

# İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNE AİT PERFORMANS TESPİTLERİNİN AKUSTİK ANALİZLERE GÖRE YAPILMASI \*

**Hakan ERSOY** \*\*

Yrd. Doç.Dr., Akdeniz Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makina Mühendisliği Bölümü, Antalya  
hakanersoy@akdeniz.edu.tr

**Levent ÖZDEMİR**

Öğr.El., Akdeniz Üniversitesi Hastanesi,  
Teknik Müdürlük, Antalya  
lozdemir@akdeniz.edu.tr

## ÖZET

Makinaların çalışırken çıkardıkları sesleri genellikle çalışma durumunu yansıtır. Belirli bir döngü içerisinde çalışan makinaların veya makina elemanlarının çıkarmış oldukları sesler, o makinaya ait ses karakteristiğini oluşturmaktadır. Makina sağlığında olan değişimler bu karakteristiği değiştirerek, makinenin çalışma döngüsünde ne gibi aksaklıkların veya arızaların oluştuğunu göstermektedir.

Dijital ses kaydı ile bilgisayar ortamına aktarılan ses sinyalleri ses analiz programlarıyla görselleştirilebilmektedir. Bu sinyallerin zaman ekseninde genlik değişimlerini inceleyerek makinelerin arıza ve normal çalışma durumlarında nasıl bir akustik profil çizdiği saptanabilmektedir.

Bu çalışmada bir ısı merkezinde, ısı kaynağı olarak kullanılan buhar kazanları ve buhar tesisatlarında kullanılan kondensatörlerin ses analizleri yapılmıştır. Buhar kazanlarının, eksik hava, primer hava fanı arızası ve kondensatörlerin buhar kaçırma durumlarının dijital ses kayıtları alınmış, daha sonra Fast Frouier dönüşümleri (FFT) yapılarak frekans, otokorelasyon dizisi ile ilişkili olan ve ayrık zamanlı FFT'ye bağlı olarak Yule-Walker güç spektral yoğunluğu grafikleri çıkarılarak ses analizleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Performansa dayalı bakım, buhar kazanları, kondensatörler, Yule-Walker güç spektral yoğunluğu, akustik analiz

## Performance Detection of Air-Conditioning Systems via Acoustic Analysis

### ABSTRACT

The sounds of running machines usually reflect the operation status of the machines. Each machine or system has its own acoustic characteristic. The changes in the health of the machine change this characteristic. These changes indicate the type of problems about the system or components of the machines.

Digital audio signals are transmitted to the computers with special voice recorders and visualized by sound analysis software. Inspecting the changes in the amplitude of these signals on the time-domain, we can understand the performance of the system and its components.

In this study, a heating boiler in a heating center and steam traps in the heating piping system are analyzed. Later, Fast Frouier Transformations (FFT) are obtained. Acoustic analyses are made by using Yule-Walker power spectral density.

**Keywords :** Performance-based maintenance, steam boilers, steam trap, Yule-Walker power spectral density, acoustic analysis

\*\* İletişim Yazarı

\* Geliş tarihi : 17.11.2011  
Kabul tarihi : 01.12.2011

## GİRİŞ

**L**iteratürdeki akustik analizi yapılan çalışmalar dönen makinelerle yoğunlaşmış ve özellikle rulman arızaları üzerinde durulmuştur. Bu makinalarda ki ses veya titreşim sinyalinde FFT (Fast Fourier Transform) yöntemi ile zaman serileri, frekans alana dönüştürülmüş ve pik gösteren frekanslardan arızanın teşhisi konulmaya çalışılmıştır.

Akustik veriler ile yapılan makale çalışmaları üzerinde duracak olursak; çalışmaların birinde “Bir arıtma tesisinde düşük devirde dönen biyolojik kontaktörün mil kökündeki çatlak üzerinden alınan akustik veriler değerlendirilmiştir. Makalede, biyolojik kontaktörün mekanik aşınmalarının erken evrelerinde hasarın ortaya çıkarılması için yüksek frekanslı akustik emisyon uygulaması incelenmiştir. Bulgular vibrasyon analizlerin yetersizliğini ortaya çıkarmaktadır” [1].

Sinyal işleme tekniğinde kullanılan WT(Wavelet Transform) fonksiyon ailesi içerisindeki fonksiyonların performansları kıyaslanmıştır. “Bir otomobil transmisyon kutusu vibrasyon sinyalleri içerisinde, rulman arıza teşhisinde Morlet ve Donoho'nun yöntemleri kıyaslanmıştır. Akustik sinyallerden özellik çıkarmada, Wavelet fonksiyonlarından Morlet'in, Donoho'nun “soft-thresholding denoising” metoduna göre, daha avantajlı bir yöntem olduğu tespit edilmiştir” [2].

Makine ses sinyallerinden farklı metotlarla arıza teşhisi koymaya yönelik çalışmalar mevcuttur. Hangi yöntemin daha etkili ve faydalı olduğu gibi kıyaslamalı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin “SDP (Symmetrised Dot pattern) metodu ses sinyallerini şematik olarak göz önüne getirmektedir. Bu yöntem rulmanın ses sinyalleri üzerinde uygulanmıştır. Rulman ses sinyallerinin normal ve arızalı görüntüleri karşılaştırılmıştır. Arıza sinyali belirtisi, ses sinyalleri içerisinde, zaman-frekans alanı ve Wavelet analizi ile tanımlanmıştır” [3].

“Kurtogram metodu, makinaların arıza teşhisine yönelik pratik ve çok etkili bir araç olduğunu ispatlamaktadır. Kurtogram metodunu temelini kısa zamanlı Fourier Transformu ve FIR (Finite Impulse Response) filtreler oluşturmaktadır. Çalışmada, bir elektrik motoru ile yük arasında mil ile iletilen gücün aktarılmasındaki dişli kutusu kullanılmıştır. Rulmanların olduğu bu test makinasında rulmanlara yönelik kurtogram metodu uygulanmıştır. Bu çalışmadan kurtogram metodu içinde eksiklikleri giderecek filtreye ihtiyaç olduğu çıkmıştır. Bunun için daha da gelişmiş ve birleştirilmiş filtre olan Wavelet Packet Transformu kullanılmıştır” [4]. “PCA (Principal component analysis) ve ICA (Independent component analysis ) her iki metot da arıza çıkarmada kullanılmıştır. Bir dişli kutusundan titreşim ile alınan sinyal serilerinden birleştirilmiş Wavelet transformu ve ICA metodunun, birleştirilmiş Wavelet transformu ve PCA metoduna göre daha iyi olduğu saptanmıştır” [5].

