قرار نگیرد که در این صورت دو اکوی مجزا تولید خواهد شد. پس حد تفکیک دو هدف در سمت (و یا به عبارتی دقت در سمت) بستگی به عرض پرتو دارد. با توجه به این که در فواصل دورتر قطر پرتو رادار گسترش می یابد، تفکیک هدفها در سمت در فواصل دورتر بسیار دشوارتر خواهد بود. در شکل (۹-۲) دو هدف مشاهده می شود که هر دو در پرتو رادار قرار گرفته قابل تفکیک نیستند، اما برعکس در شکل (۱۰-۲) که عرض پرتو باریکتر است؛ در هر لحظه تنها یکی از هدفها در داخل پرتو و در معرض پالس قرار می گیرد و در نتیجه از یکدیگر قابل تفکیک بوده، به صورت دو اکوی مجزا و مستقل خواهد شد.



شکل ۹-۲- دو هدف غیر قابل تفکیک در سمت



شکل ۱۰-۲- دو هدف قابل تفکیک در سمت

پس به طور کلی دقت در سمت یا حد تفکیک در سمت به وسیله عرض پرتو مشخص می شود. برای مثال: اگر عرض پرتو ۲ درجه باشد، دو هدف که در یک فاصله بوده اما نسبت به یکدیگر کمتر از ۲ درجه اختلاف زاویه داشته باشند، قابل تفکیک نبوده و به صورت یک هدف ظاهر می شوند.

۶-۲- معادله رادار

یک سیستم رادار باید سیگنالهای ضعیفی را که از هدفهای دوردست منعکس می‌شوند، کشف و دریافت کند. معادله رادار به لحاظ این که روابط عوامل مختلفی را که بر روی قدرت سیگنالهای برگشتی رادار تأثیر دارند، نشان می‌دهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این جا بدون این که وارد جزئیات بشویم، معادله رادار را جهت آشنایی مقدماتی با آن مطرح کرده و شرح مختصری نیز درمورد آن بیان می‌کنیم. معادله رادار که در آن حداکثر فاصله (یا برد) رادار بر مبنای سایر اطلاعات و عوامل مختلف نوشته می‌شود، به شرح زیر است:

$$R_{\max} = \frac{P \cdot A^2 \cdot S}{4 \cdot P_{\min}} \cdot \frac{1}{4}$$

در رابطه ذکر شده برای معادله رادار:

$$R_{\max} = \text{برد حداکثر رادار}$$

$$P = \text{قدرت (توان) ارسالی}$$

$$A = \text{سطح دریافتی آنتن گیرنده}$$

$$S = \text{سطح مقطع راداری هدف}$$

$$. = \text{طول موج}$$

$$P_{\min} = \text{حداقل توان قابل دریافت به وسیله گیرنده رادار}$$

نتایج بسیار جالب و مهمی را با بررسی دقیق معادله رادار می‌توان به دست آورد. اولین و روشن‌ترین این نتایج عبارت است از این که برد حداکثر رادار متناسب با ریشه چهارم توان ارسالی پالسی^۱ است. این بدان معنی است که با ثابت بودن تمام عوامل دیگر، توان پالسی باید شانزده برابر افزایش یابد تا برد حداکثر رادار دو برابر شود. در نتیجه روشن است که چنین افزایش توانی در هر سیستم خاص راداری یا عملی نبوده و یا غیر اقتصادی خواهد بود.

به همین ترتیب روشن است که هر کاهشی در حداقل توان قابل دریافت (P_{\min}) همان اثر افزایش توان ارسالی را خواهد داشت. هر چند که این روش بسیار جالب توجهی در برابر روش قبلی (افزایش توان ارسالی) محسوب می‌شود. اما عوامل مختلفی مقدار P_{\min} را کنترل می‌کنند که باعث می‌شود کاهش میزان P_{\min} نیز حد و حدودی داشته باشد، چون در غیر این صورت بر روی سایر عواملی که بر کارکرد نامطلوب رادار مؤثر خواهند بود اثرات منفی خواهد داشت.

