

Mel-Frekansı Kepstral Katsayılarını (MFCC) Kullanarak Elektriksel Boşalma Seslerinin Analizi

Analysis of Electrical Discharge Sound Data Using Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)

Mustafa Karhan^{1,2}, Musa Faruk Çakır¹, Mukden Uğur²

¹Elektronik & Otomasyon Bölümü

Çankırı Karatekin Üniversitesi

mustafakarhan@gmail.com, mcakir@karatekin.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

İstanbul Üniversitesi

mukdenuu@gmail.com

Özet

Bu çalışma kapsamında çubuk - düzlem elektrot sisteminde farklı uzaklıklarda elektriksel boşalma sesleri kaydedilmiştir. Gerilim kaynağı olarak 10kV/50Hz'lik bir kaynak kullanılmıştır. Raspberry Pi platformu üzerinden mikrofon ve ses kartı yardımıyla deney ortamından 30°C, 40°C, 45°C ve 50°C sıcaklıklar altında ve çubuk düzlem elektrotlar arası 5mm, 10mm, 15mm, 20mm ve 25mm mesafelerde olacak şekilde ses verileri alınmıştır. Elde edilen bilgilerin işlenmesinde Python programlama dili ve MATLAB platformu kullanılmıştır. Ses işlemede ön işleme olarak deney ortamı kaynaklı gürültüler giderilmiş, daha sonra ses sinyalleri aynı uzunlukta işlenebilecek veriler haline getirilmiştir. Ön işleme sonrası veriler kullanılarak MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) Mel frekansı kepsstral katsayıları çıkarılmıştır. Bu katsayıların standart sapmaları ve ortalama değerleri çıkartılıp saçılma grafiği çizilmiş ve veri tablosu hazırlanmıştır. Bu çalışma ile elektriksel boşalma, ses işleme teknikleriyle incelenerek yüksek gerilim ile sinyal işleminin keşiştiği bir multidisipliner çalışma ortaya konulmuştur.

Abstract

In this study, electrical discharge sounds were recorded in a rod-plane electrode system. Recording was repeated under the same conditions for different distances. A 10 kV/50Hz voltage generator was used as voltage source. The sound data were acquired in an experimental environment at 30°C, 40°C, 45°C and 50°C temperature and at a distance of 5mm, 10mm, 15mm, 20mm and 25mm between rod-plate electrode by using a sound card and a microphone on Rasperry Pi development board. Python programming language and MATLAB platform were used in the sound processing part. The noise caused from experimental environment has been eliminated in the preprocessing stage and later the sound data were converted again to the original length of data. After this process, MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) features were extracted. Standard deviation and mean value of these coefficients were calculated and the feature dataset was prepared. This study is a multidisciplinary study at the intersection of signal processing with high voltage.

1. Giriş

Normal koşullar altında, elektriksel boşalma yalıtkan malzemeden akımın geçmesi olarak tanımlanabilir. Elektriksel boşalma, elektriksel parametrelerin (akım, gerilim darbeleri, elektromanyetik alan yayılımı) yanı sıra ışık, ısı, ses ve koku gibi özellikleri ile de ön plana çıkmaktadır [1-3]. Kısmi boşalma ve tam boşalma olmak üzere elektriksel boşalma iki ana başlık altında incelenebilir. Kısmi boşalmalar zaman içerisinde malzemelerde yaşlanmaya, bozulmaya ve delinmeye sebebiyet verebilmektedir [1].

Enerji sistemlerinde ses, sistem dahilindeki arızaların ve malzemelerdeki hataların tanımlanmasında ve tespitinde önemli bir alan olarak değerlendirilebilir. Gerek ses verilerinin alınmadaki, gerekse de ses işleme tekniklerindeki gelişmeler yüksek gerilim alanında sesi etkin bir şekilde kullanmaya imkan vermiştir [1].

Basınç, sıcaklık, nem, malzeme cinsi ve saflığı, malzeme geometrisi gibi birçok parametreye bağlı olan elektriksel boşalma olayının işaret işleme teknikleri ile analizi dikkat çekmektedir [4]. Elektriksel boşalma sesi, boşalmayı ayırt etmeye imkan veren özelliklerden biridir. Bu anlamda farklı sıcaklıklar altında ve farklı elektrotlar arası mesafelerde elektriksel boşalma sesleri alınmış, ses işleme teknikleri ile analiz edilmiştir.

