



MIKRODALGA ALGILAMA SİSTEMLERİ

Saygın ABDİKAN

Bülent Ecevit Üniversitesi

Geomatik Mühendisliği Bölümü

e-mail: sabdikan@beun.edu.tr

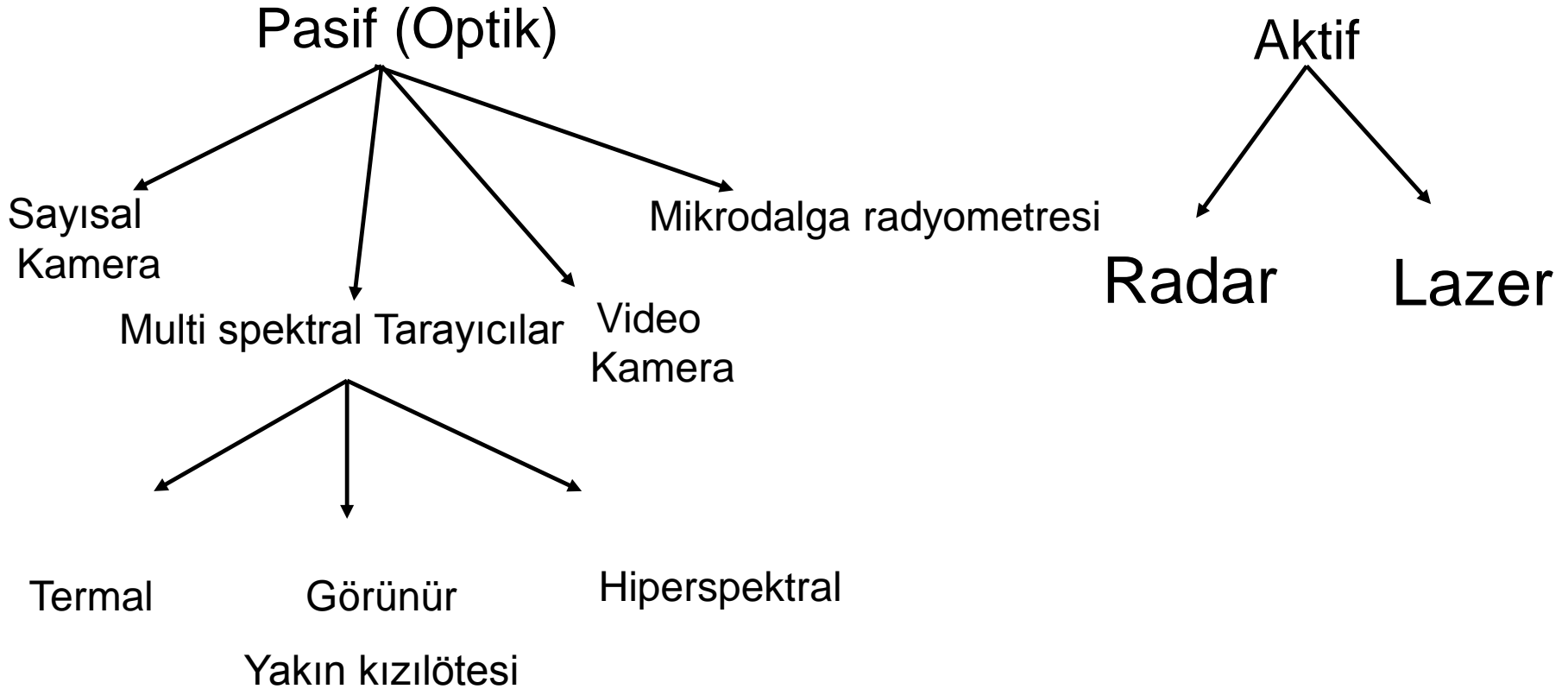


İçerik

- Uzaktan algılamada mikrodalgaya giriş
- Sentetik (Yapay) Açıklıklı Radar (SAR)
- SAR in sistem parametreleri
- Hedef nesne parametreleri
- Yüksek çözünürlüklü SAR uydu sistemleri
- Uygulama alanları



Uzaktan Algılama Sistemleri



Elektromanyetik Spektrum - Mikrodalga



- Fiziksel etkileşimin olmadığı uzaktan algılamada bilgi aktarımı elektromanyetik ışığa (EMR) ile gerçekleştirilir.
- Uzaktan algılamada kullanılan en uzun dalga boyu mikrodalga bölgesindedir,
- Dalgaboyu ~1 mm-1m arasında değişir, ancak uydu sistemlerinde 2 ile 23 cm arasındadır



Aktif Uzaktan Algılama

- Aktif radar sistemlerinde ise temel prensip, hedefe bir anten tarafından aynı fazda ve benzer özellikte (coherent) enerji dalgaları gönderilen ve cisme çarparak geri dönen enerjinin tekrar anten tarafından algılanması ve kaydedilmesidir.
- Aktif mikrodalga algılayıcılar görüntü kaydeden ve kaydetmeyenler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Görüntü kaydeden aktif mikrodalga algılayıcılar olarak en iyi bilinenler RADAR'lardır.
- RADAR (**RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging) (radyo dalgaları ile tespit etme ve menzil tayini)



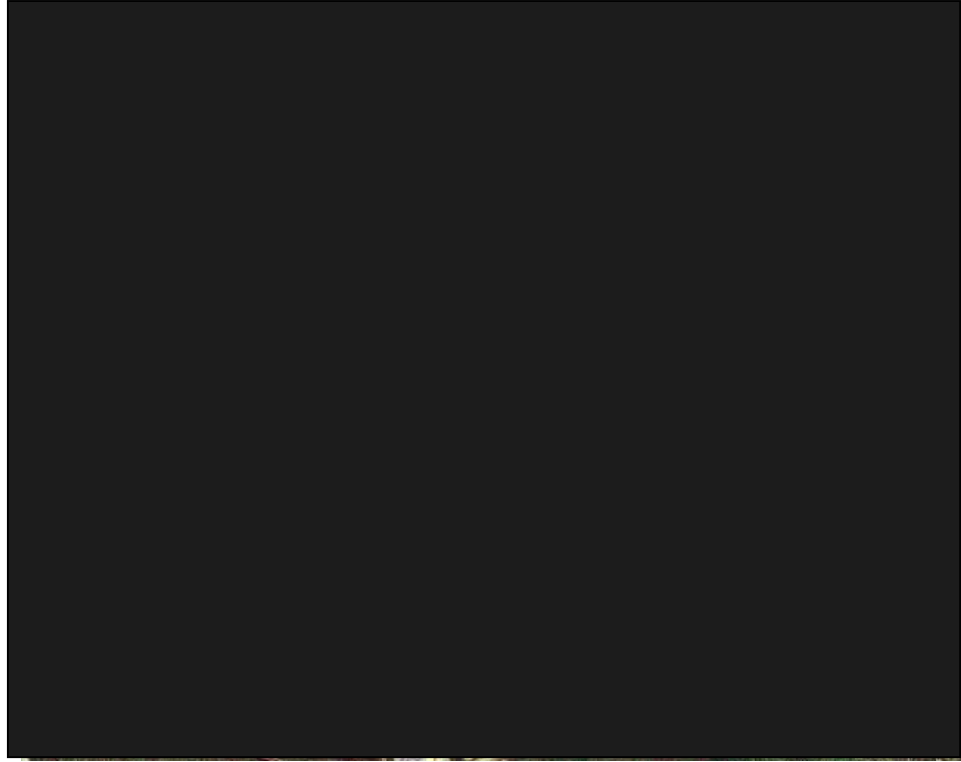
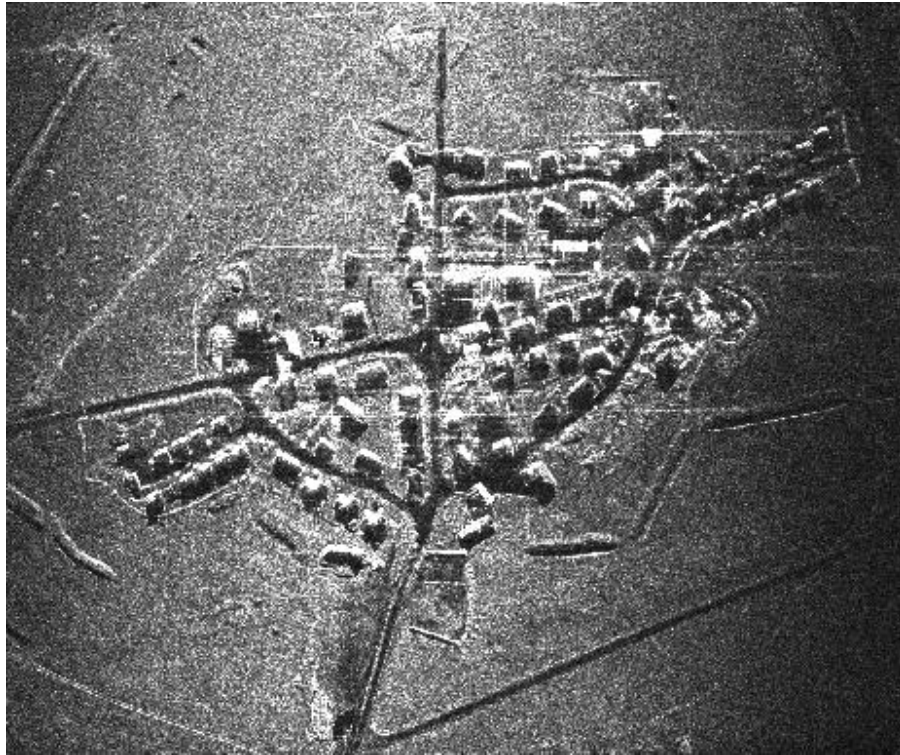
Aktif Uzaktan Algılama

- Algılayıcı sistem, mikrodalga enerjiyi hedefe yollamakta ve bu yolladığı sinyalin geri saçılan miktarını kaydetmektedir.
- Geri saçılma miktarı
 - Objeleri birbirinden ayırt edebilmek için ölçülür
 - Yollanan ve dönen sinyal arasındaki zaman farkı da hedef ve uydu arasındaki mesafeyi belirler

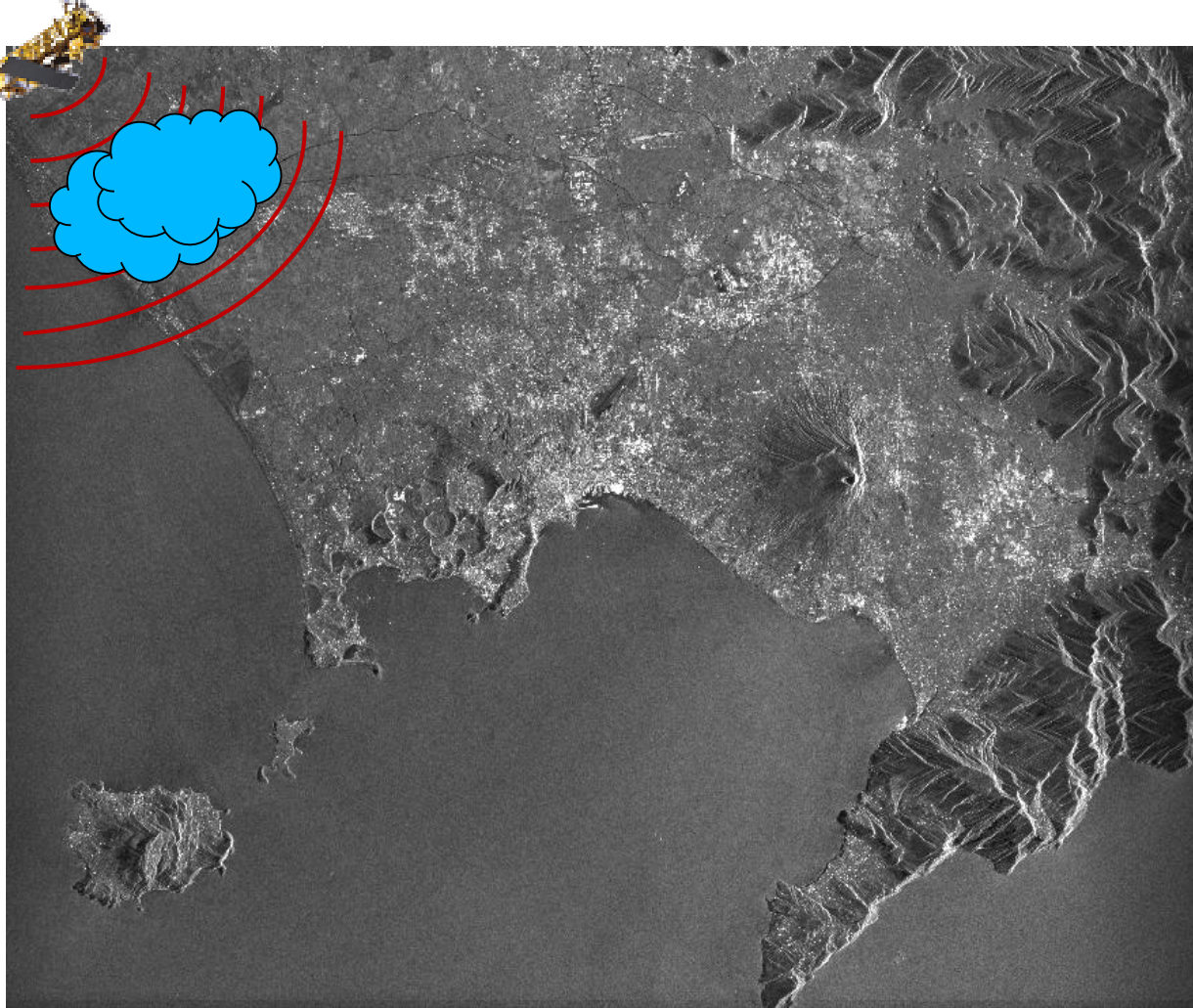


Neden SAR?

Gündüz & Gece



Neden SAR ?



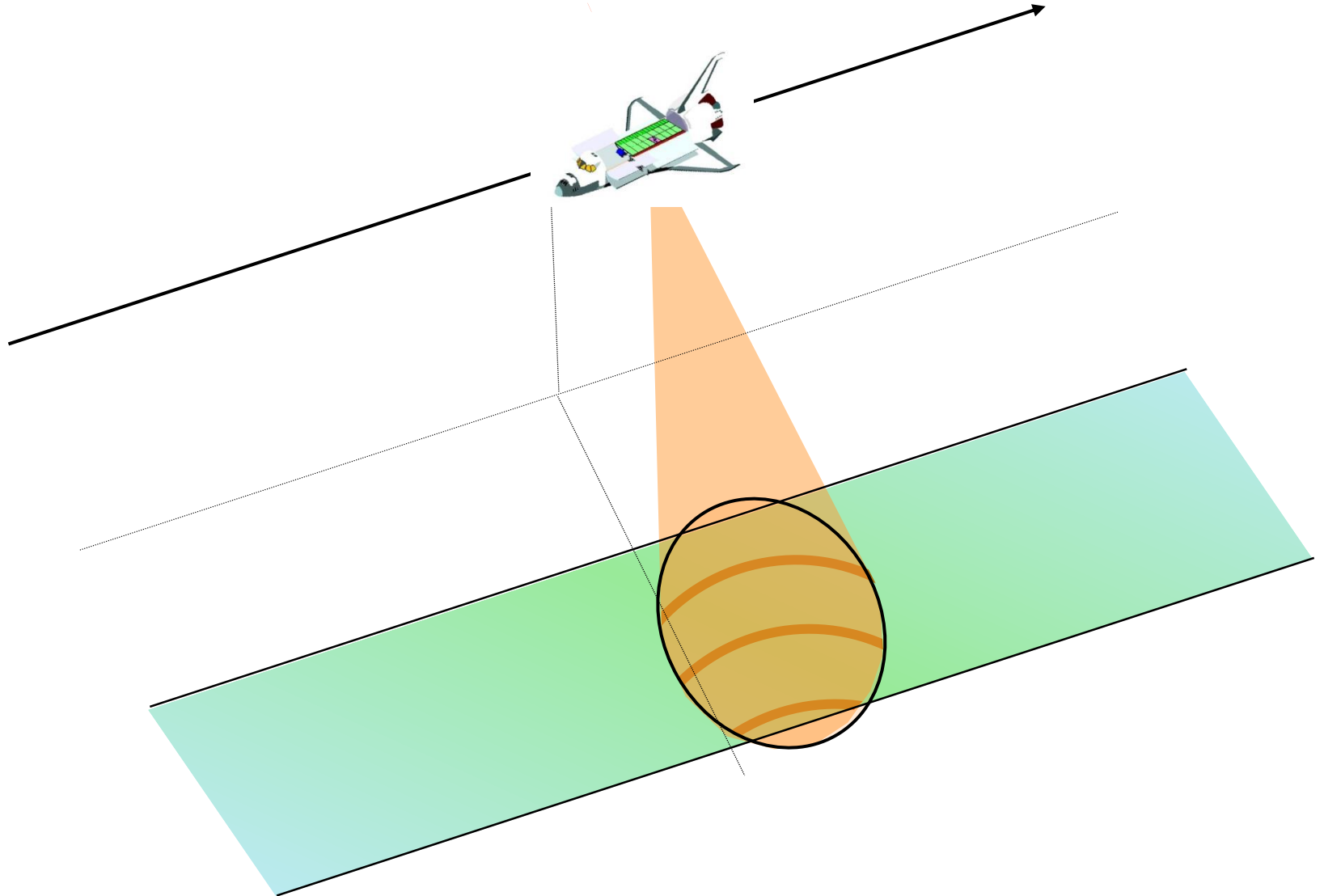
Hemen hemen atmosferik koşullardan bağımsız olarak yüksek radyometrik ve geometrik çözünürlük sağlar



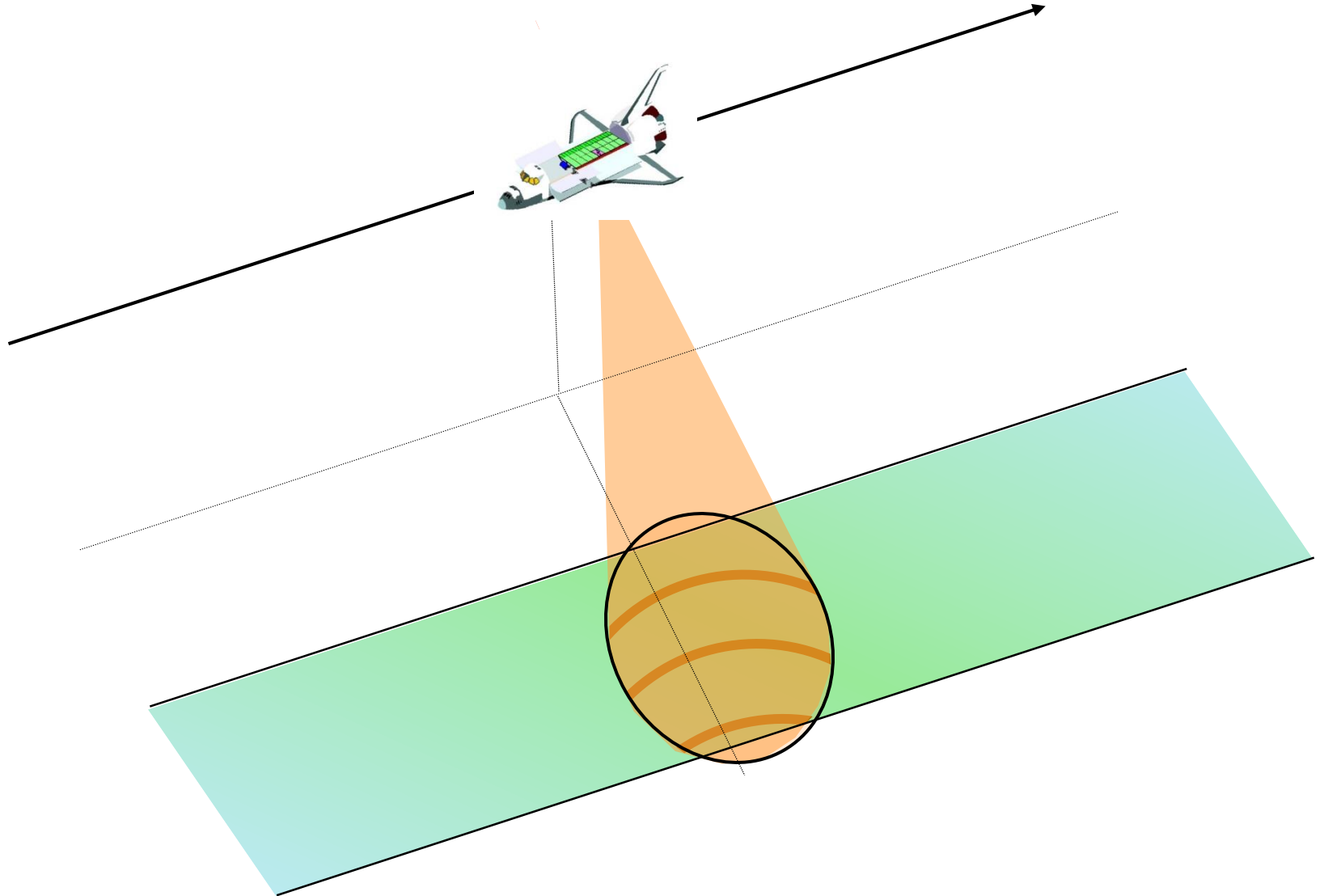
Neden SAR?

- Gündüz ve gece görüntü alımı
- Hemen hemen her hava koşulunda görüntü sağlaması
- Yüzeyden ve yüzeyin altına ait bilgi elde edilmesi
 - Kullanılan dalga boyuna bağlı olarak bitki örtüsüne ve toprağa neşretme özelliği (penetration) taşır.
- Optik sistemler ile tamamlayıcı rol oynar
- Geniş uygulama alanı sağlar
 - Tarım, orman, doğal afet, hidroloji, buzul
- Nesne özelliklerine göre ölçümler
 - Yüzey pürüzlülüğü, nesne geometrisi, dielektrik özelliği

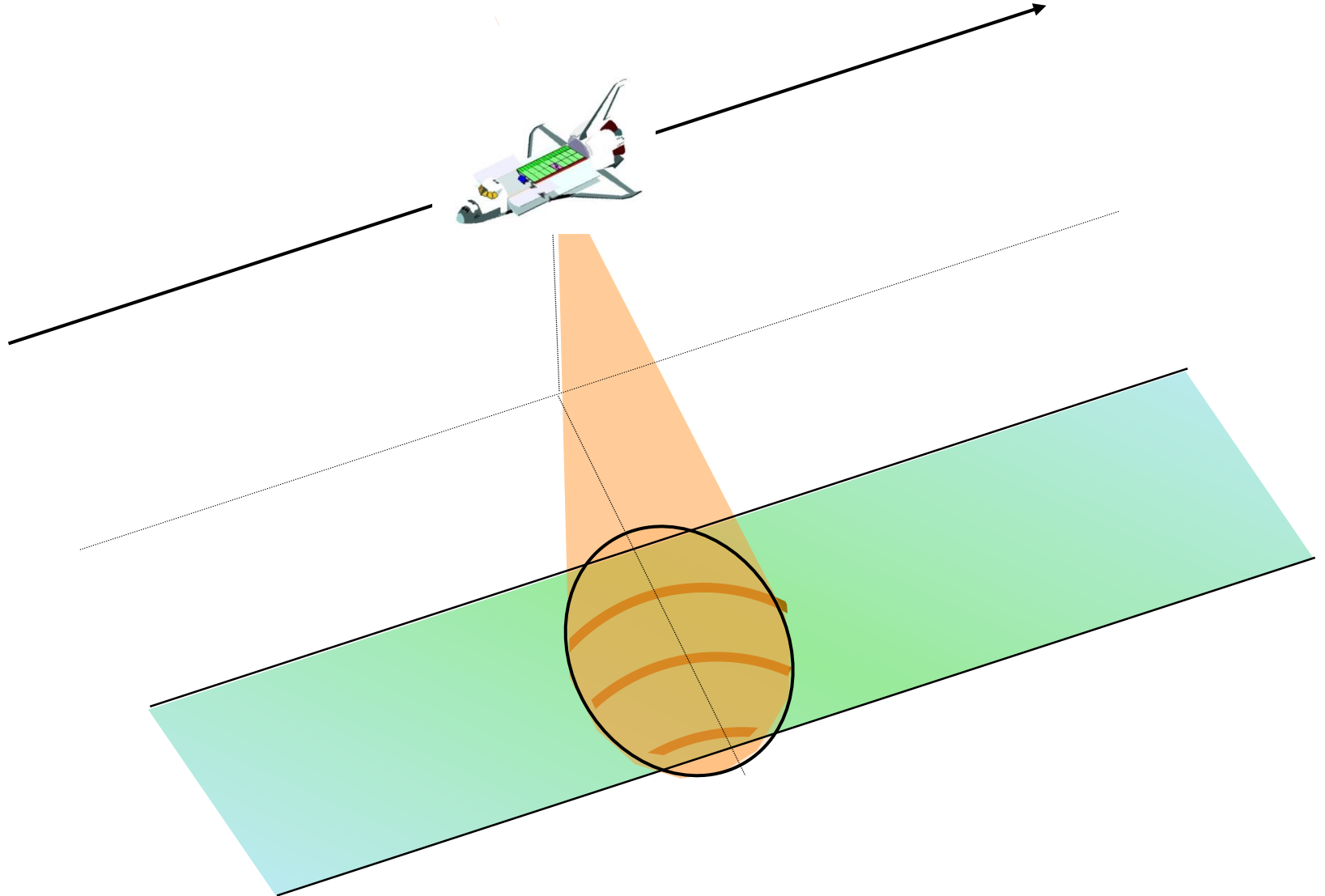
Yan bakışlı radar geometrisi



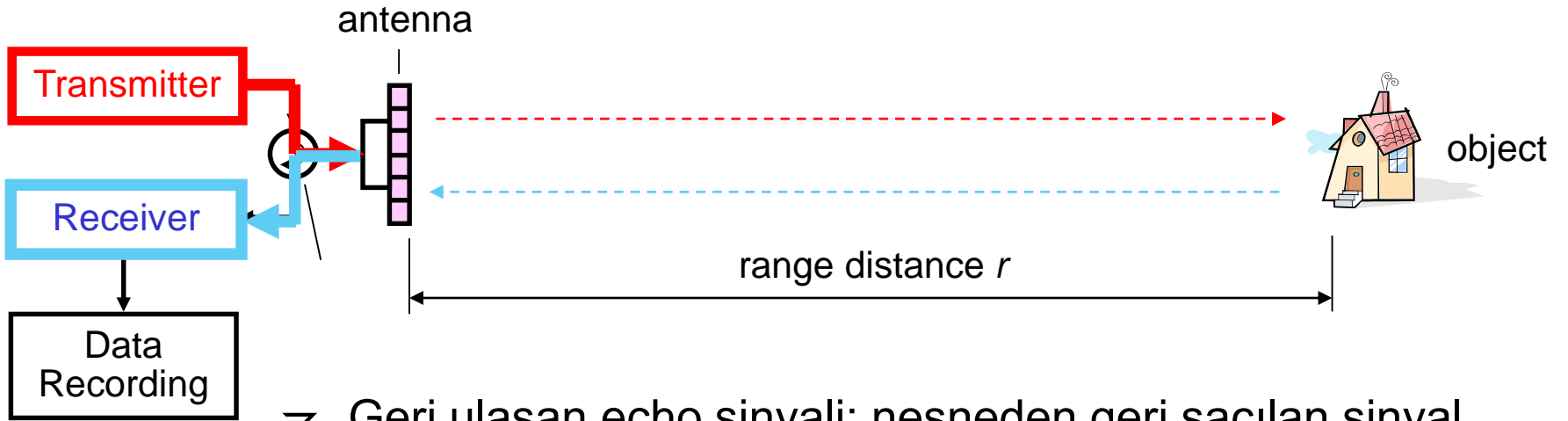
Yan bakışlı radar geometrisi



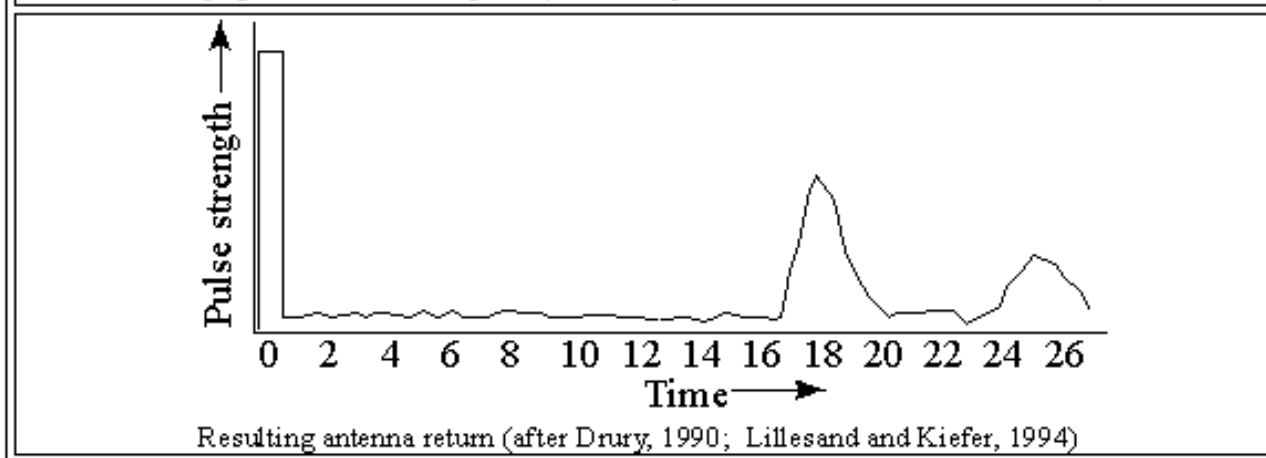
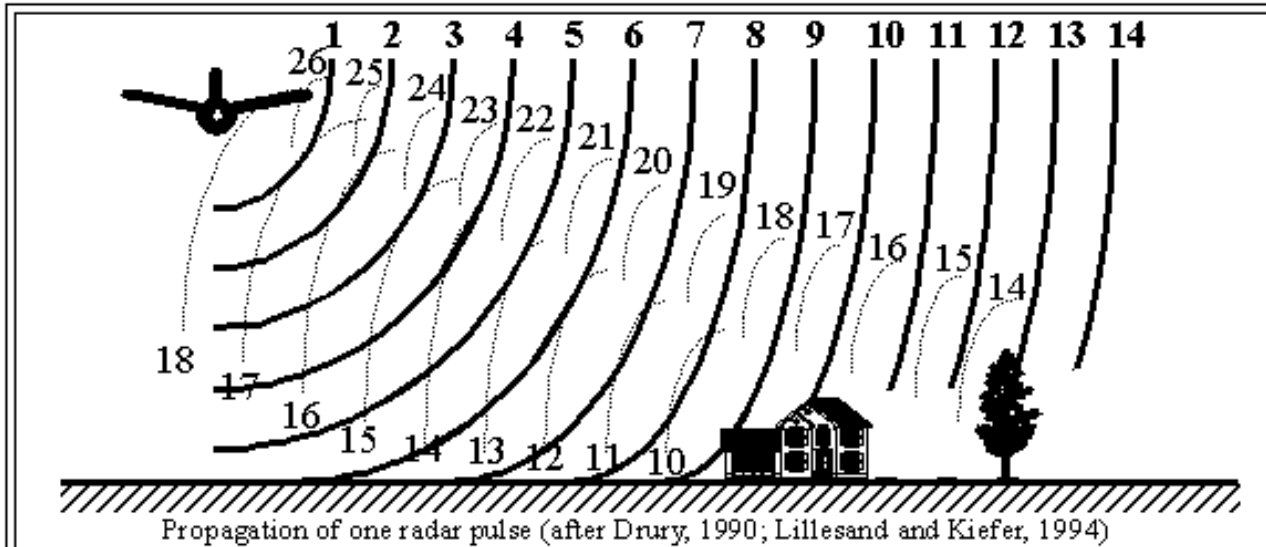
Yan bakışlı radar geometrisi



