



مباحث ویژه (پردازش سیگنال های راداری)

نیم سال دوم ۰۳-۰۲

الگوریتم برد-داپلر

تشکیل تصویر

- تشکیل تصویر پردازشی است که طی آن داده خام جمع آوری شده تبدیل به تصویر می شود.
- منظور از تصویر، یک نقشه دو بعدی از RCS عوارض زمین است.
- طی فرایند تشکیل تصویر، سیگنال دریافتی از هر هدف نقطه ای روی زمین (که همان داده منحنی مانند است) باید تبدیل به یک پیکسل تصویر شود.
- الگوریتم های مختلفی برای تشکیل تصویر معرفی شده است که در آنها مصالحه ای بین دقت، حجم پردازش و انعطاف پذیری در شرایط مختلف وجود دارد.
- گاهی الگوریتم های تشکیل تصویر را به دو دسته عمده تقسیم می کنند:
 - الگوریتم های حوزه زمان
 - الگوریتم های حوزه فرکانس

Point Spread Function (PSF) □

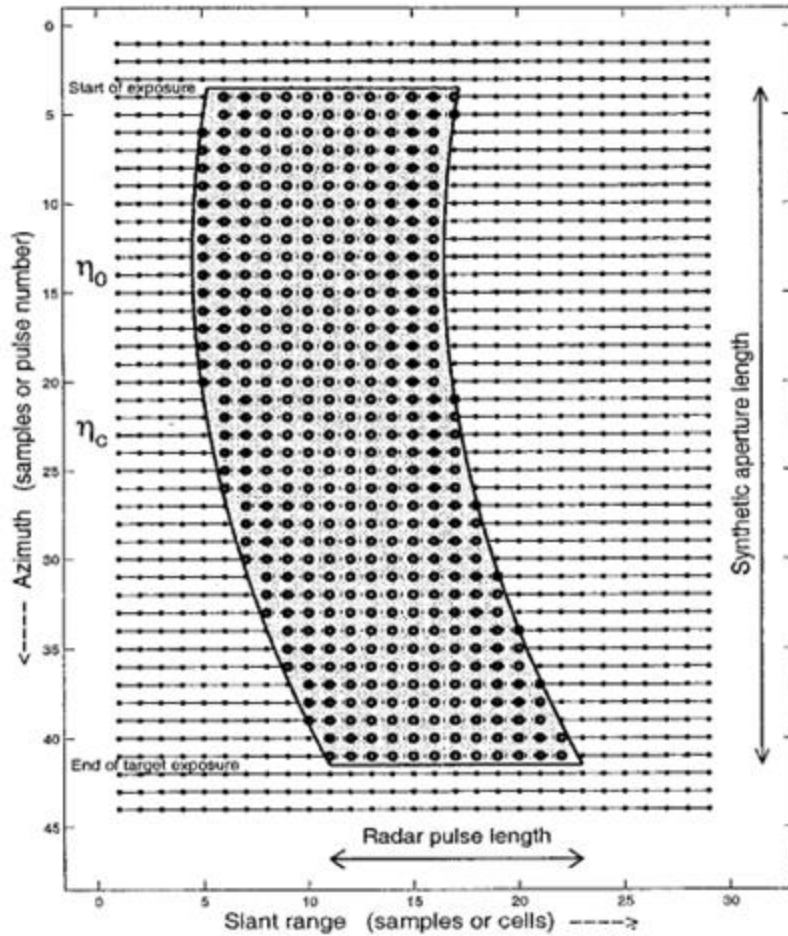
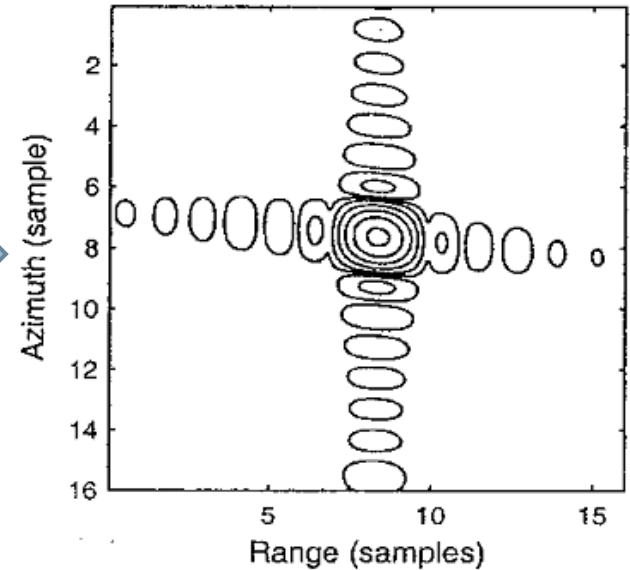


Image Formation Algorithm



الگوریتم همبستگی حوزه زمان

- Time Domain Correlation (TDC)
- این الگوریتم سر راست ترین و دقیق ترین الگوریتم تشکیل تصویر است.
- روش عملکرد: به ازای هر هدف نقطه ای نرمال (با بازتاب پذیری ۱) در موزاییک مشخصی روی زمین، یک سیگنال دریافتی فرضی داریم که قابل شبیه سازی است.
- با ضرب و جمع درایه به درایه این سیگنال فرضی در ماتریس داده خام دریافتی، مقدار پیکسل مربوط به آن موزاییک (هدف) به دست می آید.
- اگر ابعاد داده خام دریافتی $M*N$ باشد، به ازای هر پیکسل تصویر MN ضرب و MN جمع مختلط مورد نیاز است، لذا حجم محاسباتی این الگوریتم به حدی بالاست که استفاده از آن عملی نیست.
- برای کاهش حجم محاسباتی آن از الگوریتم هایی مثل پس تابش (Back-Projection) استفاده می شود.

الگوریتم برد-داپلر

- یکی از پرکاربردترین الگوریتم های تشکیل تصویر، الگوریتم برد-داپلر است.
- این الگوریتم بر فشرده سازی برد، اصلاح مهاجرت سلول برد (RCMC) و فشرده سازی سمت استوار است.
- چون عملیات RCMC در حوزه زمان برد، فرکانس سمت (برد، داپلر) صورت می گیرد به این الگوریتم برد-داپلر گفته می شود.
- اولین بار در سال ۱۹۷۸ برای تشکیل اولین سنجنده ماهواره ای (SEASAT) به کار برده شد.
- ✓ از دقت و حجم محاسباتی مطلوبی برخوردار است.
- ✓ عملیات برد و سمت به صورت جداگانه انجام می شود. (همه پردازش ها یک بعدی است).
- ✓ پردازش بلوکی در آن امکان پذیر است.
- ✓ عملیات RCMC برای همه اهداف یک برد خاص همزمان صورت می گیرد.
- ☒ نسخه پایه ای آن در لوچی بالا جواب نمی دهد و نیاز به تصحیحاتی دارد.
- ☒ در طول روزنه بزرگ عملکرد آن افت می کند. (فرض این الگوریتم، فرکانس خطی در سمت است).