۱- منظور از توان، همان توان قله پالس رادار (PEAK POWER) است که به طور مشروح‌تر در قسمت بعدی این فصل

مطرح خواهد شد.

روش دیگر برای افزایش برد حداکثر رادار، افزایش سطح دریافتی آنتن است که در عمل به معنی افزایش قطر مؤثر آنتن است. متأسفانه در انجام این روش نیز محدودیت وجود دارد، زیرا عرض پرتو (BEAM WIDTH) یک آنتن متناسب با نسبت طول موج به قطر آنتن است و در نتیجه هرگونه تغییر در ابعاد آنتن، عرض پرتو را نیز تغییر خواهد داد و این در بعضی موارد در عملکرد مطلوب رادار محدودیت ایجاد می‌کند.

به طور کلی معادله رادار نحوه ارتباط عوامل مختلف را که در عملکرد رادار مؤثرند، بیان می‌کند. از این معادله می‌توان در طراحی سیستمهای راداری متناسب با نوع کاربرد و خصوصیات مورد نظر آن بهره‌برداری کرده و مشخصه‌های مختلف را تعیین کرد.

مثال ۱: حداکثر برد سیستم راداری را به دست آورید که در طول موج ۳ سانتیمتر کار کرده و دارای توان قله پالسی ۵۰۰ کیلووات باشد. فرض کنید که حداقل توان قابل دریافت برابر با 10^{-13} وات، سطح دریافتی آنتن رادار برابر با ۵ متر مربع و سطح مقطع راداری هدف برابر با ۲ متر مربع باشد.

$$R_{\max} = \frac{P \cdot A^2 \cdot S}{4 \cdot P_{\min}} \cdot \frac{1}{4}$$

$$R_{\max} = \frac{500 \times 10^3 \times 5^2 \times 20 \cdot \frac{1}{4}}{4 \times (0/03)^2 \times 10^{-13}} = \left(\frac{25}{36} \times 10^{24} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 6/86 \times 10^5 \text{ متر}$$

