

Dr. Sadık YILDIZ

sadikyildiz06@gmail.com

**Gazi Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği
(Teknoloji Fakültesi)**

2025– ANKARA

EE 324 HABERLEŞME SİSTEMLERİ LAB-II

Hafta	EE 324 HABERLEŞME SİSTEMLERİ LAB-II
1	Temel simülasyon programının tanıtılması
2	Örnekle ve tut devreleri
3	PAM modülatörü ve demodülatörü
4	PWM modülatörü ve demodülatörü
5	PPM modülatörü ve demodülatörü
6	PCM modülatörü ve demodülatörü
7	Hat kodlayıcılar
8	Ara Sınav
9	ASK modülasyonu
10	FSK modülasyonu
11	PSK modülasyonu
12	QPSK modülasyonu
13	Telafi
14	Telafi

- MATLAB ile hazır olarak kullanılan conv,conv2,convn hazır fonksiyonları bulunmakla birlikte konvolüsyon sonucunun '0' sıfır indisli değerinin de bulunması için aşağıdaki fonksiyon yazılmış ve bu fonksiyon kullanılarak bir örnek uygulama gerçekleştirilmiştir.

```
function [y,ny] = conv_m(x,nx,h,nh)
nyb=nx(1)+nh(1);
nye = nx(length(x)) + nh(length(h));
ny=[nyb:nye] ;
y = conv(x,h);
end
```

1-KONVOLÜSYON UYGULAMALARI

➤ Örnek 1

```
function [y,ny] = conv_m(x,nx,h,nh)
nyb=nx(1)+nh(1);
nye = nx(length(x)) + nh(length(h));
ny=[nyb:nye] ;
y = conv(x,h);
end
```

```
clear all
close all
clc
```

```
x=[3. 11, 7, 0, -1. 4, 2];
h=[2, 3, 0, -5, 2, 1];
nx =[-3:3];
nh=[-1:4];
[y,ny]=conv_m(x,nx,h,nh)
```

SONUÇ:

y =6	31	47	6	-51	-5	41	18	-22	-3	8	2
------	----	----	---	-----	----	----	----	-----	----	---	---

ny =-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
--------	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---

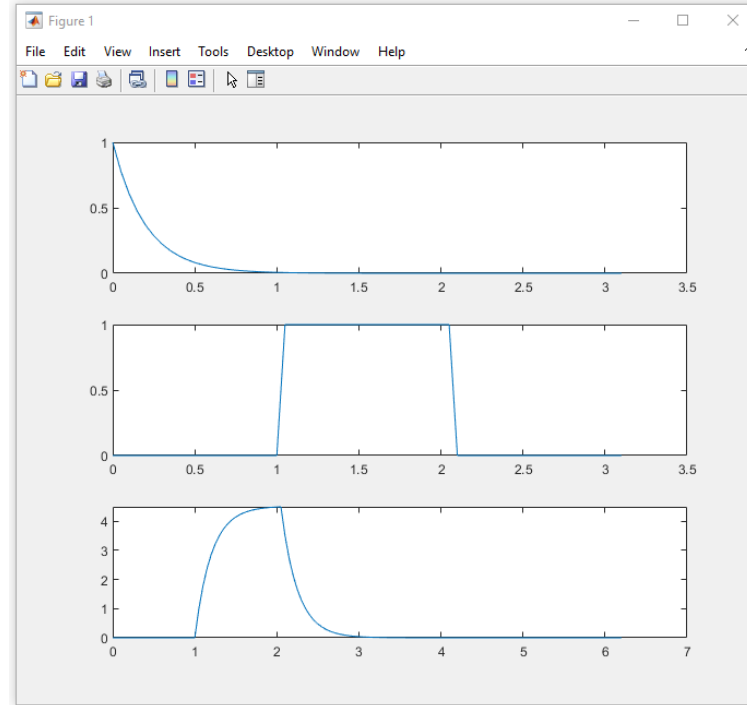
➤ Örnek 2

```
function [y,ny] = conv_m(x,nx,h,nh)
nyb=nx(1)+nh(1);
nye = nx(length(x)) + nh(length(h));
ny=[nyb:nye] ;
y = conv(x,h);
end

clear all
close all
clc

t=0:0.05:3.1;
x=exp(-5*t);
subplot(3,1,1)
plot(t,x);
h=[zeros(1,length(t)/3) ones(1,length(t)/3) zeros(1,length(t)/3)] ;
subplot(3,1,2)
plot(t,h)
subplot(3,1,3)
y=(conv(h,x));
t2=0:0.05:6.2;
plot(t2,y)
```

