



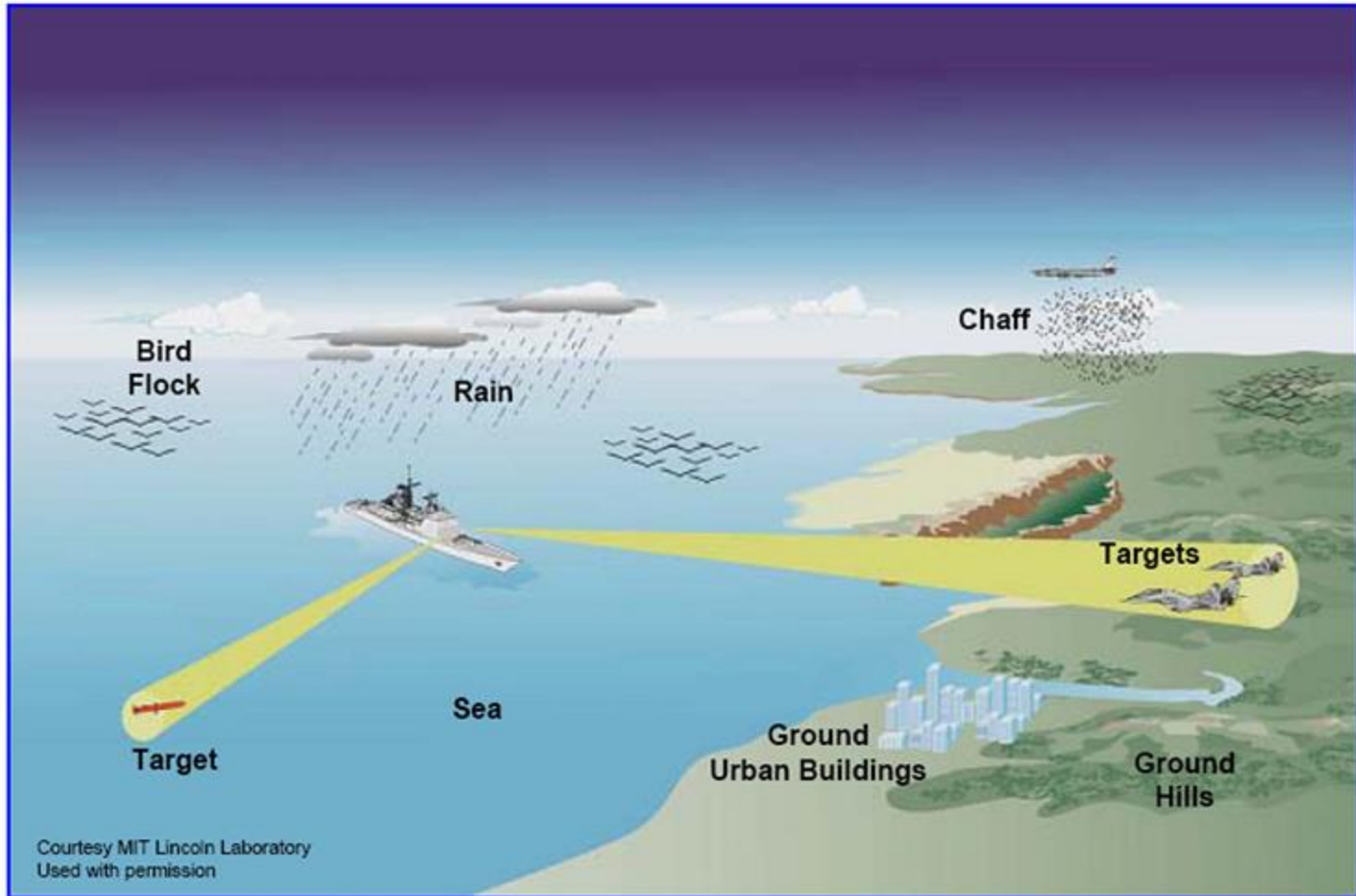
# اصول و سیستم های رادار (بخش چهاردهم)

نیم سال دوم ۹۸-۹۹

کلاتر

- مقدمه
- کلاتر سطحی
- کلاتر حجمی
- مدل های آماری برای کلاتر

- اصطلاح کلاتر برای توصیف بازگشتی های ناخواسته از محیط اطراف رادار استفاده می شود.
- این سیگنال ها می توانند در عملکرد طبیعی رادار اختلال ایجاد کنند.
- سیگنال های ناخواسته ای که از طریق گلبرگ اصلی آنتن وارد می شوند، کلاتر گلبرگ اصلی و سایر سیگنال های ورودی کلاتر گلبرگ جانبی نامیده می شوند.
- کلاتر را می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد:
  - کلاتر سطحی
    - شامل درختان، پستی و بلندی های زمین، سازه های ساخته انسان و سطح دریا و...
  - کلاتر حجمی
    - شامل چف، باران، پرندگان، حشرات و ... می باشد.



- بازگشتی‌های کلاتر تصادفی بوده و دارای مشخصه‌ای نویز-مانند هستند.
- زیرا مؤلفه‌های کلاتر (شامل بازگشتی‌ها از پراکنده‌سازهای تشکیل دهنده سطح یا حجم مورد نظر) دارای فاز و دامنه تصادفی هستند.
- در بسیاری از مواقع سطح سیگنال کلاتر بیشتر از سطح نویز گیرنده است.
- بنابراین در این حالت قابلیت رادار در آشکارسازی هدف به جای SNR به SCR وابسته خواهد شد.
- لزوماً تمامی سیگنال‌های بازگشتی از محیط اطراف نامطلوب نیستند.
- در رادارهای نقشه برداری زمینی، SAR، رادارهای هواشناسی و... این سیگنال‌ها هدف مطلوب هستند.

## □ تفاوت های بین نویز و کلاتر

کلاتر	نویز
متناسب با سطح سیگنال ارسالی رادار	مستقل از سطح سیگنال ارسالی رادار
باریک باند (تعیین شده توسط حرکت پراکنده سازها)	پهن باند (محدود شده توسط پهنای باند گیرنده)
تابعیت تغییرات دامنه از توزیع های مختلف بسته به نوع کلاتر	تابعیت تغییرات دامنه از توزیع رایلی
وابسته به فرکانس سیگنال ارسالی	مستقل از فرکانس سیگنال ارسالی
امکان تغییر با تغییر شرایط محیطی	مستقل از پارامترهای محیطی

□ دامنه بازگشتی از یک کلاتر سطحی متناسب با مساحت ناحیه روشن شده است.

□ برای توصیف کلاتر سطحی، مستقل از مساحت ناحیه روشن شده، معمولاً از پارامتر **ضریب پراکندگی** استفاده می‌شود:

$$\sigma^0 = \frac{\sigma_c}{A_c}$$

یک پارامتر بدون بعد که معمولاً برحسب dB بیان می‌شود ←

→ سطح مقطع راداری کلاتر در ناحیه ای به مساحت  $A_c$

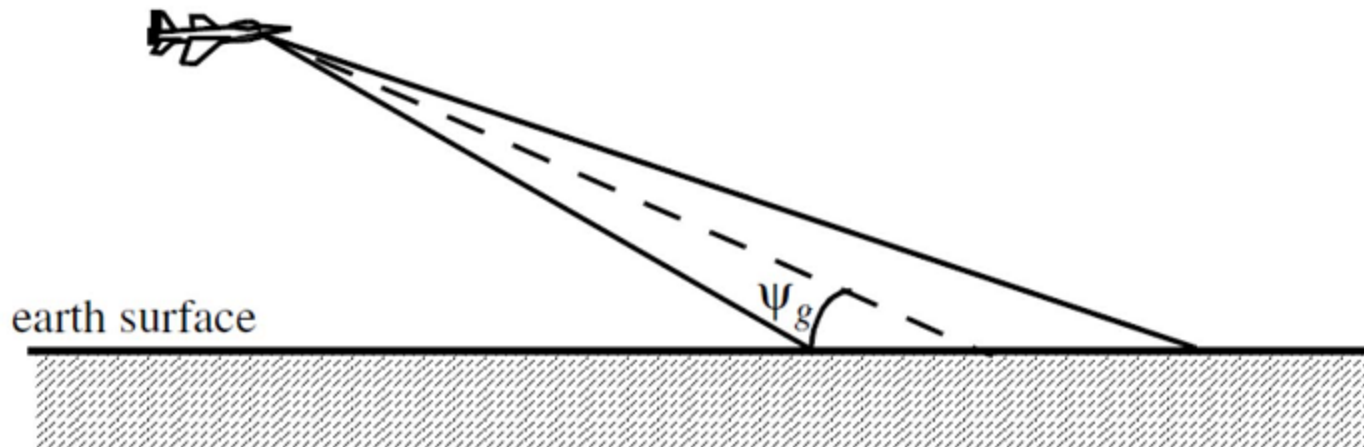
□ برای توصیف کلاتر حجمی از **ضریب بازتاب پذیری** استفاده می‌شود:

$$\eta = \frac{\sigma_c}{V_c}$$

معمولاً برحسب dB/m بیان می‌شود ←

→ سطح مقطع راداری کلاتر در ناحیه ای به حجم  $V_c$

- کلاتر سطحی در رادارهای زیر اهمیت دارد:
  - رادارهای هوابرد در هنگام دید به پایین
  - رادارهای زمین پایه هنگام جستجوی اهداف در زوایای گریزینگ کوچک
  - زاویه گریزینگ (**Grazing angle**) زاویه بین سطح زمین و محور اصلی بیم روشن کننده است.





□ به طور کلی سه پارامتر بر مقدار بازگشتی از کلاتر تاثیر دارد:

□ زاویه گریزینگ

□ طول موج رادار

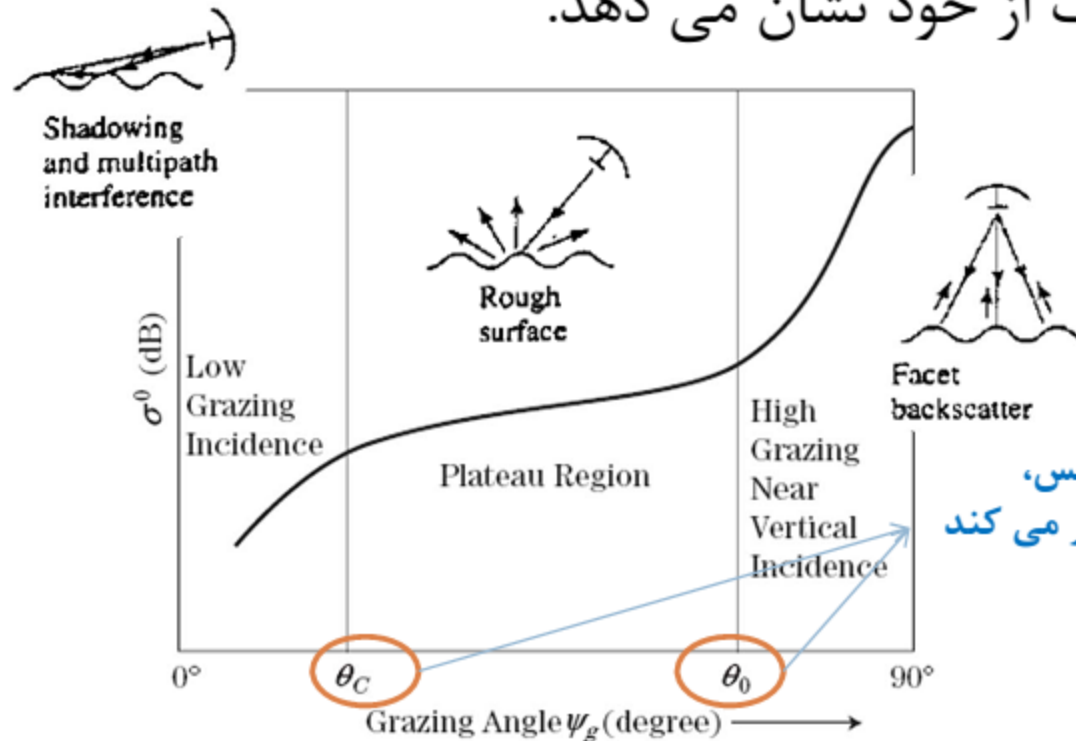
■ به طور کلی ضریب پراکندگی کلاتر با افزایش فرکانس، افزایش می یابد.

□ صافی سطح

■ برای زوایای گریزینگ کوچک، سطوح ناهموار ضریب پراکندگی بزرگتری در مقایسه با سطوح صاف دارند.

■ برای زوایای گریزینگ بزرگ، سطوح صاف ضریب پراکندگی بزرگتری در مقایسه با سطوح ناهموار دارند.

□ روابط تئوری و اندازه گیری ها مشخص کرده اند که ضریب پراکندگی کلاتر برای سطح دریا و خشکی رفتار مشابهی را برحسب تغییرات زاویه گریزینگ از خود نشان می دهد.



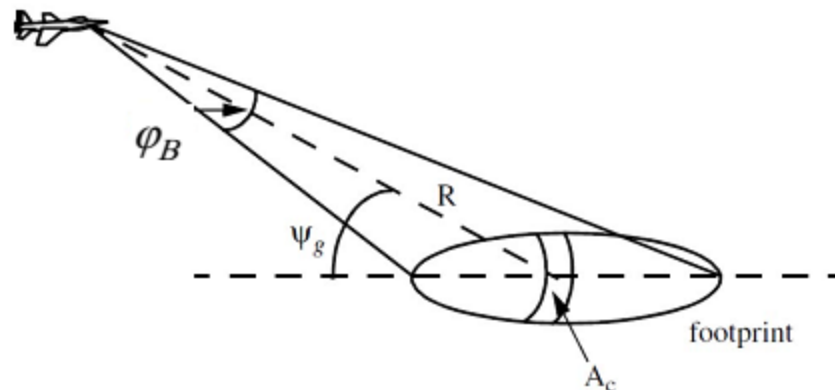
مرز بین نواحی با فرکانس، شرایط سطح و قطبش تغییر می کند

□ معادله رادار برای آشکارسازی هدف در حضور کلاتر سطحی از معادله رادار هنگامیکه آشکارسازی سیستم به نویز محدود است، متفاوت خواهد بود.

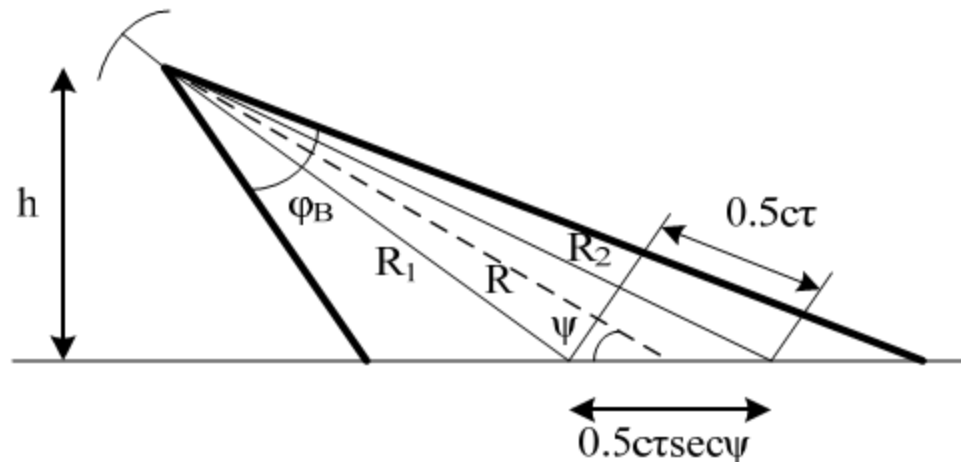
□ حالت اول: زاویه گریزینگ کوچک

□ یک رادار هوابرد با دید به سمت پایین مشابه شکل زیر را در نظر بگیرید.

