

## UZAKTAN ALGILAMA

# 4

### Amaçlarımız

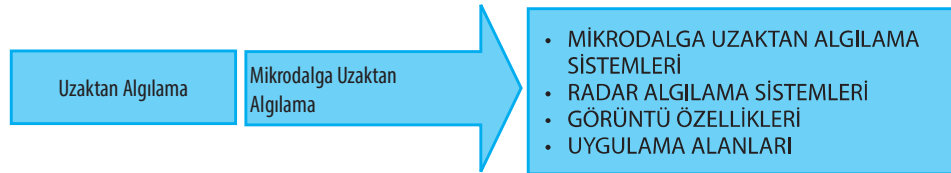
Bu üniteyi tamamladıktan sonra;

- Uzaktan algılamanın prensipleri kapsamında mikrodalga sistemlerinin tanımını yapabilecek ve radar sistemlerini oluşturan temel kavramları açıklayabilecek;
- Mekansal algı konusunda beceriler kazanarak görüntüleme radarları ile elde edilen görüntülerin özelliklerini açıklayabilecek;
- Araştırma becerilerinizi radar sistemlerinin bilimsel ve günlük yaşamdaki kullanım alanlarını örneklendirebilecek şekilde geliştireceksiniz.

### Anahtar Kavramlar

- Radar
- Menzil
- SAR
- Faz
- Genlik
- Anten açıklığı
- Polarizasyon
- Doppler etkisi
- Gölge
- Yana yatma
- Yakın alan kısalması

### İçindekiler



# Mikrodalga Uzaktan Algılama

## MİKRODALGA UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ

Mikrodalga uzaktan algılama sistemleri adından da anlaşılacağı gibi elektromanyetik spektrumun görünür dalga boyundaki dalgalar yerine mikrodalga frekans bandında yer alan dalgalar ile çalışan sistemlerdir. Günlük hayatta farklı amaçlara yönelik birçok mikrodalga uzaktan algılama sistemi kullanılmaktadır; örn. tıbbi amaçlara yönelik kullanılan manyetik rezonans görüntüleme (MR), polis hız radarı, ev ve arabalara anahtarsız giriş sağlayan radyo frekans tanımlama sistemleri, vb. Bu kitap, uzaktan algılama (veya yeryüzünü gözleme) amaçlı kullanılan sistemlere yönelik hazırlandığından, bu ünite mikrodalga uzaktan algılama sistemleri, sistem ve hedef parametreleri ile uygulama alanları detaylı açıklanacaktır.

Mikrodalga uzaktan algılama sistemleri çalışma prensiplerine göre aktif ve pasif mikrodalga algılama sistemleri olarak 2 ana gruba ayrılmaktadır. Aktif sistemler kendi yaydıkları enerji ile algılama yapan sistemler, pasif sistemler ise farklı kaynaklardan (örn. FM radyo yayınları, telsiz iletişim sinyalleri, vb.) ya da yeryüzünden doğal olarak yayımlanan mikrodalga enerjisini algılayan sistemlerdir. Aktif algılayıcı sistemlere örnek olarak radar sistemleri, pasif algılayıcı sistemlerine örnek olarak pasif mikrodalga radyometresi verilebilir.

1. Ünite Planck denklemi ve Stefan-Boltzman kanunu ile açıklandığı üzere her cisim mutlak sıcaklığına bağlı olarak mikrodalga enerji yaymaktadır. Ancak kuantum teorisi ile açıklandığı gibi enerji, frekansla doğru ve dalga boyu ile ters orantılı olduğundan artan dalga boyuyla enerjide bir azalma gözlenmektedir. Diğer bir ifade ile mikrodalga bölgesinde yayılan enerji çok düşük olduğundan kullanılan pasif algılayıcı sistemlerden elde edilen mekânsal çözünürlük oldukça düşüktür, bu ise pasif mikrodalga uygulamalarını sınırlı kılmaktadır. Bu yüzden bu ünite daha çok aktif mikrodalga algılayıcı sistemleri veya kısaca "Radar" olarak bilinen aktif mikrodalga sistemleri ile uygulama alanları açıklanacaktır. Radar sistemleri görüntü veren ve görüntü vermeyen olmak üzere 2 ana gruba ayrılmaktadır. Görüntü veren radar sistemleri adından da anlaşılacağı gibi çıktı olarak bir görüntü üretirken (örn. ENVISAT uydu radar sistemi), görüntü üretmeyen radar sistemleri (örn. altimetre) ile hedefe ait hız ya da uzaklık bilgisi elde edilir.

**Trafik kontrol amacıyla polislerin kullandıkları radar sistemleri ne tür bir radar sistemidir?**



1

SIRA SİZDE

## DİKKAT



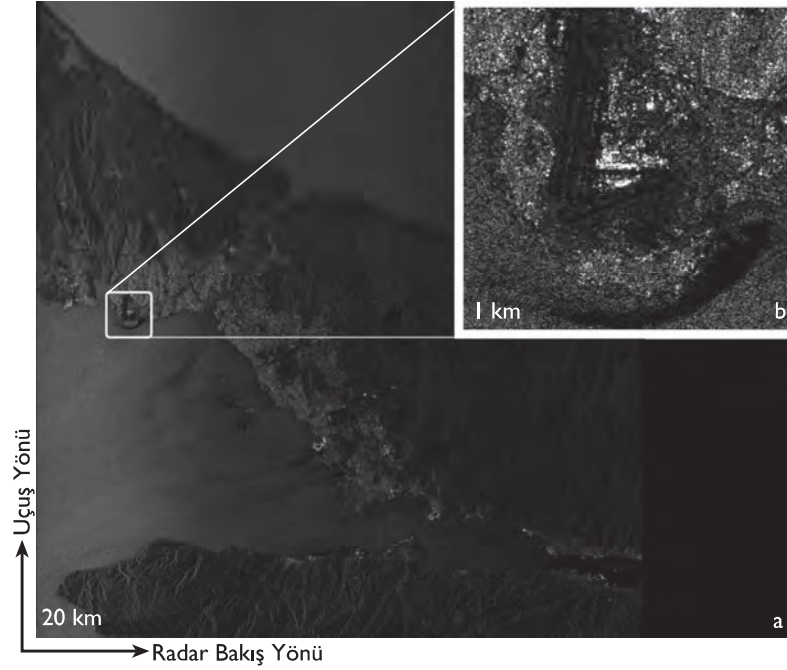
Radar algılama sistemlerine ait detaylı bilgi, bu ünite de “Radar Algılama Sistemleri” bölümünde verilmektedir.

Radar görüntüleme sistemlerinde kullanılan mikrodalga enerji, sistem tarafından gönderildiğinden Güneş ışığına gerek duyulmadan algılama yapılır. Diğer yandan mikrodalga ışınımı, buluta nüfuz edebildiğinden radar görüntüleme sistemleri ile gece veya gündüz, hemen hemen (küçük mikrodalga boylarında çok kuvvetli yağış durumu dışında) her türlü hava koşullarından bağımsız görüntü elde etmek mümkündür. Bu özelliği nedeniyle radar görüntüleme sistemleri özellikle bulut yoğunluğu fazla olan bölgelerde ve istenilen zamanda görüntü alınabilmesi nedeniyle birçok bilimsel araştırma ve uygulama çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Resim 4.1’de Avrupa Uzay Ajansı’nın ENVISAT uydusu ile İstanbul’un 19 Ağustos 2009 tarihinde lokal saat ile akşam 21:47’de alınan radar uydu görüntüsü verilmektedir. Resim 4.1(a)’da yer alan görüntüde bulutlar gözlenmediği gibi, görüntü gün batımından sonra elde edilmiştir. Resim 4.1(b)’de gösterilen İstanbul, Atatürk havaalanının radar görüntüsünde optik bölgeden farklı geri yansıtım karakteristikleri belirgin olarak göze çarpmaktadır.

Resim 4.1

19 Ağustos 2009 tarihli ENVISAT SAR uydu görüntüsü.  
(a) İstanbul  
(b) Atatürk havaalanı.



## SIRA SİZDE



2

Dünyamızda özellikle radar görüntüleme sistemlerinin optik sistemlere nazaran daha sıklıkla kullanılabildiği bölgelere bir örnek veriniz.

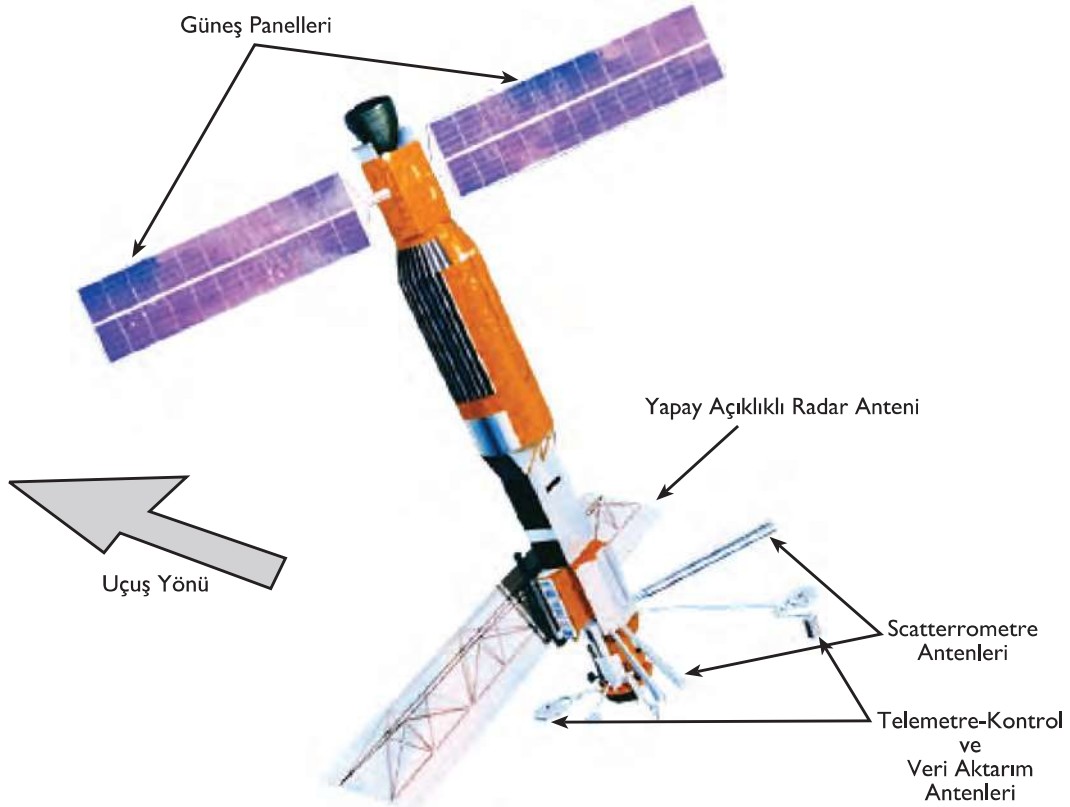
## Tarihçe

İkinci Dünya Savaşı süresince radar teknolojisinde kaydedilen gelişmeler, günümüzde mikrodalga uydu gözleme sistemlerinde gözlenen teknolojik ilerlemelerin ana kaynağıdır. Bilinen ilk radar gözlem uydusu, Aralık 1964 yılında uzaya fırlatılan Amerikan QUILL askeri uydusudur. İlk sivil mikrodalga gözlem uydusu ise NASA tarafından 28 Haziran 1978'de fırlatılan SEASAT SAR (Synthetic Aperture Radar - Yapay Açıklıklı Radar) uydusudur. 1978'den günümüze dek birçok askeri ve sivil amaçlı mikrodalga gözlem uyduları uzaya gönderilmiştir.

Şekil 4.1'de SEASAT uydusu üzerinde bulunan radar sisteminin ana elemanları gösterilmektedir. Yapay Açıklıklı Radar anteni yer yüzeyine paralel olarak udu yörüngesi üzerinde hareket eder. Güneş panelleri elektronik sistemler için gerekli enerjiyi sağlarken, antenler aracılığı ile radar ölçümleri ve veri iletimi yapılmaktadır.

Şekil 4.1

SEASAT uydusu ve üzerinde bulunan bazı temel yapısal sistem elemanları.



Radar sistemlerinde yer alan verici anten, fotoğraf makinesinde bulunan hangi parça ile benzer işlevi görmektedir?



