

BÖLÜM 3

3. HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE TEMEL KAVRAMLAR-3

3.1.Modülasyon Sistemleri

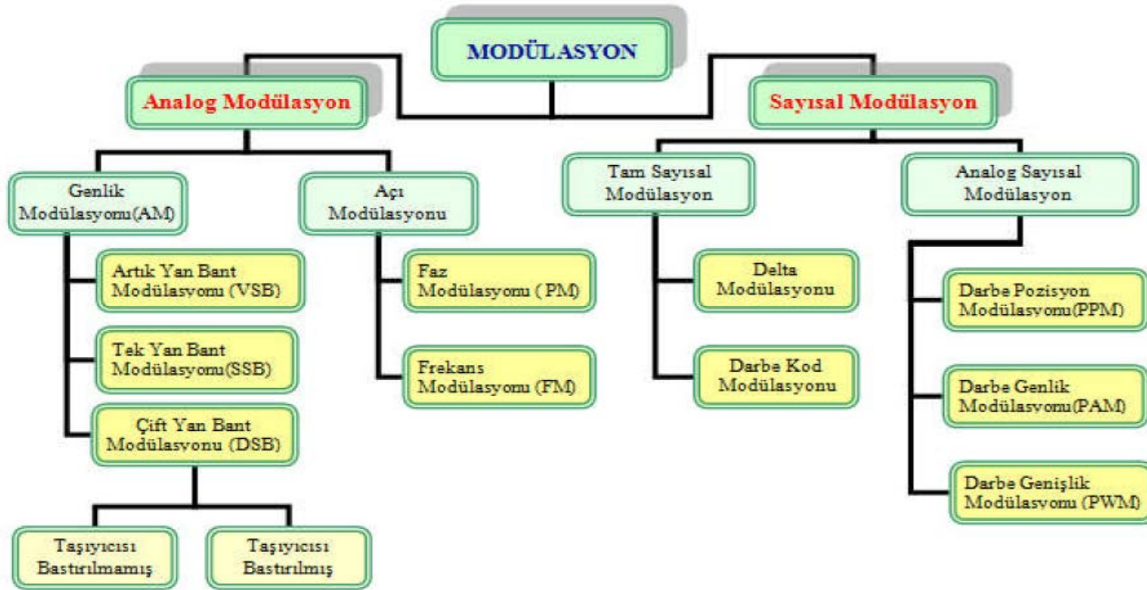
3.1.1. Modülasyon

Bilgiyi kaynağında kullanmak, o bilginin sınırlı sayıda kişinin kullanımına sunulacağı anlamına gelir. Haberleşmede en önemli problem verinin sağlıklı, hızlı ve ulaşabileceği en uzak noktaya iletilmesi problemidir. *Örneğin bir ses bilgisi, bildiğiniz gibi mekanik özellik taşır. Havanın titreştirilmesi ile yayılır.* Gideceği mesafe de pratik olarak sınırlıdır. Kilometrelerce öteye sadece ses yükseltici ve hoparlör kullanarak sesi taşımak pek de akıllıca olmaz. Bu duruma çevreden karışan başka sesle ya da bozucu etkileri de katarsak başka bir yol düşünülmesi kaçınılmaz olacaktır. Çok geniş haberleşme sistemlerinin de yapısı gereği çok pahalı ya da gerçekleştirilmesi imkânsızdır. Örnek olarak genel telefon sisteminde her bir konuşma için bir tel bağlantısına ihtiyaç duyulacaktı. Radyo linki için de çok büyük ve devasa güçlü antenler gerekcekti. Bu durumda parazitlerden kaçınmak için engebesiz bir arazide tek bir istasyonun çalıştırılması gerekir. Bu gibi olumsuzluklardan dolayı genellikle iletilecek sinyal, verici tarafından değiştirilmeden iletilemez. Bu sebeple bilgi sinyalinin daha yüksek seviyedeki taşıyıcı sinyalle birleştirilerek iletilmesi çözümü ortaya atılmıştır. İletilecek sinyalin değiştirilerek oldukça uzak mesafelere iletimini mümkün kılmak, hızlı, verimli ve ekonomik haberleşme için sinyalin modüle edilmesi gerekmektedir. Modülasyon için genel anlamda iki metot kullanılır: Frekans dönüştürme metodu ile bilgi sinyalinin tümünü daha yüksek frekansta bir sinyalin iletilecek bölgeye taşınmasıyla olur. Sinyalin dijitalleştirme yani örnekleme yoluyla bilgi sinyali dijital formda **binary** sayı sistemi kullanarak değiştirilir. Oxford İngilizce sözlükteki modülasyon tanımı, dalganın genlik veya frekansını değiştirerek farklı frekanslar için düzenlenmesidir. Bir özet biçiminde modülasyonun yararlarını yazacak olursak;

- Yayılımı kolaylaştırır. Elektromanyetik alanlar yaklaşık ışık hızında yayıldığı ve uygun şartlarda dağ tepe çukur gibi doğal engelleri kolaylıkla aşarlar. Uzayda ise uygun bir antenle çok uzaklara gidebilirler.
- Gürültü ve bozulmayı azaltır.
- Kanal ayrımı sağlar. Yani modülasyon sayesinde aynı iletim hattında birden çok bilgi yollama olanağı sağlar.
- Çevresel etkilerin ortaya çıkardığı pek çok sınırlayıcı etkiyi ortadan kaldırır.
- Modülasyon çalışma frekansını yükselteceği için çalışılan dalga boyu (λ) ve buna bağlı olarak anten boyutu da küçülür.

$$\lambda = c / f$$

$$\lambda = \text{dalga boyu} , c = \text{ışık hızı} , f = \text{çalışma frekansı}$$



Şekil 3.1: Modülasyon türleri

3.1.2. Genlik Modülasyonu (Amplitude Modulation)

Alçak frekanslı bilgi sinyalleri ile yüksek frekanslı taşıyıcı sinyallerin elektronik devre elemanı içinde karıştırılarak, taşıyıcı sinyalinin altında ve üstünde olmak üzere iki tarafında yeni frekanslar elde etme işleminin **modülasyon** işlemi olduğunu anlatmıştık. Genlik Modülasyonu (A.M) ise; *yüksek frekanslı bir taşıyıcının genliğini, modüle edici bir sinyale (bilgi sinyaline) uygun olarak değiştirme işlemi olup bilgi taşıyıcıya, genlik değişiklikleri biçiminde bindirilir.* Genlik Modülatörü, iki girişi bulunan ve doğrusal olmayan bir devredir. Bu iki girişten biri tek frekanslı sabit genlikli taşıyıcı, diğeri ise bilgi sinyalidir. Taşıyıcıyı modüle eden bilgi sinyali, tek frekanslı veya çok frekanstan oluşan karmaşık bir dalga biçimi olabilir. Bilgi sinyaline, taşıyıcı üzerinde değişiklik yaptığı için modüle edici sinyal denir.