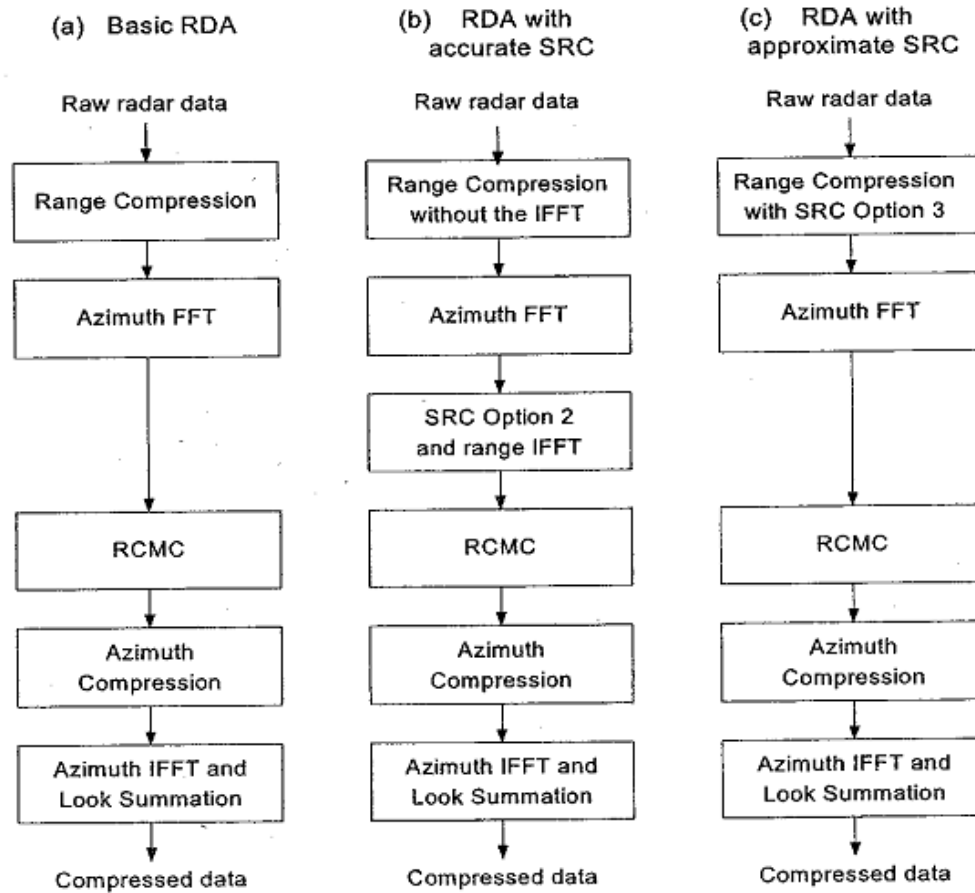


Figure 6.1: Functional block diagram of the RDA, showing three implementations.

□ سیگنال دریافتی باند پایه (داده خام):

$$s_0(\tau, \eta) = A_0 w_r[\tau - 2R(\eta)/c] w_a(\eta - \eta_c) \times \exp\{-j 4\pi f_0 R(\eta)/c\} \exp\{j\pi K_r (\tau - 2R(\eta)/c)^2\} \quad (6.1)$$

where

- A_0 = an arbitrary complex constant
- τ = range time
- η = azimuth time referenced to closest approach
- η_c = beam center offset time
- $w_r(\tau)$ = range envelope (a rectangular function)
- $w_a(\eta)$ = azimuth envelope (a sinc-squared function)
- f_0 = radar center frequency
- K_r = range chirp FM rate
- $R(\eta)$ = instantaneous slant range

□ فشرده سازی در برد:

$$\begin{aligned} s_{\text{rc}}(\tau, \eta) &= \text{IFFT}_{\tau} \left\{ S_0(f_{\tau}, \eta) G(f_{\tau}) \right\} \\ &= A_0 p_r[\tau - 2R(\eta)/c] w_a(\eta - \eta_c) \exp\{-j 4\pi f_0 R(\eta)/c\} \end{aligned} \quad (6.3)$$

□ حد تفکیک به دست آمده در برد:

$$\rho_r = \frac{c}{2} \frac{0.886 \gamma_{w,r}}{|K_r| T_r}$$

□ تقریب رابطه برد:

$$R(\eta) = \sqrt{R_0^2 + V_r^2 \eta^2} \approx R_0 + \frac{V_r^2 \eta^2}{2 R_0}$$

□ سیگنال تقریبی فشرده شده در برد:

$$\begin{aligned} s_{\text{rc}}(\tau, \eta) &\approx A_0 p_r \left[\tau - 2 \frac{R(\eta)}{c} \right] w_a(\eta - \eta_c) \\ &\quad \times \exp\left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0}{c} \right\} \exp\left\{ -j\pi \frac{2 V_r^2}{\lambda R_0} \eta^2 \right\} \end{aligned} \quad (6.6)$$

$$K_a \approx \frac{2V_r^2}{\lambda R_0} \quad \square \text{ تعریف:}$$

$$s_{rc}(\tau, \eta) = A_0 p_r(\tau - 2R(\eta)/c) w_a(\eta - \eta_c) \times \exp\left[-j \frac{4\pi R_0}{\lambda}\right] \times \exp\left[-j\pi K_a \eta^2\right]$$

$$S_1(\tau, f_\eta) = \text{FFT}_\eta \{s_{rc}(\tau, \eta)\} \quad \square \text{ اعمال FFT در راستای سمت:}$$

$$g(t) = w(t) \exp[j\phi(t)] \quad \square \text{ استفاده از اصل فاز ایستان (POSP):}$$

$$\theta(t) = \phi(t) - 2\pi f t \quad \square \text{ با فرض محدود بودن تغییرات دامنه نسبت به فاز و تعریف:}$$

$$G(f) \approx A \times W(f) \exp[j\Theta(f)] \quad \square \text{ خواهیم داشت:}$$

\square که:

$$W(f) = w[t(f)]$$

$$\Theta(f) = \theta[t(f)]$$

□ $t(f)$ از حل $\frac{d\theta(t)}{dt} = 0$ حاصل می شود.

□ برای مثال:

$$s(t) = w(t) \exp \{ j \pi K t^2 \}$$

□ اعمال POSP:

$$\theta(t) = \pi K t^2 - 2\pi f t$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = 0 \Rightarrow f = Kt \Rightarrow t = \frac{f}{K}$$

$$\Rightarrow \Theta(t) = \theta(t = f / K) = \pi K \left(\frac{f}{K} \right)^2 - 2\pi \left(\frac{f^2}{K} \right) = -\pi \frac{f^2}{K}$$

$$\Rightarrow W(f) = w \left(\frac{f}{K} \right)$$

$$S(f) \approx W(f) \exp \left[-j \pi \frac{f^2}{K} \right]$$

□ بنابراین پس از تبدیل فوریه در سمت:

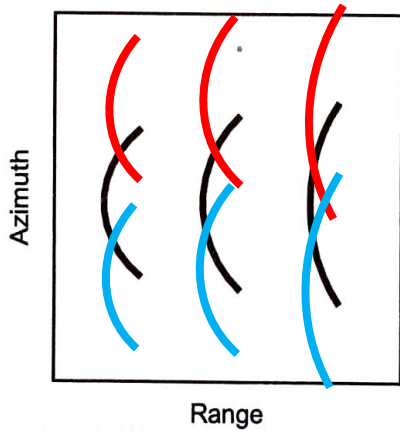
$$\begin{aligned}
 S_1(\tau, f_\eta) &= \text{FFT}_\eta \left\{ s_{\text{rc}}(\tau, \eta) \right\} \\
 &= A_0 p_\tau \left[\tau - \frac{2R_{\text{rd}}(f_\eta)}{c} \right] W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \\
 &\quad \times \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0}{c} \right\} \exp \left\{ j\pi \frac{f_\eta^2}{K_a} \right\}
 \end{aligned}$$

□ منحنی RCM در حوزه برد-داپلر (یکسان برای همه اهداف واقع در برد R_0):

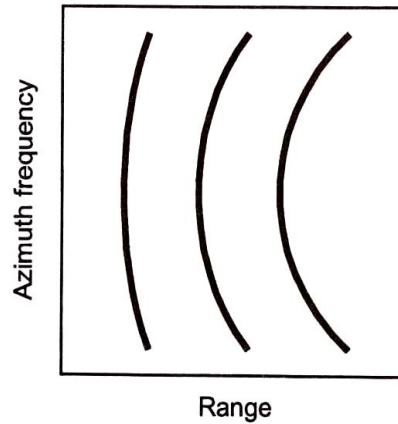
$$R_{\text{rd}}(f_\eta) \approx R_0 + \frac{V_r^2}{2R_0} \left(\frac{f_\eta}{K_a} \right)^2 = R_0 + \frac{\lambda^2 R_0 f_\eta^2}{8V_r^2}$$

□ مثال برای ۹ هدف:

(a) Target trajectories in the time domain



(b) Target trajectories in the range Doppler domain



□ مقدار اصلاحی به ازای هر برد و هر فرکانس سمت:

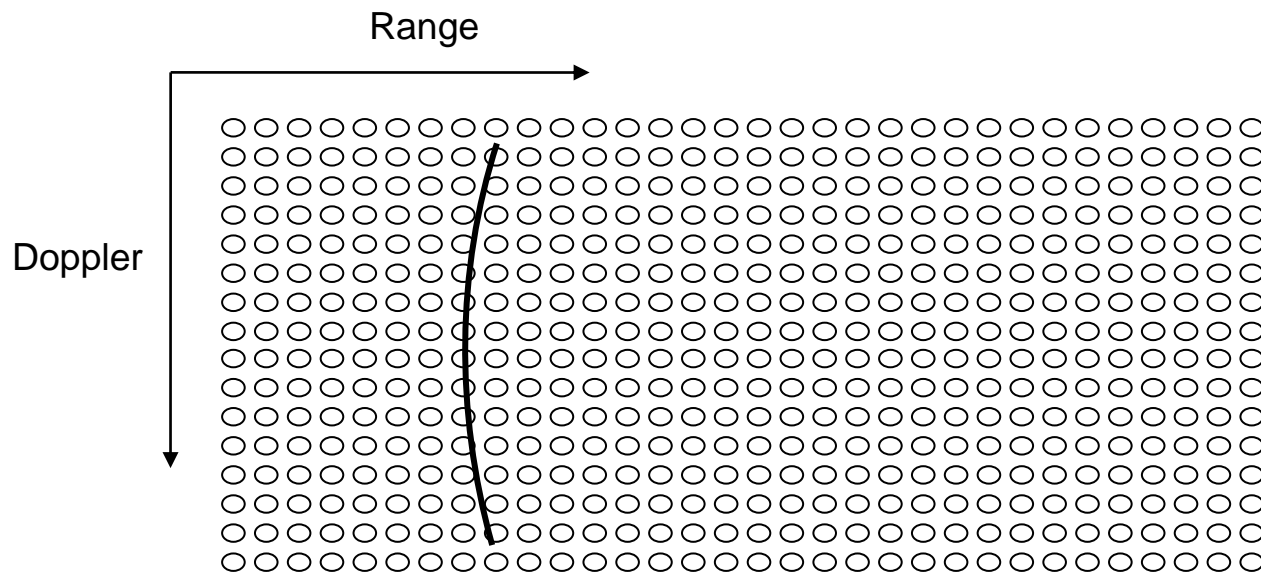
$$\Delta R(f_\eta) = \frac{\lambda^2 R_0 f_\eta^2}{8 V_r^2}$$

□ اگر عرض نوار کم باشد، می توان RCM برد وسط را برای همه بردها اعمال کرد. (حجم محاسبات کم می شود، چون می توان از شیفت داده با استفاده از ضرب فاز در حوزه فرکانس برد استفاده کرد.)

$$G_{rcmc}(f_\tau) = \exp\left\{j \frac{4\pi f_\tau \Delta R(f_\eta)}{c}\right\}$$

□ اگر RCMC دقیق مورد نظر باشد، باید از درون یابی استفاده کرد.

□ درون یابی برای هر برد:



□ درون یابی به روش های مختلف و با طول متفاوت (عموما ۴ یا ۸ نمونه) انجام می شود.

□ نتیجه RCMC ناکامل: ایجاد جفت پژواک (paired echoes) اضافی

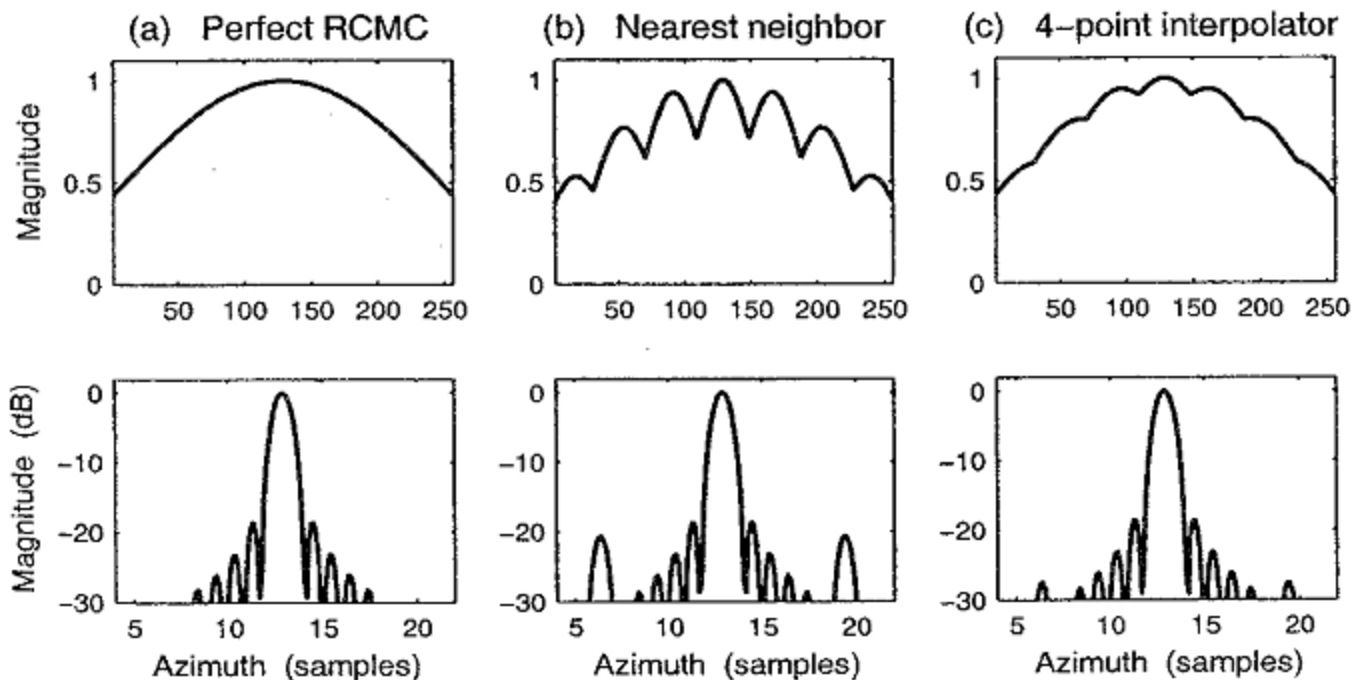


Figure 6.8: Paired echoes caused by modulation when RCMC is not accurate.

□ با فرض انجام درون یابی به منظور RCMC:

$$S_2(\tau, f_\eta) = A_0 p_r \left(\tau - \frac{2R_0}{c} \right) W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \\ \times \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0}{c} \right\} \exp \left\{ j\pi \frac{f_\eta^2}{K_a} \right\}$$

□ فشرده سازی در سمت با استفاده از ضرب در حوزه فرکانس سمت انجام می شود.
□ تابع ضرب شونده:

$$H_{az}(f_\eta) = \exp \left\{ -j\pi \frac{f_\eta^2}{K_a} \right\}$$

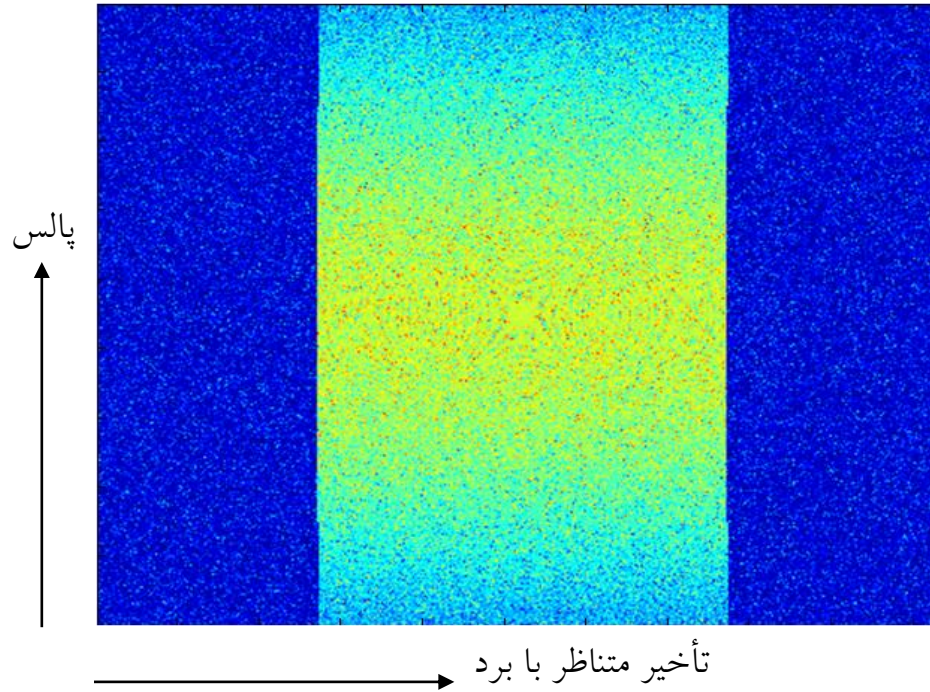
□ پس از ضرب حوزه فرکانس سمت (فشرده سازی در سمت):

$$\begin{aligned} S_3(\tau, f_\eta) &= S_2(\tau, f_\eta) H_{az}(f_\eta) \\ &= A_0 p_r(\tau - 2R_0/c) W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \exp\left\{-j \frac{4\pi f_0 R_0}{c}\right\} \end{aligned}$$

