

# İLETİM ORTAMI

## Chapter 4 - Transmission Media

Eighth Edition  
by William Stallings

Lecture slides by Lawrie Brown

# İletişim

*Hayvanlar aleminde çok değişik iletişim kanalları vardır. Dokunma, ses, bakış, ve koku bunlardan bazılarıdır. Elektrikli yılan balığı elektrik titreşimlerini haberleşmede kullanır. Kuzgunlar ses, tüyleri ile oluşturduğu şekiller, vücut duruş hareketleri ile haberleşerek kızgınlık, etkilenme, açlık, kıskançlık, sıkıntı gibi duygusal hareketleri yansıtabilirler.*

*—Mind of the Raven, Bernd Heinrich*

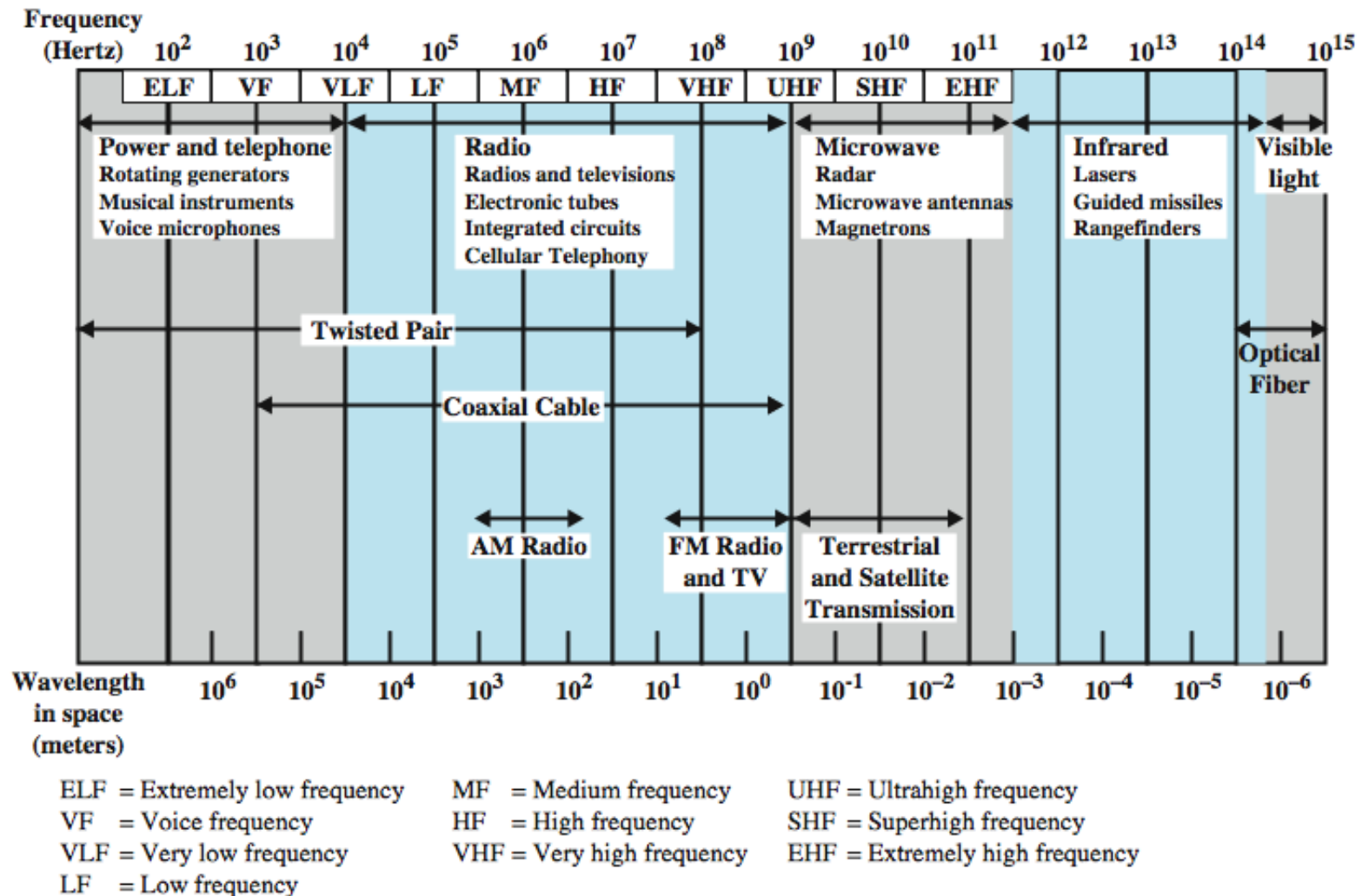
# Özet

- Yönlendirilmiş ortam – kablo / fiber optik
- Yönlendirilmemiş ortam - kablosuz
- İletim kalitesi ve özellikleri ortam ve sinyal tipi ile belirlenir
  - Yönlendirilmemiş ortamda – antenin belirlediği bant genişliği önemli
  - Yönlendirilmiş ortam – ortam özellikleri önemli
- Veri iletişim sistemi tasarımında iletim mesafesi ve iletim hızı dikkate alınması gereken önemli iki parametredir.
- Daha uzak mesafeye daha hızlı veri transferi hedeflenir.

# Tasarım Faktörleri

- Bant genişliği
  - Yüksek bant genişliği ile daha hızlı veri transferi sağlanır.
- İletim bozucuları
  - Sinyal zayıflaması iletim ortamına bağlı olarak değişik seviyelerde etki oluşturur.
- Etkileşim
  - Değişik sinyallerin iletilen sinyalleri etkilemesi yönlendirilmemiş ortamlarda daha fazla olmakla beraber kablolar arasında da etkileşim söz konusudur.
- Yönlendirilmiş ortamlardaki alıcı sayıları
  - Çoklu bağlantı üzerinden haberleşmede alıcılar sinyal üzerinde zayıflamasına sebep olur.