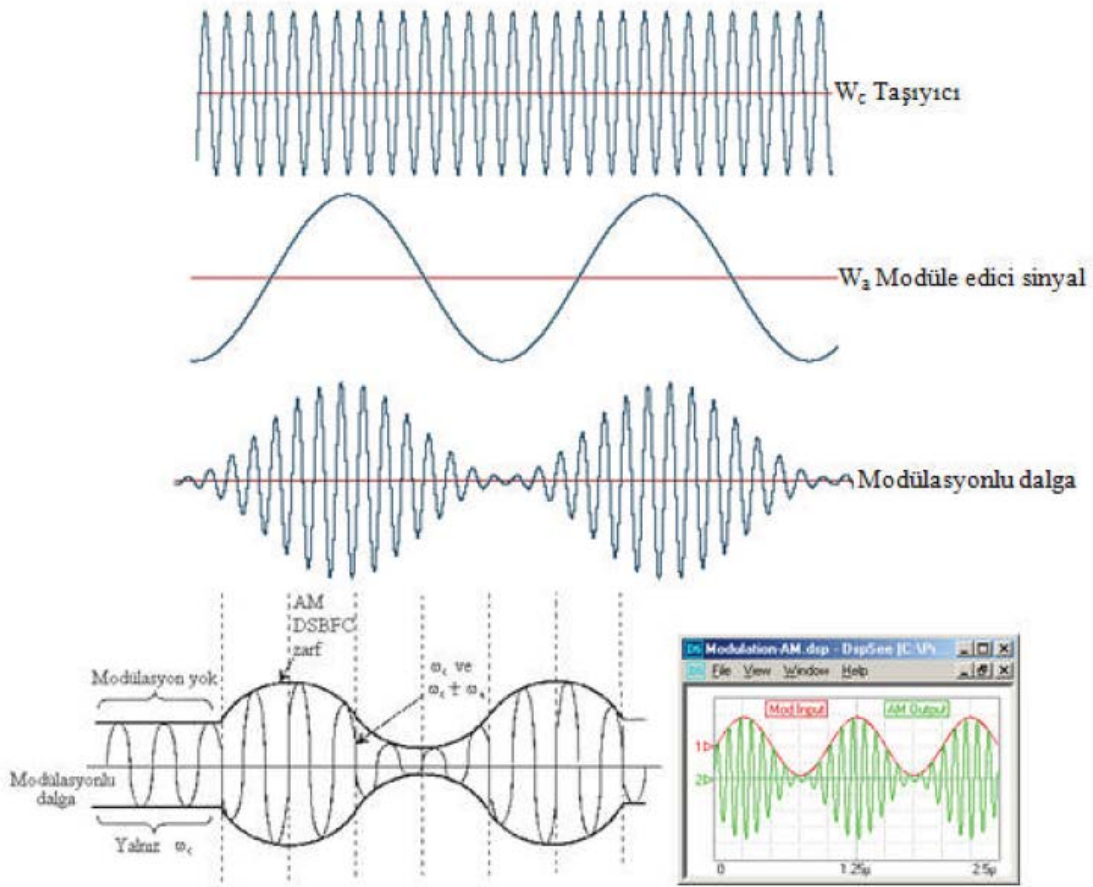
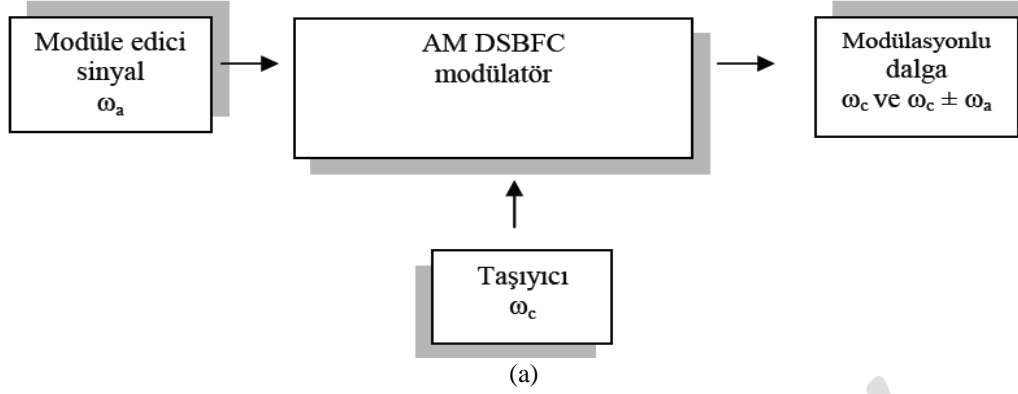
Örnek: Taşıma frekansı 3KHz ve 1Mhz olan iki taşıyıcı sinyal için kullanılacak anten boyutlarını hesaplayınız. ($c=300.000\text{km/sn}$)

Çözüm: Anten boyu $\lambda / 4$ olduğu için

$$\lambda_1 = 300000/3000 = 100 \text{ km ise birinci antenin boyu } 100/4 = 25 \text{ Km dir}$$

$$\lambda_2 = 300000/100000 = 3 \text{ km ise ikinci antenin boyu } 3/4 = 0,75 \text{ Km} = 750 \text{ metredir.}$$