Radar ölçümünün temeli

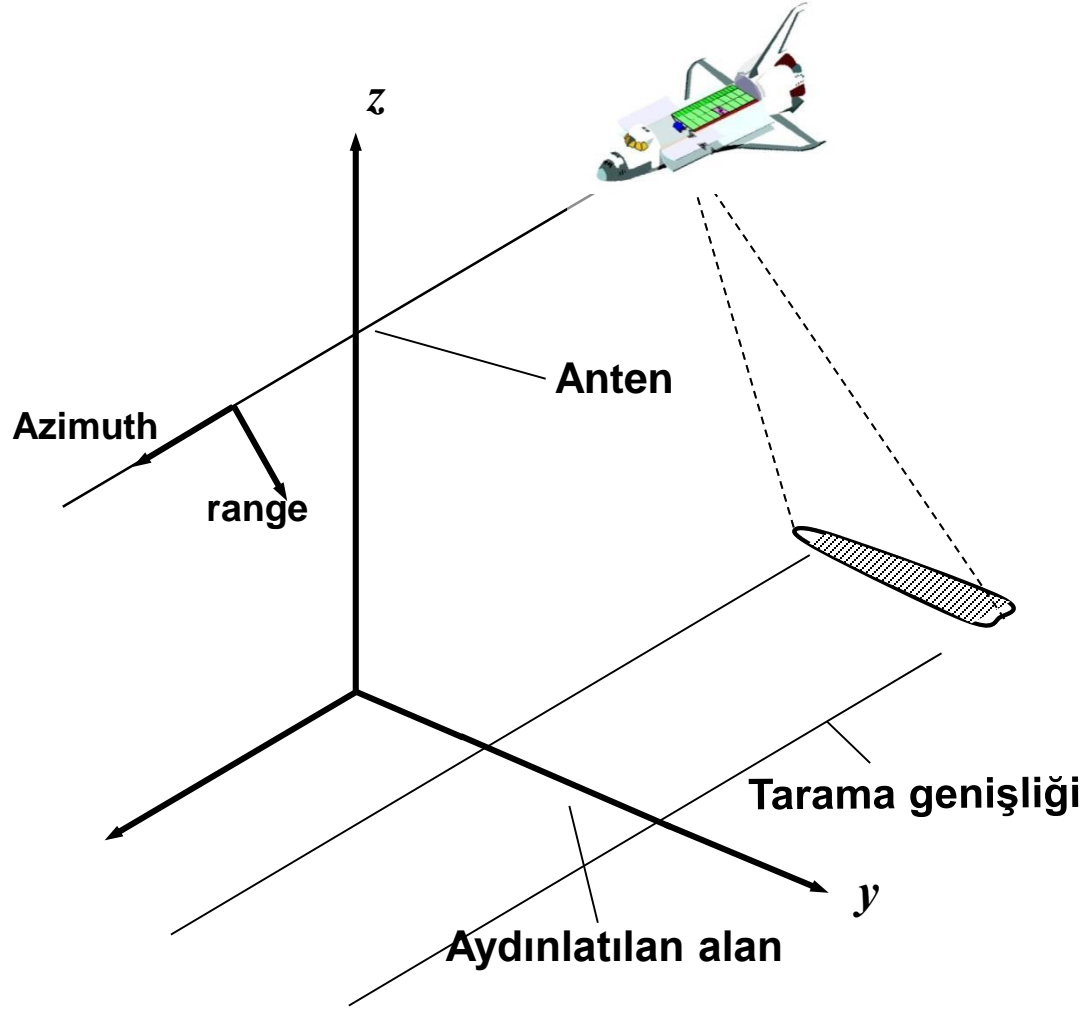


→ Geri ulaşan echo sinyali: nesneden geri saçılan sinyal



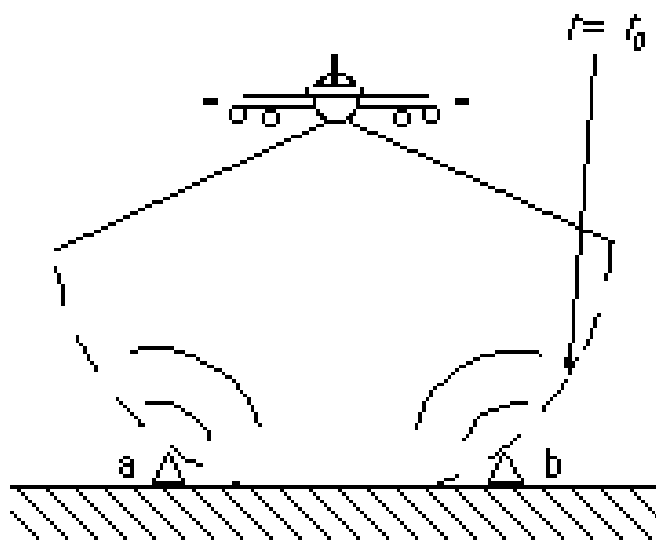


Yan bakışlı radar geometrisi

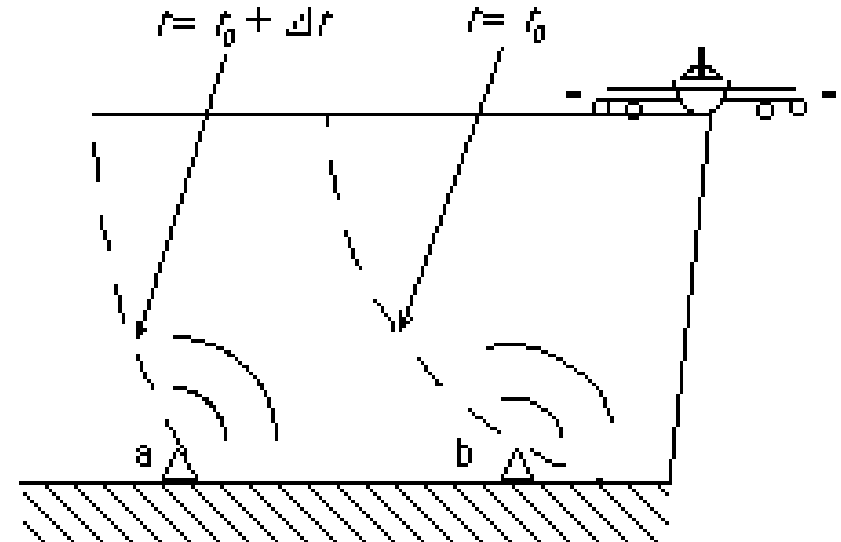




Neden yan bakışlı?



(a)

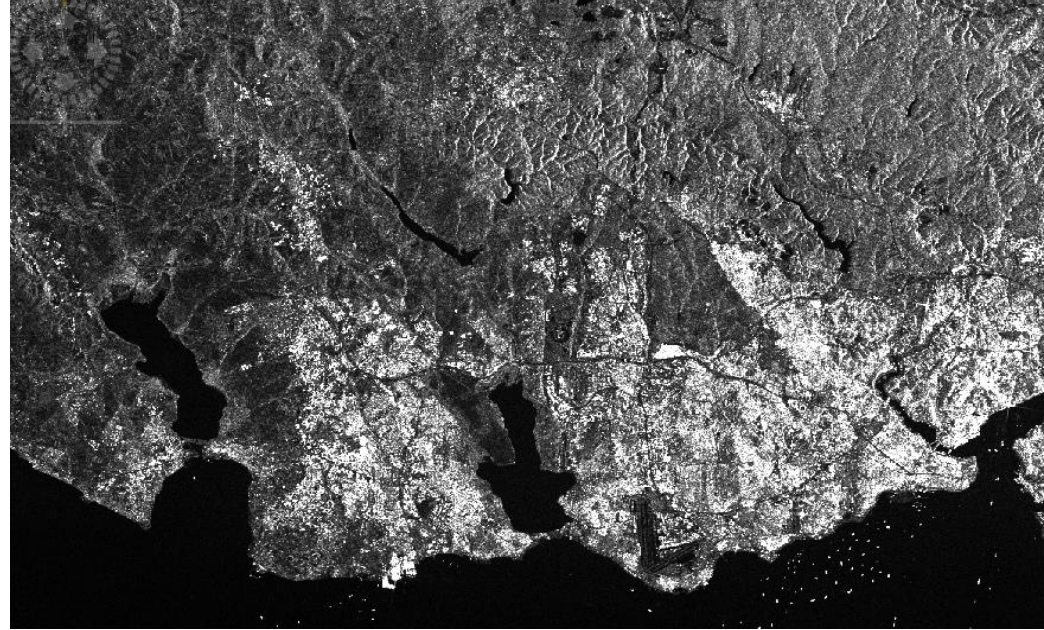


(b)

Görüntü analizi

- Sistem parametreleri
 - ▣ Radar geometrisi
 - ▣ Çözünürlük
 - ▣ Dalga boyu
 - ▣ Polarizasyon

- Hedef nesne parametreleri
 - ▣ Geri saçılım (backscatter)
 - ▣ Hacimsel saçılım
 - ▣ Yüzeyi neşretme (penetration)
 - ▣ Yansıtım
 - ▣ Benek – gürültü (salt&pepper)

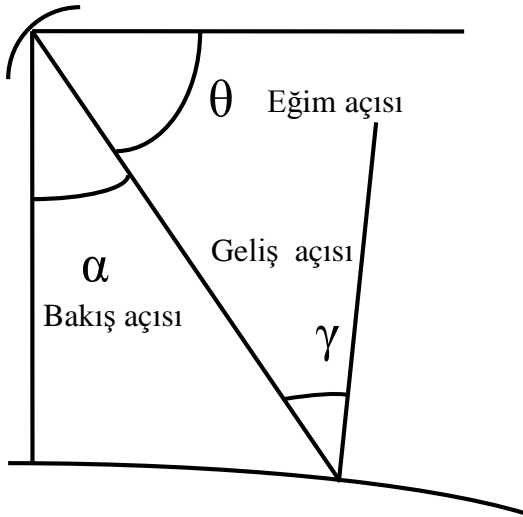


RADAR geometrisi

Sistemin

- **Bakış açısı** (look angle), nadir noktası ile hedef arasındaki açıdır
- **Eğim açısı** (depression angle), bakış açısının bütünleyenidir
- **Geliş açısı** (incident angle), bakış açısının yer yüzeyinin normali ile yaptığı açıdır.
- Optik sistemlerden farklı olarak radarın yersel ayırma gücü, azimut ya da iz boyunca (along track) ve ize dik yönde (across track) çözünürlük şeklinde ayrı ayrı tanımlanır.

Algılayıcı



Radar geometrisi

(Lillesand ve Kiefer, 1999)



RADAR geometrisi

- Radar uyduları yollanan ve geri dönen her bir radar darbesi (pulse) arasındaki zaman farkını ölçer bu da nesnelerin yerlerinin hassas bir şekilde belirlenmesini sağlar.
- Gönderilen bu sinyalin (enerjinin) yayılım hızı bilindiğinden obje ile enerji gönderen anten arasındaki eğik uzaklık (slant range) hesaplanabilmektedir. Enerji havada yaklaşık 300×10^6 km/sn ışık hızı ile yayılır.

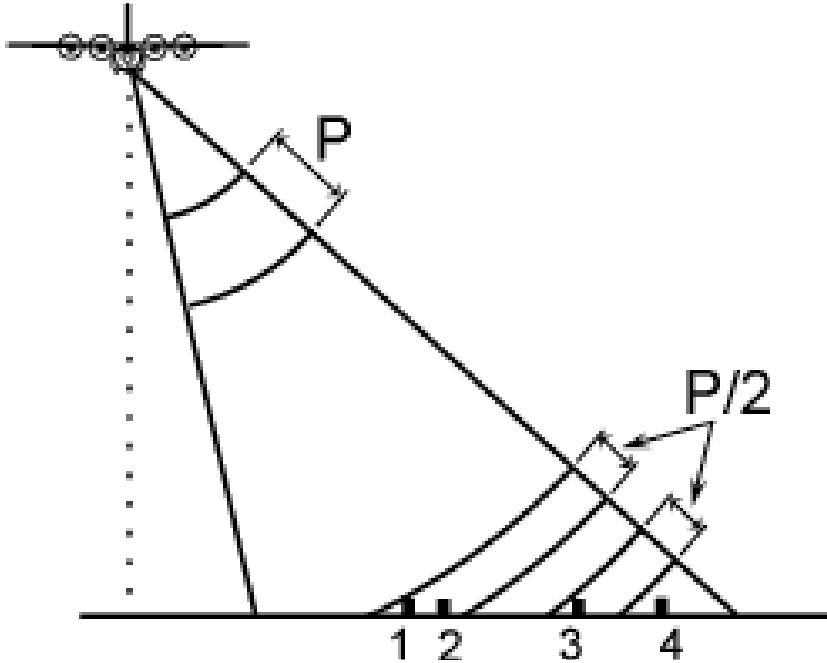
$$R = \frac{ct}{2}$$

R: sinyalin gönderildiği radar anteninden nesneye olan eğik mesafe

c: ışık hızı ve

t: gönderilen ve dönen sinyal darbesi arasında geçen süredir

RADAR geometrisi

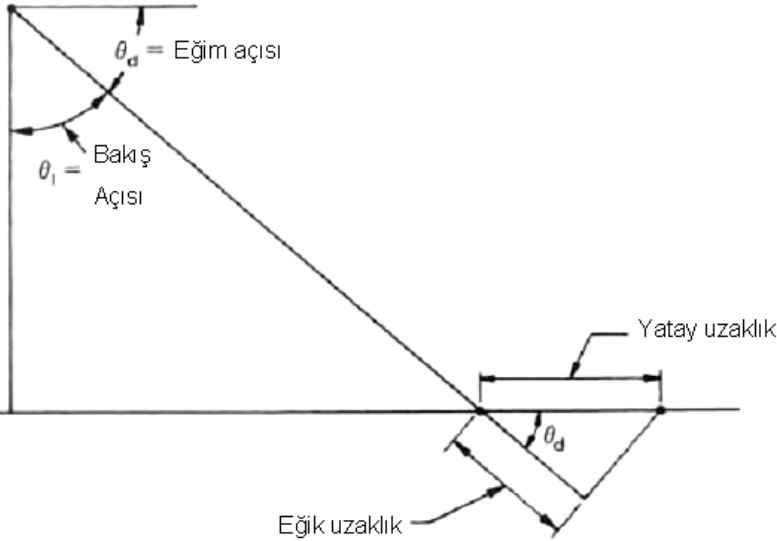


İze dik yönlü çözünürlük (range) sinyalin yüzeye geliş açısı ve darbe vuruş süresi (P) ile belirlenir.

1 ve 2 hedefleri ayırt edilemezken 3 ve 4 hedefleri birbirinden ayırt edilecektir.

Vuruş süresi ve nesnelerin ayırt edilebilirliği [www.ccrs.nrcan.gc.ca]

RADAR geometrisi



Eğik ve yatay uzaklık arasındaki ilişki (Lillesand ve Kiefer, 1999)

- Ancak eğik uzaklıktan yatay uzaklığa (ground range) dönüştürüldüğünde yerdeki çözünürlük eğim açısına (θ_d) bağlı olacaktır
- Görüntüdeki iz yönüne dik çözünürlük yatay uzaklık (R_r) olarak ifade edilir ve yatay uzaklık eğim açısına bağlı olarak hesaplanır.

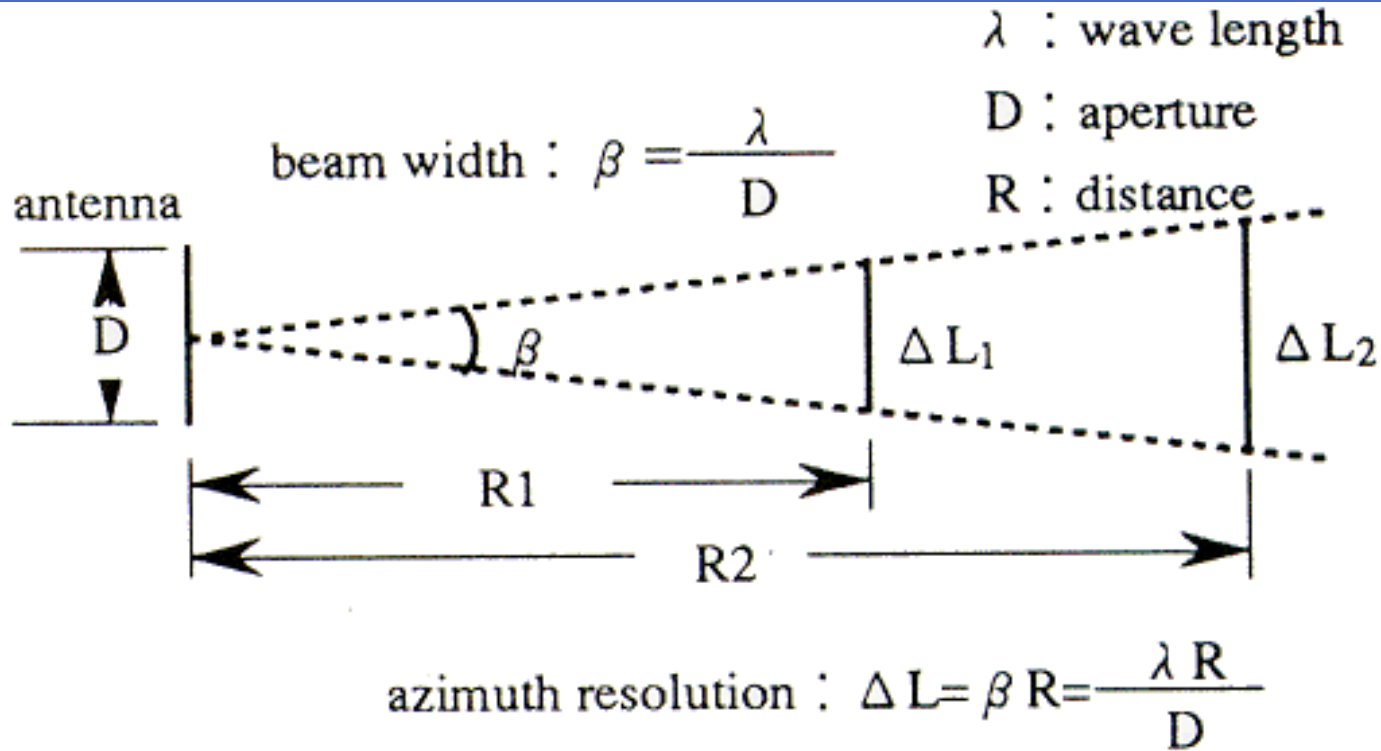
- $R_r = C \tau / 2 \cos \theta_d$

- θ_d : eğim açısı



RADAR geometrisi

- İz boyunca yani radarın uçuş yönü doğrultusundaki çözünürlüğü olarak tanımlanan azimut çözünürlüğü (R_a), uydudan itibaren belirli bir açısal açıklıkla uzanan ışınım demetinin, yerde oluşturduğu iz (lob) üzerindeki son genişliği ile ifade edilir.
- Uçuş doğrultusu yönünde olup demet genişliği (β) olarak isimlendirilen uzaklığın oluşmasını sağlayan açının radyan cinsinden değeri (β_{rdy}) açısal çözünürlük (gerçek ışın genişliği) olarak adlandırılır.
- $\beta_{rdy} = \lambda / D$
- λ : ışığın dalga boyu, D: algılayıcının anten boyu

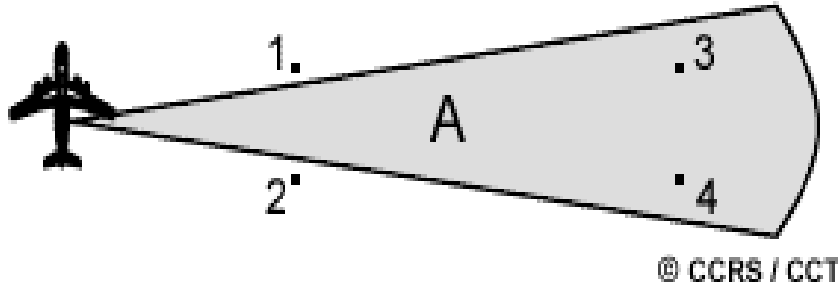


$\beta_{rdy} = \lambda / D$ (Açısal çözünürlük)

λ : ışığın dalga boyu

D: algılayıcının anten boyu

$$\square R\alpha = R \lambda / D$$



- **Azimut çözünürlüğü**, λ ne kadar büyük olursa ışın genişliği o derece artar, ışın genişliği gönderilen vuruş/darbe (puls) enerjisinin dalga boyu ile doğru orantılıdır. Anten boyu (D) ile ters orantılıdır.
- Görüntüdeki azimut çözünürlüğüne karşılık gelen yerdeki demet genişliği uydudan olan eğik uzaklık (R) ile doğru orantılıdır.

Yerdeki noktaların uyduya olan uzaklığı arttıkça demet genişliği ve dolayısıyla da azimut çözünürlük değeri büyüyecektir.

Bu durumda da uyduya yakın alım noktasındaki 1 ve 2 nolu hedefler birbirinden ayırt edilebilirlerken uzak alım noktasındaki 3 ve 4 hedefleri ayırt edilemeyeceklerdir.



Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR)

- Yüksek bir çözünürlük kısa darbe vuruş süresi ve enerji seviyesi yüksek bir dalga gönderilmesi ile elde edilir
- Ancak bunu elde etmekte mühendislik anlamında bazı kısıtlamalar ile karşılaşılır.
- Radar dalga boyu (beam width) anten boyu ile ters orantılıdır
- Bu da uzun antenin dar bir ışın yollayacağı, böylece daha yüksek ayırma gücü elde edileceği anlamına gelir.
- Bu durumda, yüksek bir azimut çözünürlüğü anten boyunu arttırarak elde edilir.
- Ancak bir uydu yada uçak üzerinde taşınabilecek anten boyu sınırlıdır. Uçaklar için anten boyu 1-2 m ile sınırlı iken uydular için bu uzunluk ancak 10-15 m' ye kadar artmaktadır



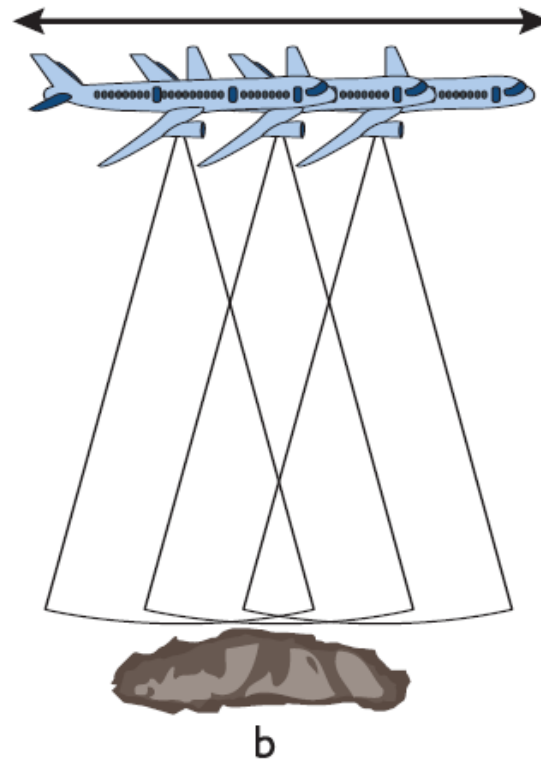
Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic aperture Radar) SAR/ SLAR (Side Looking Airborne Radar)

- Anten boyunu daha fazla uzatmak mümkün olmadığından ayırma gücünü arttırabilmek için bu sınırlamanın önüne geçebilmek amacıyla geri saçılan yansımayı farklı bir şekilde kaydederek ve işleyerek uzun bir antenin işlevini yapay olarak yapabilen yapay açıklıklı radar (SAR) sistemden yararlanır, böylece azimut yönündeki çözünürlük arttırılmış olur.
- SAR sistemleri, SLAR sistemlerle aynı geometrik özelliklerde ve elektro-fizik koşullarında fakat bu defa uçakların uçuş mesafesinde değil uzaydan gerçekleştirilmektedir.