➤ Örnek 2



➤ Toplanabilir Gürültü

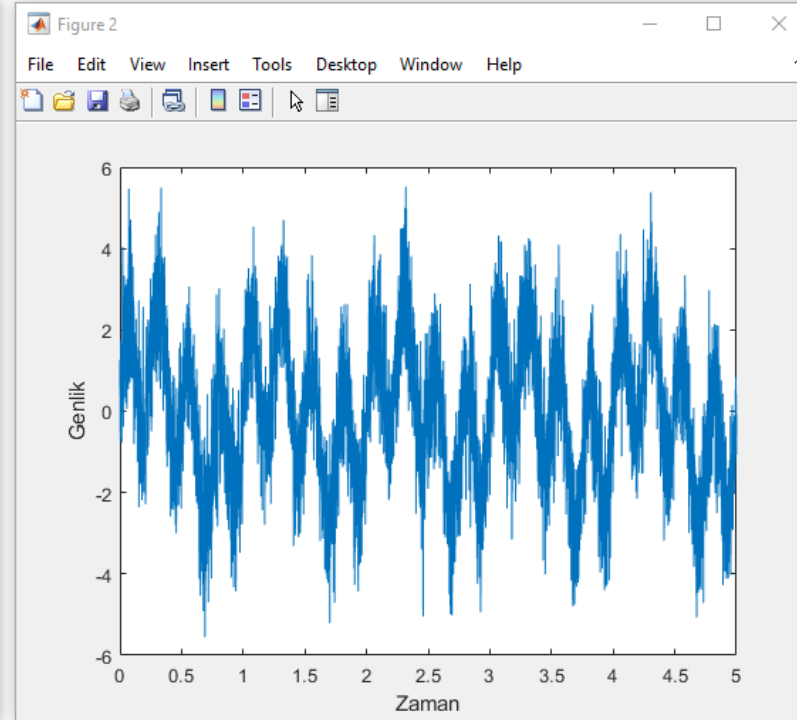
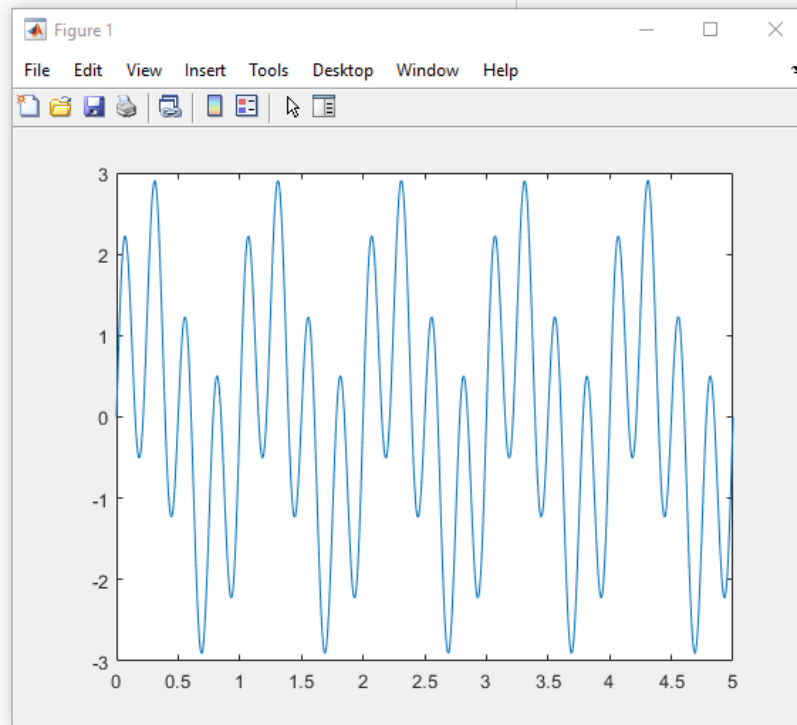
Burada SNR (Sinyal/Gürültü Oranı) değerini -10 ile 10 arasında değiştirerek sinyalde oluşan bozulmayı gözlemleyiniz

```
clear all
close all
clc
t = 0:0.001:5;
x = (1.3)*sin(2*pi*1*t) + (1.7)*sin(2*pi*4*t);
plot(t,x)
snr=0;
figure
y=awgn(x,snr);
plot(t,y)
xlabel('Zaman')
ylabel('Genlik')
```

Bu MATLAB kodu, bir sinyal oluşturup üzerine **SNR (Signal-to-Noise Ratio)** değeri 0 olan bir **beyaz Gauss gürültüsü (AWGN)** ekleyerek etkisini görselleştiriyor. Şimdi SNR'nin -10 ile 10 arasındaki etkisini yorumlayalım.