SIRA SİZDE

Günümüzde yaygın kullanılan SAR sistemleri ve temel özelliklerine ait bilgi, 5. Ünite'de "Yaygın Kullanılan Uydu Sistemleri" bölümünde geniş bir şekilde verilmiştir.



DİKKAT

## RADAR ALGILAMA SİSTEMLERİ

Günümüzde uzaktan algılama amacıyla kullanılan dört temel mikrodalga algılama sistemi bulunmaktadır. Bunlar altimetre, radyometre, saçılım ölçer ve yapay açıklıklı radar sistemleridir.

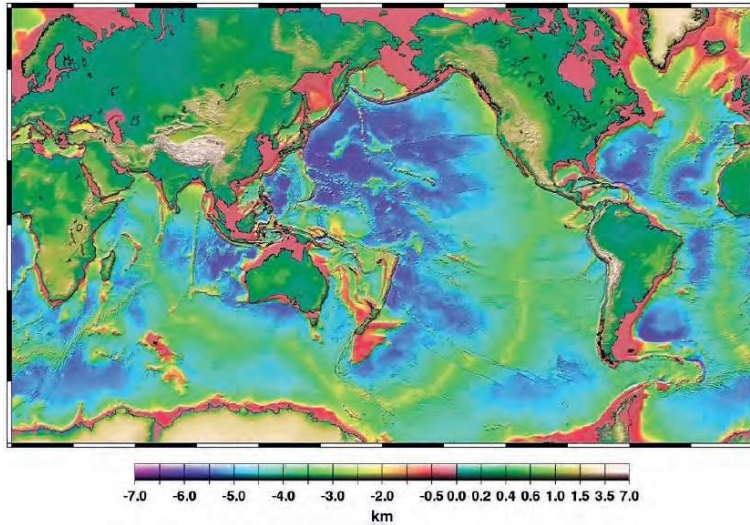
### Altimetre (Altimeter)

Mikrodalga altimetre sistemleri, uzaktan algılama platformu ile yer yüzeyi arasındaki uzaklığı ölçmek amacıyla kullanılırlar. Görüntü vermeyen bu radar algılama sisteminde uzaklık ölçümü, nadir (yeryüzüne dik) doğrultuda vericiden gönderilen sinyalin (mikrodalga enerjisinin) alıcıya geri dönmesi için geçen süre belirlenerek yapılmaktadır. Platform yüksekliği yanı sıra okyanus yüzeyine ait baskın dalga yüksekliği, dalga sıklığı, vb. bilgiler de elde edilebilmektedir.

2. Ünite de belirtildiği gibi Dünya etrafında dönen uyduların yörüngeleri zıt yönlü yerçekimi ve merkezkaç kuvveti ile dengelenir. Ancak, yer yüzeyindeki yükselti farklılıkları yerçekiminin her konumda aynı olmamasına yol açmaktadır. Örneğin uzaktan algılama uydusunun dağlık bir bölgeden geçerken etkilendiği yerçekimi kuvveti, deniz seviyesindeki düz bir alan üzerinden geçerken etkilendiği yerçekimi kuvvetine göre daha büyüktür. Bu bilgiden yararlanılarak altimetre ölçümleri ile yer yüzeyinin su ile kaplı bölgelerinin batimetre haritası çıkarılmaktadır. Resim 4.2'de altimetre verisi ile elde edilen batimetre ve ETOPO5 yükseklik haritası gösterilmektedir.

Resim 4.2

Altimetre verisi ile elde edilen batimetre ve ETOPO5 yükseklik haritası. (, Smith ve Sandwell, 1997)



### Radyometre (Radyometer)

Mikrodalga radyometre sistemleri pasif görüntüleme radarları olup 1-1000 GHz bandı arasında çalışırlar. 1. Ünite'de anlatıldığı üzere mutlak sıfır (-273°C) sıcaklığın üzerindeki her cisim sıcaklığı ile orantılı şekilde mikrodalga ışıması yapmaktadır. Mikrodalga ışıma değeri, dalga boyuna, cismin sıcaklığına ve yayım parametresine bağlıdır:

$$E_M = \frac{2\sigma\epsilon T}{\lambda^2} \quad (4.1)$$

burada,

- $E_M$  = mikrodalga ışıma,  
 $\sigma$  = Boltzmann sabiti ( $1.380 \times 10^{-23}$ ),  
 $\lambda$  = dalga boyu,  
 $\epsilon$  = yayım,  
 $T$  = mutlak sıcaklıktır.

Mikrodalga radyometre sistemleri belirli dalga boyu aralığındaki ışıma değerlerini kaydeden görüntüleme cihazlarıdır. Kaydedilen bu ışıma değerleri daha sonra nem, yağış ve hatta rüzgâr şiddeti, vb. atmosferik gözlemlere bazı bilimsel eşitlikler yardımıyla dönüştürülebilir. Örneğin, okyanus yüzeylerinin yayım değeri 0.4 ve yağmur damlalarının yayım değeri 0.9 olduğu için aynı sıcaklıkta mikrodalga ışıma değerleri birbirlerinden çok farklı olacaktır, bu ise düşük mikrodalga ışımaya sahip okyanus yüzeylerindeki yağışın gözlenebilmesini sağlamaktadır.

Radyometrik sistemlere örnek olarak Tropik Yağış Ölçüm uydusu (Tropical Rainfall Measurement Mission, TRMM) üzerinde yer alan TRMM Mikrodalga Radarı (TRMM Microwave Imager, TMI) verilebilir. TMI 10.7, 19.4, 21.3, 37 ve 85.5 GHz frekanslarında ölçüm yapabilmektedir. Resim 4.3'te 1 Mayıs 2011 tarihinde TMI ile elde edilen mikrodalga ışımaya ait yanlış renkli görüntüsü verilmektedir. Bu görüntüde okyanus yüzeyleri mavi renk ile gözükürken, okyanus yüzeyleri üzerindeki yağış parlak sarı renkte gözükmektedir.



**Resim 4.3**

1 Mayıs 2011 tarihli TRMM-TMI yanlış renkli uydu görüntüsü (, NASA).

### Saçılım Ölçer (Scatterometer)

Saçılım ölçer aktif bir mikrodalga algılama sistemidir ve yeryüzünün birim alanındaki mikrodalga saçılım katsayısını ölçer. Saçılma katsayısı ( $s_0$ ) noktasal hedefler için yansıtıcı yüzey alanı ile ilişkili olduğundan yansıtma yüzey alanı (radar cross section) olarak da tanımlanır.

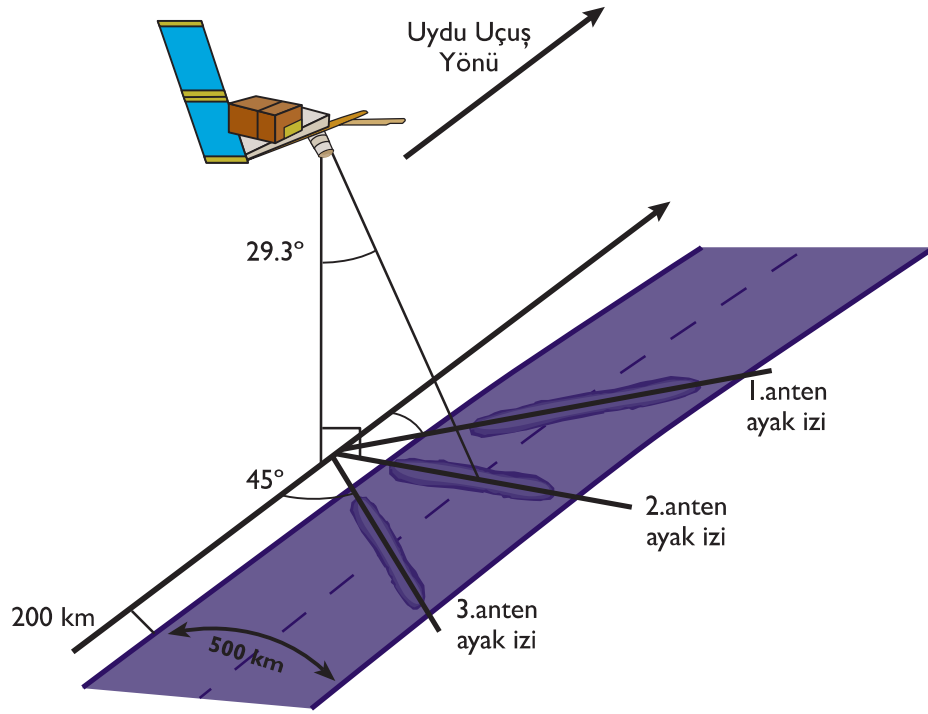
Mikrodalga saçılım değerleri kullanılarak deniz yüzeyi üzerindeki rüzgâr yönü ve hızı hakkında bilgi edinilebilir. Bu amaçla rüzgârın etkisi ile su yüzeyinde oluşan küçük dalgaların saçılım değerleri farklı yönlerde kısa gözlem aralıkları ile toplanır. Farklı açılarda alınan ölçümler sayesinde rüzgârın hangi yönde estiği belirlenebilir. Avrupa Uzay Ajansı'nın ERS uydusu üzerinde yer alan saçılım ölçerinin görüntüleme geometrisi Şekil 4.2'de verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi aynı alanı tarayan ve aralarında  $45^\circ$  lik bir açı bulunan 3 ayrı anten izi ile ölçüm yapılmaktadır.

Rüzgârın hızı arttıkça yüzey dalgallılığı artar ve bununla doğru orantılı olarak da saçılım değeri artar. Saçılım ölçer sistemler bitki örtüsü, toprak nemliliği ya da buzulların izlenmesine yönelik olarak da kullanılmasına rağmen tasarım amacı deniz yüzeyi üzerindeki rüzgâr tahminidir. Bu nedenle mekânsal çözünürlükleri genellikle düşük (yaklaşık olarak 10 ile 50 km) olmaktadır. Rüzgâr hızı 3 - 30 m/sn arasında yaklaşık  $\pm 2-3$  m/sn hata payı ile gözlenebilirken, rüzgâr yönü yaklaşık  $\pm 20^\circ$  lik bir hata payı ile ölçülebilmektedir.

Anten izi, anten tarafından gönderilen mikrodalga enerjinin yerde aydınlatıldığı alandır.

Şekil 4.2

ERS uydusu üzerinde bulunan Rüzgâr Saçılım ölçer (Wind Scatterometer) gözlem geometrisi. („ ESA)



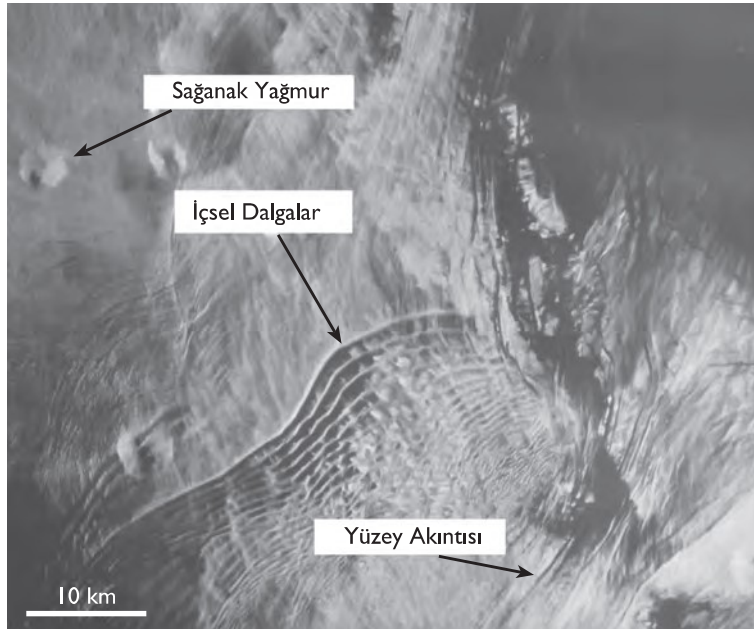
### Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar - SAR)

En yaygın olarak kullanılan ve genelde SAR olarak bilinen Yapay Açıklıklı Radar sistemleri geliştirilmeden önce antenin gerçek açıklığı kullanılarak görüntüleme yapan Gerçek Açıklıklı (Real Aperture) veya Yan Bakışlı Radar (Side-Looking Radar) sistemleri olarak bilinen radar görüntüleme sistemleri kullanılmaktaydı. Ancak bu sistemde uçuş yönündeki mekânsal çözünürlük anten açıklığı ile ters orantılı olduğundan diğer bir ifade ile yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntü alınamadığından yapay olarak radar anten açıklığının bir takım sayısal işlemler ile artırılması sağlanmıştır. 1950'den bu yana kullanılan bu sistemde radar anteni önce istenilen anten açıklığı boyunca hareket ettirilerek belirli zaman aralıklarında ölçümler alınır ve daha sonra bu veriler eş zamanlı toplanarak yapay bir açıklık oluşturulur. Diğer bir ifade ile gerçek fiziksel açıklığa eş büyük bir yapay açıklık oluşturularak hava ve uzay platformlarına yerleştirilen radar sistemlerinde daha yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntü alınabilmesi mümkün olmuştur.