Azimut yönündeki
çözünürlük

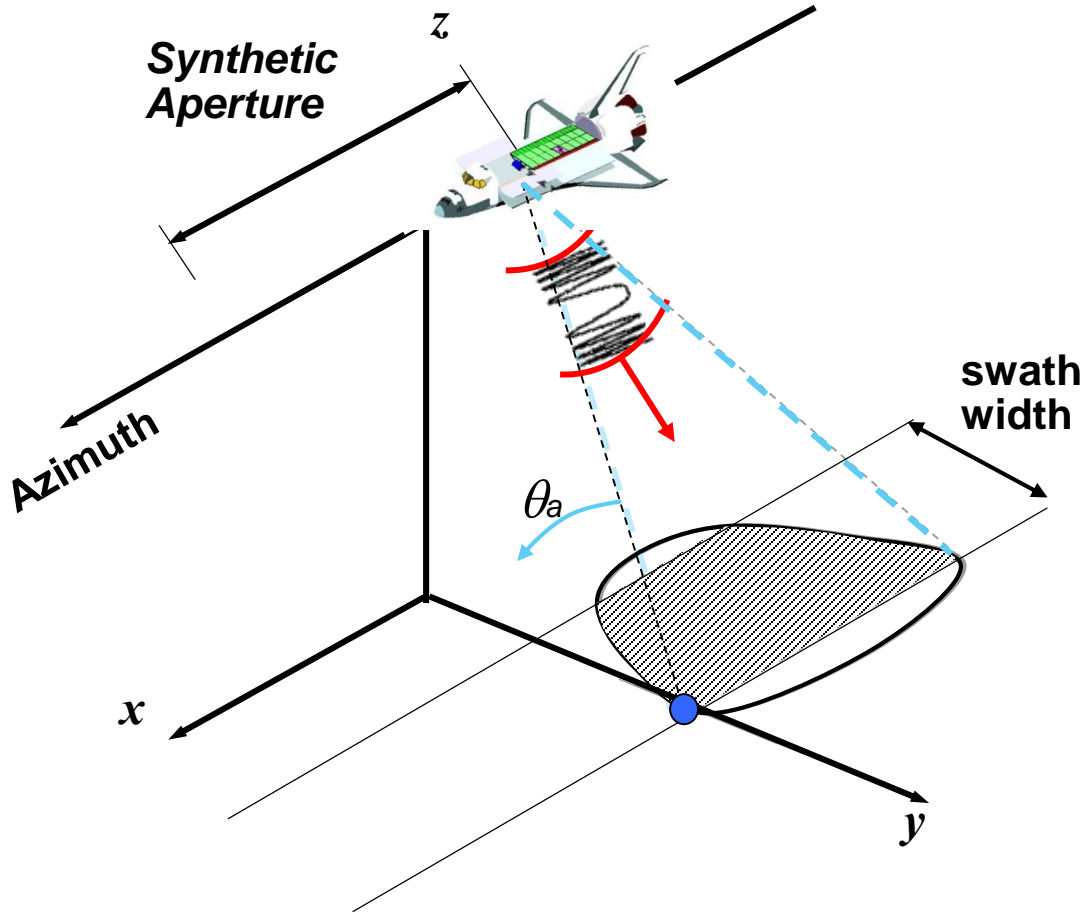


Yapay Anten Uzunluğu



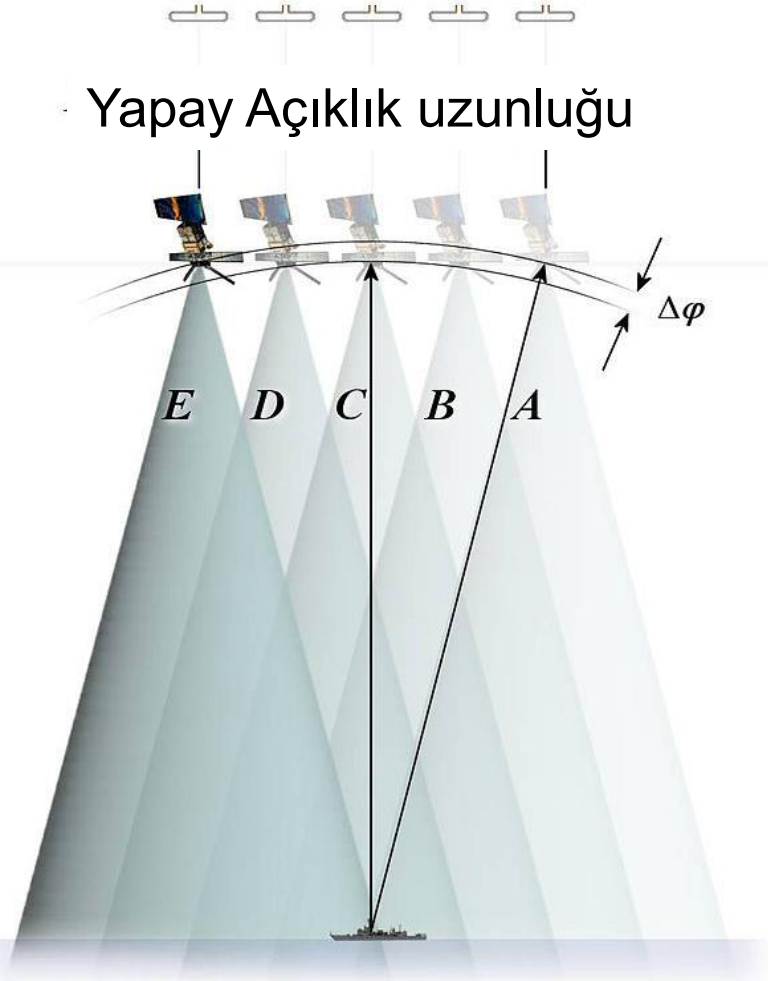
Radar algılama sistemleri
(a) Gerçek açıklıklı.
(b) Yapay açıklıklı.

SAR genel prensip



- Yüksek çözünürlük için; uzun anten boyu, dar ışın genişliği
- SAR sisteminde Doppler prensibi ve platformun hareketliliğinden faydalanılarak anten boyu yapay olarak uzatılır.

Yapay Açıklık uzunluğu

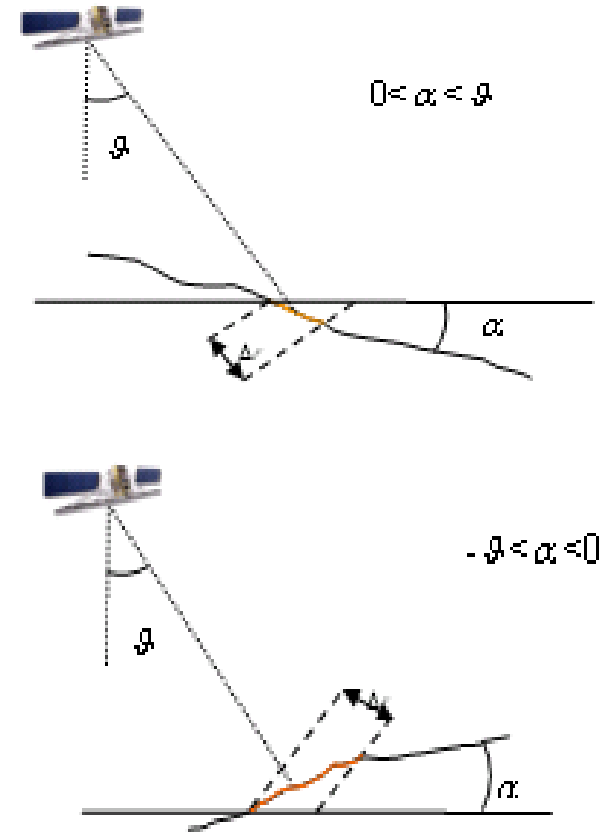


Her dalga kendisinden bir önce yayınlamış dalgadan daha kısa mesafe kat edecektir. Böylece dalgalar gitgide azalan zaman farkları ile alıcıya ulaşırlar.

T zamanı içinde ki tüm darbe tekrarlama sürelerinin yansımalarının genliklerini ve faz açılarını kaydeder. Bu verilerden faydalanılarak, ancak anten uzunluğu $v \cdot T$ ($v =$ platform hızı) olan çok daha büyük bir antenle elde edilmesi mümkün olabilen bir sinyal yeniden oluşturulur (reconstructed). T zamanı arttırılarak antenin "yapay açıklığı" büyütülebilir ve böylece daha iyi çözünürlük elde edilebilir.

Kısa görüntüleme (forshortening)

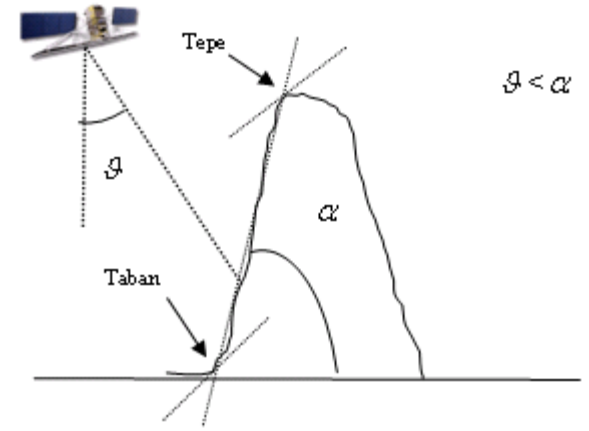
- Görüntüsü alınan bölgenin gerçek mesafesinin olduğundan kısa kaydedilmesi olayıdır.
- Dağın tabanının tepesinden önce kaydedilir. Hata büyüklüğü geliş açısına bağlıdır.
- Işığın geliş açısı ile birlikte arazinin eğim açısına da bağlıdır.



Radar görüntüsünde geometrik hatalar

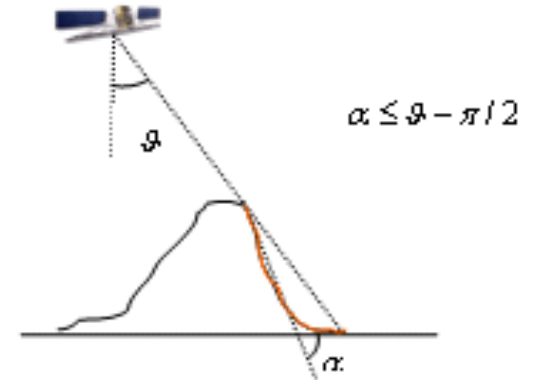
Ters görüntüleme (Layover)

- Dağlık bölgede tepenin dağın tabanından önce kaydedilmesidir.
- Ters görüntüleme daha çok enerjinin geliş açısının küçük olduğu zamanlar gerçekleşir, bu da pek çok nesnenin görüntülenememesine neden olur.



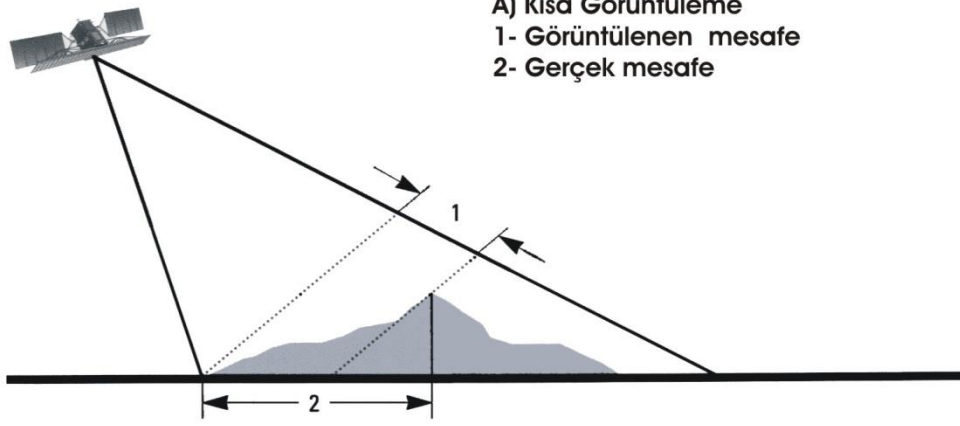
Gölge (Shadow)

- Dağlık bölgelerde
- Dik geliş açısı kullanıldığında görülür.
- Bu bölgelere ait geri saçılım bilgisi kayıt edilemediği için siyah kaydedilir.

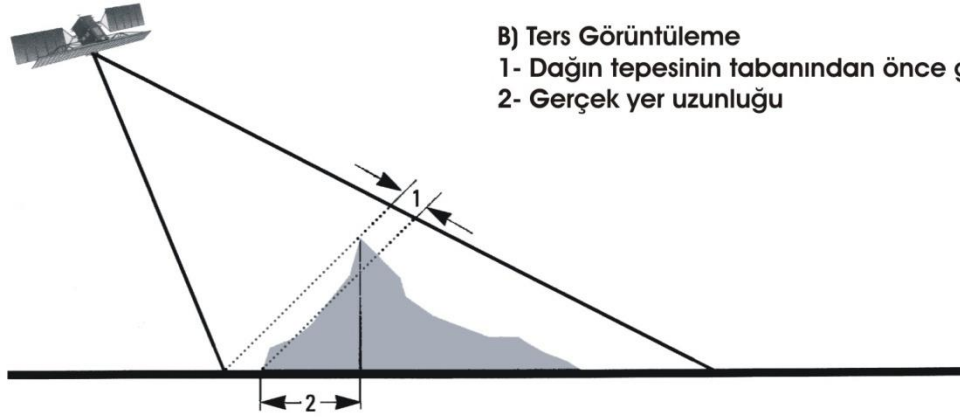


(Franceschetti ve Lanari, 1999)

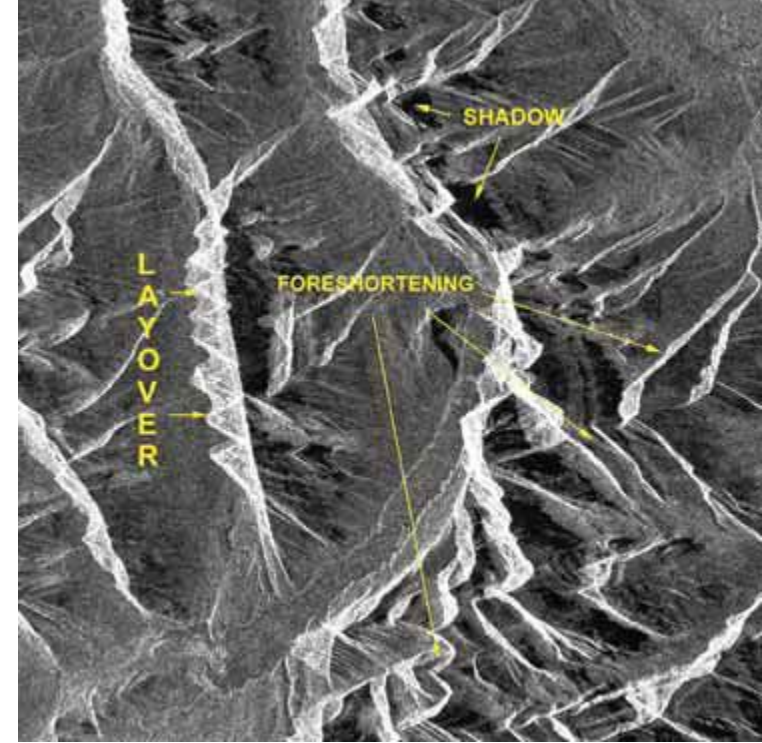
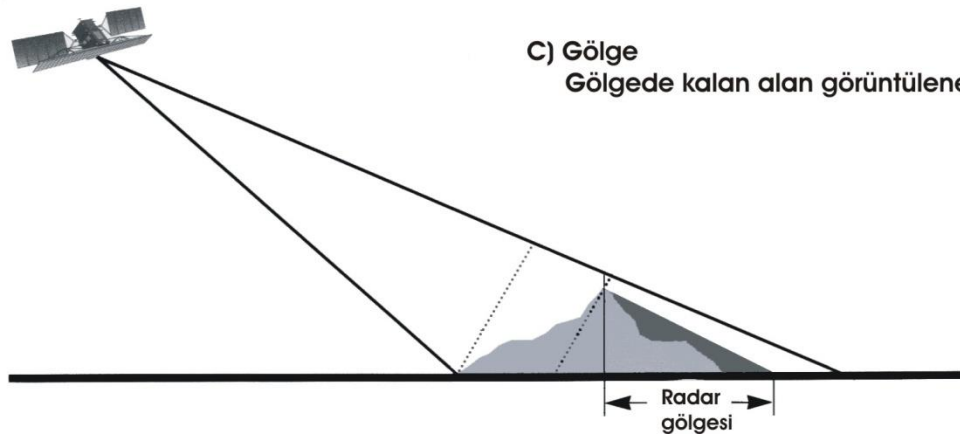
A) Kısa Görüntüleme
1- Görüntülenen mesafe
2- Gerçek mesafe



B) Ters Görüntüleme
1- Dağın tepesinin tabanından önce görüntülenmesi
2- Gerçek yer uzunluğu



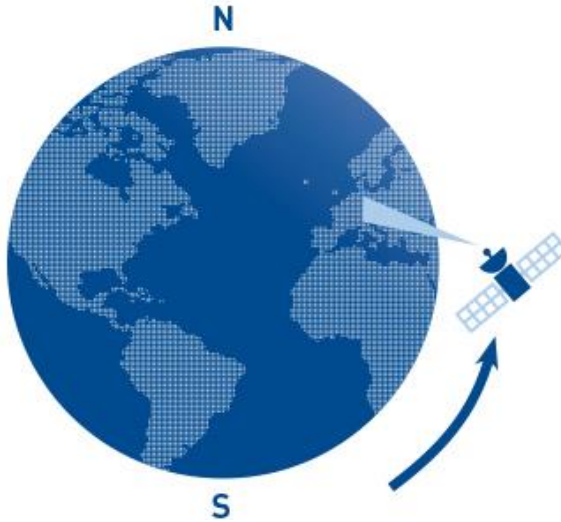
C) Gölge
Gölgede kalan alan görüntülenemez



- Kısa görüntüleme (Foreshortening)
- Ters görüntüleme (Layover)
- Gölge (Shadowing)

Görüntü alım yönü

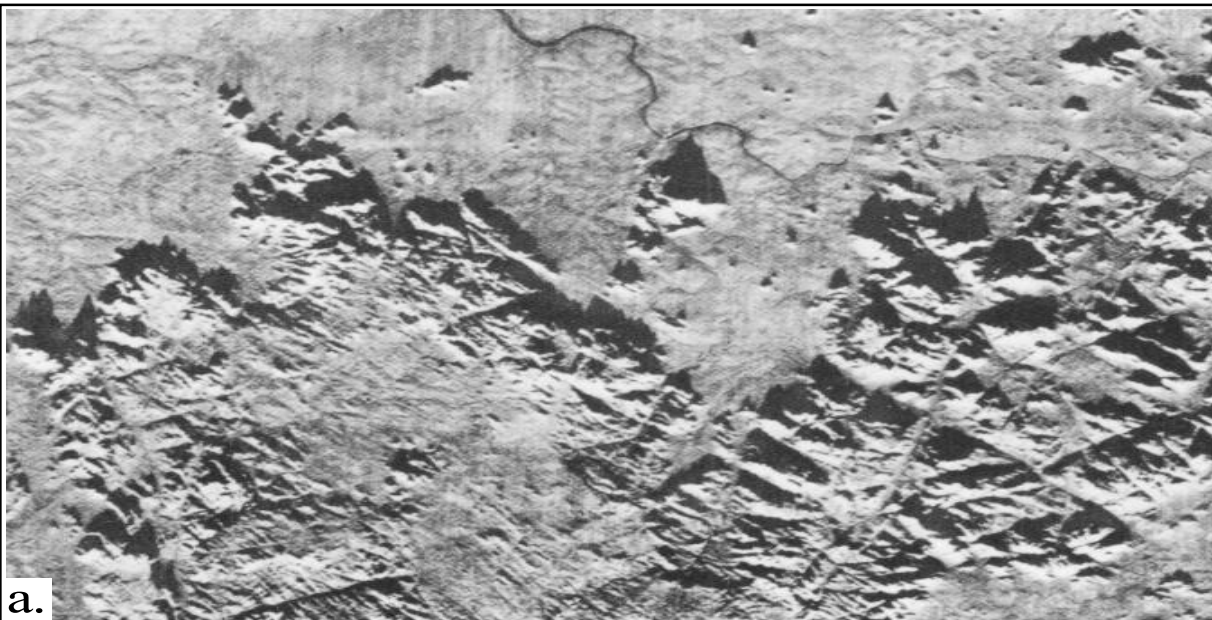
Yükselen



Alçalan



- Yükselen yörünge doğuya
- Alçalan yörünge batıya

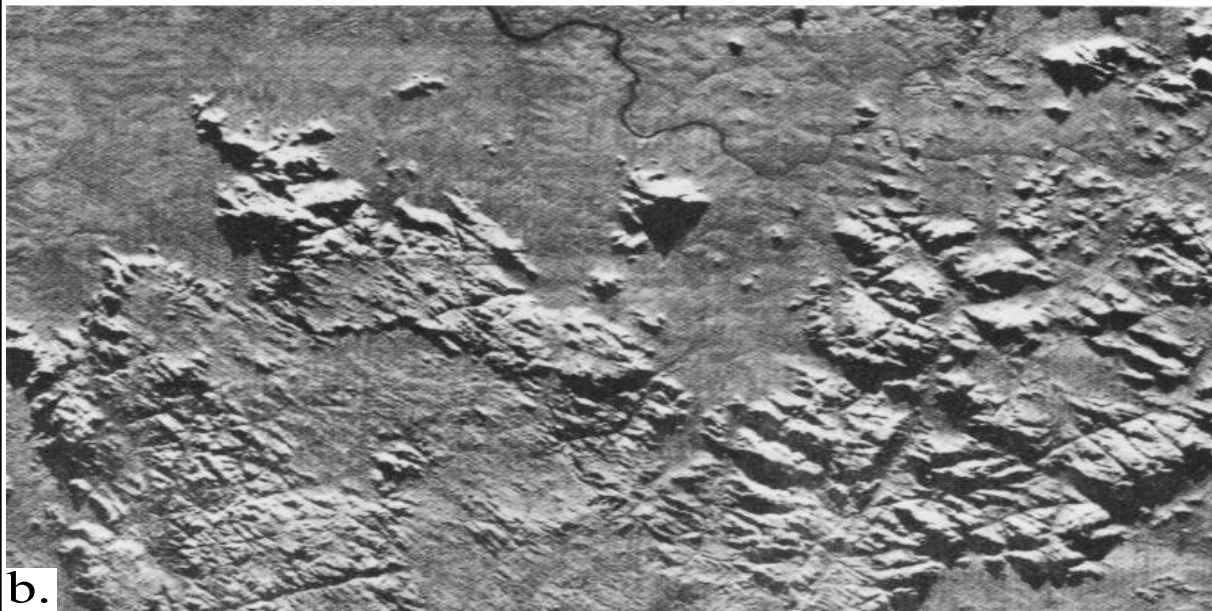


a.

X - band, HH polarization



look direction



b.

X - band, HH polarization



look direction



RADAR bantları

Bantlar	Frekans (GHz)	Dalga boyu(cm)
P	0.225 – 0.39	133–76.90
L	0.39 – 1.55	76.9–19.40
S	1.55 – 3.90	19.4–7.69
C	3.9 – 5.75	7.69–5.21
X	5.75 – 10.90	5.21–2.75
Ku	10.9 – 18	2.75–1.67
K	18 – 26.50	1.67–1.13
Ka	26.5 – 36	1.13–0.83
Q	36 – 46	0.83–0.63
V	46 – 56	0.63–0.53
W	56 – 100	0.53–0.30

Radar algılayıcı bantları kullanılan dalga boyu ve frekansına göre çeşitli harflerle anılırlar (Hussin, 2005).



RADAR bantları

Bantlar	Frekans (GHz)	Dalga boyu(cm)
P	0.225 – 0.39	133–76.90
L	0.39 – 1.55	76.9–19.40
S	1.55 – 3.90	19.4–7.69
C	3.9 – 5.75	7.69–5.21
X	5.75 – 10.90	5.21–2.75
Ku	10.9 – 18	2.75–1.67
K	18 – 26.50	1.67–1.13
Ka	26.5 – 36	1.13–0.83
Q	36 – 46	0.83–0.63
V	46 – 56	0.63–0.53
W	56 – 100	0.53–0.30

Radar algılayıcı bantları kullanılan dalga boyu ve frekansına göre çeşitli harflerle anılırlar (Hussin, 2005).

SAR bantlar

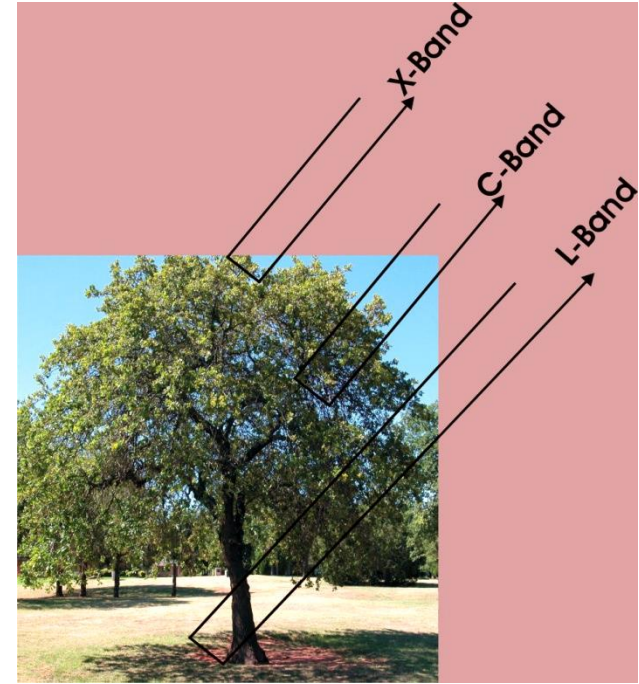
- Aktif uzaktan algılamada kullanılan enerjinin dalga boyları, objelerin bu aralıklarda gösterdiği tepkilere göre değişir.

Örneğin;

X bant (2.4-3.75 cm) objelerin yüzeyinden gerisaçılır.

C bant (3.75-7.5 cm) objelerin yüzeye yakın bölgelerine ulaşabilmektedir.

L bant (15-30 cm) özellikle bitki dokusunun altındaki zemin vb gibi objelere ulaşabilmektedir.

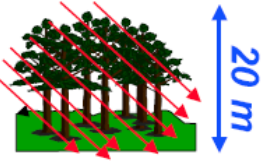


SAR görüntü özellikleri

- SAR görüntülerinde renk bilgisi, hedef nesnelerin pürüzlülüğü, yükseklik, dalga boyu, geliş açısı ve polarizasyona bağlıdır.