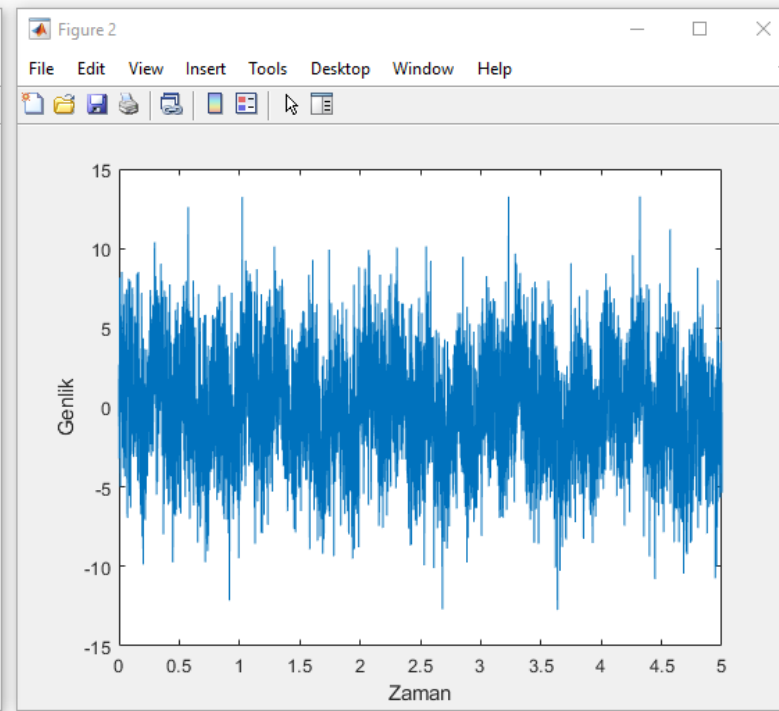
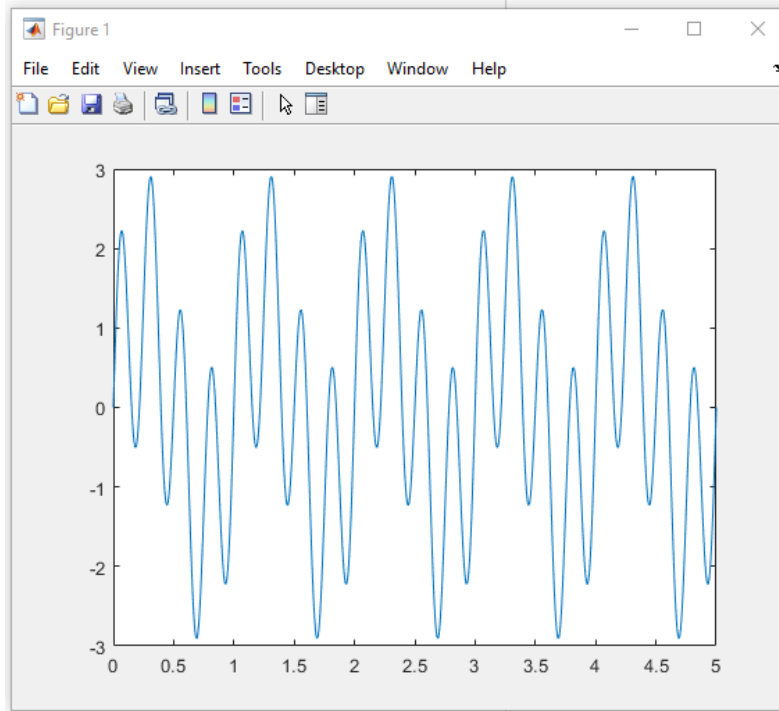
➤ Toplanabilir Gürültü

