

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BUHARLI ISITMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ELEMANLARIN  
PERFORMANS TESPİTLERİNİN AKUSTİK ANALİZLERE GÖRE  
YAPILMASI**

**Levent ÖZDEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2013**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUHARLI ISITMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ELEMANLARIN  
PERFORMANS TESPİTLERİNİN AKUSTİK ANALİZLERE GÖRE  
YAPILMASI

Levent ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 29/3/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

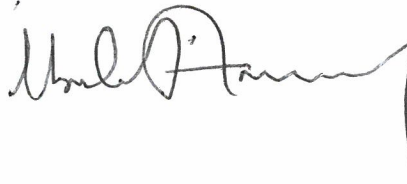
Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY (Danışman)



Prof. Dr. Gabil ABDULLA



Yrd. Doç. Dr. İbrahim ATMACA



## ÖZET

# BUHARLI ISITMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ELEMANLARIN PERFORMANS TESPİTLERİNİN AKUSTİK ANALİZLERE GÖRE YAPILMASI

Levent ÖZDEMİR

**Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY**

**Mart 2013, 78 sayfa**

Buharın proses amacıyla kullanıldığı endüstriyel tesislerde ve büyük çaplı ısıtma sistemlerinde çeşitli kayıplardan dolayı toplam sistem verimi düşmektedir. Buharın gerek üretimi, gerekse iletiminde sistemlerin hatalı çalışmalarından kaynaklanan önemli kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar izolasyon kayıplarının çoğu zaman ötesine geçmektedir. Temel olarak bu kaçakları kazan ve tesisatta olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür.

Titreşim analizleri, performansa dayalı bakımlarda ve arıza analizlerinde öteden beri önemli bir yer edinmiştir. Bu çalışmada ise buhar boru tesisatlarında kullanılan kondensstopların incelenmesinde, buhar kazanı ayar ve çalışma performanslarının tespitinde akustik analiz teknikleri kullanılmıştır. Sesin de bir çeşit sinyal sayılması nedeniyle ses verileri bu çalışmada dijital sinyal kaynağı olarak değerlendirilmiştir. İncelenecek sistemler üzerinden akustik veriyi en iyi yansıtan mikrofonlar kullanılarak dijital sinyaller elde edilmiştir. Kayıt edilen bu veriler zaman serileri olarak kabul edilmiş ve Fourier dönüşümleri yapılarak spektral yoğunlukları çıkarılmıştır.

Kondensstopların tiplerine bağlı olarak kayıt edilen sinyallerle, kondensstopların buhar kaçak miktarları ilişkilendirilerek onarım ve değişim limitleri içerisinde olup

olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca kayıpların sistem geneli çerçevesinde ulaştığı seviye hesaplanmıştır. Kazan performanslarının değerlendirilmesinde ise kazan fan rulman arızaları ve en doğru kazan hava fazlalık katsayısının tespiti işlemi akustik analizler aracılığıyla yapılmıştır. Buhar kazanının eksik veya fazla hava ile yanma akustik verileri üzerinden fourier dönüşümü ve AR kestirim metotları ile güç spektral yoğunlukları hesaplanarak grafikleri elde edilmiştir. Yule-Walker metoduyla hava fazlalık katsayısı tespit edilmiştir. Yine bir başka buhar kazanında primer hava fanında rulman arızalı ve normal durumdaki frekans içeriği Fourier dönüşümü ile hesaplanmış arıza frekansı FIR filtre tasarımı uygulanarak ortaya çıkarılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Akustik, buhar kazanı, kondenstop, hava fazlalık katsayısı, Fourier dönüşümü, spektral analiz, AR metotları, Yule-Walker.

**JURİ:** Prof. Dr. Gabil ABDULLA

Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY ( Danışman)

Yrd. Doç. Dr. İbrahim ATMACA

## **ABSTRACT**

### **PERFORMANCE IDENTIFICATIONS OF EQUIPMENTS USED IN THE STEAM HEATING SYSTEMS BY ACOUSTIC ANALYSES**

**Levent ÖZDEMİR**

**M.Sc. Thesis in Mechanical Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hakan ERSOY**

**March 2013, 78 pages**

The total system efficiency decreases due to the various losses in the systems where the steam is used as the purpose of processes in both industrial plants and large scale heating systems. Important losses occur because of the false work of the systems either during the steam production or during its transferring. These kinds of losses are most of the time bigger than the isolation losses. Fundamentally, it is possible to give the losses in two main groups as fitting losses and boiler losses.

Vibration analysis depending on performance maintenances and trouble analyses has an important area for a long time. In this study, acoustic analysis techniques have been used to examine the steam traps which are used on the steam pipe fittings and to detect the working performances of the steam boilers. Because of the sound is a type of a signal, sound data was evaluated as a source of the digital signal. Signals were obtained by microphones which reflect the best of the acoustic data. This recorded data is accepted as time series and the spectral densities were obtained by doing Fourier transformation.

Depending on the types of steam traps, recorded signals were correlated with the amounts of steam losses of steam traps and it was determined if they were in the maintains and change limits. The range of losses throughout the system were also calculated. Assessing the performance of the boiler, determination of coefficient of

excess air and bearing failures in steam boilers were made by the acoustic analysis. Fourier Transformation and AR methods are utilized to obtain graphical data calculating the power spectral densities with the use of acoustic data from steam boiler combustion both for excess and lack of air. Excess air factor was determined by the method Yule-Walker. On the other hand, the frequencies of both on normal and defective bearings in an other steam boiler at the primer air fan were calculated by using Fourier transformation. The frequency of the defect was identified by applying FIR filter design.

**KEYWORDS:** Acoustic, steam boiler, steam trap, excess air coefficient, Fourier Transformation, Spectral Analysis, AR Methods, Yule-Walker.

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Gabil ABDULLA

Asst. Prof. Dr. Hakan ERSOY ( Supervisor)

Asst. Prof. Dr. İbrahim ATMACA

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada akustik ve sayısal sinyal işleme biliminden yararlanarak, makinaların çalışma performanslarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Makinaların bu performansları, sesinin sinyalleri üzerinden incelenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu ses sinyallerinin frekans bileşenlerine ayırma işlemi de çalışmanın temelini teşkil etmektedir. Bu ayırma işlemleri neticesinde makinaya ait öznelikler çıkararak, kontrol ve kıyaslamalar yapmak amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda tezin konusu, mevcut çalışma alanımı kapsadığı için iklimlendirme sistemleri olarak belirlenmiştir.

Çalışmama sesi iyi tanıyabilmek için akustik bilimini incelemeyle başlamak gerektiği düşünülmüştür. Ses verisini oluşturmak için iyi bir ekipman belirlemek de çalışmanın daha başarılı sonuçlar vermesine yardımcı olacağından dolayı çalışmaya akustik ve ses bilgileri ile başlanmış, veriyi toplamaya en uygun mikrofonu belirlemek için de mikrofon çeşitleri incelenmiştir.

Günümüzde sinyal işleme tekniği çok önem kazanmıştır. Bu teknik ile tıp, mühendislik, istatistik gibi alanlarda çalışmalar çok çeşitlidir. Bu nedenle sinyal işleme biliminin önü çok açık ve çok geniş bir alana sahiptir. Ses de bir nevi sinyaldir. Makine mühendisliğinde de bu alanın kullanılması ile çeşitli yenilikler ve buluşlar yapılabilir.

Çalışmada buhar kazanları, doğalgaz/sıvı yakıt brülörleri ve kondensatör ses analizleri bulunmaktadır.

Çalışma hayatım ile birlikte bu eğitimi sürdürmek epeyce zor olsa da, tezime çok severek başladım. Benim için; bu konuda aldığım dersler ve araştırdığım bilgiler beyin jimnastiği olmuştur. Tezimin her aşaması bana yeni bilgi ve tecrübe elde etmemi sağladı, ufkumu biraz daha genişletti. Bu konuda uzmanlaşmış olmak da ayrıca bir avantaj getirmiştir. Yüksek lisans eğitimini içime sinerek bitirmenin mutluluğunu yaşamaktayım.

Öncelikle bu tezin hazırlanması aşamasında sağladıkları her türlü destek ve yardımlarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan Ersoy'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince gösterdikleri fedakârlıklardan, sabır ve desteklerinden dolayı eşim ve çocuklarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu tezin bu konuda yapılacak bundan sonraki çalışmalara ışık tutmasını diler saygılar sunarım.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Buhar Kazanları .....	1
1.1.1 Fazla veya eksik hava ile yanma .....	3
1.2. Kondenstoplar .....	4
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI .....	9
2.1. Akustik ve Ses.....	9
2.1.1. Dalga hareketi .....	9
2.1.2. Frekans.....	11
2.1.3. Genlik.....	12
2.2. Mikrofonlar .....	13
2.2.1. Dinamik (bobinli, manyetik) mikrofonlar.....	14
2.2.2. Kapasitif (kondansatör) mikrofonlar .....	14
2.2.3. Şeritli( bantlı) mikrofonlar .....	15
2.2.4. Piezoelektrik kristalli mikrofonlar (kristal mikrofonlar) .....	16
2.2.5. Elektret (electret) mikrofonlar.....	17
2.2.6. Karbon tozlu mikrofonlar .....	18
2.3. Periyodiklik ve Periyot .....	18
2.4. Frekans Analizi .....	21
2.4.1. Fourier dönüşümü.....	23
2.4.1.1. Durağan ve sürekli sinyaller .....	27

2.4.2. Kısa- zaman fourier dönüşümü (KZFD).....	29
2.4.3. Ayırık- zaman fourier dönüşümü (AZFD).....	32
2.5. Spektral Analiz.....	33
2.5.1. Güç spektral yoğunluğu .....	36
2.5.2. Yule-Walker AR metodu .....	37
2.5.2.1. Yule-Walker AR metodu ile güç spektral yoğunluğu.....	41
2.5.3. Burg metodu .....	42
2.5.4. Kovaryans metodu .....	44
2.5.5. Değiştirilmiş kovaryans metodu .....	44
3. MATERYAL VE METOT .....	46
3.1. Skoç Buhar Kazanı Spektral Analizleri.....	47
3.1.1. Eksik veya fazla hava ile yanmada çalışan buhar kazanı spektral analizleri.....	47
3.1.2. Rulman arızalı çalışan buhar kazanı spektral analizleri.....	60
3.2 Kondenstop spektral analizleri.....	64
4. BULGULAR .....	68
4.1. Eksik veya Fazla Hava ile Yanmada Çalışan Buhar Kazanı.....	68
4.2. Rulman Arızalı Çalışan Buhar Kazanı .....	69
4.3 Kondenstoplar.....	69
5. TARTIŞMA .....	71
6. SONUÇ .....	74
7. KAYNAKLAR .....	75
8. EKLER .....	78
EK-1 Ölçümlerde Kullanılan Cihazların Hassasiyetleri Tablosu.....	78
ÖZGEÇMİŞ	

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$T$	Periyot
$f$	Frekans
$\omega$	Açısal hızı
$\lambda$	Hava Fazlalık Katsayısı
$w(t)$	Pencere Fonksiyonu
$f(t)$	Sinyal Fonksiyonu
$\alpha$	Genişlik
$\beta$	Normalizasyon Faktörü
$x(n)$	Zaman Dizisi
$fs$	Örnekleme Frekansı
$a_{p(k)}$	AR Parametreleri
$P_{AR}(f)$	AR Parametrelerine Bağlı Güç Spektral Yoğunluğu
$\varepsilon_p$	Beyaz Gürültü
$\phi(\omega)$	Bir Güç Spektral Yoğunluğu Fonksiyonu
$y(t)$	Filtre Çıkışı Fonksiyonu
$z^{-i}$	Birim Gecikme Operatörü $z^{-k}y(t) = y(t - k)$
$e(t)$	$\sigma^2$ ye Eşit Varyansın Beyaz Gürültüsü
$a_i$	Bir Vektörün $i$ . Elemanı
$p$	Model Derecesi
$\hat{e}_{f,p}$	İleri Kestirim Hatası
$\hat{e}_{b,p}$	Geri Kestirim Hatası
$\hat{k}_p$	Yansıma Katsayısı
$\hat{e}_p$	En Küçük Karesel Hata
$\hat{P}_{BURG}(f)$	Burg AR Kestirim metodu ile Güç Spektral Yoğunluğu
$r_x(k,l)$	$x(n)$ gibi bir dizinin oto korelasyonu
$d$	Rulman Bilye Çapı

<i>E</i>	Rulman Adım Çapı
<i>z</i>	Rulman Bilye Sayısı

### **Kısaltmalar**

AC	Alternatif Akım (Alternating Current)
AF	Açık Frekans, Ses Frekans, (Audio frequency)
AR	Özbağlanımlı Modeli
ARMA	Özbağlanımlı Yürüyen Ortalamalı Modeli
AZFD	Ayrık- zaman Fourier Dönüşümü (Discrete-Time Fourier Transform-DTFT)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
EEG	Elektroensefalografi
EKG	Elektrokardiografi
EMK	Elektro Motor Kuvvet
FIR	Sonlu Dürtü Yanıtı (Finite İmpulse Response)
HFD	Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT)
Hz	Hertz
KZFD	Kısa Zaman Fourier Dönüşümü (Short -Time Fourier Transform-STFT)
MA	Yürüyen Ortalamalı Modeli
PSD	Güç Spektral Yoğunluğu (Power Spectral Density)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ses dalgalarının görüntüsü ( <i>Bell Telephone Laboratory</i> ) .....	10
Şekil 2.2. Bir partikülün bir saniyede yaptığı salınım şeması .....	11
Şekil 2.3. Dinamik mikrofonun iç yapısı (Eproje 2012).....	14
Şekil 2.4. Kapasitif (kondansatör) mikrofon yapısı (Eproje 2012) .....	14
Şekil 2.5. Kapasitif (kondansatör) mikrofon devreye bağlantısı (Eproje 2012) .....	15
Şekil 2.6. Şeritli(bantlı) mikrofon yapısı (Eproje 2012) .....	15
Şekil 2.7. Piezo elektrik kristalli mikrofon yapısı (Eproje 2012).....	16
Şekil 2.8. Elektret mikrofon yapısı (Eproje 2012).....	17
Şekil 2.9. Karbon tozlu mikrofon yapısı (Eproje 2012).....	18
Şekil 2.10. Periyot ve periyodiklik şekilleri.....	20
Şekil 2.11. Frekansın periyot üzerinden hesabı ( $T=0,5$ ; $f=2$ Hz.) .....	20
Şekil 2.12. İki sinyalin birleşimi (Aygün 2006) .....	21
Şekil 2.13. Zaman-Frekans-Genlik Düzlemi (Namba ve Ishida 1998). .....	21
Şekil 2.14. Bazı temel sinyallerin frekans spektrumları (Namba ve Ishida 1998). a) sinüs dalgası. b) kare dalga. c) sönümlü dalga. d) dürtü. ....	22
Şekil 2.15. Bazı sinyallerin sinüzoidal bileşenleri (Aygün 2006). ....	24
Şekil 2.16. Tüm zamanda 5, 10, 20 ve 50 Hz ile cosinüs sinyali örneği (Polikar 2012).....	27
Şekil 2.17. Dört frekans bileşenli cosinüs sinyalinin Fourier dönüşümü (Polikar 2012).....	28
Şekil 2.18. Farklı zamanlarda aynı frekanslardan oluşan sinyal (Polikar 2012) .....	28
Şekil 2.19. Durağan olmayan sinyalin Fourier dönüşümü (Polikar 2012).....	29
Şekil 2.20. Kısa zaman Fourier dönüşümü. ....	31
Şekil 3.1. Skoç tipi buhar kazanı ve brülör akustik bilgi kayıt deney düzeneği .....	48
Şekil 3.2. Kondenser mikrofon verisi (Yukarıdan-aşağıya 9 adet) .....	50
Şekil 3.3. Pioze yapıştırma manyetik verisi (Yukarıdan-aşağıya 9 adet) .....	50
Şekil 3.4. Kondenser mikrofon verisi FFT dönüşümü (Yukarıdan-aşağıya 9 adet)....	51
Şekil 3.5. Pioze yapıştırma manyetik verisi FFT dönüşümü	

(Yukarıdan-aşağıya 9 adet).....	51
Şekil 3.6. Kondenser mikrofon verileri, Yule -Walker güç spektral yoğunlukları (9 adet veri) .....	56
Şekil 3.7. Pioze yapıştırma manyetik verileri, Yule -Walker güç spektral yoğunlukları (9 adet veri) .....	56
Şekil 3.8. Kondenser mikrofon verileri, Yule -Walker güç spektral yoğunlukları pik değerleri (9 adet veri) .....	58
Şekil 3.9. Her bir hava fazlalık katsayısına karşın frekans değerleri.....	59
Şekil 3.10. Skoç Buhar Kazanı Ses Sinyali Zaman-Genlik Grafiği (Normal Çalışma) .....	60
Şekil 3.11. Skoç Buhar Kazanı Ses Sinyali Zaman-Genlik Grafiği(Primer Hava Fanı Rulman Arızalı) .....	60
Şekil 3.12. Normal Çalışan Buhar Kazanı Frekans Cevabı.....	61
Şekil 3.13. Fan Rulman Arızalı Buhar Kazanı Frekans Cevabı.....	61
Şekil 3.14. Yule Walker Güç Spektral Yoğunluğu(Normal ve Fan Rulman Arızalı Çalışma) .....	61
Şekil 3.15. Skoç Buhar Kazanı Ses Sinyali Zaman-Genlik Grafiği(Primer Hava Fanı Rulman Arızalı) .....	63
Şekil 3.16. Filtre İşleminden Sonraki Ses Sinyali .....	63
Şekil 3.17. Filtre Edilmiş Rulman Arızalı Ses Sinyalinin Frekans Cevabı.....	63
Şekil 3.18. Buhar Tesisatında Kondens Tahliye Düzeninde Bir Ters Kovalı Kondenstop (Örnek).....	64
Şekil 3.19. Ters Kovalı Kondenstop Üzerinden Alınan Dijital Ses Grafiği(Normal Çalışma) .....	65
Şekil 3.20. Ters Kovalı Kondenstop Üzerinden Alınan Dijital Ses Grafiği(Buhar Kaçırma) .....	65
Şekil 3.21. Termodinamik Prensiple Çalışan Termodinamik Kondenstop Üzerinden Alınan Dijital Ses Grafiği (Normal Çalışma) .....	66
Şekil 3.22. Termostatik Prensiple Çalışan Termostatik Kondenstop Üzerinden Alınan Dijital Ses Grafiği(Normal Çalışma) .....	66

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Orifis çaplarına göre kondenstop kayıpları (Ünlü 2003).....	5
Çizelge 2.1. Sesin çeşitli maddeler içerisinde yayılma hızları (Demirkale 2007).....	13
Çizelge 2.2. Güç Spektral Yoğunluğu Hesaplamalarında Parametrik Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	35
Çizelge 2.3. Giriş datasına karşılık Pxx'in uzunluğu.....	42
Çizelge 3.1. Artan ve azalan hava fazlalık katsayılarına karşın buhar kazanı baca gazı emisyon ve verim değerleri .....	49
Çizelge 3.2. Kondenser mikrofon pik frekanslar.....	55
Çizelge 3.3. Pioze yapıştırma mantyetik pik frekanslar.....	55
Çizelge 3.4. Yule-Walker ve diğer parametrik metotların 9 adet verideki pik değerleri karşılaştırması.....	57

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Buhar Kazanları

Buhar kullanan sistemlerde toplam sistem verimi, çeşitli kayıplardan sonra belirlenebilmektedir. Bu kayıpları, kazanın kendi iç prosesindeki kayıplar ve ısıyı dağıttığımız buhar tesisatlarındaki kayıplar olmak üzere iki ana grupta toplayabiliriz. Bu kayıpların minimize edilmesi ve geri kazanılması, ekonomi açısından çok önemlidir ve günümüzde bu kayıpları faydalı hale dönüştürmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Buharı, prosesin oluşmasında kullanan sanayi sistemlerinde veya buharı ısıtma amaçlı kullanan sistemlerde, yakıt ile aktarılan enerjiyi faydalı enerjiye dönüştürmede ciddi ölçüde sınırlar vardır. Özellikle enerji verimliliğine özen göstermeyen tesislerde, sistem verimi olarak tanımlayabileceğimiz bu değer %50-60 mertebelerinin altına kadar düşebilmektedir. Buhar sistemlerinde çok sayıda noktada ve çok sayıda parametreye bağlı olarak oluşan kayıplar içinde, bacadan sıcak duman gazlarıyla atılan enerji ve kondensle kaybedilen enerji başı çekmektedir. Halen endüstride kullanılan konvansiyonel buhar kazanlarında 300-350 °C baca sıcaklıkları ölçülebilmektedir. Aynı şekilde kondensin tamamının dışarı atıldığı tesisler mevcuttur. Kondenstoplardaki buhar kaçakları çoğu kez fark edilmez ve buhar hiç kullanılmadan kaybedilebilir. Bazı büyük ve yaygın sistemlerde buhar kaçakları inanılmaz boyutlardadır (Arısoy 2005).

Kazan verimini etkileyen faktörler aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir:

1. Eksik veya fazla hava ile yanma (hava fazlalık katsayısı)
2. Baca gazı sıcaklığı,
3. Kazan yüküne bağlı yanma verimi
4. Yakıtın nem içeriğine bağlı su buharındaki ısı,
5. Brülör ve yakıt cinsi,
6. Besi suyu ve yakma havası sıcaklıkları,
7. Kazan dış yüzeyleri yalıtım kalitesine bağlı kazan yüzeyinden olan ısı kaybı,
8. Isıtma yüzeylerinin kirliliği nedeniyle ısı kaybı,
9. Blöf miktarına bağlı olarak blöfteki ısı kaybı (Yıldız 2003).



Bu faktörler kontrol edilerek, kayıpları azaltmak veya geri döndürmek olasıdır. Böylece yakıt enerjisinin büyük bir kısmını amacımız doğrultusunda kullanılması ve kayıpların en aza indirilmesi mümkündür.

Ekonomizörlü 1000 kg/h kapasiteli, 6,6 barda çalışan, doğalgaz yakan bir buhar kazanı verim ölçümünde aşağıdaki değerlere ulaşılmıştır (Gündoğan 2011).

Kuru baca gazı yoluyla olan ısı kaybı	= % 3.09
Baca gazındaki nem nedeniyle olan ısı kaybı	= % 1.40
Kazan yüzeyinden radyasyon ve konveksiyonla olan ısı kaybı	= % 1.24
Blöf nedeniyle olan ısı kaybı	= % 0.87
Isıl verim	= % 93.40

Herhangi bir zamanda anlık olarak yapılan verim ölçümü ve değerlendirmeler yanıltıcı olabilmektedir. Sistem sürekli izlenmeli ve ayar edilmelidir. Değişimler yüke bağlı, ayara bağlı, kullanılan yakıta bağlı olarak meydana gelebilmektedir.

Görüldüğü üzere baca kaybı kazan verimini en çok etkileyen unsurdur. Bu kayıp oranına bağlı olarak da yanma olayında en önemli unsur hava fazlalık katsayısıdır. Kazanlar için de hava fazlalık katsayısı en önemli işletme parametresidir.

Yanma, yanıcı maddenin tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılması, havadan sağlanan oksijenle birleşmesi ve hızlı oksidasyon neticesinde oluşur. Yanma sonucunda ısı enerjisi ve yanma ürünleri açığa çıkar. Normal şartlarda ve yeterli yakıcı oksijen ortamında yakıtlar, çoğunlukla CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüşür (Yılmaz 2001). Ayrıca az miktarda kükürt, azot ve diğer elementlerin oksitleri oluşur. Yanma, kimyasal tepkime gereği gaz fazında yanıcı ve yakıcı elemanlar arasında oluşur. Bu sebeple en kolay yanma gaz yakıtlarda, en zor yanma da katı yakıtlarda gerçekleşir. Yanmanın; türbülans (karışım oluşturma süreci), sıcaklık (tutuşma süreci) ve zaman (yanmanın tamamlanması süreci) olarak bilinen üç temel şartının sağlanması gerekir. Bunların sağlanması için, yakıt ve havanın olabildiğince iç içe karıştırılarak yanıcı karışımın oluşturulması, yanıcı karışım sıcaklığının tutuşturma sıcaklığı üzerine çıkartılarak yanma tepkimesinin başlatılması, yanma tamamlanmaya kadar yanıcı karışımın sıcaklığı, tutuşma sıcaklığı üzerinde olan yanma odasında kalmasının sağlanması

gerekir. Bu üç süreç eş zamanlı, karşılıklı etkileşim içinde ve çok karmaşık oluşum mekanizmalarıyla gerçekleşmektedir (İlbaş ve Yılmaz 2002, Griffiths ve Barnard 1994, Jones 1993).

Yanma esnasında kullanılan gerçek hava-yakıt oranının stokiometrik (teorik) hava-yakıt oranına bölünmesiyle elde edilen boyutsuz değer hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) olarak tanımlanır. Yanmanın tam olabilmesi için yanma hücresi içerisindeki teorik olarak yeterli hava miktarından daha fazla hava olması gereklidir. Bir işletmede yanmanın tam olup-olmadığı, o işletmenin ekonomikliği hususunda önemli rol oynar. Doğal olarak kötü bir yanma için kayıplar artacak ve ısı ekonomisi çok düşecektir. Yanmanın eksik veya tam olduğuna yanmış gazların miktarına bakılarak karar verilir. Yanma çalışmalarında, kazanlar için en önemli işletme parametresi hava fazlalık katsayısıdır. Stokiometrik oksijen ve buna karşılık olan stokiometrik hava, yakıtı yakmak için gerekli teorik miktarlardır. Pratikte genellikle bu miktardan daha fazla hava verilmesi gerekir. 1kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi, teorik (stokiometrik) hava-yakıt oranı olarak ifade edilir (İlbaş vd 1996, İlbaş vd 1995, İlbaş ve Yılmaz 2002).

$$\text{Teorik hava- yakıt oranı} = \frac{1 \text{ kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütlesi (kg)}}{1 \text{ kg yakıt}} \quad (1.1)$$

$$\lambda = \frac{\text{Gerçek hava-yakıt oranı}}{\text{Teorik hava-yakıt oranı}} \quad (1.2)$$

Bir yakıtın tam yanması; yanıcı olmayan madde miktarı,  $a = 0$  ve hava fazlalık katsayısı,  $\lambda > 1$  olduğu zaman gerçekleşir (Yılmaz 2001).

### **1.1.1. Fazla veya eksik hava ile yanma**

Pratikte stokiometrik hava ile tam yanma hiçbir zaman gerçekleşmez (Yılmaz 2001). Nasıl karıştırılmış olursa olsun, oksijenin bir kısmı yanma reaksiyonuna girmeden baca gazından dışarı çıkar. Bu nedenle pratikte genellikle stokiometrik havadan daha fazla hava verilmesi yoluna gidilir. Bir yanma olayının fazla veya eksik

hava miktarları, baca gazındaki CO<sub>2</sub>, CO ve O<sub>2</sub> yüzdeleri ile kontrol edilebilir (Boiler 1999). Baca gazı bileşimi yakıtın cinsine ve hava-yakıt oranına bağlıdır.

Kazanlar için en uygun hava fazlalık katsayısı seçilirken; kazan tipi ve kapasitesi, kullanılan yakıt, verimlilik, çevre faktörleri ve diğer işletme şartları dikkate alınarak bir seçim yapılmalıdır.

Kazanlarda herhangi bir zamanda tek olarak yapılan verim ölçümü ve değerlendirmeler yanıltıcı olabilmektedir. Sistem sürekli izlenmeli ve ayar edilmelidir. Bu doğrultuda kazan yanma ses kayıtları sinyal analiz yöntemleri ile değerlendirilerek sistemin sürekli takibi gerçekleştirilebilir.