# Elektromanyetik Spektrum



# Yönlendirilmiş Ortamın İletim Karakteristikleri

	<b>Frekans Aralığı</b>	<b>Zayıflama Miktarı</b>	<b>Gecikme Miktarı</b>	<b>Repeater Mesafesi</b>
Bükümlü kablo	0 - 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 $\mu$ s/km	2 km
Bükümlü kablo (çok damarlı)	0 - 1 MHz	0.7 dB/km @ 1 kHz	5 $\mu$ s/km	2 km
Coaxial kablo	0 - 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 $\mu$ s/km	1 - 9 km
Fiber Optik	186 - 370 THz	0.2 to 0.5 dB/km	5 $\mu$ s/km	40 km

# Bükümlü Kablo

- Separately insulated
- Twisted together
- Often "bundled" into cables
- Usually installed in building during construction



(a) Twisted pair

# Bükümlü Kablo- İletim Karakteristikleri

- ⦿ Analog
  - Her 5km - 6km için güçlendirici gerekir.
- ⦿ Dijital
  - Analog ve dijital sinyal olarak iletimde kullanılabilir.
  - Her 2-3km de “repeater” kullanılması gerekir
- ⦿ Sınırlı mesafelerde iletim imkanı sağlar
- ⦿ Sınırlı bant genişliği (1MHz)
- ⦿ Sınırlı veri transfer hızı (100MHz)
- ⦿ Etkileşim ve gürültüden etkilenme durumu yüksek. Ekranlama (shield) ile bu etki azaltılabilir.



# Ekranlı ve Ekransız TP

- Ekransız Bükümlü Kablo (UTP - Unshielded Twisted Pair)
  - Telefon ve LAN kablosu olarak kullanılır
  - Fiyatı en uygun olan çözüm
  - Montaj açısından kolay
  - Harici elektromanyetik dalgalara ve yakındaki diğer kablolardan etkileşime açık olması dezavantajlı yönü
- Ekranlı Bükümlü Kablo (STP - Shielded Twisted Pair)
  - Metal örgü veya ekranlama ile dış etkileşim azaltılmıştır.
  - UTP'ye göre daha pahalıdır
  - Ağır ve sert olması sebebiyle montajı daha zordur
- EIA-568 standardı ile değişik kategorilerde sınıflandırılmıştır.

# Ekranlı ve Ekransız Bükümlü Kabloların Kıyaslaması

	Attenuation (dB per 100 m)			Near-end Crosstalk (dB)		
Frequency (MHz)	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP
1	2.6	2.0	1.1	41	62	58
4	5.6	4.1	2.2	32	53	58
16	13.1	8.2	4.4	23	44	50.4
25	—	10.4	6.2	—	41	47.5
100	—	22.0	12.3	—	32	38.5
300	—	—	21.4	—	—	31.3

# UTP Categories

	Category 5 Class D	Category 5E	Category 6 Class E	Category 7 Class F	Category 7 Class F <sub>A</sub>
<b>Bantgenişliği</b>	100 MHz	100 MHz	200 MHz	600 MHz	1.000 MHz
<b>Kablo Tipi</b>	UTP/FTP	UTP/FTP	UTP/FTP	S/FTP	S/FTP
<b>Insertion Lost (dB)</b>	24	21,3	20,9	20,8	20,3
<b>NEXT Lost (dB)</b>	30,1	39,9	39,9	62,9	65
<b>ACR (dB)</b>	6,1	18,6	19	42,1	44,1

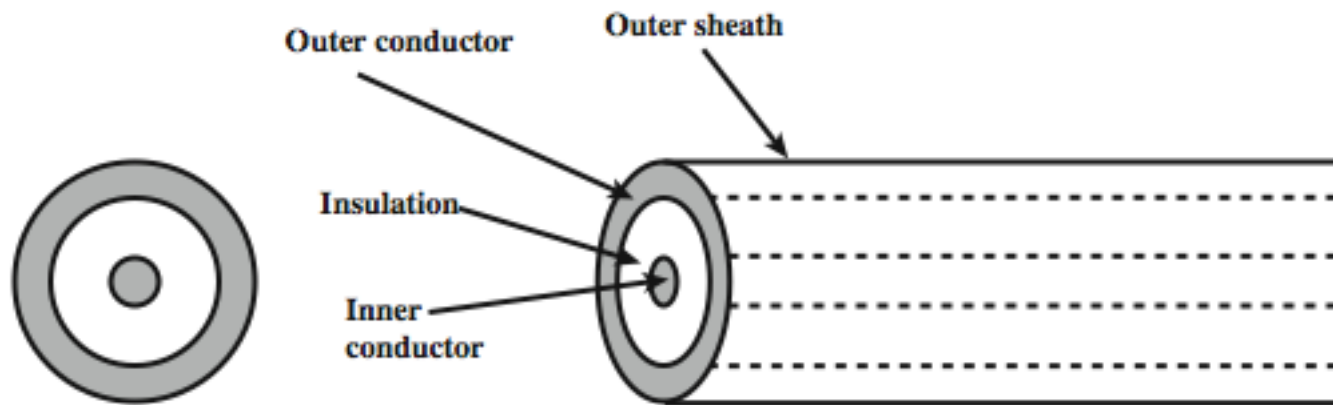
# Performans Parametreleri

- Insertion Loss (Mesafeye Bağlı Zayıflama)
  - Sinyalin hat boyunca zayıflama miktarı
  - Düşük dB daha iyi
  - 100 MHz için tanımlanır
  - Frekansla artan yapıda
  - 100 m de ki en kötü duruma göre verilir
  - Mesafeyle doğru orantılı
  - $A_{dB} = 10 \cdot \log (P_t/P_r)$
- NEXT Loss
  - Yakın Uç Etkileşimi
- ACR (Toplam Kayıp)
  - Zayıflama ve Etkileşim (Attenuation-to-crosstalk)
  - $ACR_{dB} = NEXT_{dB} - A_{dB}$

# Yakın Uç Sinyal Karışması

- Sinyalin bir uçtan diğerine karışması bükümlü kablolarda oluşan bir bozulmadır.
- Etkileşim metal uçlardan veya kablo tellerinden oluşmaktadır.
- Gönderilen sinyalin aynı taraftaki alıcıdan etkileşimle geri dönmesi ile oluşur
  - $NEXT_{dB} = 10 \cdot \log(P_t/P_c)$

# Coaxial Kablo



- Outer conductor is braided shield
- Inner conductor is solid metal
- Separated by insulating material
- Covered by padding