$$= 686 \text{ کیلومتر (مایل دریایی } 370 = \text{)}$$

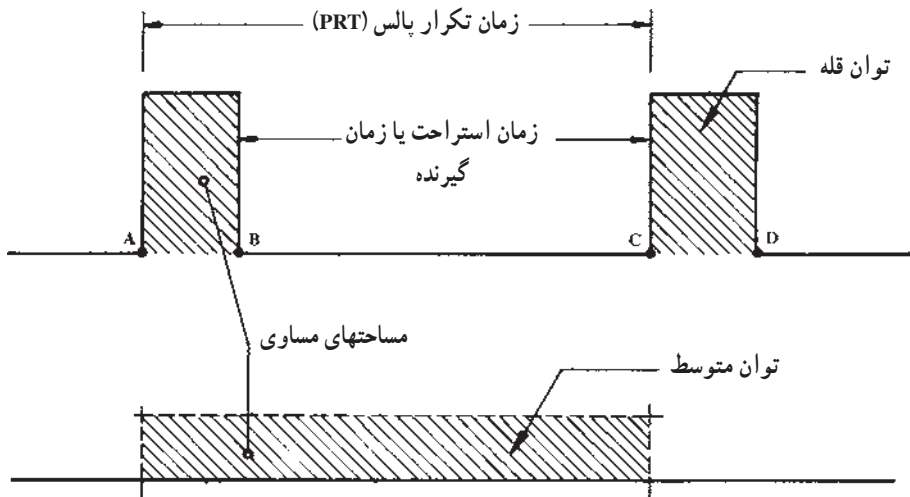
۷-۲- قدرت رادار

در یک سیستم رادار، فرستنده امواج الکترومغناطیسی را با انرژی زیاد به صورت پالسهای کوتاه ایجاد کرده از طریق آنتن منتشر می‌سازد. از آنجا که زمان دوام پالس (یا عرض پالس) باید کم باشد تا امکان دریافت اکو هدفهای بسیار نزدیک فراهم باشد و از طرفی نیز پالس رادار باید توان (قدرت) کافی داشته باشد تا بازتاب قابل دریافتی از هدفهای دور دست و در حداکثر برد وجود داشته باشد، لازم است فرستنده رادار خروجی بسیار قوی داشته باشد تا بتواند پالسهای راداری با انرژی زیاد و کافی را تولید کند. توان مؤثر و مفید فرستنده رادار در پالس منتشر شده نهفته است و میزان آن را توان قله پالسی (PEAK POWER) می‌نامند.

چون فرستنده یک سیستم رادار در طول سیکل کار خود، تنها برای مدت زمان کوتاهی عمل فرستندگی انجام داده، در بقیه زمان که طولانی نیز است، به حالت خاموش درمی آید، توان متوسط فرستنده (AVERAGE POWER) در مقایسه با توان قله (PEAK POWER) در طول زمان تکرار پالس (PRT) بسیار کم خواهد بود.

در شکل (۱۱-۲) مفهوم توان قله و توان متوسط نشان داده شده است. در زمان فرستنده که از نقطه A تا B ادامه دارد، قدرت خروجی وجود دارد و این همان قدرت یا توان قله یا به عبارتی، قدرت پیک است. در بقیه زمان یعنی از نقطه B تا C که گیرنده شروع به کار می کند تا بازتابهای پالسهای ارسالی را دریافت کند، مقدار توان صفر است. از آنجا که اندازه گیری میزان توان قله عملی نیست، معمولاً توان متوسط فرستنده اندازه گیری شده بر مبنای روابطی که میان توان قله و توان متوسط وجود دارد، میزان توان قله فرستنده مشخص می شود.

همان طور که در شکل (۱۱-۲) مشاهده می شود، توان متوسط میزانی از توان است که چنانچه در طول زمان تکرار پالس تولید شود برابر خواهد بود با توان قله که تنها در مدت زمان کوتاهی (برابر با عرض پالس) تولید خواهد شد. این موضوع در شکل (۱۱-۲) به وسیله سطوح هاشور زده نشان



شکل ۱۱-۲- توان قله (Peak power) و توان متوسط

داده شده است. رابطه میان توان متوسط که در طول یک سیکل کامل (زمان تکرار پالس - PRT) مصرف می شود و توان قله که در طول زمان عرض پالس تولید می شود، به شرح فرمول زیر است:

$$\frac{\text{توان متوسط}}{\text{توان قله}} = \frac{\text{عرض پالس}}{\text{زمان تکرار پالس}} = \frac{PW}{PRT}$$

این رابطه نشان می‌دهد که هر چه عرض پالس بیشتر باشد، توان متوسط بیشتر خواهد بود و همچنین هر چه زمان تکرار پالس بیشتر باشد، توان متوسط کمتر خواهد شد.

۱-۷-۲- سیکل کار رادار (DUTY CYCLE) — سیکل کار رادار (DUTY CYCLE)

عبارت است از نسبت زمانی که فرستنده رادار مشغول کار است به کل زمان یک سیکل رادار که همان زمان تکرار پالس (PRT) است. این تعریف را می‌توان به صورت رابطه زیر نوشت:

$$\text{سیکل کار رادار} = \frac{\text{عرض پالس}}{\text{زمان تکرار پالس}} = \frac{PW}{PRT}$$

مشاهده می‌شود که سیکل کار رادار ضمن این که نسبت عرض پالس به زمان تکرار پالس است، همزمان برابر است با نسبت توان متوسط پالس به توان قله. رابطه زیر در این خصوص وجود دارد:

$$\text{سیکل کار رادار} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{توان قله}} = \frac{PW}{PRT}$$