## **1.2. Kondensstoplar**

Kondensstoplar, buhar sistemlerinin en önemli elemanlarından birisidir. Kondensstoplar; hava, gaz ve kondensi otomatik olarak tahliye eden fakat buharı tutan cihazlardır. Buhar kullanılan cihazlardan sonra veya buhar hatlarının drenaj noktalarında kullanılır. Kondensstoplar dünya genelinde üç temel çalışma prensibine göre dizayn edilmiştir.

Mekanik prensiple çalışan kondensstoplar; buhar ile kondens arasındaki yoğunluk farkını algılar ve kondensi (sıcak suyu) buhar sıcaklığında tahliye eder. Termodinamik prensiple çalışan kondensstoplar; kondens ile flaş buhar arasındaki dinamik farkları algılar ve kondensi buhar sıcaklığına yakın tahliye eder. Termostatik prensiple çalışan kondensstoplar; buhar ile kondens arasındaki sıcaklık farklarını algılayarak kondensi buhar sıcaklığının altında tahliye eder.

Çeşitli nedenlerden dolayı kondensstoplarda problemler olabilir. Kondensstop kapalı durumda kalırsa buhar çekişi aniden azalacaktır. Kondensstop, tam açık veya kısmen açık durumda arızalı ise buhar sarfiyatı devam edecek ve bu durum gereksiz buhar kaybına dolayısıyla enerji kaybına neden olacaktır (Ünlü 2003). Bu nedenle buhar kondensstoplarının çalışır durumunun sürekli takip edilmesi ve arızalı durumunun tespit edilerek normal çalışması sağlanmalıdır.

Örnek olarak 7,5 mm orifise sahip bir kondensstopun 6 bar'da buhar kaçırması durumunda kaçan buhar 110 kg/h değerindedir. Buna göre yıllık yakıt sarfiyatı, 8400 h/yıl çalışan bir tesiste ilave 120 ton/yıl kömür, 70.000 litre/yıl fuel-oil veya 750.000 kWh/yıl doğal gaz eşdeğeri sarfiyat meydana gelmektedir (Ünlü 2003).

Kondenstoplardaki buhar kaçaklarının sebepleri; yanlış veya kalitesiz kondensstop seçimi, kondensstop tamir-bakım ve kontrollerinin yapılmayışı olarak sıralanabilir. Kondensstop buhar kaçakları Çizelge 1.1'de görüleceği üzere büyük yekün tutmaktadır. Hangi kondensstop olursa olsun zamanla buhar kaçırmaya başlayabilir. Kondensstopları sürekli kontrol altında tutabilmek içinse kontrol işlemini pratik bir şekilde gerçekleştirecek bir sisteme ihtiyaç vardır. Kondensstop üzerinden alınan akustik veriler yorumlanarakta bu kontroller gerçekleştirilebilir.

Çizelge 1.1. Orifis çaplarına göre kondensstop kayıpları (Ünlü 2003)

Kondenstop buhar kaçaklarından meydana gelen kayıp				
Kondenstop çapı	Kondenstoplardaki ortalama orifis çapı	Buhar kaybı(kg/h)		
		6 bar	14 bar	32 bar
DN 15	3,0 mm	17	38	86
DN 20	5,0 mm	48	107	239
DN 25	7,5 mm	110	242	539
DN 32	10,0 mm	195	429	956
DN 50	12,5 mm	305	670	1496

Bu tez çalışmasında bölgesel ısıtma sisteminde kullanılan buhar kazanı, brülörü ve kondensstopların akustik analizleri yapılmıştır. Kazanlarda yanma verimini doğrudan etkileyen hava fazlalık katsayısı temel alınmıştır. Optimum yanmanın belirlendiği verimli yanma akustik verileri referans kabul edilmiştir. Kazanın değişik hava fazlalık katsayılarındaki çalışmaları akustik verilerle kıyaslanmıştır. Kondensstoplarda ise kondensstopun arızalanan veya aşınan mekanik parçalardan dolayı oluşabilecek buhar kaçakları akustik veriler ile analiz edilmiştir.

Literatürde, akustik analizi yapılan çalışmalar genellikle dönen makineler ile ilgilidir. Bu makinaların rulman arızaları üzerinde durulmuştur. Ses veya titreşim sinyalinde FFT (Fast Fourier Transform) yöntemi ile zaman serileri frekans alanı

dönüşümleri yapılmıştır. Pik gösteren frekanslardan arıza teşhisi koymaya yönelik çalışmalar mevcuttur. Akustik veriler ile yapılan bazı çalışmalar burada özetlenecektir.

Mba (2006) çalışmasında bir arıtma tesisinde, düşük devirde dönen biyolojik kontaktörün mil kökündeki çatlak üzerinden alınan akustik verileri değerlendirmiştir. Akustik emisyon ile hata durumunun ortaya çıkarılması ile ilgili bu çalışmada, mekanik aşınmaların erken evrelerinde hasarın ortaya çıkarılması için yüksek frekanslı akustik emisyon uygulaması incelenmiştir. Bulgular vibrasyon analizlerinin yetersizliğini ortaya koymaktadır.

Jing (2000) sinyal işleme tekniğinde kullanılan WT (*Wavelet Transform*) fonksiyonlarının performanslarını değerlendirmiştir. Jing (2000) bir otomobil transmisyon kutusu vibrasyon sinyallerinden rulman arıza teşhisinde Morlet ve Donoho'nun yöntemlerini kıyaslamıştır. Mekanik arıza teşhisinde Wavelet fonksiyonlarından Morlet'in, Donoho'nun "soft-thresholding denoising" metoduna göre, akustik sinyallerden özellik çıkarmanın daha avantajlı bir yöntem olduğunu tespit etmiştir.

Makine ses sinyallerinden farklı metotlar ile arıza teşhisi koymaya yönelik çalışmalar mevcuttur. Hangi yöntemin daha etkili ve faydalı olduğu gibi kıyaslamalı çalışmalar yapılmıştır.

Shibata vd. (2000) rulmanın ses sinyalleri üzerinde SDP (*Symmetrised Dot pattern*) metodunu uygulamışlardır. SDP metodu ses sinyallerini şematik olarak göz önüne getirmektedir. Makalede yazarlar rulmanın normal ve arızalı görüntülerini karşılaştırmışlardır. Ayrıca arıza sinyali belirtisini, ses sinyalleri içerisinde, zaman-frekans alanı ve Wavelet analizi ile tanımlamışlardır.

Lei vd (2001) bir elektrik motoru-yük arasında dişli kutusu ve rulmanların olduğu bir test makinasında rulmanlara yönelik kurtogram metodunu uygulamışlardır. Kurtogram metodu makinaların arıza teşhisine yönelik pratik ve çok etkili bir araç olduğunu ispatlamaktadır. Kurtogram metodunun temelini kısa zamanlı Fourier Transformu ve FIR (*Finite Impulse Response*) filtreler oluşturmaktadır. Bu çalışmada arıza ortaya çıkarmada kurtogram metodu içinde eksiklikleri giderecek daha da gelişmiş

ve birleştirilmiş filtreye ihtiyaç olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Bunun için Wavelet Packet Transformunu kullanmışlardır.

Zuo vd (2005). PCA (*Principal component analysis* ) ve ICA (*Independent component analysis* ) iki metodu arıza çıkarmada kullanmışlardır. Çalışmalarında bir dişli kutusundan titreşim ile alınan sinyal serilerinden birleştirilmiş wavelet transformu ve ICA metodunun, birleştirilmiş wavelet transformu ve PCA metoduna göre daha iyi olduğunu saptamışlardır.

Araçlarda, özellikle otomobil ve motosiklet akustik verileri üzerinden arıza teşhisi ve araç içi gürültü performansının optimize edilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır.

Anami vd (2011) düzenli servis hizmeti almış motorsiklet çalışmalarında sağlıklı ve sağlıksız çalışan araçlardaki ses örneklerini servis istasyonunda bir uzman teknisyen yardımı ile toplamışlardır. Sağlıklı araçları bir yıldan eski, 6500 km'yi geçmemiş düzenli servis hizmeti almış araçlardan seçmişlerdir. Motosikletlerin; krank arızası, piston hasarları, yağ kaçağı, zamanlama zinciri hasarları, debriyaj plakası hasarlarını ortaya çıkarmaya yönelik bir çalışmadır.

Fouladi vd (2009) araç içi gürültünün, insan sağlığını ve performansını, konfor şartlarını çeşitli şekillerde etkilemekte olduğunu çalışmalarında belirtmişlerdir. Otomobillerde yolcu kabinindeki gürültünün vibro-akustiksel kaynağının bulunması ve buna uygun çözümlerin üretilmesinin gerekli olduğunu açıklamışlardır. Uygulamaya koydukları spektral analiz metodu, parçaların transfer fonksiyonları ile ölçme ve ayrılmasının gerekli olduğu "test ve hata" metotlarından çok daha hızlıdır. Bir çoklu-kanal analizörünü, vibro-akustik sinyallerin kayıt ve ölçülmesinde kullanmışlardır. Hesaplama algoritmaları çeşitli kaynaklardan ölçülen iç sinyalin doğru katkısını belirlemek içindir. Sağladıkları bu veriler ile otomobillerin iç gürültü performansını optimize ve kontrol etmeyi amaçlamışlardır.

Model tabanlı kestirim metotları ile tıp ve mühendislik alanlarında akustik, sinyal verileri üzerinden performans belirleme analizleri DE mevcuttur.

Seong vd (2005) çekvalflerin çeşitli arıza kusurlarına yönelik tespit için bir metot geliştirmişlerdir. Bu metot sızıntı kaçağını ses dalgası ile algılayabilen akustik emisyon sensörleri ve bir otoregresif (AR) model ile güç spektral kestirimi yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemi, kusuru bulunan bir çekvalf ile bir hidrolik devre test düzeneğinde uygulamışlardır. Yapmış oldukları deneyler ve araştırmalarının sonuçları bu teşhis algoritması ile çekvalflerin herhangi bir demontaj çalışması olmadan kusurlarının tanımlanmasında iyi bir çözüm olacağını öngörmüşlerdir.

Şeker vd (2010) yapmış oldukları çalışmada; sağlıklı kişiler, migren tanısı konmuş kişiler ve gebelik sürecinde bulunan kişilere ait EEG verileri spektral analiz yöntemlerinden parametrik bir metot olan iyileştirilmiş Kovaryans ve parametrik olmayan bir metot olan Welch metotlarını kullanarak analiz etmişler ve migren varlığını belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca, EEG analizinde parametrik yöntemlerin mi yoksa parametrik olmayan yöntemlerin mi daha verimli sonuçlar verdiğini incelemişlerdir. Bununla birlikte, gebelik sürecinde migrenin EEG işaretlerinde ne gibi bir değişime uğradığını saptamışlardır.

Übeyli ve Güler (2004a) farklı kişilerden aldıkları oftalmik atardamar doppler işaretlerinde, güç spektral yoğunluklarından elde ettikleri önemli veriler ile işareti temsil edecek öznitelik vektörlerini tayin etmişlerdir. Levenberg-Marquardt algoritması ile eğittikleri ve ARMA metoduyla elde ettikleri güç spektral yoğunlukları değerleri, oftalmik atardamar doppler işaretlerinin sınıflandırılmasında kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Übeyli ve Güler (2004b) yapmış oldukları başka bir çalışmada hastalardan almış oldukları karodit atardamar doppler işaretlerinde FFT, model tabanlı AR, MA ve ARMA metotları ile spektral analiz yapmışlardır. Sağlıklı ve hasta bireylerin atardamar daralması doppler sinyallerinden elde edilen ARMA ve otoregresif metotların performans özelliklerini son derece değerli bulmuşlardır.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

### 2.1. Akustik ve Ses

Akustik, ses üzerinde çalışmaların yapıldığı bilim dalıdır. Duyulabilir frekanslardaki ses dalgalarının, kulak tarafından algılanması da ses olarak tanımlanabilir.

#### 2.1.1. Dalga hareketi

Dalgalar genel olarak, mekanik ve elektromanyetik dalgalar olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Elektromanyetik dalgalar, yayılmak için bir ortama ihtiyaç duymazlar ve boşlukta da yayılabilirler. Mekanik dalgalar ise, enerjilerini aktarabilmek için ortam taneciklerine ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden boşlukta (örneğin uzayda) yayılamazlar. Ses dalgaları da mekanik dalgalar olduklarından yayılmak için maddesel bir ortama ihtiyaç duyarlar.

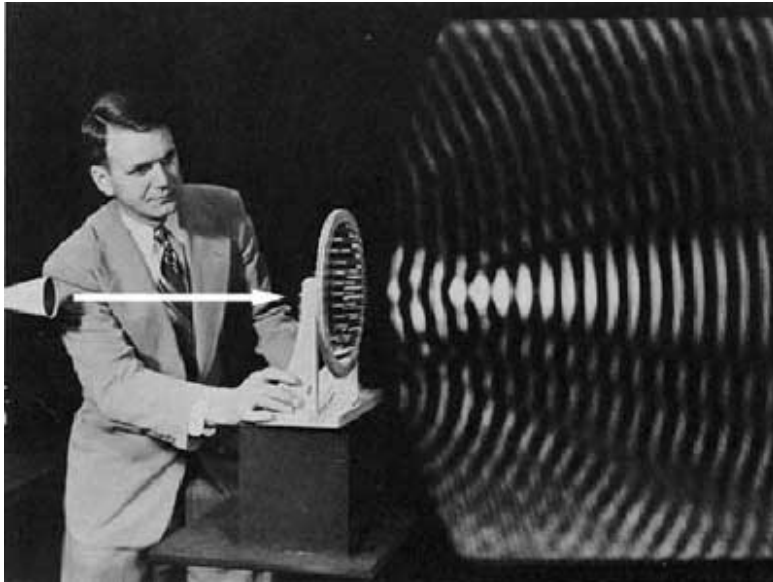
Ses, nesnelere titreşiminden meydana gelen ve uygun bir ortam içerisinde (hava, su vb.) bir yerden başka bir yere, sıkışma (*compressions*) ve genişlemeler (*rarefactions*) şeklinde ilerleyen bir dalgadır. Dolayısıyla ses, bir basınç dalgasıdır (Başkent 2012). Örneğin duvara bağlı bir musluk ses çıkartır çünkü musluk duvarın titreşmesine neden olur, aynı olay, gitar telinin titreşmesi ile de meydana gelir. Ses bir ortamda dalgalar halinde yayılır. Havadaki dalga hareketi, suya düşen bir taşın suda oluşturacağı dalgacıklarla aynı biçimdedir. Bir göl ele alındığında gölün yüzeyi rüzgârsız bir havada durgun ve hareketsiz olmaktadır. Göle bir taş atıldığında taş su yüzeyine düşer düşmez bir dalga taşın çarpma noktasından, artan çapla ilerlemeye başlar. Taş su yüzeyine çarptığında, o noktada bir basınç oluşur. Sıvıların çoğu gibi su da sıkıştırılmaz olduğundan, taşın suya çarptığı noktaya yakın zerreler yukarı doğru itilirler. Taş suyun yüzeyinden aşağı doğru ilerlediğinde, suyun elastik yapısı su yüzeyini normal hale getirmeye çalışır, bu da su partiküllerinin normal pozisyonları doğrultusunda salınmalarına neden olur. Bu salınma hareketi komşu partiküllere iletilir, böylece dalgacık ve dalgacığın enerjisi merkez noktadan ilerlemeye başlar. Bu oluşumdan yola çıkarak, titreşen bir cisimden, havada sıkışma ve gevşeme noktaları yaratarak ilerleyen dalgalar silsilesine de ses dalgaları denir. Sıkışma ve gevşeme



dalgaları hava partiküllerinin titreşmelerine yol açar. Suyun üstünde yüzen cisimler incelendiğinde görüleceği gibi, dalga hareketi sırasında dalgacık ilerler fakat su partikülleri ilerlemez. Su normal pozisyonları civarında yukarı ve aşağı doğru salınırlar. Bir dalga hareketinde ilerleyen şey ortamdaki partiküller değil dalganın enerjisidir.

Ses bir ortam içerisinde titreşimlerden oluşan fiziksel bir hareket şeklinde yayılır. Titreşim yüzdesi geniş bir dizi üzerinde değişebilir. Eğer bu hareket, işitme frekansı dizisi içindeyse, kulak ve diğer yardımcı alıcı organlar tarafından ses olarak algılanır.

Durgun bir suya atılan taşın su yüzeyinde oluşturduğu dalgaların yayılmasına benzetilen ses dalgaları, ortamın moleküllerini sıkıştırıp gevşeterek ses enerjisini çevreye dağıtır. Dalga hareketini geometrik olarak tanımlamak istenirse sinüs eğrisinden yararlanır. Moleküllerin arka arkaya sürekli sıkışıp gevşemesi sinüs eğrisinin yükselip alçalması şeklinde gösterilebilir. Şekil 2.1'de 1960 tarihli bir fotoğraf mevcuttur. Bu fotoğrafta özel bir ses merceği ve görüntüleme yöntemi kullanılmıştır. Şekilde sol tarafta görülen kornadan çıkan ses dalgalarının görüntüsü mercekten geçtikten sonra sağ tarafta elde edilmiştir.

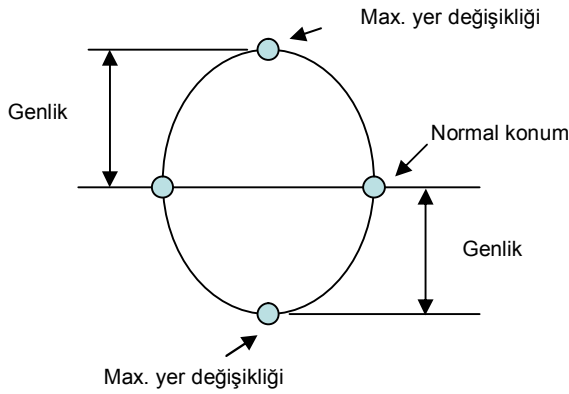


Şekil 2.1. Ses dalgalarının görüntüsü (*Bell Telephone Laboratory*)  
(Başkent 2012)

### 2.1.2. Frekans (f)

Doğadaki birçok dalga tek bir dalgacıktan değil, her biri önceki dalgacığı sabit bir zaman aralığında takip eden dalgacık serilerinden oluşur. Birim zamanda ki dalgacık miktarına ise **frekans** denir. Bir başka deyişle birim zamanda tamamlanan devir sayısına **frekans** denir.

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi frekans, bir partikülün 1 saniye süredeki yer değiştirme ya da salınım sayısına verilen addır. Birimi Hertz ( $Hz$ )’ dir.



Şekil 2.2. Bir partikülün bir saniyede yaptığı salınım şeması

Yüksek frekanslar için Hertz’in 1000 Katı olan kilo Hertz ( $kHz$ ) kullanılır. İşitebileceğimiz frekans aralığı yaklaşık olarak 16-16 000 Hz dir. Kişiye ve yaşa göre az da olsa değişebilen bu aralık içinde olan 10.000 Hz’in üzerinde yer alan frekanslar, müzikten zevk alma ve konuşma anlaşılabilirliği kapsamında dikkate alınmaz (Demirkale 2007).

Kulağın en duyarlı olduğu frekans aralığı 1000-4000 Hz dir, konuşmanın anlaşılır olması için 1000-2500 Hz arasındaki frekanslar yeterlidir. 20 Hz’in altındaki frekanslar infrasonik frekanslar olarak adlandırılır, duyulmazlar fakat titreşimler şeklinde hissedilebilir. 20 kHz’in üstündeki frekanslar, ultrasonik frekanslar olarak adlandırılırlar. Bunlar da insanlar tarafından duyulamazlar fakat bazı hayvanlar bu frekansları duyabilir. Köpekler 30 kHz’e kadar olan frekansları duyabilirken yarasalar 90 kHz’e kadar olanları duyabilirler. Aslında yarasalar yüksek frekanslı sinyaller

üretmek bunları akustik radar olarak kullanırlar ve önlerindeki engelleri bu şekilde algırlar (Demirkale 2007).

Çevremizdeki sesler, tek bir frekanstan (tek bir nota ya da saf bir tondan) oluşmazlar. Bir sesin frekans-ses basınç ilişkisine frekans spektrumu adı verilir. Çevremizdeki çoğu ses komplekstir ve frekans serilerinden oluşur, öyle ki spektrumları devamlı bir eğri olur. Örneğin insan sesi yaklaşık 100 Hz'den 5kHz'e kadar frekansları içerir. Erkek sesinin tepe değeri yaklaşık 400 Hz, kadın sesinin ise yaklaşık 500 Hz'dir (Demirkale 2007).

Ses analizlerinde incelenecek frekans aralıklarına oktav bandı denir.

- $f = \sqrt{(f_1 \cdot f_2)}$  ,  $f_2 = 2f_1$  ,  $f = \sqrt{2} \cdot f_1 = f_2 / \sqrt{2}$  yazılır.
- $f$ =merkez veya orta frekans
- $f_1$ =Oktav bandın alt sınır frekansı
- $f_2$ =Oktav bandın üst sınır frekansı
- Bant genişliği alt ve üst sınır frekansının farkıdır.
- $bw = f_2 - f_1$
- Merkez frekansları; özellikle mimaride
- 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, ve 8kHz olan 8 oktav bantlar kullanılır.

### 2.1.3. Genlik

Şekil 2.2'de görüldüğü üzere partikülün maksimum hızına hız genliği ve partikülün merkez noktasından maksimum uzaklığına ise yer değiştirme genliği adı verilir.

Bir ses titreşiminde, genliğin azlığı ya da çokluğu ses şiddetinin azlığı ya da çokluğu anlamındadır. Frekansı değişmeyen bir titreşimde, genliğin artmasıyla elementler daha fazla yol kat edeceklerinden, elementlerin titreşim hızının artması, ses titreşimini meydana getiren kinetik enerjinin artması, bu da ses şiddetinin artması demektir. Örneğin bir piyano tuşuna daha hızlı vurmakla, o tuşla ilgili tel daha fazla titreşir, yani genliği artar ve ses daha kuvvetli çıkar.

Çizelge 2.1’de görüleceği gibi sesin katılar içerisindeki yayılma hızları, havadaki hızına göre çok daha yüksektir. Sesin havadaki hızı sıcaklık, nem ve basınca bağlı olarak az da olsa değişiklik gösterebilir. Sesin 20 °C’de oda sıcaklığındaki hızı 340 m/s dir (Demirkale 2007).

Çizelge 2.1. Sesin çeşitli maddeler içerisinde yayılma hızları (Demirkale 2007)

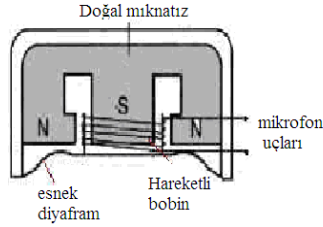
Ortam	Yayılma hızı(m/s)
Hava	340
Mantar	500
Kurşun	1200
su	1400
Sert kauçuk	1400-2400
Beton	3000-3400
Tahta	3300-4300
Dökme	3700
Çelik	5100
Cam	5200

## 2.2. Mikrofonlar

Ses sinyallerini (akustik enerji) elektrik sinyallerine çeviren elemanlara mikrofon denir. Bu elemanlar, ses sinyallerini elektrik sinyallerine çeviren transdüserler (*transducer, transduser*) olarak da tanımlanabilir. Mikrofonların yapısı, özelliği ve çalışma ilkesi nasıl olursa olsun en önemli elemanları diyafram adı verilen esnek zar kısmıdır. Çünkü hava ortamında ilerleyen ses dalgalarının oluşturduğu basınç ilk önce mikrofonun diyaframını titreştirmektedir.

### 2.2.1. Dinamik (bobinli, manyetik) mikrofonlar

Şekil 2.3'de iç yapısı görülen dinamik mikrofonun diyafram (membran, kon, esnek zar) adı verilen kısmına gelen ses titreşimleri bu elemanın salınım yapmasına neden olur.

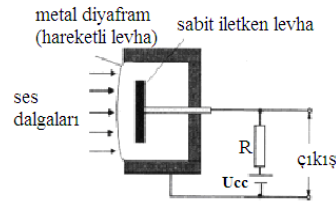


Şekil 2.3. Dinamik mikrofonun iç yapısı (Eproje 2012)

Titreşen diyafram ise kendisine tutturulmuş olan çok hafif hareketli bobini titreştirir. Silindirik yapılu bir doğal mıknatısın içine yerleştirilmiş olan bobin ise gelen ses dalgalarının frekansında AF elektrik sinyalleri üretir. Üretilen elektrik sinyallerinin değeri son derece küçük olup, 1-10 mV düzeyindedir. Mikrofonun içindeki mıknatısın yanında bulunan bobinde elektrik akımının doğuşu şu şekilde olmaktadır: Manyetik alan teorilerine göre, N-S mıknatıs kutuplarının yanında bulunan bir bobin sağa sola hareket ettirilirse ya da döndürülürse bobinin içinde bulunan elektronlar manyetik alan tarafından hareket ettirilir. Bu da elektrik akımını doğurur (*indükler*).

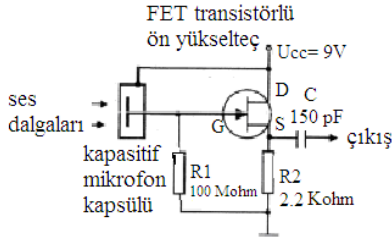
### 2.2.2. Kapasitif (kondansatör) mikrofonlar

Statik elektriklenme esasına göre çalışan mikrofon tipidir. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi kapasitif mikrofonlarda ses dalgalarının basıncı, ince metal diyaframı etkiler.



Şekil 2.4. Kapasitif ( kondansatör ) mikrofon yapısı (Eproje 2012)

Diyaframın esnemesiyle kondansatör gibi çalışan düzeneğin kapasitesi değişir. Bu değişim sesin özelliğine göre çıkışta elektrik sinyalleri oluşturur. Bu tip mikrofonlar yüksek kalite istenilen yerlerde kullanılır. Ayrıca hafif ve küçük yapıları olarak üretilebilirler. Kapasitif mikrofonların devreye bağlantısı Şekil 2.5’de görüldüğü gibi DC beslemeli olarak yapılır.



Şekil 2.5. Kapasitif (kondansatör) mikrofon devreye bağlantısı (Eproje 2012)

Mikrofonun plakalarına uygulanan DC, modele göre 1,5 - 48 V arasında değişmektedir. Mikrofonun içinde bulunan ön yükselteç devresinde kullanılan 100 MΩ değerli R1 direnci FET<sup>1</sup> in DC polarma akımını sağlamaktadır.

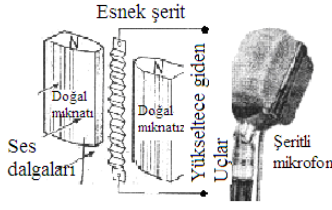
Kapasitif mikrofonların bazı teknik özellikleri şu şekildedir;

- I. 50-15000 Hz arası frekanslı seslere karşı duyarlıdır,
- II. distorsiyon oranları azdır,
- III. empedansları büyüktür (10-30 MW ).

### 2.2.3. Şeritli (bantlı) mikrofonlar

Şekil 2.6’da görüldüğü gibi manyetik alan içine yerleştirilmiş ince bir alüminyum ya da kalay levhaya ses sinyalleri çarpınca, manyetik alan içinde hareket eden levhada ses frekanslı akım oluşur. Şeritli mikrofonların empedansı çok düşük, kaliteleri yüksektir. Sarsıntıdan, rüzgârdan olumsuz etkilendiklerinden kapalı ortamlarda kullanılırlar.