SNR = 0



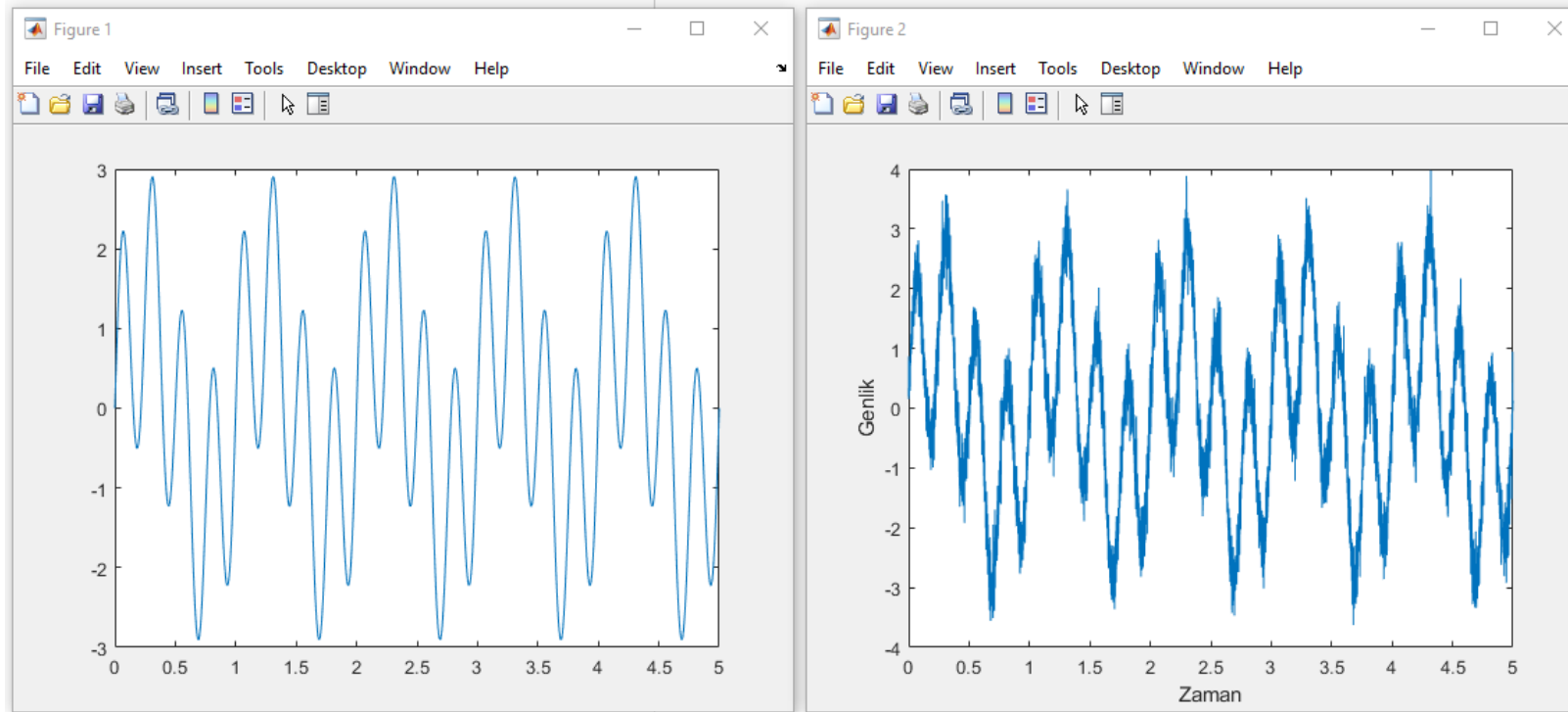
➤ Toplanabilir Gürültü

SNR = -10



➤ Toplanabilir Gürültü

SNR = 10



➤ Toplanabilir Gürültü

❑ İşaret - Gürültü Oranı ve Desibel Kavramı

- ***İşaret gücünün gürültü gücüne*** oranı (SNR) işaret-gürültü oranı olarak adlandırılmaktadır.
- İşaret-gürültü oranı haberleşme sistemlerinde son derece önemlidir. Haberleşme sistemlerinde genelde işaret gücünün gürültü gücüne oranı,
- $SNR_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_{işaret}}{P_{gürültü}} \right)$ ifadesi doğrultusunda **desibel (dB)** cinsinden belirtilmektedir.
- Analog haberleşme sistemlerinde alıcıdaki SNR değerine göre sistemlerin performansına karar verilebilmektedir.
- Analog haberleşme sistemlerinde tipik olarak yüksek kalitede müzik ve ses iletimi için 60 dB seviyesinde çıkış SNR değerleri kullanılmakta, ancak anlaşılabilir ses kalitesinde iletim için ise 10 dB seviyesinde çıkış SNR değerleri kullanılabilmektedir.
- Alıcıda alınan işaretin gücü, vericiden iletilen işaretin gücüne bağlı olarak değiştiğinden iletilen gücün arttırılması sayesinde analog haberleşme sisteminde daha yüksek bir çıkış SNR değeri elde edilebilmekte, yani iletim kalitesi arttırılabilmektedir. Fakat, bu durumda iletim için kullanılan güç ve iletim maliyeti artmaktadır.

➤ Toplanabilir Gürültü

SNR (Sinyal-Gürültü Oranı) değeri -10 dB ile 10 dB arasında değiştiğinde sinyal üzerindeki etkileri şöyle yorumlayabiliriz:

1. SNR = -10 dB (Çok Gürültülü)

- Gürültü seviyesi sinyal seviyesinden daha büyük hale gelir.
- Sinyal neredeyse tamamen kaybolur, sadece bazı anlarda fark edilebilir olabilir.
- Kullanışlı bir sinyal çıkışı elde etmek zorlaşır.
- Pratikte, bu kadar düşük SNR değerlerinde sinyal işleme veya filtreleme teknikleri gereklidir.

2. SNR = -5 dB (Ağır Gürültülü)

- Gürültü hâlâ sinyalden **daha güçlü**, ancak sinyal bazı anlarda ayırt edilebilir olabilir.
- **İletişim sistemlerinde hata oranı çok yüksektir.**
- Sinyalin yeniden yapılandırılması zordur.