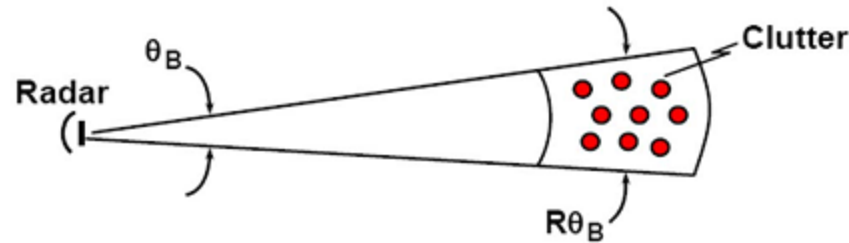
■ محل برخورد بیم آنتن و زمین یک ناحیه بیضی شکل را ایجاد می کند.



- برای تعیین توان کلاتر باید ابتدا مساحت ناحیه‌ای را تعیین کنیم که سیگنال‌های دریافتی از پراکنده‌سازهای آن ناحیه همزمان به گیرنده برسند.
- مطابق شکل زیر در زوایای گریزینگ کوچک، طول این ناحیه به جای اینکه توسط پهناى بیم ارتفاع تعیین شود، توسط عرض پالس تعیین خواهد شد.
- به عبارت دیگر تمامی پالس‌های بازگشتی از پراکنده‌سازها در بردهای  $R_1$  تا  $R_1 + c\tau/2$  حداقل در یک لحظه زمانی با هم اشتراک دارند.



□ عرض این ناحیه نیز مطابق شکل زیر توسط پهناى بیم سمت دو طرفه و برد تعیین می‌شود.



□ اگر از تابع گوسی برای تقریب شکل بیم استفاده شود، پهناى بیم دو طرفه برابر  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  خواهد بود.

□ به این ترتیب مساحت ناحیه مورد نظر که سلول قدرت تفکیک رادار نامیده می‌شود برابر است با:

$$A_c = R\theta_B \left( c\tau / 2 \right) \sec \psi$$

# کلاتر سطحی

(۷) کلاتر

14

□ توان دریافتی از هدفی در برد  $R$

$$S = \frac{P_t G \sigma_t A_e}{(4\pi)^2 R^4}$$

□ توان دریافتی از کلاتری در برد  $R$

$$C = \frac{P_t G (\sigma^0 A_c) A_e}{(4\pi)^2 R^3} = \frac{P_t G A_e \sigma^0 \theta_B (c\tau / 2) \sec \psi}{(4\pi)^2 R^3}$$

□ نسبت سیگنال به کلاتر

$$\frac{S}{C} = \frac{\sigma_t}{\sigma^0 R \theta_B (c\tau / 2) \sec \psi}$$

□ حداکثر برد متناظر با حداقل SCR قابل قبول

$$R_{\max} = \frac{\sigma_t}{(S / C)_{\min} \sigma^0 \theta_B (c\tau / 2) \sec \psi}$$

□ تفاوت های معادله رادار کلاتر-غالب و معادله رادار نویز-غالب

□ ظاهر شدن توان اول برد در معادله رادار کلاتر-غالب

■ تغییرات بیشتر برد در یک رادار کلاتر-غالب، هنگام تغییر پارامترهای معادله رادار، در مقایسه با یک رادار نویز-غالب

- ظاهر نشدن توان فرستنده در معادله رادار کلاتر-غالب
  - تنها شرط برروی توان فرستنده، هنگامیکه از معادله رادار کلاتر-غالب استفاده می شود، این است که مقدار آن به حدی باشد که توان کلاتر در گیرنده از توان نویز بیشتر شود.
- ظاهر نشدن بهره و سطح مؤثر آنتن در معادله رادار کلاتر-غالب
  - البته در این معادله پهنای باند سمت ظاهر می شود. هرچقدر مقدار این پارامتر کوچکتر باشد، برد ماکزیمم بیشتر خواهد شد.
- هرچقدر پهنای پالس باریکتر باشد، برخلاف رادار نویز-غالب، برد ماکزیمم بیشتر خواهد شد.
- پالس پهن نسبت سیگنال به نویز را افزایش ولی در مقابل نسبت سیگنال به کلاتر را کاهش می دهد.



- اگر رفتار آماری کلاتر مشابه نویز باشد (تابع چگالی احتمال گوسی)، سیگنال به کلاتر مورد نیاز را می توان مشابه سیگنال به نویز مورد نیاز بررسی شده در فصل سوم، بدست آورد.
- اما معمولاً رفتار آماری گوسی به ندرت برای کلاتر سطحی قابل استفاده است؛ مگر اینکه سلول قدرت تفکیک رادار بزرگ باشد.
- هنگامیکه هیچگونه اطلاعاتی در رابطه با رفتار آماری کلاتر وجود نداشته باشد، بسیاری از مهندسين رادار با احتیاط از مدل گوسی، مشابه گیرنده های نویز-غالب، استفاده می کنند.

- در رادارها معمولاً از تجمع پالس‌ها برای بهبود آشکارسازی استفاده می‌شود.
- اما به دلیل ثابت بودن یا تغییرات آهسته کلاتر از یک پالس به پالس دیگر، معمولاً تجمع پالس در بهبود SCR بی‌تأثیر یا دارای تأثیر ناچیزی است.
- بنابراین غالباً مهندسين رادار به صورت محافظه کارانه از بهره‌تجمع، هنگامیکه کلاتر بر نویز غالب باشد، صرف نظر می‌کنند.
- به‌طور کلی تلفاتی که در یک رادار وجود دارد، بر سیگنال و کلاتر اثر مشابهی می‌گذارند.
- بنابراین مادامی که تلفات، سطح کلاتر را پایین‌تر از نویز نیاورند، تأثیری بر آشکارسازی رادار-کلاتر-غالب نخواهند داشت.

- یک رادار هوابرد با مشخصات زیر را در نظر بگیرید:
  - پهناى بیم سمت دو طرفه آنتن:  $0.02 \text{ rad}$
  - پهناى پالس:  $2 \mu\text{s}$
  - برد هدف و کلاتر:  $20 \text{ km}$
  - زاویه گریزینگ:  $20^\circ$  درجه
  - سطح مقطع رادارى هدف:  $1 \text{ m}^2$
  - ضریب پراکندگی کلاتر:  $0.0136 \text{ m}^2/\text{m}^2$
- با فرض محدود شدن مساحت ناحیه روشن شده توسط پهناى پالس، نسبت سیگنال به کلاتر را محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} \frac{S}{C} &= \frac{2\sigma_t \cos \psi}{\sigma^0 R \theta_B c \tau} \\ &= \frac{2 \times 1 \times \cos 20^\circ}{0.0136 \times 20000 \times 0.02 \times 3 \times 10^8 \times 2 \times 10^{-6}} \\ &= 2.48 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\left( \frac{S}{C} \right)_{dB} = -36.06 \text{ dB}$$