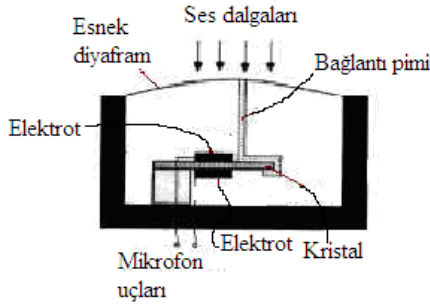
1 FET, çok küçük sinyallerin yükseltilmesinde kullanılan kaliteli transistördür.



Şekil 2.6. Şeritli (bantlı) mikrofon yapısı (Eproje 2012)

#### 2.2.4. Piezo<sup>1</sup> elektrik kristalli mikrofonlar (kristal mikrofonlar)

Kuartz (*quartz*), roşel (*rochelle*) tuzu, baryum, turmalin gibi kristal yapılu maddelere basınç uygulandığında üzerlerinde elektrik akımı oluşur. Bu akım, basıncın kuvvetine ve frekansına göre değişir. İşte bu esastan yararlanarak kristal mikrofonlar yapılmıştır. Kristalli mikrofonlarda, kristal madde Şekil 2.7’de görüldüğü gibi çok ince iki metal elektrot arasında yerleştirilmiş ve bir pin (küçük çubuk) ile diyaframa tutturulmuştur. Ses titreşimleri diyaframa titreştirince kristal de titreşmektedir. Kristaldeki titreşim ise AC özellikli sinyallerin oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.7. Piezo elektrik kristalli mikrofon yapısı (Eproje 2012)

Kristal mikrofonların bazı teknik özellikleri şu şekildedir:

- I. Kaliteleri yüksektir,
- II. hassas yapılıdır,

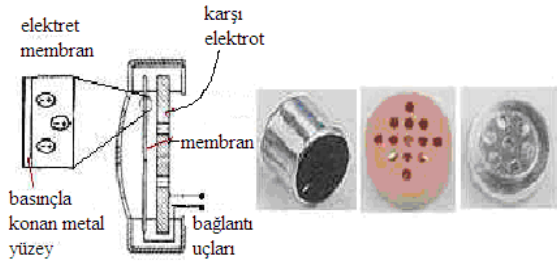
---

<sup>1</sup> Piezo kelimesinin anlamı sıkıştırıcıdır. Bazı maddelerin sıkıştırılması elektron ve oyuk hareketini çok hızlandırmakta, gelen basıncın şiddetine göre maddede EMK oluşmaktadır. Sıkışmaya bağlı olarak gerilim üreten maddeler sadece mikrofon yapımında değil, kristal hoparlörlerde, basınç ölçerlerde ve benzeri kullanılırlar.

- III. kristalin ürettiği gerilimin değeri çok küçük olduğundan mikrofonun içine mini bir ön yükselteç (*preamfi*) monte edilir,
- IV. mikrofonun yapımında kullanılan kristal, nem, sıcaklık ve güneş ışığından uzak tutulmalıdır,
- V. kristal, sarsıntı, düşürme ve çarpmalardan dolayı bozulabileceğinden, bu tip mikrofonların özenle kullanılması gerekir.

### 2.2.5. Elektret<sup>1</sup> (*electret*) mikrofonlar

Rondela (halka) biçimindeki ince bir yarı iletken maddenin iki yüzü, üretim aşamasında elektrostatik yöntem kullanılarak artı (+) ve eksi (-) ile yüklenir. Bu elektrik yükü yarı iletkenin maddenin özelliğinden dolayı yıllarca aynı değerde kalır. Elektret kapsül, kristal mikrofonlarda olduğu gibi diyaframa bağlanmıştır. Diyafram titreştiğinde, elektret de hareket eder. Bu da kapsülün moleküler yapısını değiştirerek elektrotlar arasında bir gerilim oluşmasını sağlar. Şekil 2.8.'de elektret mikrofonların yapısı verilmiştir.



Şekil 2.8. Elektret mikrofon yapısı (Eproje 2012)

Elektret mikrofonların teknik özellikleri şu şekildedir:

- I. Dirençleri (empedansları) yüksektir,
- II. boyutları küçük olduğundan yaka mikrofonu olarak kullanılmaya uygundur,
- III. hassasiyetleri yüksektir,
- IV. ilave bir DC üreticiyle besleme yapmaya gerek duymazlar,

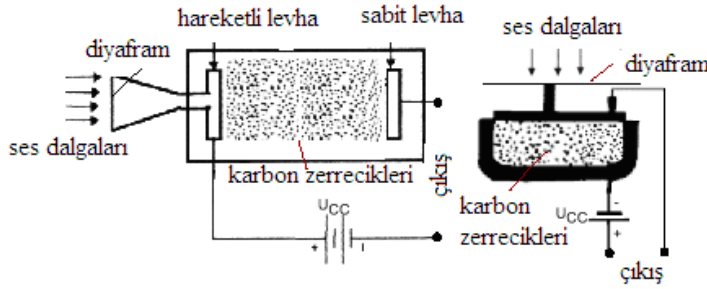
<sup>1</sup> Elektret sözcüğü, elektriklenebilen anlamına gelmektedir



V. frekans bantları geniştir. Yani alçak ve yüksek frekanslı sinyalleri dengeli olarak algırlar.

### 2.2.6. Karbon tozlu mikrofonlar

Karbon tozlu mikrofonlar Şekil 2.9’da görüldüğü gibi bir hazne içinde doldurulan karbon tozu zerrecikleri ve esnek diyaframdan oluşmuştur.



Şekil 2.9. Karbon tozlu mikrofon yapısı (Eproje 2012)

Ses dalgaları alüminyum diyaframa çarpınca bu eleman titreşerek karbon zerreciklerinin sıkışıp gevşemesine yol açar. Tozlar sıkışınca akımın geçiş yolu kısılacağından direnç azalır. Tozlar gevşeyince ise akımın geçiş yolu uzayacağından direnç yükselir. İşte bu işlem esnasında sesin şiddetine göre karbon tozlarından geçen akım değişken özellik gösterir. Karbon tozlu mikrofonların çalışabilmesi için bir DC besleme kaynağına gereksinim vardır. Bu tip mikrofonların empedansları 50 ohm dolayında olup çok küçüktür. Ayrıca, kömür tozları zamanla özelliğini kaybettiğinden mikrofonun hassasiyeti bozulmaktadır. İşte bu nedenle günümüzde çok kullanılan bir mikrofon tipi olmayıp, eski tip telefonlarda vb. karşımıza çıkmaktadır (Eproje 2012).

### 2.3. Periyodiklik ve Periyot

Belli zaman aralıklarında tekrar eden sürece periyodiklik, bu tür fonksiyonlara periyodik fonksiyonlar denir. Sinüs ve kosinüs gibi trigonometrik fonksiyonlar birer

periyodik fonksiyonlardır. Örneğin sinüs fonksiyonu kendini  $2\pi$  de bir tekrar eder. Bu tekrarlama süresine periyot ( T ) adı verilir.

Herhangi bir  $f(x)$  fonksiyonunda, her  $x$  için,

$$f(x+T)=f(x)$$

eşitliği sağlanıyorsa,  $f(x)$  fonksiyonuna periyodik fonksiyon ve T değerine de periyot denir.

**Örnek:**  $\sin x = \sin(x+2\pi) = \sin(x+4\pi) = \sin(x+6\pi) = \dots$  olduğundan “ $\sin x$ ” fonksiyonu  $k = 1,2,..$  için  $2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots, 2k\pi$  periyotlarına sahip olan periyodik bir fonksiyondur.

Periyodik fonksiyonların bazı özellikleri

$f$  periyodik bir fonksiyon  $f(x+T) = f(x)$  olsun.

$$1) \int_{a-T/2}^{a+T/2} f(x)dx = \int_{-T/2}^{T/2} f(x)dx \text{ dir.}$$

$a= T/2$  alınırsa,

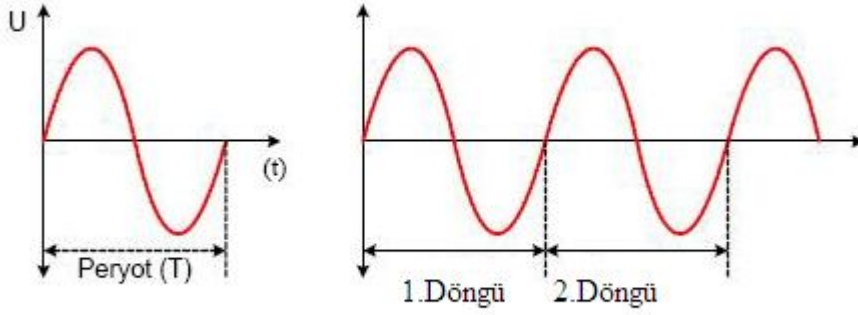
$$\int_0^T f(x)dx = \int_{-T/2}^{T/2} f(x)dx \text{ bulunur.}$$

$$2) \int_T^{T+x} f(x)dx = \int_0^x f(x)dx ,$$

$$3) g(x) = \int_0^x f(u)du = \int_{-T/2}^{T/2} f(x)dx = 0 \text{ olduğundan } g(x+T) = g(x) \text{ dir.}$$

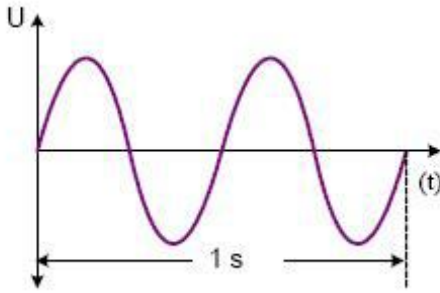
$$4) \int_c^{c+T} f(x)dx = \int_0^T f(x)dx \text{ dir.}$$

Periyotun başka bir tanımı ise bir tam çevrim için geçen süredir ve birimi saniyedir (Bkz. Şekil 2.2). Bir saniyedeki tam çevrim sayısına yani periyot sayısına ise frekans ( $f$ ) denir (Şekil 2.10). Frekansa, kullanılma yerine göre değişik adlar verilmektedir, örneğin fizikçiler ve elektronikçiler salınım hızı derken, bilgisayarlılar hız diye adlandırmaktadır. Genelde periyot bilgisi bilinmez ve üzerinde durulmazken, frekans değeri bilinir ve üzerinde değerlendirmeler yapılır. Çünkü çoğu bilim adamı (hekimler, mühendisler vb.) bir dizinin veya fonksiyonun içinde birden fazla görülen periyodik bileşenleri öğrenmek ister.



Şekil 2.10. Periyot ve periyodiklik şekilleri

Zaman dizisine bakarak, değerlendirmeler yapmak çok zordur ve birçok bilgi görülemez. Bir zaman dizisi frekans dizisine dönüştürülerek değerlendirmeler yapılabilir. Çünkü frekans dizisinin içerdiği sinyaller veya başka bir deyişle gözlenen doğa olayının davranışı ve bu davranışa neden olan fiziksel kuvvetler hakkında daha kolay bilgi edinmemize yardımcı olur (Abbak 2007). Bu frekans değeri kullanımı birçok bilim dalında standart hale gelmiştir. Ses sinyalleri de belirli frekans bileşenlerine sahiptir. Şekil 2.11’de frekans ile periyot ilişkisi görülmektedir.



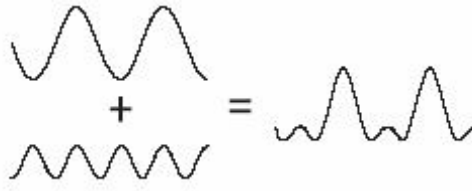
Şekil 2.11 Frekansın periyot üzerinden hesabı (  $T=0,5$ ;  $f=2$  Hz. ).

Frekans ile periyot arasındaki bağıntı aşağıdaki Eşitlik 2.1’de açıkça görülebilir.

$$f = 1/T \quad (2.1)$$

## 2.4. Frekans Analizi

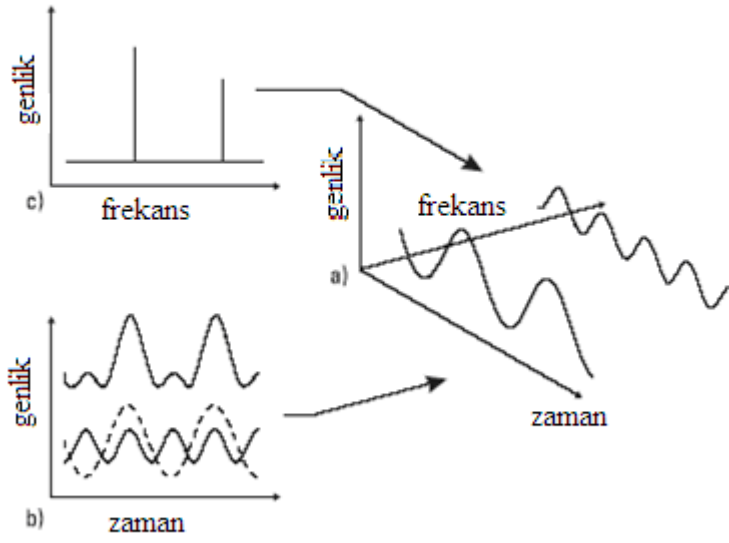
Sinyal işleminin yüzyıla aşkın zaman önce, Fourier bir sinyalin sinüs ve cosinüs sinyallerinin eklenmesi ile elde edilebileceğini ispatlamıştır. Fourier sinyalleri genlik, frekans ve faz olarak toplamış veya çıkartmış ve yeni veri bilgileri elde etmiştir. Veri bilgileri kaybolmamış ve yeni sinyaller elde etmiştir. Tabii ki yeni sinyallerden eski sinyallere ulaşılabilir. Bir dalga formunun iki sinüs dalgasının birleşiminden oluştuğu Şekil 2.12’de görülmektedir.



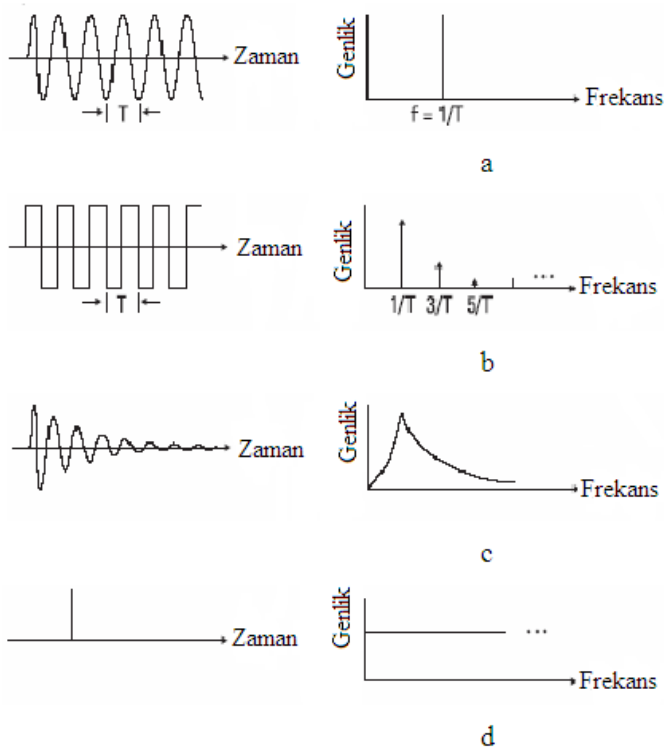
Şekil 2.12. İki sinyalin birleşimi (Aygün 2006)

Fourier’in de ispatladığı gibi ve şu anda da çok kullanılan bir veri sinyali, sinüs sinyallerinin genlik, frekans ve faz değerleri doğru şekilde seçilerek birleştirilmesi ile elde edilebilir. Ve ya bir veri sinyali birden fazla sinüs sinyaline ayrıştırılabilir.

Birçok sistemin bir çalışma frekansı vardır, bu çalışma frekansını analiz yaparak, sistemin düzgün çalışıp çalışmadığı hakkında bilgilere varılabilir ki bunlar hata ve arıza aramada mutlak gereklidir. Bu yüzden frekans analizi hata ve arıza aramada önemli bir yer tutar. Örneğin bir kardiyoloji uzmanı hastanın kalp krizi geçirip geçirmediğini EKG sonuçlarına bakarak anlayabilir. Ayrıca kalp dinlenerekten de kalbin düzenli çalışıp çalışmadığı anlaşılabilir. Benzer şekilde motor ustası da motor sesini dinleyerek gelen sese göre arızayı tespit etmeye çalışması da frekans analizine güzel bir örnektir. Sinyaller, sinüs sinyallerinin zaman-genlik veya zaman-frekans bölgelerinde gösterilebilir (Şekil 2.13). Sinyallerin frekans bölgesindeki gösterimine sinyal spektrumu denir, her bir spektrumdaki çizgi ise sinyalin bileşeni olarak adlandırılır. Frekans spektrumunu sinyali ifade etmede kullanırız. Esasında frekans spektrumuna, sinyalin frekans bilgisinin, grafiksel gösterimi de diyebiliriz. Şekil 2.13’de bazı temel sinyallerin frekans dönüşümleri görülmektedir.(Demir 2008).



Şekil 2.13. Zaman-Frekans-Genlik Düzlemi (Namba ve Ishida 1998)



Şekil 2.14. Bazı temel sinyallerin frekans spektrumları (Namba ve Ishida 1998)  
a) sinüs dalgası b) kare dalga c) sönümlü dalga d) dürtü

### 2.4.1 Fourier dönüşümü

Fourier dönüşümünü hesaplamak için dinlemek yeterlidir. Kulak otomatik olarak dönüşümü hesaplar, ancak aklın hesaplamayı yapabilmesi için yıllar süren matematik eğitimi gerekir. Kulak, sesi frekans tayfına (farklı perdelerdeki ses miktarları) çevirerek dönüşümü gerçekleştirir. Beyin bu bilgiyi algılanmış sese çevirir.

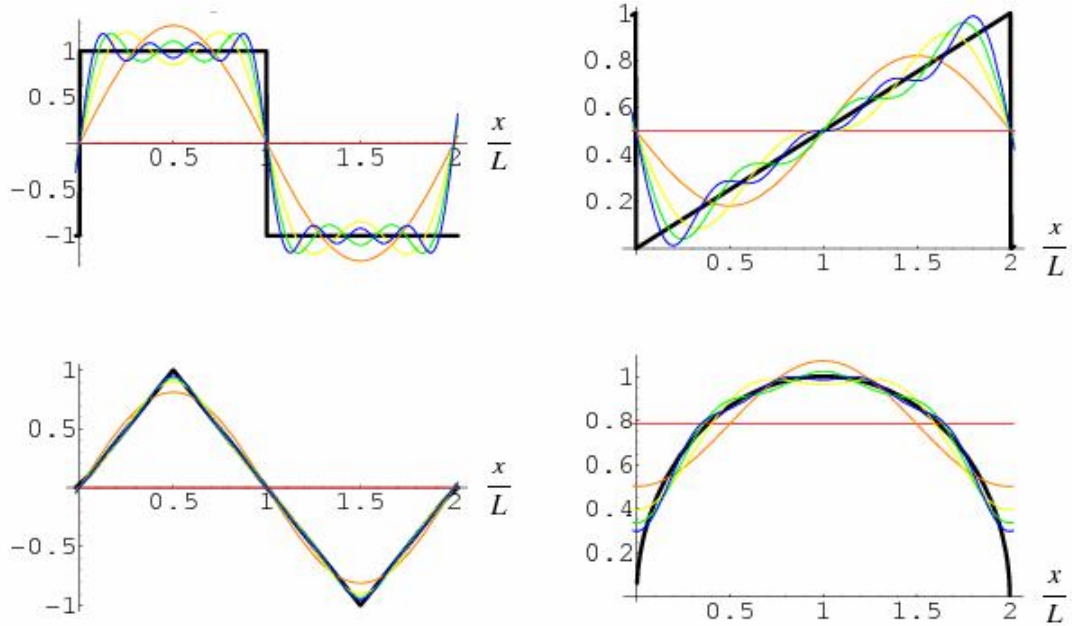
Benzeri işlemler matematiksel yöntemleri kullanarak ses dalgaları veya ışık dalgaları, okyanustaki gelgit olayları ve güneş hareketi örneklerinde olduğu gibi herhangi bir değişim üzerinde gerçekleştirilebilir. Bu matematiksel gereçleri kullanarak değişimleri gösteren fonksiyonları sinüzoidal dalgalar kümesine çevirebiliriz. Fourier dönüşümü, her frekansa ait sinüs dalgası için genlik ve evre hesaplayan bir fonksiyondur.

Fourier dönüşümü değişik bilim dallarında kullanılan güçlü bir teknik durumuna gelmiştir. Bazı durumlarda, Fourier dönüşümü elektrik, ısı ve ışıkla ilgili karışık eşitlikleri çözmekte kullanılabilir. Değişken bir işareti oluşturan sinüzoidal dalgaları göstererek, astronomi, tıp ve kimyada birçok kullanım alanı bulur (Bracevell 1991).

Bu tekniği, bütün dünya, tekniğe adını da veren bir matematikçiden, Fransız bilim adamı olan Jean-Baptiste-Joseph Fourier'den (1768-1830) öğrendi. Jean-Baptiste-Joseph Fourier, sinyalleri sinüzoidal bileşenlere ayrıştırmıştır ve Fourier analizi olarak tarihe ismini yazdırmıştır. Fourier, sürekli bir sinyali, düzgün seçilmiş sinüzoidal sinyallerin toplamı biçiminde göstermeyi başarmıştır. Şekil 2.15'de dört sinyalin yaklaşık sinüzoidal bileşenleri gösterilmektedir. Bu şekillerde siyah tonda verilen sinyaller, renkli olan harmoniklerin toplamını ifade eder. Başka bir ifadeyle, bir periyodik fonksiyonun, sonsuz sayıdaki karmaşık üstel fonksiyonları toplamıyla ifade edilebileceği kanıtlanmıştır. Bu yüzden durağan sinyallerde yani devamlı sinyallerde Fourier dönüşümü iyi netice verir ama durağan olmayan sinyallerde ise istenen sonuçlar gözlemlenememiştir.

Fourier dönüşümünde, ham veri sinyali, birçok sinüzoidal frekanstan oluşmaktadır. Fourier dönüşümü esasında bir sinyali zaman bölgesinden frekans bölgesine dönüştürür. Bu dönüşümde bir dezavantaj da söz konusudur; sinyalin zaman

bilgisinin kaybolması. Yani bir sinyalin Fourier dönüşümüne bakıldığında, özel bir olayın nerede gerçekleştiğine dair bir şey söylemek imkânsızdır (Abbak 2007, Graps 2012).



Şekil 2.15. Bazı sinyallerin sinüzoidal bileşenleri (Aygün 2006)

Fourier analizi matematikte Fourier serileri altında incelenir. Periyodik olan bir  $f(x)$  fonksiyonu sonsuz sayıdaki sinüs ve kosinüslerin toplamının bir açılımı olarak ifade edilir. Bir fonksiyonun, sinyalin, analizinde Fourier serileri, sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının ortogonal ilişkilerini kullanarak analiz yapar. Bir fonksiyon Fourier serileri ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$2T$  periyotlu bir  $f(x)$  fonksiyonunun, Fourier serileri veya Fourier açılımları,

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi x}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{n\pi x}{T}\right) \quad (2.2)$$

şeklindeki bir trigonometrik seri ile tanımlanır,  $a_0$ ,  $a_n$  ve  $b_n$  ( $n=1,2,\dots$ ) Fourier katsayıları olarak adlandırılır.

$F(x)$  fonksiyonu  $2T$  periyodlu,  $(-T, T)$  aralığında tanımlanmış bir fonksiyon olsun,  $f(x)$  fonksiyonunun eşitlik (2.2) şeklinde bir Fourier serisine açılabilmesi için aşağıdaki Dirichlet şartlarını sağlaması gerekir:

- $f(x)$  fonksiyonu,  $(-T, T)$  aralığında sürekli veya parçalı sürekli dir.
- $f(x)$  fonksiyonunun bir periyod içindeki maksimum ve minimumları sonlu sayıda olmalıdır. ( $f'(x)$  fonksiyonunun türevi parçalı sürekli olabilir).
- $f(x)$  fonksiyonunun bir periyod aralığındaki mutlak integrali,

$$\int_{-\pi}^{\pi} |f(x)| dx = \text{sonlu} < \infty \text{ olmalıdır.}$$

### Dirichlet Teoremi

$(-\pi, \pi)$  aralığında tanımlanan  $2\pi$  periyodlu  $f(x)$  fonksiyonu, Dirichlet şartlarını sağlıyorsa,  $(-\pi, \pi)$  aralığında (2.2) Fourier serisine açılabilir ve Fourier serisi,

- $f(x)$  fonksiyonunun süreksiz olduğu noktalarda (aralığın içinde)  $f(x)$  fonksiyonuna yakınsak,
- $f(x)$  fonksiyonunun süreksiz olduğu noktalarda  $\frac{f(x+0) + f(x-0)}{2}$  değerine yakınsak,
- Aralığın  $x = -\pi$ ,  $x = \pi$  uç noktalarında  $\frac{f(-\pi+0) + f(\pi-0)}{2}$  değerine eşit olur. Böylece  $f(x)$  fonksiyonunun Fourier serisi,

$$f(x) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(nx) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(nx) \text{ şeklinde gösterilir.}$$

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx \quad (2.3)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx \quad (2.4)$$



$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx \quad (2.5)$$

formülleri ile katsayılar bulunur.

$f(t) = f\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$  olduğunu kabul edersek Fourier serilerinin formülü aşağıdaki gibi olur ( Dönmezer 2005 ).

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte katsayılar,

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) dt \quad (2.7)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) dt \quad (2.8)$$

$e^{inx} = \cos(nx) + i \sin(nx)$  eşitliği yazılırsa,

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} c_n e^{i \frac{2\pi n t}{T}} \quad (2.9)$$

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{i \frac{2\pi n t}{T}} dt \quad (2.10)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{-j\omega t} d\omega \quad (2.11)$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{j\omega t} dt \text{ olur.} \quad (2.12)$$

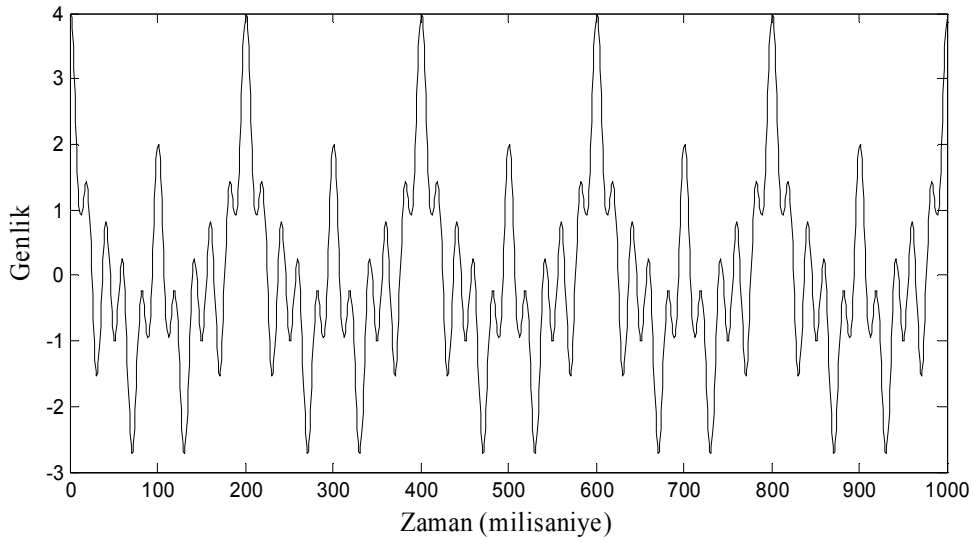
Yukarıdaki formüllerde zaman bölgesinden frekans bölgesine geçiş yapılmıştır, burada  $\omega$  ifadesi frekansı yani açısal hızı ifade eder. Fourier dönüşümleri, periyodik olmayan sürekli sinyallere, periyodik sürekli sinyallere, periyodik olmayan ayrık sinyallere ve periyodik ayrık sinyallere uygulanır. Bu sinyallerin matematiksel karşılığı birbirinden farklı zamana göre değişen fonksiyonlardır.