➤ Toplanabilir Gürültü

3. SNR = 0 dB (Sinyal ve Gürültü Eşit)

- Sinyal gücü ile gürültü gücü eşittir.
- Grafikte **sinyal kaybolmaya başlar**, çünkü gürültü sinyali maskeler.
- **İletişim sistemlerinde bu seviye genellikle kabul edilemez**, çünkü çok fazla hata içerir.

4. SNR = 5 dB (Gürültü Düşmeye Başlıyor)

- Sinyal, gürültüden biraz daha güçlü hale gelir.
- Sinyal hâlâ bozulmuştur, ancak **filtreleme teknikleriyle kurtarılabilir**.
- **İletişim sistemlerinde minimum kabul edilebilir seviye olabilir.**

5. SNR = 10 dB (Net Sinyal)

- Sinyal, gürültüye göre **10 kat daha güçlüdür**.
- Gürültü hâlâ mevcut, ancak **sinyal açıkça seçilebilir**.
- **Genellikle kabul edilebilir bir sinyal seviyesi elde edilir.**
- **İletişim sistemleri için iyi bir SNR seviyesi olarak değerlendirilir.**

➤ Toplanabilir Gürültü

3. SNR = 0 dB (Sinyal ve Gürültü Eşit)

- Sinyal gücü ile gürültü gücü eşittir.
- Grafikte **sinyal kaybolmaya başlar**, çünkü gürültü sinyali maskeler.
- **İletişim sistemlerinde bu seviye genellikle kabul edilemez**, çünkü çok fazla hata içerir.

4. SNR = 5 dB (Gürültü Düşmeye Başlıyor)

- Sinyal, gürültüden biraz daha güçlü hale gelir.
- Sinyal hâlâ bozulmuştur, ancak **filtreleme teknikleriyle kurtarılabilir**.
- **İletişim sistemlerinde minimum kabul edilebilir seviye olabilir.**

5. SNR = 10 dB (Net Sinyal)

- Sinyal, gürültüye göre **10 kat daha güçlüdür**.
- Gürültü hâlâ mevcut, ancak **sinyal açıkça seçilebilir**.
- **Genellikle kabul edilebilir bir sinyal seviyesi elde edilir.**
- **İletişim sistemleri için iyi bir SNR seviyesi olarak değerlendirilir.**

➤ Toplanabilir Gürültü

SNR (dB)	Durum	Sinyal Kalitesi
-10 dB	Çok Gürültülü	Sinyal neredeyse kaybolur
-5 dB	Ağır Gürültülü	Sinyal seçilebilir ama zayıf
0 dB	Gürültü ve sinyal eşit	Sinyal maskelenir, hata oranı yüksek
5 dB	Gürültü düşmeye başlar	Sinyal bozulmuş ama kullanılabilir
10 dB	Gürültü az	Sinyal rahatça seçilebilir

✚ Sonuç olarak:

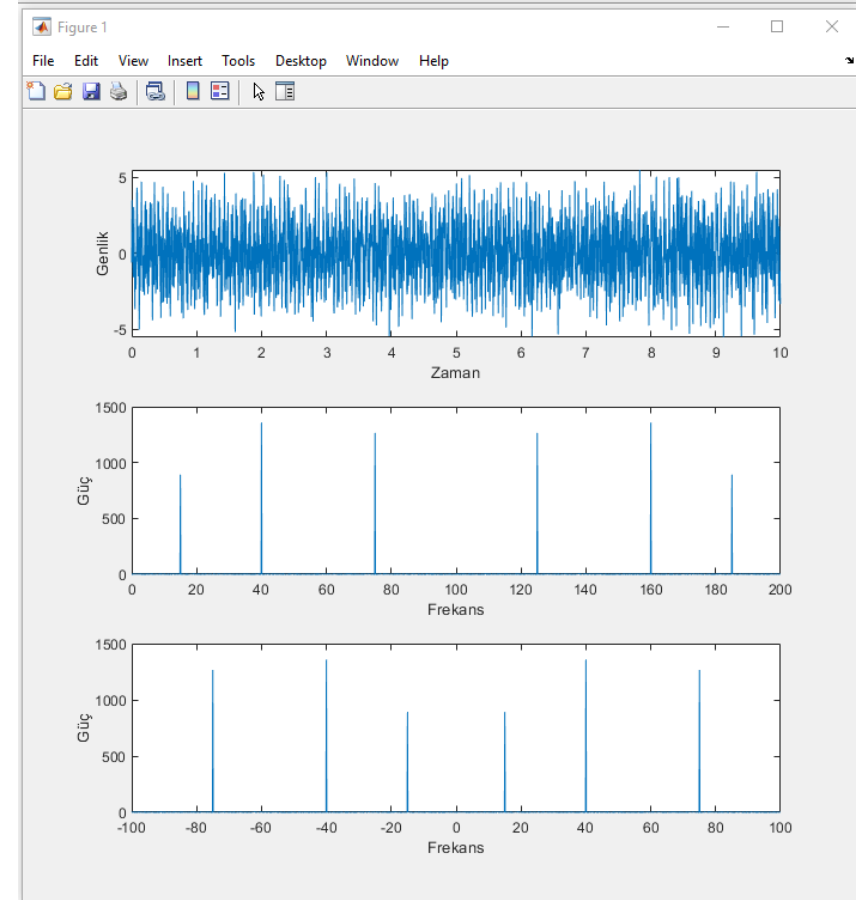
SNR **-10 dB** gibi düşük seviyelerde sinyal kullanılamaz hale gelir. **10 dB** gibi daha yüksek seviyelerde ise sinyal netleşir ve daha verimli hale gelir. **İdeal olarak, iletişim sistemlerinde en az 10 dB ve üstü SNR istenir.**