Araçlarda, özellikle otomobil ve motosiklet akustik verileri

üzerinden arıza teşhisi ve araç içi gürültü performansının optimize edilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. “Motosiklet çalışması, motosikletlerin krank arızası, piston hasarları, yağ kaçağı, zamanlama zinciri hasarları, debriyaj plakası hasarlarının ortaya çıkarmasına yönelik bir çalışmadır. Bir servis istasyonunda uzman teknisyen yardımı ile sağlıklı ve sağlıklı çalışan ses örnekleri toplanmıştır. Sağlıklı araçlar bir yıldan eski, 6500 km'yi geçmemiş düzenli servis hizmeti almış araçlar seçilmiştir” [6]. “Gürültü, insan sağlığını ve performansını, konfor şartlarını çeşitli şekillerde etkilemektedir. Otomobillerde yolcu kabinindeki gürültünün vibro-akustiksel kaynağının bulunması ve buna uygun çözümlerin üretilmesi gereklidir. Çalışmada uygulamaya konan spektral analiz metodu, parçaların transfer fonksiyonlarıyla ölçme ve ayrılmasının gerekli olduğu “test ve hata” metotlarından çok daha hızlıdır. Çalışmada bir çoklu-kanal analizörü, vibro-akustik sinyallerin kayıt ve ölçülmesinde kullanılmıştır. Hesaplama algoritmaları da çeşitli kaynaklardan ölçülen iç sinyalin doğru katkısını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu edinimler, otomobillerin iç gürültü performansının optimize ve kontrol edilmesi için kullanılmaktadır” [7].

Bu makalede bölgesel ısıtma sisteminde kullanılan buhar kazanı (Şekil 1) brülörü ve kondensatörün akustik analizleri yapılmıştır. Kazan brülörlerinde hava-yakıt oranı ayarlarındaki bozulma ve brülör primer hava fanı rulman arızası çalışılmıştır. Kondensatör cihazlarında, içerisinde bozulan veya aşınan mekanik parçalardan dolayı buhar kaçıran kondensatörün akustik verilerine ait analizler yapılmıştır.

## SKOÇ BUHAR KAZANI SES ANALİZLERİ



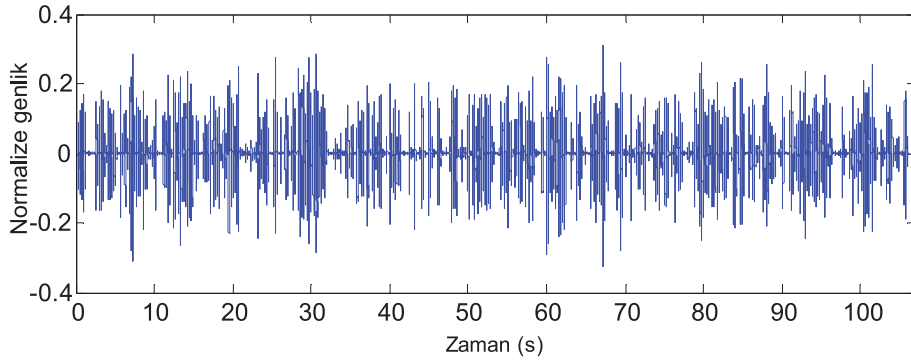
Şekil 1. Skoç Tipi Doymuş Buhar Kazanı

Şekil 2 ve Şekil 3, skoç tipi bir buhar kazanının normal ve eksik hava ile çalışma periyodunda dinamik mikrofon 44100 Hz örnekleme ile kayıt altına alınmış ses sinyali zaman-genlik grafikleridir. Ancak, bu şekillerden bir sonuç çıkarmak pek olası görülmemektedir.

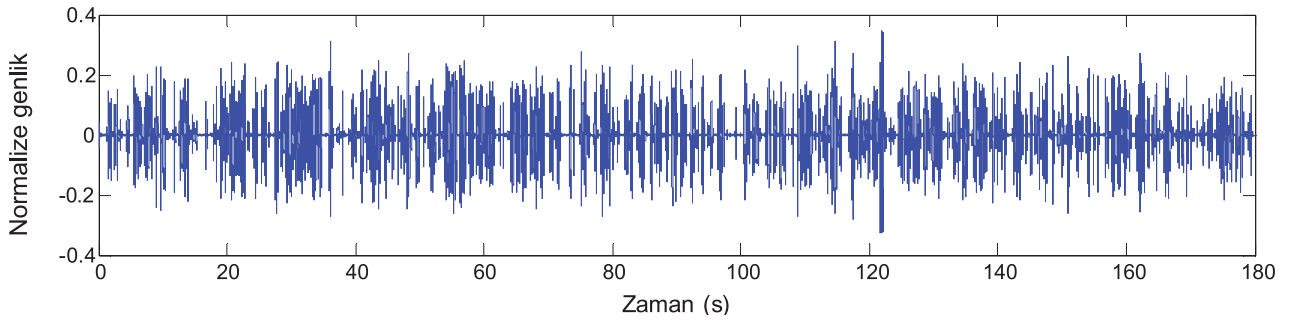
Ses sinyalinin FFT (Fast Fourier Transform) dönüşümü yapılarak zaman alanından frekans alanına geçiş yapılmıştır. Dikey eksen normalize edilmiş genliği, yatay eksen ise frekansı (Hz) göstermektedir.

Şekil 4 ve Şekil 5 karşılaştırıldığında farklı frekansları

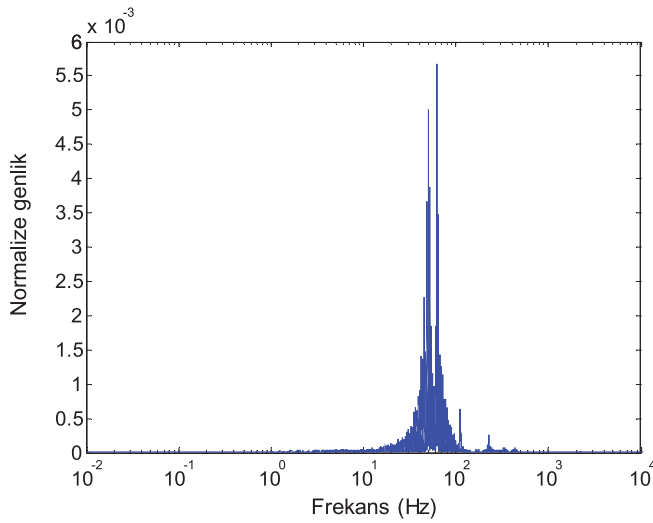
görmek çok zordur. Daha detaylı gösterim Şekil 6 ve Şekil 7'dir. Her iki grafikte çok benzerlik göstermektedir. Çok detaylı inceleme yapılırca ancak frekans değişimleri görülebilmektedir. Bu nedenle daha kıyaslamalı olabilmesi için güç spektral yoğunluğu kestirim metodlarından olan Yule-Walker yöntemi kullanılmıştır.