### 2.4.1.1. Durağan ve sürekli sinyaller

Fourier dönüşümü durağan sinyaller için tercih edilir. Durağan sinyaller ve sürekli sinyalleri inceleyerek bu sinyalleri hangi yöntemle ayrıştırmaımız gereğini anlayabiliriz.

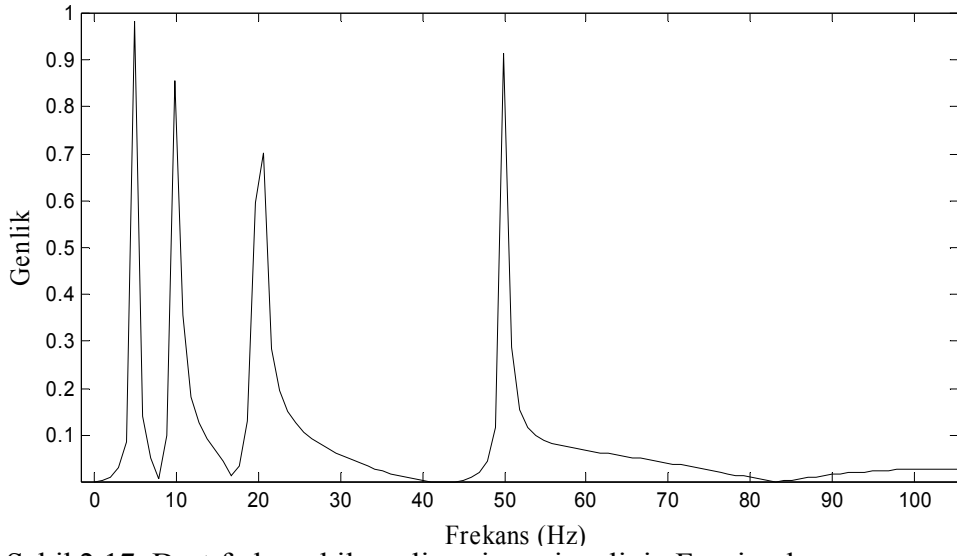
$$x(t)=\cos(2*\pi*5*t)+\cos(2*\pi*10*t)+\cos(2*\pi*20*t)+\cos(2*\pi*50*t) \quad (2.13)$$

yukarıdaki  $x(t)$  grafiğini zaman genlik ekseninde inceleyecek olursak Şekil 2.16 daki gibi bir grafik oluşur.



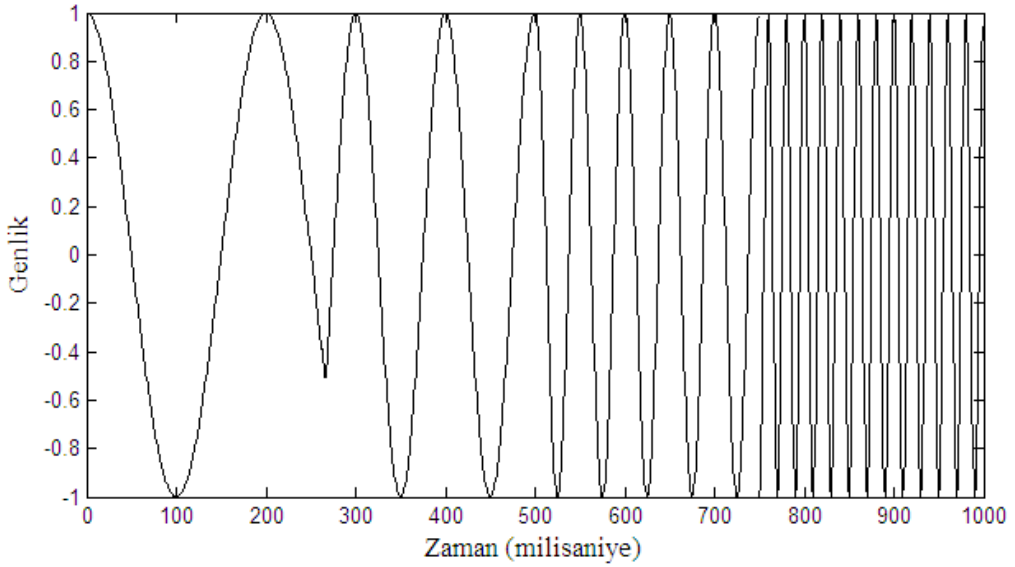
Şekil 2.16. Tüm zamanda 5, 10, 20 ve 50 Hz ile cosinüs sinyali rneği  
(Polikar 2012)

Şekil 2.16'daki bu sinyal 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz ve 50 Hz sinyal bileŐenlerinden oluşan  $x(t)$  durağan sinyalidir. Bahsedilen frekanslar zaman ekseninin tamamına yayılmıŐtır. Yani herhangi bir zaman anında tüm frekanslar mevcuttur, sinyalin baŐlangıcındaki frekanslar zaman içinde değişmez. Bu çeşit sinyaller durağan sinyaller olarak isimlendirilir. Bu sinyale Fourier dnm uygulandığı zaman Şekil 2.17'de frekans bileşenleri görülmektedir.



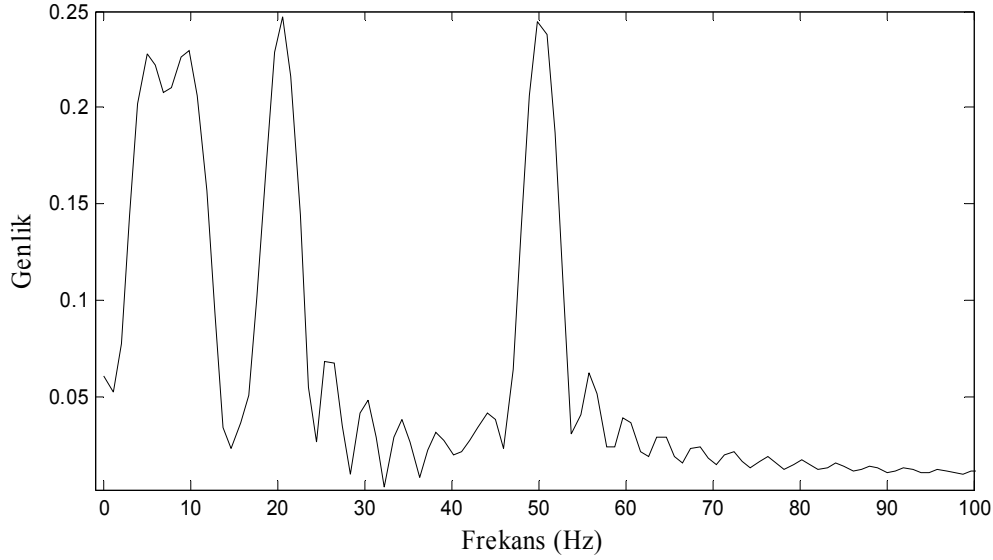
Şekil 2.17. Dört frekans bileşenli cosinüs sinyalinin Fourier dönüşümü  
(Polikar 2012)

Şekil 2.18'deki sinyal Şekil 2.16'daki gibi aynı dört frekans bileşenlerine sahiptir. Ancak bileşenler farklı zamanlarda meydana gelmiştir. Bu sinyal sürekli bir sinyaldir. Sürekli sinyallerin frekansları durağan sinyallerde olduğu gibi zamandan bağımsız değildir. Şekil 2.18. de sinyalin 0-250ms arasında 5 Hz, 250-500ms arasında 10 Hz, 500-750ms arasında 20 Hz ve 750-1000 ms arası 50 Hz sinüsoidlerden oluştuğunu söyleyebiliriz.



Şekil 2.18. Farklı zamanlarda aynı frekanslardan oluşan sinyal (Polikar 2012)

Durağan olmayan bu sinyalin Fourier dönüşümü Şekil 2.19’da gösterilmiştir. Şekile dikkatli bakacak olursak major pikler 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz ve 50 Hz’ lere denk gelmektedir. Bu da; bize durağan sinyalin Fourier dönüşümü ile aynı olduğunu göstermektedir. Aradaki dalgalıklar ise frekanslardaki ani değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Frekanslardaki sinyallerin genlikleri takriben eşit çıkmıştır. Sebebi ise frekansların zaman ekseninde eşit süre yer almalarıdır.



Şekil 2.19. Durağan olmayan sinyalin Fourier dönüşümü (Polikar 2012)

Durağan olmayan sinyallerin Fourier dönüşümüne uygun olmamasının sebebi, aslında dönüşümün kendisinden çok sürekli sinyalin yapısından kaynaklanıyor olmasıdır. Sürekli sinyalin Fourier dönüşümünde sinyalin tüm frekanslarını görebiliriz yani frekans çözünürlüğü kusursuzdur, ancak zaman yerelliği yoktur. Yani hangi frekansın hangi zamanda olduğuna dair elimizde hiçbir bilgi yoktur. Durağan sinyallerde böyle bir sorunun olmamasının sebebi frekansların zamanla değişmiyor olmasıdır, bir başka deyişle bu tip sinyallerde zaman yerelliği önemli değildir çünkü her frekans zaten her zaman mevcuttur (Ağoğlu 2008, Polikar 2012).

#### 2.4.2 Kısa-zaman fourier dönüşümü (KZFD)

Fourier dönüşümü, durağan sinyaller için uygun olmasına karşın, durağan olmayan sinyaller için yetersiz kalır. Denis Gabor, pencereleme tekniğini kullanarak,

işaretin küçük bir parçasını zaman tanım aralığında ele almış, işareti zaman ve frekansın fonksiyonu olarak iki boyutta ifade edebilmiştir. Bu sinyal işleme yönteminde sinyalin belirli bir kesimi durağan kabul edilebilecek bir pencereden geçirilir ve yerel bir frekans parametresiyle Fourier dönüşüm işleminden geçirilir. KZFD’de sinyal küçük çerçevelere bölünür ve bu çerçeve anlarında sinyalin durağan olduğu kabul edilir. Durağanlığın geçerli olduğu bu çerçeveler sinyalin bir pencere fonksiyonu ile çarpılmasıyla elde edilir. Fourier dönüşümü’nün yerelleştirilmesi fikrine dayanan bu teknik ilgilenilen yerde uygun bir pencere seçilerek dönüşüm gerçekleştirilir (Miner 1998, Batar 2005, Polikar 2012).

KZFD temel bir pencere fonksiyonundan zaman alanında kaydırma ve frekans parametreleri olmak üzere iki ayrı şekilde türetilir. Burada kullanılan pencere fonksiyonu Eşitlik 2.14 ile ifade edilmiştir. Pencere fonksiyonu sonlu enerjiye sahip olması ve integralinin alınabilmesi gerekmektedir. KZFD yönteminde zaman ekseninde bir  $t$  noktasına  $w(t)$  pencere;

$$g_{w,\tau(t)} = e^{j\omega t} w(t - \tau) \quad (2.14)$$

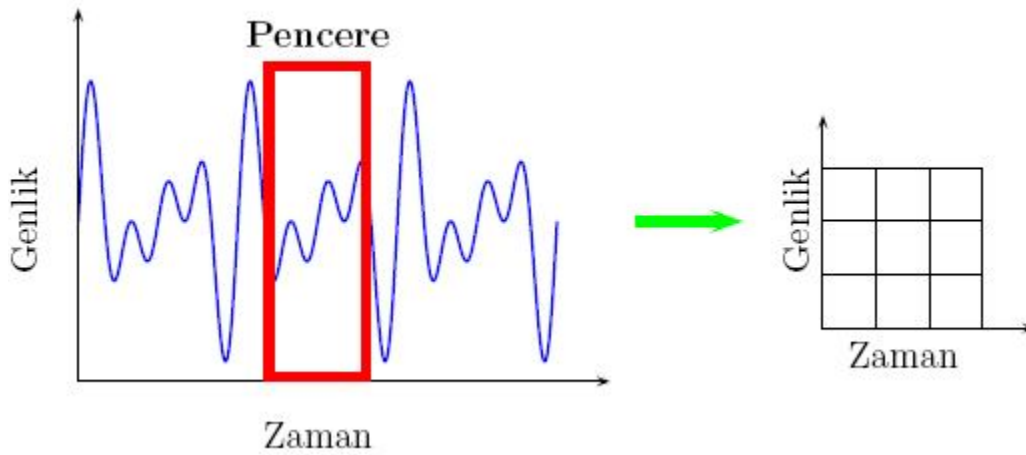
fonksiyonunu yerleştirilerek pencerelenmiş fonksiyonun Fourier dönüşümü gerçekleştirilir. Daha sonra pencere kaydırılır ve tekrar Fourier dönüşümü alınarak işleme devam edilir. Bu yöntemin matematiksel ifadesi Eşitlik 2.15’de ifade edilmiştir.

$$KZFD(w, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) w(t - \tau) e^{-j\omega t} dt = \langle g_{w,\tau}(t), f(t) \rangle \quad (2.15)$$

KZFD’nde en önemli faktör çerçeve boyutunun belirlenmesidir. KZFD ile ilgili analiz penceresinin seçimi farklı sinüzoidal bileşenlerin ortaya çıkarılmasını ve spektrumun düzgünlüğünü de belirler. Bundan dolayıdır ki, sinyal analizcileri birçok yeni pencere geliştirmişlerdir.

Gabor diye bilinen dönüşüm esasında KZFD’nün kendisidir. Gabor tarafından kullanılan pencerelerden birisi de Gaussian penceresidir. Fourier dönüşümü zamanlama

eksikliğini gidermek için, Gabor (1946) sinyali zaman alanında küçük pencereler halinde analiz edebileceği fikrini ortaya atmış ve başarı sağlamıştır. KZFD bir sinyalin zaman ve frekans görünüşü arasında uzlaşmasını sağlar. Yani sinyalin ne zaman ve hangi frekansla oluştuğu hakkında bilgi verir. Fakat bu bilgiler sınırlı doğrulukta elde edilir. Çünkü doğruluk pencerenin boyutuyla ilgilidir (Şekil 2.20). Pencere boyutu büyükse frekans çözünürlüğü iyi, pencere boyutu küçükse frekans çözünürlüğü düşük olur. Yöntem, zaman sinyali  $f(t)$  ve bir yaklaşık zaman penceresi  $w(t)$  ile çarpılmasıyla klasik Fourier dönüşümü tekniğinden türetilir.



Şekil 2.20. Kısa zaman Fourier dönüşümü

$$w(t) = \beta e^{-\alpha t^2} \quad \alpha, \beta > 0 \quad (2.16)$$

Eşitlik 2.16'daki;  $\alpha$  genişliği,  $\beta$  ise normalizasyon faktörünü göstermektedir. KZFD'nün en önemli sorunu pencere boyutunun sabit olmasıdır. KZFD sinyalin zaman ve frekans bilgilerini içermesi önemini artırır ama pencere  $w(t)$  fonksiyonunun bütün sinyal boyunca sabit kalması iyi bir analiz değildir. Çözünürlüğün yani detayların fazla olması gereken sinyal zamanları olabilir bu durumda pencere boyutunun değişebilir boyutta olması istenir. Birçok işaret daha esnek yaklaşımlara yani zaman veya frekans hakkında daha çok bilgi alabilmek için değişebilen pencereleme tekniklerine ihtiyaç duymaktadır (Demir 2008).

### 2.4.3 Ayrık- zaman fourier dönüşümü (AZFD)

Ayrık zamanlı Fourier dönüşümü (AZFD), bir fonksiyonun sonlu sayıdaki örnek noktasından, Fourier dönüşümünü tahmin etmek ilkesine dayanır. Örnek alınan noktaların tüm sinyali temsil ettiği kabul edilir. Sadece seçilen belirli bir sinyal bölgesine Fourier dönüşümünün uygulanması, geri kalan sinyalinde bu alınan bölgeye benzediğinin kabul edilmesi, uygulama açısından kullanışlı değildir. Ancak bilgisayar gibi sonsuz bilgiyi saklayamayan ve işleme alamayan hesaplama ortamlarında, Fourier dönüşümü uygulamak için bu yapılmak zorundadır.

AZFD hesaplamasında günümüzde kullanılan yaklaşım Hızlı Fourier Dönüşüm (HFD) algoritmalarıdır. 1965 yılında Cooley ve Tukey tarafından kurulan HFD (Fast Fourier Transform – FFT) algoritması; AZFD’ den farklı değildir. AZFD’ nün hesaplanması için etkili ve mükemmel bir algoritmadır. AZFD’ nün sayısal işaret işleme alanında spektrum analizi, konvolüsyon ve korelasyon gibi işlemlerin gerçekleştirilmesinde önemli rol oynamasının nedeni HFD algoritmalarından kaynaklanmaktadır (Fidan 2006).

Bir lineer kaydırma-değişmez sistemin frekans yanıtı,  $e^{-j\omega n}$  karmaşık üstel ile  $h(n)$  in çarpımın dizisi kadar toplanarak bulunur.  $x(n)$  ile ifade edilen bir dizinin Ayrık-zaman Fourier dönüşümü (AZFD) aynı yolla tanımlanır ve aşağıda bu Eşitlik 2.17’de görülmektedir.

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-jn\omega} \quad (2.17)$$

Böylece, bir lineer kaydırma-değişmez sistemin frekans yanıtı,  $H(e^{j\omega})$ , birim örnek yanıtı,  $h(n)$ ’in AZFD’ dır. Mevcut bir dizinin AZFD gerçekleştirilmesi için, Eşitlik (2.17) toplamının yakınsaması gereklidir. Bu da  $x(n)$ ’nin mutlak toplanır olmasını gerektirir. Yani aşağıdaki Eşitlik 2.18 geçerlidir.

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n)| = S(\text{toplabilir}) < \infty \quad (2.18)$$

Ayrık-zaman Fourier dönüşümü örneklenmiş sinyallerin diğer bir deyişle ayrık zaman düzleminde verilen sinyallerin frekans spektrumlarının elde edilmesi için kullanılır (Hayes 1999).

## 2.5. Spektral Analiz

Zaman serilerinin sonlu sayıdaki ölçümlerinden spektral içeriğin belirlenmesi işlemine spektral analiz denir. Spektral analiz konusunda iki farklı yaklaşım vardır: Parametrik olmayan (klasik) metodlar ve parametrik (model-tabanlı) metotlar. Parametrik metotlarda, işaret fonksiyonel formu bilinen modele uygulanır ve bu modelin parametrelerinin kestirimi yapılır. Parametrik metotlar ilk olarak Yule tarafından 1927'de tanımlanmıştır. Daha sonra, bu metotlar Walker (1931), Burg (1975) ve diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir (Übeyli ve Güler 2002).

Parametrik modellemede, fiziksel model ortada yoktur. Bu metotta modeli temsil eden çıkış işareti, belli bir matematiksel forma sokulur ve bu formda görünen parametreler belirlenir.

Bu modelleme çeşitleri literatürde aşağıdaki şekillerde anılmaktadır (Yazgan ve Korürek 1996):

AR modeli (Autoregressive model) durağan olduğu varsayılan sinyallere uygulanır,

MA modeli (Moving average model) yürüyen ortalama model,

ARMA modeli (Autoregressive moving average model) sıfır kutup modelleridir.

Parametrik modellemede süreç (proses), oransal (lineer) ve nedensel (sadece geçmiş değerlerine bağlı) olarak modellenir. Süreç (veya işaret), modellendikten sonra parametrelerle temsil edildiği için, bu işlem, veri sıkıştırma ve sınıflama amaçlarına yönelik yaygın olarak kullanılmaktadır. Durağan işaretlerin spektrumlarının hesaplanmasında ve keskin tepe ve vadiler şeklinde frekans cevabı veren işaretlerin frekans analizlerinde de bu parametrelerden yararlanılmaktadır (Yazgan ve Korürek 1996).



Parametrik metotlar aşağıda belirtilmiştir;

- Yule-Walker AR metot (otokorelasyon metodu),
- Burg metodu,
- Kovaryans metodu,
- Değiştirilmiş kovaryans metodu.

Tüm AR metotlar güç spektral yoğunluğu tahminlerinde Eşitlik 2.19 bağıntısı tarafından sağlanır.

$$P_{AR}(f) = \frac{1}{f_s} \frac{\varepsilon_p}{\left\langle 1 + \sum_{k=1}^p a_p(k) e^{-2\pi j k f / f_s} \right\rangle^2} \quad (2.19)$$

Çok az farklı  $a_p(k)$  AR parametreleri, farklı AR metotlarında, farklı güç spektral yoğunluğu tahminleri verir. Çizelge 2.2'de farklı AR metotlarının bir özeti sunulmaktadır.

Bu metotların özellikleri, avantajları ve dezavantajları bu tabloda görölmektedir. Bu çalışmada Yule-Walker güç spektral yoğunluğu kestirimi kullanılmıştır. Diğer parametrik metotlara göre daha geniş veri kaydına uygulanabilmesi, istikrarlı bir model olması özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Yule-Walker spektrumları ile tüm kutup modeli temelli olmasından dolayı parametrik olmayan metotlara göre daha yumuşak grafikler elde edilmektedir. Parametrik metotlar sinyal veri uzunluğu nispeten kısa olan sinyallerde klasik parametrik olmayan metotlara göre daha iyi sonuçlar üretme eğilimindedir.

Çizelge 2.2. Güç Spektral Yoğunluğu Hesaplamalarında Parametrik Yöntemlerin Karşılaştırılması

	<b>Burg</b>	<b>Kovaryans</b>	<b>Değiştirilmiş Kovaryans</b>	<b>Yule-Walker</b>
<b>Özellikler</b>	Veriye pencereleme uygulanmaz.  En küçük kareler anlamında ileri ve geri yönde öngörü hatalarını en aza indirir.	Veriye pencereleme uygulanmaz.  En küçük kareler anlamında ileriye doğru öngörü hatasını küçültür	Veriye pencereleme uygulanmaz.  En küçük kareler anlamında ileri ve geri yönde öngörü hatalarını en aza indirir.	Veriye pencereleme uygulanır.  En küçük kareler anlamında ileriye doğru öngörü hatasını küçültür.  (Ayrıca Otokorelasyon metodu olarak adlandırılır)
<b>Avantajları</b>	Kısa veri kayıtları için yüksek çözünürlüklüdür.  Her zaman istikrarlı bir modeli ortaya koyar.	Kısa veri kayıtları için Y-W 'dan daha iyi çözünürlük sunar.  (Daha doğru tahminler)  p' yi içeren veriden frekansları veya daha fazla saf sinüzoidler ayıklamak mümkün	Kısa veri kayıtları için yüksek çözünürlüklüdür.  p' yi içeren veriden frekansları veya daha fazla saf sinüzoidler ayıklamak mümkün  Spektral hat- bölünme meydana gelmez	Diğer yöntemlere göre daha geniş veri kaydı.  Her zaman istikrarlı bir modeli ortaya koyar.
<b>Dezavantajları</b>	Başlangıç aşamasında çok bağımlı tepe konumlar  Dizi çok büyük olduğu zaman gürültüdeki sinüzoydallarda spektral hat-bölünmesi olabilir.  Gürültüde sinüzoidlerin tahminlerin de frekans sapması	Kararsız modeller üretebilir  Gürültüde sinüzoidlerin tahminlerinde küçük frekanslarda sapma	Kararsız modeller üretebilir  İlk etapta biraz bağımlı tepe konumları  Gürültüde sinüzoidlerin tahminlerinde küçük frekanslarda sapma	Kısa veri kayıtları için nispeten zayıf bir performans  Gürültüde sinüzoidlerin tahmininde frekans sapması
<b>Tekil olmayan durumlar</b>		Dizi, pencere boyutu girişi  yarıma eşit ve ya biraz daha az olmalıdır	Dizi, pencere boyutu girişi 2/3 veya biraz daha az olmalıdır.	sapma tahmininden dolayı  otokorelasyon matrisi pozitif- kesin garantilidir bundan dolayı tekil değildir.

### 2.5.1. Güç spektral yoğunluğu

Spektral tahminde amaç; bir sinyalin (ses vb.) sonlu bir veri setinde güç dağılımını açıklamaktır. Spektral kestirim; geniş bant gürültüde gömülü sinyallerin tespiti de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılabilir.

$X_n$  gibi sabit rastgele bir sürecin spektral güç yoğunluğu; matematik olarak ayrık fourier transformun korelasyon dizisiyle ilişkilidir. Normalize frekansı cinsinden de bu ifade aşağıdaki gibidir.

$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-jn\omega} \quad (2.20)$$

Normalize frekansı  $\omega = 2\pi f/f_s$  olduğuna göre;

$f$ =fiziksel frekans (Hz)

$f_s$ =örnekleme frekansı(Hz)

$$X(f) = \frac{1}{f_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)e^{-2\pi jfn / f_s} \quad (2.21)$$

Korelasyon serisi; ayrık zamanlı fourier dönüşümünün tersi kullanılarak spektral güç yoğunluğundan elde edilebilir.

$$X(n) = \int_{-\pi}^{\pi} (x(\omega)e^{j\omega n})d\omega = \int_{-f_s/2}^{f_s/2} (x(f)e^{2\pi jfn / f_s})df \quad (2.22)$$

Tüm Nyquist ( $f_s/2$ ) Aralığında  $X_n$  dizisinin ortalama gücü aşağıdaki eşitliği temsil eder.

$$X(0) = \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega)d\omega = \int_{-f_s/2}^{f_s/2} x(f)df \quad (2.23)$$

Belirli bir frekans bandı üzerinden bir sinyalin ortalama gücü  $[\omega_1, \omega_2], 0 \leq \omega_1 < \omega_2 \leq \pi$  bu bandın üzerine spektral güç yoğunluğunun integrali alınarak bulunabilir.

$$x_{[\omega_1, \omega_2]} = \int_{\omega_1}^{\omega_2} x(\omega) d\omega + \int_{-\omega_2}^{-\omega_1} x(\omega) d\omega \quad (2.24)$$

Eşitlik (2.24)' deki  $x(\omega)$  sonsuz küçük frekans bandında bir sinyalin güç içeriğini temsil eden bu ifadeye spektral güç yoğunluğu denir.

Gerçekte sinyallerin güç spektral yoğunluğu simetriktir. Bu nedenle  $x(\omega)$ ,  $0 \leq \omega < \pi$  aralığında güç spektral yoğunluğunu tamamıyla temsil etmektedir.

$$x_{\text{tektaraflı}}(\omega) = \begin{cases} 0, & \dots -\pi \leq \omega < 0 \\ 2x(\omega), & \dots 0 \leq \omega < \pi \end{cases} \quad (2.25)$$

$$x_{[\omega_1, \omega_2]} = \int_{\omega_1}^{\omega_2} x_{\text{tektaraflı}}(\omega) d\omega \quad (2.26)$$

### 2.5.2. Yule-Walker AR metodu

Spektral kestirim metotlarından Yule-Walker AR metodu, bir sinyalin otokorelasyon fonksiyonunun yanlı tahminiyle oluşturulmuş AR parametrelerini hesaplar ve ileri öngörü hatasını en küçük kareler minimizasyonu ile çözer. Bu sonuçlar Yule-Walker eşitlikleridir.

$$\begin{bmatrix} r(1) & r(2) & \dots & r(p) \\ r(2) & r(1) & \dots & r(p-1) \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r(p) & \dots & r(2) & r(1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a(2) \\ a(3) \\ \vdots \\ a(p+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r(2) \\ -r(3) \\ \vdots \\ -r(p+1) \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

Yule-Walker AR metodu bir maksimum entropi tahmincisi gibi aynı sonuçları üretir.