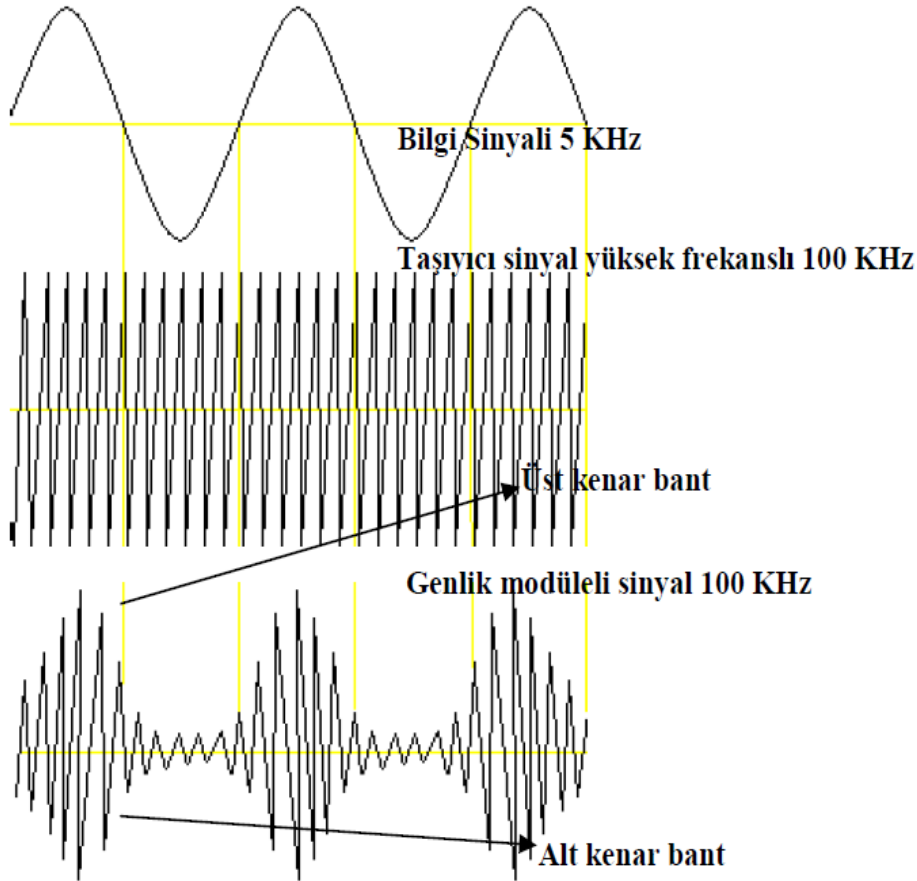
Taşıyıcı, üzerinde etki edilen sinyaldir. Dolayısıyla modülasyonlu sinyal diye adlandırılır. Bilgi sinyalinin taşıyıcıyı değiştirmesi ile oluşan sinyale, modülasyonlu dalga denir. Matematiksel olarak çift yan bantlı tam taşıyıcı (AM-DSBFC), en basit Genlik biçimi olup Şekil-3.2.(a), AM-DSBFC bir modülatör ile taşıyıcı (ω_c), modüle edici sinyal (ω_a) ve modülasyonlu dalga arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



(b)
Şekil 3.2: AM üretimi; (a) AM-DSBFC modülör; (b) Zarf oluşumu

Şekil-3.2.(b); zaman düzleminde, genlik modüleli dalganın tek frekanslı modüle edici bir sinyalden nasıl oluştuğunu ve simülasyon programının çıktı ekranlarını göstermektedir. Modülasyonlu dalga, AM sinyali oluşturan tüm frekansları içermekte olup, bilgiyi sistemde taşımakta kullanıldığı için AM zarfı olarak adlandırılır.

Modüle edici sinyal girişi olmadığında, çıkan dalga sadece yükseltilmiş taşıyıcı olur. Modüle edici sinyal girişi olduğunda, çıkan dalganın genliği modüle edici sinyale uygun olarak değiştirilir. AM zarfının şekli modüle edici sinyalin şekli ile özdeşdir. Ayrıca zarfın bir çevriminin süresi, modüle edici sinyalin periyodu ile aynıdır. Dolayısıyla zarfın tekrarlama hızı, modüle edici sinyalin frekansına eşittir.



Şekil-3.3: Genlik modülasyonunun incelenmesi

Genlik modülasyonunda esas olarak antenden yayınlanan frekanslar; taşıyıcı, toplam ve fark frekanslar (AYB - Alt Yan Band - ve ÜYB – Üst Yan Band -) tır. Şekil-3.3'te 5 KHz. 'lik bilgi ile 100 KHz. 'lik taşıyıcı sinyali genlik modülasyonuna tabi tutulmuş ve modülasyon neticesinde 105 KHz. 'lik bir üst yan bant, 95 KHz. 'lik alt yan bant oluşmuştur. Bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak taşıyıcının genliği değiştirilerek genlik modüleli sinyal elde edilmiştir. Burada unutulmaması gereken nokta, genlik modüleli sinyalin frekansı da 100 KHz.'dir. Çünkü modülasyon sonucunda taşıyıcının frekansı değil, genliği değiştirilir. Taşıyıcı ve bilgi sinyali frekanslarının toplamı üst yan bandı, frekansların farkı ise alt yan bandı meydana getirir. Taşıyıcı sinyali, ses veya müzik işaretleri ile modüle edilirse, modülasyon sonunda taşıyıcı sinyali sabit kaldığına göre değişik frekans değerlerindeki bilgi, sinyal (ses, müzik) frekansı adedinde alt ve üst yan frekansları meydana gelir. Bu alt ve üst yan frekanslarının frekans spektrumu üzerinde kapladığı alana **alt yan veya üst yan bant** adı verilir. Taşıyıcı frekansının üstündeki frekansların oluşturduğu banda "üst yan bandı", taşıyıcı frekansının altında oluşan frekansların meydana getirdiği banda ise "alt yan bandı" adı da verilir. Genlik modülasyonu sonucunda meydana gelen alt ve üst yan bantları ile taşıyıcının frekans spektrumu içerisinde kapladığı alana **kanal veya bant genişliği (BandWide – BW-)** denir ve en yüksek frekanslı modüle eden (bilgi) sinyalin iki katına eşittir. Yeryüzü atmosferinde yayılabilmesi için taşıyıcının üst ile alt yan bantlarda bulunan tüm frekansların RF (Radyo Frekansı) olması gerekir.