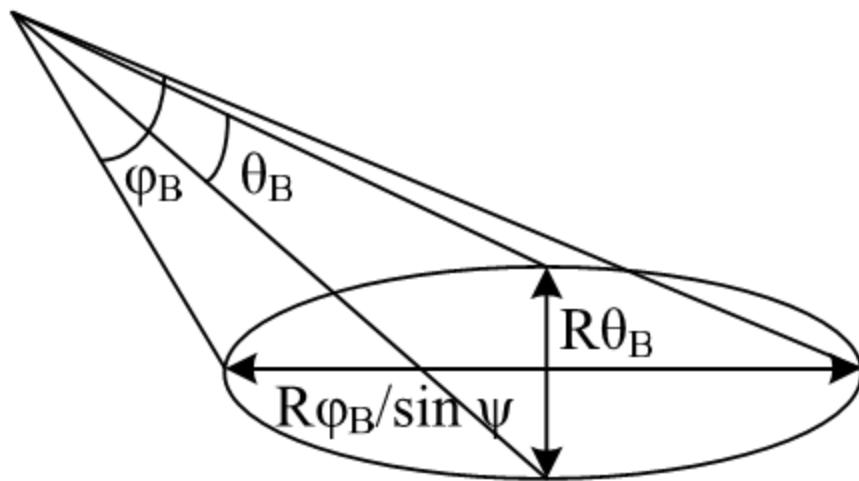
## □ حالت دوم: زاویه گریزینگ بزرگ

- در این حالت سلول قدرت تفکیک رادار، ناحیه بیضی شکلی است که ابعاد آن توسط پهناهای بیم دو طرفه سمت و ارتفاع تعیین می شود.
- مساحت سلول قدرت تفکیک رادار برابر

$$A_c = \frac{\frac{\pi}{4} R^2 \theta_B \varphi_B}{\sin \psi}$$

□ توان کلاتر دریافتی

$$C = \frac{P_t G_e \sigma^0 \theta_B \varphi_B}{64\pi R^2 \sin \psi}$$



# کلاتر سطحی (داده های اندازه گیری)

□ پایگاه داده گسترده ای از کلاتر زمین برای زوایای گریزینگ کوچک توسط آزمایشگاه لینکلن MIT فراهم شده است.



- Phase One radar
  - VHF, UHF, L-, S-, X-bands
- Measurements conducted 1982 – 1984
- Archival data at Lincoln Laboratory



- 42 sites
- Data shared with Canada and the United Kingdom

# کلاتر سطحی (داده های اندازه گیری)

Phase One Radar

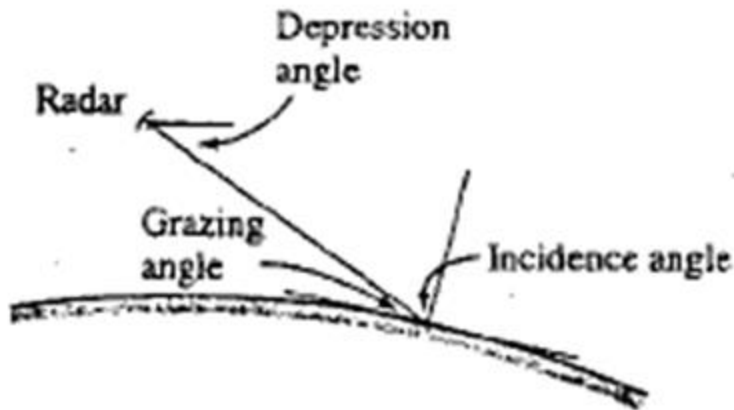


Radar System Parameters

Frequency Band (MHz)	VHF	UHF	L-Band	S-Band	X-Band
Antenna Gain (dB)	13	25	28.5	35.5	38.5
Antenna Beamwidth					
Az (deg)	13	5	3	1	1
Ei (deg)	42	15	10	4	4
Peak Power (kW)	10	10	10	10	10
Polarization	HH,VV	HH,VV	HH,VV	HH,VV	HH,VV
PRF (Hz)	500	500	500	500	500
Pulse Width ( $\mu$ s)	0.1, 0.25, and 1	0.1, 0.25, and 1	0.1, 0.25, and 1	0.1, 0.25, and 1	0.1, 0.25, and 1
Waveform	Uncoded CW Pulse	Uncoded CW Pulse	Uncoded CW Pulse	Uncoded CW Pulse	Uncoded CW Pulse
A/D Converter					
Number of Bits	13	13	13	13	13
Sampling Rate (MHz)	10, 5, 1	10, 5, 1	10, 5, 1	10, 5, 1	10, 5, 1



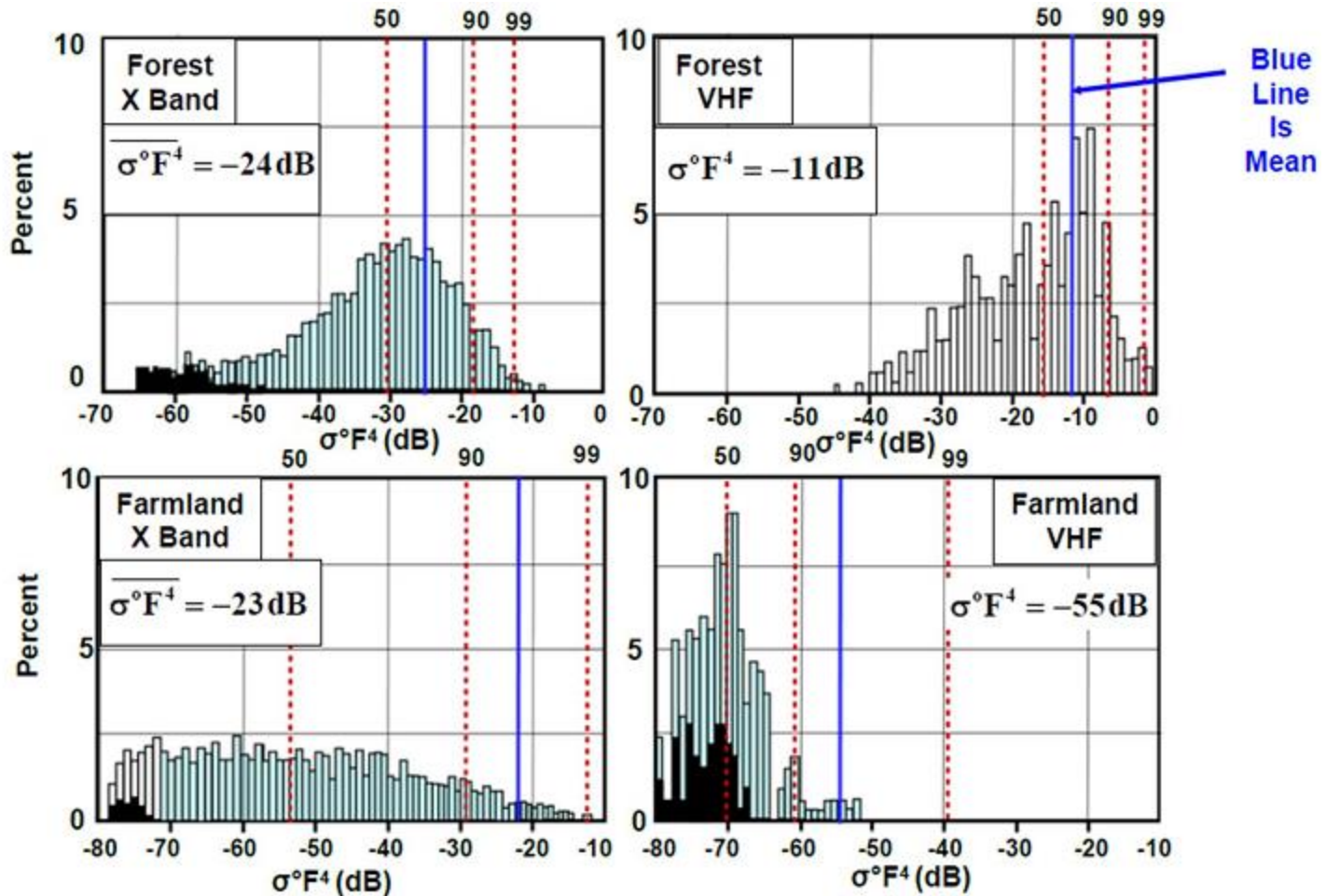
# کلاتر سطحی (داده های اندازه گیری)