SAR sistemleri gelen mikrodalga işaretinin hem faz hem de genlik bilgisini ölçmektedirler. Yapay açıklıklı radar görüntülerinde genlik, hedefin (yeryüzü cisimlerinin) elektriksel özelliklerine (veya nem içeriği) ve yüzeyin pürüzlülüğüne bağlıdır. Resim 4.4'de gösterilen SEASAT uydu görüntüsünde deniz yüzeyinin genliği yüzey akıntıları ve içsel dalgalar nedeniyle değişmektedir.

Yapay açıklıklı radarlar ile elde edilen faz bilgisi radar ile hedef arasındaki uzaklık ile ilişkilidir. Bu bilgidan yola çıkarak topoğrafik ölçümlerin yanı sıra yanardağ, deprem veya maden arama çalışmaları nedeniyle yer yüzeyinde oluşan çökme ve kabarmalar görüntülenebilmektedir.

Resim 4.4



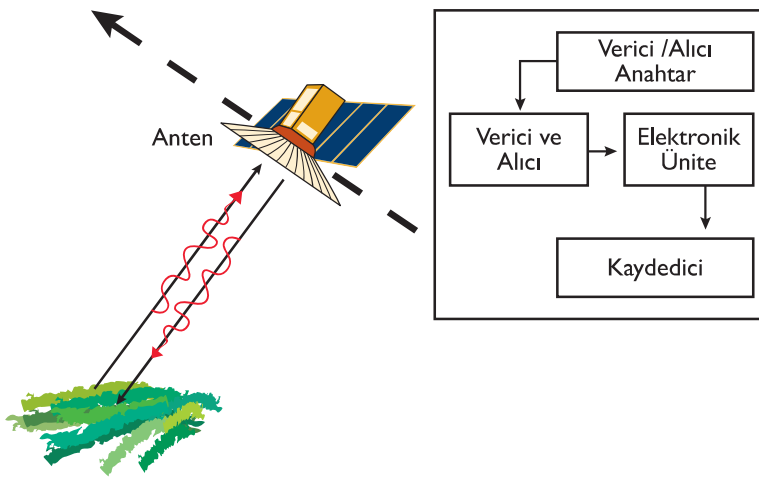
4.4 SEASAT SAR ile 26 Haziran 1978 tarihinde alınan Meksika Körfezi'nin uydu görüntüsü. Görüntü üzerinde su yüzeyi ve içsel akıntılar ile kuvvetli yağışa dayalı etkiler görülebilmektedir. (, NASA)

### Sistem Parametreleri

Radar sistemleri kullandıkları elektromanyetik dalganın darbeli ya da sürekli olmasına göre ikiye ayrılırlar. Darbeli radarlar, genellikle tek bir anten üzerinden belirli aralıklarla gönderilen kısa mikrodalga işaretin hedeften yansıdıktan sonra aynı antene geri gelmesi ile çalışırlar (Şekil 4.3). Örneğin, ENVISAT uydusundaki altimetre sistemi darbeli bir radar sistemidir. Sürekli dalga ile çalışan sistemlerde ise iki ayrı anten üzerinden işaretler sürekli olarak gönderilip alınır.

İçsel dalgalar, su altında termoklin seviyesinde oluşurlar ve genlikleri yaklaşık 100 metre'yi bulabilir. Termoklin seviyesi, deniz yüzeyinden aşağı inildikçe azalan sıcaklığın en hızlı değiştiği seviyedir.

Şekil 4.3



Darbeli radar sistemi ve temel yapısal elemanları.



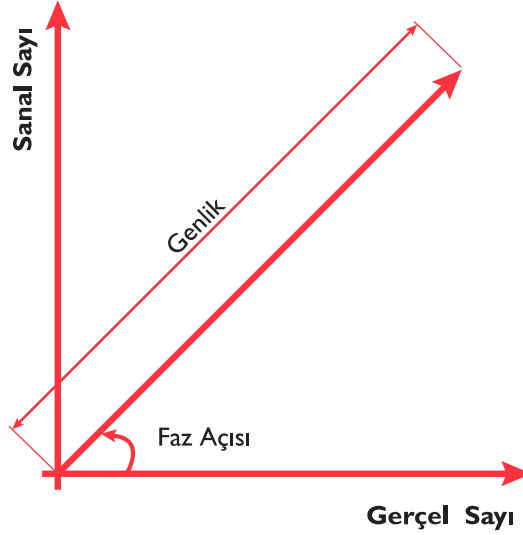
Evre uyumlu (koherent) radar sisteminde her gönderilen radar işareti (darbesi) aynı faz bilgisini taşımaktadır. Bu sayede gelen işaretin fazı gönderilen işaretin fazı ile karşılaştırılabileceği gibi ardışık alınan işaretlerin fazları da birbiri ile karşılaştırılabilir.

Şekilde görüldüğü gibi sistem, belirli bir frekansta tekrarlı dalga (darbe) gönderen **verici**, geri yansıtılan sinyali alan, filtreleyen ve güçlendiren **alıcı**, hem verici hem de alıcı tarafından kullanılan **anten** ve geri dönen sinyali kayıt eden **kaydediciden** oluşur.

Sistemin algıladığı mikrodalga radar işareti kompleks bir yapıya sahiptir. Genlik (vektörün uzunluğu) ve faz (vektörün yönü) bilgisi içeren radar işareti gerçel ve sanal kısımlardan oluşan bir vektör olarak ifade edilir. (Grafik 4.1). Faz, radar işareti iletim yolunda ilerlerken her bir dalga boyu içerisinde sıfır ila 360 derece arasında değişmektedir. Ancak faz bilgisi sadece evre uyumlu (koherent) radar sistemleri ile elde edilebilir. Evre uyumlu radarlarda gönderilen işaretin faz bilgisi sistem içerisinde saklanır ve geri gelen işaret ile karşılaştırılır. Bu sayede gönderilen işaret ile geri gelen işaret arasındaki faz farkı ölçülmüş olur. Evre uyumlu sistemler aynı zamanda hedeften dönen işaretin alıcıda yarattığı genlik değişimini de algılamaktadır.

**Grafik 4.1**

Mikrodalga radar işareti bileşenleri.



Evre uyumlu sistemler ile radara göre bağlı hızla hareket eden cisimlerden radara gelen ardışık faz işaretindeki frekans değişikliği gözlenebilir. Bu olaya **Doppler etkisi** denilir. Fazdaki bu değişim, hedef ile radar arasındaki uzaklığın sürekli değişmesine bağlı olarak ardışık mikrodalga işaretlerin farklı uzunlukta yol almasından kaynaklanır. Doppler etkisi nedeniyle hareketli bir hedeften yansıyan işaretin frekansı hedef ve alıcının hızına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikte belirtildiği şekilde değişmektedir.

$$f_{Doppler} = \frac{c - v_{radar}}{c - v_{hedef}} f_0 \quad (4.2)$$

burada;

$c$  = ışık hızı,

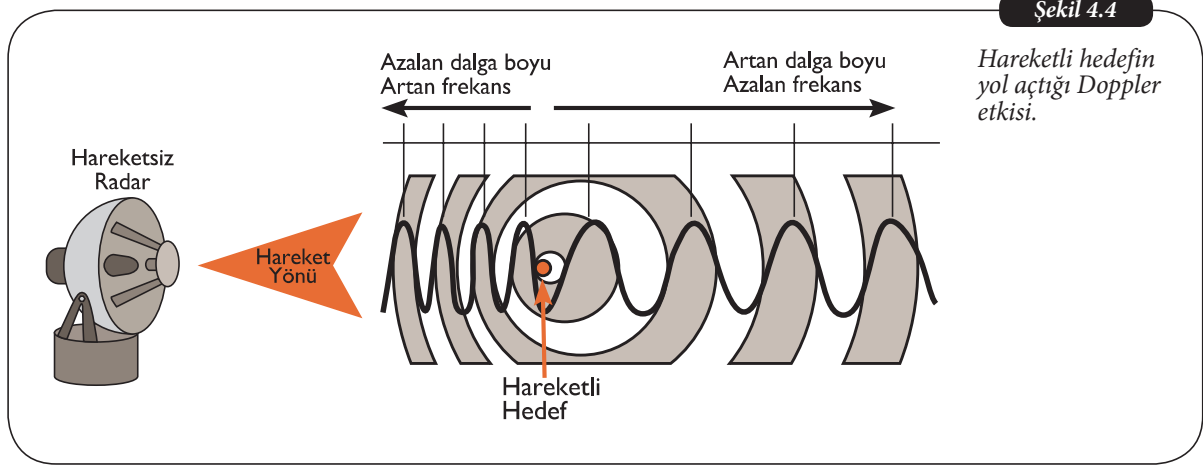
$v_{radar}$  = radarın gözlemciye göre hızı,

$v_{hedef}$  = hedefin gözlemciye göre hızı,

$f_0$  = gönderilen mikrodalga işaretin frekansı,

$f_{Doppler}$  = Doppler etkisinin yol açtığı frekans kaymasıdır.

Doppler etkisinin sabit bir radar ( $v_{Radar}=0 \text{ m/s}$ ) ve hareketli bir hedef için grafik gösterimi Şekil 4.4'te verilmektedir.



Diğer optik sistemlerden farklı olarak yeryüzünü eğik olarak algılayan mikrodalga uzaktan algılama sistemleri kullanıldıkları amaçlara göre değiştirilebilen birçok temel parametreye sahiptir. Radar sistemlerinde temel sistem parametrelerinden biri kullanılan dalga boyudur. Günümüzde kullanılan birçok mikrodalga uydu sisteminde 30cm ile 3mm arasındaki dalga boyları kullanılmaktadır. Dalga boyu ile frekans birbirleri ile ters orantılı olup birbirlerinin yerine de kullanılırlar. Günümüzde mevcut mikrodalga sistemlerinde sık kullanılan dalga boyları, karşılık gelen frekanslar ve IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) radar bant adları Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Dalga boyu, frekans ve ışık hızı arasındaki ilişki 1.Ünite'de "Elektromanyetik Enerji" bölümünde verilmiştir.**



**DİKKAT**

Dalga Boyu (cm)	Frekans (GHz)	IEEE Radar Bandı
0.40-0.27	75-110	W
0.75-0.40	40-75	V
1.11-0.75	27-40	Ka
1.67-1.11	18-27	K
2.50-1.67	12-18	Ku
3.75-2.50	8-12	X
7.5-3.75	4-8	C
15-7.5	2-4	S
30-15	1-2	L
100-30	0.3-1	P

**Tablo 4.1**  
Dalga boyu, frekans ve frekans bantları.

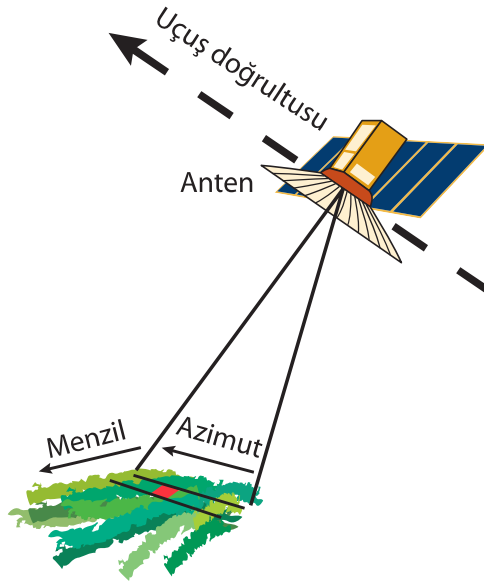
Radar dalga boyunun ayırt edilmesi istenen yüzey cisimlerinin boyutuna yakın olması gerekir. Diğer bir deyişle farklı uygulamalarda kullanılacak radar uydu verisi seçiminde ilgilenilen cisme yakınsayacak dalga boyunun dikkate alınması gerekir. Örneğin,

- Kısa dalga boyları ( $\lambda = 0.5 - 1 \text{ cm}$ ), çok küçük cisimler; örn. yağmur damlalarının algılanması
- Orta dalga boyları ( $\lambda = 2 - 6 \text{ cm}$ ), küçük cisimler; örn. bitki örtüsü yapraklarının algılanması
- Uzun dalga boyları ( $\lambda = 10 - 30 \text{ cm}$ ), büyük cisimler, örn. jeolojik yüzeylerin / ağaç gövde ve dallarının algılanması

Diğer bir sistem parametresi ise radar sisteminin azimut (uçuş doğrultusu) ve menzil (uçuş doğrultusuna dik doğrultu) yönündeki mekânsal çözünürlüğüdür (Şekil 4.5).