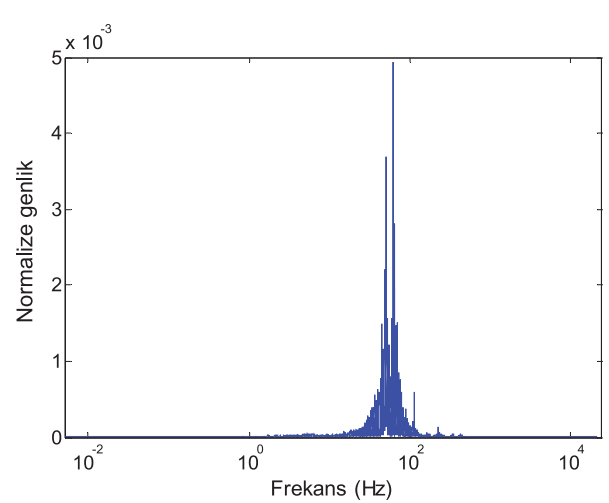
Şekil 2. Skoç Buhar Kazanı Ses Sinyali Zaman-Genlik Grafiği (Normal Çalışma)



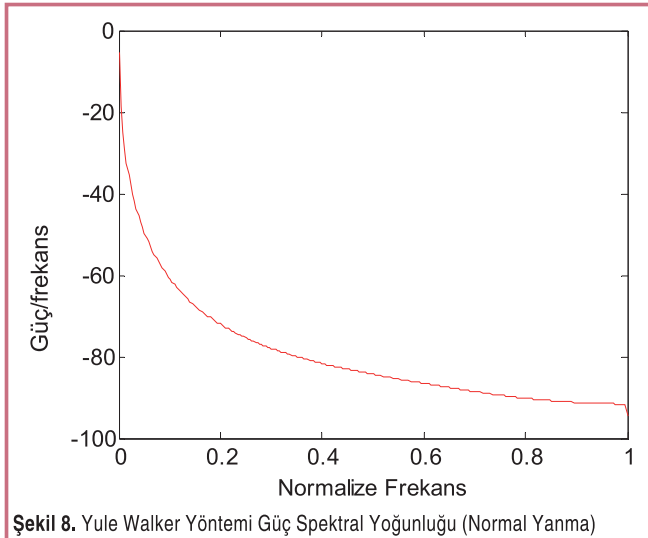
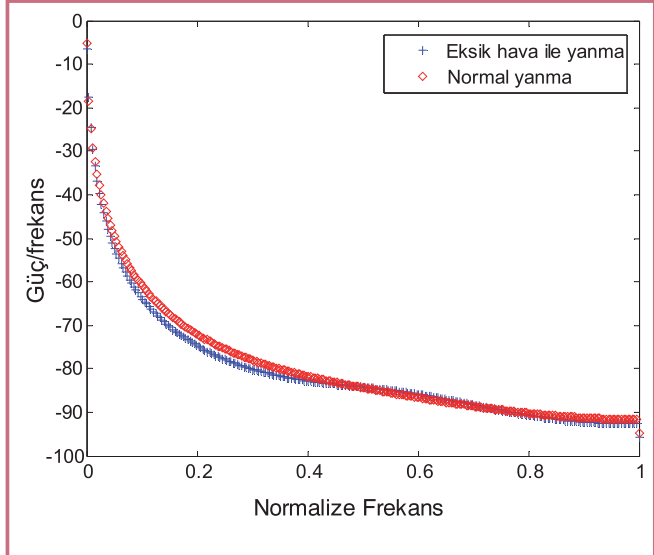
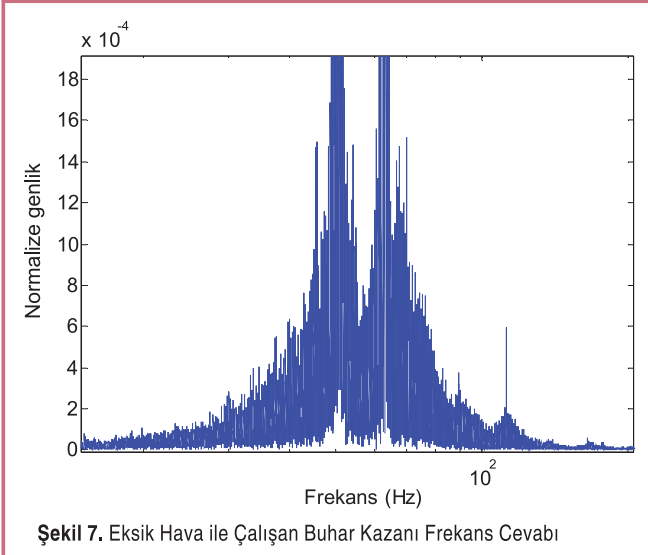
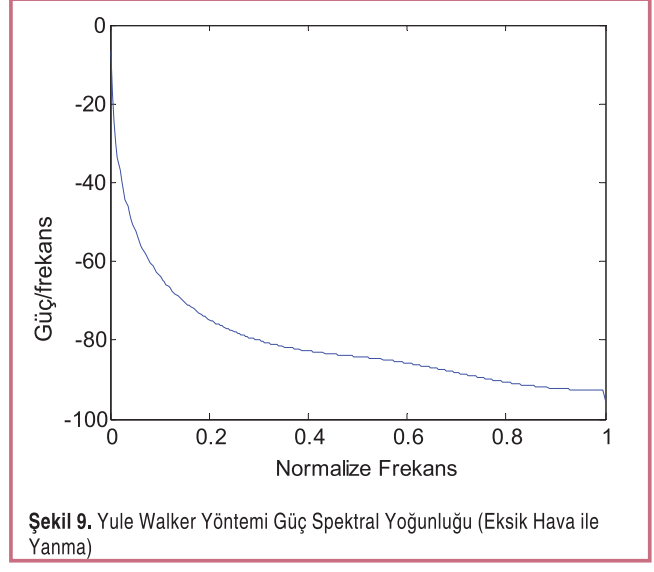
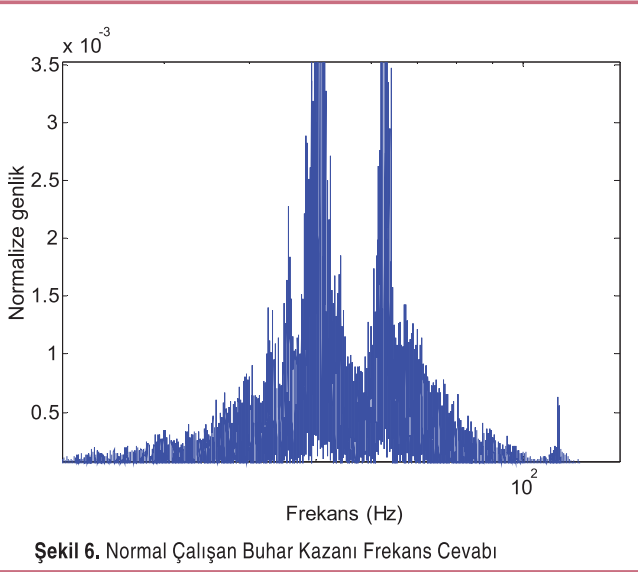
Şekil 3. Skoç Buhar Kazanı Ses Sinyali Zaman-Genlik Grafiği (Eksik Hava ile Çalışma)