Otokorelasyon fonksiyonuna karşı bir yöntem kullanılması, Eşitlik (2.27)'deki otokorelasyon matrisinin pozitif olmasını sağlar. Bu yüzden matris ters çevrilebilir ve mevcut bir çözümü garanti edebilir. Ayrıca, bu hesaplanan AR parametreleri her zaman istikrarlı bir tüm-kutup model ile sonuçlanır. Yule-Walker denklemleri, otokorelasyon

matrisi olan Toeplitz yapısından yararlanır ve Levinson'ın algoritması aracılığıyla verimli bir şekilde çözülür (Kay 1988).

Lineer cebirde, Toeplitz matrisi veya çapraz-sabiti matrisi adını Otto Toeplitz'den almıştır. Bu matris, soldan sağa çapraz inen her terimi sabit olan bir matristir.

Bir rasyonel güç spektral yoğunluğu  $e^{-i\omega}$  nin bir rasyonel fonksiyonudur (diğer bir değişle,  $e^{-i\omega}$  de iki polinomun oranıdır ).

$$\phi(\omega) = \frac{\sum_{k=-m}^m \gamma_k e^{-i\omega k}}{\sum_{k=-n}^n \rho_k e^{-i\omega k}} \quad (2.27)$$

Burada  $\gamma - k = \gamma_k$  ve  $\rho - k = \rho_k$  dır. Weiserstrass teoreminin ileri sürdüğü; herhangi bir sürekli güç spektral yoğunluğu yeterince büyük seçilmiş m ve n. derecelerde sağlayan Eşitlik (2.27) biçimindeki bir rasyonel güç spektral yoğunluğu tarafından yaklaşık olarak hesaplanabilir. Yani rasyonel güç spektral yoğunluklarının formu, tüm sürekli spektrum sınıfında bir dizi oluşturur. Eşitlik (2.27)'deki modelde  $\phi(\omega)$ , spektral kestirim araştırmacılarında önemli bir ilgi uyandırmaktadır.

Eşitlik (2.27)'deki rasyonel spektral yoğunluğu  $\phi(\omega) \geq 0$  olduğu zaman eşitliği aşağıdaki gibi göstermek mümkündür.

$$\phi(\omega) = \left| \frac{B(\omega)}{A(\omega)} \right|^2 \sigma^2 \quad (2.28)$$

Burada  $\sigma^2$ , pozitif skalerdir.  $A(\omega)$  ve  $B(\omega)$  de polinomdur.

$$A(\omega) = 1 + a_1 e^{-i\omega} + \dots + a_n e^{-in\omega}$$

$$B(\omega) = 1 + b_1 e^{-i\omega} + \dots + b_m e^{-im\omega}$$

Eşitlik (2.28)'deki netice, Z-alanı'nda benzer şekilde ifade edilebilir.

$\phi(z) = \frac{\sum_{k=-m}^m \gamma_k z^{-k}}{\sum_{k=-n}^n \rho_k z^{-k}}$  gösterim ile  $\phi(z)$  faktörünü aşağıdaki gibi gösterebiliriz.

$$\phi(z) = \frac{B(z)B^*(1/z^*)}{A(z)A^*(1/z^*)} \quad (2.29)$$

Burada, örneğin;

$$A(z) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}$$

$$A^*(1/z^*) = [A(1/z^*)]^* = 1 + a_1^* z^1 + \dots + a_n^* z^n \text{ dir.}$$

İşaretler kuralı gereği,  $z$ ' nin bir fonksiyonundan  $\omega$ ' nin bir fonksiyonuna dolaylı anlayış ile  $A(z)$  ve  $A(\omega)$  ye dönüştürüldüğü zaman,  $z = e^{i\omega}$  şeklinde yazabiliriz.

$\phi(z)$ ' nin sıfır ve kutuplarını dikkate alırsak birim çemberin etrafında simetrik çiftler halindedir. Eğer  $\phi(z)$  nin bir sıfır(kutup)'ü  $z_i = r e^{i\theta}$  ise  $(1/z_i^*) = (1/r) e^{i\theta}$  bir sıfır (kutup)' dır. Bu  $\phi(z)$  varsayımıyla  $z = e^{i\omega}$  birim çember içeren  $\phi(z)$ ' nin yakınsama bölgesi, birine eşit modülüyle hiçbir kutup'u yoktur. Bu nedenle Eşitlik (2.27), Eşitlik (2.28) ve (2.29)'da olduğu gibi yazılabilir. Bu teoreme de "spektral çarpanlar teoremi" denir.

Eşitlik (2.28) bağıntısındaki keyfi rasyonel güç spektral yoğunluğu,  $H(\omega) = \frac{B(\omega)}{A(\omega)}$  transfer fonksiyonunun rasyonel filtre tarafından  $\sigma^2$  güçteki beyaz gürültünün filtrelenmesiyle elde edilen sinyal ile ilişkilendirilebilir. Buradan yola çıkarak bağıntıyı zaman alanında yazarsak;

$$y(t) = \frac{B(z)}{A(z)} e(t) \quad (2.30)$$

olur. Buna eşdeğer ifade de;

$$y(t)A(z) = B(z)e(t) \quad (2.31)$$

dir. Burada;

$y(t)$  filtre çıkışını

$z^{-i}$  = birim gecikme operatörünü  $z^{-k}y(t) = y(t - k)$

$e(t) = \sigma^2$  ye eşit varyansın beyaz gürültüsüdür.

Bu nedenle, spektral çarpanlar teoremi,  $\phi(\omega)$  nin parametrelili modeli, sinyalin kendisinin bir modeli haline dönüşür.

Eşitlik (2.30)'deki denklemi karşılayan bir  $y(t)$  sinyaline “özbağlanımlı yürüyen ortalamalı”(ARMA) sinyali denir. Eğer  $m=0$  ise  $y(t)$  sinyaline “özbağlanımlı” (AR) sinyali denir. Eğer  $n=0$  ise  $y(t)$  sinyaline “yürüyen ortalamalı” (MA) sinyali denir. Özetleyecek olursak;

ARMA:  $y(t)A(z) = B(z)e(t)$

AR:  $y(t)A(z) = e(t)$

MA:  $y(t) = B(z)e(t)$  olur.

ARMA sınıfında, özbağlanımlı (AR) veya tüm-kutuplu sinyaller oluşturan tipler uygulamalarda en çok kullanılan metotlardır. AR eşitlikleriyle, Eşitlik (2.31) denklemindeki A-polinomlarında sıfırın yerine konulmasıyla dar pikler içeren spektrumları modellemek mümkün olmaktadır. AR metodu dar bant spektrum özelliğinden dolayı uygulamalarda oldukça yaygın kullanımı söz konusudur. Ayrıca, AR sinyal modeli, parametrelerinin kestiriminde köklü bir konudur. Kestirimler doğrusal bir sistem çözerek bulunur ve AR polinomu kestirim güvenilirliğini garanti edebilir.

AR spektral kestirim metotları için iki yöntem düşünülebilir. İlki, doğrudan doğrusal ilişkiye dayalı kovaryanslar ve AR parametreleri arasında Eşitlik (2.32)'den üretilmiş denklem ki buna Yule-Walker metodu denir. İkincisi de,  $y(t)A(z) = e(t)$  eşitliğini zaman-alanı (time-domain) olarak kullanan AR parametrelerini en küçük kareler çözümüyle yapan bir metottur. En küçük kareler denilen bu yöntem, doğrusal tahmin problemiyle yakından ilgilidir.

$$r(k) + \sum_{i=1}^n a_i r(k-i) = 0, \quad \text{için } k > m \quad (2.32)$$

Eşitlik (2.32), ARMA süreçleri içinde çoğu AR katsayıları kestirimlerinde temel teşkil etmektedir.

AR sinyallerinde,  $m=0$  ve  $B(z)=1$  olduğundan dolayı Eşitlik 2.32 burada da geçerlidir.

$$r(0) + \sum_{i=1}^n a_i r(-i) = \sigma^2 \sum_{j=0}^0 b_j h_j^* = \sigma^2 \quad (2.33)$$

Eşitlik (2.33) ve (2.32) birleşmesiyle  $k=1, \dots, n$  için Eşitlik 2.3'deki doğrusal sistemi veren eşitlik meydana gelir.

$$\begin{bmatrix} r(0) & r(-1) & \dots & r(-n) \\ r(1) & r(0) & \dots & \vdots \\ \vdots & \searrow & & r(-1) \\ r(n) & \dots & r(2) & r(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma^2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Yukarıdaki Eşitlik (2.34)'e Yule-Walker eşitliği denir ve birçok AR kestirim yöntemlerinin temelini oluşturur (Stoica ve Moses 2005).

### 2.5.2.1. Yule-Walker AR metodu ile güç spektral yoğunluğu

$$[P_{xx}, f] = \text{pyulear}(x, p, \text{nfft}, \text{fs}) \quad (2.35)$$

Eşitlik (2.35)'deki sözdizimi, bir sinyalin parametrik bir kestirim metodu olan Yule-walker AR metodunu kullanarak güç spektral yoğunluğunu hesaplar. Burada güç yoğunluğu  $P_{xx}$ , parametrik bir kestirim metodu olan Yule-walker parametreleridir,  $x$  vektörü bir ayrık zamanlı sinyal örneğini temsil eder.  $p$  güç spektral yoğunluğu kestiriminde kullanılan sinyal için bir özbağlanımlı (AR) tahmin modelinin düzenini belirten bir tam sayıdır. Bu tahmin de maksimum entropi bir tahmindir.  $\text{fs}$ , örnekleme frekansı olarak belirlenecek değerdir.

Hesaplanan güç spektral yoğunluğunda, frekansa karşılık gücün frekansa oranı hesaplanır. Reel değerli girdileri, güç spektral yoğunluğunun frekanslarını bir kenarlı (one-sided), karmaşık değerli girdilerini iki kenarlı (two-sided) belirterek verir.



Genelde  $x$  girdisinin değerlerini ve FFT' nin uzunluğunu,  $P_{xx}$ 'in uzunluğu ve ona karşılık gelen normalleştirilmiş frekans aralığı belirler. Bu sۆzdiziminde varsayılan FFT uzunluğu 256 dır.

Aşağıdaki izelge 2.3'de bu sۆzdiziliminin normalize frekansına denk gelen aralığı ve  $P_{xx}$ 'in uzunluğu verilmiştir.

Çizelge 2.3. Giriş datasına karşılık  $P_{xx}$ 'in uzunluğu

Reel/karmaşık giriş datası	$P_{xx}$ 'in uzunluğu	Normalize frekansına denk gelen aralık
Reel değerli	129	$[0, \pi ]$
kompleks değerli	256	$[0, 2\pi ]$

### 2.5.3. Burg metodu

Burg algoritması, değiştirilmiş kovaryans algoritmasında olduğu gibi tۆm-kutup model parametre setini, ileri-geri kestirim hatalarının kareler toplamının minimize edilmesiyle bulur. Bu model durağanlığı sağladığı için bu minimizasyon, yansım katsayılarının uyması ile sırasıyla gerçekleştirilmektedir. Burg algoritması değiştirilmiş kovaryans metodundan daha az hassas olmasına rağmen, veriye pencereleme uygulamaz. Burg algoritmasındaki ۆzbaęlanımlı katsayıların kestirimi, otokorelasyon metodu ile elde edilenden daha doğrudur. Gۆrۆltۆde sinusoidlerin analizinde Burg algoritması, pik yerleri ve spektral hat ayırmaya tabi kalarak, sinۆsoydalların fazları ۆzerine son derece bağlıdır.

$t = 1, 2, \dots, N$  olsun ve  $y(t)$ 'nin veri ۆlۆmleri olduğunu varsayalım. Burg metodunda "p." dereceden model için ileri-geri kestirim hataları aşağıdaki gibidir;

$$\hat{e}_{f,p}(t) = y(t) + \sum_{i=1}^p \hat{a}_{p,i} y(t-i), \quad t=p+1, \dots, N \quad (2.36)$$

$$\hat{e}_{b,p}(t) = y(t-p) + \sum_{i=1}^p \hat{a}_{p,i}^* y(t-p+i), \quad t=p+1, \dots, N \quad (2.37)$$

AR parametreleri, yansım katsayıları ( $\hat{k}_p$ ) ile ilişkili olan bağıntısı aşağıdadır;

$$\hat{a}_{p,i} = \begin{cases} \hat{a}_{p-1,i} + \hat{k}_p \hat{a}_{p-1,p-i}^* & i = 1, \dots, p-1 \\ \hat{k}_p & i = p \end{cases} \quad (2.38)$$

Kestirim hataları için aşağıdaki sırayla ifadeler kullanılır;

$$\hat{e}_{f,p}(t) = \hat{e}_{f,p-1}(t) + \hat{k}_p \hat{e}_{b,p-1}(t-1) \quad (2.39)$$

$$\hat{e}_{b,p}(t) = \hat{e}_{b,p-1}(t-1) + \hat{k}_p^* \hat{e}_{f,p-1}(t) \quad (2.40)$$

Yansıma katsayıları kestirimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$\hat{k}_p = \frac{-2 \sum_{t=p+1}^N \hat{e}_{f,p-1}(t) \hat{e}_{b,p-1}^*(t-1)}{\sum_{t=p+1}^N [|\hat{e}_{f,p-1}(t)|^2 + |\hat{e}_{b,p-1}(t-1)|^2]} \quad (2.41)$$

AR parametreleri kestiriminden sonra güç spektral yoğunluk aşağıdaki ifadeden bulunur;

$$\hat{P}_{BURG}(f) = \frac{\hat{e}_p}{\left| 1 + \sum_{k=1}^p \hat{a}_p(k) e^{-j2\pi f k} \right|^2} \quad (2.42)$$

$\hat{e}_p$  ifadesi  $\hat{e}_{f,p} + \hat{e}_{b,p}$  toplamı olarak gösterilir ve toplam en küçük karesel hatadır. Parametre kestiriminde Burg metodu verimli ve kararlı bir AR yöntemidir (Stoica ve Moses 2005, Hayes 1996, Bozkurt 2007).

#### 2.5.4. Kovaryans metodu

AR parametrelerinin kestirim yaklaşımlarından bir diğeri de kovaryans metodudur. Bu metot aşağıdaki lineer eşitlik setini bulmayı gerektirir.

$$\begin{bmatrix} r_x(1,1) & r_x(2,1) & \dots & r_x(p,1) \\ r_x(1,2) & r_x(2,2) & \dots & r_x(p,2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_x(1,p) & r_x(2,p) & \dots & r_x(p,p) \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} a_p(1) \\ a_p(2) \\ \vdots \\ a_p(p) \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} r_x(0,1) \\ r_x(0,2) \\ \vdots \\ r_x(0,p) \end{Bmatrix} \quad (2.43)$$

Burada matrise karşılık gelen eşitlik aşağıdadır.

$$r_x(k,l) = \sum_{n=p}^{N-1} x(n-1)x^*(n-k) \quad (2.44)$$

Otokorelasyon metodunda lineer eşitliklere benzemeyen bu eşitlikler Toeplitz matrisi şeklinde değildir. Ancak otokorelasyon yöntemine göre kovaryans yönteminin bir avantajı vardır. Kovaryans yönteminde otokorelasyon yöntemindeki  $r_x(k,l)$  gibi verilerin pencerelemesi gerekliliği yoktur. Bu nedenle kovaryans yöntemi kısa veri kayıtlarında, otokorelasyon yöntemine göre daha yüksek çözünürlükte spektrum kestirimi üretir. Ancak veri kayıtları uzadıkça, iki yöntem arasındaki fark da ihmal edilebilir ölçülere gelmektedir (Hayes 1996).

### 2.5.5. Değiştirilmiş kovaryans metodu

Değiştirilmiş kovaryans metodu, kovaryans metoduna benzer şekilde verilerin pencerelemesi yöntemi yoktur. Ancak, özbağlanımlı modelde ileri kestirim hatanın kareler toplamının minimize edilmesi yerine, değiştirilmiş kovaryans metodunda ileri - geri kestirim hatalarının kareler toplamı minimize edilir. Değiştirilmiş kovaryans metodu literatürde ileri-geri metot ve en küçük kareler metodu ile de adlandırılmaktadır. Sonuç olarak yukarıdaki kovaryans metodundaki Eşitlik (2.43) lineer matris eşitlik seti bu yöntemde de geçerlidir. Ancak kovaryans metodundaki Eşitlik (2.44) yerine aşağıdaki Eşitlik (2.45) kullanılır.

$$r_x(k,l) = \sum_{n=p}^{N-1} [x(n-1)x^*(n-k) + x(n-p+l)x^*(n-p+k)] \quad (2.45)$$

Kovaryans metodunda olduğu gibi bu otokorelasyon matrisi de Toeplitz özellik taşımaz. Değiştirilmiş kovaryans metodu, diğer AR kestirim metotlarının aksine yüksek çözünürlüklü istatistiksel olarak durağan spektrum kestirimleri görüntüsü verir. Ayrıca beyaz gürültü içindeki sinüsoidlerin spektral analizinde değiştirilmiş kovaryans metodu, gürültüye katkısına bağlı gerçek konumdaki piklerin kaydırılması olarak tanımlansa da, bu kayma diğer özbağlanımlı kestirim tekniklerinden daha az belirgin olduğu görölmektedir. Buna ilave olarak pik konumları faza karşı daha hassas olma eğilimindedir. Kısaca, önceki yöntemlerin aksine değiştirilmiş kovaryans metodu spektral hat ayırmaya tabi değildir (Hayes 1996).

### 3. MATERYAL VE METOT

Zaman serileri veya dizileri zaman değişkeni ile ilişkili bir değişken hakkında, elde edilen gözlem değerlerini zamana göre sıralanmış olarak gösteren serilerdir. Zamanla ilişkili değişkenler üzerindeki etkisi, yön ve şiddetinin farklı olması nedeniyle, zaman serisi değerlerinde bazı değişmeler gözlenir. Bu değişmeler zaman serilerini etkileyen faktörler ya da bileşenler olarak ifade edilirler. Zaman serileri bu değişmeler nedeniyle çözümlenmeden bir anlam ifade etmezler. En basit anlamda, zaman serisi çözümlenmesi serinin özelliklerini açıklamaktır. Zaman serilerinin özelliklerini açıklayabilmek için, bu serilerin rastsal bileşenlerinin yanında bileşenlerden hangisi veya hangilerinin etkisinde olduğunu belirlemek ve bu bileşenlerin etkilerini tahmin etmek gerekir. Zaman serisi çözümlenmesinin en önemli diğer amacı da öngörü yapmaktır. Kısaca zaman dizileriyle öngörü ile seriyi etkileyen bileşenlerin belirlenmesi, belirlenen bileşenlerinin etkilerinin tahmin edilmesi ve hesaplanan tahminlerden yararlanarak, serinin gelecek dönemlerine ilişkin öngörü çalışmaları yapılır ve son olarak beklentilerin üzerinde değer alma durumunda kontrol işlemlerinde kullanılır.

Ses sinyalleri de bir nevi zaman dizisidir. Sesin de bir çeşit sinyal olması itibariyle, ses verileri bu çalışmada sayısal sinyal kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Bir zaman dizisinden sinyali çıkarma işlemine, gizli periyodiklik denir. Gizli periyodikliği belirleme işlemine de spektral analiz denmektedir. Ses sinyaline ait zaman dizilerinden, arızanın üretmiş olduğu periyodikliği yakalayıp, frekansı hesaplanabilir. Bu tezdeki analizlerdeki amaç da mekanik sistemlerde belirli bir döngü içerisinde çalışan makine seslerinde gürültü bileşenleri içerisinde arıza sinyalini ayırtmaktır yani gerçek sinyali ortaya çıkarmaktır ve ayrıca makinanın sesinden optimal verimli çalışma değerini tespit etmektir.

Bu çalışmada iklimlendirme sistemlerinde, özellikle ısıtma sistemlerinde sistemi oluşturan skoç tipi buhar kazanı, sıvı/gaz yakıtlı brülörleri ve buhar tesisatlarında kondens tahliyesi işlevini gören kondensstopların akustik analizleri yapılmıştır. Buhar kazanları çalışması iki ayrı kazanda yapılmıştır. Kondensstop çalışmalarında ters kovalı, termostatik ve termodinamik tip kondensstoplar kullanılmıştır. Periyodikliği yakalamak

üzere akustik zaman dizileri üzerinde yorumlamalar yapılmıştır. Frekans alanına, fourier dönüşümü FFT, spektral analizlerde AR kestirim metotları ve Yule\_Walker AR metodu kullanılmıştır.

Çalışmada sesleri kayıt altına almak için yüksek hassasiyetli yapıştırma pioze ve kondenser tipi mikrofonlar kullanılmıştır. Baca gazı ölçümlerinde testo 330-2LL cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan bu cihazların hassasiyetleri tablo halinde EK-1’de verilmiştir. Ses örnekleri bir dizüstü bilgisayara dijital olarak kayıt edilmiştir. Bu kayıt işleminde GoldWave v5.58 ses işleme ve düzenleme programı kullanılmıştır. Sesler CD kalitesinde 44100 örnekleme frekansları ile örneklenmiştir. Akustik analizleri yapmak üzere MATLAB teknik hesaplama, analiz ve modelleme programı kullanılmıştır. Alt programlar olarak sinyal işleme araçları kullanılmıştır. Bu araçlar ses sinyallerini zaman alanından frekans alanına çeviren FFT, gerekli görülmeyen frekansları filtrelemede FIR filtre, güç spektral yoğunluğu belirlemede parametrik metotlarından Yule-Wallker AR ve diğer AR kestirim algoritmalarıdır.

### **3.1 Skoç Buhar Kazanı Spektral Analizleri**

#### **3.1.1 Eksik veya fazla hava ile yanmada çalışan buhar kazanı spektral analizleri**

Çalışmada doğalgaz yakan skoç tipi Isısan 10500 kg/h skoç tip buhar kazanı ve yakma cihazı Oirtli-induflame brülörü kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan baca gazı emisyon cihazı; dijital göstergeli testo 330-2LL kullanılmış ve %3 O<sub>2</sub> ve max.% 12 CO<sub>2</sub> de kalibre edilmiştir. Akustik verileri alabilmek için ilk defa bu ölçümlerde kullanılmak üzere iki ayrı tipte mikrofon kullanılmıştır. Hava ortamından alınacak verilerde AKG perception 170 kardioit kondenser mikrofon, brülör üzerinden Artec A1-P35 pioze yapıştırma manyetik kullanılmıştır. Bu iki mikrofon iki ayrı dizüstü bilgisayara ayrı ayrı bağlanmıştır. Kondenser mikrofon 48 V. fantom güç beslemeli Behringer-1222 FX preamp ile birlikte bilgisayara adapte edilmiştir. Kayıtlar Goldwave ses işleme programında örneklenmiştir.

Buhar kazanı baca gazı emisyon ve verim ölçümleri yapılırken eş zamanlı olarak kazanın ve brülörün hemen önünden mikrofonlarla çalışma sesleri örneklenerek dijital ortama aktarılmıştır. Ortamdaki ses örnekleri, kazan ve brülöre 1 m. mesafeden

kardiodit kondenser mikrofon ile, brülör üzerinden yapıştırma manyetik ile eş zamanlı ölçümler yapılarak alınmıştır. Şekil 3.1’de deney düzeneği görülmektedir. Burada, eş zamanlı uygulanan yapıştırma ve hava ortamından alınan ses kayıtlarında akustik veriyi en iyi yansıtan donanımın tercih edilmesi de belirlenmiş olacaktır.



Şekil 3.1. Skoç tipi buhar kazanı ve brülör akustik bilgi kayıt deney düzeneği

Buhar kazanı ölçümlerine başlamadan önce, kazan 30-40 dakika çalıştırılarak kararlı yanma rejimine ulaşması sağlanmıştır. Ölçümlerin istikrarlı ve objektif olması için kazan 6 bar buhar basıncında frekans inverterli primer hava fanı frekans değeri 25.7 Hz de iken 9 adet hava fazlalık katsayısı değeri ile baca gazı emisyon davranışları izlenmiştir. Bu değerler Çizelge 3.1’de görülmektedir. Bu hava fazlalık katsayılarında eş zamanlı olarak kazan akustik verileri de kayıt altına alınmıştır. Ses verileri 44100 Hz, mono, 16 bit olarak örneklenmiştir. Kazanın, 3. ölçümde ölçülmüş hava fazlalık katsayısı 1.14; kazan baca gazı emisyonları ve verim değerleri açısından standartlar ile belirlenmiş kriterlere bağlı kalarak yanmanın en uygun olduğu katsayı olarak belirlenmiştir. Bu değer diğer ölçümler için referans kabul edilmiştir.

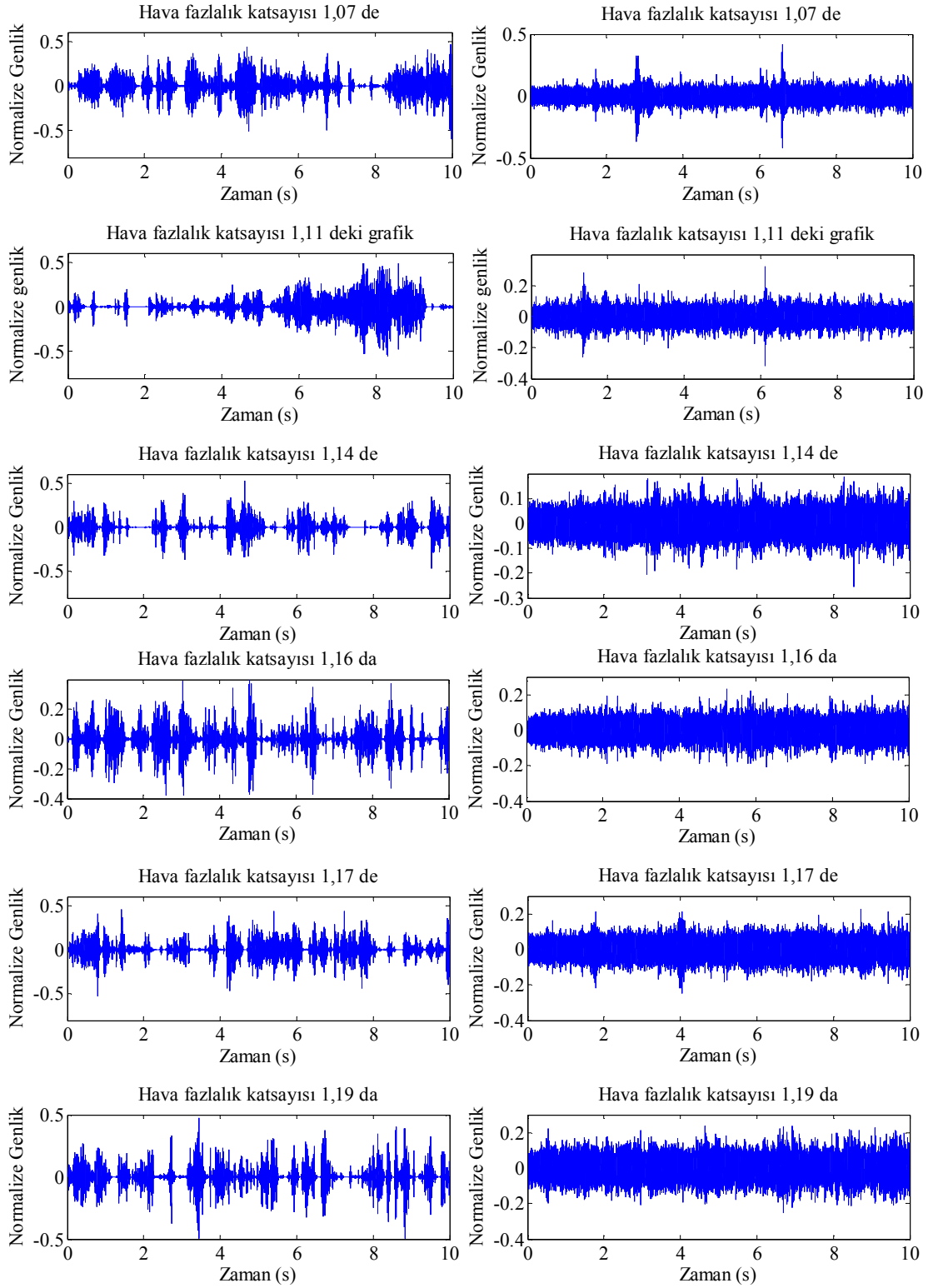
Çizelge 3.1. Artan ve azalan hava fazlalık katsayılarına karşın buhar kazanı baca gazı emisyon ve verim değerleri

Ölçüm no	$\lambda = \text{Lamda}$	%O <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>	% CO	% Verim
1	1,07	1,3	11,26	199	93,8
2	1,11	2	10,86	81	93,8
<u>3</u>	<u>1,14</u>	<u>2,5</u>	<u>10,57</u>	<u>14</u>	<u>93,6</u>
4	1,16	2,9	10,34	7	93,5
5	1,17	3,1	10,23	4	93,4
6	1,19	3,3	10,11	5	93,5
7	1,3	4,8	9,26	0	93
8	1,35	5,5	8,86	0	92,6
9	1,41	6,1	8,51	0	92,3

9 adet akustik veri zaman ekseninde Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de görülmektedir. Zaman serileri hem alt alta hem de yan yana incelenmiştir.