$$BW = 2.f_m$$

Modülasyon zarfının genliği ve genlik değişme oranı bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değişir. Modüle eden sinyalin (bilgi) genliği, taşıyıcı sinyal genliğindeki değişme miktarını, bilgi sinyalin frekansı ise taşıyıcı sinyal genliğindeki değişme hızını tayin eder. Bilgi sinyal genliğinin (E_m), taşıyıcı sinyal genliğine (E_c) oranına **modülasyon faktörü veya indeksi** denir 'm' ile gösterilir. Birimi yoktur. (Volt/Volt = 1) Dikkat edilmesi gereken nokta bilgi sinyal genliği hangi birimden (tepeden tepeye, etkin, tepe) alınıyorsa, taşıyıcı sinyal genliği de aynı birimden alınmalıdır.

$$m = (E_m / E_c)$$

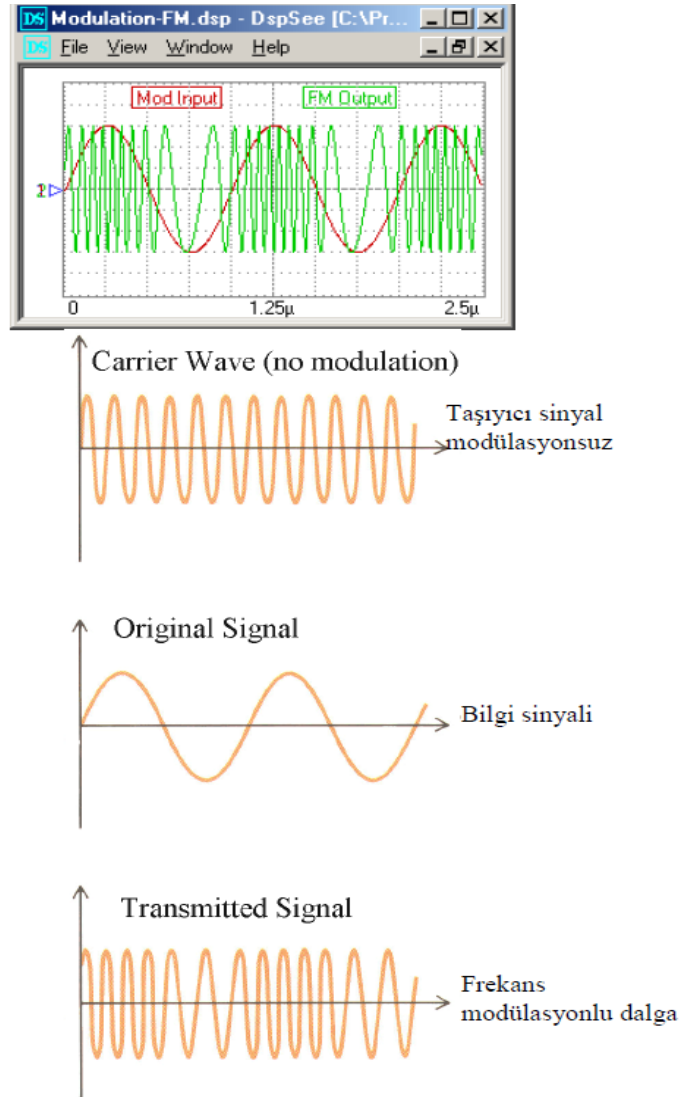
Modülasyon sistemlerinde modülasyon yüzdesi kavramı vardır. Bu yüzde, modülasyon faktörünün 100 ile çarpımına eşittir. %m ile gösterilir. Modülasyon derinliği, modülasyon derecesi $\%m = (E_m/E_c).100$ olarak da bilinir. Aslında modülasyon yüzdesi; bilgi sinyalinin, taşıyıcının yüzde kaçını modüle edebildiğinin ifadesidir.

Örneğin, modülasyon faktörü 0,8 ise modülasyon yüzdesi %80 'dir. Yani, bilgi sinyali taşıyıcının %80 'ini modüle edebilmiştir. Geriye kalan %20 'sini modüle edememiştir. Eğer bilgi sinyali, taşıyıcının tamamını modüle etmişse $\%m = \%100$ 'dür. A.M 'de modülasyon yüzdesinin artması, o sinyalin anlaşılabilirliğini, iyilik derecesini artırır.

3.1.3 Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation, FM)

Frekans modülasyonu (frequency modulation - FM), taşıyıcı dalga frekansının, bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesidir. Frekans modülasyonu, genlik modülasyonundan daha günceldir. Günümüzde, ticari amaçla yayın yapan FM vericiler 87,5 MHz -108 MHz arasında yayın yaparlar. Genlik modülasyonu ile yayın yapan AM vericilerde orta, uzun ve kısa dalgalar kullanılır. Orta dalgadan yayın yapan AM vericiler 550-1600 KHz, uzun dalgadan 150-350 KHz, kısa dalgadan ise 6-18 MHz arasında yayın yaparlar.

Frekans modülasyonu için iki önemli sinyal vardır. Bunlar, alçak frekanslı bilgi ve yüksek frekanslı taşıyıcı sinyaldir. Modüle edilmemiş taşıyıcının frekansına, merkez ya da sükûnet frekansı adı verilir. Örneğin, 3 KHz. 'lik bilgi sinyali ile 100 MHz. 'lik taşıyıcı, frekans modülasyonuna tabi tutulursa, buradaki 100 MHz. taşıyıcının merkez frekansıdır. Modülasyon için gerekli olan sinyaller, Şekil 3.5 'te bilgi ve merkez frekanslı taşıyıcı sinyali olarak gösterilmiştir. Modüle eden (bilgi) sinyalin (+) alternanslarında, taşıyıcının frekansı yükselir. Bu değer merkez frekansının üstündedir. Taşıyıcının en yüksek frekansı, bilgi sinyalinin (+) max değerinde elde edilir. Bilgi sinyalinin (-) alternanslarında, taşıyıcının frekansı azalır. Bu değer merkez frekansının altındadır. En düşük taşıyıcı frekansı, bilgi sinyalinin (-) max değerinde elde edilir. Modüle eden sinyalin genliği sıfırsa, taşıyıcı frekansı merkez frekansına eşittir.