Terrain Type	Median Value of $\sigma^{\circ}F^4$ (dB)				
	Frequency Band				
	VHF	UHF	L-Band	S-Band	X-Band
URBAN	-20.9	-16.0	-12.6	-10.1	-10.8
MOUNTAINS	-7.6	-10.6	-17.5	-21.4	-21.6
FOREST/HIGH RELIEF (Terrain Slopes $> 2^{\circ}$ )					
High Depression Angle ( $> 1^{\circ}$ )	-10.5	-16.1	-18.2	-23.6	-19.9
Low Depression Angle ( $\leq 0.2^{\circ}$ )	-19.5	-16.8	-22.6	-24.6	-25.0
FOREST/LOW RELIEF (Terrain Slopes $< 2^{\circ}$ )					
High Depression Angle ( $> 1^{\circ}$ )	-14.2	-15.7	-20.8	-29.3	-26.5
Intermediate Depression Angle ( $0.4^{\circ}$ to $1^{\circ}$ )	-26.2	-29.2	-28.6	-32.1	-29.7
Low Depression Angle ( $\leq 0.3^{\circ}$ )	-43.6	-44.1	-41.4	-38.9	-35.4
AGRICULTURAL/HIGH RELIEF (Terrain Slopes $\geq 2^{\circ}$ )	-32.4	-27.3	-26.9	-34.8	-28.8
AGRICULTURAL/LOW RELIEF					
Moderately Low Relief ( $1^{\circ} <$ Terrain Slopes $< 2^{\circ}$ )	-27.5	-30.9	-28.1	-32.5	-28.4
Moderately Low Relief (Terrain Slopes $< 1^{\circ}$ )	-56.0	-41.1	-31.6	-30.9	-31.5
DESERT, MARSH, GRASSLAND (Few Discrettes)					
High Depression Angle ( $\geq 1^{\circ}$ )	-38.2	-39.4	-39.6	-37.9	-25.6
Low Depression Angle ( $\leq 0.3^{\circ}$ )	-66.8	-74.0	-68.6	-54.4	-42.0



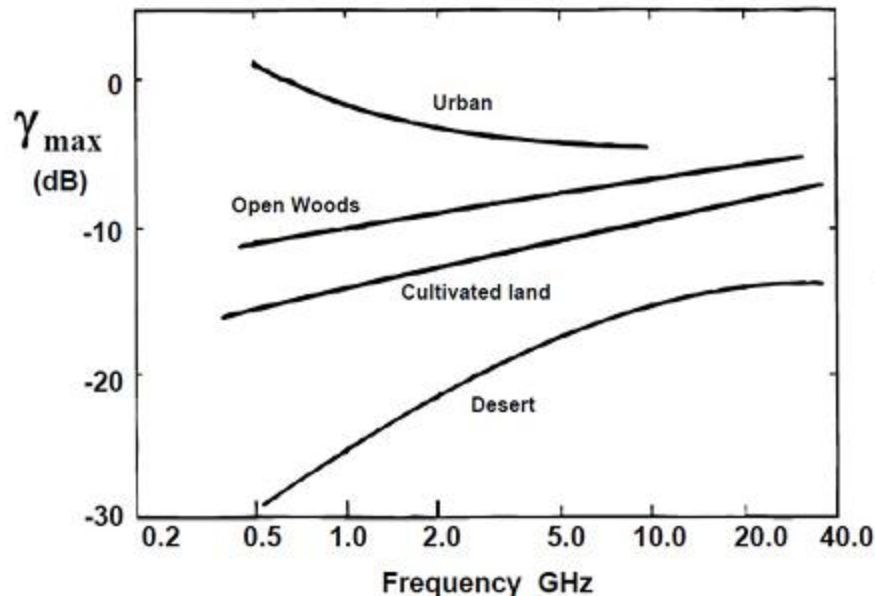
# کلاتر سطحی (داده های اندازه گیری)



# کلاتر سطحی (داده های اندازه گیری)

□ بسیاری از داده های اندازه گیری نشان می دهند که ضریب پراکندگی کلاتر زمین، به ازای زویای گریزینگ متوسط، تقریباً متناسب با  $\sin \psi$  است.

□ بنابراین گاهی اوقات کلاتر زمین توسط پارامتر  $\gamma$  مشخص می شود.

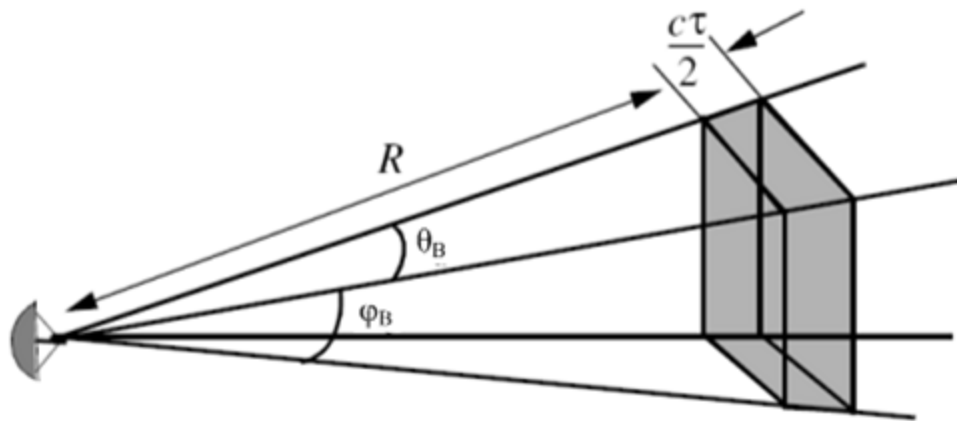


$$\gamma = \frac{\sigma_0}{\sin \psi}$$

□ همانطور که پیش از این اشاره شد، کلاتر حجمی می تواند شامل باران، چف، پرنندگان و ... باشد.

□ سطح مقطع راداری کل یک سلول قدرت تفکیک به حجم  $V_c$  برابر خواهد است با:

$$\sigma_c = V_c \eta$$



$$V_c = \frac{\pi}{4} (R\theta_B) (R\varphi_B) \left( \frac{c\tau}{2} \right)$$

□ توان دریافتی از کلاتر حجمی در برد  $R$

$$C = \frac{P_t G^2 \lambda^2 (V_c \eta)}{(4\pi)^3 R^4} = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \frac{\pi}{8} R^2 \theta_B \varphi_B c \tau \eta$$