Şekil 4. Normal Çalışan Buhar Kazanı Frekans Cevabı

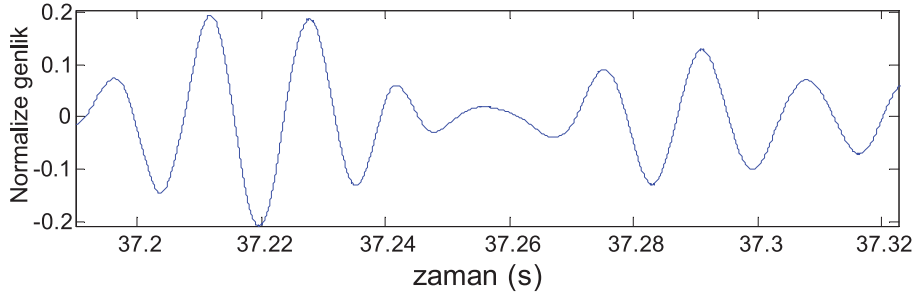


Şekil 5. Eksik Hava ile Çalışan Buhar Kazanı Frekans Cevabı

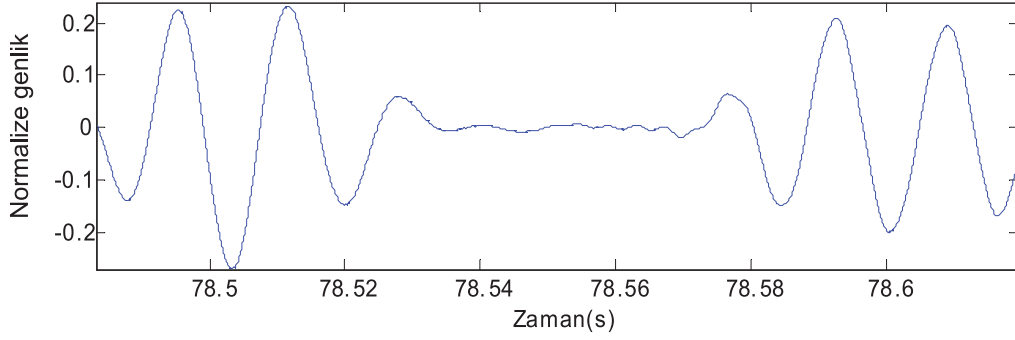


Şekil 8 ve Şekil 9 FFT'ye bağlı olarak Yule-Walker Yöntemi kullanılarak iki durum için çıkarılmış güç yoğunlukları, Şekil 10'da ise bu iki durumun birleşmiş hali görülmektedir. Yatay eksen normalize frekansı ( $x \pi \text{ rad} / \text{örnekleme}$ ) temsil etmekte, dikey eksen Güç/ frekans (normalize genlik/ rad / örnekleme) olarak ifade edilmektedir.

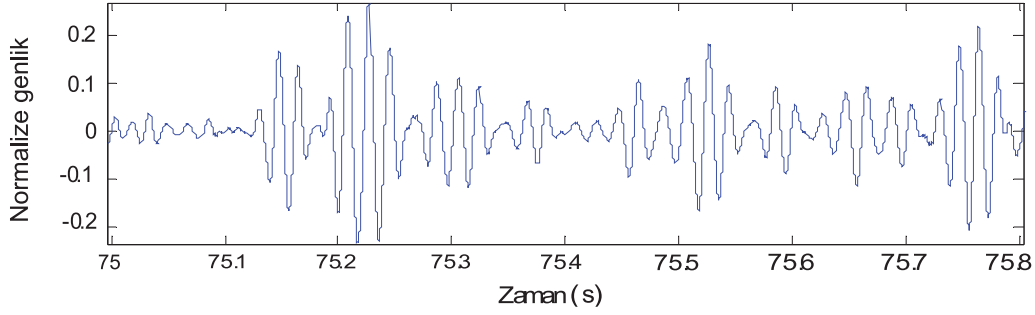
Sinyallerin frekans cevapları ve güç yoğunlukları neticesinde hangi frekanslarda şekil değişimleri olduğunu tespit edecek olursak Şekil 11'de sesin dalga formu, Şekil 12 aralara giren yüksek frekans içeren küçük dalgalar ile değişim göstermiştir. Şekil 14'teki alçak frekanstaki ses dalgalarının genliğinin, Şekil 13'te artmış olduğu görülmektedir.



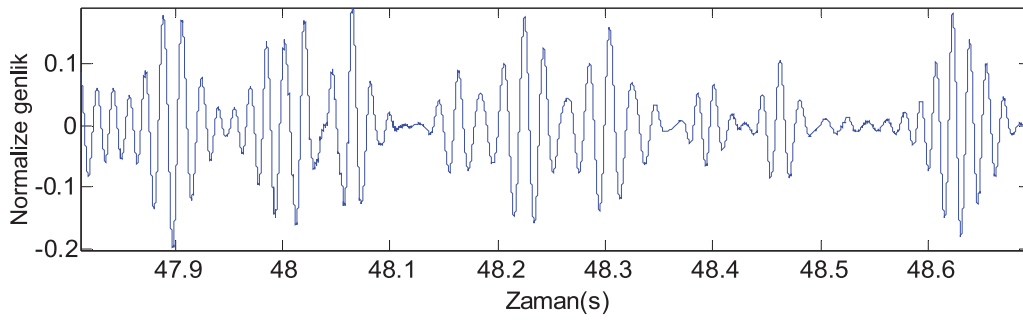
Şekil 11. Sinyalin Zaman Ekseninde Büyütülmüş Hali (Normal Yanma)