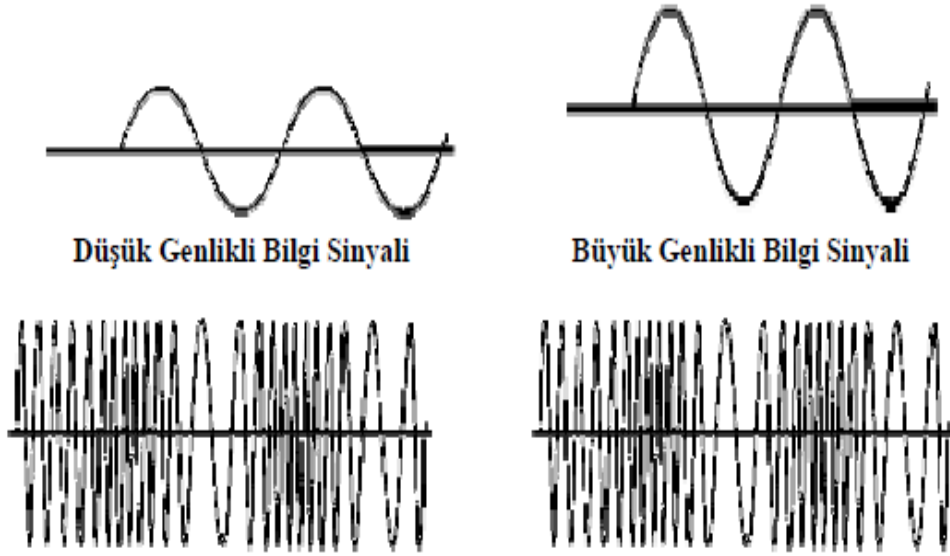
Şekil-3.5: Frekans modülasyonlu sinyalin elde edilmesi

Şekil-3.5'te görüldüğü gibi frekans modülasyonlu dalganın frekansı bir akordeon misali merkez frekansının üstüne ve altına çıkar. Bir F-M 'lu dalganın frekansı, modüle eden sinyal genliğinin değişimine bağlı olarak merkez frekansının altında ve üstünde değerler alır. İşte taşıyıcı frekansı modüle eden sinyalin (+) ve (-) tepe değerlerinin sebep olduğu frekans değişme miktarına **frekans sapması (değişme miktarı, deviasyonu)** denir. Modüle eden sinyalin genliği ne kadar büyük ise frekans modülasyonlu sinyalin, frekans değişme miktarı da o kadar fazladır. Örneğin, düşük genlikli modüle eden sinyal, 100 MHz.'lik bir taşıyıcı frekansını 99,99 MHz ile 100,01 MHz. arasında değiştiriyorsa, buradaki frekans sapması ± 10 KHz dir. Yani, taşıyıcının frekansı merkez frekansının 10 KHz üstüne ve 10 KHz altına düşer.

Aynı merkez frekanslı taşıyıcı sinyali, büyük genlikli modüle eden sinyalle modülasyona tabi tutulup, taşıyıcı frekansını 99,95 MHz. ile 100,05 MHz arasında değiştiriyorsa buradaki frekans sapması ± 50 KHz.dir. Frekans sapma değerlerine bakılarak, bilgi sinyal genliği hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Frekans modülasyonunda, askeri amaçla yayın yapan FM vericilerde ± 40 KHz, sivil amaçla yayın yapan FM vericilerde ise ± 75 KHz. 'lik frekans sapması kabul edilmiştir. FM yayını yapan vericilerin, frekans bantları dışında komşu yan bant frekansları bulunabileceğinden istasyonlar arası karışıma sebebiyet verilmemesi için sivil amaçlı FM vericilerde ± 75 KHz. (150 KHz) 'lik bandın alt ve üst kısımlarında 25'er KHz. 'lik emniyet bandı bırakılmıştır. Böylece band genişliği 200 KHz. 'e çıkarılmıştır. Buna benzer bir şekilde,

askeri amaçla yayın yapan vericilerde mevcut band genişliğinin alt ve üst kısımlarına onar KHz. 'lik emniyet bandı ilave edilerek toplam 100 KHz. 'lik bir band genişliği tahsis edilmiştir.



Şekil-3.6: - Frekans sapmasının bilgi sinyal genliğiyle ilişkisi

Frekans modülasyonunda modülasyon yüzdesi tam sapma, genlik modülasyonundaki %100 modülasyonunun karşılığıdır. (Sivil amaçlı yayınlarda ± 75 KHz.) Tam sapmanın aşılması durumunda **aşırı modülasyon** gerçekleşir.

% 50 modülasyonda, ± 75 KHz $\cdot 0,5 = \pm 37,5$ KHz.

% 30 modülasyonda, ± 75 KHz $\cdot 0,3 = \pm 22,5$ KHz. 'lik frekans sapması olur.

Genlik modülasyonunda olduğu gibi, frekans modülasyonunda modülasyon yüzdesi, bilgi sinyalinin taşıyıcının yüzde kaçını modüle edebildiğinin ifadesidir. Modülasyon yüzdesi,

$\%m = (\pm 50$ KHz. / ± 75 KHz.).100 = %66,7 olarak bulunur.

Genlik modülasyonu ile frekans modülasyonunu genel olarak karşılaştıracak olursak aşağıdaki tabloyu elde ederiz.

Tablo 3.1: Genlik modülasyonu-frekans modülasyonu karşılaştırması

Genlik Modülasyonu	Frekans Modülasyonu
Modülasyon anında taşıyıcının genliği değişir, frekansı ise sabittir.	Modülasyon anında, taşıyıcının frekansı değişir, genliği ise sabittir.
Modülasyon anında, taşıyıcının altında ve üstünde olmak üzere iki adet yan bant oluşur.	Modülasyon anında çok sayıda yan bantları oluşur.
BW, modüle eden sinyal frekansının iki katına eşittir.	BW, modülasyon faktörüyle değişir.
AM vericiler, güçlü vericilerdir.	F-M vericiler, AM vericiler gibi çok güçlü değildir.
AM 'de önemli olan sinyalin uzak mesafelerde dinlenmesidir. Bu yüzden ses kalitesi düşüktür.	F-M 'de önemli olan sesin bozulmadan en uzak mesafelere gönderilmesidir. Sesin kalitesi yüksektir, stereo yayın yapılabilir.
AM yayınlarını almak için ayrıca bir antene gerek yoktur.	F-M yayınları almak için bir antene ihtiyaç vardır.
AM alıcıların ara frekansı 455 KHz. dir.	F-M alıcılarda ara frekans değeri 10,7 MHz.dir.
% 100 modülasyonda modülasyon faktörü bire eşittir.	Modülasyon faktörü genellikle 1'den büyüktür.
Modülasyon sinyal frekansının yükselmesi, taşıyıcı dalga genliğinin çok hızlı değişmesine neden olur.	Modülasyon sinyal frekansının yükselmesi, taşıyıcı frekansının değişme hızını artırır.
Modülasyon sinyal genliğinin yükselmesi, taşıyıcı dalga genliğinin çok yükselmesine neden olur.	Modülasyon sinyal genliğinin büyümesi, taşıyıcının frekans değişme sınırını genişletir.