(b) Coaxial cable

# Coaxial Kablo – İletim Özellikleri

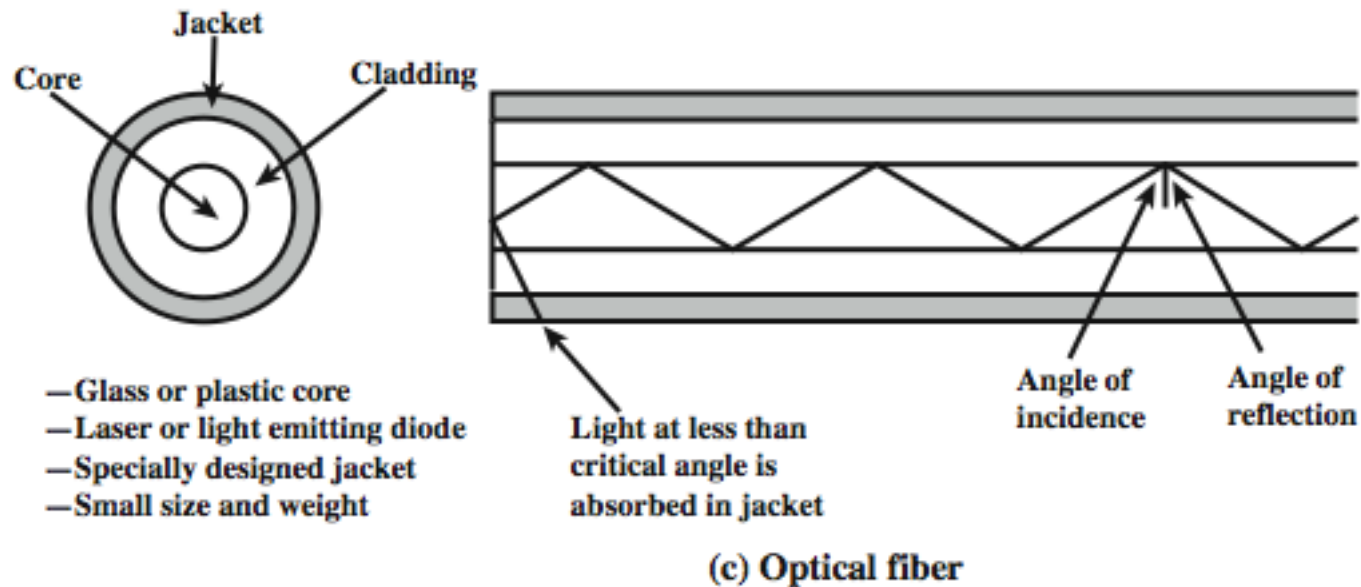
- Bükümlü kabloya göre daha üstün frekans özelliklere sahiptir
- Zayıflama ve gürültü performansı sınırlayan faktörlerdir
- Analog sinyaller
  - Birkaç km de güçlendirici kullanılmalı
  - Yüksek frekanslarda daha yakın mesafede güçlendirme ihtiyacı duyulmaktadır
  - 500MHz e kadar iletim imkanı.
- Dijital sinyal
  - Her 1km 'de repeater kullanma ihtiyacı
  - Yüksek veri hızlarında daha yakın mesafelerde repater kullanılmalıdır

# Coaxial Kablo Kullanımı

- ⦿ Coaxial kablo çok yönlü iletim ortamıdır
- ⦿ Geniş bir kullanım alanı vardır
  - Televizyon yayınlarında
    - Antenden TV 'na veya Kablolu televizyon
  - Uzun mesafeli telefon iletiminde
    - Günümüzde fiber optik, uydu ve mikrodalga daha yaygın
  - Kısa mesafeli bilgisayar sistemlerinin bağlantısında
  - Yerel ağlarda (LAN)



# Fiber Optik



- İletim Kanalı (core): 8-50  $\mu\text{m}$
- Örtü (cladding): Cam veya plastik, 125  $\mu\text{m}$
- Kılıf (jacket) : Plastik, Dış çevreden koruma

# Fiber Optik - Faydaları

- Yüksek kapasite
  - Uzun mesafelere 100 Gbps 'den daha fazla veri transfer imkanı sağlar
- Diğer kablo tiplerine göre daha hafif ve küçük ebatlardadır
- Sinyal zayıflaması çok daha azdır
- Dış çevredeki elektromanyetik alanlardan etkilenmez.
- Kablo etkileşimi ve gürültüye karşı duyarsızdır
- Sinyal zayıflaması az olduğundan repater kullanım mesafesi oldukça uzaktır
  - En az 10 km

# Fiber Optik – İletim Özellikleri

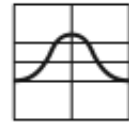
- İç yansımaya ile ışığın iletimine dayalı bir yöntemdir.
  - Fiber optik  $10^{14}$  -  $10^{15}$  Hz arasındaki frekanslar için dalgaların yönlendirilmesini sağlar
- İki temel ışık kaynağı kullanılmaktadır
  - Light Emitting Diode (LED)
    - Ucuz, geniş sıcaklık aralığında çalışabilme, uzun ömürlü
  - Injection Laser Diode (ILD)
    - Daha verimli, daha yüksek veri iletim hızı
- Dalgaboyu, iletim tipi ve veri iletim hızı arasında doğrudan bir ilişki mevcuttur