Şekil 4.5

SAR sisteminde menzil ve azimut yönündeki çözünürlük elemanı.



Darbe radarlarında darbe tekrar sıklığını belirleyen faktörlerden biri olan menzil, radar anteni ile hedef yansıtıcı merkezi arasındaki eğik uzaklıktır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$\text{Eğik uzaklık} = c \cdot T / 2 \quad (4.3)$$

burada;

$c$  = ışık hızı,

$T$  = radar dalgasının hedefe gidip gelme süresidir.

SIRA SİZDE



4

**Ay ile Dünya arasındaki uzaklık Ay'ın Dünya'ya en yaklaştığı sırada yaklaşık 360,000 km'dir. Bu esnada Dünya'dan Ay'a gönderilen bir mikrodalga işaret kaç saniye sonra alıcıya geri döner? (Işık hızı=3x10<sup>8</sup> m/sn)**

Menzil yönündeki çözünürlük elemanı, gönderilen darbenin uzunluğuna bağlıdır ve aşağıda verilen eşitlik

$$R_{menzil} = PL / 2 \quad (4.4)$$

ile hesaplanır, burada PL (pulse length), darbe uzunluğudur.

Diğer bir ifade ile menzil yönündeki çözünürlük (mesafe ayırma gücü) ışık hızında ilerleyen mikrodalga işaretinin darbe süresince kat ettiği yola eşittir. Bu ise mikrodalga ileticisinin ne kadar süre açık kaldığı ile ilişkilidir. Gönderilen dalga uzunluğu arttıkça menzil yönündeki mekânsal çözünürlük daha düşük olmaktadır. Şekil 4.6'da gösterildiği gibi menzil yönündeki mekânsal çözünürlükte, iki cismin birbirinden ayırt edilebilmesi için gerekli eğik uzaklık, gönderilen dalga uzunluğunun en az yarısı kadar olmalıdır.

Azimut yönündeki çözünürlük elemanı  $R_{azimut}$ , eğik uzaklığa ( $\rho$ ) ve demet genişliğine ( $\beta$ ) bağlı olarak aşağıdaki eşitlik ile elde edilir.

$$R_{azimut} = \rho \cdot \beta \quad (4.5)$$

$\rho = H / \cos\theta$  ve  $\sin \beta \cong \beta = \rho / D$  ( $\beta$ 'nin küçük bir açı olması nedeniyle  $\sin \beta \cong \beta$  alınır) ile eşitlik tekrar düzenlenerek;

$$R_{azimut} = \frac{H \cdot \lambda}{\cos \theta \cdot D} \quad (4.6)$$

elde edilir, burada;

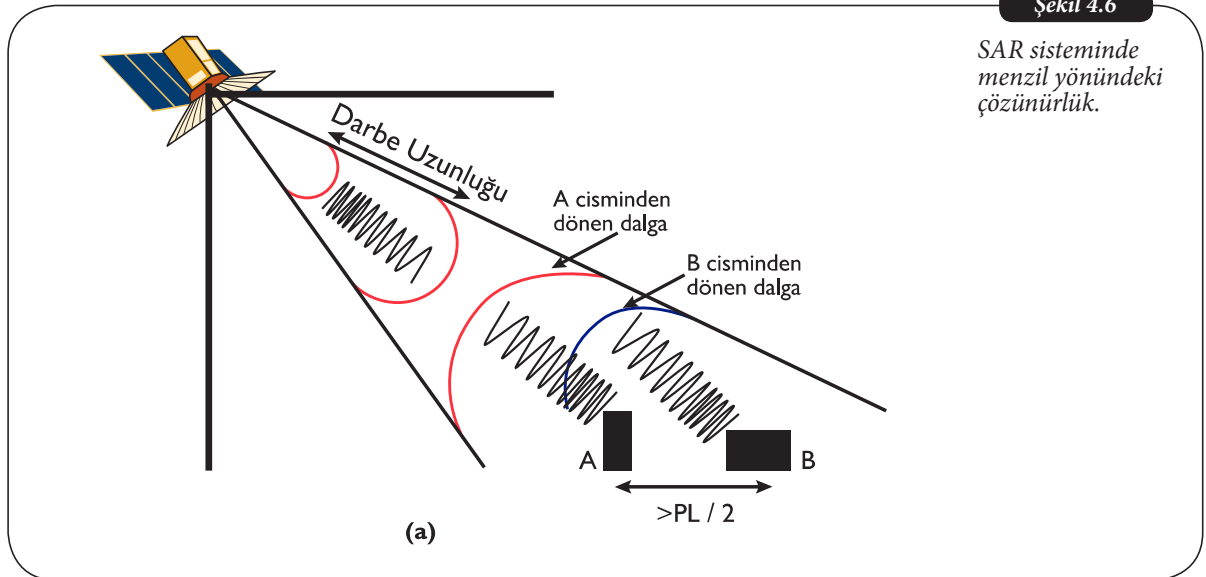
$\theta$  = bakış açısı,

D = radar anten uzunluğu,

$\rho$  = eğik uzaklık,

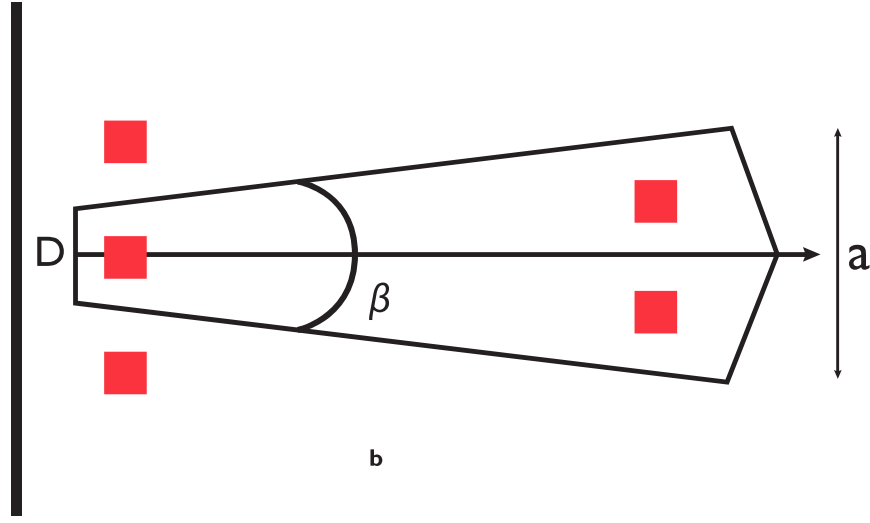
$\lambda$  = dalga boyu,

H = platform yüksekliğidir.



Şekil 4.6

SAR sisteminde  
azimut yönündeki  
çözünürlük.



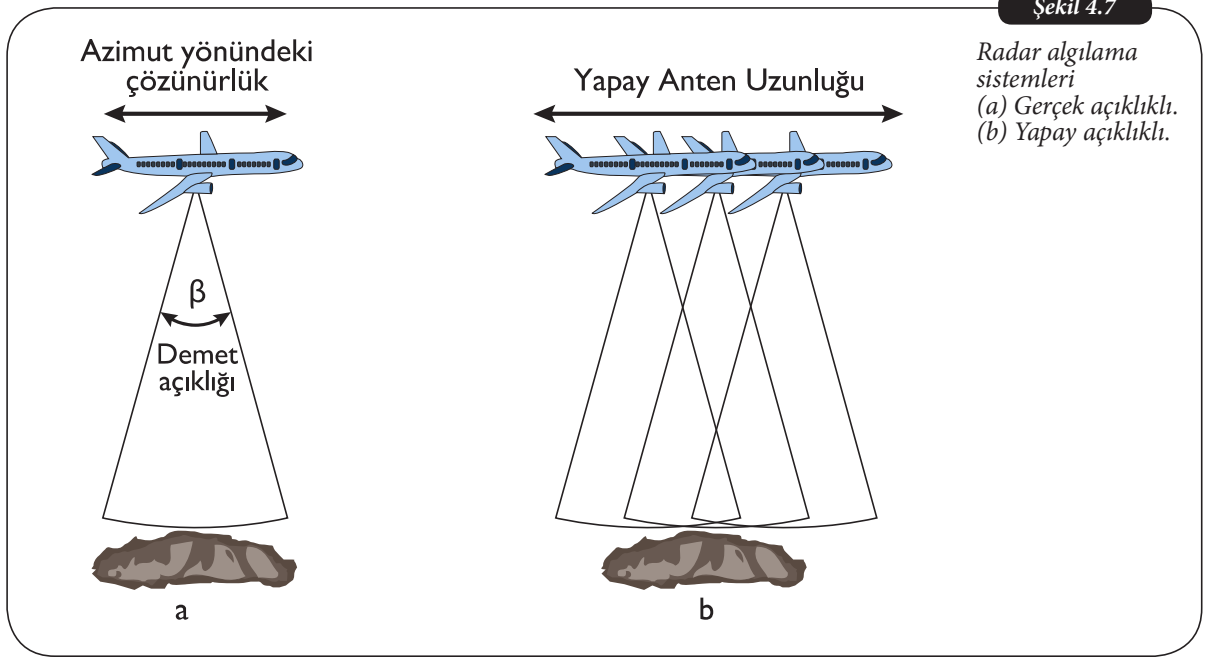
Anten, tıpkı merceğin ışığı odaklaması gibi, mikrodalga ışınmasının demet genişliğini (saçılma alanını) belirlediği için önemli bir sistem elemanıdır. Eşitlik (4.6)'da görülebileceği gibi sabit dalga boyundaki bir mikrodalga için anten boyu arttıkça demet açıklığı azalmaktadır. Azalan demet açıklığı sayesinde daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip veri elde edilebilmektedir (Şekil 4.6b).

Antenin fiziksel özelliği olan gerçek demet açıklığı ile aynı çözünürlükte çalışan radar sistemlerine **gerçek açıklıklı radar sistemleri** denir. Gerçek açıklıklı radar sistemlerinde uçuş yönündeki çözünürlük anten demet genişliği ile birebir orantılıdır.

Ancak Eşitlik (4.6)'da görülebileceği gibi gerçek açıklıklı radarlarda yüksek mekânsal çözünürlüğün elde edilmesi için kısa dalga boyu (yüksek frekans) ve uzun antenlere ihtiyaç vardır. Anten boyu uçak ya da uydunun taşıma kapasitesiyle, dalga boyu da verici teknolojisi ve atmosfer yutulma bantları ile sınırlıdır. Bu nedenle **yapay açıklıklı radar sistemleri** geliştirilmiştir.