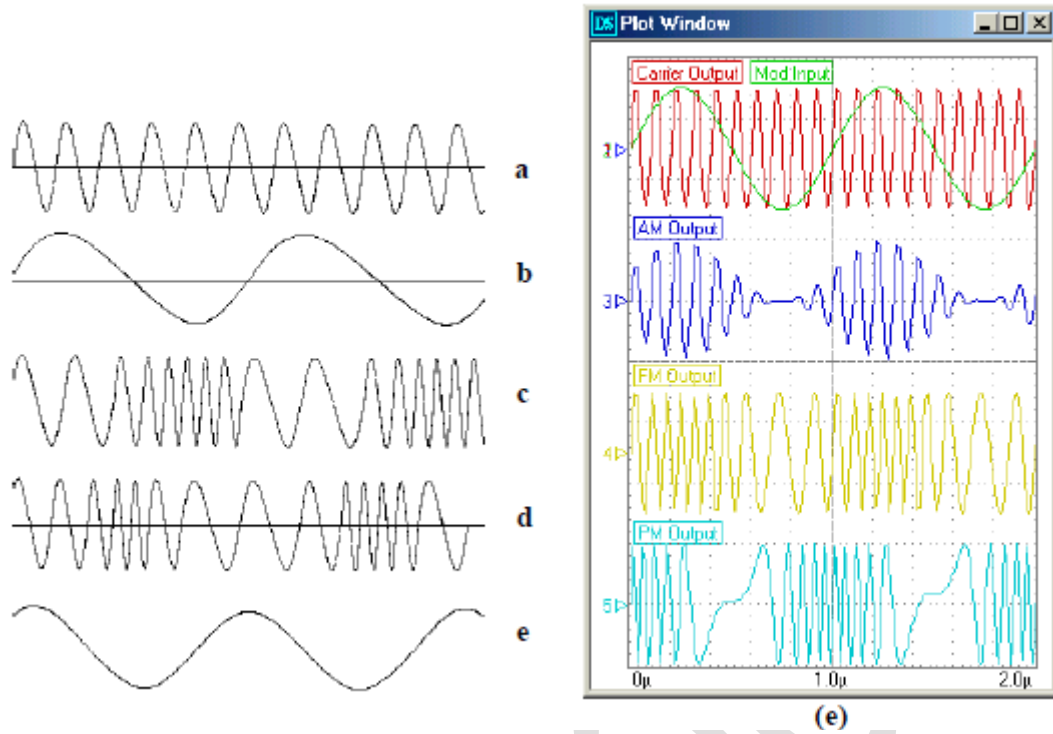
3.1.4 Faz Modülasyonu (Phase modulation)

Taşıyıcı sinyal fazının, bilgi sinyal genlik ve frekansına bağlı olarak değiştirilmesidir. Frekans modülasyonuna çok benzer. Bir taşıyıcının frekansı değiştirildiğinde fazı, fazı değiştirildiğinde de frekansı değişir. Bundan dolayı FM ile PM birbirine benzer. Modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen, taşıyıcının frekansı olursa FM, modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen taşıyıcının fazıysa PM meydana gelir.

Şekil 3.7 'de hem FM, hem de PM sinyal şekilleri gösterilmiştir, (b) şeklindeki modüle edici (bilgi) sinyalin ilk türevi (e) şeklinde olduğu gibi cosinüs dalgasıdır. Ekran görüntüsünde sinyallerin simülasyon görünüşleri verilmiştir. Yani sinüsün türevi cosinüs sinyalidir. Bu sinyal, sinüs sinyalinden 90° ileridedir, (e) şeklindeki türevi alınmış bilgi sinyalinin (-) alternanslarında taşıyıcının frekansı artar, (+) alternanslarında ise taşıyıcının frekansı azalır.

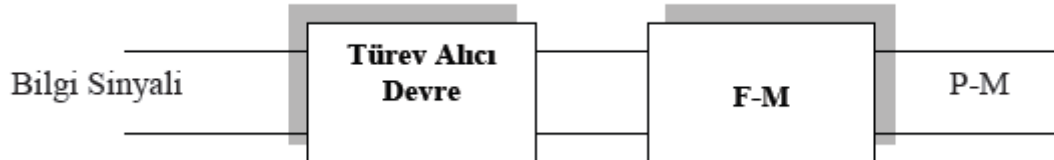
Özetle;

- Bilgi sinyalinin (-) alternansında, taşıyıcının fazı artar. Fazın artması demek, taradığı açı miktarının fazlalaşması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha kısa sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın artmasıdır.
- Bilgi sinyalinin (+) alternansında, taşıyıcının fazı azalır. Fazın azalması demek, taradığı açı miktarının azalması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha uzun sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın azalması demektir.



Şekil 3.7 Sinüsoidal bir taşıyıcının faz ve frekans modülasyonu
 (a) modülesiz taşıyıcı, (b) modüle eden sinyal,
 (c) FM dalga, (d) PM dalga, (e) modüle eden sinyalin ilk türevi

Faz modüleli sinyalin elde edilmesi için Şekil-3.8'deki blok diyagramda görüldüğü gibi bilgi sinyalinin türev alıcı devrede türevi alınan ve F-M modülatöre uygulanır. F-M modülatörün çıkışından P-M elde edilir. F-M de frekans sapması söz konusu iken P-M 'de faz sapması söz konusudur.