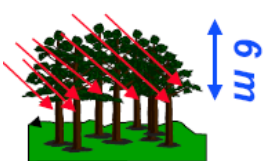
L-Band

$\lambda = 23 \text{ cm}$



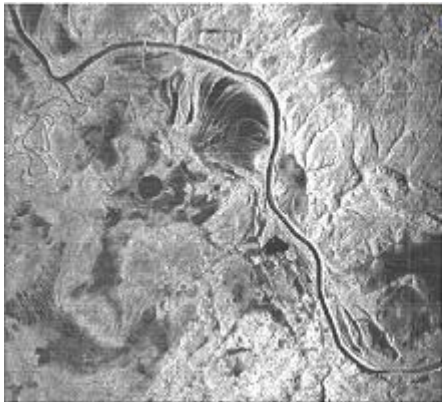
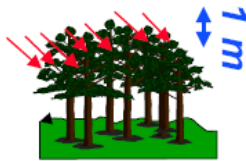
C-Band

$\lambda = 6 \text{ cm}$

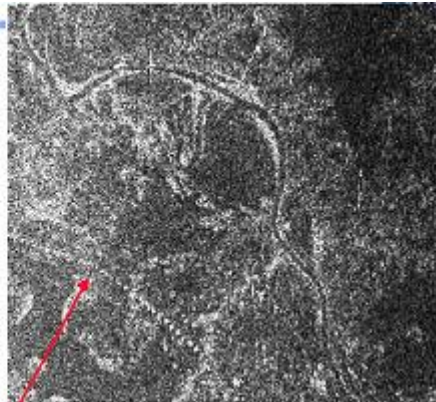


X-Band

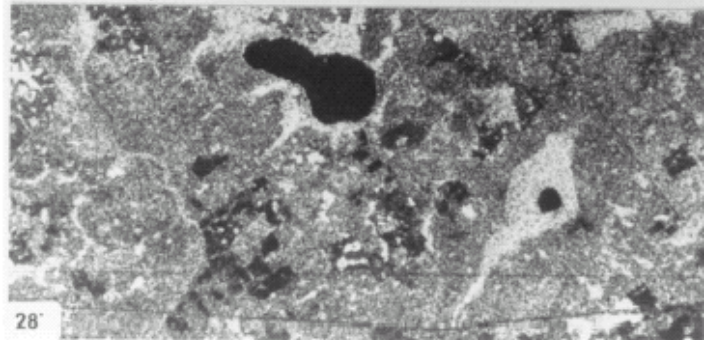
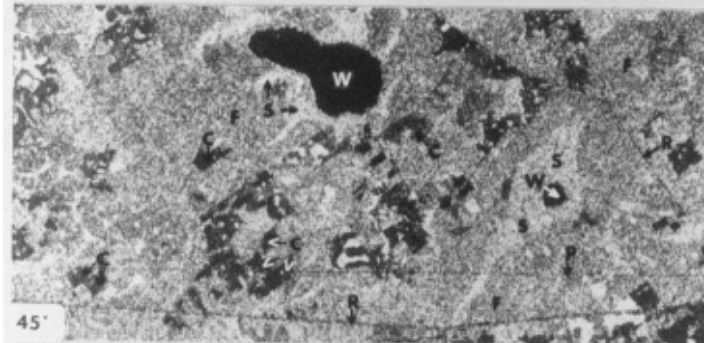
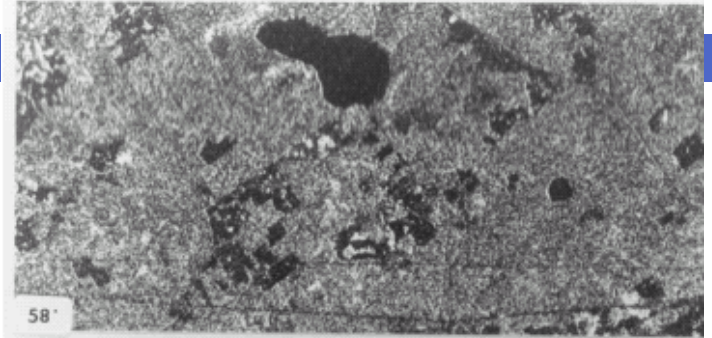
$\lambda = 3 \text{ cm}$



Ku band-2 cm



P band - 290 cm

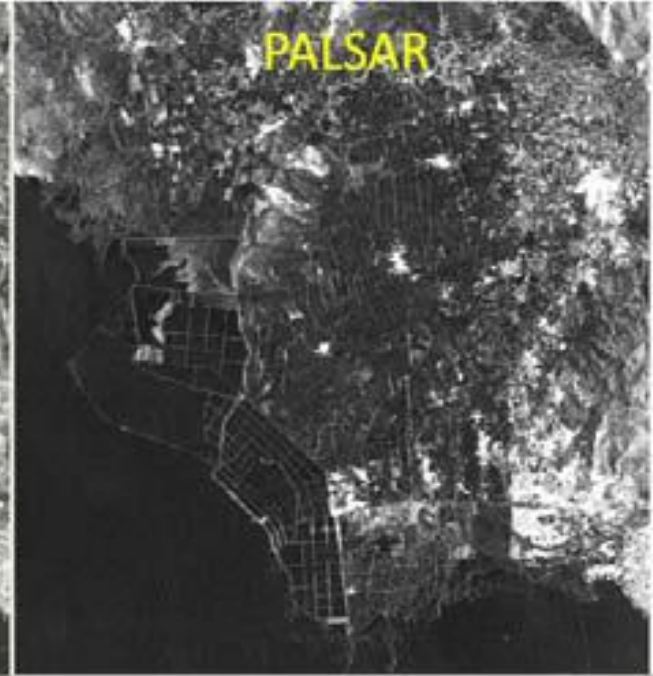


SIR-B L Band HH



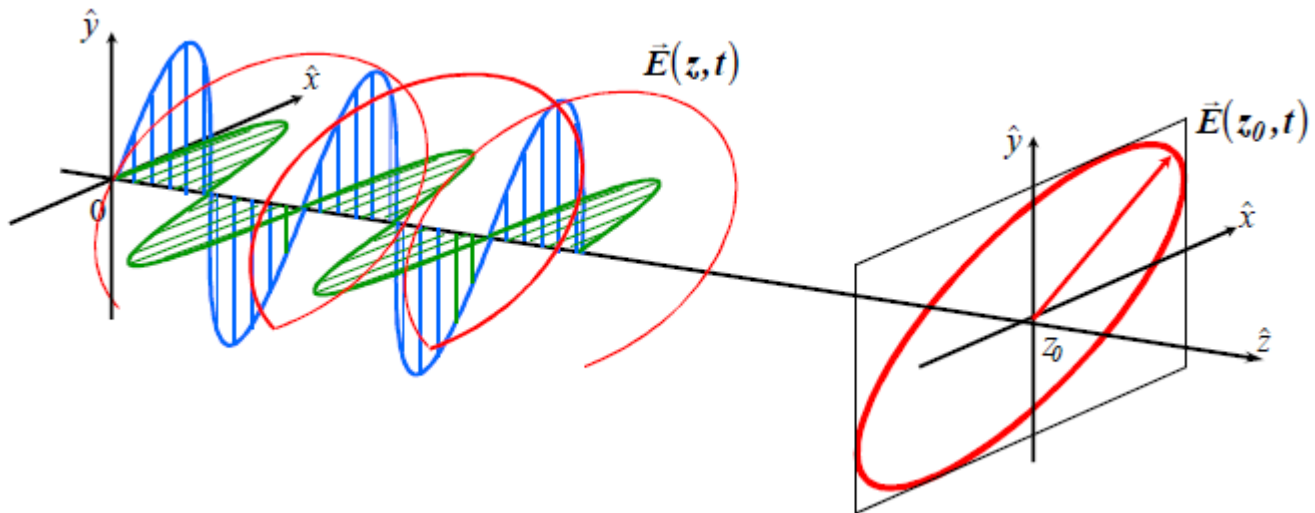
Radar Görüntüsü

Multispektral ve SAR görüntüsü

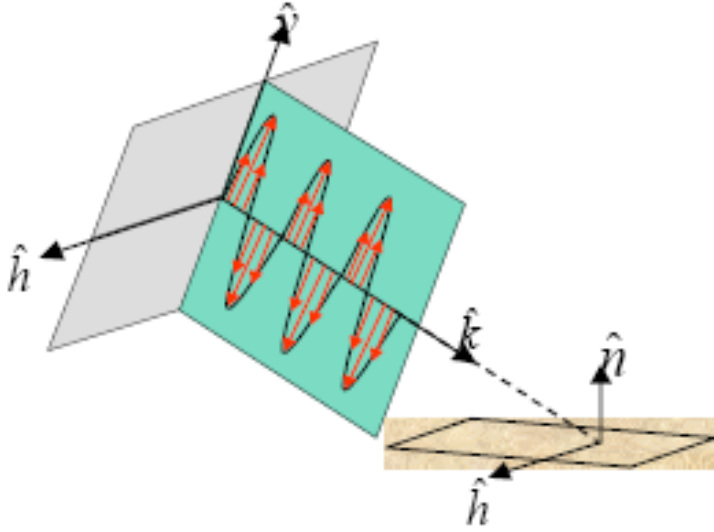


Polarizasyon

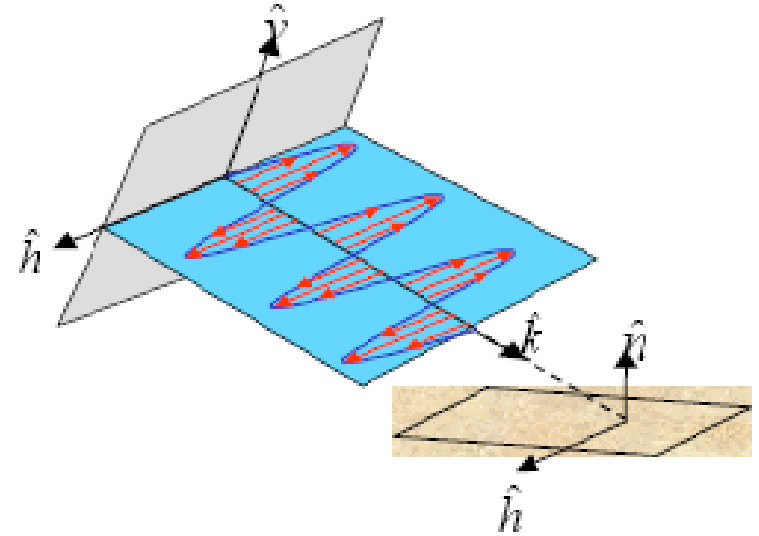
- Elektromanyetik enerjinin elektrik alanının yönü anlamına gelmektedir
- Radar sistemleri lineer (yatay yada dikey) yada dairesel olarak ışınım yollayacak şekilde tasarlanmış olup yine aynı şekilde yatay, dikey yada dairesel olarak geri saçılan enerjiyi kaydetmektedirler



Polarizasyon



Düşey (Vertical) Polarizasyon



Yatay (Horizontal) Polarizasyon

- Elektromanyetik enerjinin vuruşu (pulse) anten tarafından yatay polarizasyonlu yada düşey polarizasyonlu olarak iletilir.
- Işınımın gönderilmesi ve alınmasında 4 farklı kombinasyon da polarizasyon mümkündür



Polarizasyon

- HH-yatay gönderme yatay alma
- VV-düşey gönderme düşey alma
- HV-yatay gönderme düşey alma
- VH- düşey gönderme yatay alma

Işını gönderme ve alma yönü

aynı ise benzer-polarizasyonlu (liked-polarized)

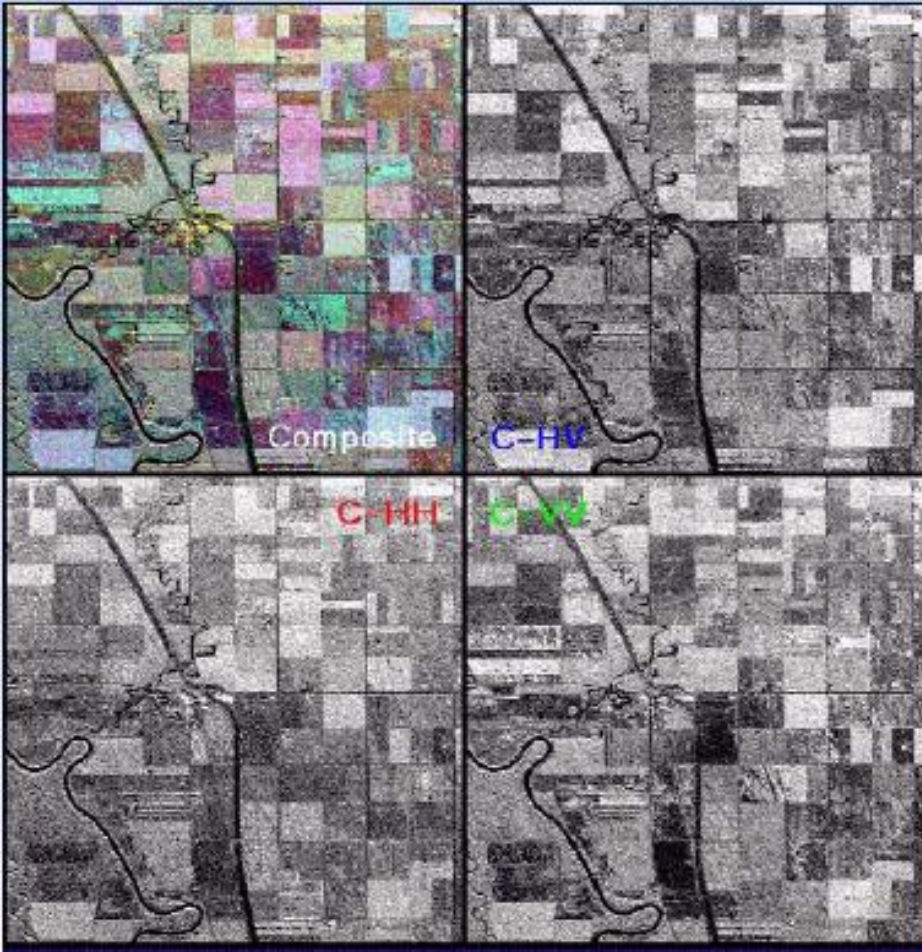
birbirinin tersi çapraz-polarizasyonlu (cross-polarized)

Dalga boyunun farklılığı gibi sinyalin yollanma ve alınma polarizasyonuna bağlı olarak ışınım yer yüzeyi ve objelerle farklı olarak etkileşim gösterir ve farklı miktarlarda geri saçılma yapar. Bu nedenle farklı polarizasyonlarda kaydedilmiş radar görüntüleri aslında birbirini bütünleyici bilgiler taşıyacak şekilde kaydedilmiş olur.

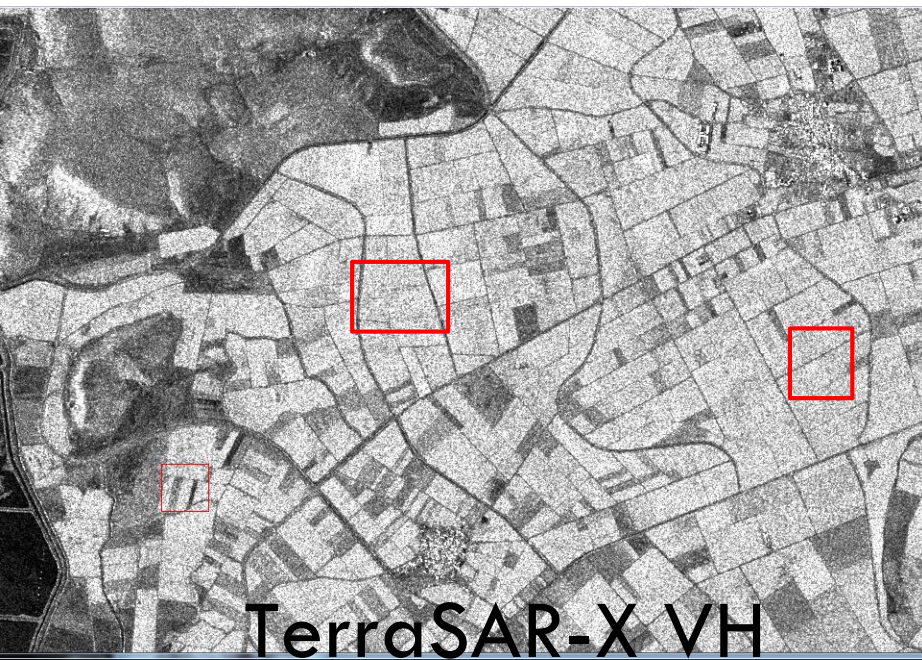
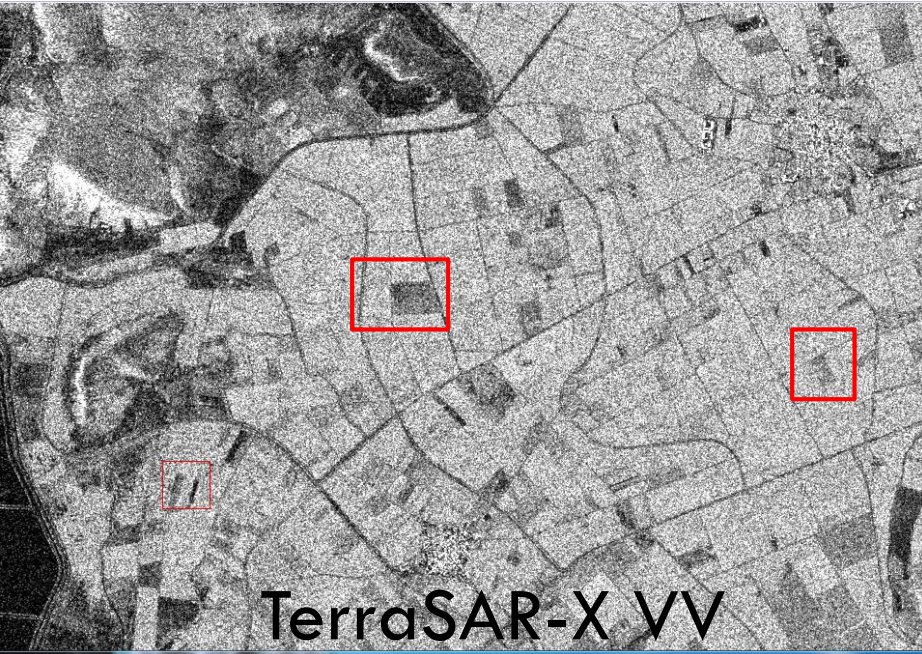
Left circular polarization

Right circular polarization

Polarizasyon



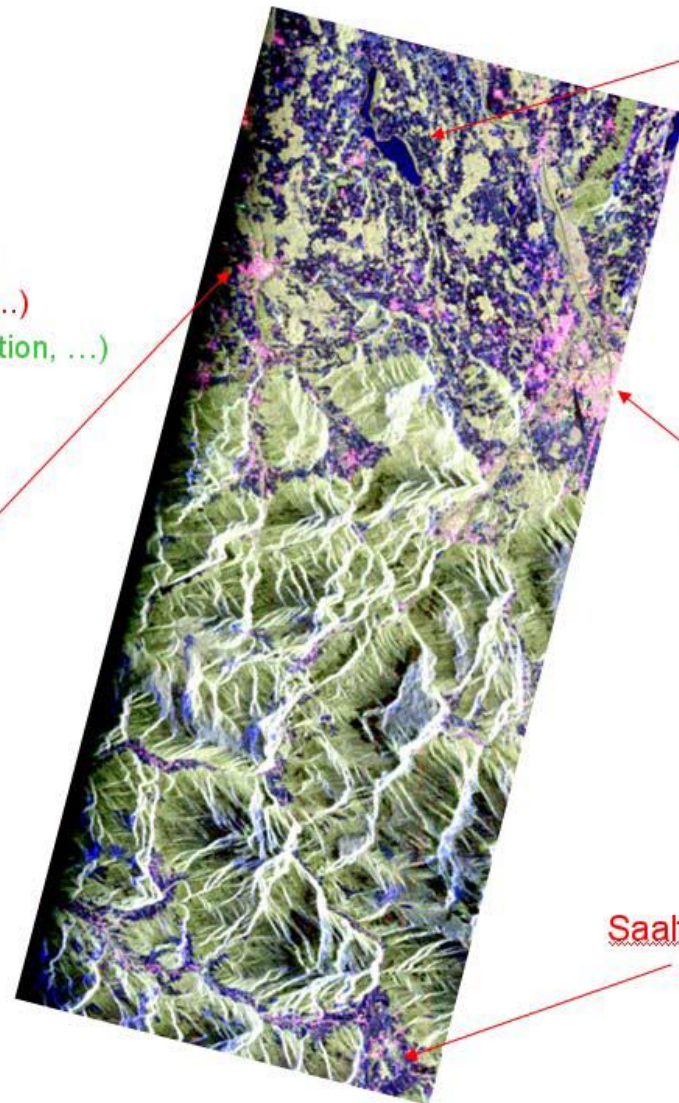
- Tek Polarizasyon: VV, HH
- Tek çapraz Polarizasyon: HV, VH
- Çift Polarizasyon: VV/HH, HH/VV, HH/HV, VV/VH
- Tam Polarizasyon: HH+HV+VH+VV
- Yapay renkli görüntü oluşturularak farklı nesnelere görüntülenebilir.



RapidEye 543

B: HH+VV → single bounce (lakes, ...)
R: HH-VV → double bounce (building, ...)
G: 2HV → volume scattering (vegetation, ...)

Traunstein city



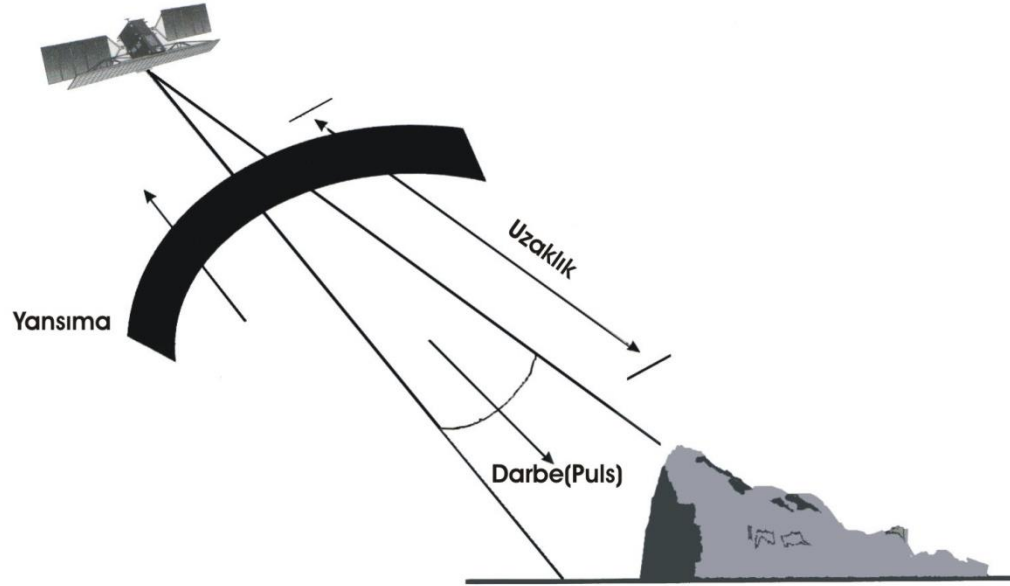
lakes

Salzburg

Saalfelden

Radar Görüntüsü

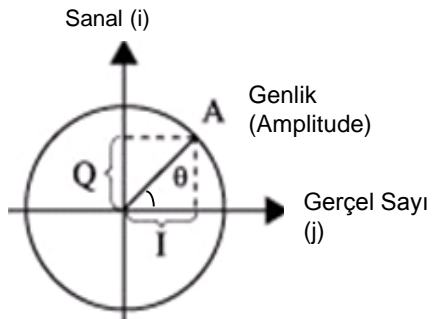
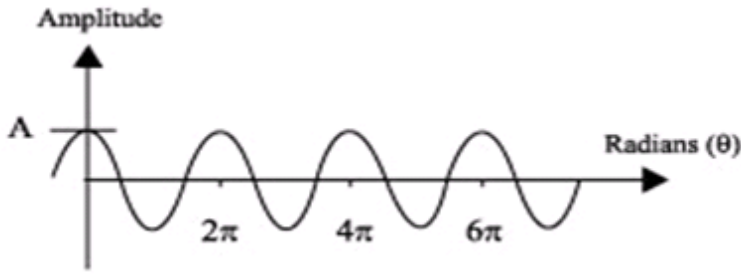
- Yer yüzeyine yollanan enerji ile uyduya geri dönen enerji arasındaki oran hesaplanarak oluşturulur.
- Algılayıcıya geri dönen enerjiye geri saçılma (backscatter) denir



SAR sistemlerinde enerji transferi (Canadian Space Agency, 1996).

Radar Görüntü Özellikleri

- Radar görüntüleri kompleks bir görüntüdür, (genlik+faz)
- Görüntü gerçel (real) ve sanal (imaginary) bileşenlerden oluşur.
- Genlik (vektörün uzunluğu) ve faz (vektörün yönü) bilgisi içeren radar işareti gerçel ve sanal kısımlardan oluşan bir vektör olarak ifade edilir. Rayleigh saçılımı
- Cos değeri gerçel bileşenini, sin değeri sanal bileşeni gösterir ve vektörel olarak dalganın faz ve genlik bileşenini oluşturur.
- Gerçel ve sanal bileşenler bazen "I" (In-Phase) ve "Q" (Quadrature, 90° ötelenmiş) şeklinde ifade edilir. Sinyal fazı "arctan(Q/I)" ve sinyal genliği "sqrt(I² + Q²)" eşitlikleri ile ifade edilir.



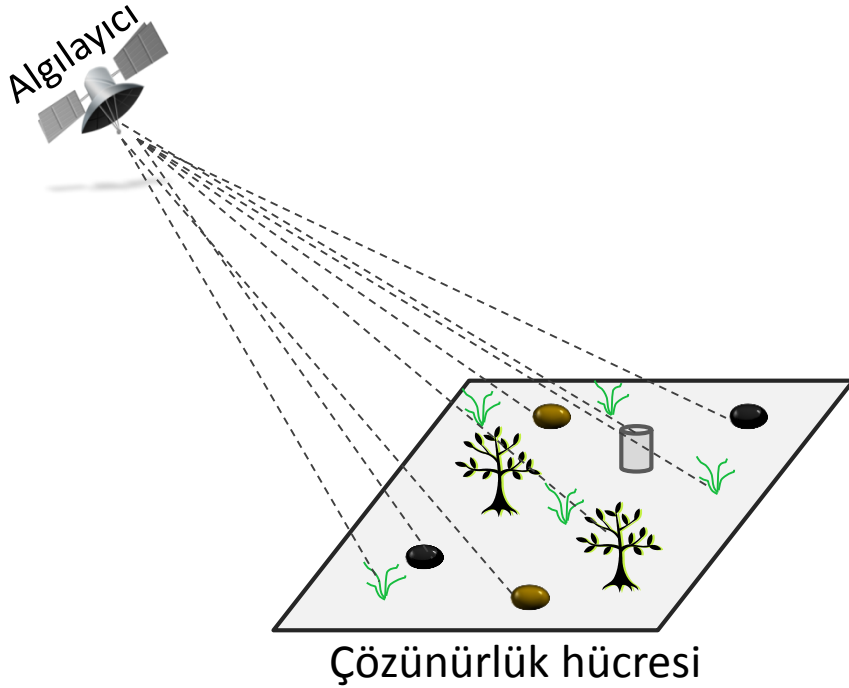
$$I = \text{In-Phase} = A \cos(\theta)$$

$$Q = \text{Quadrature} = A \sin(\theta)$$

$$\text{Phase} = \theta = \arctan\left(\frac{Q}{I}\right)$$

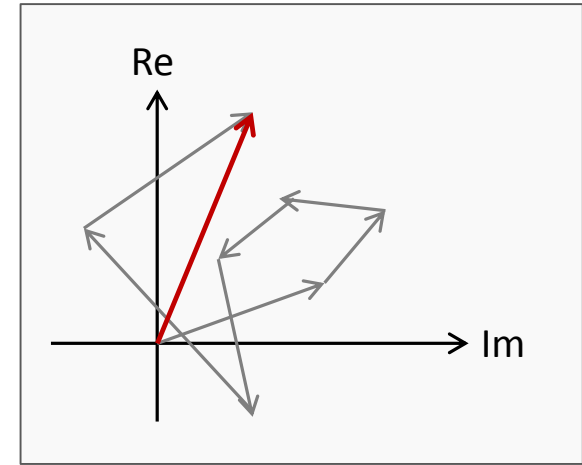
$$\text{Amplitude} = A = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

Pikselin gerisaçılım değeri



A = Genlik (Amplitude) (Rayleigh)
 $I = A^2$
 I = Şiddet (P-Güç)

Toplam tüm koherent bileşenler (kırmızı vektör)



- Herbir gri vektör çözünürlük hücresi içindeki saçıcıya aittir
- Pikselin sonuçta oluşan genliği (kırmızı vektör) tüm bağımsız bileşenlerin toplamıdır



Radar yansımaları

- SAR geometrik polarizasyonun fonksiyonu olarak nesneden geri saçılım sinyali ölçer, radar kesiti (radar cross-section):

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{P_s}{P_i}$$

- σ : görünen yüzey (m^2), geri yansıtma yeteneği için ölçü
- R: menzil (radar-nesne arası uzaklık)
- P_s : nesneden yansıyan güç
- P_i : radar hedefi üzerindeki gönderici gücü



- Geri saçılım katsayısı (backscattering coefficient):
- Dağınık nesnelere için her bir çözünürlük hücresi pek çok saçıcı içerir ve faz konuma bağlı olarak çeşitlilik gösterir, geri saçılım:

- $$\sigma^{\circ} = \frac{4 \pi R^2}{\Delta A} \frac{P_s}{P_i}$$

- ΔA , aydınlatılan yüzey alanı (fazın sabit olduğu varsayılır)



Radar Görüntüsü

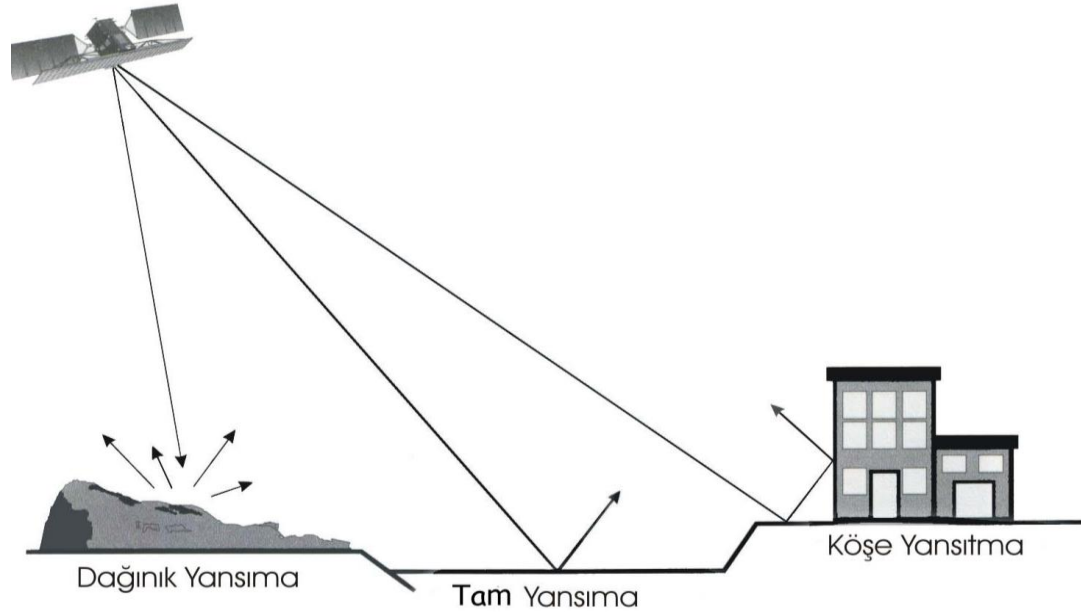
- Görüntülenen bir alanın geri saçılması o bölgenin
 - topografyasına
 - pürüzlülüğüne (cm büyüklüğünde)
 - nem oranı ile doğrudan etkilenen di-elektrik özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterir

- Geri saçılmanın az olması koyu renkli yani gri skalanın yaklaşık siyah aralığında görüntü oluşmasına neden olurken, yüksek geri saçılmalar açık tonlu yani gri skalanın beyaza yakın aralığında görüntü verir.