□ توان دریافتی از هدفی در فاصله  $R$

$$S = \frac{P_t G A_e \sigma_t}{(4\pi)^2 R^4}$$

□ نسبت سیگنال به کلاتر

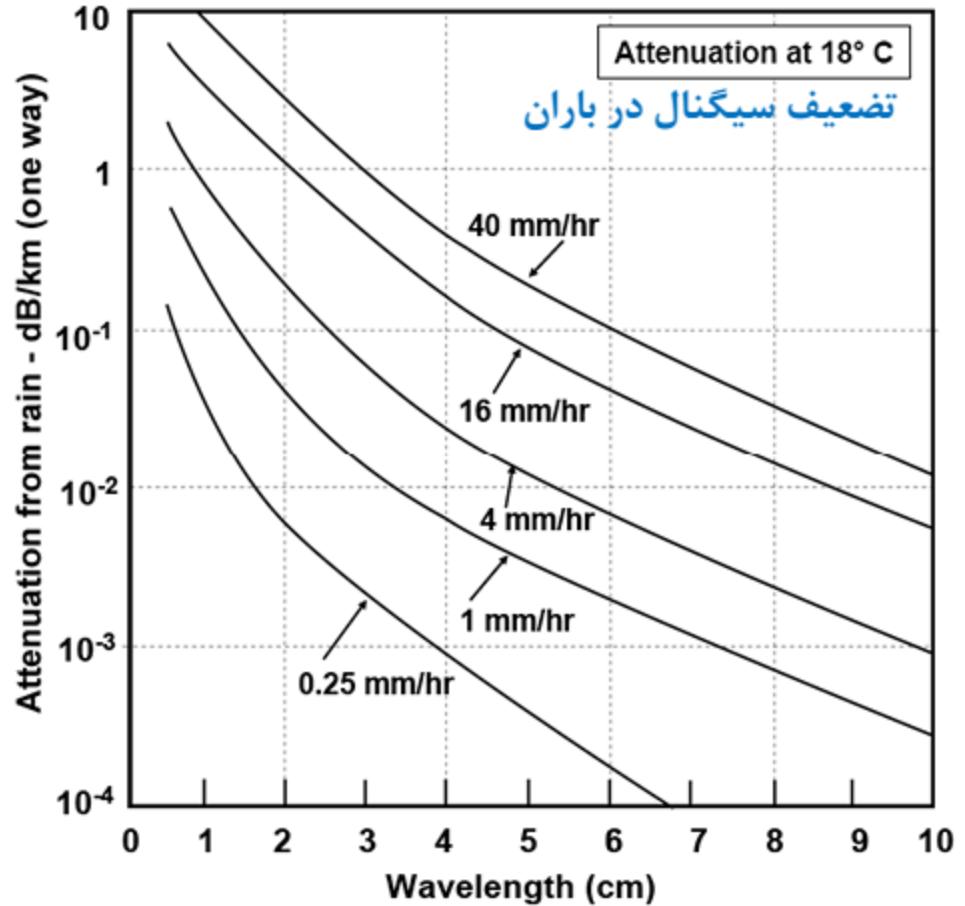
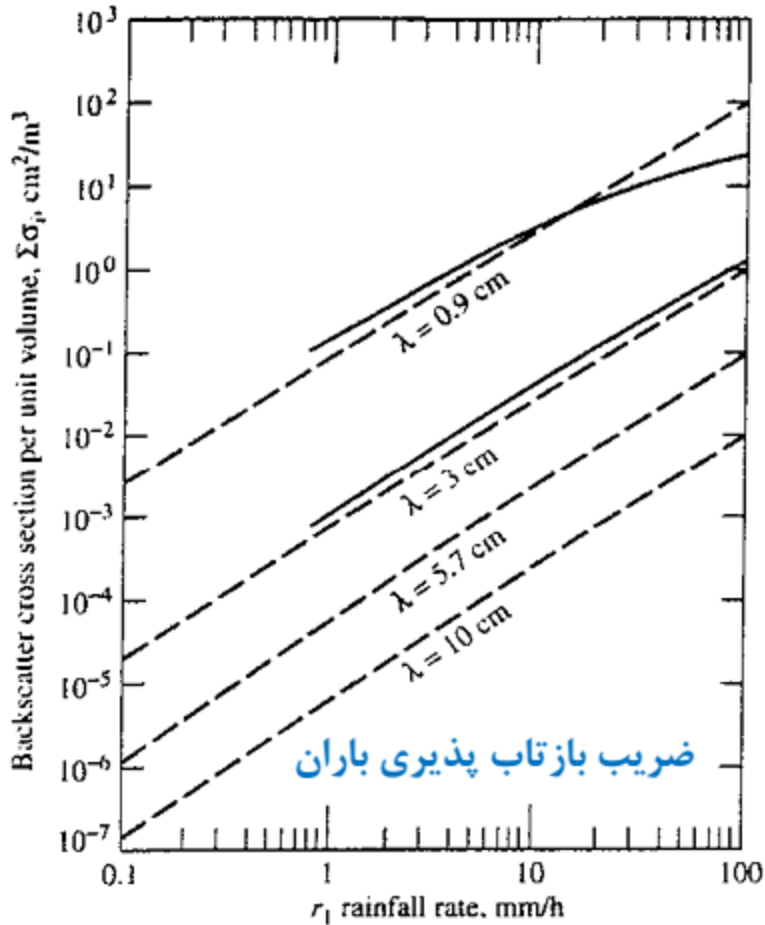
$$\frac{S}{C} = \frac{8\sigma_t}{\pi R^2 \theta_B \varphi_B c \tau \eta}$$

- یک رادار با مشخصات زیر را در نظر بگیرید:
- پهنای بیم دو طرفه سمت و ارتفاع آنتن:  $0.02 \text{ rad}$
- پهنای پالس:  $0.2 \mu\text{s}$
- برد رادار و کلاتر:  $50 \text{ km}$
- سطح مقطع راداری هدف:  $0.1 \text{ m}^2$
- ضریب بازتاب پذیری کلاتر:  $1.6 \times 10^{-8} \text{ 1/m}$
- نسبت سیگنال به کلاتر را محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} \frac{S}{C} &= \frac{8\sigma_t}{\pi R^2 \theta_B \varphi_B c \tau \eta} \\ &= \frac{8 \times 0.1}{\pi \times 50000^2 \times 0.02 \times 0.02 \times 3 \times 10^8 \times 0.2 \times 10^{-6} \times 1.6 \times 10^{-8}} \\ &= 0.265 \end{aligned}$$

$$\left( \frac{S}{C} \right)_{dB} = -5.768 \text{ dB}$$

# کلاتر حجمی (داده های اندازه گیری)



# کلاتر حجمی (داده های اندازه گیری)

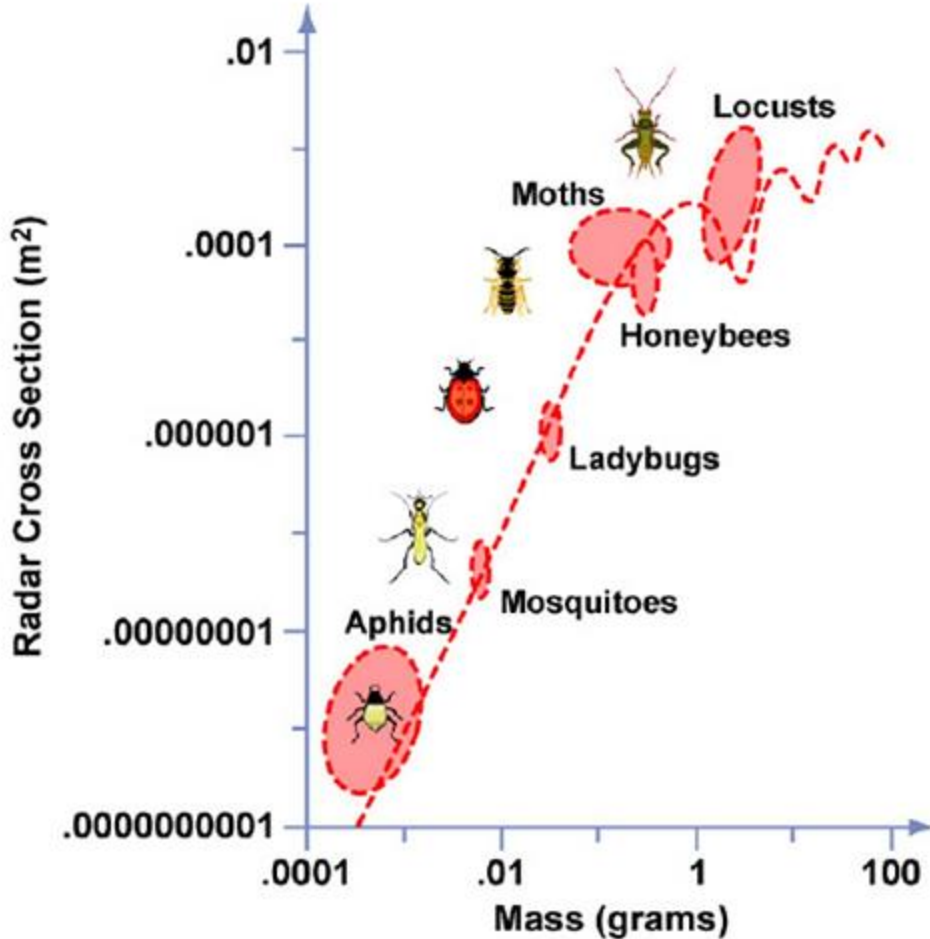
□ سطح مقطع راداری سه نوع پرنده

Bird	Frequency Band	Mean Radar Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Median Radar Cross Section (cm <sup>2</sup> )
Grackle	X	16	6.9
	S	25	12
	UHF	0.57	0.45
Sparrow	X	1.6	0.8
	S	14	11
	UHF	0.02	0.02
Pigeon	X	15	6.4
	S	80	32
	UHF	11	8.0