Şekil-3.8: Faz modüleli sinyalin elde edilmesi

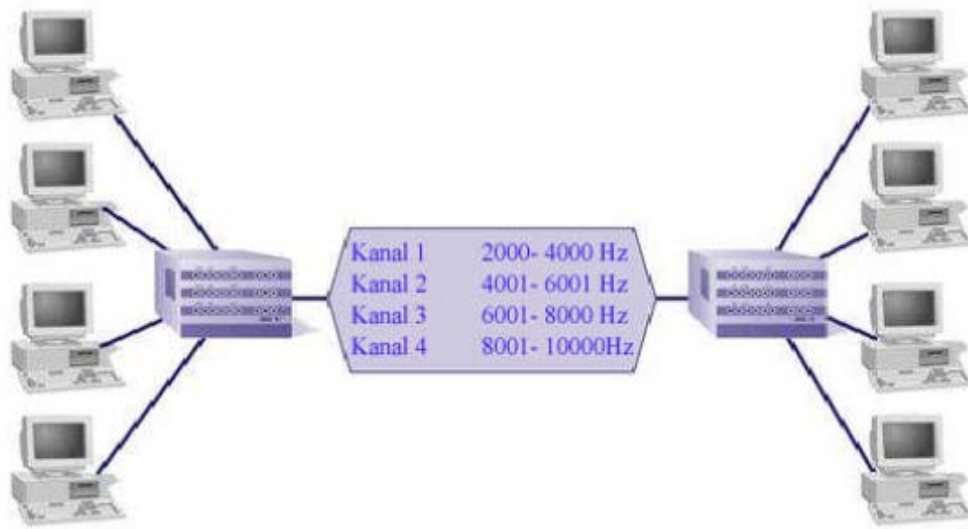
3.2. Çoğullama (Multiplexing)

Bir iletim hattının birçok telefon konuşma kanalı tarafından aynı anda bölüşümlü olarak kullanılmasına çoğullama denir. Telefon konuşma kanallarında uluslararası prensip olarak 300Hz. - 3.4KHz. arasındaki bant genişliği kullanılır. Konuşma kanallarının tek tek iletimi, hem pahalı hem de pratik değildir. Bu nedenle telefon kanalları çoğullama yapılarak örneğin 12, 24, ..., ya da 900 kanal bir arada aynı iletim hattını kullanabilir. Çoğullama tekniği olarak iki yöntem kullanılır:

- Frekans Bölmeli Çoğullama (Frequency Division Multiplexing, FDM)
- Zaman Bölmeli Çoğullama (Time Division Multiplexing, TDM)

3.2.1 Frekans Bölmeli Çoğullama (Frequency Division Multiplexing, FDM)

Frekans bölmeli çoğullama tekniğinde iletim hattının toplam bant genişliği her bir konuşma kanalı için 4 KHz.lik bölümlere ayrılır. Her kanal 4KHz.lik farkla ardışık artan farklı taşıyıcı frekanslarını modüle eder. Örneğin, ilk konuşma kanalının taşıyıcı frekansı başlangıç 62KHz. olsun. Bu durumda 2.kanal için $(62+4=)$ 66KHz., 3.kanal için 70KHz....., ve 12. kanal için taşıyıcı başlangıç frekansı 106KHz. olur. Ancak bir kanalın bitiminden sonra diğeri hemen başlamaz. Çünkü taşıyıcı bant genişliği 4KHz. olmasına rağmen konuşma kanalı bant başı ve bant sonu değerleri 300-3400Hz.dir. Taşıyıcı bant genişliğinden konuşma kanalı bant sonu değeri çıkarılıp ikiye bölündüğünde her iki yandan bırakılacak boşluk bulunur. $(4000-3400)/2 = 300$, bulunan değer taşıyıcı bant başına eklenir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 4 kanal FDM için 1000Hz. bant genişliği gerekmektedir. Band genişliği arttıkça iletim problemleri artmaktadır. Sistemlere göre bu band genişlikleri farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple TDM'ler kullanılmaya başlamıştır.

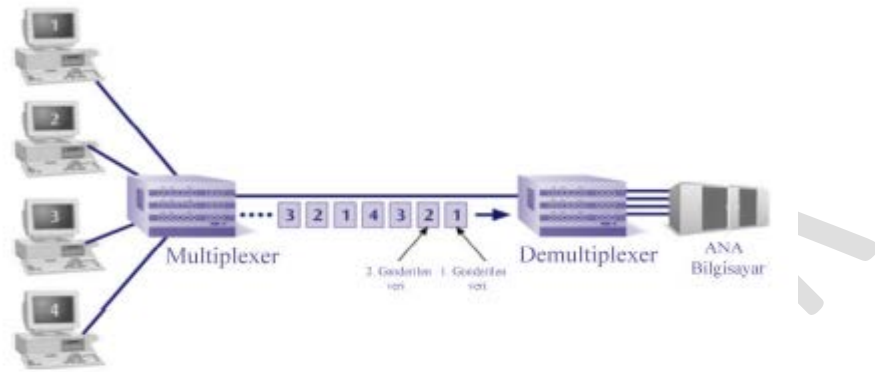


Şekil 3.9: Frekans bölmeli Çoğullama

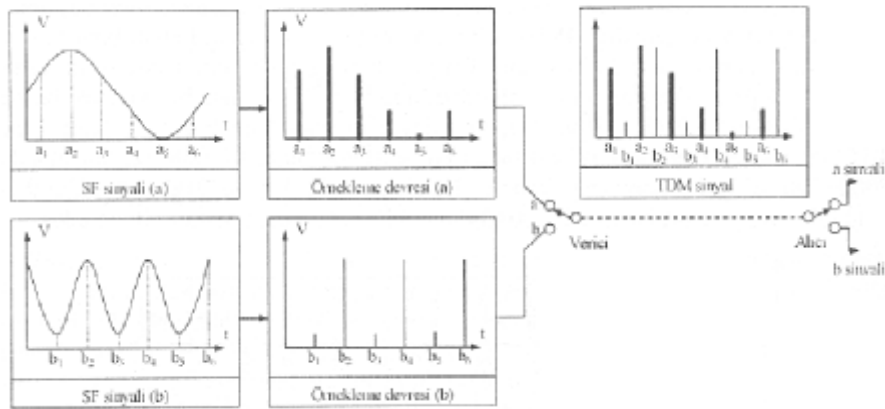
3.2.2 Zaman Bölmeli Çoğullama (Time Division Multiplexing, TDM)