- Renkli görüntü
 - Elektromanyetik spektrumun tek bir aralığında kayıt yaptığından sadece tek bir bant olarak siyah-beyaz bir görüntü verebilir

Radar görüntüleri

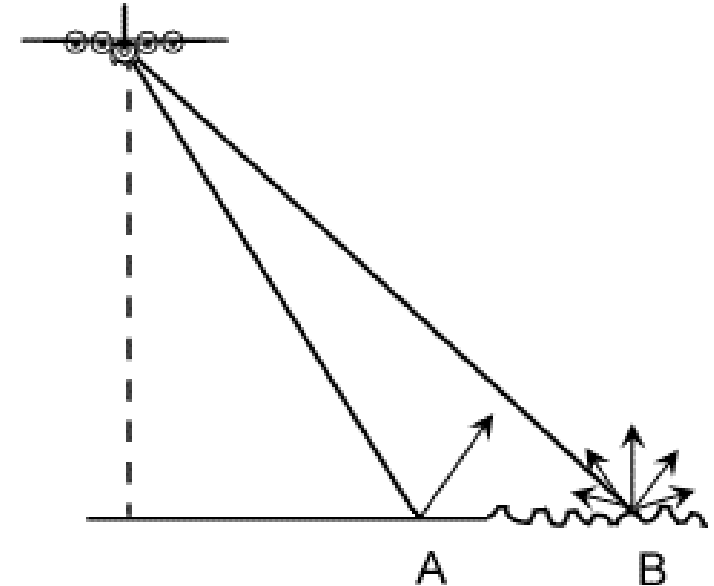
- Yerleşim alanları daima köşe yansıtıcısı (corner reflector) özelliği göstermesi nedeniyle daha parlak bir görünüme sahiptir



Farklı yer yüzeyi özelliklerine göre geri saçılma
(Canadian Space Agency, 1996).

Radar Işınlmasının Nesne İle Etkileşimi Görüntüye Etkisi

- Pürüzsüz yüzeyler (A), gelen enerjiyi saçılmadan yansıtırlar ve gönderilen enerjinin ancak küçük bir miktarı algılayıcıya geri dönebilmektedir ; koyu görünürler
- Pürüzlü yüzeyler (B), gelen enerjiyi bütün yönlerde hemen hemen eşit miktarda saçarlar ve saçılan enerjinin büyük bir kısmı radar sistemlerince kaydedebilir ;açık tonlarda görünürler.
- Alım açısı ve dalga boyu genişledikçe yüzey daha pürüzsüz gözükcektir yakın görüntüleme noktasından uzak görüntüleme noktasına doğru ilerledikçe, algılayıcıya dönen enerji azalacak ve görüntünün gri ton değeri koyulaşacaktır.





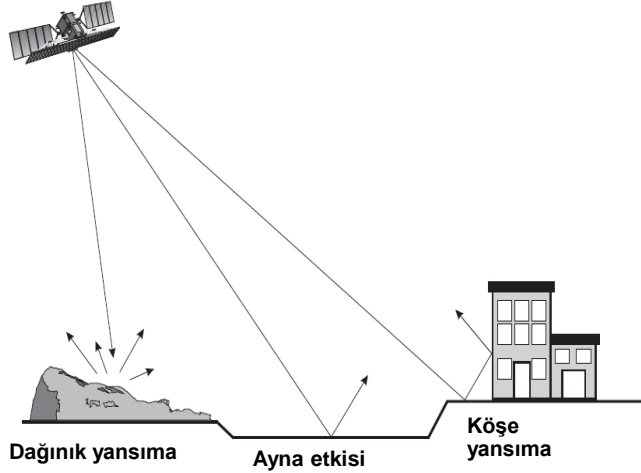
İnsan yapımı nesnelere, şehir alanları

Çok pürüzlü yüzeyler, radar yönünde ki yüzeyler

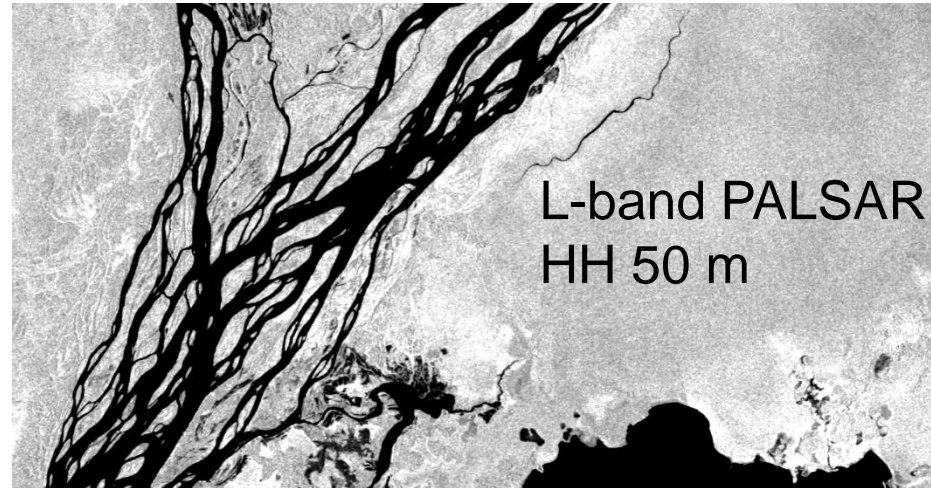
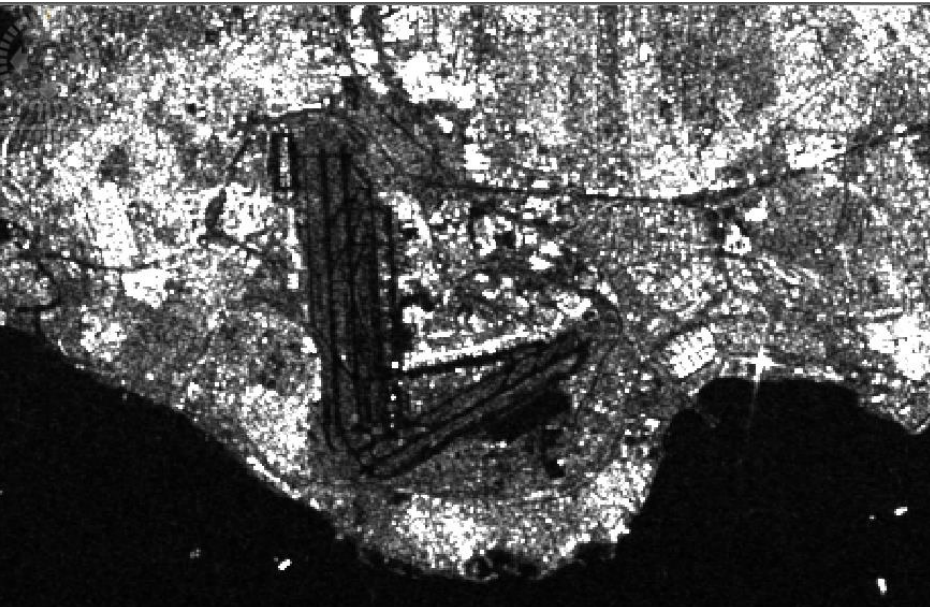
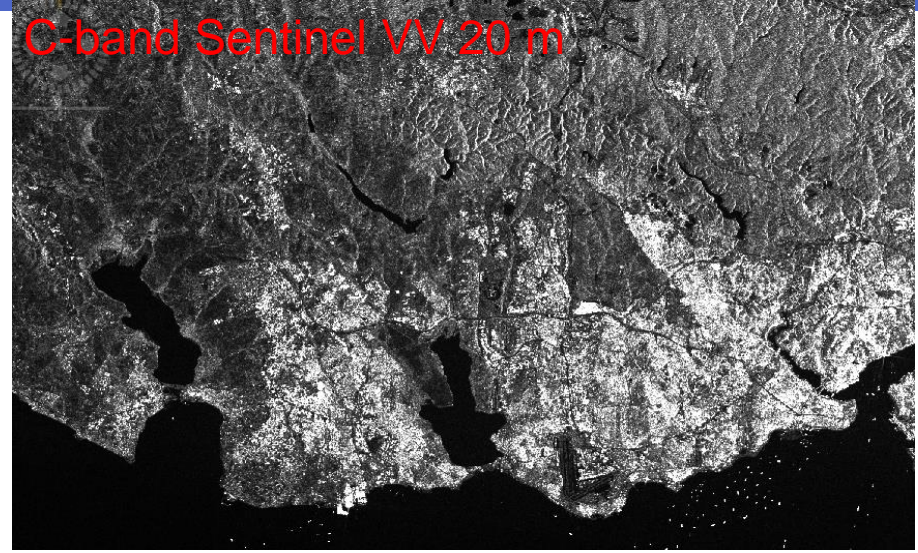
Yoğun bitki örtüsü, orman, pürüzlü yüzeyler

Tarım alanları, az pürüzlü alanlar, ekili alan

Düz yüzeyler, sakin deniz yüzeyi, kuru yüzey,
asfalt



C-band Sentinel VV 20 m





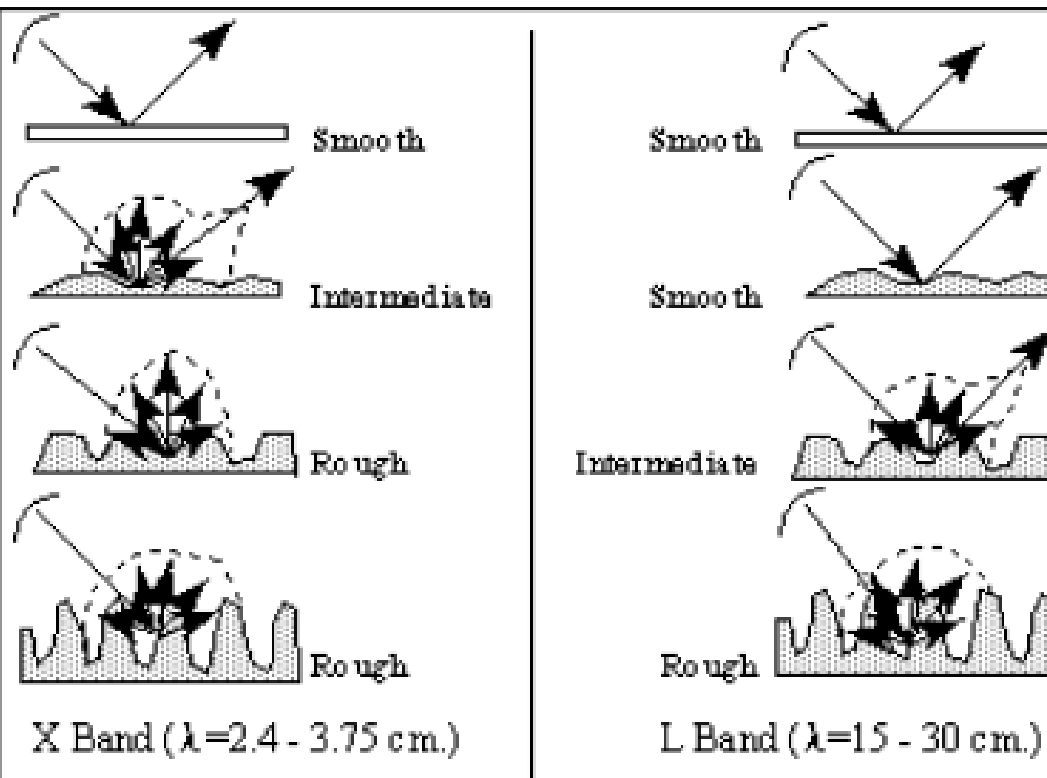
X-band TerraSAR-X HH 3m



SLAR Surface Roughness at a Local Incidence Angle of 45°

Root-Mean-Square Surface Height Variation (cm.)	K _a Band ($\lambda = 0.86$ cm.)	X Band ($\lambda = 3.2$ cm.)	L Band ($\lambda = 23.5$ cm.)
0.05	Smooth	Smooth	Smooth
0.10	Intermediate	Smooth	Smooth
0.5	Rough	Intermediate	Smooth
1.5	Rough	Rough	Intermediate
10.0	Rough	Rough	Rough

(From Lillesand and Kiefer, 1994.)



X-Band and L-Band radar reflection from surfaces of varying roughness. (After Lillesand and Kiefer, 1994.)



Radar Işınlarnının Nesne İle Etkileşimi Görüntüye Etkisi

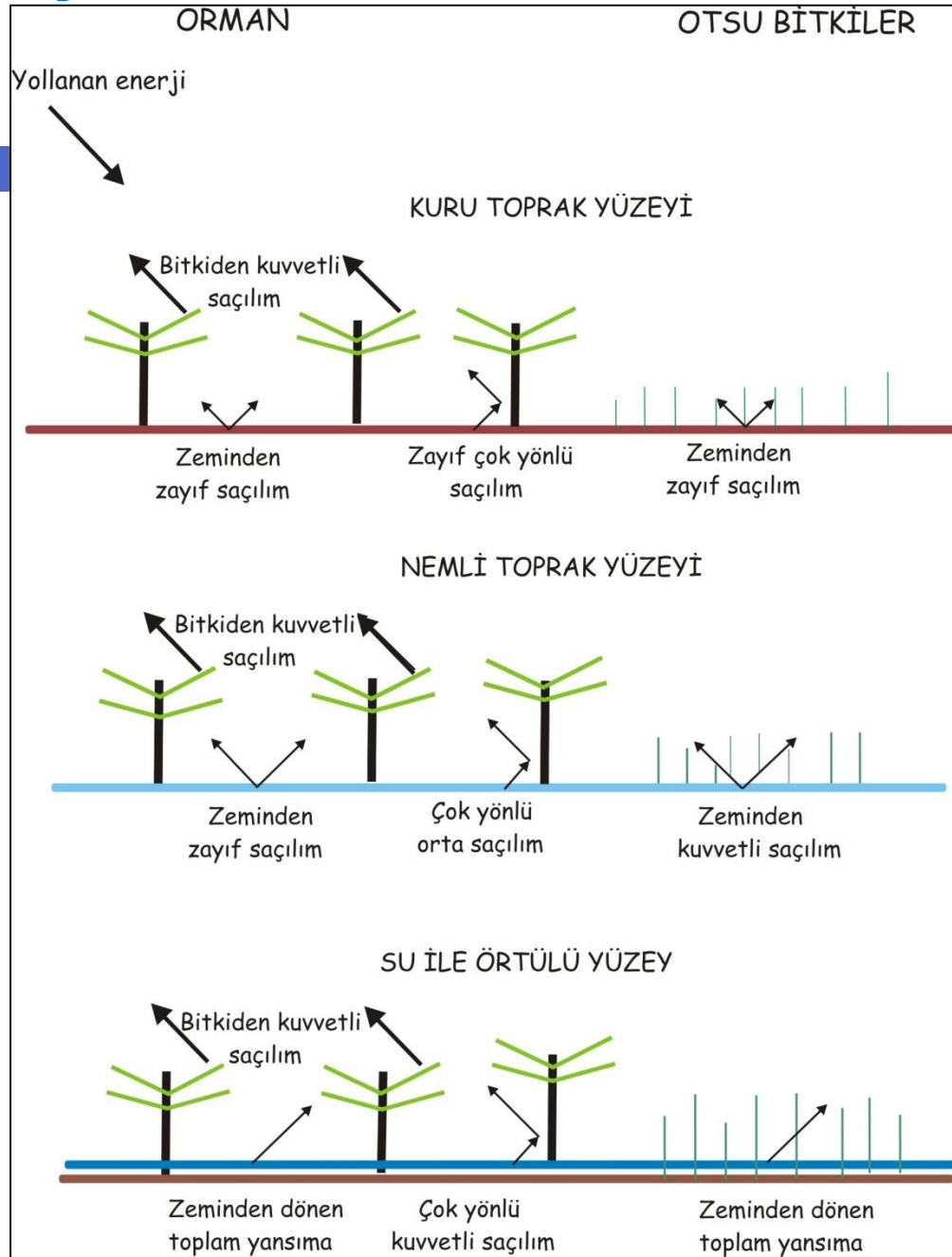
- Nem miktarı objenin elektrik özelliklerini etkilemektedir
- Elektrik özelliklerindeki değişiklikler de objenin gelen elektromanyetik enerjiyi yutma, iletme ve geri saçılma özelliklerini etkilemektedir.

Bu sebeple

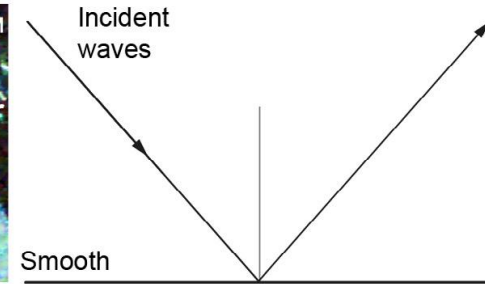
Objelerin veya yer yüzeyinin nem miktarı gelen radar enerjisinin yansımısını ve bu yansımanın radar görüntüsündeki görünüşünü etkileyecektir.

Genellikle gerisaçılma (görüntünün parlaklığı) nem miktarı arttıkça artmaktadır [www.ccrs.nrcan.gc.ca].

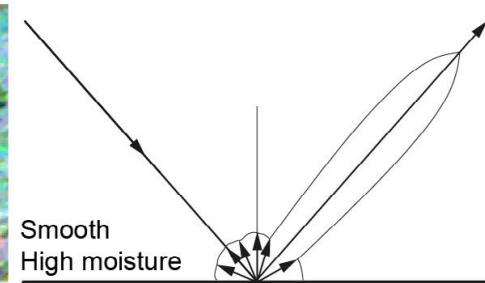
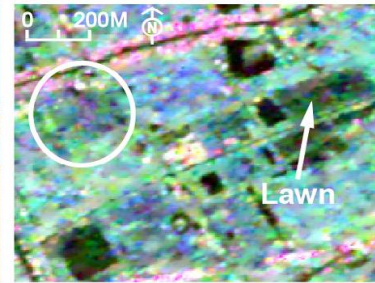
Radar Işınlarnının Nesne İle Etkileşimi



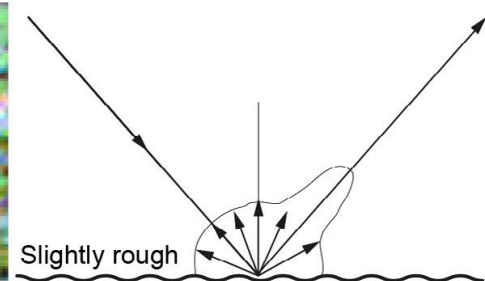
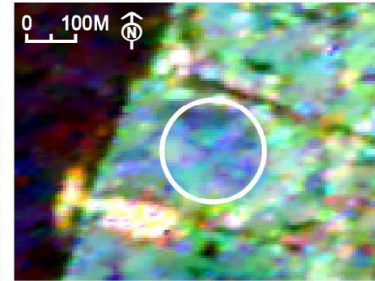
a



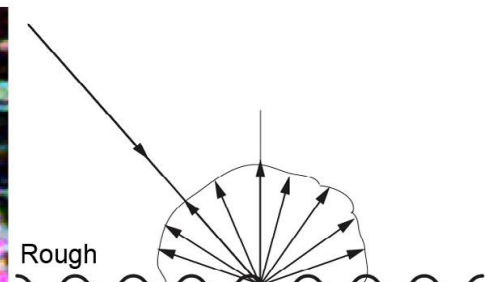
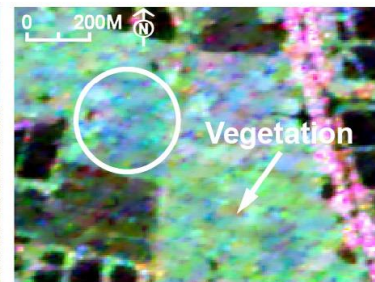
b



c

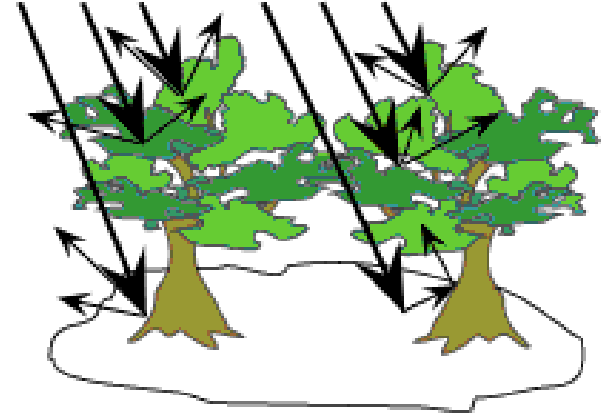


d



Radar Işınlarnının Nesne ile Etkileşimi ve Görüntüye Etkisi

- Radar enerjisinin yüzeyden derinliklere ilerlemesi mümkün olduğunda **volumetrik (hacim) saçılma** (volume scattering) gerçekleşir
- Hacim saçılması belli bir hacimdeki yüzeyden yada ortamdan olan saçılmadır ve saçılma olan yüzeyin farklı bileşenlerinden aynı anda gerçekleşen yansımalar topluluğudur.



Örneğin ormanda saçılma en tepede bitki örtüsünün yapraklarından, derinlerde yaprak ve dallarından, daha derinlerde ise ağaç gövdesi ve topraktan olan yansımadır. Hacim saçılması geri saçılan enerjinin miktarına bağlı olarak görüntünün gri ton değerinin artmasına da azalmasına da neden olabilir .

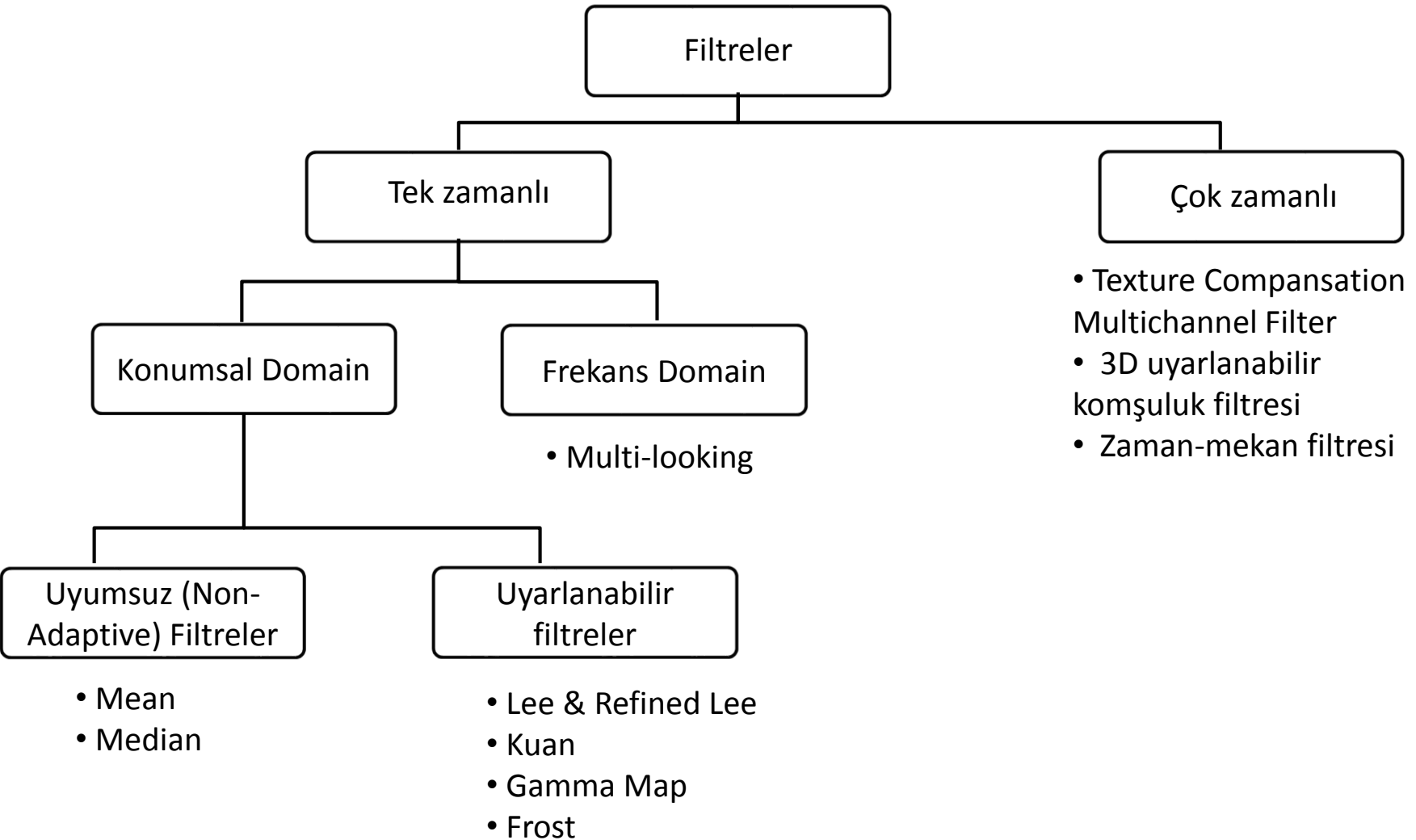


Benek etkisi (speckle)

- Benek, SAR görüntüsünde doğal olarak oluşan ve görüntü kalitesini düşüren tuz-biber (salt-pepper) oluşturan gürültüdür
- Gürültüyü azaltırken:
 - ▣ Radyometrik bilgide
 - ▣ Mekansal çözünürlükte
 - ▣ Kenar bilgisinde
 - ▣ Doku bilgisinde minimum kayıp amaçlanır

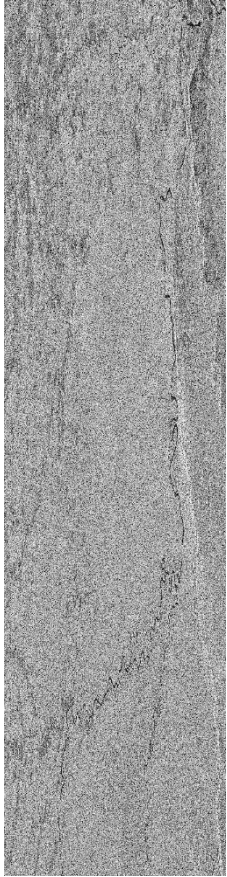


Benek etkisi (speckle)



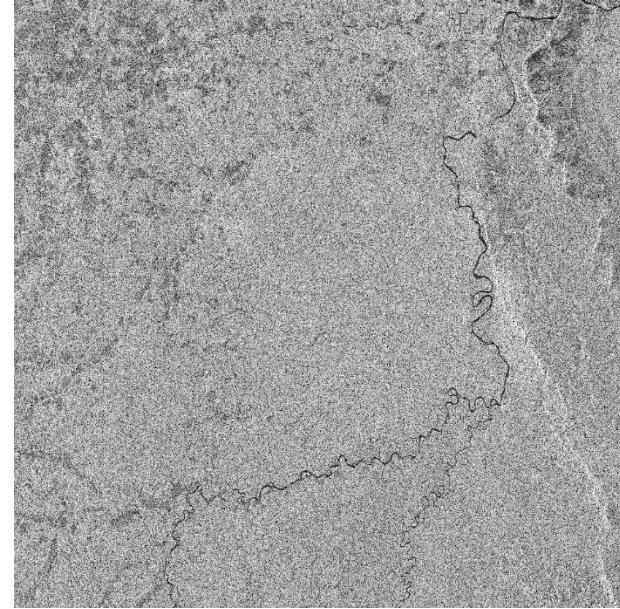
Multi-looking

Azimuth

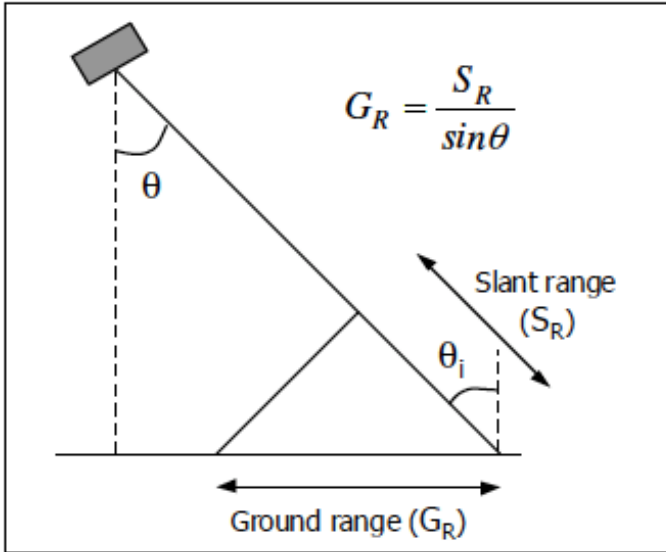


Range

*Kare piksele
dönüşmüş,
filtrelenmiş yeni
görüntü*



Multi-looking



- Range yönünde Multi-Look Faktörü (ML_R)
- Azimuth yönünde Multi-Look Faktörü (ML_A)

bakış sayısı aşağıdaki parametrelerin fonksiyonudur:

- Azimuth da piksel aralığı (AZ)
- Slant range piksel aralığı (SR)
- Görüntü merkezinin bakış açısı (θ)
- İstenilen çözünürlük (x)

- *ALOS PALSAR FBD görüntüsünün merkez bakış açısı: 38.8*

- *Azimuth piksel boyutu: 3.2 m*
- *Eğik mesafede piksel boyutu: 9.4 m*

- *→ Yatay mesafe:*

$$9.4 \text{ m} / \sin(38.8^\circ) \approx 15 \text{ m}$$

Azimuth X 4L

Yatay mesafe X 1L

$$(3.2 \text{ m} * 4) \times (15 \text{ m} * 1) = 12.8 \times 15$$



Multi-looking



range: 3 azimuth:3

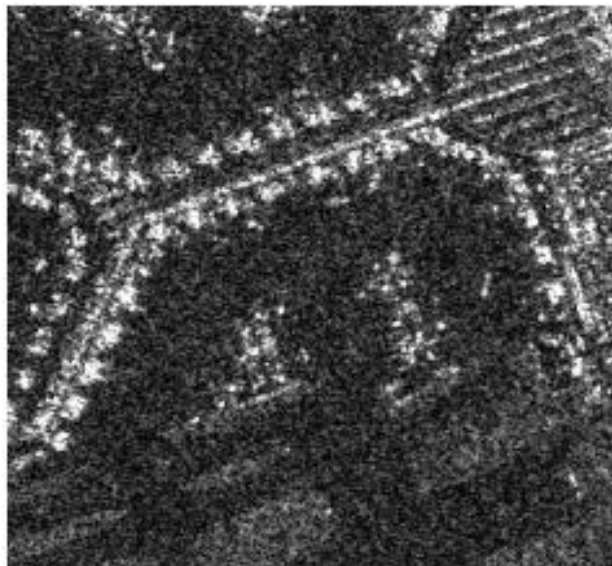


range: 5 azimuth:6



range: 9 azimuth:10

□ Radarsat-2 Extra Fine modu



1-look
~ 5 m resolution



4-looks
~ 10 resolution



28-looks
~ 25 m resolution



GAMMA MAP Filter



GAMMA 3*3



GAMMA 5*5

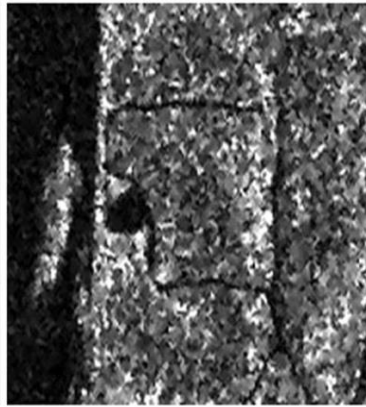


GAMMA 9*9

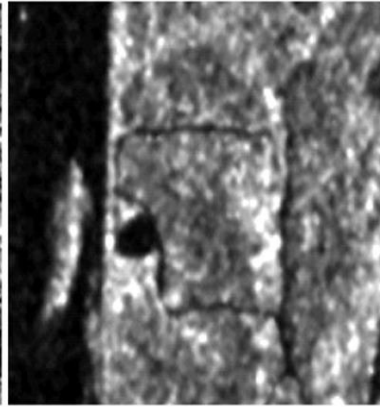
Gürültü-filtre (salt-and-pepper effect)



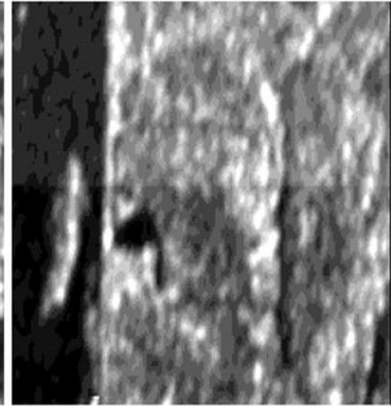
Original image



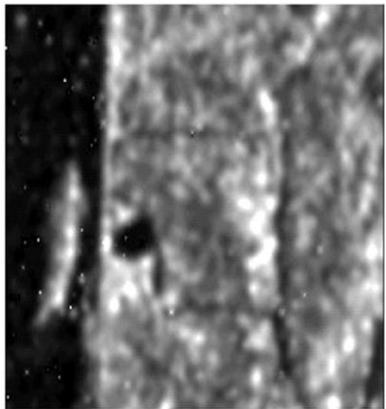
Local adaptive median



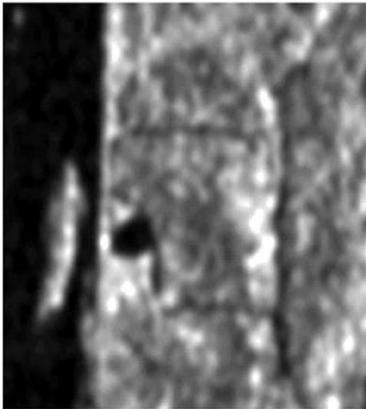
Lee filter



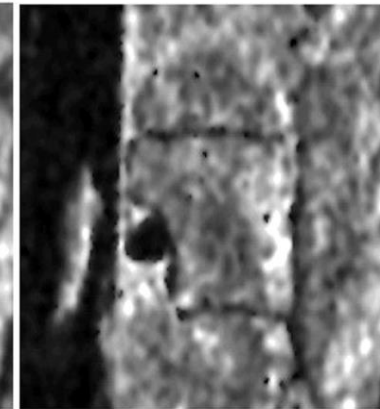
Frost filter



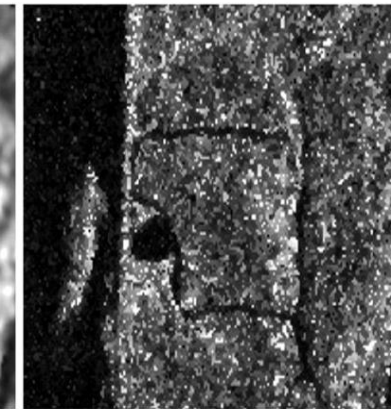
Kuan filter



Gamma filter



Lee sigma



Local sigma

□ Radarsat-1 3x3 pencere

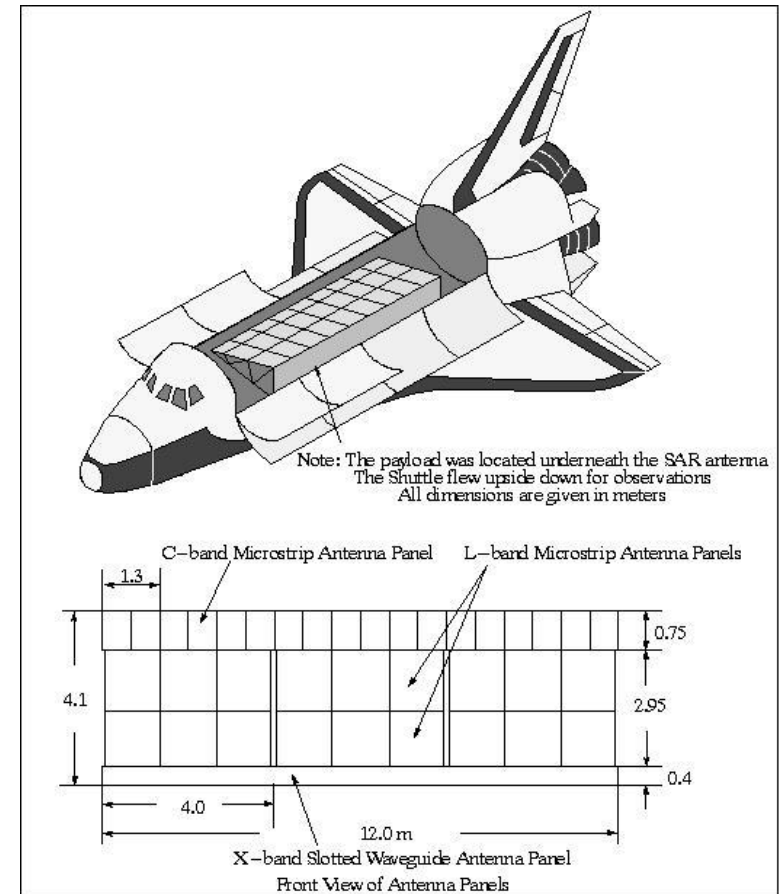


Radar algılayıcılar

- Uzay araçları
- Uçaklar SLAR (Side Looking Airborne Radar)
- Yer bazlı algılayıcılar
- Uydular

Uzay araçları- Shuttle Imaging Radar

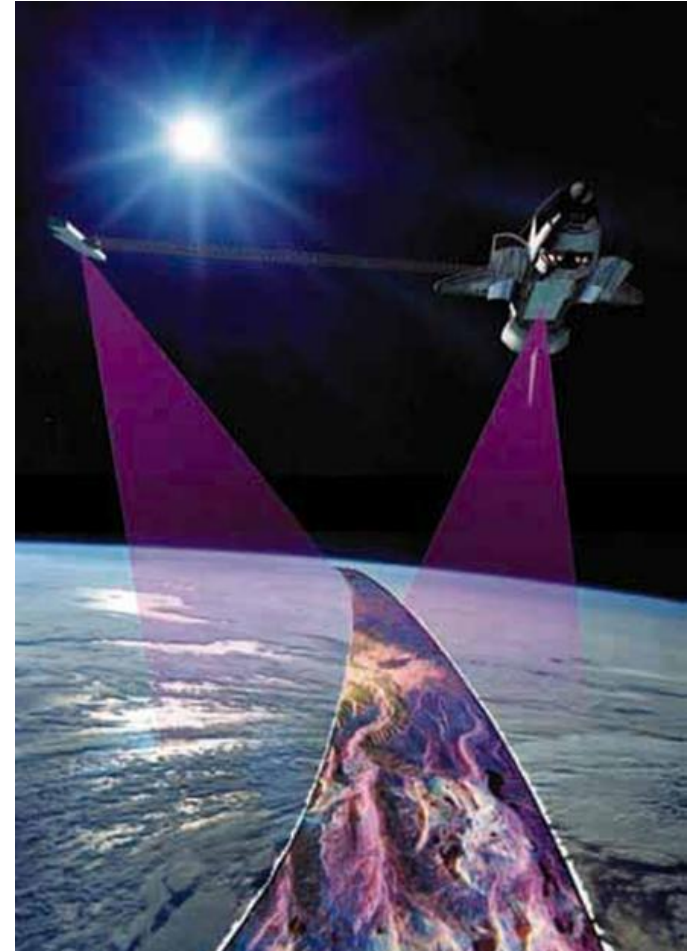
- SIR A (1981): L-band, HH polarizasyon
- SIR-B (1984): L-band, HH polarizasyon
- SIR-C/X-SAR (1994): X-C-L-band, tam polarizasyon





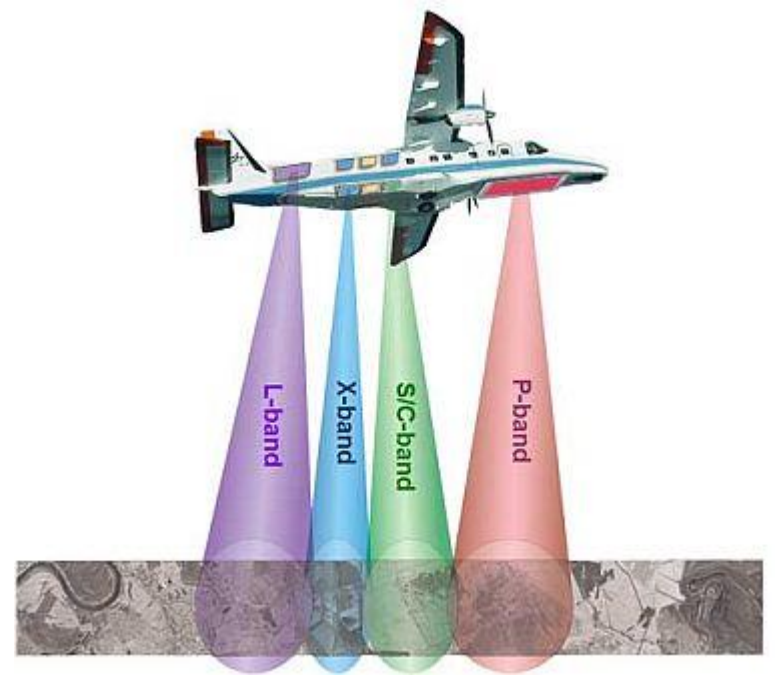
Uzay araçları

- Shuttle Radar Topography Mission – SRTM
- NASA, DLR, ASI
- Subat 2000, 11 gün
- X ve C band
- 25m ve 90m çözünürlük küresel SYM



- Alman Uzay Birimi: F-SAR (X-, C-, S-, L- , P-) (çöz<1m)
- E-SAR (X-, C-, L- , P-band)
- NASA: AIRSAR (C-, L- ,P-band) 1m,

F SAR





İnsansız hava araçları

- NASA: UAVSAR
(Uninhabited Aerial Vehicle SAR)
- L-band
- Tam polarizasyonlu
(HH, HV, VH, VV)
- 1,8m x 0,8m (range-azimuth)

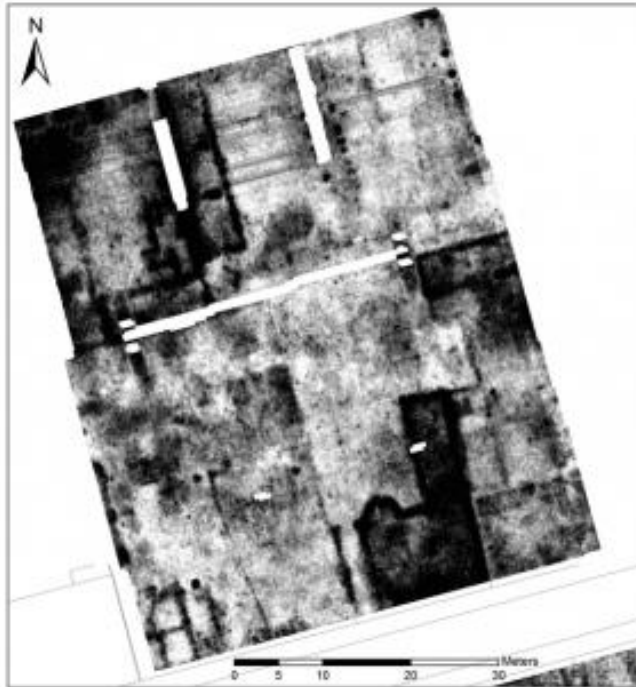


Yeraltı Radarı (Ground Penetrating Radar GPR)

- Arkeolojik arařtırmalar
- Şehir altyapılarının araştırılması
- Yüzeye yakın (40m) alanlarda maden çalışmalarında
- Tüp geçitler, su boruları
- Bitki kokler ve toprak nemi



GPR arkeolojik çalışma İsveç Norrköping



Yer Tabanlı Radar (Ground Based Radar-GB-SAR)



- Altyapı
- Baraj
- Deformasyon
- Eğim hareketleri, heyelan

- Sık görüntü alımı
- Yüksek çözünürlük



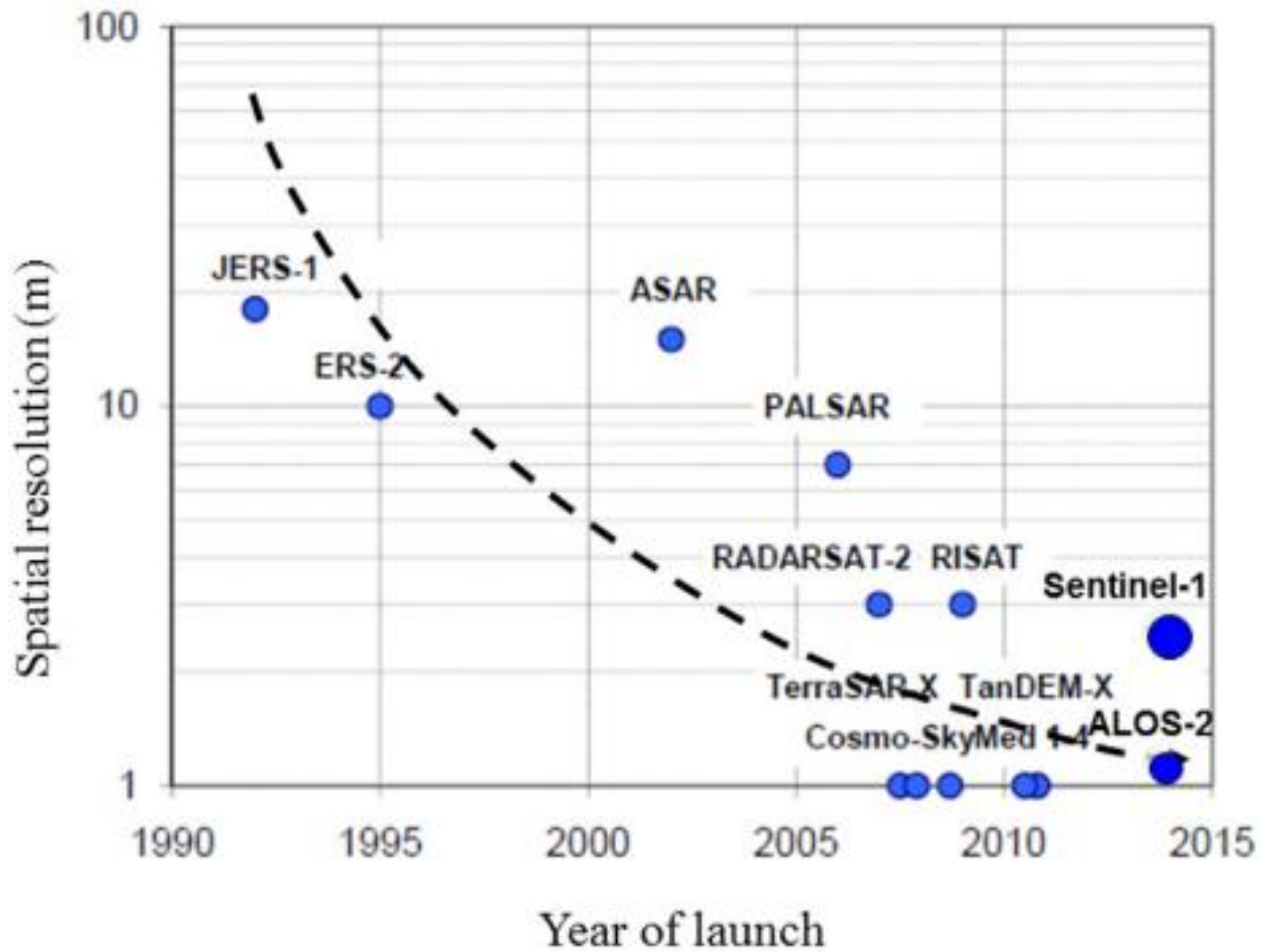
SAR uydu sistemleri

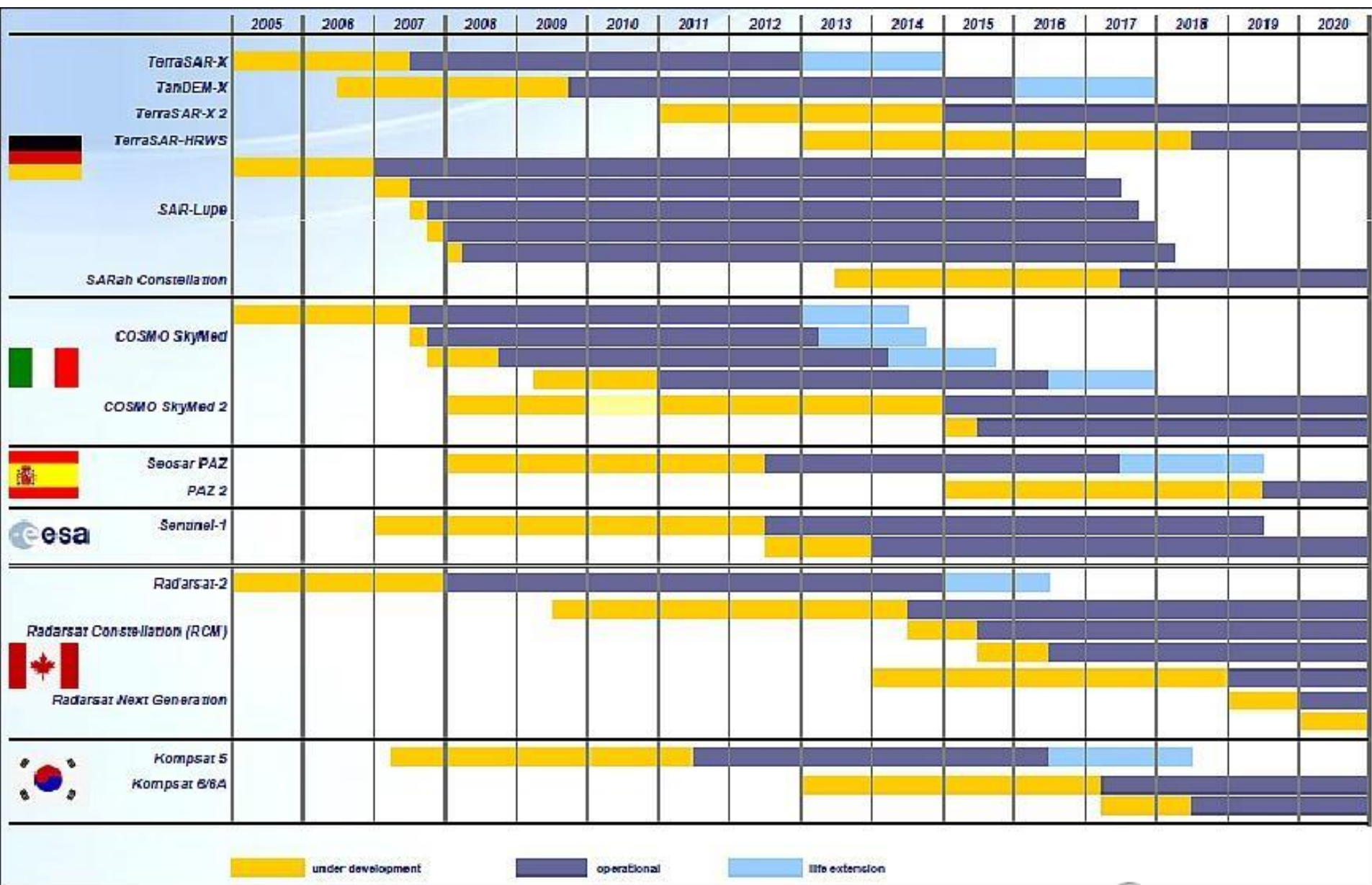
	Seasat NASA 06-10 1978	ERS 1 ESA 1991-2000	J-ERS JAXA 1992-1998	RADARSAT1 CSA 1995-2013	ERS-2 ESA 1995-2011	ENVISAT ASAR ESA 2002-2012	ALOS PALSAR JAXA 2006-2011
Dalga boyu	L	C	L	C	C	C	L
Tekrarlı Geçiş (gün)	17	3, 35	44	24	3, 35	35	46
Geliş Açısı	23°	23°	40°	10°-60°	23°	13°-39°	8°-60°
Çözünürlük	25m	25m	25m	8m-100m	25m	30m, 1km	7-100m
Tarama Genişliği (km)	100	100	100	45-100-150-300	100	100-400	70
Scan SAR Modülü	Yok	Yok	Yok	500m	Yok	100m	100m
Polarizasyon	HH	VV	HH	HH	VV	Single Cross Dual	Single Cross Dual Quad



Mevcut SAR uydu sistemleri

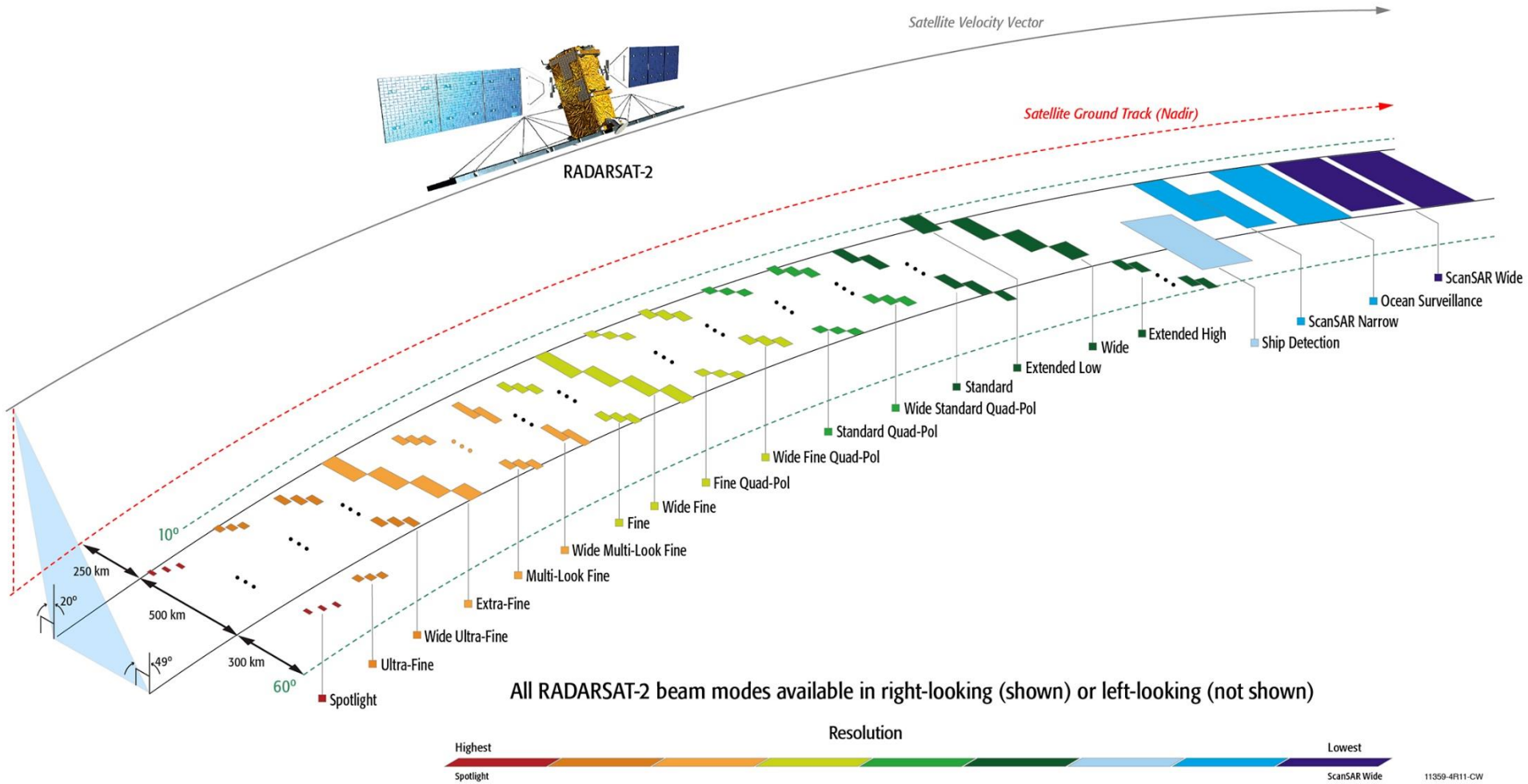
	TerraSAR-X DLR 2007	RADARSAT2 CSA 2007	Cosmo-SkyMed ASI 2007	RISAT-2 ISRO 2009	RISAT-1 ISRO 2012	Kompsat-5 KARI 2013	ALOS-2 JAXA 2014	Sentinel-1 ESA 2014
Dalga boyu	X	C	X	X	C	X	L	C
Tekrarlı Geçiş	11 gün	24 gün	16 gün	14 gün	25 gün	28 gün	14 gün	12 gün
Geliş Açısı	15°-60°	10°-60°	20°-60°	20°-45°	15°-50°	25-45-55	8-70°	18°-47°
Çözünürlük	1-2-3-6-16m	1-3-8-25-30 50-100m	1-3-15-30-100m	1-8m	1-3-9-25-50m	1-3-20m	1-3 -6 -10 m	5-30-100m
Tarama Geniliği (km)	10-30-300	20-25-50-75 100-150-300-	10-30-40	10-50	10-25-115-220	2-30-100	25-50-70-350	20-80-250-400
Scan SAR Modülü (m)	100	50-100	100-200	8	25-50	100	100	Yok
Polarizasyon	Single Co-pol Dual Quad	Single Cross/Co-pol Dual Quad	Single Cross Dual	Single	Single Dual Quad Circular	Single	Single Dual Quad	Single Dual