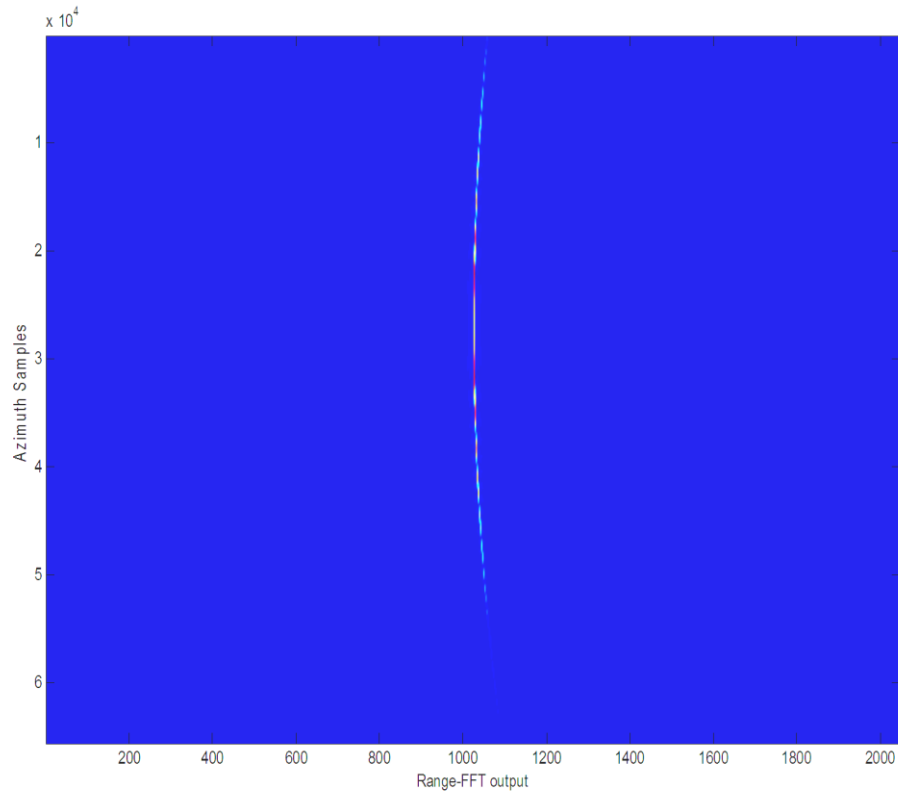
□ در نهایت، اعمال IFFT حوزه سمت برای رسیدن به حوزه تصویر:

$$\begin{aligned} s_{ac}(\tau, \eta) &= \text{IFFT}_\eta \{S_3(\tau, f_\eta)\} \\ &= A_0 p_r(\tau - 2R_0/c) p_a(\eta) \\ &\quad \times \exp\left\{-j \frac{4\pi f_0 R_0}{c}\right\} \exp\{j 2\pi f_{\eta c} \eta\} \end{aligned}$$

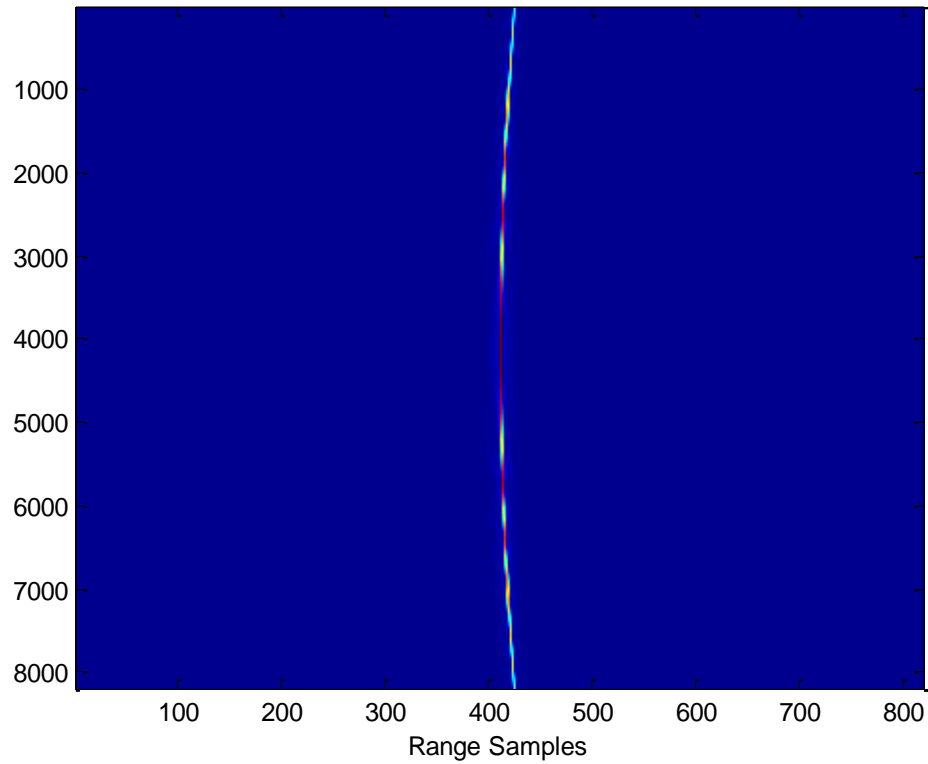
□ سیگنال باند پایه ورودی (داده خام)