2. FOURIER DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI



➤ Örnek 1

```
clear all
close all
clc
fs = 200;
t = 0:1/fs:10-1/fs;
x = (1.3)*sin(2*pi*15*t) + (1.7)*sin(2*pi*40*t) + 1.5*sin(2*pi*75*t);
snr=0;
x= awgn(x,snr);
subplot(3,1,1)
plot(t,x)
xlabel('Zaman')
ylabel('Genlik')
y = fft(x);
n = length(x);
f = (0:n-1)*(fs/n);
power = abs(y).^2/n;
subplot(3,1,2)
plot(f,power)
xlabel('Frekans')
ylabel('Güç')
y0 = fftshift(y);
f0 = (-n/2:n/2-1)*(fs/n);
power0 = abs(y0).^2/n;
subplot(3,1,3)
plot(f0,power0)
xlabel('Frekans')
ylabel('Güç')
```



➤ Örnek 1

➤ Kod incelemesi

1. Sinyalin Oluşturulması

```
fs = 200;  
t = 0:1/fs:10-1/fs;  
x = (1.3)*sin(2*pi*15*t) + (1.7)*sin(2*pi*40*t) + 1.5*sin(2*pi*75*t);
```

- **3 farklı sinüs bileşeni içeren** bir sinyal oluşturuluyor:
 - 15 Hz frekanslı, 1.3 genlikli sinyal
 - 40 Hz frekanslı, 1.7 genlikli sinyal
 - 75 Hz frekanslı, 1.5 genlikli sinyal
- **Örnekleme frekansı $f_s = 200$ Hz** seçilmiş. Bu, **Nyquist kriterine** göre en yüksek analiz edilebilir frekansın $\frac{f_s}{2} = 100$ Hz olduğunu gösterir.

➤ Örnek 1

➤ Kod incelemesi

2. Sinyale Gürültü Eklenmesi

```
snr=0;  
x= awgn(x,snr);
```

SNR = 0 dB, yani **sinyal ve gürültü eşit seviyede** olacak şekilde beyaz Gauss gürültüsü ekleniyor. Bu, **sinyalin frekans spektrumunda gürültü bileşenlerinin görülmesine neden olacaktır.**

➤ Örnek 1

➤ Kod incelemesi

3. Zaman Domeninde Sinyalin Gösterimi

```
subplot(3,1,1)  
plot(t,x)  
xlabel('Zaman')  
ylabel('Genlik')
```

Birinci subplot'ta zaman domeninde sinyalin bozulmuş hâli çizdiriliyor. Gürültü eklendiği için düzgün sinüzoidal bileşenler net şekilde görünmez.

➤ Örnek 1

➤ Kod incelemesi

4. Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) ile Frekans Analizi

```
y = fft(x);  
n = length(x);  
f = (0:n-1)*(fs/n);  
power = abs(y).^2/n;  
subplot(3,1,2)  
plot(f,power)  
xlabel('Frekans')  
ylabel('Güç')
```

- **FFT işlemi uygulanıyor.**
- **n:** Sinyalin örnek sayısıdır.
- **Frekans eksenini $f = (0:n-1) * (f_s/n)$ ile oluşturuluyor.**
- $|Y|^2/n$ ile **güç spektrumu** hesaplanıyor.
- **İkinci subplot'ta güç spektrumu tek taraflı olarak gösteriliyor** (Yalnızca pozitif frekans bileşenleri).
- **📌 Beklenen tepe noktaları:**
- **15 Hz, 40 Hz ve 75 Hz'de güç yoğunluğu oluşacaktır.**
- **Ancak, gürültü nedeniyle frekans ekseninde dağınık bileşenler de gözlemlenir.**

➤ Örnek 1

➤ Kod incelemesi

5. FFT Sonuçlarının Frekans Merkezine Kaydırılması

```
y0 = fftshift(y);  
f0 = (-n/2:n/2-1)*(fs/n);  
power0 = abs(y0).^2/n;  
subplot(3,1,3)  
plot(f0,power0)  
xlabel('Frekans')  
ylabel('Güç')
```

- **fftshift()** fonksiyonu kullanılarak, negatif ve pozitif frekans bileşenleri simetrik şekilde merkeze alınarak gösteriliyor.
- Üçüncü **subplot**'ta güç spektrumu **-100 Hz ile +100 Hz** arasında gösteriliyor.
- Bu temsil, spektrumun simetrik doğasını görmek için önemlidir.