Her bir konuşma kanalının belli aralıklarla örnekleme yapılarak iletim hattının bant genişliği içerisinde sırayla taranmasına ve aynı iletim hattını kullanmasına zaman bölmeli çoğullama denir. Konuşma kanalının örnekleme işlemi zaman bölüşümlü anahtarlama ile yapılır. Ortak bir kaynağı çok sayıda kullanıcı tarafından kısa süreli aralıklarla kullanımına uygun şekilde düzenlenmiş anahtarlama sistemine zaman bölüşümlü anahtarlama denir. Yani her konuşma kanalı, aynı iletim hattını kısa süreli olarak tek başına kullanır. Bu işlem için belli bir uyum gerekir. Gönderici ve alıcı tarafı senkronizeli olarak çalışır. Analog bir sinyalin orijinali kesintisizdir. Belli aralıklarla örnekleme yapılarak çeşitli değerler alındığında kesintiye uğrar. Bu örnekler alıcı tarafına ulaştığında bir alçak geçiren filtreden geçirildiğinde kesintiye uğramış kısımlar orijinaline uygun şekilde doldurulur. Ancak verici tarafında alınan örnekleme sayısı gereğinden az sayıda ise elde edilen sinyal orijinaline uygun olmaz. Örnekleme frekansı data bileşenleri içerisindeki en yüksek frekans değerinin (3400Hz.) en az iki katı değerinde (8Khz) olmalıdır. Şekil 3.11'de görüldüğü gibi iki aynı analog sinyal örneklendikten sonra zaman bölüşümlü anahtarlama ile aynı iletim hattına yerleştirilmektedir. Bu işlem için SF sinyali (a)'dan örnekleme devresi yardımıyla a1, a2,, a3 , a4 , a5 ,a6 zamanlarında aralıklı olarak örnekleme sinyalleri alınır. Aynı işlem SF sinyali (b) için de tekrarlanır. (b)'den alınan Örnekleme sinyalleri b1, b2, b3, b4, b5, b6 olsun. Aynı yöntemle istenilen sayıda SF sinyalinden örnekleme yapılabilir. Burada temel şart analog SF

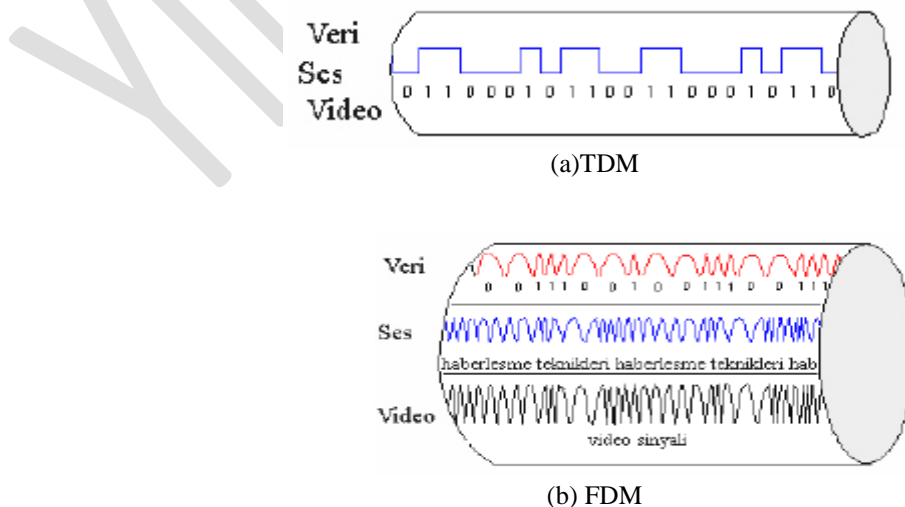
sinyallerinin tümünün eşit aralıklarla ancak farklı zamanlarda örnekleme işlemine tabi tutulmasıdır. Örnekleme devreleri ve anahtarların çalışması birbirleriyle senkronize olmalıdır. Devreye göre verici anahtar önce a1 örnek pulsini almak için a konumuna, sonra b1 örnek pulsini almak için b konumuna ayarlanır. Anahtarın sürekli senkronize bir şekilde konum değiştirmesi sonucu iletim hattına örnek pulslerin yerleşimi a1, b1, a2, b2, a3, b3, a4, b4, a5, b5, a6, b6 şeklinde olur. İletim hattının verici tarafında anahtar yardımıyla a ve b sinyallerine ait örnekler ayrıştırılır. Ayrı ayrı elde edilen örnekler alçak geçiren filtreden geçirilerek orijinaline uygun analog SF sinyaline dönüştürülür.



Şekil 3.10: Zaman bölmeli çoğullama



Şekil 3.11: İki kanallı TDM sinyal iletimi



(b) FDM

Şekil 3.12: TDM ile FDM'nin karşılaştırılması

Kaynaklar

1. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Haberleşme Teknikleri, Ankara,2011
2. COLE, M., **Telecommunications**, Prentice Hall, N.J. USA, 1994.
3. ÇÖLKESEN R., **Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri**, Papatya Yayınları, İstanbul, 2002.
4. VURDU H, KOCAAY Ç, NALBANTOĞLU M, **Sayısal İletişim Ve PCM Sistemleri**, PTT Meslek Geliştirme Başmüdürlüğü, Ankara, 1987.
5. KAPLAN Y., **Veri Haberleşmesi Temelleri**, Papatya Yayınları, İstanbul, 2002.
6. J.G. Proakis, **Digital Communications**, McGraw – Hill, New York, 1983.
7. John Ronayne, **Sayısal Haberleşmeye Giriş** , Ceng, FIEE Communications Consultant, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 1997.
8. PASTACI Halit, **Modern Elektronik Sistemler**, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik – Elektronik Fakültesi, İstanbul, 1996.
9. YILMAZ, M., **Modülasyon Teorisi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1986.
10. WAYNE Thomas, **Elektronik İletişim Teknikleri**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul 1997.