2. Deneysel düzenek ve elektriksel boşalma sonucu oluşan ses verilerinin alınması

Elektriksel boşalma seslerini ölçebilme amacıyla oluşturulan deneysel düzenek Şekil 1'de verilmiştir. Düzenek elektriksel boşalmanın oluşturulduğu deney ortamı bölümü ile ses verilerinin alındığı geliştirme kartının içinde yer aldığı veri alım bölümünden oluşmaktadır.



Şekil 1. Deney esnasında çubuk düzlem elektrot arasında oluşan ark

2.1. Deney Ortamı Bölümü

Deney ortamı içerisinde çubuk ve düzlem alüminyum elektrotlar ile şeffaf akrilik malzemeden yapılmış deney kutusu bulunmaktadır. Çubuk ve düzlem elektrotlar yardımıyla farklı değerlerdeki elektrot açıklıklarında elektriksel boşalmalar oluşturulmaktadır. Akrilik malzemeden yapılmış deney kutusu, veri alım bölümünde yer alan Raspberry Pi geliştirme kartını elektrik alandan muhafaza etmekte ve boşalmanın kontrollü olarak gözlemlenebilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, elektriksel boşalma oluşturulurken deney ortam parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Elektriksel boşalma sesleri alınırken, sırasıyla 30°C, 40°C, 45°C ve 50°C sıcaklık altında çubuk düzlem elektrotlar arası uzaklıklar 5mm, 10mm, 15mm, 20mm ve 25mm olarak seçilmiştir.

Tablo 1. Elektriksel boşalma oluşturulurken deney ortam parametreleri

Uygulanan Gerilim ve Frekans	10 kV – 50 Hz
Ortam Sıcaklığı	30°C, 40°C, 45°C, 50°C
Ortam Basıncı	931 hPa (0.9188 atm)
Elektrot Cinsi ve Geometrisi	Alüminyum, Çubuk-Düzlem

2.2. Veri Alım Bölümü

Veri alım bölümünde Raspberry Pi 1 Model B geliştirme kartı ve mikrofon bulunmaktadır. Raspberry Pi geliştirme kartı tüm dünyada yaygın bir şekilde akademik, ticari ve eğitim amaçlı kullanıma olanak kılan kredi kartı boyutlarında tek kartlı mini bir bilgisayardır [5-6]. Mikrofon bir ses kartı yardımıyla Raspberry Pi'ye doğrudan bağlanmıştır. Ses dataları, istenilen uzunlukta ve istenilen aralıklarda alınıp kullanıcıya işlenecek formatta hazırlanmaktadır. Yapılan yazılım sonucunda istenilen zaman dilimi aralıklarında ses, görüntü ve sensör dataları SD karta kaydedilmekte, dosya buluta kopyalanarak

depolanmakta ve aynı zamanda kullanıcının mail adresine gönderilmektedir. Şekil 2'de LXTerminalde kodun ekran çıktısı verilmiştir.

```

DENEY DEGERLERI ALTIMNA BASLANIYOR
(2015-12-29 01:13:11)
2015-12-29 01:28:11.982279
[
'2015-12-29 01:13:11 '
2015-12-29 01:13:11 SAATI ITIBARI ILE DENEY DATALARI KULLANICIYA ILETILMEK UZ
ERE HAZIRLANIYOR.....
DENEY ORTAMINDAN SES DATASI ALINIYOR.....
Recording WAVE /home/pi/Desktop/istanbul/SES/2015-12-29-01-13-11.wav' : Sign
ed 16 bit Little Endian, Rate 44100 Hz, Stereo
Plug PCM Route conversion PCM (sformat=S16_LE)
Transformation table.
0 <- 0
1 <- 0
Its setup is:
stream      : CAPTURE
access      : RW_INTERLEAVED
format      : S16_LE
subformat   : STD
channels    : 2
rate        : 44100
exact rate  : 44100 (44100/1)
msbits     : 16
buffer_size : 22050
period_size : 5513
period_time : 125011
tstamp_mode : NONE
period_step : 1
avail_min   : 5513
period_event : 0
start_threshold : 1
stop_threshold : 22050
silence_threshold : 0
silence_size : 0
boundary    : 1445068800
Slave: Hardware PCM card 1 'USB PnP Sound Device' device 0 subdevice 0
Its setup is:
stream      : CAPTURE
access      : RMP_INTERLEAVED
format      : S16_LE
subformat   : STD
channels    : 1
rate        : 44100
exact rate  : 44100 (44100/1)
msbits     : 16
buffer_size : 22050
period_size : 5513
period_time : 125011
tstamp_mode : NONE
period_step : 1
avail_min   : 5513
period_event : 0
start_threshold : 1
stop_threshold : 22050
silence_threshold : 0
silence_size : 0
boundary    : 1445068800
appl_ptr    : 0
hw_ptr      : 0
DENEY ORTAMINDAN ALINAN SES DATALARI MAIL ADRESINIZTE GONDERILMEK UZERE HAZIRLANIYOR.....
DENEY ORTAMINDAN ALINAN SES DATALARI 2015-12-29 01:13:11 ITIBARI ILE MAIL ADRESINIZTE GONDERILDI!!!
> Uploading "/home/pi/Desktop/istanbul/SES/2015-12-29-01-13-11.wav" to "/2015-12-29-01-13-11.wav"... DONE
DENEY ORTAMINDAN ALINAN SES DATALARI 2015-12-29 01:13:11 ITIBARI ILE DROPBOX'A YUKLENDI!!!

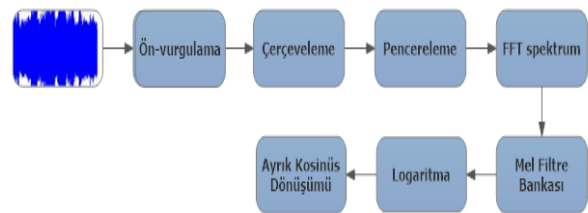
```