Yapay açıklıklı sistemlerde Doppler etkisinden yararlanan çeşitli işaret işleme teknikleri ile hareketli bir radar anteni, hareket doğrultusu üzerine yerleştirilmiş birçok anten kullanılmıyormuş gibi işlenmektedir. Yapay açıklıklı sistemler sayesinde küçük antenler ile uçuş yönünde yüksek çözünürlükte algılama yapmak mümkündür. Gerçek açıklıklı sistemler, demet açıklığı ve yapay anten uzunluğu Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Teorik olarak yapay açıklık, gerçek açıklıklı radarların azimut çözünürlüğünün iki katıdır. Bu değer anten uzunluğu değeri olarak Eşitlik (4.6)'da yerleştirildiğinde yapay açıklıklı radarların azimut yönündeki çözünürlüğü elde edilir:

$$R_{azimut} (YAPAY) = D / 2 \quad (4.7)$$



**Yapay açıklıklı bir radar sistemi 17.2 GHz (17.4mm dalga boyu) frekansında çalışmaktadır. Antenin azimut yönündeki uzunluğu 2m olduğuna göre, 1km eğik uzaklıktaki bir alan için azimut çözünürlük elemanının boyu ne kadardır?**

**5** SIRA SİZDE

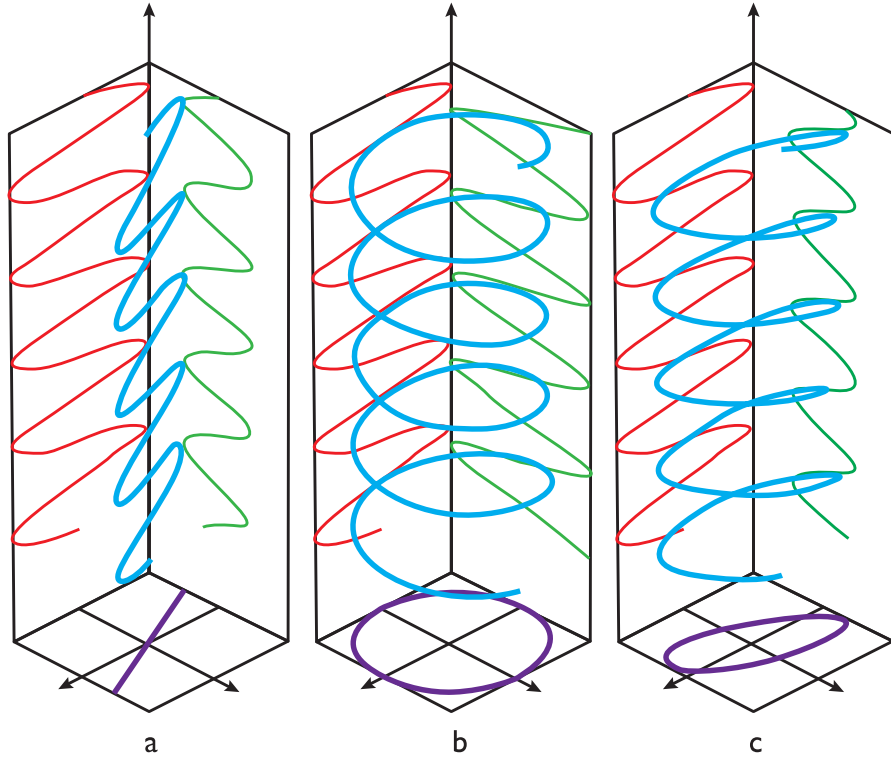
Yapay açıklıklı radarlar ile küçük bir antenle uçuş yönünde yüksek mekânsal çözünürlük elde etmek mümkün olsa da, uzaklık ayırma kabiliyeti (menzil çözünürlüğü) gerçek açıklıklı radarlar ile aynıdır.

Yapay açıklıklı radarlar yer yüzeyine belirli bir açı ile bakmak zorundadırlar. Çünkü yapay açıklık, görüntüdeki hedefin Doppler etkisinin gözlenmesi ile elde edilir. Dik (nadir) doğrultuda bakılması durumunda ise radarın sol ve sağ yanında bulunan hedefler özgün Doppler değerine sahip olacaktır. İstenmeyen bu durumun önüne geçebilmek ve her bir hedefin Doppler değerinin olmasını sağlamak amacıyla antene en azından anten açıklığı kadar bir açı verilir. Bu açıya radar **bakış açısı** denir.

Radar görüntüleme sistemlerinin diğer önemli bir sistem parametresi de gönderilen ve alınan işaretin polarizasyonudur. **Polarizasyon**, elektromanyetik dalganın elektrik alan vektör yönünü (veya gönderiliş biçimi) gösterir ve elektromanyetik dalgayı oluşturan elektrik alan yönünün yeryüzüne göre konumuna bakılarak belirlenir. Genelde 3 farklı polarizasyon türü vardır; (i) Düşey / Yatay Doğrusal Polarizasyon, (ii) Sağ / Sol Dairesel Polarizasyon, (iii) Sağ / Sol Eliptik Polarizasyon (Şekil 4.8).

Şekil 4.8

Elektromanyetik dalga polarizasyon çeşitleri  
 (a) Doğrusal  
 (b) Dairesel  
 (c) Eliptik.  
 (© Wikipedia)



Günümüzde kullanılan uydu SAR sistemlerinde düşey / yatay doğrusal polarizasyon kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde düşey (D) ve yatay (Y) polarizasyonlu dalgalar gönderilip alınarak 4 farklı türde (DD, YY, DY ve YD) polarizasyona sahip görüntüler oluşturabilir.

Elektromanyetik dalganın polarizasyonu ile hedefin fiziksel şekli, alıcıya dönen işareti belirleyen önemli faktörlerden biridir. Örneğin düşey polarizasyon ile uydudan gönderilen bir SAR işareti telefon direği, bayrak gönderi, vb. gibi dik cisimler için yatay polarizasyonlu bir işarete göre daha kuvvetli bir işaret geri gönderecektir.

SIRA SİZDE

6

**Bir elektromanyetik dalga doğrusal yatay polarize edilmiş ise karşılık gelen ortogonal polarizasyon ne olacaktır?**

### Hedef Parametreleri

Radar görüntülerinde radar sistemleri kadar görüntülenen alanın fiziksel özellikleri de önemlidir. Önemli hedef parametrelerinden birisi cisimlerden dönen geri yansıtım (backscattering) değeridir. Radar sistemlerinde alıcıya gelen güç, anten verimi, menzil, geliş açısı ve geri yansıtım değerine göre belirlenir.

Alıcıda elde edilen güç radar menzil çözünürlüğü içerisinde yer alan tüm alanların toplam değeridir. Yansıtma yüzey alanları radar menzil çözünürlüğünden küçük olan cisimlere **nokta hedefler** denir. Antenler, doğal oluşumlu köşeli yapılar ve köşeli yansıtıcılar noktasal hedeflere örnektir. Özel tasarlanan bazı nokta hedeflerin yansıtma yüzey alanı fiziksel yüzey alanlarından çok daha fazla olabilir. Köşeli yansıtıcılar yüksek yansıtma değerine sahip noktasal hedeflere örnektir. Fotoğraf 4.1'de üç düzlemlili bir köşeli yansıtıcı gösterilmektedir.

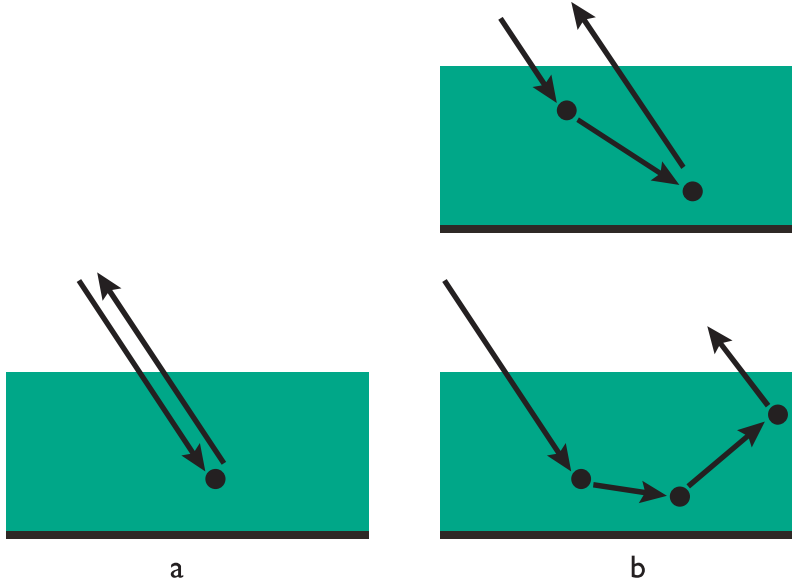
Doğada bazı noktasal hedefler olmakla birlikte daha çok hacimsel saçıcılar mevcuttur. Hacimsel saçıcılar radar menzil çözünürlük hücresinde radar dalga boyunda veya daha küçük birçok saçıcıdan oluşur (Şekil 4.9). Hacimsel saçıcılara en iyi örnek ormanlık alanlardır. Bitki örtüsünün çok yoğun olmadığı durumlarda ise hacimsel yansıma yerden gelen yansıma ile birlikte ölçülür.



Fotoğraf 4.1

NASA Uçak UASVAR sistemi için yerleştirilen üç düzlemlilik yansıtıcı.  
(©) NASA)

Şekil 4.9



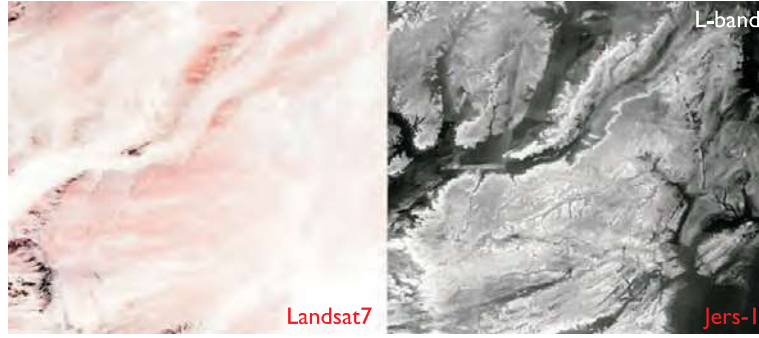
Radars görüntülerinde  
(a) Noktasal ve  
(b) Hacimsel saçıcılar.

Mikrodalga ışınlar bulutlara nüfuz edebildiği gibi dalga boyundan küçük cisimlerin belirli oranda altını görebilmesine **penetrasyon**, hedef yüzeyi ile en alt yansıtıcı yüzey arasındaki uzaklığa da **penetrasyon derinliği** denir. Penetrasyon derinliği dalga boyu ile doğrusal bir ilişkiye sahiptir ve bu nedenle penetrasyon olayı daha çok düşük frekanslı sistemler ile gözlenir. Örneğin P-bandında çalışan bir radar sistemi ile ormanlık alanlarda bitki örtüsünün altındaki yüzeyler algılanabilmektedir. Çıplak toprak yüzeylerinde penetrasyon kabiliyeti çok kurak topraklarda (örn. çöl toprağı) daha fazla olmaktadır. Resim 4.5'te Kuzey Sudan'da eski bir vadiye ait Landsat -7 ETM optik görüntüsü ile L-bandında çalışan JERS uydusundan alınan görüntü verilmiştir. Şekilde gösterilen JERS SAR görüntüsünde penetrasyon derinliği yaklaşık 2m'dir.



**Resim 4.5**

Kuzey Sudan'da eski bir vadiye ait Landsat-7 ETM ve JERS-1 SAR görüntüsü (© Paillou ve diğerleri, 2005).