RADARSAT-2



RADARSAT-2

- Zamansal Çözünürlük
 - Aynı orbitten tekrar geçişi 24 gün

Alım modu (Tek yada Çift pol)	Kapladığı alan (km)	Mekansal çöz. (m)
Ocean Surveillance	530	Çeşitli
ScanSAR Wide	500	100
ScanSAR Narrow	300	50
Wide	150	25
Standard	100	25
Wide Fine	150	8
Fine (15)	50	8
Alım modu (Polarimetrik)		
Fine Quad-Pol	25	12
Wide Fine Quad-Pol	50	12
Standard Quad-Pol	25	25
Wide Standard Quad-Pol	50	25

Alım modu (Tek Polarizasyon)	Kapladığı alan (km)	Mekansal çöz. (m)
Spotlight	18	1
Ultra-Fine	20	3
Wide Ultra-Fine	50	3
Extra-Fine	125	5
Multi-Look Fine	50	8
Wide Multi-Look Fine	90	8
Ship Detection	450	Çeşitli



COSMO-SkyMed

Constellation of small Satellites for the Mediterranean basin Observation

Wide Field

SCANSAR
HUGEREGION
200 x 200km
100m pixel

WIDEREGION
100 x 100 km
30m pixel

STRIPMAP
HIMAGE
40 X 40 km
3— 5m pixel

PINGPONG
30 x 30 km
15m pixel
Dual Pol



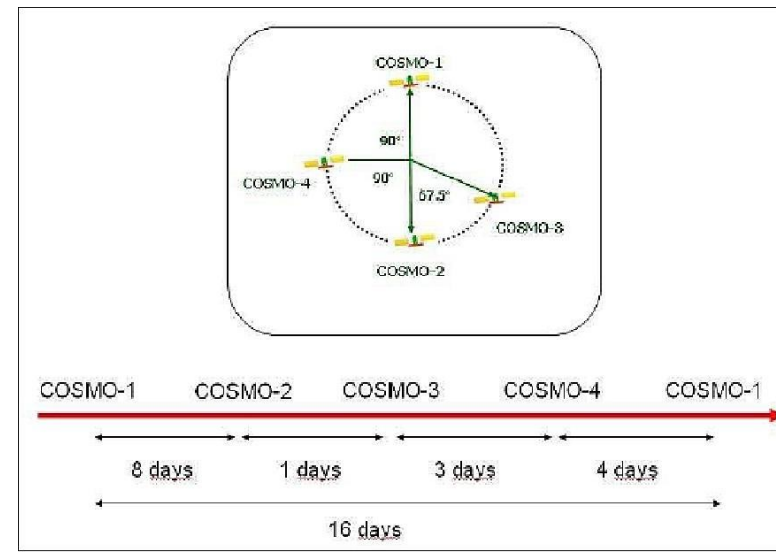
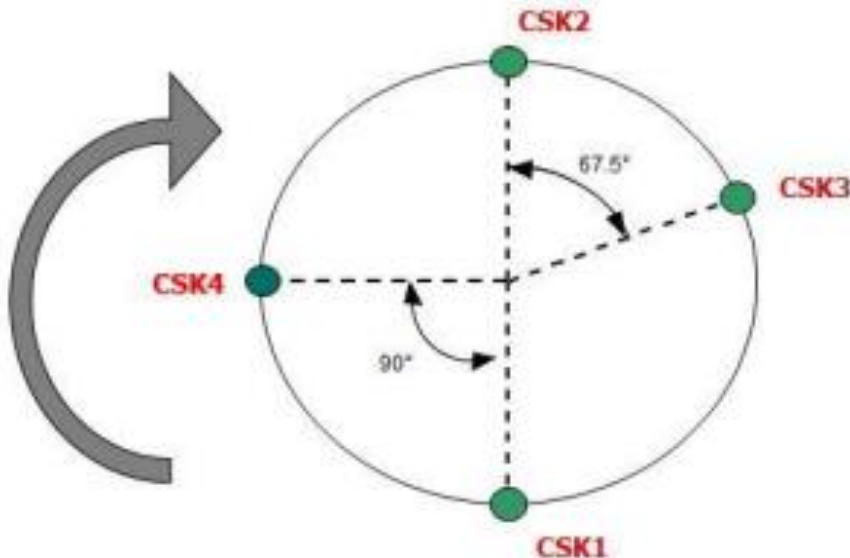
Narrow Field

SPOTLIGHT
SPOTLIGHT1
(Classified)

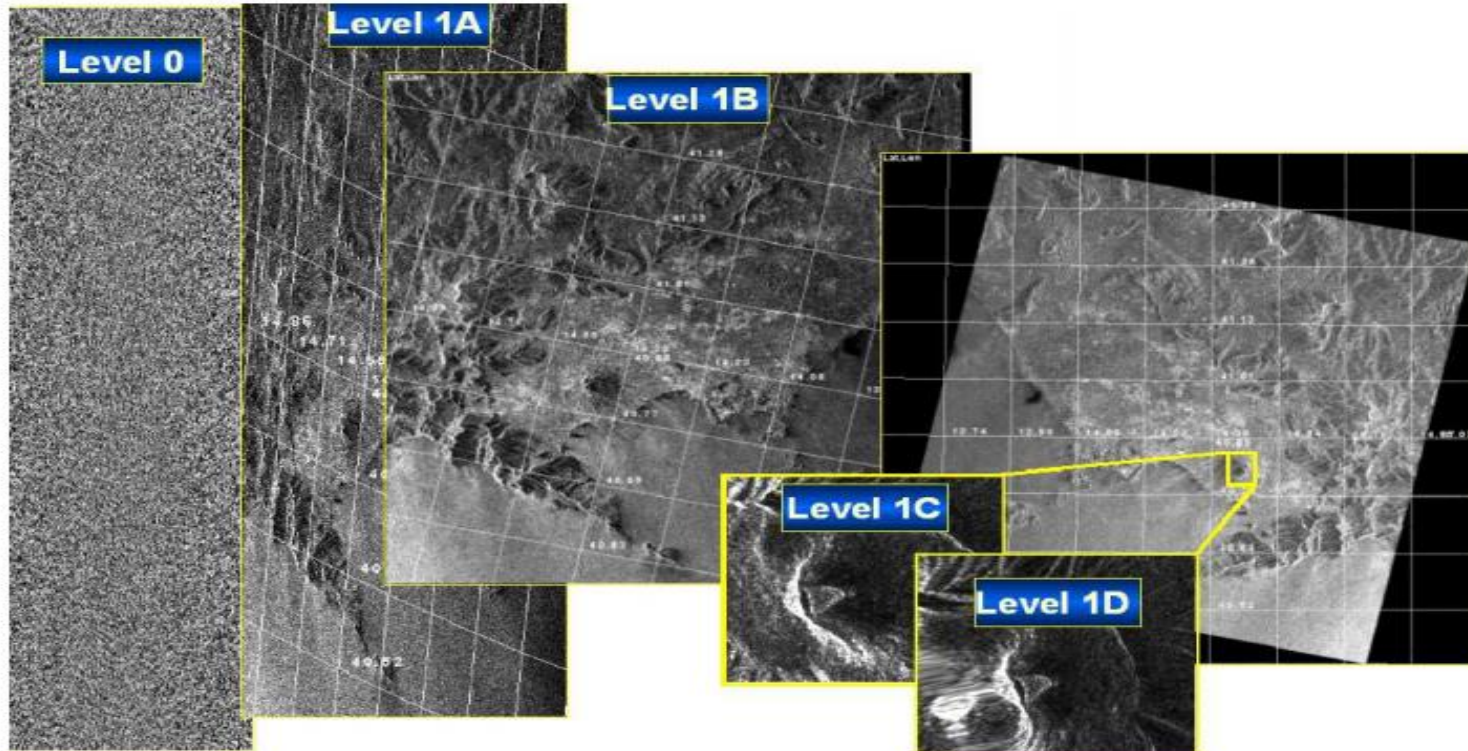
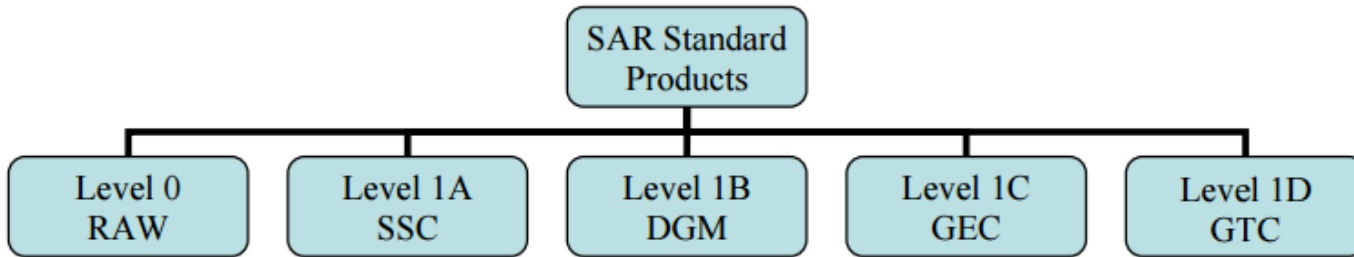
SPOTLIGHT2
10 x 10 km
1m pixel

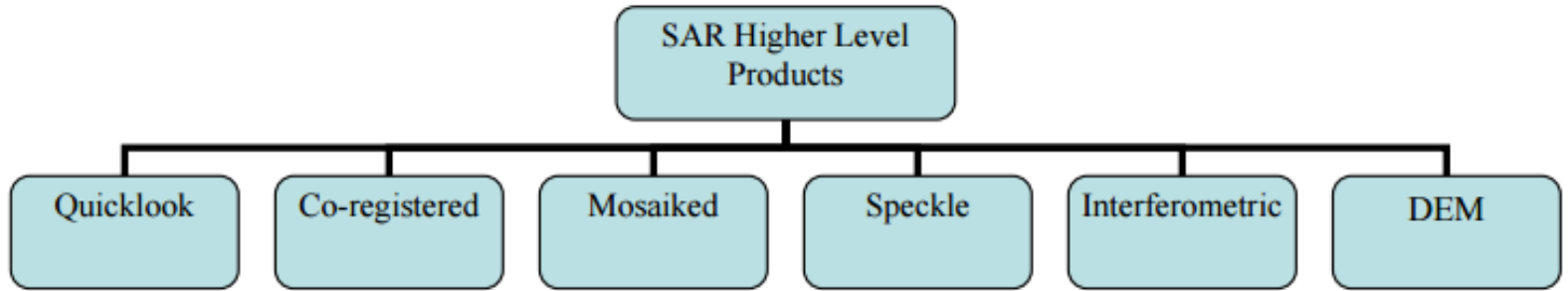
COSMO-SkyMed

Uydu	Fırlatılma zamanı
COSMO-SkyMed-1	8 Haziran 2007
COSMO-SkyMed-2	9 Aralık 2007
COSMO-SkyMed-3	25 Ekim 2008
COSMO-SkyMed-4	6 Kasım 2010



COSMO-SkyMed Görüntü formatı





- Quicklook: tarama amaçlı mekansal çözünürlüğü düşürülmüş veri
- Co-registered: üstüste kaydedilmiş veri seti (örn: interferometrik ve zamansal değişim)
- Mosaiked: daha geniş alanların izlenmesi
- Speckle filtered: radyometrik çözünürlüğü iyileştirilmiş
- Interferometric ürün: interferometrik coherence ve faz
- DEM: Sayısal yükseklik modeli (interferometric techniques)



TerraSAR-X

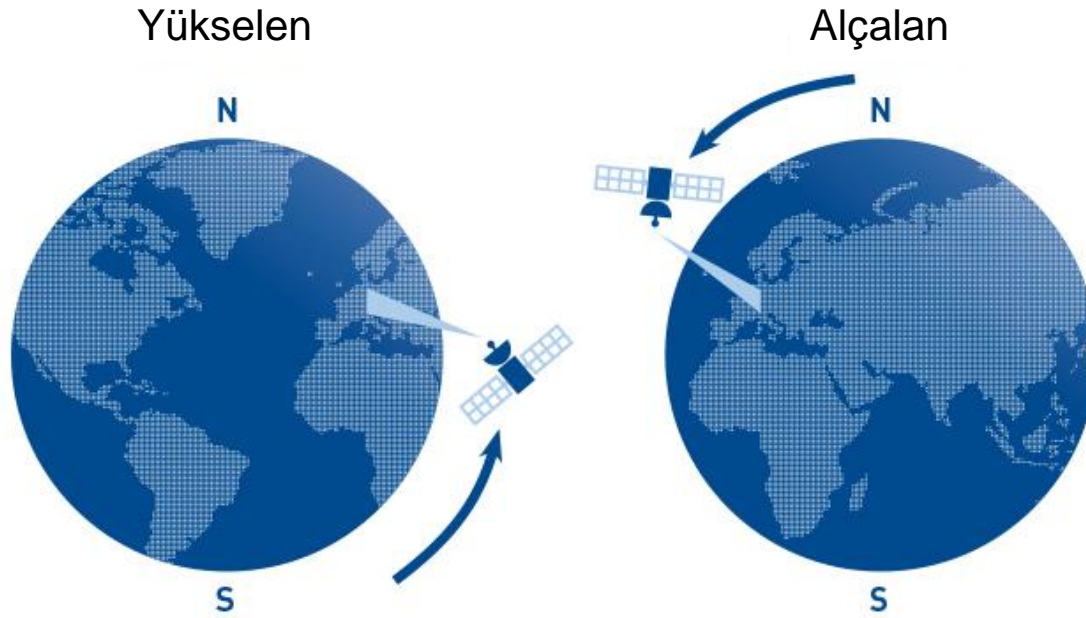




TSX ürünleri

Imaging Mode	Polarisation Mode	Minimum and Maximum Number of Pixels of an MGD Product ^f	Product Size [Mb] EEC ^g	Product Size [Mb] SSC
Staring SpotLight	Single	9.375 x 3.125 to 20.000 x 18.500	117 to 1.480	592 to 750
HS 300 MHz	Single	5.600 x 4.000 to 14.000 x 10.000	90 to 560	350 to 625
High Resolution SpotLight	Single	5.000 x 2.500 to 20.000 x 10.000	50 to 800	275
	Dual	3.333 x 1.667 to 10.000 x 5.000	33 to 300	333
SpotLight	Single	3.333 x 3.333 to 13.333 x 13.333	44 to 711	338
	Dual	2.500 x 2.500 to 10.000 x 10.000	38 to 600	342
StripMap	Single	7.500 x 12.500 to 24.000 x 40.000	375 to 3840	3300
	Dual	2.727 x 9.091 to 5.000 x 16.667	149 to 500	2667
ScanSAR	Single	12.121 x 18.182	802	5940
Wide ScanSAR	Single	12.933 to 17.733 x 13.333	690 to 946	~7500

Görüntü alım yönü



- Yükselen yörünge doğuya
- Alçalan yörünge batıya



Sentinel

- Avrupa birliđi - Avrupa Uzay Kurum (European Space Agency-ESA)
- Global Monitoring for Environment and Security (GMES) – Copernicus Program
- Halka açık ve tam erişim



Sentinel

	Sentinel-1 SAR (2014) Çift uydudan oluşur, gece-gündüz görüntü alımı
	Sentinel 2 – Multispectral (2015) Çift uydudan oluşur, yer yüzünün izlenmesi: Bitki, toprak ve kıyı alanları
	Sentinel 3 – Okyanus gözlemleri (2016) Deniz yüzeyinin topografyası, seniz ve yeryüzü sıcaklık analizi, altimetri
	Sentinel 4 – Atmosferik gözlemler Yüksek zamansal ve mekansal çözünürlük, Avrupa
	Sentinel 5 – Atmosferik gözlemler Geniş alanların izlenmesi
	Sentinel 6 – Radar altimetri Küresel deniz-yüzey yüksekliği, oşinografi ve iklim



Sentinel-1 ürünleri

- **Level-0** Ham veri (Raw data)
- **Level-1** Single Look Complex
- **Level-1** Ground Range Detected (GRD)
 - ▣ Full Resolution (FR)
 - ▣ High Resolution (HR)
 - ▣ Medium Resolution (MR).
- **Level-2** Ocean Swell spectra (OSW)



Sentinel-1 verilerinin çözünürlükleri

Level-1 SLC

Mode	Resolution rg x az	Pixel spacing rg x az	Number of looks	ENL
SM	1.7x4.3 m to 3.6x4.9 m	1.5x3.6 m to 3.1x4.1 m	1x1	1
IW	2.7x22 m to 3.5x22 m	2.3x17.4 m	1x1	1
EW	7.9x43 m to 15x43 m	5.9x34.7 m	1x1	1
WV	2.0x4.8 m and 3.1x4.8 m	1.7x4.1 m and 2.7x4.1 m	1x1	1

Level-1 GRD

Mode	Resolution rg x az	Pixel spacing rg x az	Number of looks	ENL
SM	9x9 m	4x4 m	2x2	3.9

Table 1: Full resolution Level-1 GRD

Mode	Resolution rg x az	Pixel spacing rg x az	Number of looks	ENL
SM	23x23 m	10x10 m	6x6	34.4
IW	20x22 m	10x10 m	5x1	4.9
EW	50x50 m	25x25 m	3x1	2.9

Table 2: High resolution Level-1 GRD

Mode	Resolution rg x az	Pixel spacing rg x az	Number of looks	ENL
SM	84x84 m	40x40 m	22x22	350-398
IW	88x87 m	40x40 m	22x5	105.7
EW	93x87 m	40x40 m	6x2	12.7
WV	52x51 m	25x25 m	13x13	123.7

Table 3: Medium resolution Level-1 GRD

ENL → effective number of looks

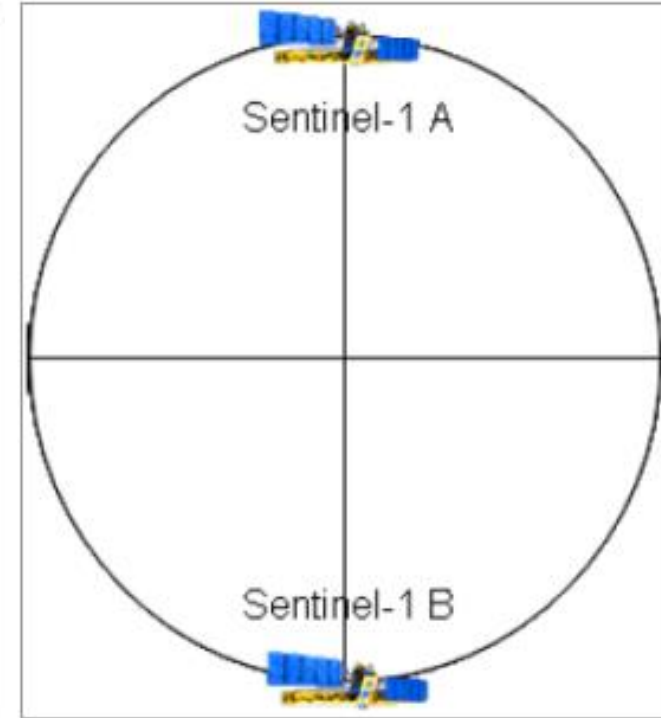
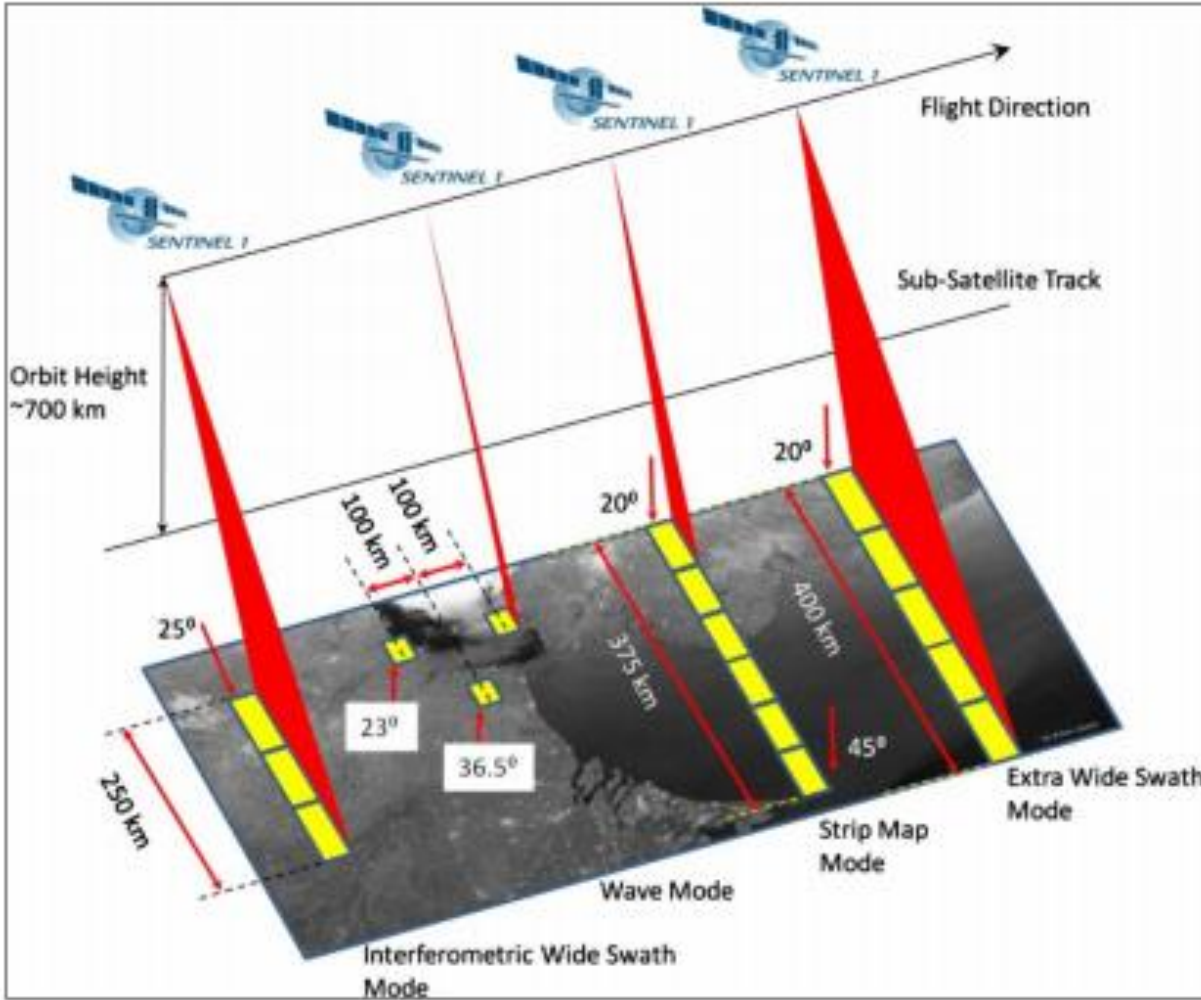


Sentinel-1



- İki takım uydudan oluşur (1A ve 1B)
- Sentinel 1A – 03 Nisan 2014
- Sentinel 1B – 25 Nisan 2016
- C-band radar

Mode	Incidence Angle	Resolution	Swath Width	Polarization (H = Horizontal V = Vertical)
Stripmap	20 - 45	5 x 5 m	80 km	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Interferometric Wide swath	29 - 46	5 x 20 m	250 km	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Extra Wide swath	19 - 47	20 x 40 m	400 km	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Wave	22 - 35 35 - 38	5 x 5 m	20 x 20 km	HH, VV



- Tek uydunun tekrar geçişi 12 gün
- İki uydu ile 6 gün
- Ekvatorda 3 gün

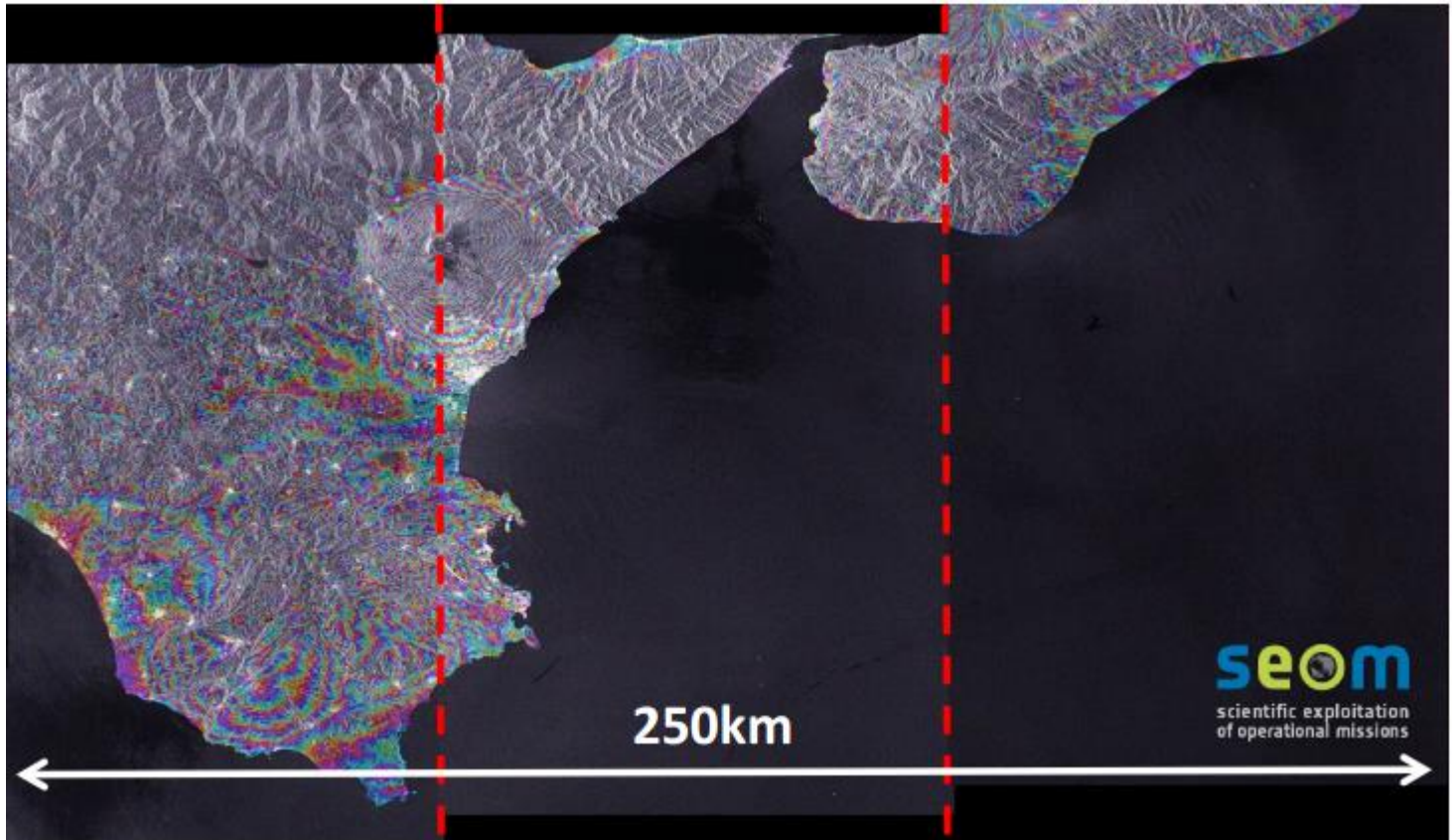
Alçalan Sentinel-1 görüntüsü



Yükselen Sentinel-1 görüntüsü



- The Sentinel-1 standart mod
- Interferometric Wide Swath: IWS/TOPS
- (Terrain Observation with Progressive Scans)