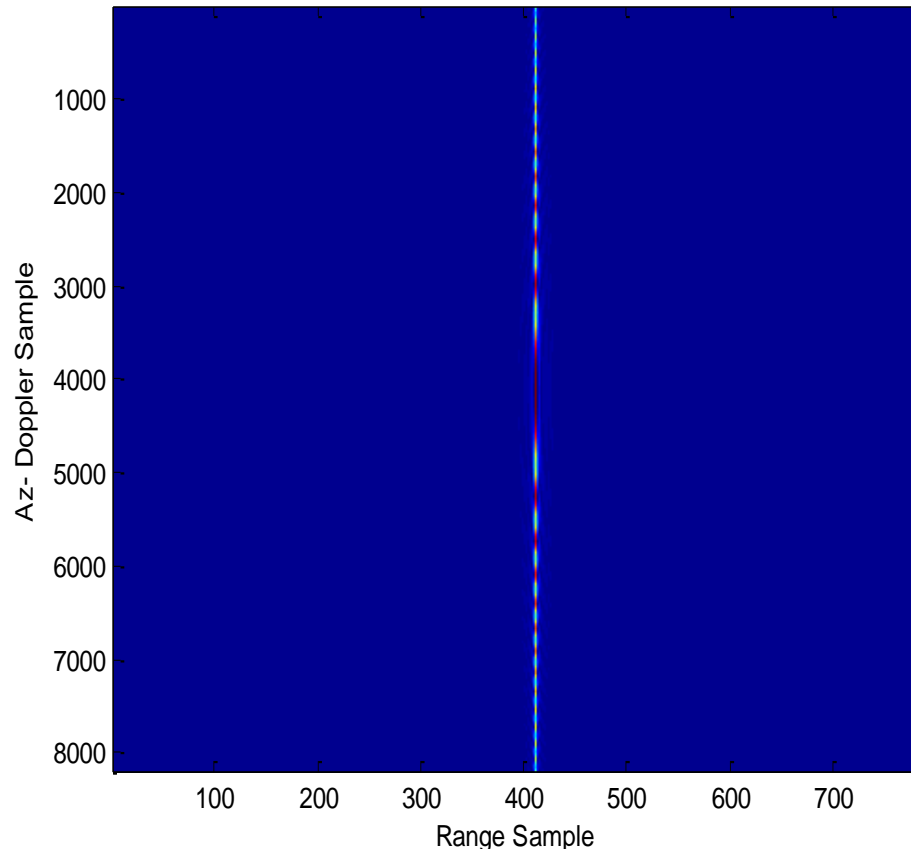
□ پس از فشرده سازی در برد



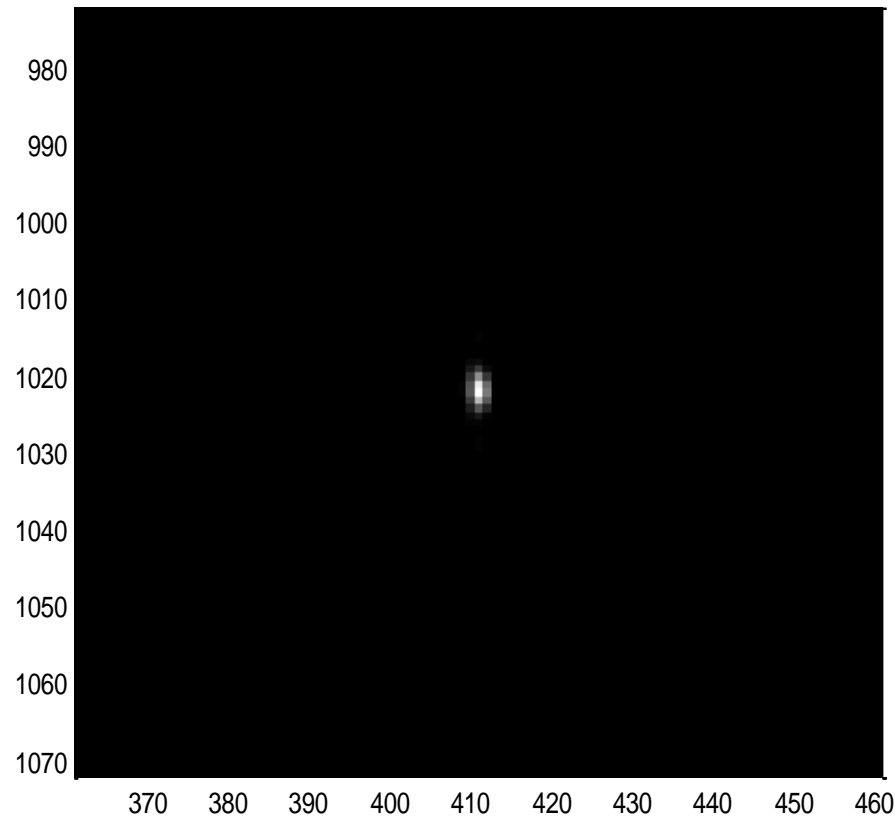
□ سیگنال فشرده شده در برد در حوزه برد-دایپلر



□ پس از RCMC



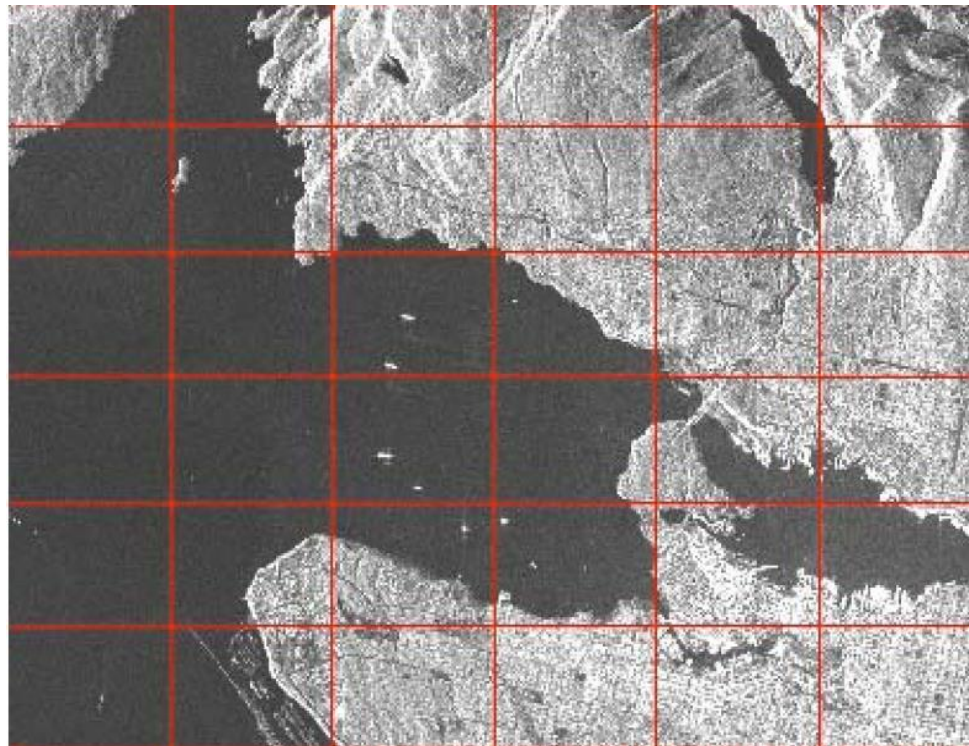
□ تصویر نهایی پس از فشرده سازی در سمت



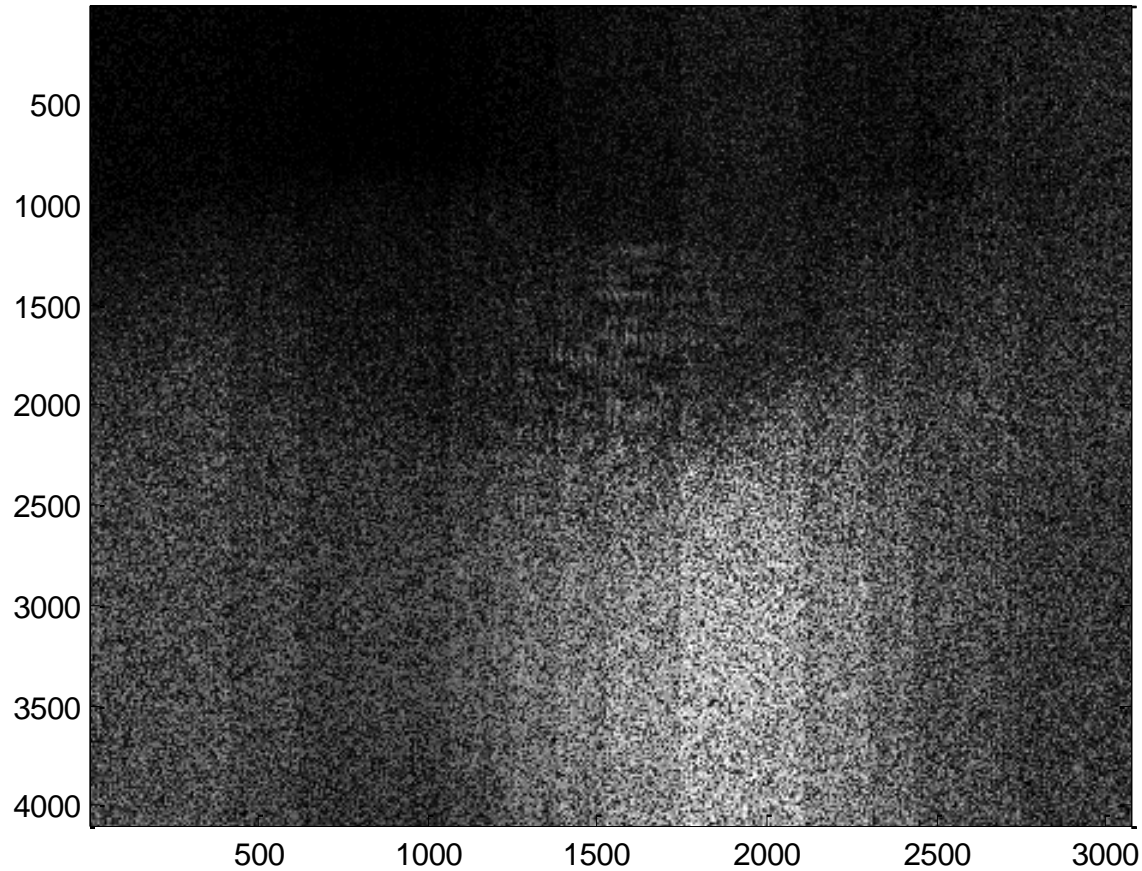
□ داده ماهواره RADARSAT-1

<i>Parameter</i>	<i>Symbol</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Sampling rate	F_s	32.317	MHz
Pulse bandwidth		30.111	MHz
Pulse center frequency		0	MHz
Range FM rate	K_r	0.72135	MHz/ μ s
Data window start time		6.5956	ms
Pulse duration		41.74	μ s
Number of samples in replica		1349	
Number of samples per echo line		9280	
Radar frequency	f_0	5.300	GHz
Radar wavelength	λ	0.05657	m
Pulse repetition frequency	PRF	1256.98	Hz
Effective radar velocity	V_r	7062	m/s
Azimuth FM rate	K_a	1733	Hz/s
Doppler centroid	f_{nc}	-6900	Hz
Spacecraft heading		344.49	degrees
Platform latitude		48.36	degrees
Platform longitude		229.29	degrees
Satellite orbit radius		7,189,029	m
Local Earth sphere radius		6,390,524	m
Incidence angle at near range		38.64	degrees
Incidence angle at midrange		40.15	degrees
Incidence angle at far range		41.61	degrees