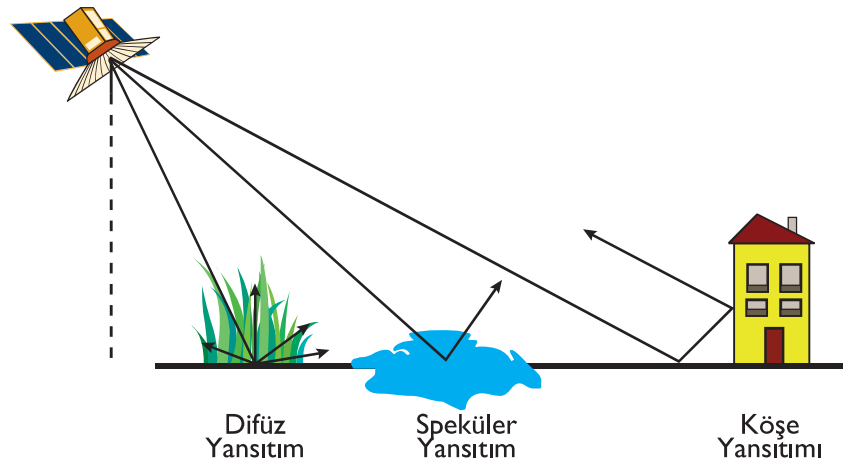
Radar görüntüleri yeryüzündeki cisimlerden radara geri yansıyan mikrodalga enerjinin alıcı tarafından algılanması ile oluşur. Geri yansıyan mikrodalga enerjiye cismin dielektrik özelliği (nem miktarı) ve yüzey pürüzlülüğü etki etmektedir. Nem miktarı radar yansıtımını arttıran bir özelliktir. Özellikle uzun mikrodalga boylarında penetrasyon kabiliyeti yüksek olduğundan bu sayede yüzey altı su içeriği hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü de radar yansıtımını arttıran bir özelliktir. Şekil 4.10'da 3 farklı tip yüzey pürüzlülüğüne göre geri yansıtımdaki değişimler gösterilmektedir. Örneğin deniz gibi düz yüzeylerden radar alıcısına geri dönen yansıma tam yansıma (speküler) şeklinde olacaktır. Diğer bir ifade ile radar alıcısına dönen enerji çok düşük olacak ve hedef, görüntüde oldukça koyu renk tonunda gözükcektir. Deniz yüzeyindeki yüzey pürüzlülüğünün artması (küçük genlikli dalgaların oluşması nedeniyle) durumunda ise alıcıya beklenenden daha fazla enerji geri dönecektir. Bragg saçılması olarak adlandırılan bu etki özellikle SAR sistemleri ile deniz yüzeylerinin görüntülenmesinde önem taşımaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü arttıkça difüz yansıtım özelliğine bağlı olarak radar alıcısına geri dönen enerji yüksek olacaktır. Ayrıca şehir bölgeleri gibi yüzey pürüzlülüğünün (sokak ve binalardan oluşan sıra dizileri) çok fazla olduğu bölgelerde radar dalgası köşe yansıtımına (double bounce - çift sıçramalı) sahip olacağından görüntüde oldukça açık renk tonunda gözükcektir. Eğer binalar sıra oluşturuyorsa nokta hedef olarak kuvvetli bir geri yansıtım olarak radara geri dönüş yapacaktır.

**Şekil 4.10**

Farklı yüzeylerden geri yansıma.

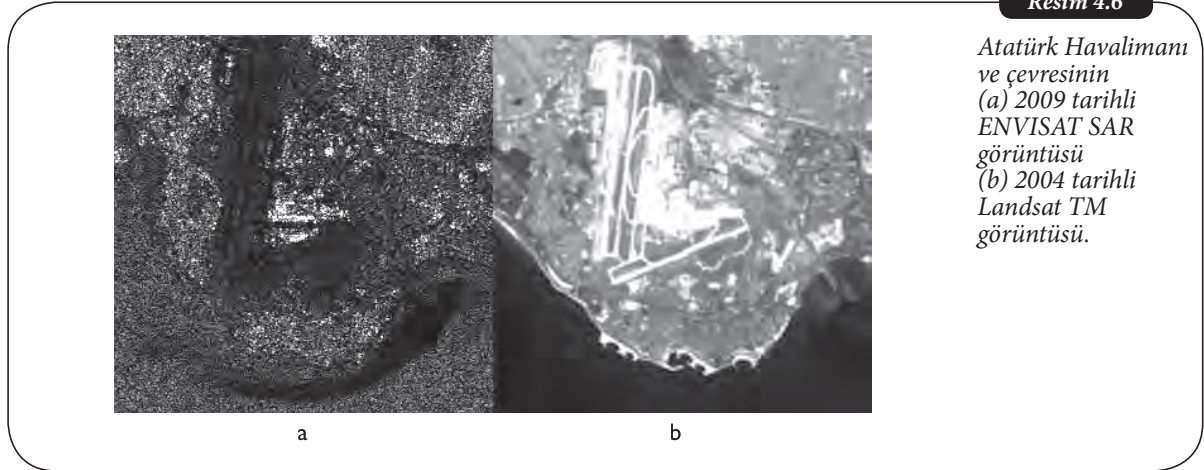


Ancak seçilen dalga boyu, yüzey pürüzlülüğü ile radar geri yansıtımı arasında-ki etkileşimde göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer bir ifade ile bir dalga boyunda düz olarak algılanan bir yüzey daha kısa bir dalga boyunda pürüzlü bir yüzey olarak algılanabilir.

## GÖRÜNTÜ ÖZELLİKLERİ

Radar görüntüleri optik görüntülerden farklı olarak kendilerine özgü bazı özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin en belirgin olanı benek (speckle) gürültüsüdür. Radar görüntülerine özgü olan benek etkisi, Resim 4.6'da aynı bölgenin benzer çözünürlükteki LANDSAT-TM görüntüsü ile karşılaştırıldığında kolaylıkla görülebilmektedir.

SAR görüntülerinin optik görüntülerden diğer farklı bir özelliği SAR işlemcisinde yer alan görüntü oluşturma teknikleri sonucu, radar görüntülerindeki radyometrik çözünürlüğün (parlaklık değerlerinin dinamik aralığı) optik görüntü- lere kıyasla çok daha yüksek olmasıdır. Resim 4.6'da verilen radar görüntüsünün dinamik aralığı Resim 4.6'de verilen optik görüntünün dinamik aralığından yaklaşık 20 kat daha fazladır. Radar görüntülerinin dinamik aralığı bilgisayar ekranları ve kağıt üzerinde gösterilemediği için gerçek değerlerin karekökü ya da logaritması alınarak görüntülenmektedir.



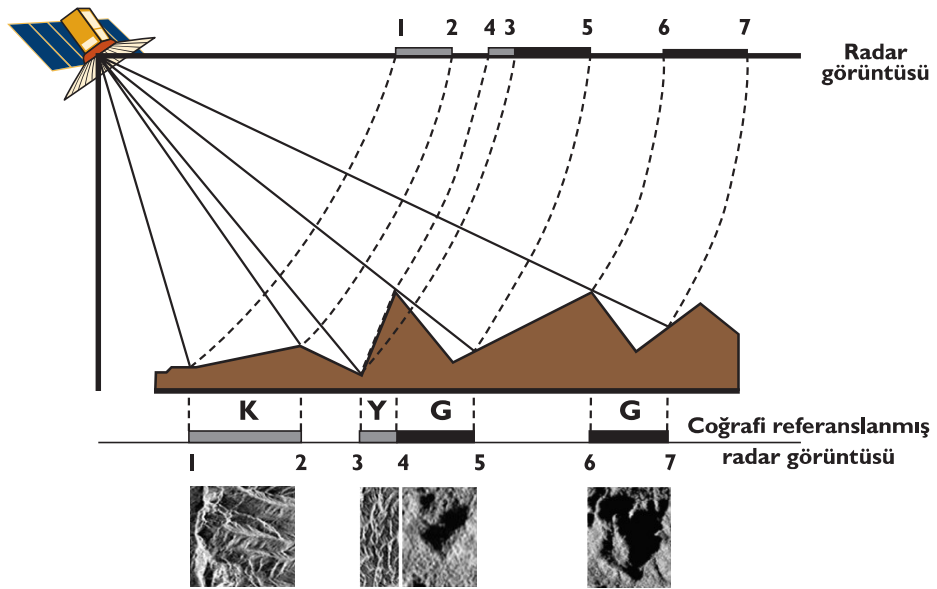
Benek etkisi radar dalga boyuna göre çok büyük olan radar çözünürlük hücre- sinde yer alan cisimlerin rastgele yansıma değerlerinin evre uyumlu radar ile alın- ması sonucu oluşmaktadır. Diğer bir deyişle aynı çözünürlük hücresi içinde yer alan yansıma değerlerinin rastgele toplamı, rastgele değişen faz değerleri uyumlu ise yüksek, uyumsuz ise düşük bir değer olmaktadır. Benek gürültüsü çarpımsal bir etkidir ve parlaklığı yüksek olan yerlerde daha yüksek oranda gözlenir. Benek etkisinin giderilmesi için birçok işaret işleme yöntemi geliştirilmiştir. İşlenmiş SAR görüntülerinde benek gürültüsünü gidermek amacıyla uygulanacak en basit yöntem alçak geçirgenli filtreleme ile bu etkinin bastırılmasıdır. Ancak bu işlem, radarın mekânsal çözünürlüğünü de azaltmaktadır.

SAR görüntülerinde optik görüntülerden farklı olarak bazı geometrik bo- zulumlar meydana gelmektedir (Şekil 4.11). Bunun nedeni SAR görüntü sis- temlerinin cisimleri, yansıyan mikrodalga ışımının hedefe gidip gelme süre- sine bağlı olarak konumlamasından kaynaklanmaktadır. SAR görüntülerinde görüntüleme, açılı yapıldığı için radara doğru bakan açılı yüzeylerde piksellerin

boyu biraz daha küçük iken, radar bakış yönüne zıt yöndeki eğimli piksellerin boyu biraz daha uzundur. Bu değişiklik radara bakan alanların kısalmış gibi gözükmesine neden olduğundan, bu etkiye “yakın-alan-kısalması (foreshortening)” denilmektedir. Cisimler radara olan uzaklıklarına göre görüntü üzerinde konumlandırıldığından, dik yamaçların bulunduğu görüntülerde yatay eksen- de radara uzak ancak yüksek hedeflerden yansıyan mikrodalga işaret, yatayda radara daha yakın ve alçak noktadaki mikrodalga işaretten daha önce algılanacaktır. Bu tür bozunma “yana yatma (overlay)” olarak adlandırılmaktadır. SAR görüntülerinde yer alan bir diğer etki de açılı gelen ışımının bazı bölgeleri aydınlatmaması ve radar gölgesi altında bırakmasıdır. Diğer bir ifade ile radar gölgesi altında kalan yerlerden mikrodalga yansıması algılanamamaktadır. Tıpkı gün batımında eğik gelen Güneş ışınlarında olduğu gibi radar bakış açısı arttıkça gölgeleme etkisi de artmaktadır.

Şekil 4.11

Radar görüntülerinde oluşan geometrik bozulmalar (K: yakın alan kısalması, Y: yana yatma, G: radar gölgesi).



## UYGULAMA ALANLARI

Mikrodalga sistemleri ve alınan veriler kara, deniz ve atmosfer olaylarının incelenmesine yönelik birçok farklı uygulamada etkin olarak kullanılmaktadır.

### Meteoroloji

Radar sistemleri meteorolojide özellikle kısa süreli hava durumu tahminlerinin yapılmasında ve şiddetli hava olaylarına karşı önlemlerin alınmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Meteorolojik uydular üzerinde bulunan uydu-bazlı radar sistemlerinin yanı sıra yer-bazlı radar sistemleri de mevcuttur.

Meteorolojik amaçlı hava gözlem radarlarında ölçme, radardan gönderilen mikrodalga enerjinin havada asılı bulunan su zerreciklerine çarpıp radara geri dönmesi ile yapılmaktadır. Radarda ölçülen mikrodalga enerji havada asılı bulunan zerreciklerin türüne göre (yağmur, kar, dolu, vb.), ve şiddetine göre (hafif yağmur, sağanak, vb.) değişmektedir. Yansıyan mikrodalga enerjiden yola çıkılarak

birim hacimde yer alan radar yansıtıcılık değeri (Z) ölçülür. Diğer bir deyişle, radar yansıtıcılık değeri Z, daha önce tanımlanan birim alandaki yansıtıcılık değeri s'nın hacimsel karşılığıdır. Radar yansıtıcılık değerinin dinamik aralığı çok yüksek olduğu için logaritmasınının 10 katı anlamına gelen desibel (dB) cinsinden gösterilir. Bazı atmosferik olayların radar sisteminde karşılık geldiği yansıma değerleri Tablo 4.2'de verilmektedir.

Yağış, tipi ve diğer yankı kaynakları	Yansıma Değeri (dB)
Su içeren ancak yağışa neden olmayan bulutlar	< 0
Çisenti	0-20
Hafif yağmur	10-30
Şiddetli yağmur	30-45
Sağanak yağış	40-65
Dolu	> 45
Kar	< 35

**Tablo 4.2**  
Bazı atmosferik olayların radar sisteminde karşılık geldiği yansıma değerleri (© DMI).

Tablo 4.2'den görülebileceği gibi aynı yansıma değerlerine sahip farklı yağış türleri mevcuttur. Bu durumda hava tahminlerinin analizinde başka kaynaklardan alınan verilerden de yararlanır. Resim 4.7'de verilen 11 Mayıs 2011 tarihli Türkiye saati ile sabah 10:52'de Muğla radarından elde edilen radar görüntüsünde İzmir ve Akdeniz üzerinde hafif yağış görülmektedir.