➤ Örnek 1

➤ Kod incelemesi

Sonuç ve Yorumlar

1. Zaman Domeni (1. Grafik)

- Gürültülü bir sinyal görüyoruz.
- Saf sinüzoidal bileşenler net değil.

2. FFT ile Tek Taraflı Spektrum (2. Grafik)

- 15 Hz, 40 Hz ve 75 Hz'de belirgin tepe noktaları (peaks) görülmeli.
- Gürültü, spektral bileşenler arasına fazladan güç yayılımı ekler.

3. FFT'nin Kaydırılmış Versiyonu (3. Grafik)

- Spektrum -100 Hz ile +100 Hz arasında merkezlenmiş.
- Sinyalin frekans bileşenlerinin simetrik olduğu net şekilde görülüyor.

➤ Örnek 1

➤ Kod incelemesi

Genel Değerlendirme

- Fourier dönüşümü, zaman domeninde gözlemesi zor olan frekans bileşenlerini açıkça göstermektedir.
- SNR = 0 dB olduğunda, spektrumda geniş bir gürültü tabanı oluşur.
- FFT sonuçlarının fftshift ile merkezlenmesi, spektrumun tüm yapısını görmek açısından faydalıdır.



Öneri:

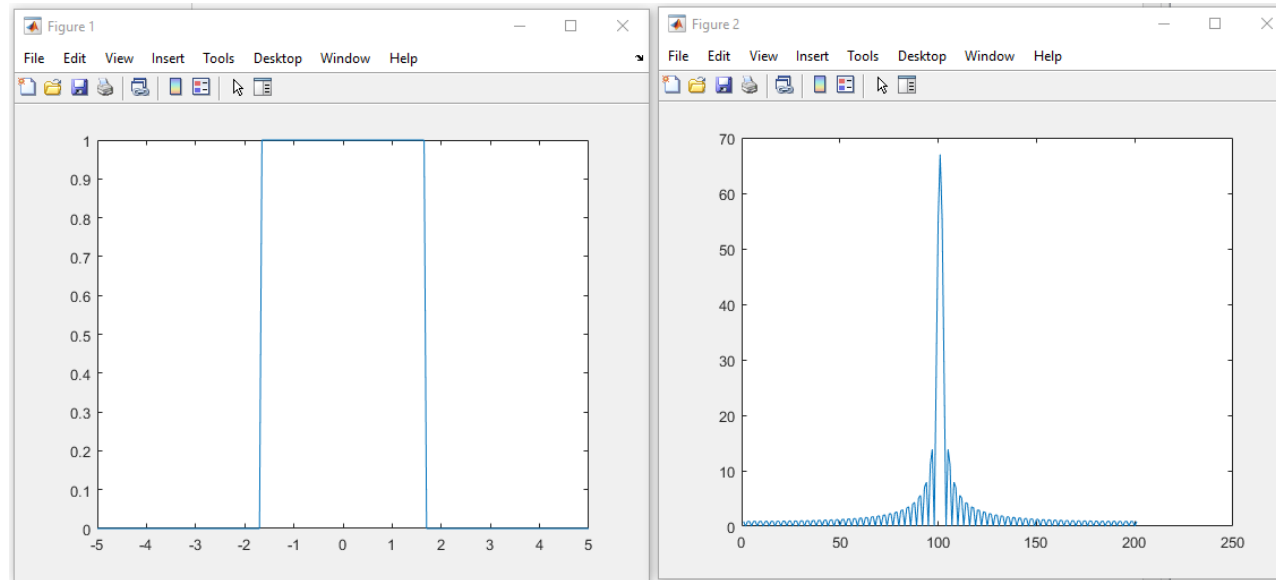
Daha yüksek SNR seviyeleri ile sinyalin frekans bileşenleri daha belirgin hale getirilebilir. Örneğin, SNR = 20 dB yapıldığında, frekans bileşenleri daha keskin olur ve gürültü etkisi azalır.