# Fiber Optik İletim Çeşitleri

Input pulse

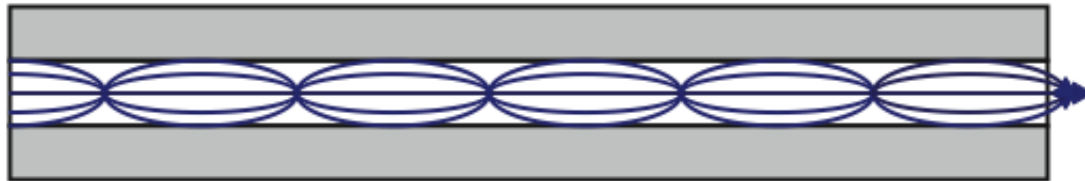


Output pulse

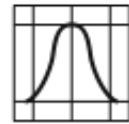


(a) Step-index multimode

Input pulse



Output pulse

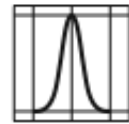


(b) Graded-index multimode

Input pulse



Output pulse



(c) Single mode

# Fiber Uygulamalarda Kullanılan Frekanslar

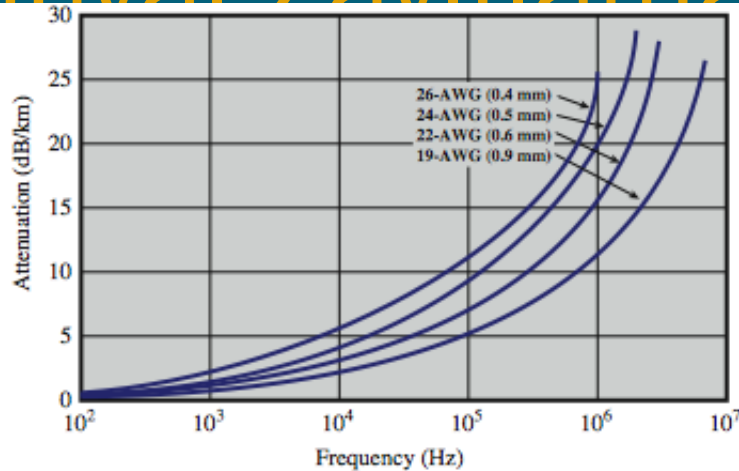
Dalgaboyu aralığı (boşlukta) (nm)	Frekans Aralığı (THz)	Bant Tipi	Fiber Tipi	Uygulama
820 - 900	366 - 333		Multimode	LAN
1280 - 1350	234 - 222	S	Single mode	Değişik
1528 - 1561	196 - 192	C	Single mode	WDM
1561 - 1620	192 - 185	L	Single mode	WDM

WDM: Dalgaboyu bölerek çoklama (Wavelength division multiplexing)

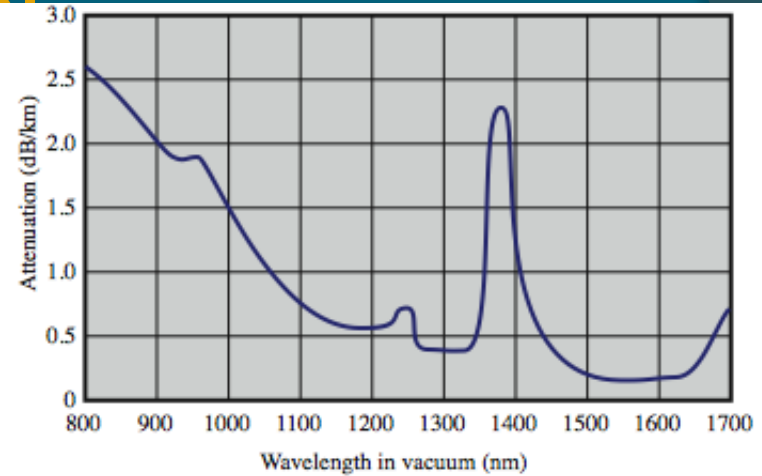
# Fiber Optik Kullanımı

- ⦿ Uzun mesafeli telefon hattı
  - 1.500 km
  - 20.000 - 60.000 ses kanalı
- ⦿ Şehir telefon hatları
  - 12 km
  - 100.000 ses kanalı
- ⦿ Şehir dışı aktarma hatları
  - 40-160 km
- ⦿ Abonelik
- ⦿ Yerel ağlar

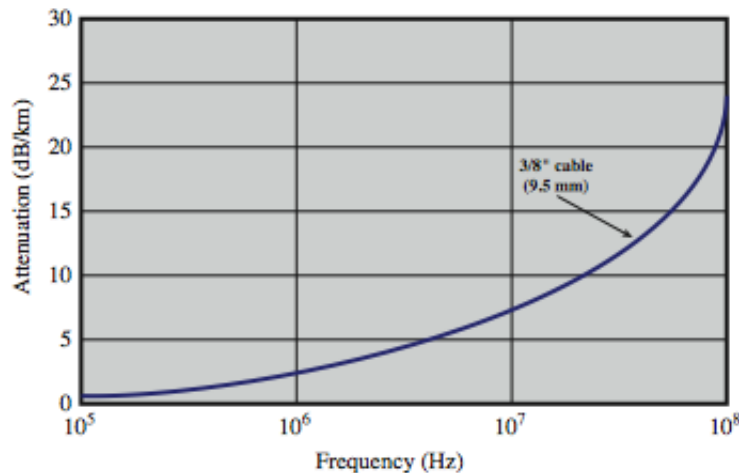
# Yönlendirilmiş Ortamda Sinyal Zayıflaması



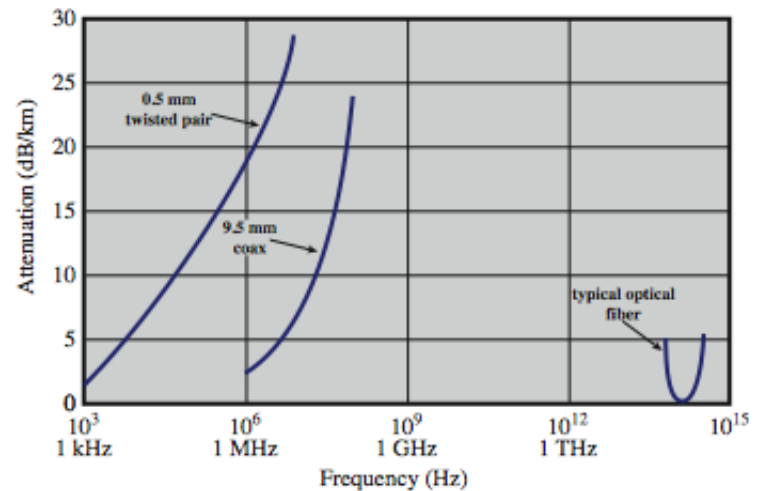
(a) Twisted pair (based on [REEV95])



(c) Optical fiber (based on [FREE02])



(b) Coaxial cable (based on [BELL90])



(d) Composite graph

# Kablosuz İletişim Frekansları

- 2GHz - 40GHz
  - Mikrodalga
  - Yüksek yönlendirebilme
  - Uçtan uca haberleşmeye uygun
  - Uydu haberleşmeleri için de uygun
- 30MHz - 1GHz
  - Her yöne yayılan dalgalar
  - Radyo yayınları için uygundur
- $3 \times 10^{11}$  -  $2 \times 10^{14}$  Hz
  - Kızılötesi (infrared)
  - Kapalı mekanlardaki uygulamalarda kullanılır