Şekil 2. LXTerminalde kodun ekran çıktısı

3. Ses Datalarının İşlenmesi ve Analizi

3.1. Mel frekans kepstral katsayıları (MFCC)

MFCC, konuşma tanımda en çok kullanılan öz niteliklerden biridir. MFCC, algı temelli sesi temsil eden öz niteliklerdir [7-8]. Mel frekans kepstral katsayıları (MFCC) öz nitelik çıkarımının basamakları Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Mel frekans kepstral katsayıları (MFCC) öz nitelik çıkarımının basamakları

Gerçek frekansın birimi Hertz, Mel frekansınki ise meldir. Hz cinsinden verilen frekans, mel olarak Denklem 1'de tanımlanmıştır [8-10].

$$\text{mel}(f) = 2595 * \log_{10} \left(1 + \left(\frac{f}{700} \right) \right) \quad (1)$$

Mel güç spektrumu katsayılarını Y_k , $k=1,2,\dots,K$ ile gösterirsek, mel frekans kepsral katsayıları (c_y) denklem 2'de gösterildiği üzere hesaplanabilir [8];

$$c_y(n) = u_n \sum_{k=0}^{K-1} (\log Y_k) \cos \left(\frac{(2k+1)n\pi}{2K} \right) \quad (2)$$

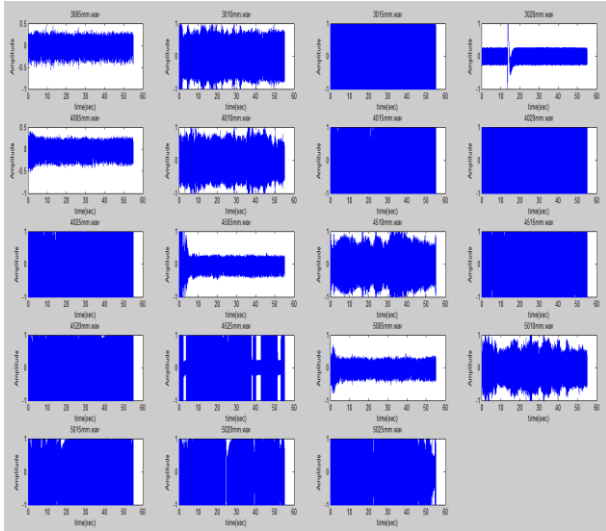
$$u_n = 1/\sqrt{K}; \quad n = 0 \quad (3)$$

$$u_n = \sqrt{2/K}; \quad n > 0 \quad (4)$$

Burada n , mel frekansı kepsral katsayı indeksini; k , mel filtresi indeksini; K , toplam mel filtresi sayısını göstermektedir.