## İklim Değişikliği

Nedeni ister doğal ister insan kaynaklı olsun iklim değişikliğinin yol açtığı değişikliklerin izlenmesi önem taşımaktadır. Uydular üzerinde bulunan radar altimetre sistemleri, radarın yeryüzünden yüksekliğini ölçebildiği gibi, uydunun uzaydaki konumu bilindiği için deniz yüksekliklerindeki değişimlerinin de ölçülebilmektedir. İklim değişikliğinin yeryüzündeki etkileri bölgelere göre farklılık gösterse de, tüm dünyayı etkileyen bölgesel ve/veya global iklim değişimlerinin izlenmesi mümkün olmaktadır. Örneğin, sadece Akdeniz genelinde deniz seviyesi değişiklikleri izlenebileceği gibi, okyanus ve denizlerin ortalama yüksekliği alınarak global bir değer de elde edilebilir.

İklim, yeryüzünün herhangi bir yerinde hava koşullarının uzun yılların ortalaması alınarak belirlenir. Bu nedenle iklim değişikliklerinin incelenmesi için de uzun yıllar boyunca bilgilerin toplanması gerekir. Uzaktan algılama uydularının yaşam süreleri tasarımlarına göre değişmekle birlikte genellikle 3-10 yıl arasındadır. Dolayısıyla iklim değişikliği etkilerinin gözlenmesi için birden çok uzaktan algılama uydusundan alınan verilerin analizi gereklidir. Grafik 4.2'de gösterildiği gibi 7 farklı uydudan elde edilen veriler ile ortalama deniz seviyesindeki değişiklik izlenebilmektedir. Mevsimsel değişikliklerin giderilmesi ile elde edilen deniz seviyesi değişim eğrisi, 1992 ile 2010 yılları arasında geçen 18 yıl boyunca yaklaşık 5 cm'lik bir yükselme olduğunu göstermektedir.

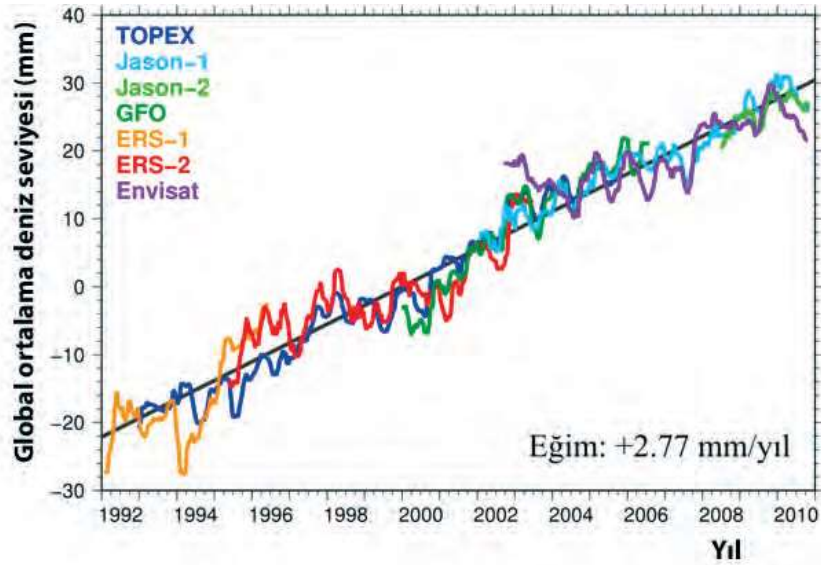
Resim 4.7

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Muğla hava radarı verisi (© DMI).



Grafik 4.2

Ortalama deniz seviyesi eğrisi (© Altimetrics).



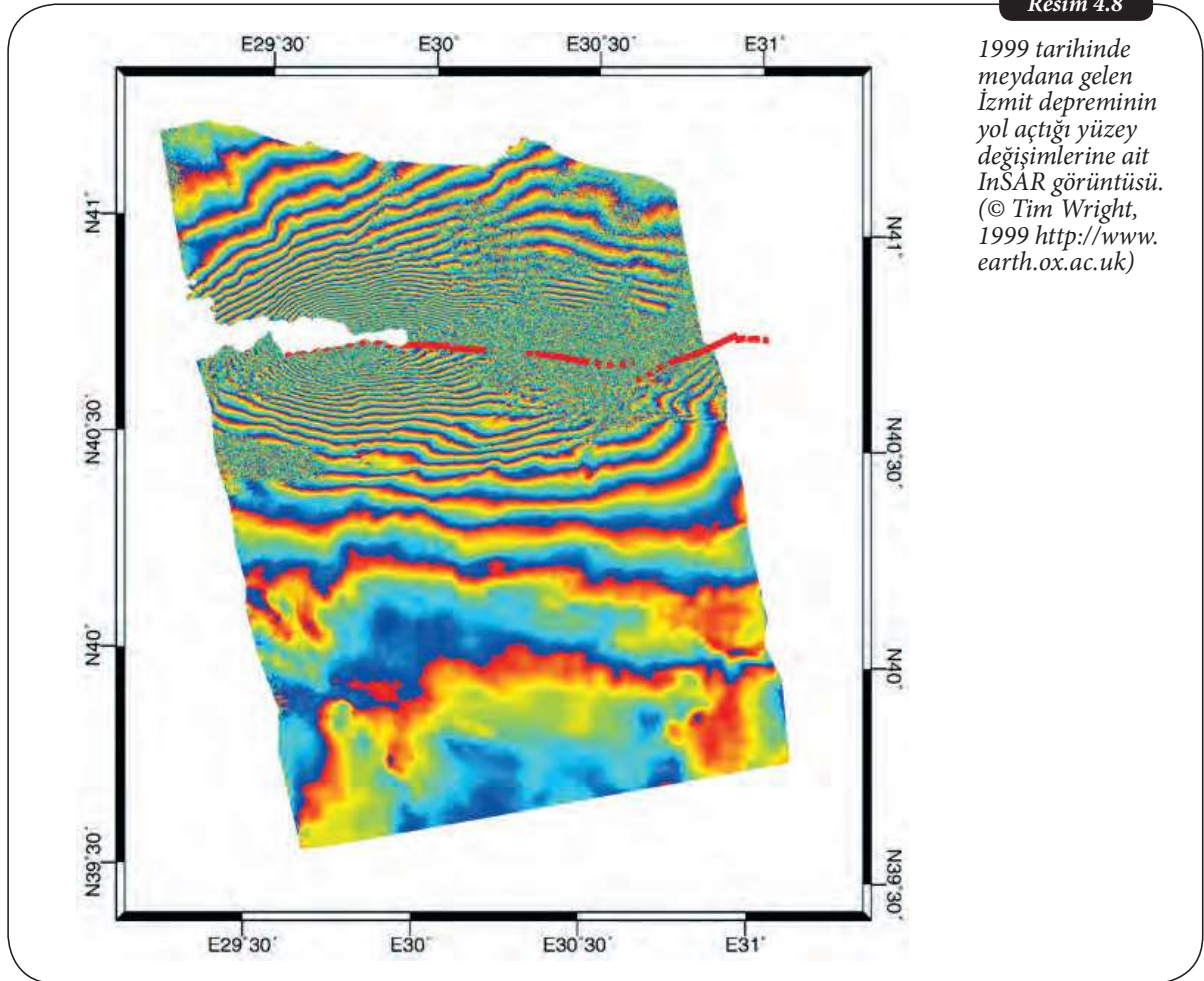
### Deprem Araştırmaları

Depremler fay hatları üzerinde tektonik hareketler nedeni ile biriken stresin ani olarak salınması ile oluşmaktadır. Deprem sırasında açığa çıkan güç yeryüzünde geniş alanları etkiler ve hatta bazen başka depremleri de tetikleyebilir. Yapay açıklıklı radar uyduları evre uyumlu radar sistemleri oldukları için yeryüzü hareketlerini geniş alanlarda hassasiyetle ölçebilirler. Evre uyumlu radarlarda yansıyan işaretin faz bilgisi büyük ölçüde hedef ile uydu arasındaki mesafeye, atmosferik koşullara ve hedefin elektromanyetik özelliklerine bağlıdır. Hedefin elektroman-

yetik özellikleri hedef yapısına (toprak, ağaç, telefon direği, ev, vb.) ve dış etkenlere (toprak nemliliği, yağış, rüzgâr, vb.) bağlı olmakla birlikte özellikle kısa süreler için sabit olduğu kabul edilir. Bu durumda iki SAR görüntüsünün fazlarının farkı alındığında elde edilen işaret, hedef ile uydu arasındaki mesafenin değişimini gösterir. İki SAR görüntüsünün faz farkından elde edilen görüntüye interferometrik SAR (InSAR) görüntüsü denilir.

Daha önce belirtildiği gibi faz her bir dalga boyu içerisinde sıfır ila 360 derece arasında değişir. SAR uydularının dalga boyları genellikle 30 cm ile 3 cm arasındadır. Mikrodalga enerji, uydu ile yeryüzü arası uzaklığın tam iki katı kadar yol aldığı (gidiş-geliş) için yeryüzündeki hedefin örneğin 1 cm'lik hareketi 2cm'lik faz değişikliğine yol açar. Bu nedenle yeryüzündeki hareketin uydu bakış yönünde dalga boyunun yarısını geçmesi halinde faz 360 dereceyi geçip tekrar sıfıra döner. Bu haliyle InSAR görüntüsü eşmesafe (fringe) çizgileri oluşturur.

Resim 4.8'de ESA- ENVISAT uydusu ile 13 Ağustos ve 17 Eylül tarihlerinde İzmit bölgesine ait uydu görüntülerinin interferometrik farkı gösterilmektedir. 17 Ağustos 1999'da gerçekleşen İzmit depreminin yeryüzünde yol açtığı değişiklikler dalga boyu 5.6 cm olan bu uydu sistemi ile bakış doğrultusu boyunca 2.8 cm'lik eş mesafe eğrileri oluşturmaktadır. Resim 4.8'de görüldüğü gibi eş mesafe eğrileri kırmızı ile belirtilen fay hattına yaklaştıkça sıklaşmakta ve sayılamaz hale gelmektedir.



## Özet



*Mikrodalga bölgesini ve radar sistemlerini oluşturan temel kavramları açıklamak;*

Mikrodalga sistemler radyo frekansındaki (0.3 - 30 cm dalga boyu) elektromanyetik dalgaları algılayan aktif ya da pasif sistemlerdir. Mikrodalga sistemler Güneş ışınlarından bağımsız çalışmakta ve bulutlara nüfuz edebilmektedirler.

Radar sistemleri yapısal olarak alıcı, verici, anten, vb. belli başlı alt sistemlere ayrılabilir. Radar sistemlerinde mekânsal çözünürlük anten genişliği, dalga boyu, işaret bant genişliği ve görüntülenen hedeften uzaklığa bağlıdır. Ancak yapay açıklıklı radar sistemlerinde azimut yönündeki çözünürlük hedefe olan uzaklıktan ve kullanılan dalga boyundan bağımsız olup yalnızca anten boyuna bağlıdır. Bu özellikleri nedeniyle yapay açıklıklı radar sistemleri uydu algılama sistemlerinde gerçek açıklıklı sistemlere nazaran tercih edilmektedir.

Antenin en önemli özelliklerinden biri ışın demet genişliğidir. Anten demet genişliği antenin yapısal özelliklerine bağlı olup, anten boyu ile ters, kullanılan dalga boyu ile doğru orantılıdır. Anten demet genişliği azaldıkça, anten kazancı ve menzil yönündeki çözünürlük artar.



*Cisimlerin mikrodalga özelliklerini açıklamak,*

Görüntüleme radarları ile elde edilen görüntülerde optik görüntülerden farklı olarak geometrik bozulmalar yer almaktadır. Bu bozulmalar; yakın alan kısalması, yana yatma ve radar gölgesidir. Yakın alan kısalması radar bakış yönündeki çözünürlüğün mesafeye bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Yeryüzünün eğimine göre

radara doğru bakan pikseller sıkışmakta ve buna yakın alan kısalması denilmektedir. Yana yatma sıkışmanın etkisinin artması ile yeryüzünde birden fazla piksellik yer kaplayan bölgenin tek bir piksel üzerinde örtüşmesidir. Radar bakış yönüne zıt eğimli bölgelerde de radar gölgesi oluşur.