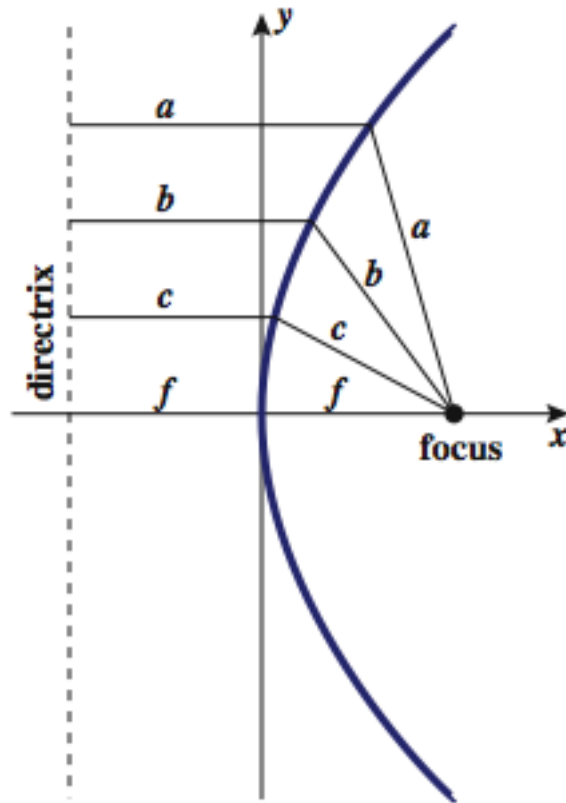
# Antenler

- Yönlendirilmemiş ortamlarda gönderme alma antenlerle gerçekleştirilir.
- Elektromanyetik dalgaların iletkenlerle yayılımını ve toplanmasını sağlar
- Gönderici anten
  - Göndericiden radyo frekansları şeklinde enerji alınır
  - Anten bu enerjiyi elektromanyetik enerjiye çevirir
  - Çevreye yayılır
- Alıcı anten
  - Elektromanyetik enerji anten tarafından algılanır
  - Bu enerji radio frekanslarına dönüştürülür
  - Alıcıya aktarılır
- Çoğunlukla aynı anten hem alıcı hem de verici olarak kullanılır

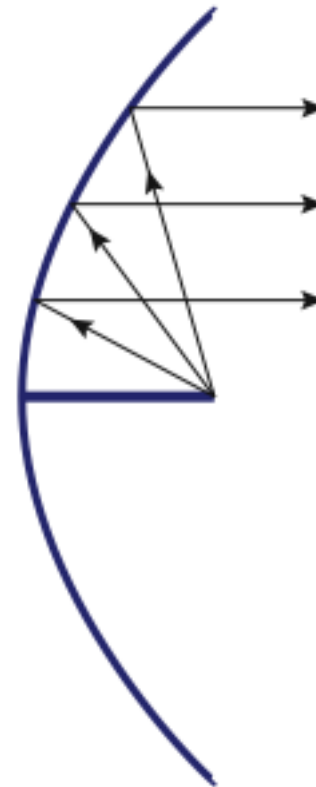
# Yayılma Şekli

- ⦿ Anten enerjinin tüm yönlerde yayılmasını sağlar
- ⦿ Bütün yönlerde aynı performans gösterilmez
  - Yayılma şekli antenin özelliklerinin uzay koordinatlarına bağlı grafiksel olarak gösterilmesi ile tanımlanır
- ⦿ İsootropik anten
  - Anten enerjinin tüm yönlere eşit olarak yayılımını sağlar
  - Antenin merkezde olduğu küresel bir şekil oluşturur

# Parabolik Yansımali Anten



(a) Parabola



(b) Cross-section of parabolic antenna showing reflective property

# Anten Kazancı

- Antenin yönlendirilmesi ile ilgili ölçüdür
- Bir yöndeki çıkış gücünün isotropik antende her yöne doğru dağılan güce kıyaslamasıdır
- Decibel (dB) olarak ifade edilir
  - Kazancın 3 dB olması demek antenin isotropik antene göre belirtilen yönde 3 dB (ya da 2 kat) iyileştirme sağladığıdır
    - $G_{dB} = 10 \cdot \log(P_2/P_1)$ 
      - P1: Yönlendirilmiş antenin yayım gücü
      - P2: Yönlendirilmemiş antenin yayım gücü
- Bir yönde gücün kuvvetlendirilmesi diğer yönlerde gücün zayıflamasına sebep olacaktır
- Antenin etkin alanı
  - Antenin şekli ve büyüklüğü ile ilgilidir
  - Anten kazancı ile ilişkilidir
    - $G = 4\pi A_e / \lambda^2$ 
      - $A_e$  : Etkin alan(m<sup>2</sup>)

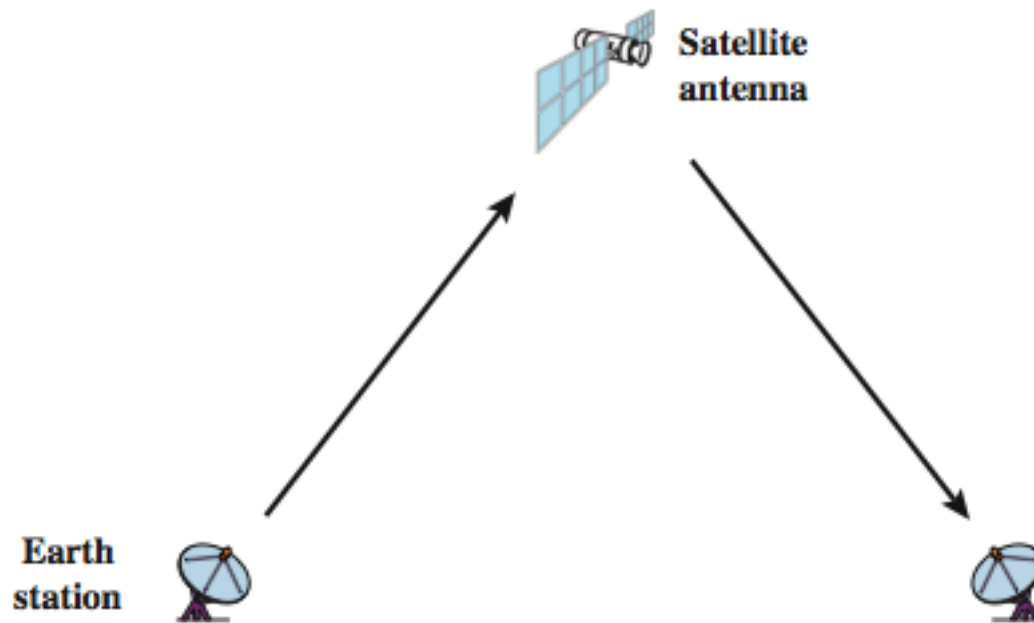
# Karasal Mikrodalga

- Uzun mesafeli haberleşmelerde kullanılır
- Kısa mesafeli bire bir haberleşmelerde de kullanılır
  - Kapalı devre TV ve LAN gibi
- Az sayıda repeater a ihtiyaç duyulur
- Haberleşmenin görüş hattında olması gerekir
- En yaygın anten tipi parabolik çanak antendir
  - Gelen dalgaların alıcıda odaklanmasını sağlar
- 1-40GHz frekans aralığındadır
- Yüksek frekanslar ile daha hızlı veri iletimi yapılır
- Uzun mesafeli iletimlerde aktarma kuleleri kullanılır.
- Yeryüzü şekillerinden etkilenmemesi için antenler çok yüksek yerlere yerleştirilir
- Sinyal zayıflamasına etki eden faktörler
  - Mesafe (mesafenin karesi ile orantılı zayıflama oluşur)
  - Yağmur (özellikle 10 GHz üzerinde)
  - Radyo parazitleri