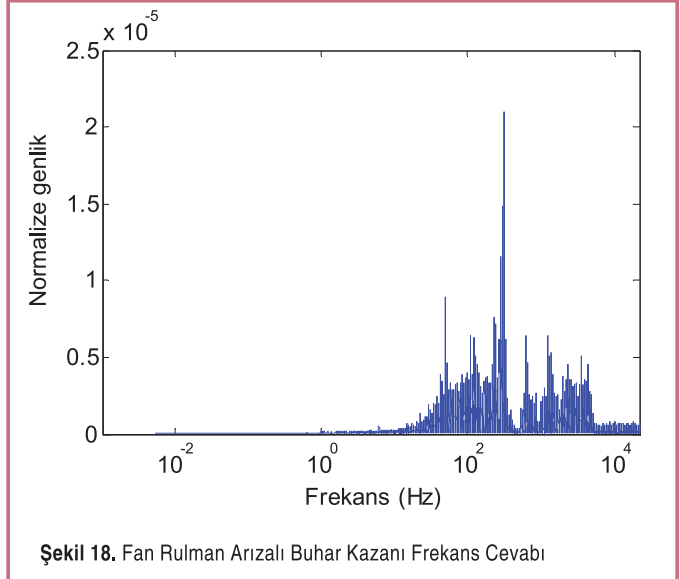
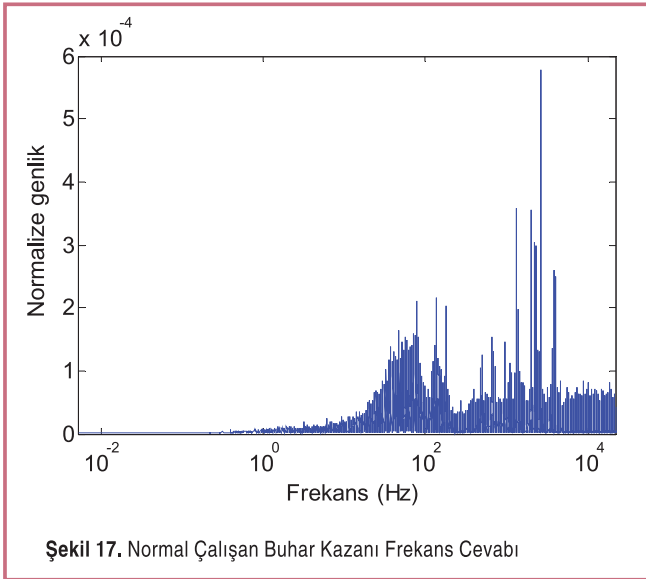
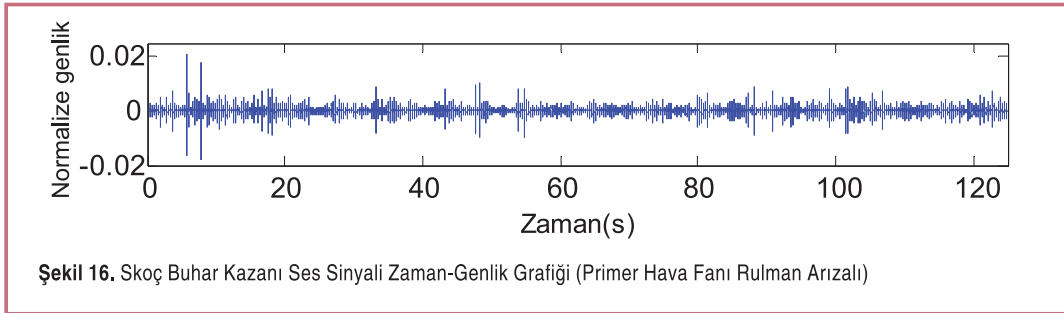
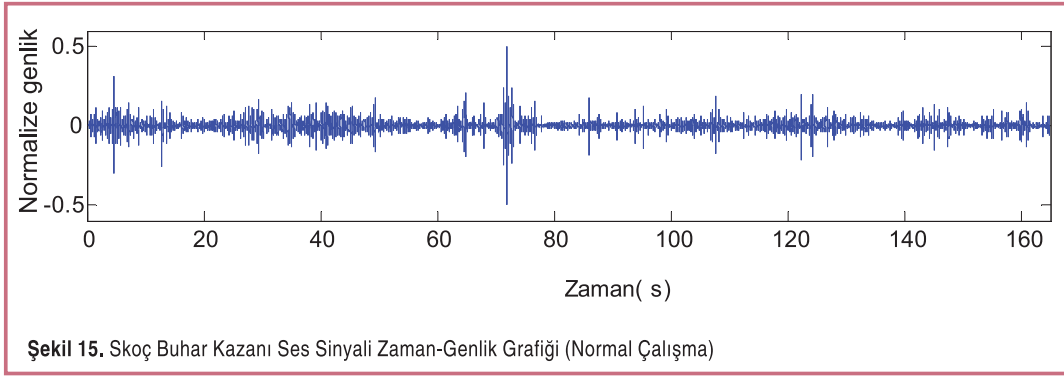
Şekil 12. Sinyalin Zaman Ekseninde Büyütülmüş Hali (Eksik Hava)



Şekil 13. Sinyalin Zaman Ekseninde Büyütülmüş Hali (Eksik Hava)



Şekil 14. Sinyalin Zaman Ekseninde Büyütülmüş Hali (Normal Yanma)

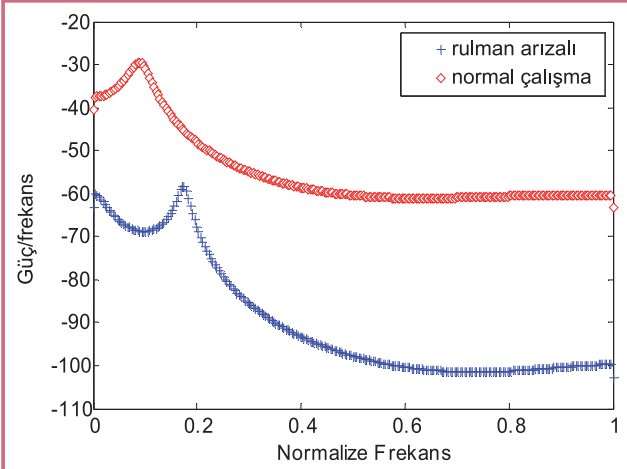


Diğer bir analiz olarak, skoç buhar kazanından piezo mikrofon kullanılarak rulmanın sağlam ve arızalı durumda alınan dijital ses grafikleri Şekil 15 ve Şekil 16'dır. Zaman alanındaki bu sinyallerden sağlam ve arızalı durum karşılaştırılması yaptığımızda herhangi bir belirleyici özellik tespit etmek olanaksızdır. Her iki durumun frekans cevapları Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmiştir. Şekil 19'da her iki durumun spektral güç yoğunluğu incelenebilmektedir.

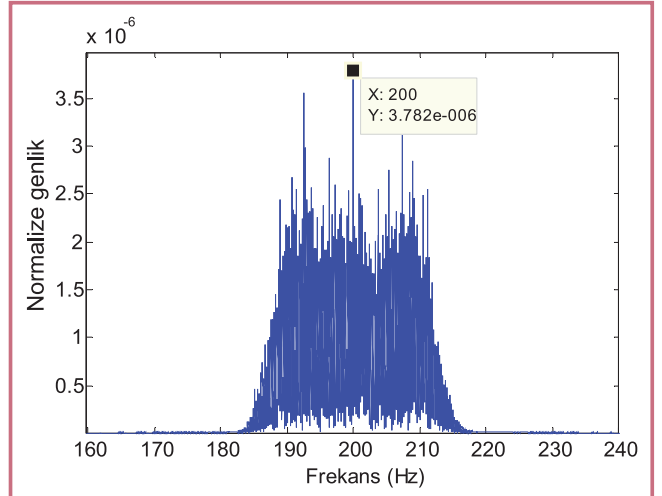
Normal çalışma sırasında ses kaydı yapılan buhar kazanı tek başına çalışmaktadır. Rulman arızalı durumunda kazan dairesinde diğer iki kazan da çalışır durumdadır. Bu nedenle

Şekil 19 da normal çalışma, rulman arızalı grafiğinin üzerinde çıkmıştır.

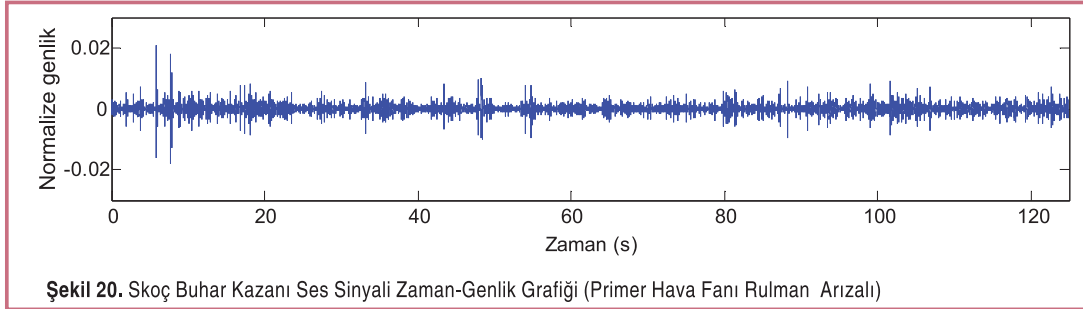
Genellikle rulman arızaları dış bilezikte, iç bilezikte veya bilyelerdeki kusurlardan meydana gelmektedir. Bilyelerde bir bozukluk meydana geldiği zaman bir impuls görülebilir. Bu sinyalin periyoduna göre karakteristik frekans formülü kullanılarak hasar yerine karar verebiliriz. İç bilezikteki hasarlarının impulsları dış yüzeye iletme sırasında daha çok transfer segmenti vardır, genellikle impuls bileşenleri titreşim sinyalinde oldukça zayıftır. Bu nedenle iç bilezikteki hasar teşhisi daha zordur [2].