SAR Uygulamaları



Kıyı analizi



Çökmeler



Orman



Tarım



İklim deęiřimi



Doğal afet




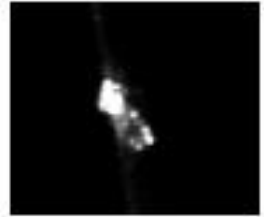

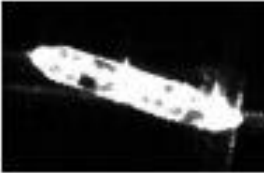


Megakentler



Kaynak

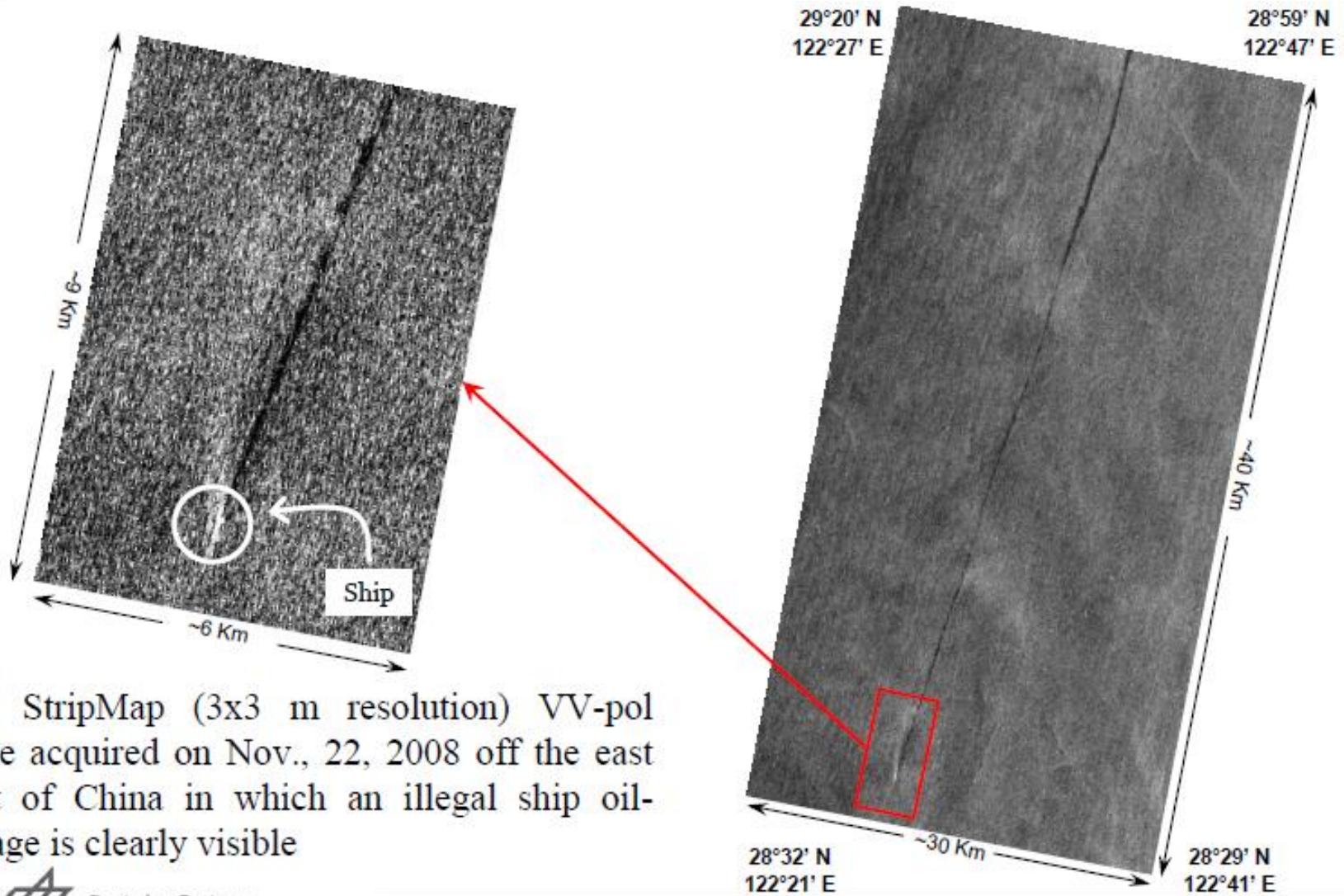
Otomatik gemi yakalama ve izleme

Ship type	Optical image of ships	SAR images of ships
Cargo		
Small ships		
Tanker		

- 17-19 Haziran 2013 Malta
- 5 COSMO-SkyMed SAR
- 2.2m x 2.2m
- 111 gemi
- %85 doğruluk

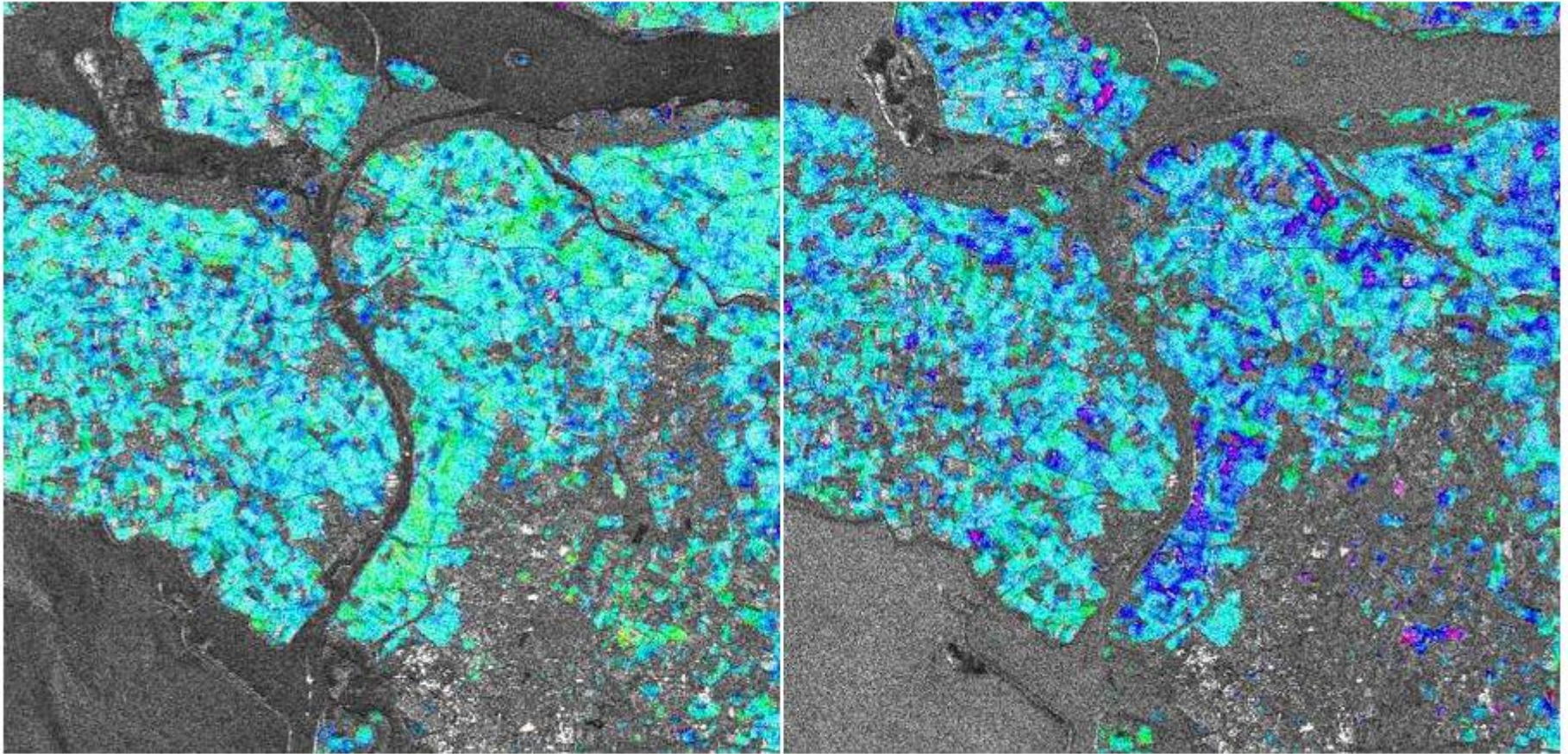
- Makedonas vd. 2015

Gemi atık petrol izleme

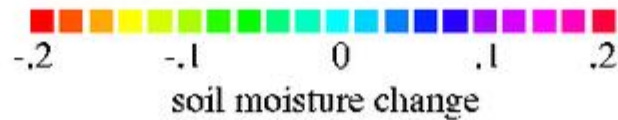


TSX StripMap (3x3 m resolution) VV-pol image acquired on Nov., 22, 2008 off the east coast of China in which an illegal ship oil-spillage is clearly visible

Tarım- Toprak nem deęiřimi



11 Şubat 1994-ERS



14 Şubat 1994-ERS



Çok zamanlı SAR

TDX EEC SE Ascending orbit, 42 degrees incidence angle. HH polarisation; 0.38 az x 0.88 rg m

- **R: 2013-07-20** **G: 2013-07-31** **B: 2013-08-11**
- Harwell/Oxford BIC UK





Orman Endonezya



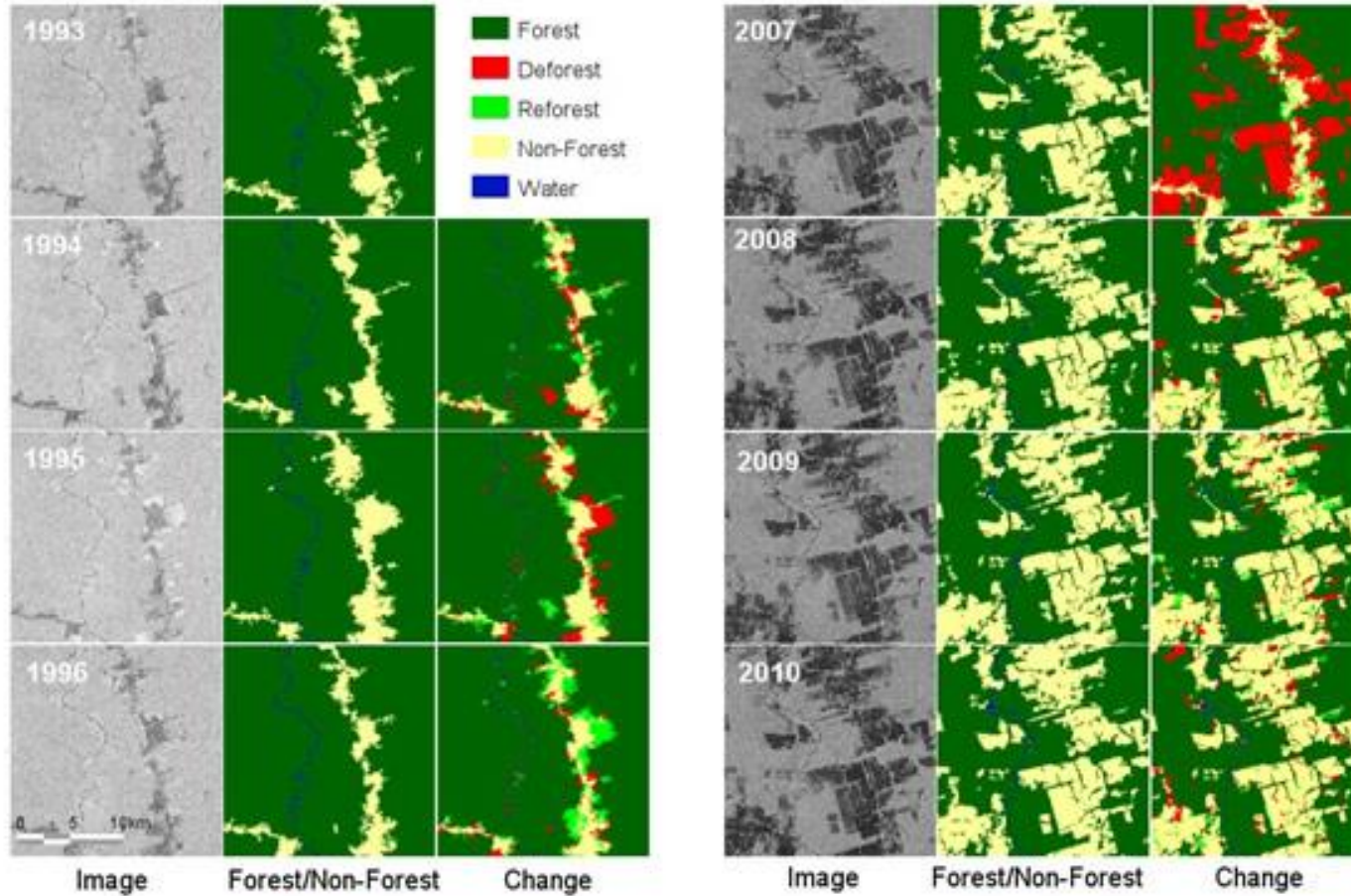
PALSAR

Orman

AVNIR2 (optik)



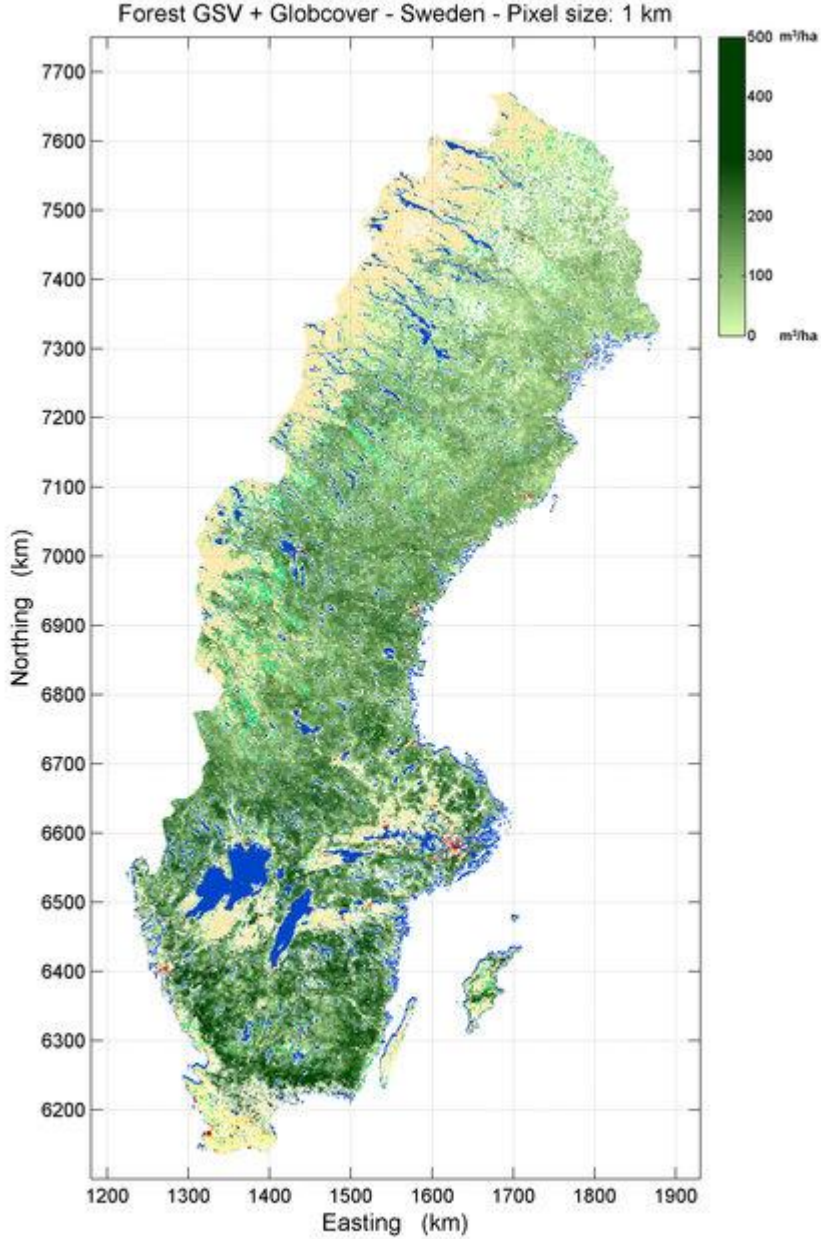
Orman- Amazon



(C)JAXA, METI analyzed by JAXA

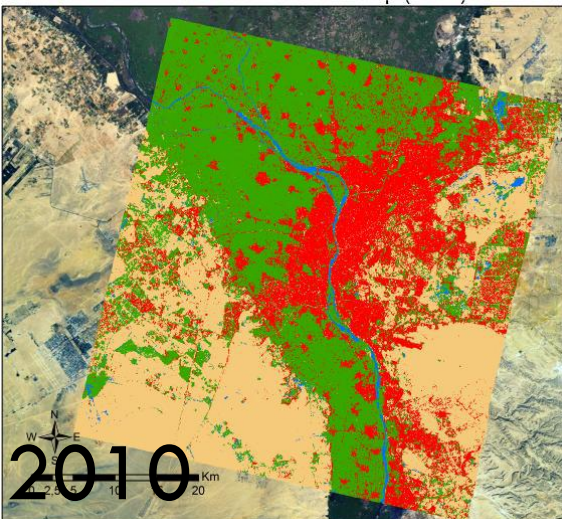
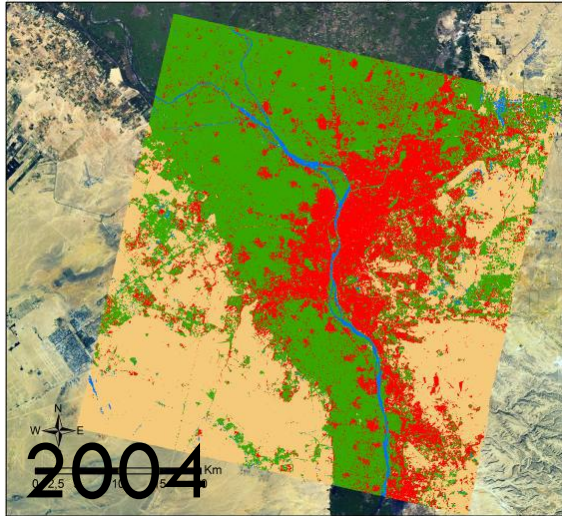
http://global.jaxa.jp/press/2010/10/20101021_daichi_e.html

Orman-İsveç

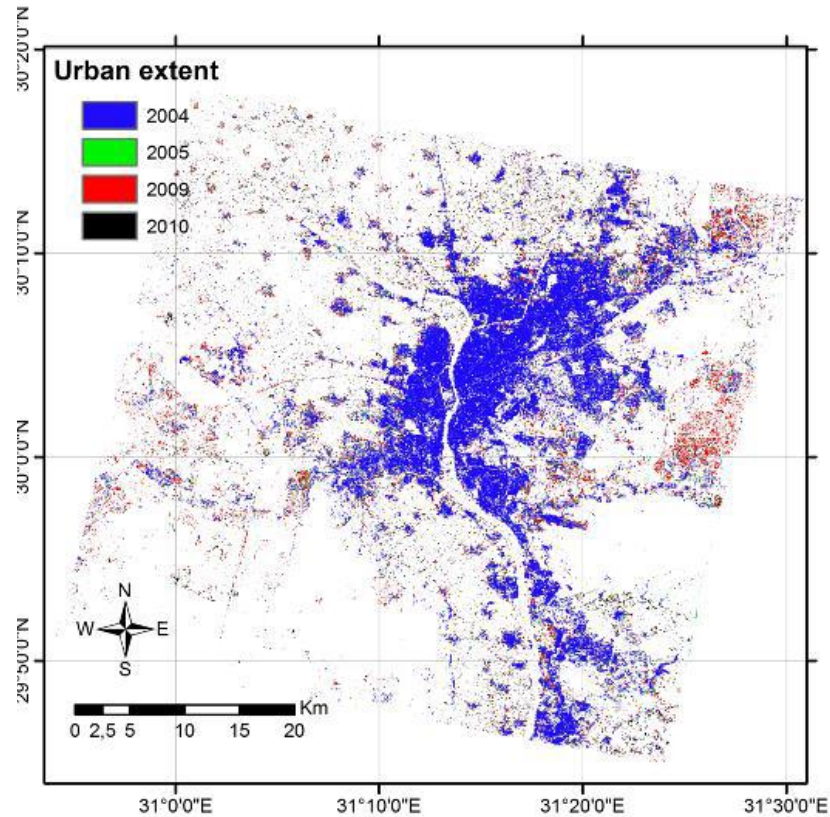


- Orman kütle hesabı
- 2005-2006 Envisat
- 0–500 m³/hectar
- Envanter çalışmaları

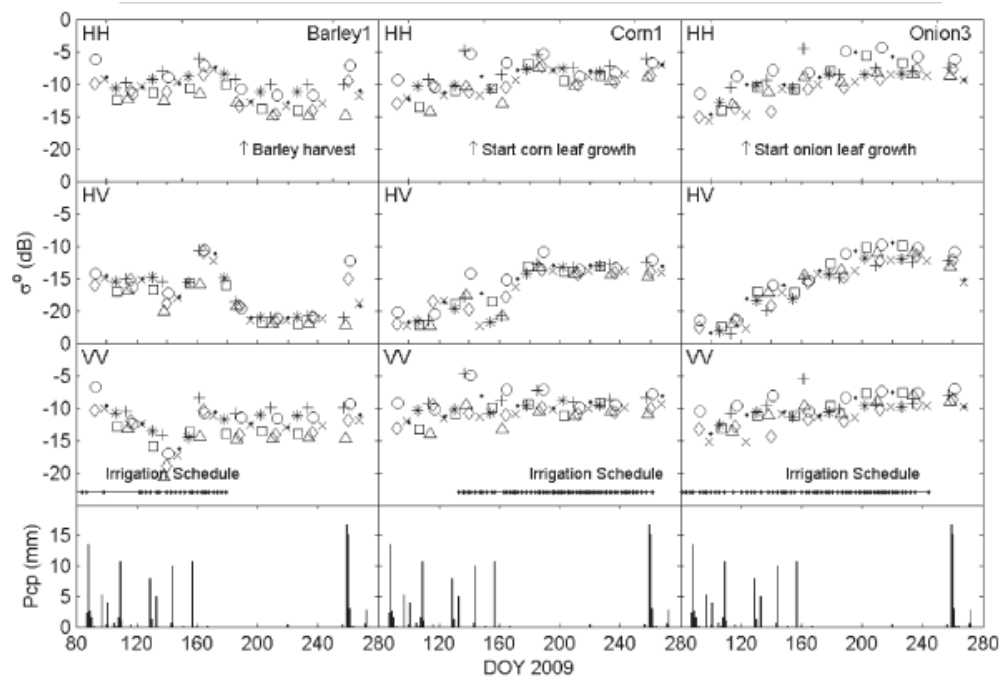
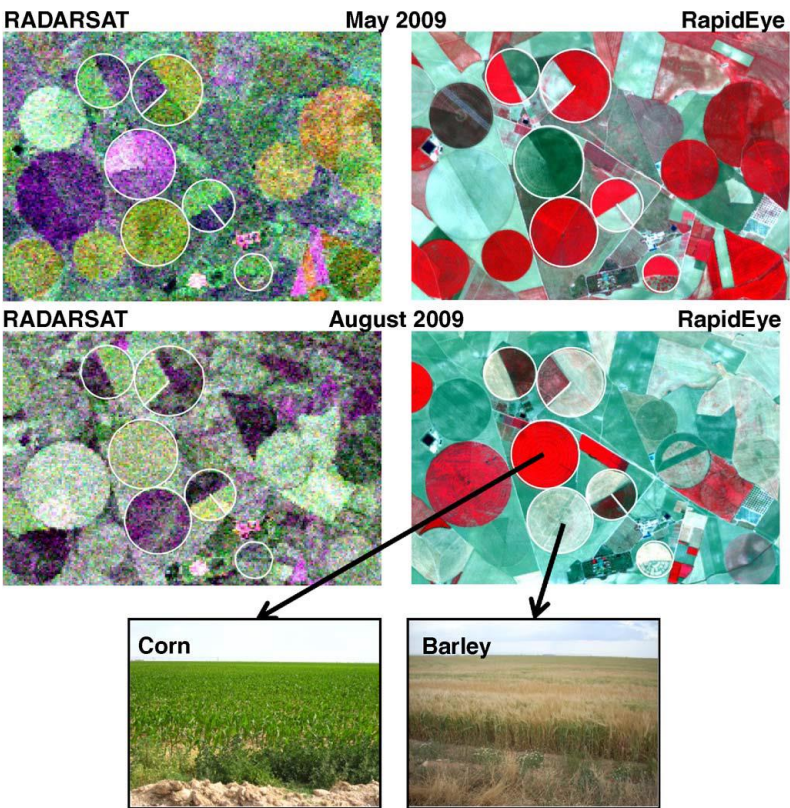
Şehir alanlarının büyümesi



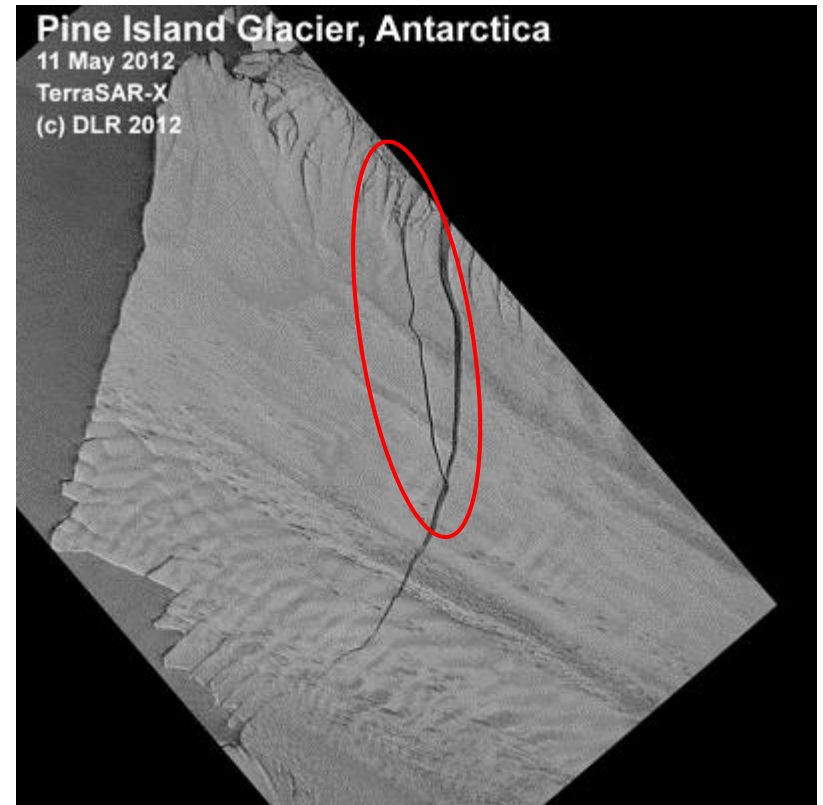
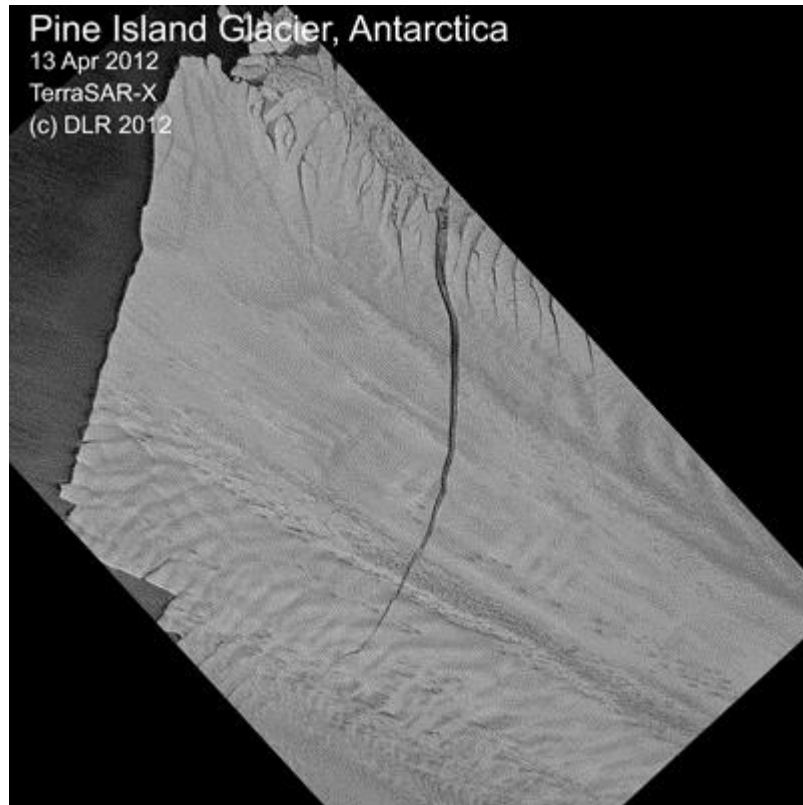
□ 78.75%



• Envisat 2004-2010



Buzul hareketleri





Sel anında



Sel alanlarının tespit edilmesi