# Uydu Mikrodalgası

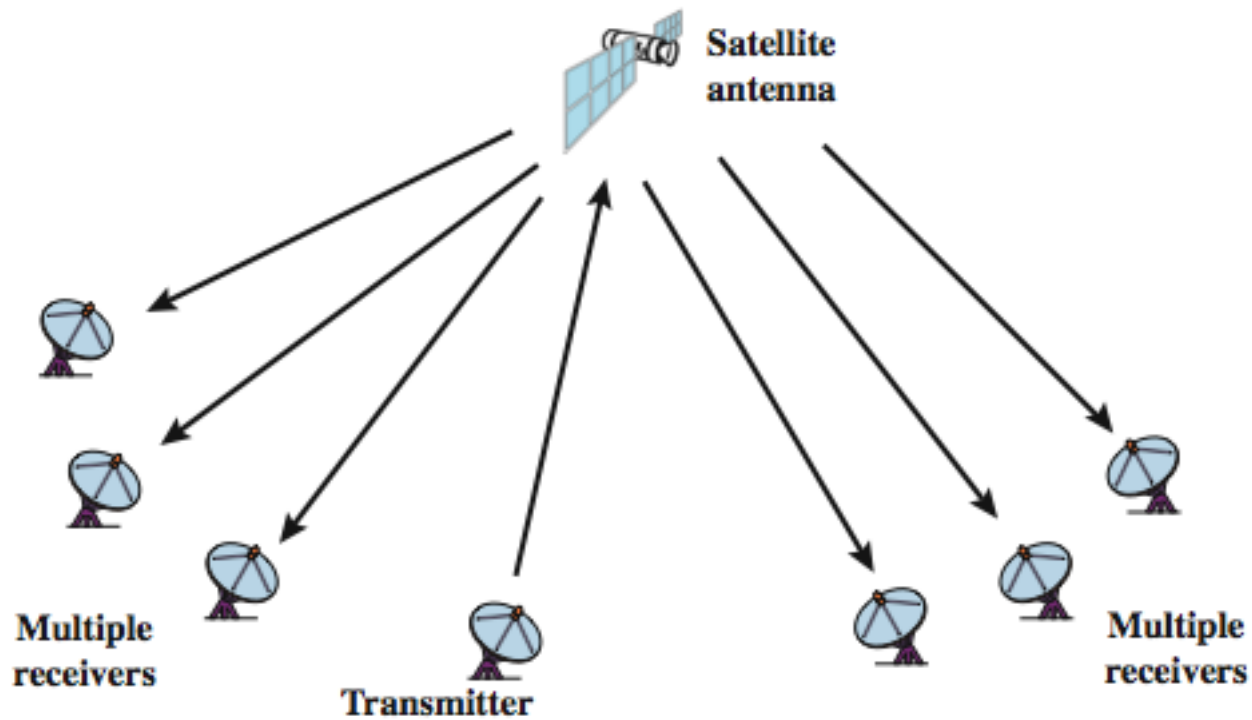
- Uydu bir aktarma istasyonudur
  - Frekansı alır (uplink)
  - Sinyali güçlendirir
  - Farklı bir frekansta gönderir (downlink)
- 4/6 Band için
  - Uplink 5.925-6.425 GHz, Downlink 3.7-4.2 GHz
- 12/14 Band için
  - Uplink 14-14,5 GHz, Downlink 11,7-12,2 GHz
- Sabit bir yörüngede bulunur
  - Yükseklik: 35,784km
  - Diğer uydularla etkileşmemek için 3-4° aralık gerekir
- Kullanım alanları
  - Televizyon
  - Uzun mesafeli telefon haberleşmeleri
  - Özel ticari ağlar
  - Küresel konumlama

# Uçtan Uca Uydu Bağlantısı



(a) Point-to-point link

# Yayın Yapan Uydu Bağlantısı



(b) Broadcast link



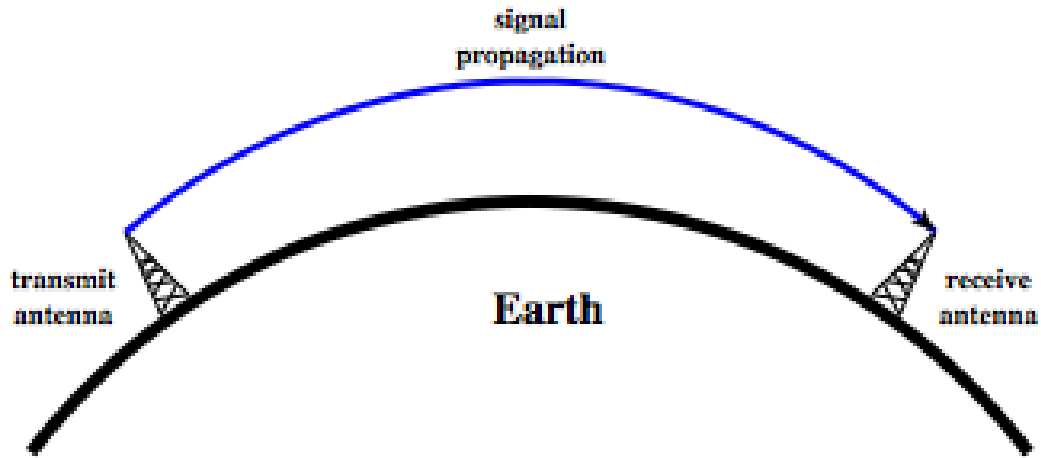
# Radyo Yayını

- ⦿ 3kHz - 300GHz arasındaki frekans aralığı radyo frekansı olarak adlandırılır
- ⦿ Radyo yayınları, 30MHz - 1GHz bandını kapsar
  - FM radyo
  - UHF ve VHF televizyon
  - Veri iletim ağlarında
- ⦿ Her yöne yayılım yapılır
- ⦿ İletim görüş hattı ile sınırlıdır
- ⦿ İletim hattı önündeki engellerden etkilenir
  - Yeryüzü şekillerinden, su ve diğer nesnelerden yansıma oluşur