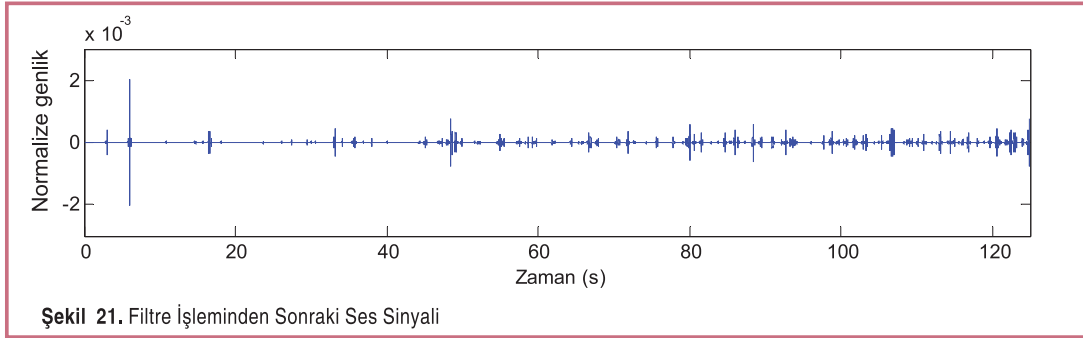
Şekil 19. Yule Walker Güç Spektral Yoğunluğu (Normal ve Fan Rulman Arızalı Çalışma)



Şekil 22. Filtre Edilmiş Rulman Arızalı Ses Sinyalinin Frekans Cevabı



Şekil 20. Skoç Buhar Kazanı Ses Sinyali Zaman-Genlik Grafiği (Primer Hava Fanı Rulman Arızalı)



Şekil 21. Filtre İşleminde Sonraki Ses Sinyali

Akustik analizleri yapılan 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 var ve temas açısı  $\alpha=0$ , bilye çapı  $d=24$  mm., rulman adım çapı  $E=51,3$  mm., bilye sayısı  $z=8$ . İç bilezikteki hasarın karakteristik frekansı  $f_i$  aşağıdaki formül ile hesaplanır.

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

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

metodu FIR-equiripple'dır. Şekil 20'de başlangıçta alınan rulman arızalı kayıt ile Şekil 21'de bandpass filtre sonrası geriye kalan ses sinyali görülmektedir. Filtre edilen ses sinyali Şekil 22 frekans alanında görüldüğü gibi 200 Hz'lik frekansta pik göstermektedir. Ses sinyalinde arıza frekansı ortaya çıkarılmıştır.

## KONDENSTOP SES ANALİZLERİ

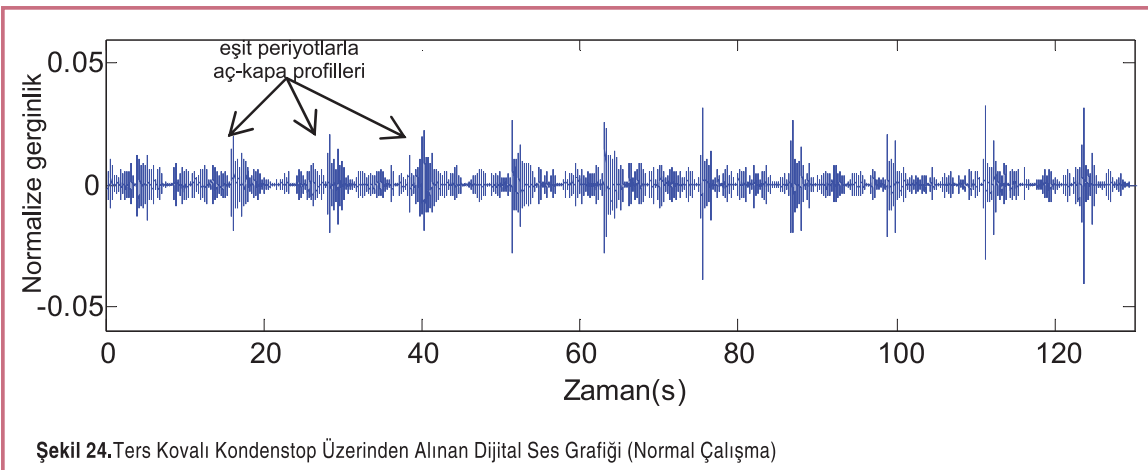
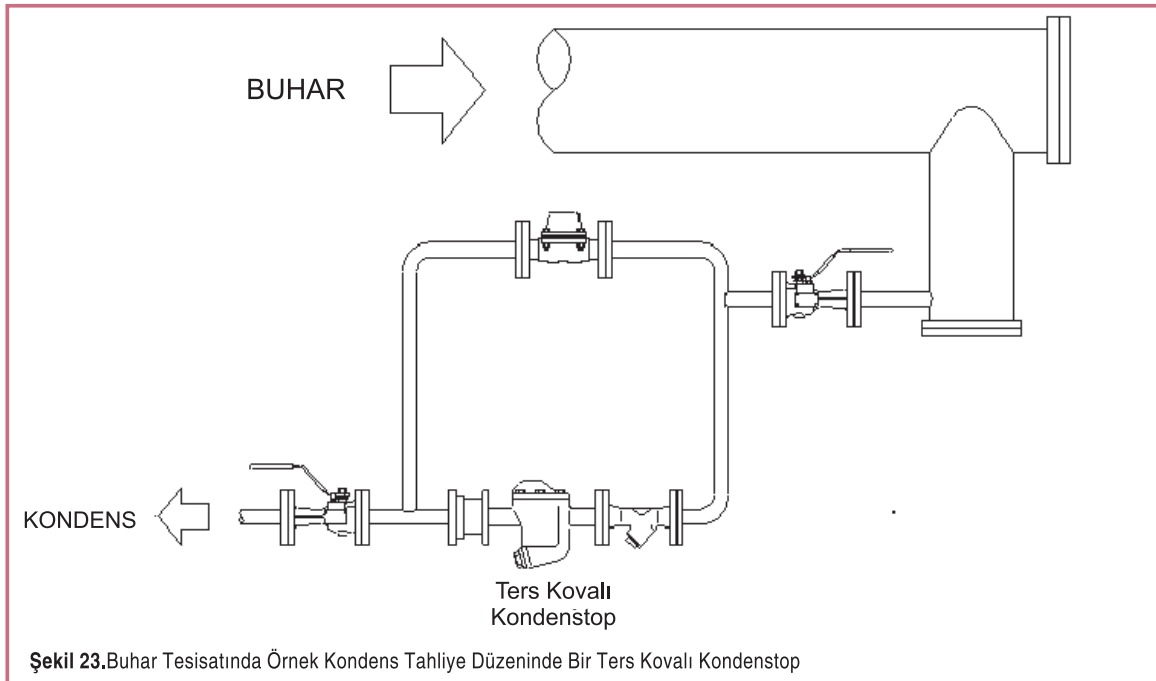
Kondenstoplar, buhar sistemlerinin en önemli elemanlarından birisidir. Kondenstoplar; hava, gaz ve kondensi (sıcak saf suyu) otomatik olarak tahliye eden, fakat buharı tutan cihazlardır. Buhar kullanılan cihazlardan sonra veya buhar hatlarının drenaj noktalarında kullanılır. Kondenstoplar çalışma prensiplerine göre üç ayrı temel yapıya sahiptir.