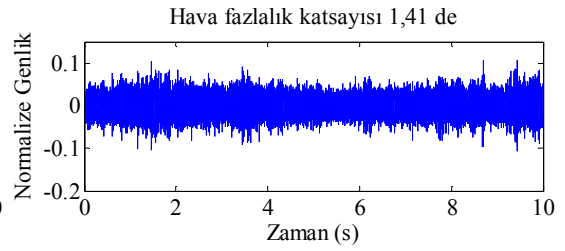
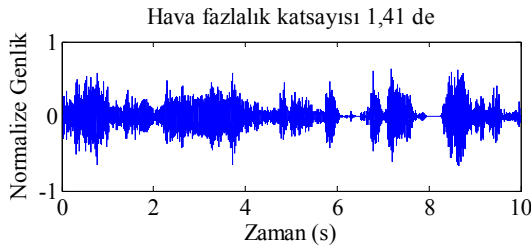
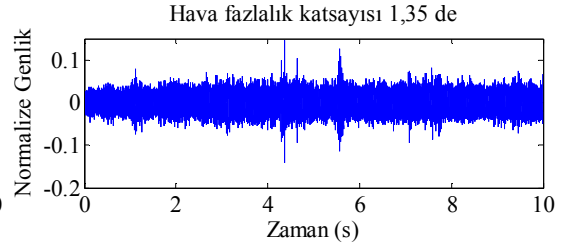
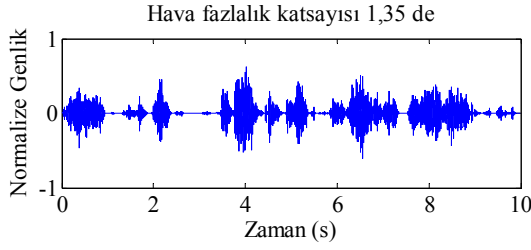
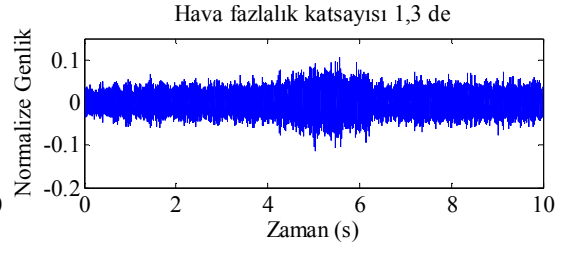
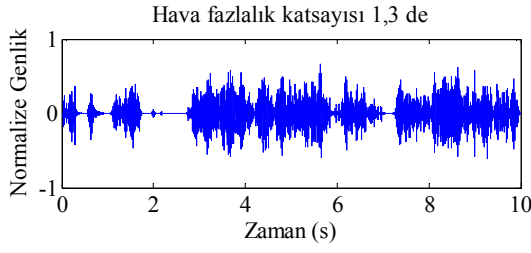
Akustik ses datalarını bir zaman serisi olarak kabul edersek 10 s. ile kayıt altına alınan bu veriler ile öncelikle hızlı fourier dönüşümü ile frekans bilgilerine ulaşılmıştır (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). Frekans alanında incelediğimiz grafiklerden özellik çıkaracak frekanslar için pik yapan frekanslar incelenmiştir ve her iki çeşit mikrofön pik frekanslarının belli başlı olanları Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 gösterilmiştir. Her iki çeşit mikrofönün frekans içeriğinde benzerlikler yakalanamamıştır. Güç yoğunluğu hesaplamaları yaparak verilerin hangi frekanslarda yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7).





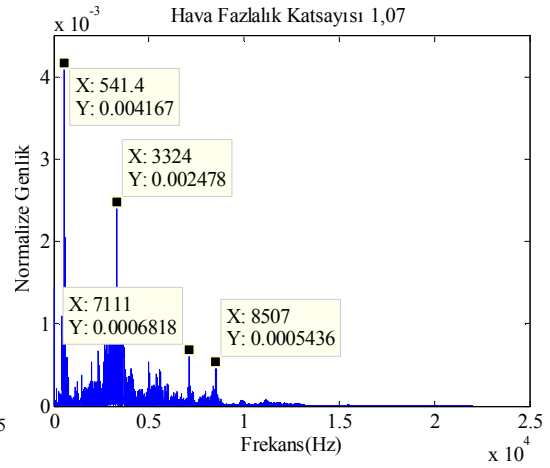
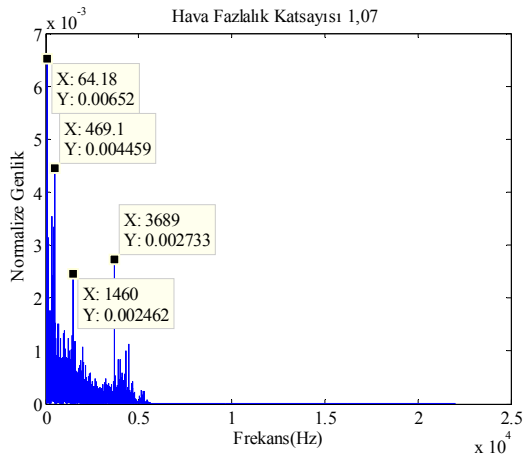
Şekil 3.2. Kondenser mikrofon verisi  
(Yukarıdan-aşağıya 9 adet)

Şekil 3.3. Pioze yapıştırma manyetik  
verisi  
(Yukarıdan-aşağıya 9 adet)



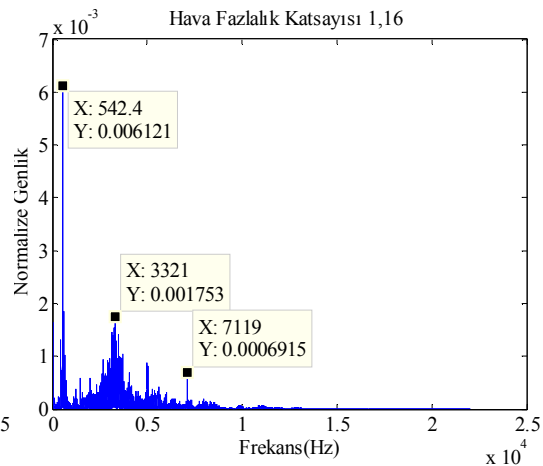
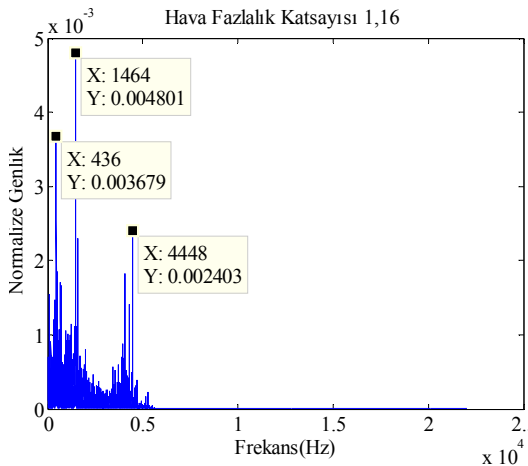
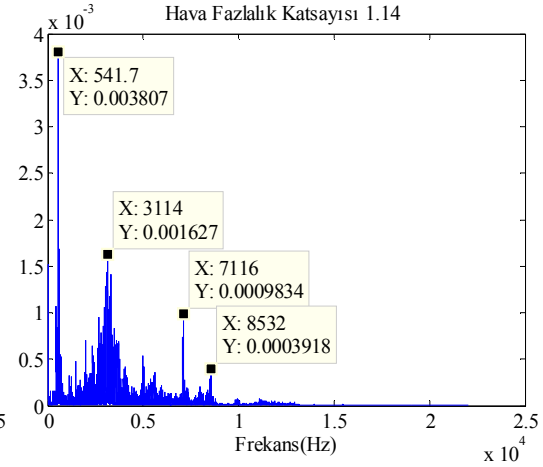
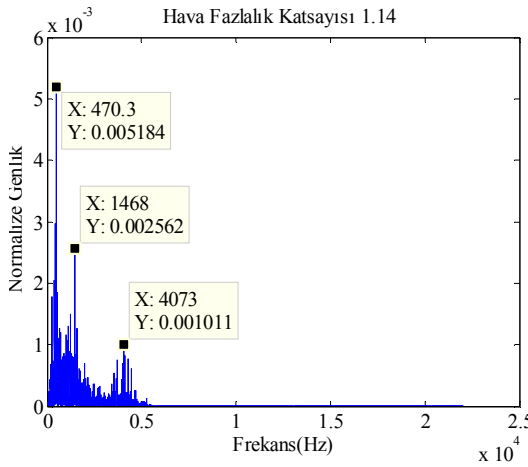
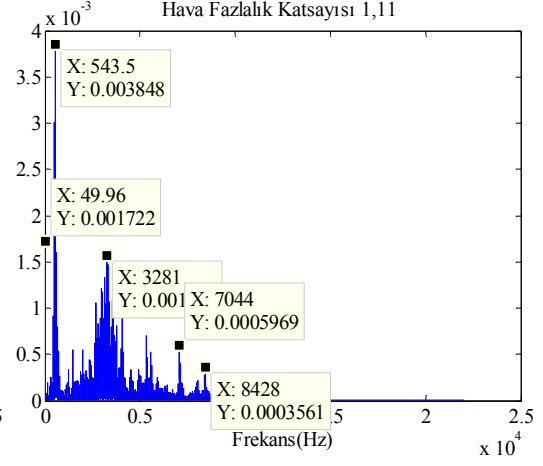
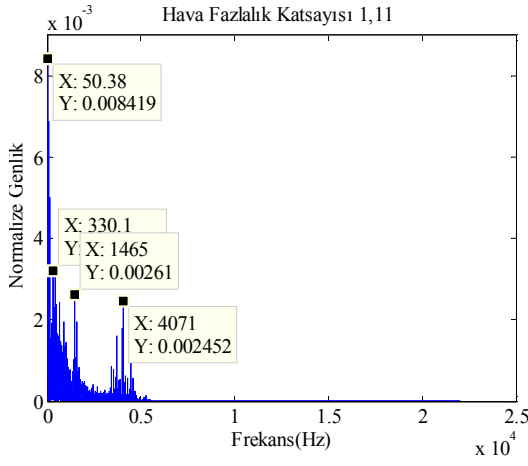
Şekil 3.2. Kondenser mikrofon verisi (Yukarıdan-aşağıya 9 adet) devamı

Şekil 3.3. Pioze yapıştırma manyetik verisi (Yukarıdan-aşağıya 9 adet) devamı



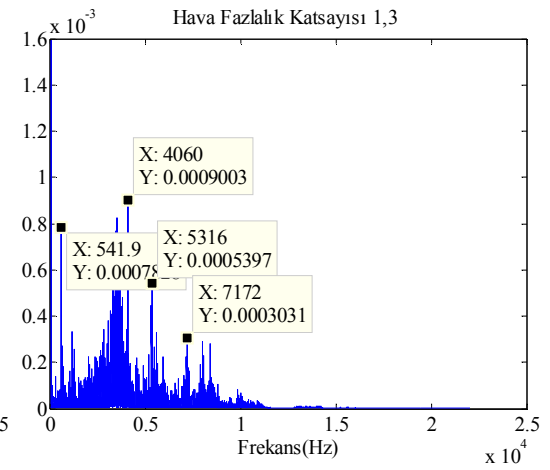
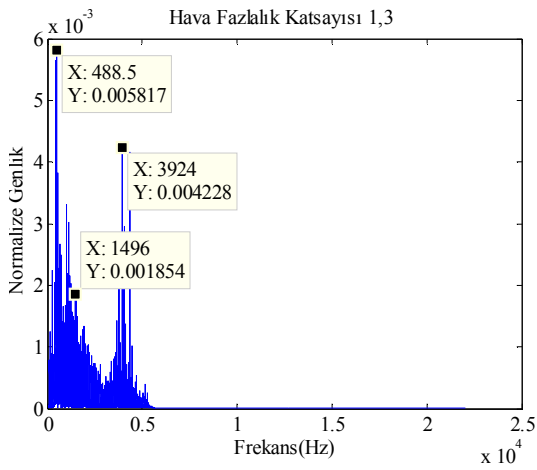
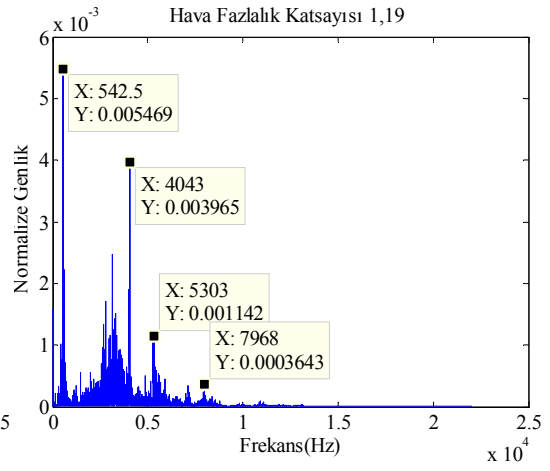
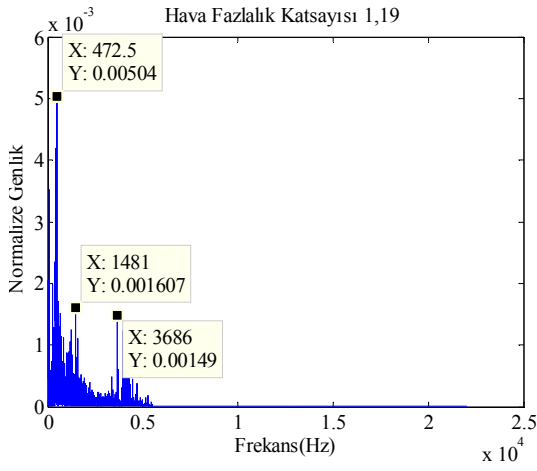
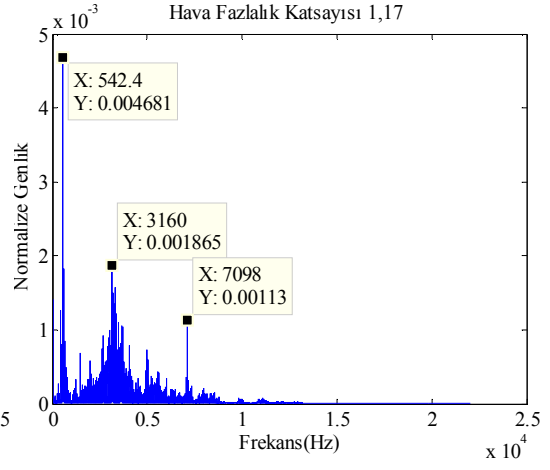
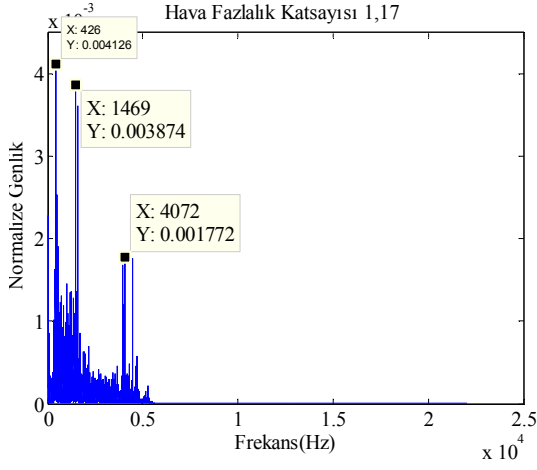
Şekil 3.4. Kondenser mikrofon verisi FFT dönüşümü (Yukarıdan-aşağıya 9 adet)

Şekil 3.5. Pioze yapıştırma manyetik verisi FFT dönüşümü (Yukarıdan-aşağıya 9 adet)



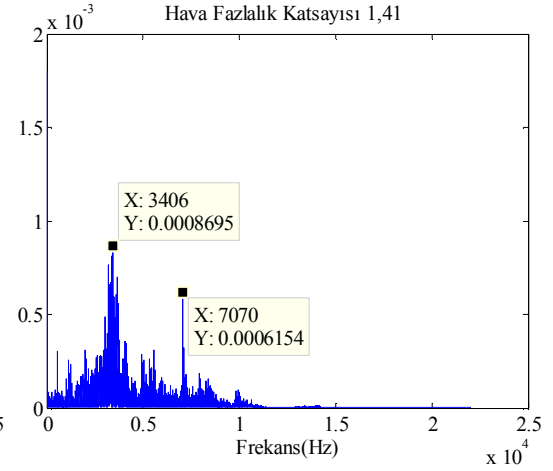
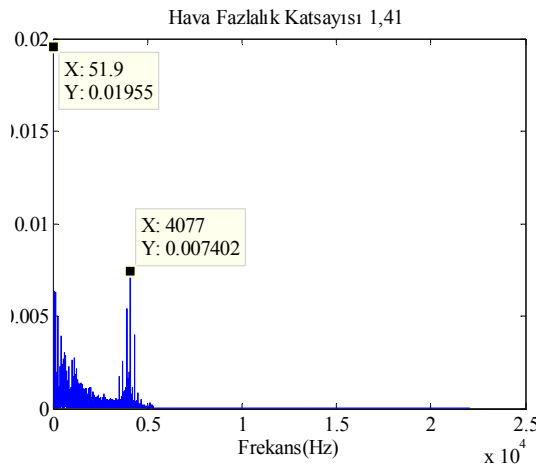
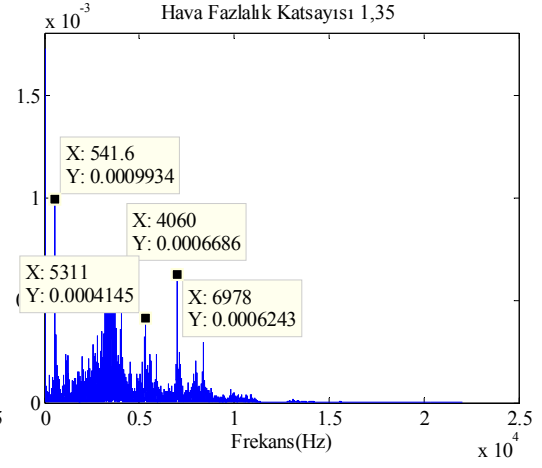
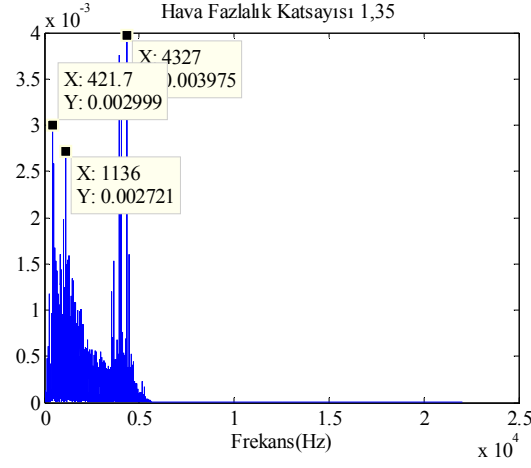
Şekil 3.4. Kondenser mikrofon verisi FFT dönüşümü (Yukarıdan-aşağıya 9 adet) devamı

Şekil 3.5. Pioze yapıştırma manyetik verisi FFT dönüşümü (Yukarıdan-aşağıya 9 adet) devamı



Şekil 3.4. Kondenser mikrofon verisi  
FFT dönüşümü  
(Yukarıdan-aşağıya 9 adet) devamı

Şekil 3.5. Pieze yapıştırma manyetik verisi  
FFT dönüşümü  
(Yukarıdan-aşağıya 9 adet) devamı



Şekil 3.4. Kondenser mikrofon verisi  
FFT dönüşümü  
(Yukarıdan-aşağıya 9 adet) devamı

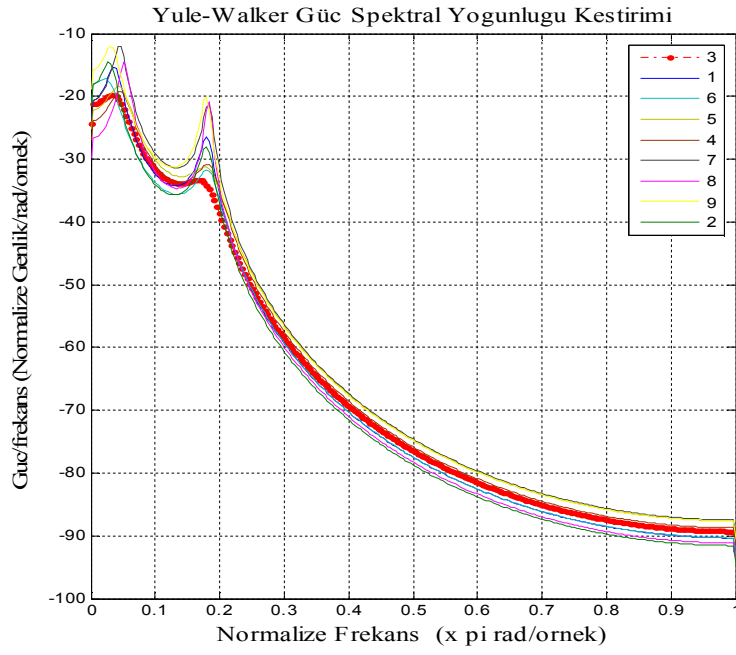
Şekil 3.5. Pioze yapıştırma manyetik verisi  
FFT dönüşümü  
(Yukarıdan-aşağıya 9 adet) devamı

Çizelge 3.2. Kondenser mikrofon pik frekanslar

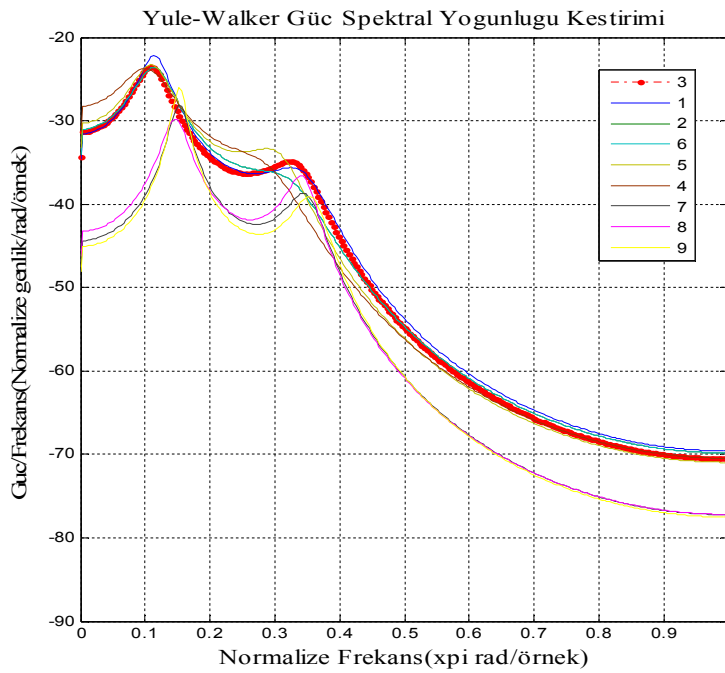
Ölçüm no	$\lambda =$ Lamda	pik1(Hz)	pik2(Hz)	pik3(Hz)	pik4(Hz)
1	1,07	64,18	469,1	1460	3689
2	1,11	50,38	330,1	1465	4071
<u>3</u>	<u>1,14</u>	<u>470,3</u>	<u>1468</u>	<u>4073</u>	
4	1,16	436	1464	4448	
5	1,17	426	1469	4072	
6	1,19	472,5	1481	3686	
7	1,3	488	1496	3924	
8	1,35	421,7	1136	4327	
9	1,41	51,9	4077		

Çizelge 3.3. Pioze yapıştırma mantyetik pik frekanslar

Ölçüm no	$\lambda =$ Lamda	pik1(Hz)	pik2(Hz)	pik3(Hz)	pik4(Hz)
1	1,07	541,4	3324	7111	8507
2	1,11	49,96	543,5	3281	7044
<u>3</u>	<u>1,14</u>	<u>541,7</u>	<u>3114</u>	<u>7116</u>	<u>8532</u>
4	1,16	542,4	3321	7119	
5	1,17	542,4	3160	7098	
6	1,19	542,5	4043	5303	7968
7	1,3	541,9	4060	5316	7172
8	1,35	541,6	4060	5311	6978
9	1,41	3406	7070		



Şekil 3.6. Kondenser mikrofon verileri, Yule -Walker güç spektral yoğunlukları (9 adet veri)



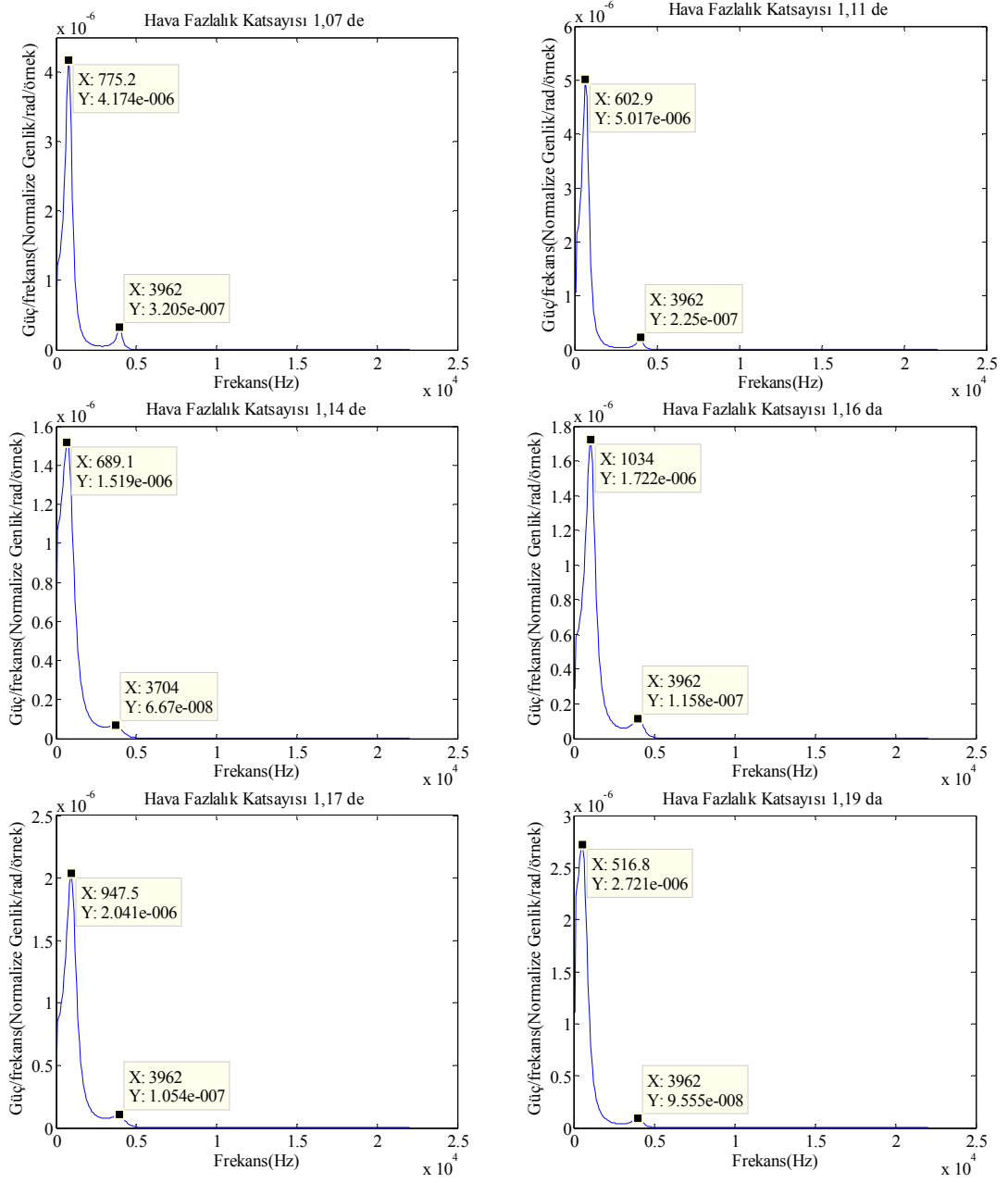
Şekil 3.7. Pioze yapıştırma manyetik verileri, Yule -Walker güç spektral yoğunlukları (9 adet veri)

Şekil 3.6’da görüldüğü üzere güç yoğunluklarında belirli bir paralellik izlenmekte ve 2 adet pik noktasında gücün yoğunlaştığı görülmektedir. Bu pik noktalarının birinci pik noktasının apsisi  $x_1$ , ikinci pik noktasının apsisi  $x_2$  olarak ifade edilmiştir (Şekil 3.8). Yule-walker ve diğer parametrik yöntemlerle elde edilen güç yoğunluğu frekansları bir tablo üzerine aktarılmıştır. Bu tablo Çizelge 3.4’de görülmektedir. Bu tabloda Yule-Walker metodu  $x_1$  ve  $x_2$  frekanslarına karşılık diğer metotların  $x_1$  ve  $x_2$  değerleri görülmektedir. Yule-Walker metodunda  $x_1$  sarı ile boyanmış,  $x_2$  kırmızı ile boyanmış hücreler diğer metotlardaki farkı göstermektedir. Burada frekans değerlerinde çok ciddi sapmalar görülmemektedir. Farklı olan frekanslarda birbirlerine çok yakın değerlerdir. Bu çalışmada parametrik metotlardan Yule-Walker tercih edilmiştir. Her bir hava fazlalık katsayısına karşılık gelen  $x_1$  ve  $x_2$  değerleri grafik üzerine aktarılmıştır. Bu grafik Şekil 3.9’da görülmektedir.