# Kızılötesi (infrared)

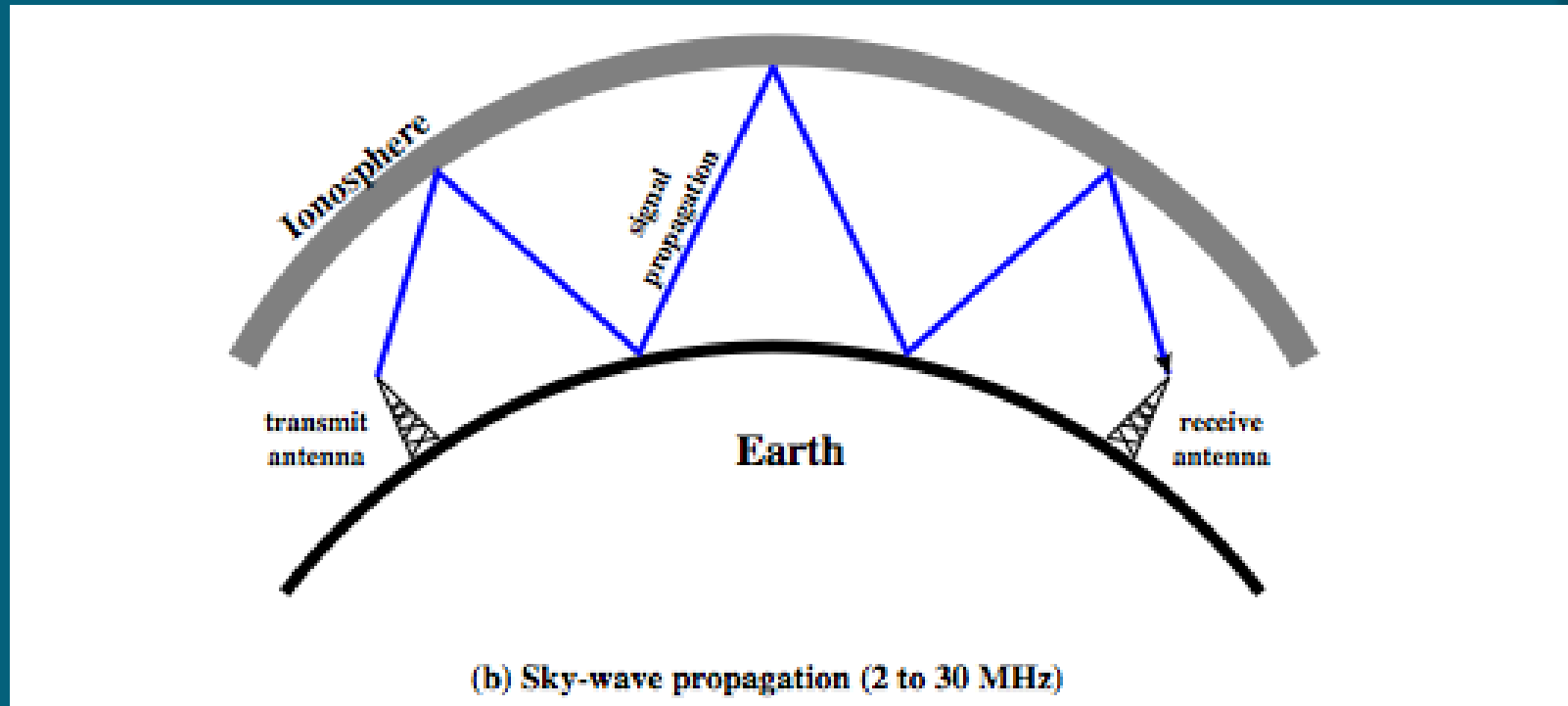
- ⦿ Yapışık olmayan kızılötesi ışığın dönüştürülmesi ile haberleşme sağlanır
- ⦿ İletim şekli
  - Görüş hattında
  - Açık renkli yüzeylerden yansıma ile
- ⦿ Duvarlardan geçemez
  - Güvenlik sağlar
- ⦿ İletim için frekans tahsisi gerekmez
- ⦿ Kullanım alanları
  - TV kumandası
  - IRD port

# Kablosuz Yayma Yeryüzü Dalgası

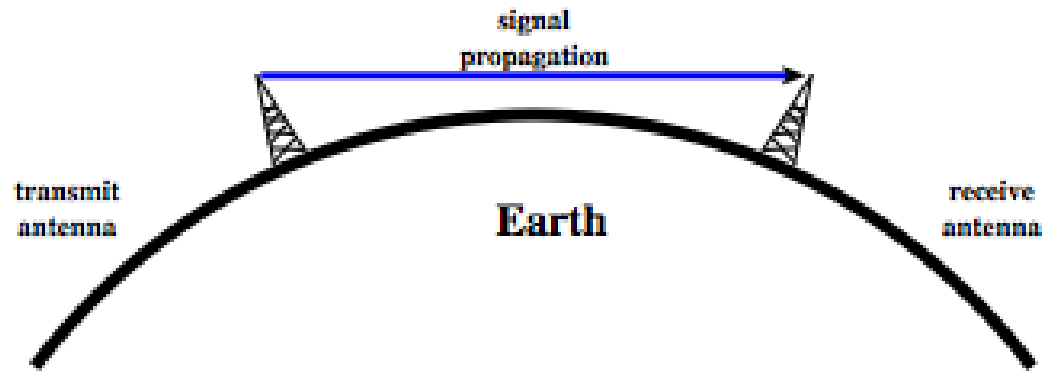


(a) Ground-wave propagation (below 2 MHz)