Mekanik prensiple çalışan kondenstoplar; buhar ile kondens arasındaki yoğunluk farkını algılar ve kondensi buhar sıcaklığında tahliye eder.

Termodinamik prensiple çalışan kondenstoplar; kondens ile flaş buhar arasındaki dinamik farkları algılar ve kondensi buhar sıcaklığına yakın tahliye eder.

Termostatik prensiple çalışan kondenstoplar; buhar ile kondens arasındaki sıcaklık farklarını algılayarak kondensi buhar sıcaklığının altında tahliye eder.

Kondenstop kapalı durumda kalırsa buhar çekişi aniden azalacaktır. Kondenstop, tam açık veya kısmen açık durumda arızalı ise, buhar sarfiyatı devam edecek ve bu durum gereksiz buhar kaybına dolayısıyla enerji kaybına neden olacaktır [8]. Bu





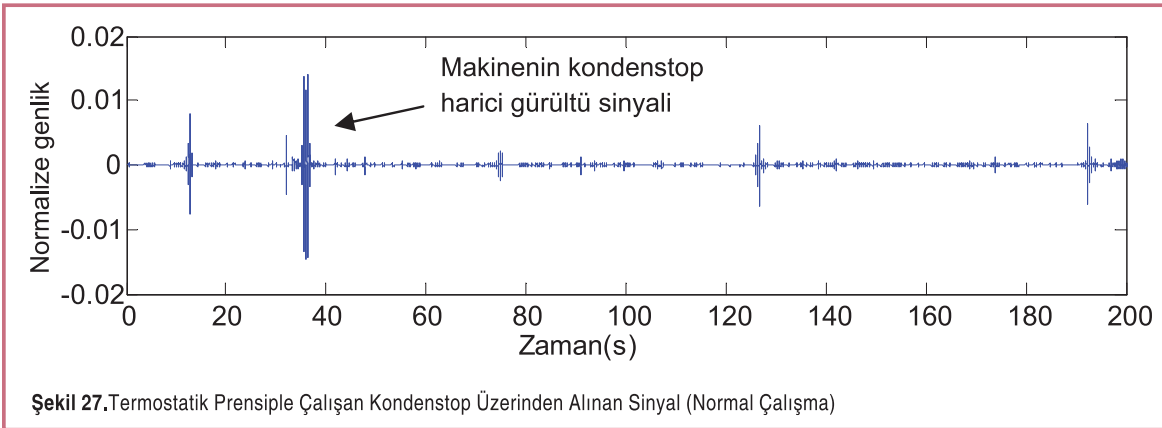
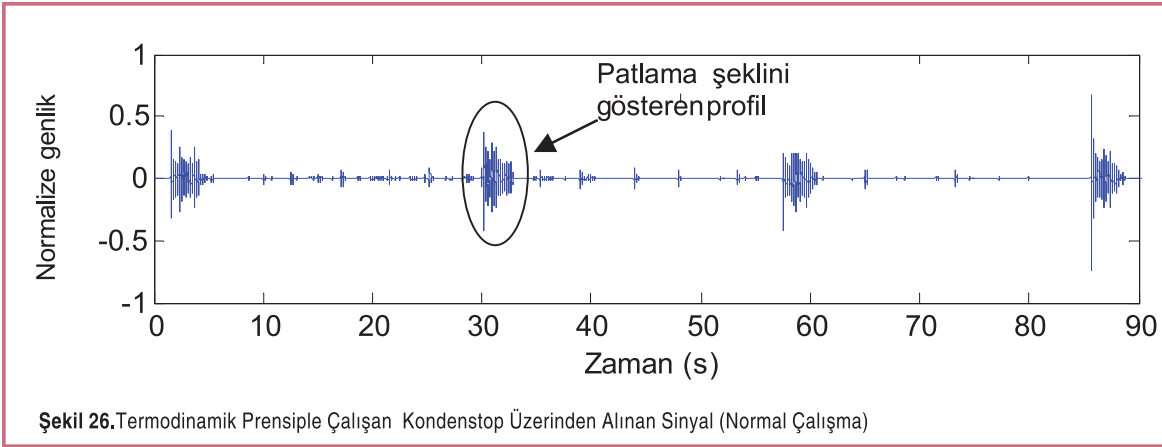
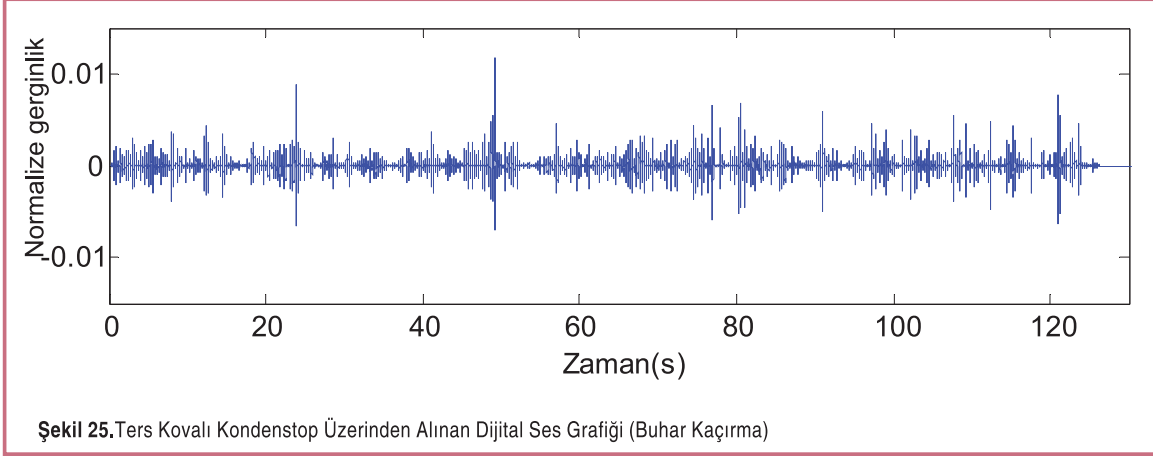
nedenle buhar kondensatörlerinin çalışır durumunun sürekli takip edilmesi ve arızalı durumunun tespit edilerek normal çalışması sağlanmalıdır. Kondensatörleri sürekli kontrol altında tutabilmek içinse kontrol işlemi pratik bir şekilde gerçekleştirecek bir sisteme ihtiyaç vardır. Kondensatörler üzerinden alınan akustik veriler kullanılarak arıza ve arızaya yaklaşma durumları tespit edilebilir.