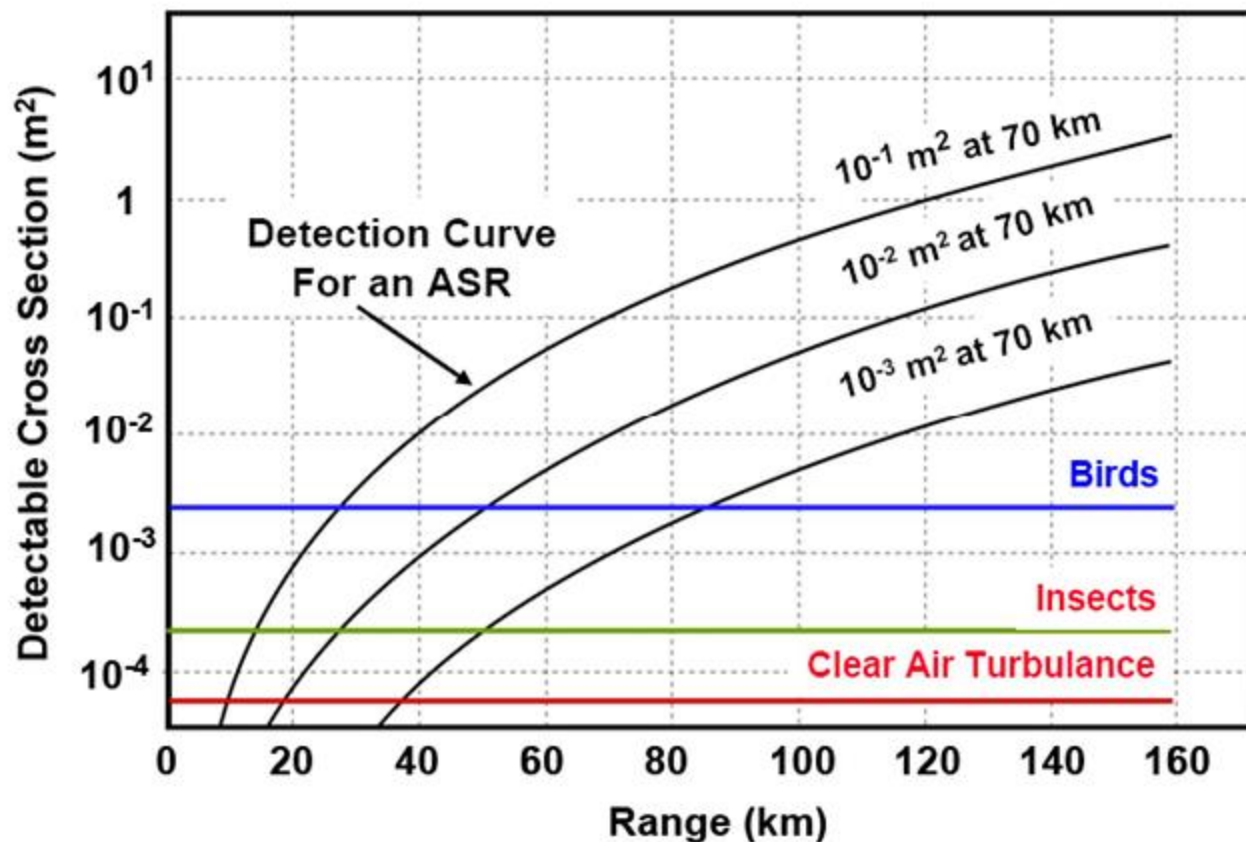


# کلاتر حجمی (داده های اندازه گیری)

□ سطح مقطع راداری حشرات  
بر حسب جرم آن ها



□ علت اهمیت بررسی اثر پرنده‌گان و حشرات بر عملکرد رادار



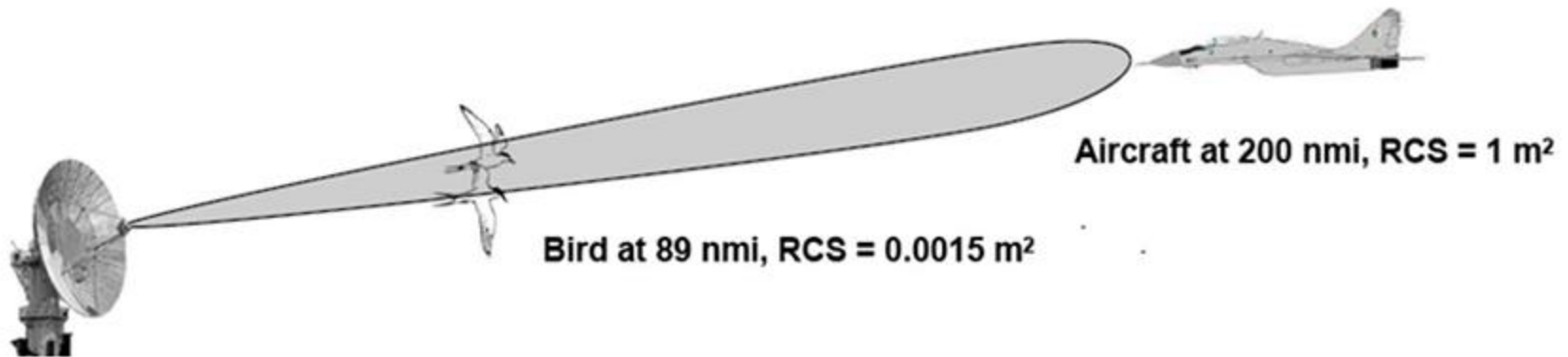
□ قابلیت آشکارسازی دو هدف مشاهده شده در شکل زیر یکسان است.

$$SNR \propto \frac{\sigma}{R^4}$$

□ امکان جبران مشکل آشکارسازی هدف اشتباه با استفاده از سیستم

**STC (Sensitivity Time Control)**

□ تضعیف سیگنال دریافتی با ضربی که به صورت  $1/R^4$  تغییر می کند.



# مدل های آماری برای کلاتر سطحی

- با توجه به ماهیت تصادفی سیگنال های بازگشتی از کلاتر، معمولاً آنها را توسط تابع چگالی احتمال توصیف می کنند.
- سه نوع تابع چگالی احتمال مورد استفاده برای توصیف رفتار آماری کلاتر سطحی
  - توزیع رایلی
  - توزیع log-normal
  - توزیع weibull

- استفاده از این مدل معروف بر اساس این فرض است که تعداد زیادی پراکنده‌ساز مستقل با موقعیت تصادفی در ناحیه کلاتر روشن شده توسط رادار قرار داشته باشند.
- همچنین در این مدل فرض می‌شود که هیچکدام از پراکنده‌سازها به طور قابل توجهی بزرگتر از دیگر پراکنده‌سازها نباشد.
- اگر رادار از یک آشکارساز خطی استفاده کند، تابع چگالی احتمال پوش ولتاژ یک کلاتر با توزیع رایلی در خروجی گیرنده به صورت زیر خواهد بود:

$$p(v) = \frac{2v}{m_2} e^{-\frac{v^2}{m_2}} \quad v \geq 0$$

متوسط مجذور پوش  $v$

- اگر در گیرنده از آشکارساز قانون توان (square-law) استفاده شود، آنگاه ولتاژ خروجی متناسب با توان سیگنال ورودی است.
- تابع چگالی احتمال پوش ولتاژ در خروجی گیرنده در این حالت به صورت نمایی خواهد بود:

$$p(P) = \frac{1}{\bar{P}} e^{-\frac{P}{\bar{P}}} \quad P \geq 0$$

مقدار متوسط توان →

- اگرچه تابع چگالی احتمال خروجی گیرنده خطی به صورت رایلی و گیرنده قانون توان به صورت نمایی است، هر دوی آن ها متعلق به مدل رایلی در نظر گرفته می شوند.