# Kablosuz Yayma Gökyüzü Dalgası



# Kablosuz Yayma Görüş Hattı



**(c) Line-of-sight (LOS) propagation (above 30 MHz)**

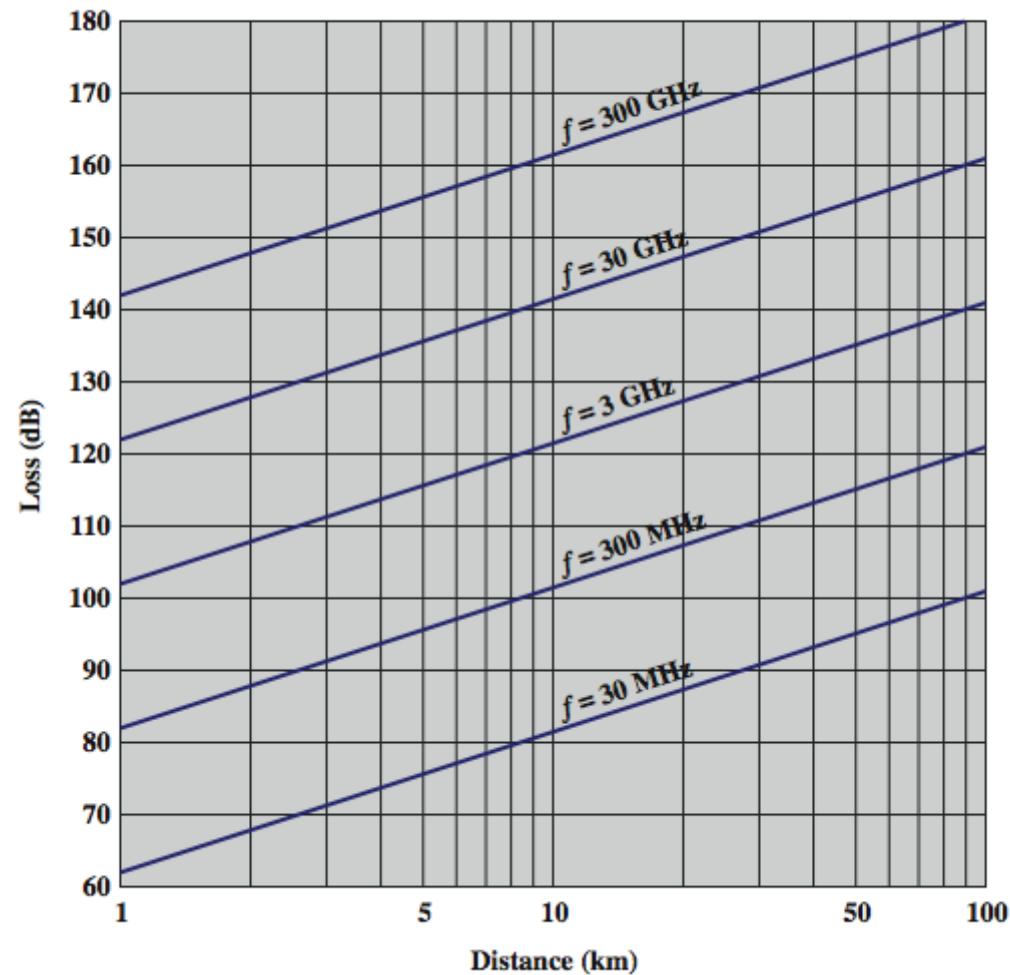
# Kırılım

- Elektromanyetik dalganın hızı iletimin gerçekleştiği ortam yoğunluğu ile ilgilidir  
Işık hızı:  $\sim 3 \times 10^8$  m/s boşlukta, diğer ortamlarda daha az
- Ortamdan ortam geçişte elektromanyetik dalganın hızı değişir
- Kırılım indisi şu şekilde ifade edilir
  - $\sin(\text{çarpma yüzeyinin açısı}) / \sin(\text{kırılma açısı})$
  - Dalgaboylarına göre değişkenlik gösterir
- Ortam yoğunluğu değiştikçe tedrici bir bükülme oluşur
  - Atmosfer yoğunluğu yükseklerde azalır
  - Radyo dalgaları bunun sonucu yere doğru bükülür
  - Bu sebeple optik ve radyo dalgalarının ufukları farklıdır

# Görüş Hattı İletimi (LOS-Line of Sight Transmission)

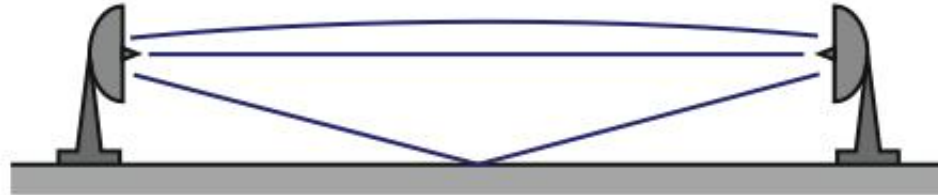
- Serbest kayıp
  - Mesafeden dolayı iletilen sinyalde kayıp oluşur
- Atmosferik Yutma
  - Su buharı tarafından sinyalin zayıflaması
    - 22 GHz maksimum, 15 GHz altında az
  - Oksijen tarafından sinyalin yutulması
    - 60 GHz maksimum, 30 GHz altında az
- Dağıtma
  - Yağmur ve sis, radyo dalgalarını dağıtarak zayıflatır
- Çokyollu (Multipath)
  - İletim yönündeki engellerden yansıyan sinyallerin araya girmesi
- Kırılma
  - Kırılma ile bükülen sinyal alıcıdan uzaklaşır

# Serbest Kayıp

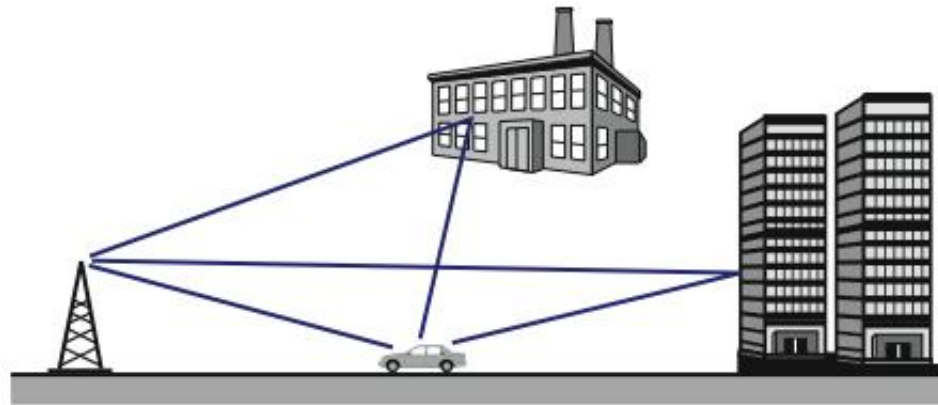




# Çokyollu Araya Girme



(a) Microwave line of sight



(b) Mobile radio