3.2. Ses İşleme Sonuçları

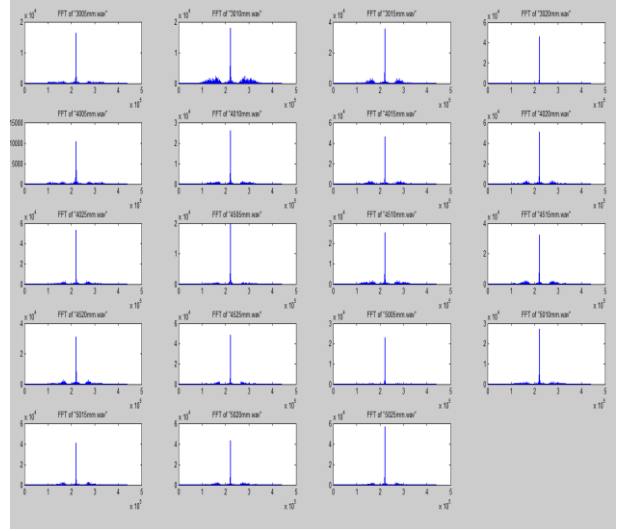
Raspberry Pi platformu üzerinden mikrofon ve ses kartı yardımıyla deney ortamında farklı sıcaklık ve çubuk düzlem elektrotlar arası mesafelerde ses verileri alınmıştır. Ses sinyallerinin otomatik olarak istenilen formatta ve zaman aralıklarında alınması için Raspberry Pi platformu üzerinde Python programlama dili kullanılmıştır. Alınan ses sinyallerinin uzunluğu 10 saniye olmasına karşın ses kaydedilirken oluşabilecek deney ortamı kaynaklı gürültülerin giderilebilmesi adına ses sinyallerinin ilk ve son saniyeleri alınmayarak ses verileri kırılmıştır. Ses işleme, MATLAB platformunda gerçekleştirilmiştir. Ses işlemede ön işleme olarak ses sinyalleri aynı uzunlukta ve işlenebilecek veri seti haline getirilmiştir. Şekil 4'te 30°C, 40°C, 45°C ve 50°C sıcaklıklar altında farklı elektrot açıklıklarında alınan elektriksel boşalma ses verileri zaman izgesinde verilmiştir.



Şekil 4. Farklı elektrot açıklıklarında alınan ses verilerinin zaman izgesindeki grafiği

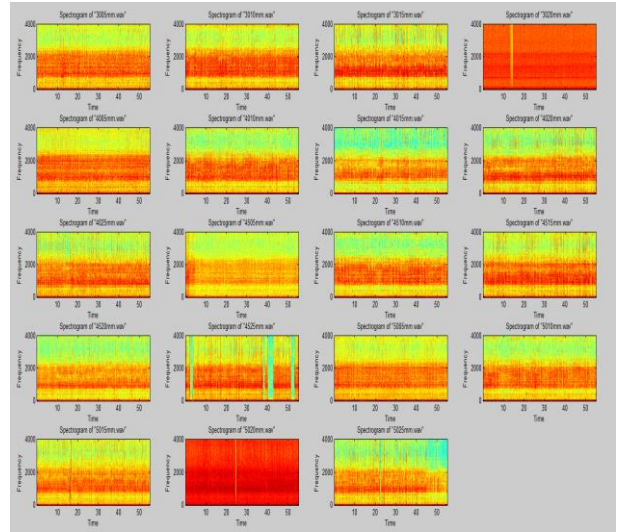
Şekil 5'te 30°C, 40°C, 45°C ve 50°C sıcaklıklar altında farklı elektrot açıklıklarında alınan elektriksel boşalma ses

verilerinin FFT'si (Fast Fourier Transform – Hızlı Fourier Dönüşümü) alınarak frekans izgesinde gösterimi verilmiştir.



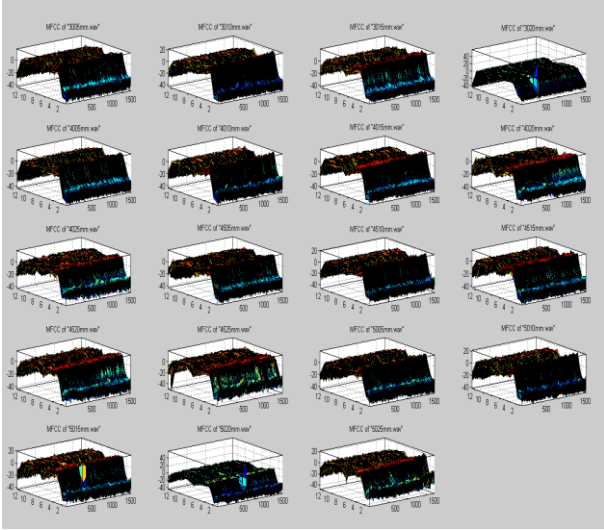
Şekil 5. Farklı elektrot açıklıklarında alınan ses datalarının frekans izgesindeki grafiği

Şekil 6'da ise 30°C, 40°C, 45°C ve 50°C sıcaklıklar altında farklı elektrot açıklıklarında alınan elektriksel boşalma ses verilerinin spectrogramı verilmiştir.