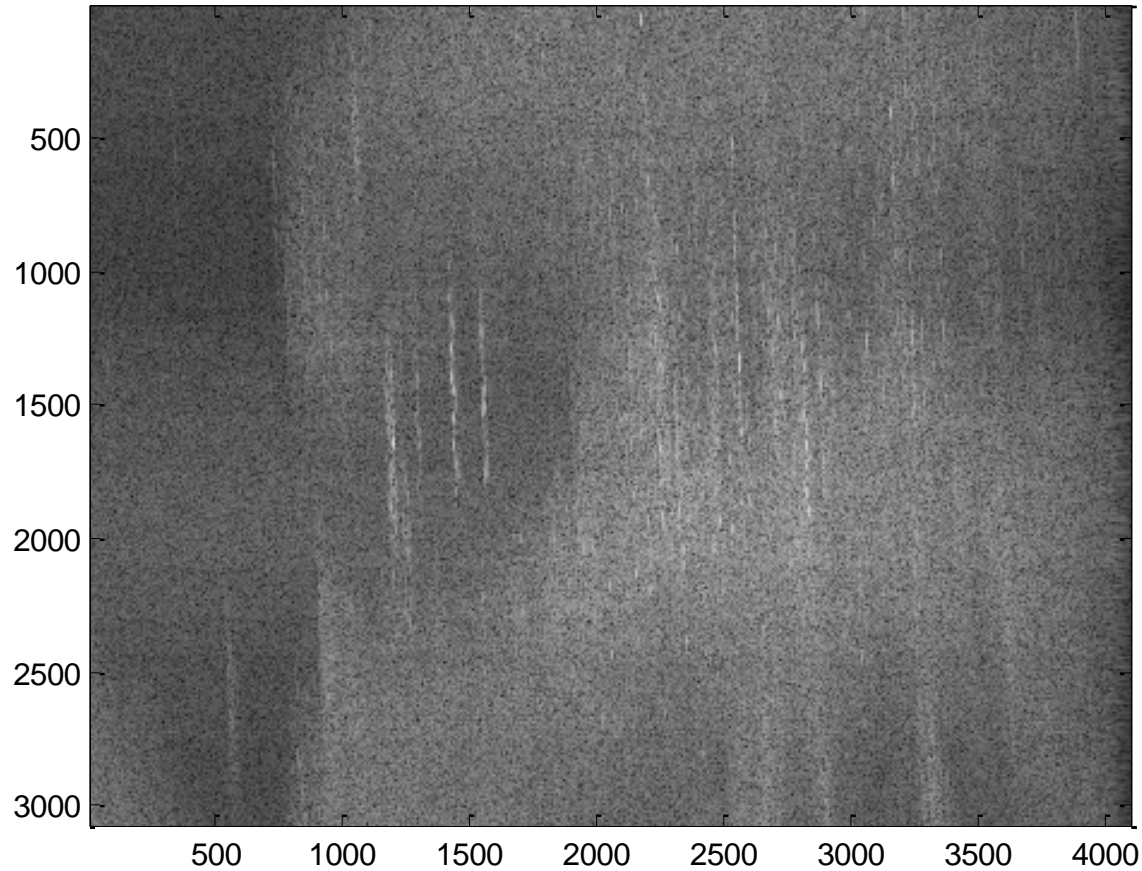
□ تصویر مرجع



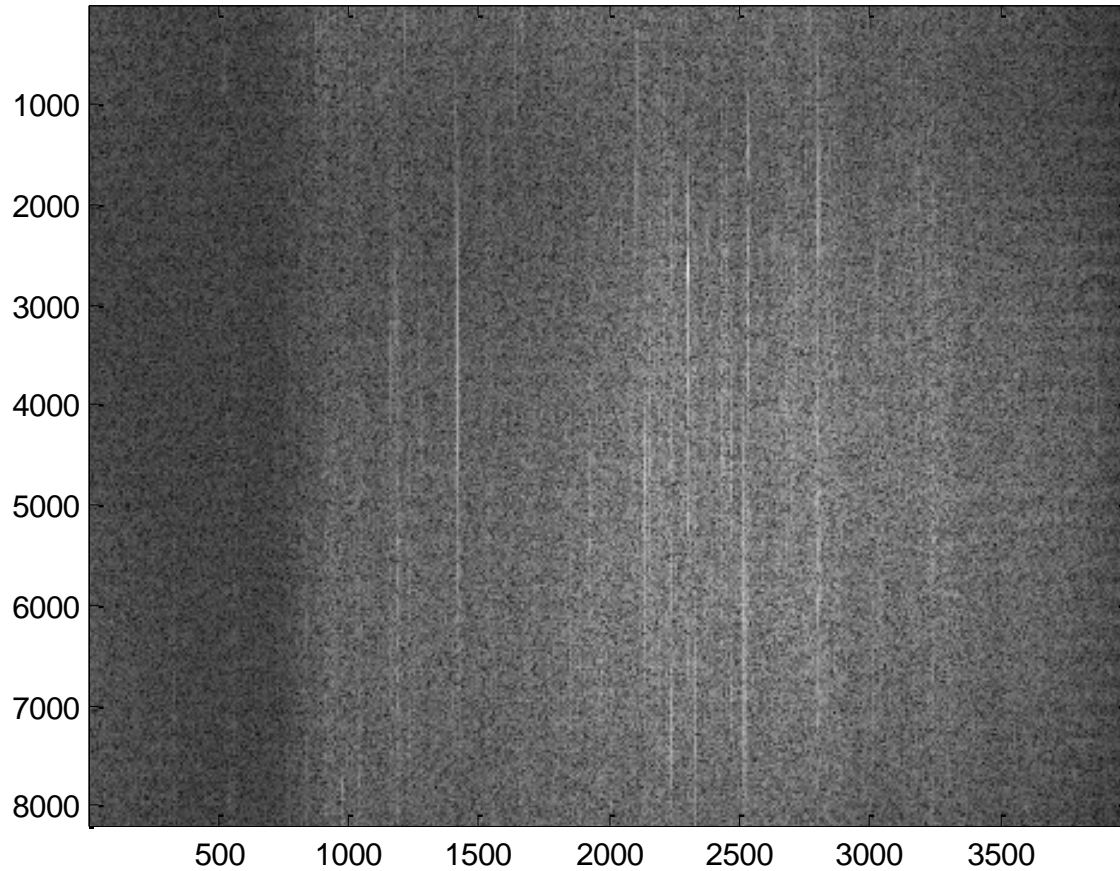
□ داده خام ورودی



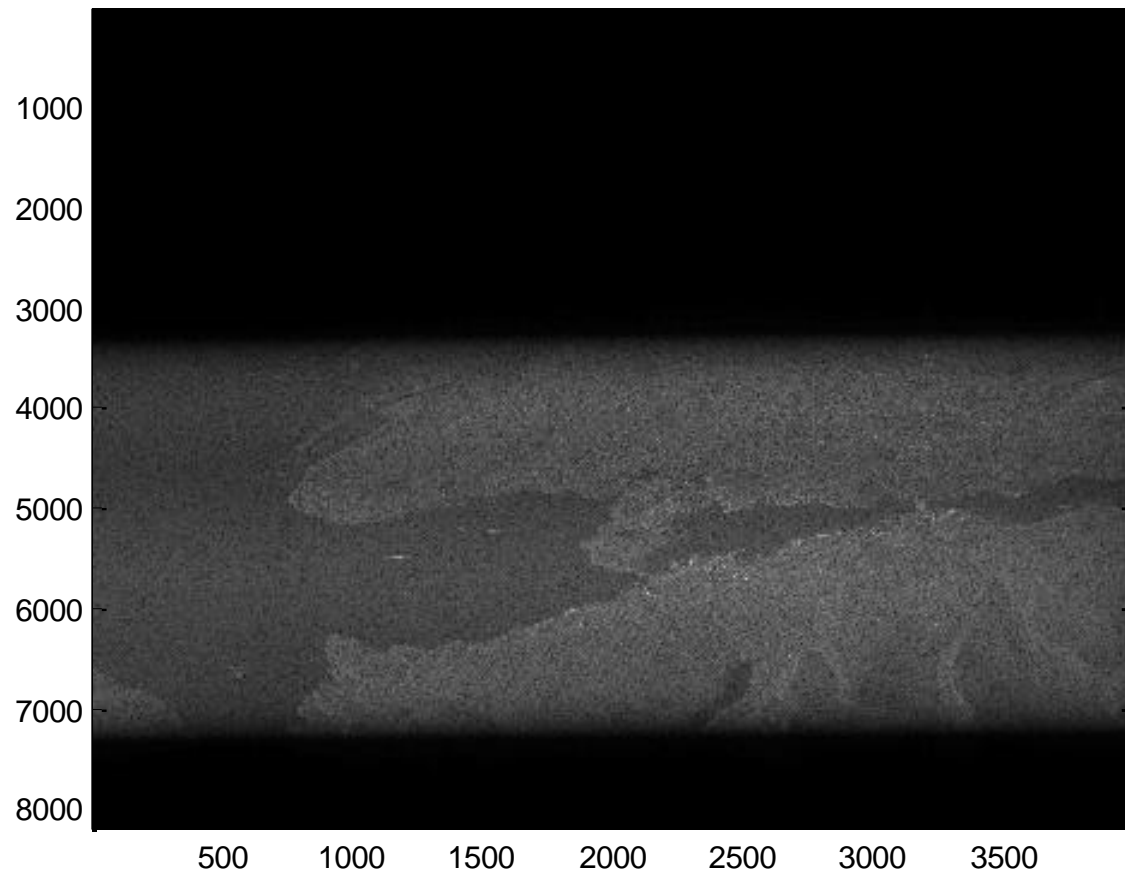
□ پس از فشردن سازی در برد