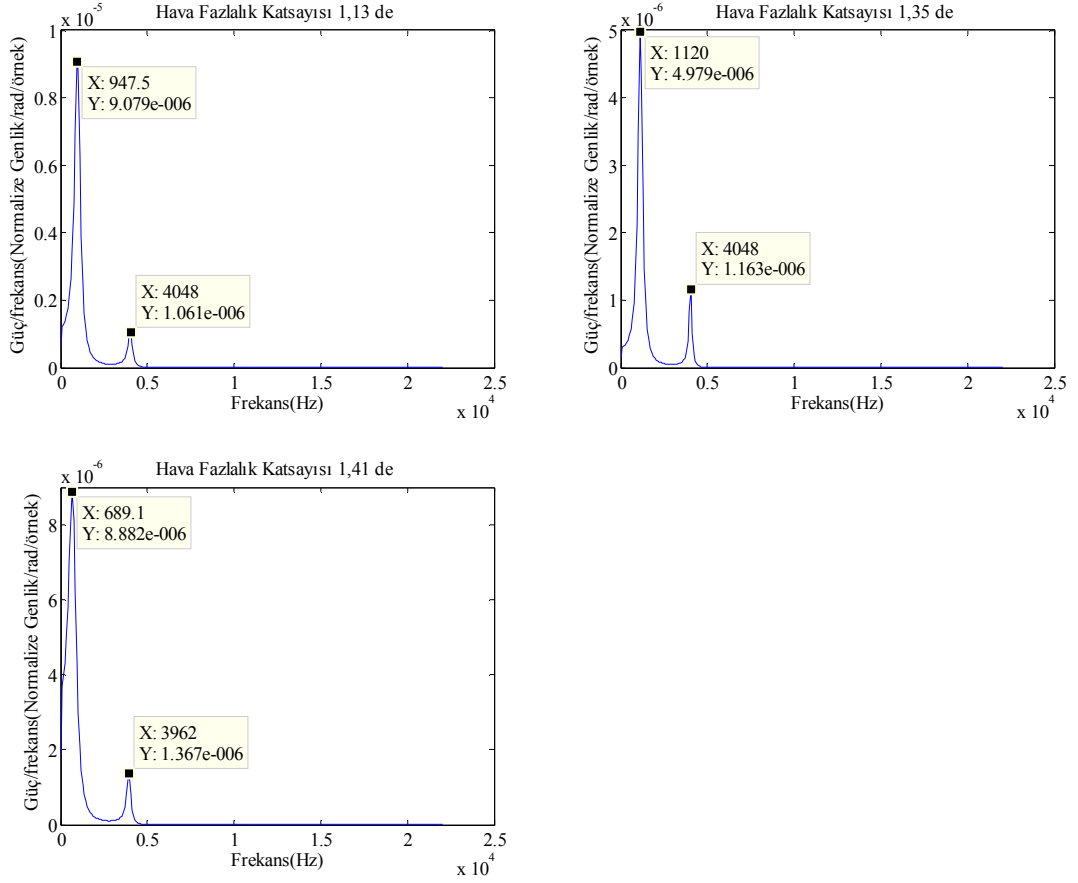
Çizelge 3.4. Yule-Walker ve diğer parametrik metotların 9 adet verideki pik değerleri karşılaştırması

Ölçüm no	$\lambda =$ Lamda	Yule-walker		Burg		Kovaryans		Değiştirilmiş kovaryans	
		$x_1$ (Hz)	$x_2$ (Hz)	$x_1$ (Hz)	$x_2$ (Hz)	$x_1$ (Hz)	$x_2$ (Hz)	$x_1$ (Hz)	$x_2$ (Hz)
1	1,07	775,2	3962	775,2	3962	775,2	3962	775,2	3962
2	1,11	602,9	3962	602,9	3962	602,9	3962	602,9	3962
3	1,14	689,1	3704	861,3	3876	861,3	3876	861,3	3876
4	1,16	1034	3962	1034	4048	1034	4048	1034	4048
5	1,17	947,5	3962	1034	4048	1034	4048	1034	4048
6	1,19	516,8	3962	516,8	3962	516,8	3962	516,8	3962
7	1,3	947,5	4048	947,5	4048	947,5	4048	947,5	4048
8	1,35	1120	4048	1120	4048	1120	4048	1120	4048
9	1,41	689,1	3962	689,1	3962	689,1	3962	689,1	3962



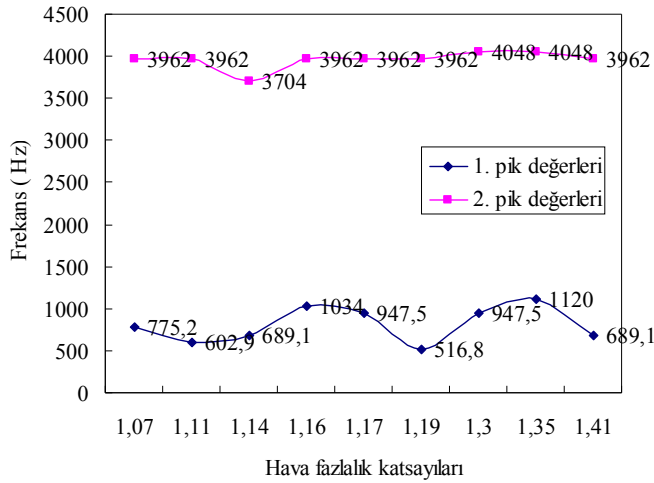


Şekil 3.8. Kondenser mikrofon verileri, Yule -Walker güç spektral yoğunlukları pik değerleri (9 adet veri)



Şekil 3.8. Kondenser mikrofon verileri, Yule -Walker güç spektral yoğunlukları pik değerleri (9 adet veri) devamı

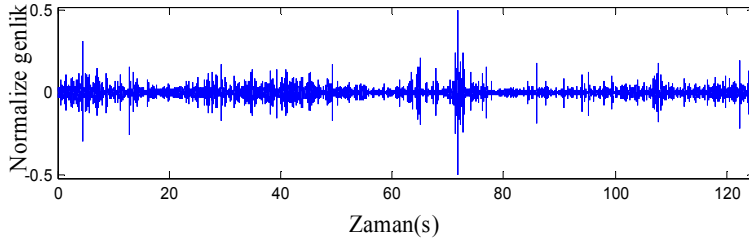
Güçün yoğunlaştığı frekanslarda hava fazlalık katsayıları



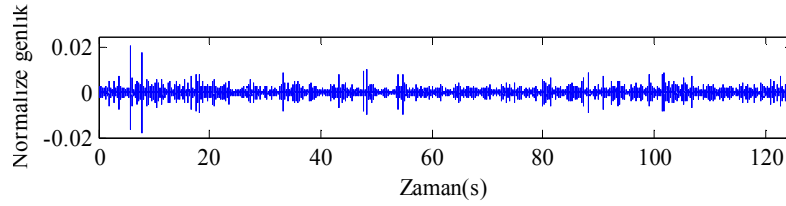
Şekil 3.9. Her bir hava fazlalık katsayısına karşın frekans değerleri

### 3.1.2. Rulman arızalı çalışan buhar kazanı spektral analizleri

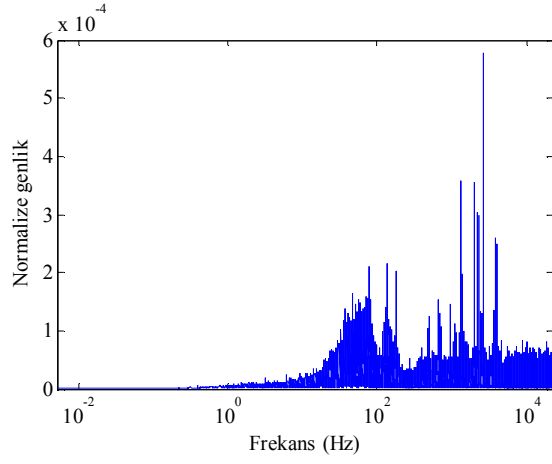
Bu çalışmada yine doğalgaz yakan başka bir skoç tipi buhar kazanı kullanılmıştır. Buhar kazanı Isısan 10.000 kg/h skoç tip, yakma cihazı Oirtli-induflame brülörüdür. Skoç buhar kazanının primer hava fanı üzerinden Artec A1-P35 pioze yapıştırma manyetik microfon kullanılarak akustik bilgiler alınmıştır. Sağlam ve rulman arızalı durumda alınan bu bilgilerin dijital ses grafikleri Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir. Zaman alanındaki bu sinyallerden sağlam ve arızalı durum karşılaştırılması yaptığımızda herhangi bir belirleyici özellik tespit edilememiştir. Her iki durumun frekans cevapları Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’te sunulmuştur. Frekans alanından da herhangi bir sonuç çıkarılamamıştır. Şekil 3.14’de her iki durumun spektral güç yoğunluğu incelenebilmektedir.



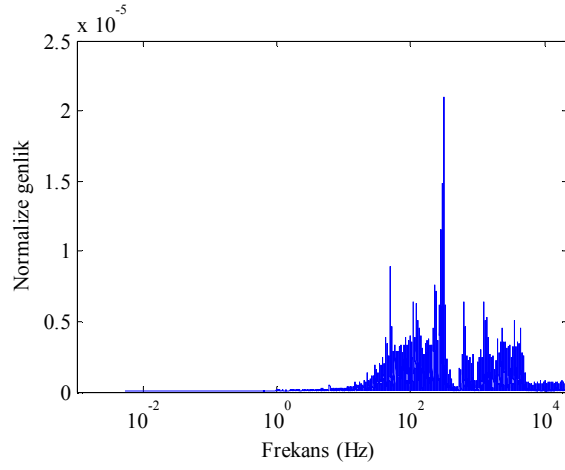
Şekil 3.10. Skoç Buhar Kazanı Ses Sinyali Zaman-Genlik Grafiği (Normal Çalışma)



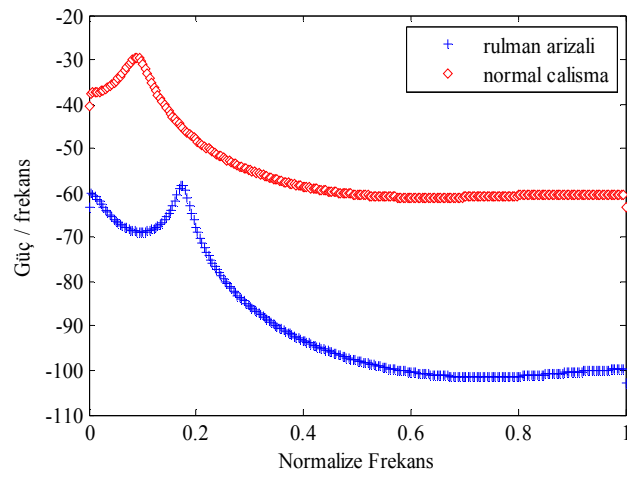
Şekil 3.11. Skoç Buhar Kazanı Ses Sinyali Zaman-Genlik Grafiği (Primer Hava Fanı Rulman Arızalı)



Şekil 3.12. Normal Çalışan Buhar Kazanı Frekans Cevabı



Şekil 3.13. Fan Rulman Arızalı Buhar Kazanı Frekans Cevabı



Şekil 3.14. Yule Walker Güç Spektral Yoğunluğu (Normal ve Fan Rulman Arızalı Çalışma)

Normal çalışma sırasında ses kaydı yapılan buhar kazanı tek başına çalışmaktadır. Rulman arızalı durumunda kazan dairesinde diğer 2 kazan da çalışır durumdadır. Bu nedenle Şekil 3.14'de normal çalışma, rulman arızalı grafiğinin üzerinde çıkmıştır.

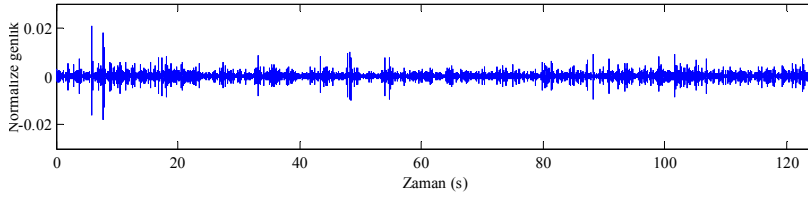
Rulmanlar çok çeşitli makinelerde yükü üstüne alır. Makine problemlerinin çoğu rulman arızalarından kaynaklanmaktadır. Genellikle rulman arızaları dış bilezikte, iç bilezikte veya bilyelerdeki kusurlardan meydana gelmektedir. Bilyelerde bir bozukluk meydana geldiği zaman bir impuls görülebilir. Bu sinyalin periyoduna göre karakteristik frekans formülü kullanılarak hasar yerine karar verebiliriz. İç bilezikteki hasarlarının impulsları dış yüzeye iletme sırasında daha çok transfer segmenti vardır, genellikle impuls bileşenleri titreşim sinyalinde oldukça zayıftır. Bu nedenle iç bilezikteki hasar teşhisi çok zordur (Jing 2000).

Akustik analizler yaptığımız bu çalışmada buhar kazanı brülörü arızalarından birisi de rulman arızasıdır. Buhar kazanı brülöründe bir ses değişimi gözlemlenmiş ve arızanın rulman arızası olabileceği düşünülmüştür. Rulman söküldüğünde iç bilezikte deformasyon olduğu görülmüştür. Rulman arızası giderilmeden önce buhar kazanı, mikrofon ile 44100 Hz. örnekleme frekansı ile dijital kayıt altına alınmıştır. Rulman milinin devri 2044 devir/dakika , dönüş frekansı  $f = 34.06$  Hz., rulmanda sekiz bilye vardır ve temas açısı  $\alpha=0$ , bilye çapı  $d=24$  mm., rulman adım çapı  $E=51,3$  mm., bilye sayısı  $z=8$  dir. İç bilezikteki hasarın karakteristik frekansı  $f_i$  Eşitlik 3.1 formülü ile hesaplanır.

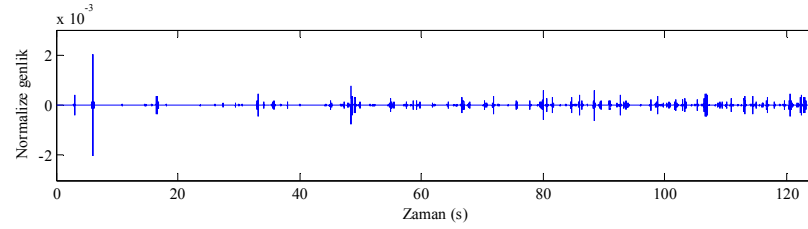
$$f_i = 0.5z \left( 1 + \frac{d}{E} \cos \alpha \right) f \quad (3.1)$$

Hesaplama sonucu iç bilezikteki hasarın karakteristik frekansı yaklaşık olarak 200 Hz bulundu. Karakteristik impuls periyodu ise 0.005 s. Bu çalışmada hız ölçer kullanılmamış bir mikrofon ile kayıt alınmıştır. Akustik analizler titreşimden değil, ses sinyalleri üzerinden yapılmıştır. Arıza durumunda kayıt alınırken kazan dairesi içerisinde diğer 2 buhar kazanı ve kazan besleme pompaları da devrededir. Elde edilen ses sinyalinden, bandpass bir filtre ile 180-220 Hz dışında kalan sesler filtre edilmeye

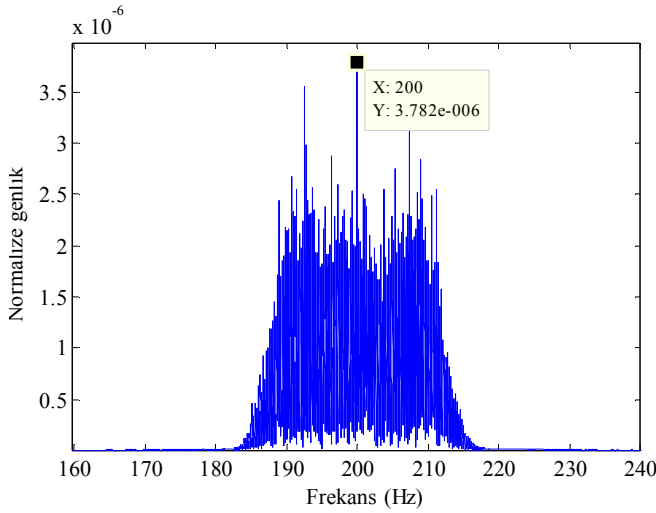
çalışılmıştır. Filtre tasarım metodu FIR-equiripple'dır. Şekil 3.15'de başlangıçta alınan rulman arızalı kayıt ile Şekil 3.16'da bandpass filtre sonrası geriye kalan ses sinyali görülmektedir. Filtre edilen ses sinyali Şekil 3.17 frekans alanında görüldüğü gibi 200 Hz 'lık frekansta pik göstermektedir. Ses sinyalinde arıza frekansı ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 3.15. Skoç Buhar Kazanı Ses Sinyali Zaman-Genlik Grafiği (Primer Hava Fanı Rulman Arızalı)



Şekil 3.16. Filtre İşleminde Sonraki Ses Sinyali

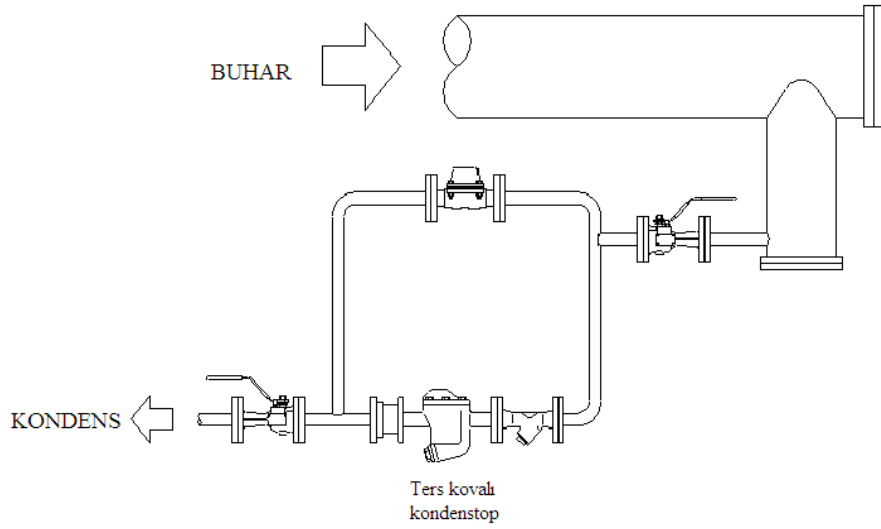


Şekil 3.17. Filtre Edilmiş Rulman Arızalı Ses Sinyalinin Frekans Cevabı

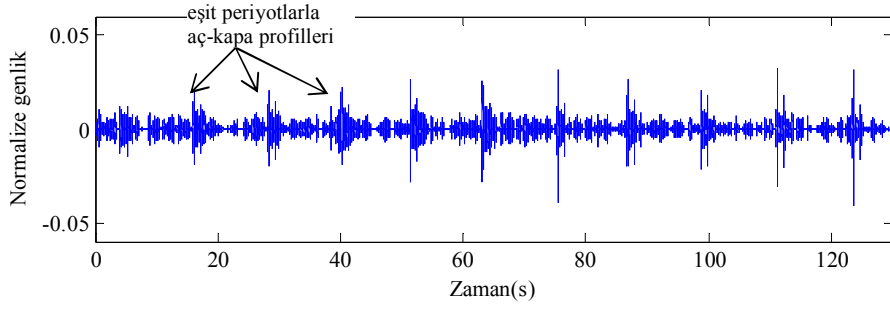
### 3.2. Kondenstop Spektral Analizleri

Mekanik prensiple çalışan bir ters kovalı tip kondenstoptan (Şekil 3.18) piezo yapıştırma manyetik (mikrofon) kullanılarak sağlam ve arızalı durumda dijital ses kayıtları alınmıştır. (Şekil 3.19, Şekil 3.20)

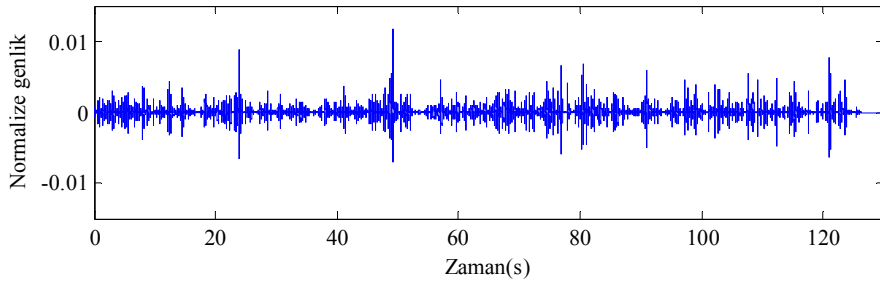
Ters kovalı kondenstopların tahliye düzeni genellikle yarı-konjonktürelidir. Orta ağırlıklı yüklerde kondenstop belirli bir aç-kapa döngüsüne sahip olacaktır. Hatalı çalışan ters kovalı kondenstop buhar kaçırması yapacak ve düzensiz bir aç-kapa tipi işlem oluşacaktır (Sarco 2012).



Şekil 3.18. Buhar Tesisatında Kondens Tahliye Düzeninde Bir Ters Kovalı Kondenstop (Örnek)



Şekil 3.19. Ters Kovalı Kondenstop Üzerinden Alınan Dijital Ses Grafiği (Normal Çalışma)



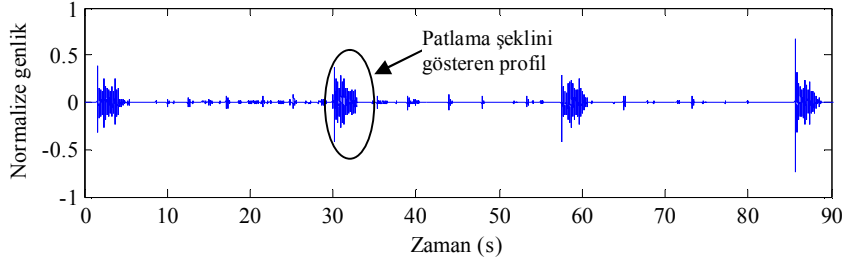
Şekil 3.20. Ters Kovalı Kondenstop Üzerinden Alınan Dijital Ses Grafiği (Buhar Kaçırma)

Kondenstopun buhar kaçırma durumunda ses şiddetinde azalma olduğu görülmektedir (Şekil 3.20). Kondenstopun normal çalışma düzeninde dakikada periyotlu bir şekilde beş-altı boşaltma yaptığı görülmektedir (Şekil 3.19). Bu çalışmanın normal sınırlarda olduğunu söyleyebiliriz. Arızalı durumda zaman-genlik grafiğinde düzensiz bir akış söz konusu ve periyot düzensizdir.

Termodinamik prensiple çalışan kondensstoplar; on/off çalışarak patlama şeklinde boşaltma yapar. Uygun bir şekilde tasarlanmış, düzenli, iyi çalışan bir termodinamik kondensstop tahliye sıklığı dakikada 0-5 kez olmalıdır. Dakika 10 ve daha fazla periyotta tahliye yapan bir kondensstop ya kirlenme yapmıştır ya da aşınmıştır. Sürekli boşaltma yapan kondensstop ya yüksek karşı basınca maruz kalarak ciddi bir şekilde aşınma yapmıştır ya da kirlenme nedeniyle disk kapalı kalmıştır (Sarco 2012).



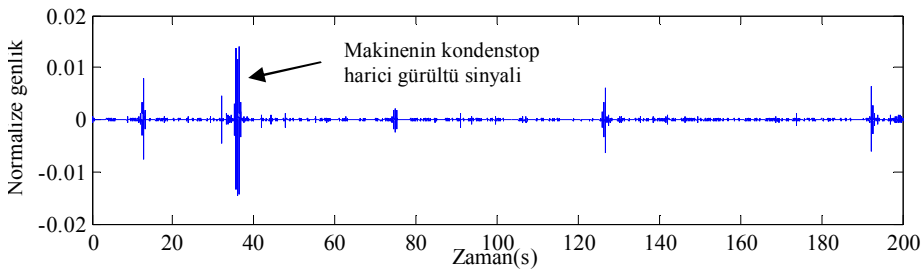
Şekil 3.21'deki termodinamik kondensoptan pioze yapıştırma manyetik ile alınan akustik bilgiler neticesinde kondensoptun dakikada 3 boşaltma yaptığı görülmektedir.