2. FOURIER DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI



➤ Örnek 2

```
clear all
close all
clc
t=-5:0.05:5;
x=[zeros(1,length(t)/3) ones(1,length(t)/3) zeros(1,length(t)/3)];
plot(t,x)
y=fft(x);
figure
plot(abs(fftshift(y)))
```



➤ Örnek 2

- Bu MATLAB programı, **Fourier dönüşümü kullanarak dikdörtgen dalga formunun (rekt fonksiyonunun) frekans bileşenlerini analiz etmektedir.** Programın her adımını detaylı şekilde inceleyelim.

1. Zaman Domeninde Sinyalin Tanımlanması

`t=-5:0.05:5;`

- Zaman vektörü -5 ile 5 arasında oluşturuluyor.
- Örneklem aralığı 0.05, yani toplam $n = \frac{10}{0.05} = 201$ örnek bulunmaktadır.

➤ Örnek 2

- Bu MATLAB programı, **Fourier dönüşümü kullanarak dikdörtgen dalga formunun (rekt fonksiyonunun) frekans bileşenlerini analiz etmektedir**. Programın her adımını detaylı şekilde inceleyelim.

2. Dikdörtgen Dalganın (rekt fonksiyonunun) Tanımlanması

```
x=[zeros(1,length(t)/3) ones(1,length(t)/3) zeros(1,length(t)/3)];  
plot(t,x)
```

- Dikdörtgen fonksiyonu (rekt fonksiyonu) tanımlanıyor:
- İlk $\frac{n}{3}$ örnek 0 (sıfır) olarak ayarlanıyor.
 - Orta $\frac{n}{3}$ örnek 1 (birim genlikli) olarak ayarlanıyor.
 - Son $\frac{n}{3}$ örnek 0 (sıfır) olarak ayarlanıyor.
- Bunun sonucu olarak, $x(t)$ fonksiyonu bir dikdörtgen dalga üretir.
- İlk çizim (plot) zaman domeninde bu sinyali görselleştirir.

- **Örnek 2**
- Bu MATLAB programı, **Fourier dönüşümü kullanarak dikdörtgen dalga formunun (rekt fonksiyonunun) frekans bileşenlerini analiz etmektedir.** Programın her adımını detaylı şekilde inceleyelim.

3. Fourier Dönüşümü (FFT) ile Frekans Analizi

$y = \text{fft}(x);$

- FFT işlemi uygulanıyor.
- Dikdörtgen dalganın Fourier dönüşümü bir sinc fonksiyonuna ($\sin(x)/x$) benzer.
- Frekans ekseninde sinyalin frekans bileşenleri ortaya çıkacaktır.

- **Örnek 2**
- Bu MATLAB programı, **Fourier dönüşümü kullanarak dikdörtgen dalga formunun (rekt fonksiyonunun) frekans bileşenlerini analiz etmektedir.** Programın her adımını detaylı şekilde inceleyelim.

4. Frekans Domeninde Güç Spektrumunun Görselleştirilmesi

```
figure  
plot(abs(fftshift(y)))
```

- `fftshift(y)` fonksiyonu ile sinyalin negatif ve pozitif frekans bileşenleri merkeze kaydırılıyor.
- `abs()` fonksiyonu ile genlik spektrumu (magnitude spectrum) elde ediliyor.
- İkinci grafik, sinc benzeri spektrumu görmemizi sağlar.

➤ Örnek 2

📌 Sonuç ve Yorumlar

1. Zaman Domeni (1. Grafik)

- Dikdörtgen dalga (rekt fonksiyonu) oluştu.
- Orta bölgede 1, kenarlarda 0 değeri var.

2. Frekans Domeni (2. Grafik)

- FFT sonucu sinc fonksiyonuna $(\sin(x)/x)$ benzeyen bir frekans spektrumu ortaya çıkar.
- Ortada güçlü bir bileşen, yanlarda ise giderek azalan osilasyonlar gözlemlenir.
- Bu, teorik olarak dikdörtgen fonksiyonunun Fourier dönüşümüne uygundur:

$$F(\omega) = A \cdot \text{Sinc}(\omega)$$

- Yan loblar, spektrumun yan frekans bileşenleridir ve dikdörtgen dalgaının keskin geçişlerinden kaynaklanır.

➤ Örnek 2

📌 Genel Değerlendirme

- Dikdörtgen sinyalin Fourier dönüşümü sinc fonksiyonuna benzer bir yapı gösterir.
- FFT ile sinyalin frekans bileşenleri incelenerek, zaman domenindeki ani değişimlerin spektrum üzerindeki etkileri gözlemlenebilir.
- `fftshift()` fonksiyonu kullanılarak negatif ve pozitif frekans bileşenlerinin ortalanması sağlanmıştır.

📌 Öneri:

Eğer daha uzun veya daha kısa bir dikdörtgen dalga tanımlanırsa, Fourier dönüşümündeki sinc fonksiyonunun genişliği değişecektir. Daha uzun bir pencere daha dar bir spektrum, daha kısa bir pencere ise daha geniş bir spektrum üretir.