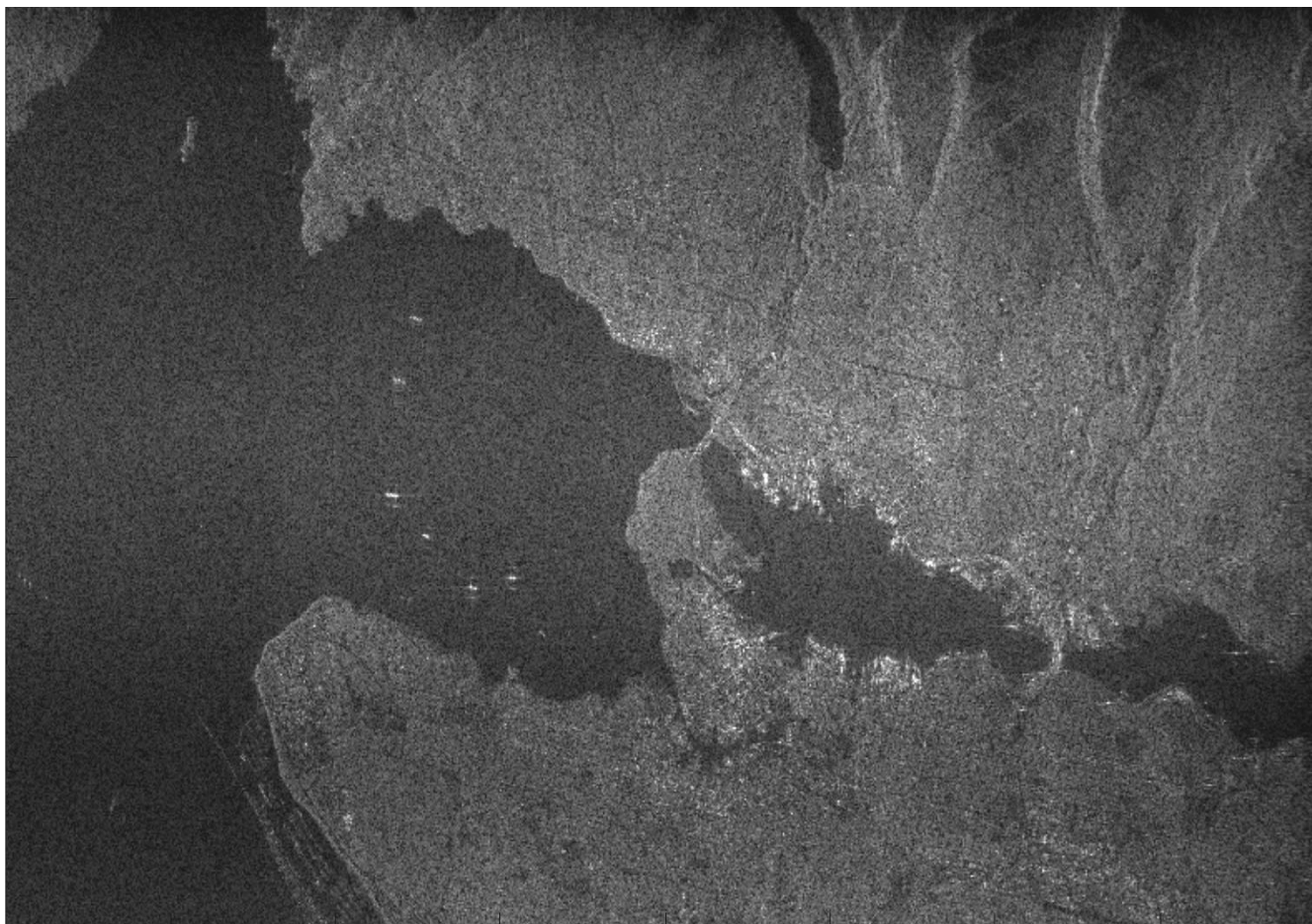
□ پس از RCMC



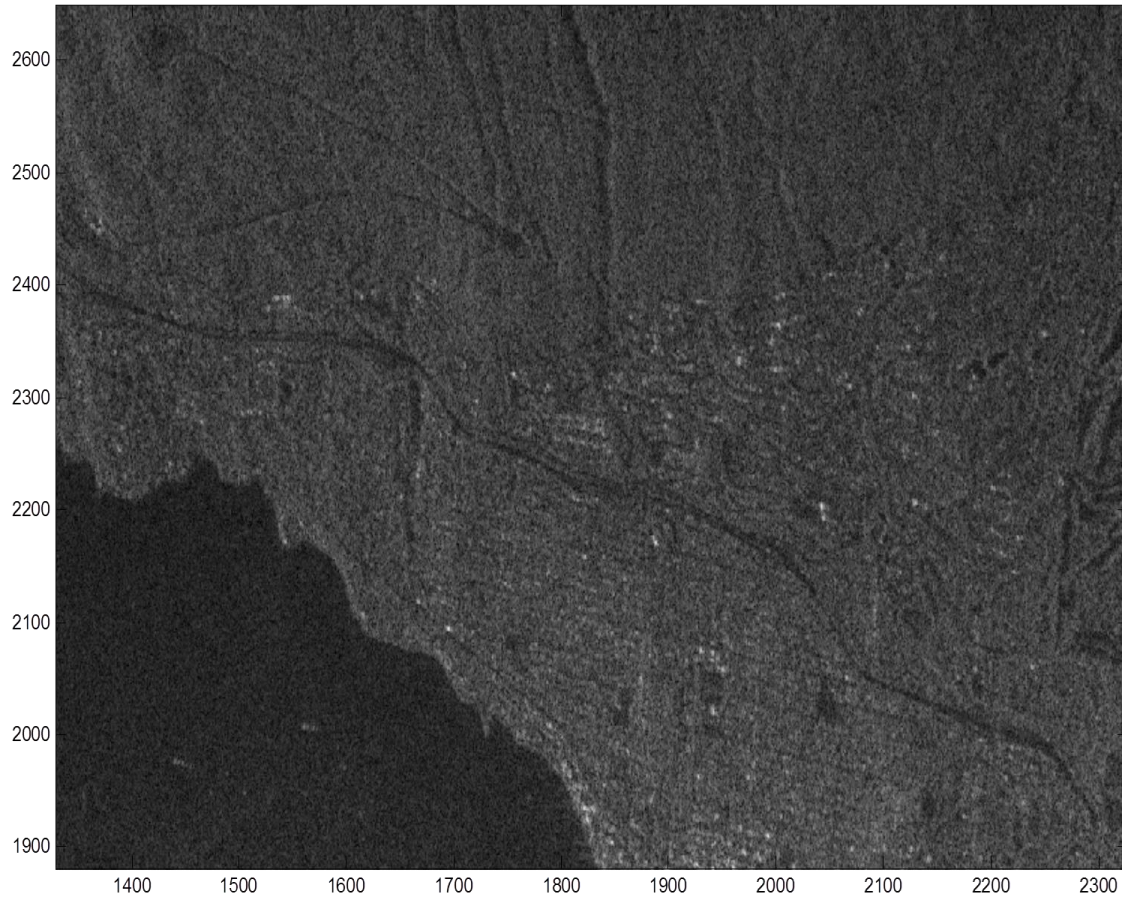
□ پس از فشردن سازی در سمت و قبل از انتخاب محدوده معتبر تصویر