Şekil 3.21. Termodinamik Prensiple Çalışan Termodinamik Kondensopt Üzerinden Alınan Dijital Ses Grafiği (Normal Çalışma)

Termostatik prensiple çalışan kondensoptların tahliyesi, tasarım ve doluluk unsuruna bağlı olmak üzere değişkendir. Ama genellikle bu kondensoptlar hafif yüklerde damlacık, ağır yüklerde modülasyonlu fakat bunun yanında aç/kapa döngülü şekilde tahliye ederler. Ana damlacıklar ve onu izleyen hafif yükler düşük bir aç/kapa döngüsü verecektir. En çok kullanılan süreçte, kondensopt modülasyonlu olmaya meyilli olacaktır, bazen de döngülü. Kondensopt kapandıktan sonra ve tamamen soğuduğunda valf açılacaktır. Kondensopt geri dönüş yapıp tamamen açıldığında kondensopt patlama şeklinde tahliye yapacak ve bir dakika içinde kapanacaktır (Sarco 2012).

Şekil 3.22'de termostatik prensiple çalışan kondensopt, ameliyathane buhar sterilizatör cihazının buhar ceketinde kondens çıkışında bulunan bir kondensopttur.



Şekil 3.22. Termostatik Prensiple Çalışan Termostatik Kondensopt Üzerinden Alınan Dijital Ses Grafiği (Normal Çalışma)

Kondensopt çalışma sesi, yapıştırma pioze bir mikrofonla kayıt altına alınmıştır.

Kayıt esnasında makinenin çalışma sesleri de sisteme girmiştir. Özellikle 38. saniyede belirgindir. 15., 75., 135. ve 195. saniyelerde kondensatörün şiddeti artarak tahliyeler yapmaktadır.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Eksik veya Fazla Hava ile Yanmada Çalışan Buhar Kazanı

Buhar kazanından her bir hava fazlalık katsayısına karşılık gelen eş zamanlı olarak 9 adet akustik veri her iki tip mikrofonda 44100, mono, 16 bit olarak örneklenmiştir. Kazanda yanma olayı oluşurken 3 adet ses kaynağı oluşmaktadır. Bunlar primer hava fanından gelen fan ve yakma havası, yakıt hattından gelen gaz akışı ve kazan yanma odasındaki yanma gürültüleridir. Ortamdan alınan akustik veriler ile yapıştırma ile alınan verileri (Bkz. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3) zaman ekseninde incelediğimizde ortamdan alınan verilerin daha çok bilgi içerdiği fark edilmiştir. Bu yüzden çalışmalar ortamdan alınan akustik verilerin incelenmesiyle devam etmiştir. Ancak zaman ekseninde incelediğimiz bu verilerden bir özellik belirleme de yapılamamıştır. Burada ortamdan veri toplayan kondenser mikrofona piezo yapıştırma manyetiğe göre daha etkin olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca (Bkz. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7) Yule -Walker güç spektral yoğunlukları kıyaslandığı zaman ölçümleri en iyi yansıtan, birbirine paralel seyreden grafik çizgileriyle öngörü yapılabilecek grafiğin (Bkz. Şekil 3.6) kondenser mikrofona verilerinin Yule -Walker güç spektral yoğunlukları olduğu anlaşılmaktadır.

9 adet akustik veri güç spektral yoğunlukları hesaplanarak bir grafikte birleştirilmiştir. Referans kabul edilen yanmanın en verimli olduğu 1,14 hava fazlalık katsayısı eğrisinin 2 adet pik verdiği, bu değerlerde gücün yoğunlaştığı ortaya çıkmıştır. Diğer 8 adet eğri, referans eğrisine göre kıyaslandığında fark edilebilir derecede paralellikler izlenmiş aynı şekilde 2 adet pik noktaları vermişlerdir.

9 adet akustik verinin her bir hava fazlalık katsayısına karşılık hesap edilen gücün yoğunlaştığı frekanslara aktarılmıştır (Bkz. Şekil 3.9). Şekil incelendiğinde 1. pik değerlerinin bir sinüzoidal oluşturduğu ve en iyi yanmanın olduğu değerin bu sinüzoidalın merkez çizgisine yakın geçtiği, 2. pik değerlerinin en iyi yanmada bir düşüş gösterdiği diğerlerinin sabit kaldığı şeklinde bir sonuç çıkmıştır.

## 4.2. Rulman Arızalı Çalışan Buhar Kazanı

Rulmanlar çok çeşitli makinelerde yükü üstüne alır. Makine problemlerinin çoğu rulman arızalarından kaynaklanmaktadır. Genellikle rulman arızaları dış bilezikte, iç bilezikte veya bilyelerdeki kusurlardan meydana gelmektedir. Bu parçalarda bir bozukluk meydana geldiği zaman da bir sinyal görülebilir. Bu sinyali ayıklamanın ve ortaya çıkarmanın yöntemleri bu çalışmada kullanılmıştır.

Buhar kazanı primer hava fanındaki rulman arızası deney öncesinde oluşturulmuş bir arıza değildir. Arıza tamamen tesadüf oluşmuş ve akustik verileri kayıt altına alınmıştır. Burada sesin kaynağı fanın içindeki rulmandan gelen bir ses olduğu için pioze yapıştırma manyetik kullanılmıştır. Referans olması için rulman fanın söküldükten sonra yenisi ile değiştirilmiş ve normal çalışma durumu da kayıt altına alınmıştır. Normal çalışma sırasında ses kaydı yapılan buhar kazanı tek başına çalışmaktadır. Rulman arızalı durumunda kazan dairesinde diğer 2 kazan da çalışır durumdadır. Gürültü kaynağı sadece çalışan kazan değil, diğer makine gruplarını da içermektedir. Bu suretle yapıştırma pioze mikrofon veriyi kaynağından almada daha etkili olmuştur.

Ölçümler yapılırken literatürde daha çok hızölçer kullanılmış burada bir mikrofon ile kayıt altına alınmıştır. Akustik analizler titreşimden değil, doğal çalışma ortamındaki ses sinyalleri üzerinden yapılmıştır. Öncelikle arıza frekansı hesap edilerek tespit edilmiş ve gürültü içerisinden ayıklanmaya çalışılmıştır.

## 4.3. Kondenstoplar

Ters kovalı kondenstopların tahliye düzeni genellikle yarı-devirlidir. Kondenstop orta ağırlıklı yüklerde belirli bir aç-kapa döngüsüne sahiptir. Hatalı çalışan bir ters kovalı kondenstop buhar kaçırması yapar ve düzensiz bir aç-kapa tipi işlem oluşturur.

Ters kovalı kondenstop sinyalinin zaman-genlik grafiğinde düzensiz bir akış söz konusudur (Şekil 3.20). Bu kondenstopta arıza vardır denilebilir. Kondenstop tamir ve bakıma alınmalıdır. Normal çalışan kondenstopta ise dakikada periyotlu bir şekilde beş-

altı boşaltma yaptığı görülmektedir (Şekil 3.19). Bu kondensstop çalışmasının normal sınırlarda olduğunu söyleyebiliriz.

Termodinamik prensiple çalışan kondensstoplar, aç/kapa çalışarak bir anda püskürtme şeklinde boşaltma yapar. Uygun bir şekilde tasarlanmış, düzenli, iyi çalışan bir termodinamik kondensstop tahliye sıklığı dakikada 0-5 kezdir.

Termodinamik bir kondensstopun dakikada 3 boşaltma yaptığı görülmektedir ve buradan normal çalıştığı sonucuna varılabilmektedir (Şekil 3.21). Kondensstopun buhar sızdırması söz konusu değildir.

Termostatik prensiple çalışan kondensstopların tahliyesi, tasarım ve doluluk unsuruna bağlı olmak üzere değişkendir. Ama genellikle bu kondensstoplar hafif yüklerde damlacık, ağır yüklerde modülasyonludur. Bunun yanı sıra aç/kapa döngülü şekilde tahliye de yaparlar.

Termostatik prensiple çalışan kondensstop kayıt esnasında makinenin çalışma sesleri de sisteme girmiştir (Şekil 3.22). Özellikle 38. saniyede belirgindir. 15., 75., 135. ve 195. saniyelerde kondensstopun şiddeti artarak tahliyeler yapmaktadır. Sonuç olarak kondensstop aç kapa döngülü ve eşit periyotlarla tahliye yapmaktadır. Kondensstop normal çalışma tanımı içerisine girer ve buhar kaçağı yoktur.

## 5. TARTIŞMA

Makinalarda, titreşim ve ya akustik sinyaller üzerinden öznitelik çıkarma, arıza teşhisi belirleme vb. işlemler için literatürde çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Arıza teşhisi koyma veya öznitelik çıkarma yöntemlerinde Fourier Dönüşümü, wavelet dönüşümleri, spektral analiz yöntemleri başı çekmektedir. Bu dönüşümler kullanılarak dalgacık fonksiyonlarının birbirleri ile kıyaslanarak performansları belirlenmiş ve neticeleri çıkarılmıştır. Fourier dönüşümü ile sinyallerin frekans spektrumları ortaya çıkarılmıştır. Spektral yöntemlerden parametrik veya parametrik olmayan metotların kıyaslamalı ayrı ayrı performansları belirlenmiştir.

AR, MA ve ARMA metotları genel olarak tıbbi amaçlı teşhislerde öznitelik çıkarma, durum analizleri, performans belirleme vb. işlemlerde araç olarak kullanılmıştır.

Übeyli ve Güler (2004a) yapmış oldukları oftalmik atardamar doppler işaretlerinin spektral analizini, en küçük kareler AR metodu ve en küçük kareler değiştirilmiş Yule-Walker ARMA metodu ile gerçekleştirmişlerdir. Farklı kişilerden aldıkları oftalmik atardamar doppler işaretlerinde güç spektral yoğunluklarından elde ettikleri önemli veriler ile işareti temsil edecek öznitelik vektörlerini tayin etmişlerdir. Elde edilen bu öznitelik vektörlerini çok katmanlı perseptron sinir ağlarının giriş vektörü olarak kullanmışlardır. Bu şekilde AR ve ARMA metotlarının doppler işaretindeki başarısını tespit etmişlerdir. Levenberg\_Marquardt algoritması ile eğittikleri ve ARMA metoduyla elde ettikleri güç spektral yoğunlukları değerleri, oftalmik atardamar doppler işaretlerinin sınıflandırılmasında kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Übeyli ve Güler (2004b) yapmış oldukları başka bir çalışmada 45 hastadan almış oldukları karodit atardamar doppler işaretlerinde FFT, model tabanlı AR, MA ve ARMA metotları ile spektral analiz yapmışlardır. Bu metotları kullanarak işaretlerin güç spektral yoğunluklarını belirlemişlerdir. Uyguladıkları bu yöntemleri atardamardaki daralmanın belirlenmesi üzerine etkisi ve frekans çözünürlüğü açısından karşılaştırmak üzere kullanmışlardır. Sağlıklı ve hasta bireylerin atardamar daralması doppler

sinyallerinden elde edilen ARMA ve otoregresif metotların performans özelliklerini son derece değerli bulmuşlardır.

Şeker vd (2010) yapmış oldukları çalışmada; Migrenli ve migren tanısı konulmuş gebelik sürecindeki hastalarda, EEG işaretlerinin incelenmesi gerçekleştirilerek migren tanısının tespit edilip edilemeyeceği ve gebelik sürecinde migrenli kişilerde EEG sinyallerinde ne gibi bir değişim olduğu AR model parametreleri ile belirlemeye çalışmışlardır. Burada, parametrik yöntemlerden iyileştirilmiş Kovaryans metodu ve parametrik olmayan yöntemlerden Welch metodunu kullanmışlar ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır. İyileştirilmiş Kovaryans metodu ile elde edilen sonuçların daha yüksek ayırt edici özelliğe sahip olduğu ve daha belirleyici olduğunu görmüşlerdir.

Seong vd (2005) kestirim metotları ile çekvalflerin çeşitli arıza modlarına (çekvalfin valf arasına yabancı bir nesne gelmesi ve disk aşınması) yönelik teşhis ve tespit için bir metot geliştirmişlerdir. Yazarlar, çekvalfin kusurlu modlarının akustik sinyallerin frekans spektrumları ile şiddetle bağımlı olduğu, otoregresif (AR) model (Yule-Walker) ile güç spektral yoğunluğu kestirimiyle çekvalfin boyut ve çalışma basıncından tamamen bağımsız olduğunu tespit etmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler ve araştırmalarının sonuçları bu teşhis algoritması ile çekvalflerin herhangi bir demontaj çalışması olmadan kusurlarının tanımlanmasında iyi bir çözüm olacağını öngörmüşlerdir.

Model tabanlı metotların (AR, MA, ARMA) spektral çözünürlükleri yüksektir ve bu metotların oluşturduğu spektrumlar ayırık değil, sürekli. AR metodunda doğrusal denklemlerin çözülmesi ile AR parametrelerinin kestirimleri kolaylıkla yapılabilmektedir. AR metodu, dar tepeleri bulunan spektrumların modellenmesini yapabilmektedir. Bu önemli bir özelliktir, çünkü uygulamalarda dar bantlı spektrumlar ile daha fazla karşılaşılmaktadır. ARMA metodunda, veri kutup-sıfır filtrenin çıkışı olarak modellendiği için keskin tepeleri ve derin çukurları olan spektrumların kestirimlerinde ARMA metodu kullanılır. Veri genellikle gözlem gürültüsü ile bozulmaktadır ve bu durumlarda ARMA metodu en uygun metot olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, AR parametrelerinin kestirimi doğrusal denklemlerin çözülmesi ile kolaylıkla yapılmaktadır fakat ARMA parametrelerinin kestirim metotları

maksimum olabilirliğe bağlıdır ve doğrusal olmayan denklemlerin çözümü gerekmektedir.

Bu tezdeki deneysel çalışmada literatürde çalışılmamış olan buhar kazanları, doğalgaz/sıvı yakıtlı brülörler ve buhar kondensatörleri üzerinde çalışılmıştır. Sesin de bir çeşit sinyal olması itibariyle, ses verileri bu çalışmada sayısal sinyal kaynağı ve sürekli sinyaller olarak değerlendirilmiştir. Buhar kazanları ve doğalgaz/sıvı yakıtlı brülörler akustik verileri dijital olarak örneklenmiş ve spektral analiz yöntemlerinden parametrik yöntemler ile analiz edilmiştir. Aynı sinyaller ile parametrik yöntemlerden AR kestirim metotları için ayrı ayrı sonuçlar alınmıştır. Böylelikle bu yöntemler ile bir taraftan makinanın akustik verisinden öznelik çıkarılmış, diğer taraftan da AR kestirim metotlarının neticelerinin kıyaslanması sağlanmıştır ve Yule-Walker AR kestirimi sonuçları grafiğe aktarılmıştır (Şekil 3.9). Her bir hava fazlalık katsayısına karşılık gelen pik frekanslar kesişimi bize çalışmanın sonucunu vermiştir. Bu sonuca göre birinci pik değerleri grafikte bir sinüsoydal oluşturmaktadır, ikinci pik değerleri optimal hava fazlalığı olan 1.14 te bir düşme göstermiştir ve genel olarak bir doğrusallık söz konusudur. Buhar kondensatörlerinde ise doğrudan zaman-genlik grafiklerinde değerlendirmeler yapılmıştır.



## 6. SONUÇ

Sonuç olarak literatürde çalışılmamış olan buhar kazanları, brülörler ve kondensstoplar için spektral analiz yöntemleri uygulanmış ve neticeleri bu çalışmada belirtilmiştir. Bu tezdeki çalışmayla kondensstopların seslerine bağlı zaman alanı serileriyle normal-arızalı durumları tespit etmenin mümkün olduğu görülmektedir. Buhar kazanlarında ve benzer diğer makinalarda rulman arızalarının arızalı frekans bilgisine ulaşılabilirliği görülmüştür. Yine buhar kazanlarında önemli işletme parametresi olan hava fazlalık katsayısı belirlemede akustik verilerden yararlanılabileceği öngörülmüştür. Analizi yapılacak makine ses kayıtları yapılırken doğru donanımın seçimi de önem arz etmektedir. Özellikle mikrofon seçiminin veriyi en iyi yansıtacak şekilde seçim yapılması gerekliliği bu çalışmada belirtilmiştir. Buhar kazanı hava fazlalığı veri kaydında havadan veri alan yönlendirilmiş kondenser mikrofon, rulman arızalı durumda pioze yapıştırma manyetik kullanmak uygun bulunmuştur. Kondensstop veri kayıtlarında içsel sesleri daha iyi yansıtacağı için pioze yapıştırma manyetik uygun bulunmuştur. Yine analizi yapılacak ses verilerinin özelliklerine göre hangi spektral yöntemlerin seçilmesi gerektiği de bu çalışmada ortaya çıkarılmıştır. Kazan hava fazlalığı tespitinde AR kestirim metotlarından Yule-Walker, diğer parametrik AR kestirim metotlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Diğer parametrik metotlara göre daha geniş veri kaydına uygulanabilmesi, istikrarlı bir model olması özelliklerinden dolayı Yule-Walker AR metodu tercih edilmiştir. Kazan rulman arızalı durumda bant geçiren FIR filtre tasarımı iyi sonuç vermiştir. Makinaların akustik verileri ile çıkarılan bu öznelik bilgileri bu konuda yapılacak bundan sonraki çalışmalara da veri olacaktır. Özellikle güncel konular olan wavelet dönüşümü, yapay sinir ağları, performans belirleme vb. yöntemlerle bu konudaki çalışmaların değerlendirilmesi ile yapılabilir.

## 7. KAYNAKLAR

- ABBAK, R. A. 2007. Jeodezide zaman dizilerinin dalgacık (wavelet) analizi. Doktora Semineri, Selçuk Üniversitesi, 27 s.
- AĞOĞLU, E.A. 2008. Sayısal süzgeç tasarımı ve uygulamaları. Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi, 112 s.
- ANAMI, S.B.B. PAGI, V. and MAGI, M. 2011. Wavelet-based acoustic analysis for determining health condition of motorized two-wheelers, *Applied acoustics*, 72: 464-469
- ARISOY, A. 2005. Buhar kazanlarında ve tesisatında enerji tasarrufu. *TTMD Dergisi*, Sayı: 38.
- AYGÜN, O. 2006. Konuşmacı tanıma sistemlerinde dalgacık dönüşümü. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, 79 s.
- BAŞKENT, Ü. 2012. <http://www.baskent.edu.tr/~scanan/sesweb/ses.htm>
- BATAR, H. 2005. EEG işaretlerinin dalgacık analiz yöntemleri kullanılarak yapay sinir ağlarıyla sınıflandırılması. Yüksek lisans tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, 102 s.
- BOİLER, B. 1999. Cleaver Brooks Company. Boiler Book, Section-E (Emission).
- BOZKURT, M.R. 2007. EMG işaretlerinin modern yöntemlerle önişlenmesi ve sınıflandırılması. Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, 99 s.
- BRACEVVELL, R. N. 1991. Fourier dönüşümü. Elektrik Mühendisleri Odası, *elektrik mühendisliği dergisi*, 380: 109-118
- DEMİR, Ö. 2008. EEG dalgalarının wavelet (dalgacık) dönüşümü ile değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, 56 s.
- DEMİRKALE, S.Y. 2007. Çevre ve Yapı Akustiği. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- DÖNMEZER, Ö. 2005. Fourier dönüşümleri ve kısmi türevli denklemler. Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi, 52s.
- EPROJE,2012.<http://www.eproje.com/modules.php?name=News&file=article&sid=235>
- FİDAN, H. 2006. Dalgacık dönüşümü tekniği ile motor arıza tespiti. Yüksek lisans tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, 53 s.
- FOULADI, H.M., MOHD, J.M. and ARIFFIN, K.A. 2009. Spectral analysis methods for vehicle interior vibro-acoustics identification, *Mechanical systems and signal processing*, 23: 489-500
- GRAPS, A. 2012. An introduction to wavelets. <http://aguasonic.com/Wavelets/Introductions/IEEEwavelet.pdf><http://www.amara.com>
- GRIFFITSHS, J.F. and BARNARD, J.A. 1994. Flame and Combustion, Third Edition,

- GÜNDOĞAN, E. 2011. Kazanlar ve kazanlarda verimlilik.  
<http://www.belgeler.com/blg/2h4a/kazanlar-ve-kazanlarda-verimlilik>
- JONES, J.C. 1993. Combustion Science, Principle and Practice, Millennium Books, Australia,
- HAYES, M.H. 1999. Schaum's Outline of Theory and Problems of Digital Signal Processing. Mcgraw-Hill, USA, 436 p.
- HAYES M.H. 1996. Statistical Digital Signal Processing and modeling. John wiley and sons, USA, 608 p.
- İLBAŞ, M., DOHERTY, T.O., BOWEN, P. and SYRED, N. 1995. Prediction of NOX and Combustion Performance of Cooled Cyclone Combustors, 3 rd European Conference on Industrial Furnaces and Boilers, Portugal.
- İLBAŞ, M., SYRED, N., BOWEN, P. and DOHERTY, T.O. 1996. A Study to Characterise an Industrial oil Burner-Furnace, The twenty-sixty International Syposium on Combustion, The Combustion Institute, Italy.
- İLBAŞ, M. ve YILMAZ, İ. 2002. Farklı ısı güçlerindeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18 (1-2): 18-27
- JING, L. 2000. Feature extraction based on morlet wavelet and its application for mechanical fault diagnosis ”, *journal of sound and vibration*, 234(1): 135-148
- KAY, S. M. 1988. Modern Spectral Estimation. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- LEİ, A., LIN, J., HE, Z. and ZI, Y. 2001. Application of an improved kurtogram method for fault diagnosis of Rolling element bearings, *Mechanical systems and signal processing*, 25: 1738-1749
- MBA, D. 2006. Applicability of acoustic emissions to monitoring the mechanical integrity of bolted structures in low speed rotating machinery , *Elsevier NTD&E International*, 35: 293-300
- MINER, N.E. 1998. An introduction to wavelet theory and analysis. Sandia Report, NM, October, 1-25 p.
- NAMBA, M. and ISHIDA, Y., 1998. Wavelet transform domain blind deconvolution, *Signal Processing*, 68: 119-124 p.
- POLİKAR, R. 2012. The Wavelet Tutorial part 2.  
<http://users.rowan.edu/~polikar/WAVELETS/WTpart2.html>
- SARCO, S. 2012. [http://www.spiraxsarco.com/pdfs/IM/p087\\_36.pdf](http://www.spiraxsarco.com/pdfs/IM/p087_36.pdf)
- SEONG, S.-H., HUR, S., KIM, J-S., KIM J-T., PARK, W-M., LEE, U-C. and LEE, S-K. 2005. Development of diagnosis algorithm for the check valve with spectral estimations and neural network models using acoustic signals, *Elsevier, Annals of Nuclear Energy*, 32: 479-492
- SHIBATA, K., TAKAHASHI, A. and SHIRAI, T. 2000. Fault diagnosis of rotating machinery through visualisation of sound signals, *Mechanical systems and signal processing*, 14(2): 229-241

- STOICA, P. and MOSES R. 2005. Spectral Analysis of Signals. Printice hall, USA, 427 p.
- ŞEKER, M., TOKMAKÇI, M., ASYALI, M.H. and SEĞMEN, H. 2010. Examining EEG signals with parametric and non-parametric analyses methods in migraine patients during pregnancy, Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT), 15 th National.
- ÜBEYLİ, E.D. ve GÜLER, İ. 2004a. Ar ve arma metotlarının kullanımı ile teşhis sistemleri için öznitelik çıkarma: oftalmik atardamar doppler işaretlerinin durum analizi, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. dergisi, Cilt: 19 , No: 4, s. 405-413.
- ÜBEYLİ, E.D. and GÜLER, İ. 2004b. Spectral analysis of internal carotid arterial Doppler signals using FFT, AR, MA and ARMA methods, Elsevier, *Computers in Biology and Medicine* , 34: 293-306.
- ÜBEYLİ, E.D. ve GÜLER, N.F. 2002. Parametrik olmayan metotların performans analizi, Politeknik dergisi, Cilt: 5, Sayı: 1 , s. 35-49.
- ÜNLÜ, C. 2003. İntervalf buhar tesisatları, buhar cihazları& enerji tasarrufu Semineri, Antalya, 88 s.
- YAZGAN, E. ve KORÜREK, M. 1996. Tıp elektronığı. İ.T.Ü. Kütüphanesi yayını, sayı:1574.
- YILDIZ, A. 2003. Katı yakıtlı kazan tasarımı ve ısı verimlilik değerinin irdelenmesi. Dumlupınar Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü makina mühendisliği ana bilim dalı semineri. <http://www.slideserve.com/cameo/kati-yakitli-kazan-tasarimi-ve-isis-erimlilik-degerinin-irdelenmesi#download>
- YILMAZ, İ. 2001. Sıvı Yakıtlı Yakma Sistemlerinde Yanma ve Emisyon Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi.
- ZUO, J.M., LIN, J. and FAN, X. 2005. Feature separation using ICA for a one-dimensional time series and its application in fault detection , *Journal of sound and vibration*, 287: 614-624

## 8. EKLER

EK-1 Ölçümlerde Kullanılan Cihazların Hassasiyetleri Tablosu

CİHAZ	Artec AI-P35 pizoze yapıstırma manyetik	AKG perception 170 kardioit kondenser mikrofon	Testo 330-2LL bacagazi ölçüm cihazı
	Rezonant frekansı	Frekans aralığı	Çalışma sıcaklığı
	4,3±0,5 KHz	20~ 20.000 Hz	-20~+50°C
	Rezonant impedansı	Hassaslık	CO Hassasiyet
	300 ohm maks.	12 mV/Pa (-38 dBV)	± 5 % ölç. değ. (> 100 ppm)
	Statik kapasitans	Maks. Ses basıncı Seviyesi	CO <sub>2</sub> Hassasiyet
	12 000 PF ± 30 %	135/155 dB SPL (0/-20)	± 0.2 % Hacim %
	Giriş voltajı	Eşdeğer gürültü seviyesi	O <sub>2</sub> Hassasiyet
	30 V p-p maks.	( IEC 60268-4, A-ağrlaştrılmış)	± 0.2 % Hacim %
	Çalışma sıcaklığı	Sinyal/gürültü oranı (A-ağrl.)	Verimlilik
	-20°C~ +60°C	73 dB (re 1 Pa)	0.1 %
	DC-dirençi Kohm	impedans	
	NA	< 200 ohms	
		Önerilen yük impedansı	
		>=1000 ohms	
		Güç	
		<=2 mA	
		Güç gerekliliğı	
		48 V fantom güç DIN/IEC	
Hassasiyetler			

## ÖZGEÇMİŞ

Levent Özdemir, 1971 yılında Antalya'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya'da tamamladı. Antalya Teknik Lisesi'nden 1988 yılı Makina Bölümünden mezun oldu. 1989 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümünden 1993 yılında Makina, Resim ve Konstrüksiyon Teknik Öğretmeni olarak mezun oldu. Mezun olduğu yıldan 1996 yılına kadar, ısıtma, soğutma, havalandırma konusunda proje ve taahhüt hizmeti veren özel sektörde proje tasarımı ve uygulamalarında görev aldı. 1996 yılında Akdeniz Üniversitesi Rektörlüğü Uzman kadrosuna atandı. Bulgaristan Gabrovo Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliğinden Mart 2013'de Makina Mühendisi olarak mezun oldu. Halen Akdeniz Üniversitesi Hastanesi'nde Isı santrali, mekanik tesisat ve iş güvenliği uzmanı olarak görevini sürdürmektedir. Evli ve 2 çocuk babasıdır.