Mekanik prensiple çalışan bir ters kovalı tip kondensatörden

(Şekil 23) piezo mikrofon kullanılarak sağlam ve arızalı durumda dijital ses kayıtları alınmıştır (Şekil 24, Şekil 25).

Ters kovalı kondensatörlerin tahliye düzeni genellikle yarı-konjonktüredir. Orta ağırlıklı yüklerde kondensatör belirli bir aç-kapa döngüsüne sahip olacaktır. Hatalı çalışan ters kovalı kondensatör buhar kaçırması yapacak ve düzensiz bir aç-kapa şeklinde çalışacaktır [9].

Kondensatörün buhar kaçırma durumunda ses şiddetinde





azalma olduğu görülmektedir (Şekil 25). Kondenstopun normal çalışma düzeninde dakikada düzenli aralıklarla beş-altı boşaltma yaptığı görülmektedir (Şekil 24). Bu çalışmanın normal sınırlarda olduğunu söyleyebilir. Arızalı durumda ise zaman-genlik grafiğinde düzensiz bir akış söz konusu olmakta ve periyotlar düzensiz hâle gelmektedir.

Termodinamik prensiple çalışan kondens toplar; on/off çalışarak patlama şeklinde boşaltma yapar. Uygun bir şekilde tasarlanmış, düzenli, iyi çalışan bir termodinamik kondens top için tahliye sıklığı dakikada 0-5 kez olmalıdır. Dakika 10 ve daha fazla tahliye yapan bir kondens top kirlenmiş veya aşınmıştır. Sürekli boşaltma yapan kondens top ya yüksek karşı basınca maruz kalarak ciddi bir şekilde aşınma yapmıştır ya da kirlenme nedeniyle disk kapalı kalmıştır [9]. Şekil 26'da termodinamik bir kondens topun dakikada üç boşaltma yaptığı, görülmektedir ve buradan normal çalıştığı buhar kaçırmadığı sonucuna varılabilmektedir.

Termostatik prensiple çalışan kondens topların tahliyesi, tasarım ve doluluk unsuruna bağlı olmak üzere değişkendir. Bununla birlikte bu kondens toplar hafif yüklerde damlacık, ağır yüklerde modülasyonlu olarak on/off döngülü şekilde tahliye ederler. Ana damlacıklar ve onu izleyen hafif yükler düşük bir on/off döngüsü verecektir. En çok kullanılan süreçte, kondens top modülasyonlu olmaya meyilli olacaktır, bazen de döngülü. Kondens top kapandıktan sonra ve tamamen soğuduğunda valf açılacaktır. Kondens top geri dönüş yapıp tamamen açıldığında kondens top patlama şeklinde tahliye yapacak ve bir dakika içinde kapanacaktır [9].

Şekil 27'de, ameliyathane buhar sterilizatör cihazının buhar ceketini kondens çıkışında bulunan termostatik prensiple çalışan bir kondens topun verileri görülmektedir. Kondens top çalışma sesi, yapıştırma pieze bir mikrofonla kayıt altına alınmıştır. Kayıt esnasında makinenin çalışma sesleri de sisteme girmiştir. Özellikle 38. saniyede belirgindir. 15., 75., 135. ve 195. saniyelerde kondens topun şiddeti artarak tahliyeler yapmaktadır. Sonuç olarak kondens top aç-kapa döngülü ve eşit periyotlarla tahliye yapmaktadır. Kondens topun normal çalışma tanımı içerisinde olduğu ve buhar kaçırmadığı anlaşılmaktadır.

## SONUÇ

Bu çalışmada buhar kazanlarının ve buhar tesisatlarındaki kondens topların sesleri dijital olarak kayıt altına alınıp ses sinyalleri görselleştirilmiştir. Eksik hava ile çalışan buhar kazanının akustik verileri ile normal çalışma akustik verileri kıyaslanarak ses profillerinden genelleme yapılacak veriler ortaya çıkarılmıştır. Yine bir buhar kazanında primer hava fanındaki rulman arıza sinyali, gürültü içerisinden ayıklanarak ortaya çıkarılmıştır. Hangi ses sinyalinin hangi arızayı temsil ettiği tespit edilmeye çalışılmıştır.

Makinaların çalışırken çıkardıkları seslerin, çalışma

durumunu yansıtan verileri bünyelerinde barındırdıkları öteden beri bilinmektedir. Birçok tecrübeli operatör, makinaların sadece sesini dinleyerek arıza durumlarını teşhis etmeye çalışır. Ancak makinaların çıkardıkları seslerin birbirlerine karışması durumunda bir sonuca varmak güçleşir. Ayrıca kulakla yapılan dinlemelerin her zaman objektif sonuçlar vermeyeceği de açıktır. Dijital olarak yapılan kayıtların sonrasında matematiksel filtreler ve algoritmalarla birlikte, görsellik katılarak yapılan akustik analizler, sistemlerin çalışma performansları hakkında önemli veriler sunmaktadır. Ayrıca akustik analizler, temassız olarak veri toplayabilmeleri ve daha geniş frekans alanındaki sinyalleri içermeleri bakımından titreşim analizlerine dayalı yöntemlere göre bazı ilave avantajlara sahiptir. Burada önemli olan incelenecek sistem veya makinenin referans olarak adlandırılabilir normal durum hali ve arıza türlerini içeren akustik profillerinin önceden bilinmesi ve yorumların buna göre yapılmasıdır.

## KAYNAKÇA

1. **Mba, D.** 2001. "Applicability of Acoustic Emissions to Monitoring the Mechanical Integrity of Bolted Structures in Low Speed Rotating Machinery," Elsevier NTD&E International, 35, p.293-300.
2. **Jing, L.** 2000. "Feature Extraction Based on Morlet Wavelet and Its Application for Mechanical Fault Diagnosis," Journal of Sound And Vibration, 234(1), p.135-148.
3. **Shibata, K., Takahashi, A., Shirai, T.** 2000. "Fault Diagnosis of Rotating Machinery through Visualisation of Sound Signals," Mechanical Systems and Signal Processing, 14 (2), p.229-241.
4. **Lei, A., Lin, J., He, Z., Zi, Y.** 2011. "Application of an Improved Kurtogram Method for Fault Diagnosis of Rolling Element Bearings," Mechanical Systems and Signal Processing, 25, p.1738-1749.
5. **Zuo, J. M., Lin, J., 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, p.614-624.
6. **Anami, S. B., Pagi, B. V., Magi, M.** 2011. "Wavelet-Based Acoustic Analysis for Determining Health Condition of Motorized Two-Wheelers," Applied Acoustics, 72, p.464-469.
7. **Fouladi, H.M., Mohd, J.M., Ariffin, K.A.** 2009. "Spectral Analysis Methods for Vehicle Interior Vibro-Acoustics Identification," Mechanical Systems and Signal Processing, 23, p.489-500.
8. İnterval, 2003. Buhar Tesisatları, Buhar Cihazları & Enerji Tasarrufu Semineri, 22 Ekim, Antalya.
9. www.spiraxsarco.com. son erişim tarihi: 24 Ekim 2011