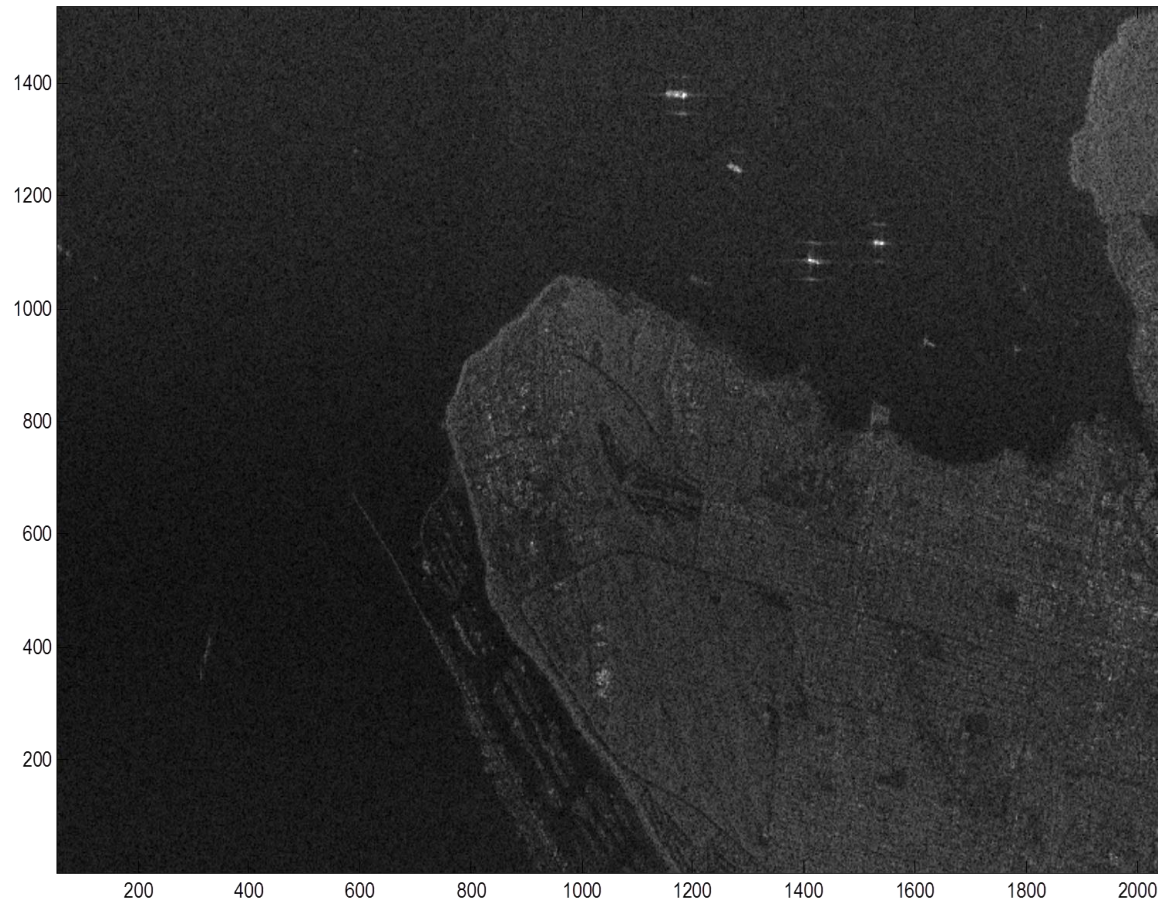
□ تصویر نهایی



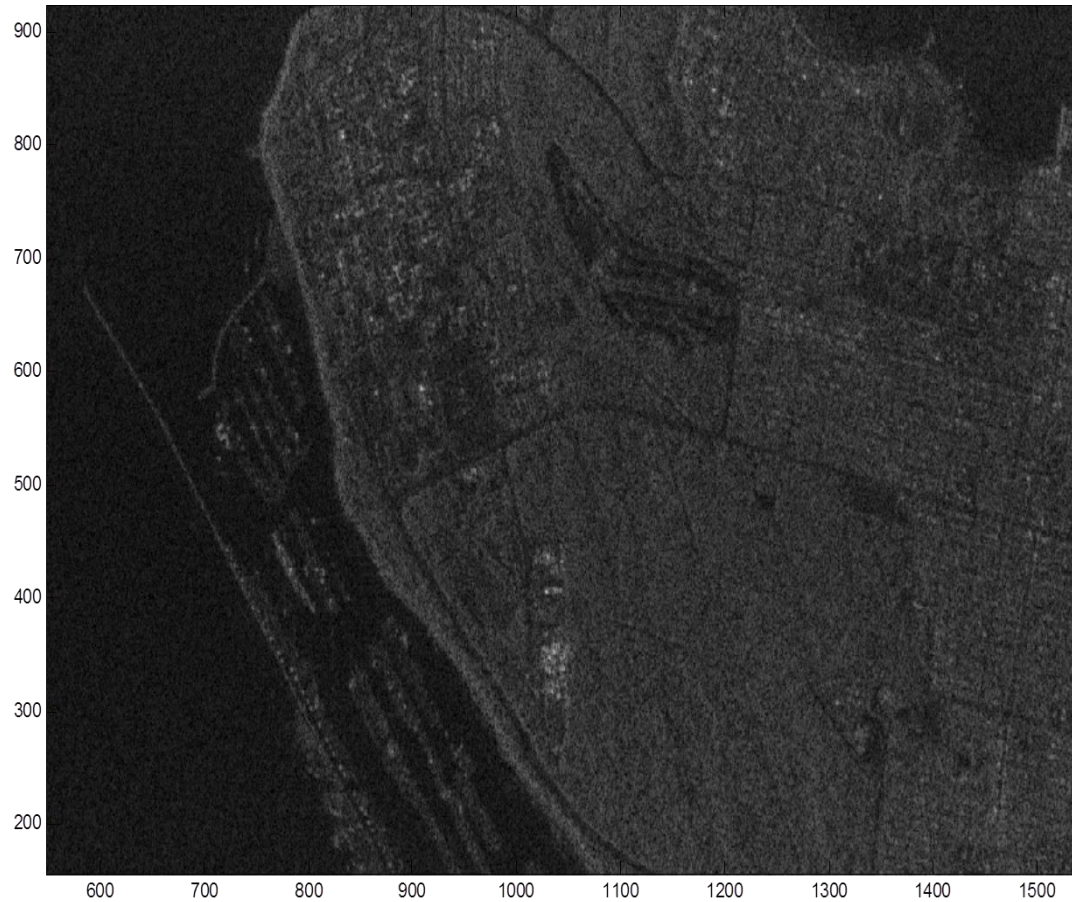
□ نمای نزدیک بخش میانی و بالای تصویر



□ نمای نزدیک بخش پایین و چپ تصویر



□ نمای بسیار نزدیک بخش پایین و چپ تصویر



□ نمای نزدیک بخش پایین و راست تصویر