مثال ۱: سیکل کار رادار را برای راداری که عرض پالس آن ۲ میکرو ثانیه و فرکانس تکرار پالس آن ۵۰۰۰ هرتز باشد، حساب کنید.

$$PW = 2 \text{ میکرو ثانیه} \quad PRF = 5000 \text{ هرتز}$$

$$PRT = \frac{1}{PRF} = \frac{1}{5000} = 200 \text{ میکرو ثانیه}$$

$$\text{سیکل کار} = \frac{PW}{PRT} = \frac{2}{200} = 0.01$$

همان طور که در مثال ۱ مشاهده شد، چون بین PRT و PRF یک رابطه عکس ($PRT = \frac{1}{PRF}$)

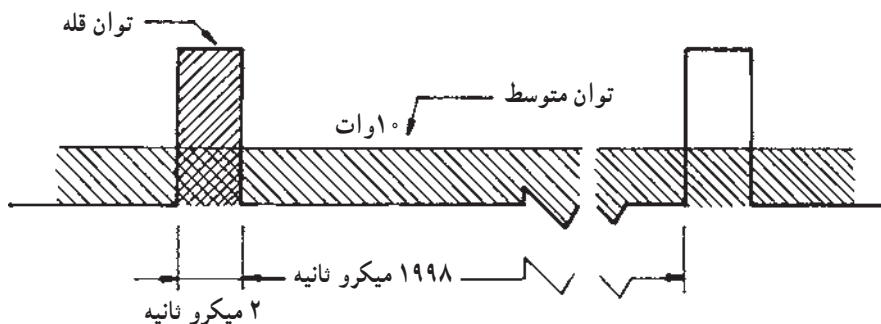
وجود دارد، می‌توان فرمول مربوط به سیکل کار رادار را به صورت زیر نیز نوشت:

$$\text{سیکل کار رادار} = \frac{PW}{PRT} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{توان قله}} = PW \times PRF$$

مثال ۲: باتوجه به شکل صفحه بعد و مقادیر داده شده، چنانچه توان متوسط این رادار ۱۰ وات باشد، سیکل کار و توان قله را حساب کنید.

$$PRT = PW + RT = 2 + 1998 = 2000 \text{ میکروثانیه}$$

$$\text{سیکل کار} = \frac{PW}{PRT} = \frac{2}{2000} = 0.001$$



شکل ۱۲-۲

$$\text{توان متوسط} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{سیکل کار}} \quad \text{توان قله} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{سیکل کار}} \rightarrow \dots$$

$$\text{توان قله} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{سیکل کار}} = \frac{۱۰}{۰/۰۰۱} = ۱۰۰۰۰ \text{ وات}$$

کیلووات ۱۰ = توان قله

پرسش

- ۱- عوامل مؤثر در عملکرد رادار را نام ببرید؟
- ۲- پژواک دریا (SEA CLUTTER) را شرح داده اثرات آن را در عملکرد رادار بیان کنید.
- ۳- اتمسفر چه اثراتی بر روی امواج راداری دارد؟
- ۴- سطح مقطع راداری هدف را تعریف کنید.
- ۵- حداکثر فاصله واضح رادار به چه عاملی بستگی دارد؟
- ۶- اگر بخواهیم در یک سیستم رادار هدفهای تا ۶۵ مایلی را کشف کنیم، میزان PRT حداقل چه باید باشد؟
- ۷- اگر عرض پالس ۲ میکروثانیه باشد، حداقل فاصله رادار چه قدر است؟
- ۸- مفهوم تفکیک در سمت را تشریح کنید.
- ۹- سیکل کار رادار را تعریف کرده روابط مربوط را بنویسید.
- ۱۰- اگر فرکانس تکرار پالس ۲۰۰۰ هرتز و سیکل کار رادار ۰/۰۰۲ باشد، عرض پالس چه قدر است؟