Şekil 6. Farklı elektrot açıklıklarında alınan ses verilerinin spectrogramı

Önişleme sonrası verilere ait MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) Mel frekansı kepsral katsayıları çıkarılmıştır. 10 kV/50 Hz'lik kaynakla yapılan deneyde her bir ses verisi için çıkartılan pencere sayısı 1722'dir. Son olarak Şekil 7'de 30°C, 40°C, 45°C ve 50°C sıcaklıklar altında farklı elektrot açıklıklarında alınan elektriksel boşalma ses verilerinin Mel frekansı kepsral katsayıları (MFCC) 3 boyutlu olarak verilmiştir.



Şekil 7. Farklı elektrot açıklıklarında alınan ses verilerinin Mel frekansı kepstral katsayıları

4. Tartışma ve Sonuç

Elektriksel boşalma, zaman içerisinde malzemelerde yaşanmaya, bozulmaya ve delinmeye sebebiyet verebilmektedir dolayısıyla elektriksel boşalma malzemelerin servis ömrüne etki edecek faktörlerden biridir. Boşalmada rol oynayan birçok faktör (basınç, sıcaklık, nem, malzeme cinsi ve saflığı, malzeme geometrisi) bulunmaktadır, dolayısıyla bu çalışmada elektriksel boşalma esnasındaki ses dataları alınarak, sıcaklık ve elektrotlar arası mesafe parametrelerine bağlı olarak analiz edilmiştir. Bu anlamda, elektriksel boşalma ses işleme teknikleriyle incelenerek yüksek gerilim ile sinyal işlemenin kesiştiği bir multidisipliner çalışma ortaya konulmuştur.

Raspberry Pi platformu üzerinden mikrofon ve ses kartı yardımıyla deney ortamında farklı sıcaklıklar ve uzaklıklar için alınan elektriksel boşalmaya ait ses verilerinin, MFCC öznelik çıkarım işlemi yapıp elde edilen veri tablosu incelendiğinde elektriksel boşalmada ayırt edici bir özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Alınan bazı ses verilerinin ise zaman izgesindeki grafiklerinde ve spektogramlarında bazı anlamsız ve istenmeyen ses işaretleri görülmektedir; bu durumun ses datalarının alınmasında kullanılan ses kartı ve geliştirme kartı kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından MYO060416B27 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Sert, S. B., *Elektriksel Boşalma Sesinin Tanınması*, Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 2010.
- [2] Kalenderli, Ö., Kocatepe, C., Arkan, O., *Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 1*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.

- [3] Özkaya, M., *Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 1*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1996.
- [4] Kalenderli, Ö., Bolat, S., Bolat, B., "Bulanık Çıkarım Sistemi ile Elektriksel Boşalma Sesinden Gerilim Düzeyinin Belirlenmesi", *ASYU-INISTA 2006 Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu*, İstanbul, 2006, s. 219-223, 31.
- [5] Karhan, M., Çakır, M. F., Güllü, H. C., & Özen, F., Design and Implementation of a Low Cost Reconnaissance Robot Using Open-Source Platforms, *UNITECH 2015*, Gabrovo, Bulgaria, 2015.
- [6] Kaup, F., Gottschling, P., & Hausheer, D., PowerPi: Measuring and modeling the power consumption of the Raspberry Pi, *39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*, 2014. (pp. 236-243), IEEE.
- [7] Fu, W., Yang, X., & Wang, Y., Heart sound diagnosis based on DTW and MFCC, *3rd International Congress on Image and Signal Processing (CISP2010)*, 2010, 6(2), 2920-2923.
- [8] Çaycı, Ç. Y., *Müzikal Enstrümanların Doğrusal Ayırtaç Analizi Yöntemiyle Ayırt Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [9] Zhang, Y., *Mel-spectrum computation*, *Seminar Speech Recognition*, http://www.liacs.nl/~erwin/SR2003/Students/04_Mel spectrum%20Computation.ppt, 2003.
- [10] Öztürk, F., *Akustik Sinyal Temelli Trafik Yoğunluğu Tespti*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2015.