*Radar sistemlerinin bilimsel ve günlük yaşamda ki uygulama alanları ile kullanılan sistemleri açıklamak,*

Özellikle yüzey pürüzlülüğüne ve neme olan duyarlılıkları nedeniyle radar verileri, bulut ve Güneş ışığı koşullarına bağlı olmaksızın global ve bölgesel bazda yeryüzü hakkında bilgi sağlayan aktif algılama sistemleri olarak meteoroloji, iklim, tarım, doğal afetler (deprem, sel, vb.) gibi birçok farklı uygulamada başarıyla ve zaman zaman da tercihen kullanılmaktadır. Bazı sınırlamalarının olmasına rağmen radar uydu verileri diğer optik verileri tamamlayıcı etkin bir bilgi kaynağı olduğundan, ülkemizin uydu araştırma ve geliştirme programında Gökürk-III SAR uydusunun yapımı planlamaya alınmış ve bu yönde çalışmalara başlanmıştır. Aşağıda verilen resimde hava platformundan alınmış ham SAR (Ham görüntü Ukrayna Radyo Astronomi Enstitüsü -Institute of Radio Astronomy- tarafından sağlanmıştır. Ukrayna'daki bir bölgeye ait olan SAR görüntüsünün mekânsal çözünürlüğü 3 m' dir.) görüntüsünün SDT A.Ş. tarafından geliştirilmekte olan ilk "ulusal radar işleme algoritmaları" ile işlenmiş görüntüsü gösterilmektedir.



## Kendimizi Sınavalım

1. Aşağıdakilerden hangisi mikrodalga frekans bandında yer alan **en küçük** dalga boyudur?
  - a. L bandı
  - b. X bandı
  - c. P bandı
  - d. K bandı
  - e. C bandı
2. Aşağıdaki radar sistemlerinden hangisi görüntüleme radarlarından biri **değildir**?
  - a. Saçılım ölçer
  - b. Radyometre
  - c. Altimetre
  - d. Gerçek açıklıklı radar
  - e. Yapay açıklıklı radar
3. Bir darbeli radarın menzil çözünürlüğü (mesafe ayırma kabiliyeti) hangi sistem parametresine bağlıdır?
  - a. Işık hızı
  - b. Mesafe
  - c. Anten bakış açısı
  - d. Darbe uzunluğu
  - e. Anten boyu
4. Yerden 2000 metre yüksekte konumlanan bir radar sisteminden yeryüzündeki bir hedefe gönderilen işaretin 0.00006 saniye sonra radara geri gelmesi durumunda radar ile hedef arasındaki eğik mesafe kaç metre olacaktır? (Işık hızı= $3 \times 10^8$  m/sn)
  - a. 900
  - b. 1440
  - c. 6000
  - d. 9000
  - e. 18000
5. Çalışma frekansları L (1-2 GHz), C (4-8 GHz) ve X (8-12 GHz) bantlarında yer alıp, geri kalan tüm özellikleri aynı olan üç gerçek açıklıklı aşağıdaki radar sistemlerinden hangisinin azimut yönündeki mekânsal çözünürlüğü daha yüksektir?
  - a. X bandı radarı
  - b. L bandı radarı
  - c. C bandı radarı
  - d. Üçü de aynıdır ve anten boyunun yarısına eşittir
  - e. X ve C bandı radarları
6. Aşağıdakilerden hangisi radar görüntülerinde görülen bozulmalardan biri **değildir**?
  - a. Benek etkisi
  - b. Yakın alan kısalması
  - c. Radar gölgesi
  - d. Yana yatma
  - e. Saçılma
7. 1978 yılında uzaya gönderilen SeaSAT uydusunda yer alan SAR sisteminin uçuş yönündeki anten boyu 2.1 m olduğuna göre azimut yönündeki maksimum teorik çözünürlüğü ne kadardır?
  - a. 0.1
  - b. 1.05
  - c. 2.1
  - d. 10.7
  - e. 15.7
8. SAR sistemlerinde radar ışınları deniz yüzeylerinden geri yansıma (düz yüzeyler üzerindeki tam yansıma etkisi nedeniyle) yapmamasına rağmen deniz yüzeyleri hangi olaya bağlı olarak SAR sistemlerinde görüntülenebilmektedir?
  - a. Mie saçılması
  - b. Rayleigh saçılması
  - c. Brown modeli
  - d. Bragg saçılması
  - e. Dağılma
9. Aşağıdakilerden hangisi bir mikrodalga polarizasyon türü **değildir**?
  - a. Dairesel polarizasyon
  - b. Dikey polarizasyon
  - c. Yatay polarizasyon
  - d. Eliptik polarizasyon
  - e. Kare polarizasyon
10. Aşağıdaki dalga boylarından hangisi ormanlık alanlarda bitki örtüsünün altındaki yüzeylerin algılanması için **daha çok** kullanılmaktadır?
  - a. C bandı
  - b. X bandı
  - c. L bandı
  - d. P bandı
  - e. K bandı



## Okuma Parçası

### UYDULAR İTALYA DEPREMİNDE DÜNYA'NIN NASIL KIMILDADIĞINI GÖRÜNTÜLEDİ

Bilim insanları, 6 Nisan 2009 tarihinde, İtalya'nın merkezinde bulunan L'Aquila adlı ortaçağ kasabasını etkileyen 6,3 büyüklüğündeki deprem sırasında ve sonrasında Dünya'nın hareketini incelemeye başladılar. Bu incelemeler, Avrupa Uzay Ajansı'na ait Envisat'ın ve İtalyan Uzay Ajansı'na ait COSMO-SkyMed'in uydu radar verileri kullanılarak yapılıyor. İtalyan bilim insanları, deprem sonrası yüzeyde oluşan biçim bozulmalarını ve sayısız artçıları haritalamak için, bu uydulardan elde edilen SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) verilerinden yararlanıyor.

Bilim insanları SAR İnterferometri (InSAR) olarak bilinen, gelişmiş bir "fark belirleme" tekniği kullanıyor. InSAR aynı yere ait iki ya da daha fazla radar görüntüsünün, iki görüntü alımı arasında oluşan yer hareketlerinin çok hassas ölçümlerine -birkaç milimetrelik ölçeklerde- imkân verecek biçimde birleştirilmesine dayanıyor. InSAR tekniği depremden önce ve sonra alınan verileri birleştirerek gökkuşağı renkli girişim desenleri şeklinde görünen "interferogram" görüntülerini oluşturuyor. "Fringes" denen tam bir renkli bant seti, uzay mekiğine göre yarım dalga boyluk, Envisat uydusunun ASAR'ı (Gelişmiş Sentetik Açıklıklı Radar) için 2,8 cm'lik yer hareketini temsil ediyor. 12 Nisan'daki depremden sonra alınan ilk Envisat verileri hemen bilim insanlarına ulaştırıldı. İtalya'daki IREA-CNR'den (Ulusal Araştırma Kurumu-Elektromagnetik Çevre Algılama Enstitüsü) Riccardo Lanari "Deprem ardından Envisat'ın veri almasından sadece birkaç saat sonra bu veriyi Envisat'ın 1 Şubat'ta aldığı veriyle birleştirerek bir interferogram oluşturduk. Deprem yapısını hemen görebildiğimiz için mutlu olduk." diyor. Deprem alanında 25 metreye varan yer değişiklikleri görülmüş. Salvi, etkilenen bölgedeki beş GPS konum belirleme alanından elde edilen üç boyutlu yer değiştirme verilerini kullanarak Envisat verilerinden elde edilen ilk sonuçları doğrulayabildiklerini söylüyor. Şu anda üç uydudan oluşan COSMOSkyMed takımı sık sık veri alınmasına imkân tanıyor. Bu da her birkaç günde bir interferogramlar oluşturulabilmesi demek. Önümüzdeki aylarda, COSMOSkyMed verileri, Envisat'ın verileri ve muhtemelen başka uyduların SAR verileriyle birlikte L'Aquila bölgesindeki zeminin biçim bozulmalarına yönelik yoğun bir örnekleme çalışması yapılmış olacak, böylece belki de bu deprem, SAR İn-

terferometri ölçümlerinin en çok uygulandığı depremlerden biri olacak. Deprem analizlerine tüm bilim insanlarının katkı yapabilmesini mümkün kılmak için ESA, L'Aquila bölgesine yönelik yapılan Dünya gözlem verilerini, yenilikçi bir hızlı veri indirme mekanizması yardımıyla genel erişime açmaya hazırlanıyor. Veri setleri Envisat'ın her veri alışında güncellenecek.

#### Kaynak:

[http://www.esa.int/esaCP/SEM4P9NJTF\\_index\\_2.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM4P9NJTF_index_2.html)

İlay Çelik, BİLİM VE TEKNİK, Haziran 2009  
<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/haberler/jeolojisi-499-5.pdf>

## Kendimizi Sınayalım Yanıt Anahtarı

1. d Yanıtınız yanlış ise "Sistem Parametreleri" konusuna bakınız.
2. c Yanıtınız yanlış ise "Radar Algılama Sistemleri" konusuna bakınız.
3. d Yanıtınız yanlış ise "Sistem Parametreleri" konusuna bakınız.
4. d Yanıtınız yanlış ise "Sistem Parametreleri" konusuna bakınız.
5. a Yanıtınız yanlış ise "Sistem Parametreleri" konusuna bakınız.
6. e Yanıtınız yanlış ise "Görüntü Özellikleri" konusuna bakınız.
7. b Yanıtınız yanlış ise "Sistem Parametreleri" konusuna bakınız.
8. d Yanıtınız yanlış ise "Hedef Parametreleri" konusuna bakınız.
9. e Yanıtınız yanlış ise "Sistem Parametreleri" konusuna bakınız.
10. d Yanıtınız yanlış ise "Hedef Parametreleri" konusuna bakınız.

## Sıra Sizde Yanıt Anahtarı

### Sıra Sizde 1

Polislerin trafik kontrol amacıyla kullandıkları radar sistemleri aktif ve görüntü üretmeyen bir radar sistemidir.

### Sıra Sizde 2

Radar görüntüleme sistemleri, yılın çoğunluğunda bulutlar ile kaplı olan yağmur ormanlarının görüntülenmesinde ve uzun süre karanlık olan kutuplara yakın bölgelerin görüntülenmesinde bulutların altını görüntüleyebilmeleri ve gece görüş yapabilmeleri nedeniyle tercih edilir.

### Sıra Sizde 3

Radar sistemlerinde yer alan verici anten, fotoğraf makinesinde bulunan flaş ile benzer işlevi görmektedir.

### Sıra Sizde 4

Dünya ile Ay arasındaki mesafeyi radar ışareti 1.2 sn'de kat eder.

$$3.6 \times 10^8 / (3 \times 10^8) = 1.2 \text{ sn}$$

Mikrodalga işaret bu uzaklığı iki kez kat edeceği (gidiş-geleceği) için işaretin alıcıya geri gelmesi 2.4 sn sürecektir.

### Sıra Sizde 5

Azimut yönündeki çözünürlük elemanının boyu, teorik olarak anten uzunluğunun yarısıdır.

$$R_{\text{azimut}} = \lambda/2 = 1 \text{ metre}$$

### Sıra Sizde 6

Doğrusal yatay polarizasyona ortogonal polarizasyon, doğrusal düşey polarizasyondur.

## Yararlanılan ve Başvululabilecek Kaynaklar

- Brugioni, D.A. (2010). Eyes in the Sky. Maryland: Naval Institute Press.
- Smith, W.H.F., Sandwell, D.T. (1997). Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings. Science, 277, 1957-1962.
- Wright, T., Fielding, E., Parsons, B. (2001). Triggered Slip: Observations of the 17 August 1999 Izmit (Turkey) Earthquake Using Radar Interferometry. Geophysical Research Letters, 28, 1079-1082.

## Yararlanılan İnternet Adresleri

- <http://dmi.gov.tr/>
- <http://www.altimetrics.com>
- <http://www.sarusersmanual.com/>
- <http://uavsar.jpl.nasa.gov/rosamond.html>
- <http://southport.jpl.nasa.gov/reports/iwgsar/>
- <http://earth.eo.esa.int/polsarpro/tutorial.html>
- <http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.tr.html>
- <http://www.earth.ox.ac.uk/~geodesy/images/tr157.gif>
- <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/mw.htm>
- [http://trmm.gsfc.nasa.gov/data/quicklook/last\\_2\\_cal.html](http://trmm.gsfc.nasa.gov/data/quicklook/last_2_cal.html)
- <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=3589>
- [http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter3/01\\_e.php](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter3/01_e.php)