- مدل رایلی برای توصیف پوش خروجی گیرنده هنگامیکه ورودی نویز گوسی باشد نیز استفاده می‌شود.
- بنابراین می‌توان از تئوری مربوط به آشکارسازی سیگنال در نویز برای آشکارسازی سیگنال در کلاتر هنگامیکه مدل آن رایلی و مانند نویز از یک پالس به پالس دیگر مستقل باشد استفاده کرد.
- البته بازگشتی‌های کلاتر معمولاً از یک پالس به پالس دیگر مستقل نیستند. این نکته هنگام استفاده از تجمیع پالس باید مورد توجه قرار گیرد.
- می‌توان با استفاده از روش‌های زیر بازگشتی‌های کلاتر از یک پالس به پالس دیگر را مستقل کرد:
  - تغییر فرکانس از یک پالس به پالس دیگر
  - افزایش فاصله زمانی بین پالس‌ها

# توزیع log-normal

- توزیع رایلی زمانی استفاده می شود که سلول قدرت تفکیک رادار بزرگ و در نتیجه دارای تعداد زیادی پراکنده ساز که هیچکدام غالب نیستند، باشد.
- اما این توزیع برای توصیف کلاتر هنگامیکه ابعاد سلول قدرت تفکیک و زاویه گریزینگ کوچک باشند، مناسب نیست.
- یکی از اولین مدل‌های پیشنهادی برای توصیف کلاتر غیر رایلی، توزیع log-normal بود.
- در توزیع log-normal توان بازگشتی از کلاتر که برحسب dB بیان می شود دارای توزیع گوسی است.



□ تابع چگالی احتمال log-normal برای توان بازگشتی به صورت زیر است:

$$p(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s^2 P}} e^{-\frac{1}{2s^2} \left( \ln \frac{P}{P_m} \right)^2} \quad P \geq 0$$

انحراف معیار  $\ln P$  ← مقدار میانه توان

□ توزیع log-normal توسط دو پارامتر (میانه و انحراف معیار) و توزیع رایلی توسط یک پارامتر (متوسط مجذور) مشخص می شوند.

□ به همین دلیل تابع چگالی احتمال log-normal بهتر می تواند داده های اندازه گیری را برازش کند.

□ با این وجود توزیع log-normal منجر به دنباله بزرگتری برای تابع چگالی احتمال کلاتر در مقایسه با نتایج اندازه گیری می شود.

- توزیع weibull یک توزیع دو پارامتری است که می‌تواند بر روی داده‌های اندازه‌گیری کلاتری که بین رایلی و log-normal است منطبق شود.
- در واقع توزیع رایلی حالت خاصی از توزیع weibull است. همچنین با انتخاب مناسب پارامترها، توزیع weibull می‌تواند به توزیع log-normal نیز نزدیک شود.
- تابع چگالی احتمال weibull برای توان بازگشتی به صورت زیر است:

$$p(P_n) = \beta (\ln 2) P_n^{\beta-1} e^{-(\ln 2)P_n^\beta} \quad P_n \geq 0$$

$\alpha$ : پارامتر شیب weibull

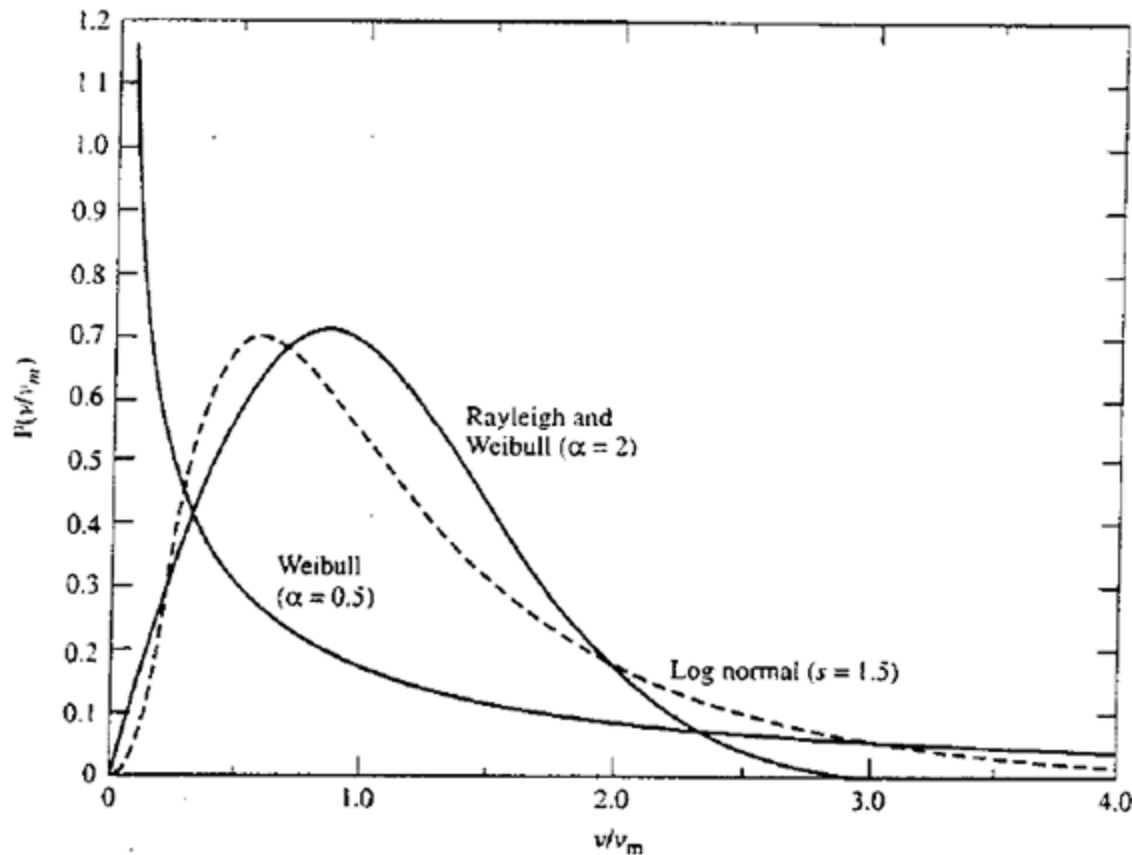
$\alpha/2$

$P/P_m$

$P_m$ : مقدار میانه توان

# مدل های آماری برای کلاتر سطحی

□ مقایسه سه نوع تابع چگالی احتمال



# مدل های آماری برای کلاتر سطحی

- علاوه بر مدل های توضیح داده شده توزیع های دیگری نیز مانند رایسین، گاما،  $\log\text{-weibull}$  و... نیز برای توصیف ماهیت تصادفی کلاتر پیشنهاد شده است.
- به طور کلی به غیر از توزیع رایلی باقی توزیع ها مبنای فیزیکی خاصی نداشته و صرفاً بر اساس انطباق بر نمودارهای اندازه گیری پیشنهاد شده اند.
- تئوری آشکارسازی سیگنال در کلاتر غیر گوسی، وابسته به زمان، غیر همگن و غیر ساکن مسئله پیچیده ای است.
- یک طراح رادار در هنگام مواجهه با چنین مسائلی باید با استفاده از تجربیات قبلی طراحی محافظه کارانه ای انجام دهد.