

OLASILIKSAL SINIR AĞI ve BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ İLE ELEKTRİKSEL BOŞALMA SESİNDEN GERİLİM DÜZEYİNİN BULUNMASI

Özcan KALENDERLİ¹

Suna BOLAT²

Bülent BOLAT³

^{1,2}Elektrik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

³Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi, 34349, Beşiktaş, İstanbul

¹e-posta: ozcan@elk.itu.edu.tr

²e-posta: bolats@elk.itu.edu.tr

³e-posta: bbolat@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler: Korona, Ses Tanıma, Olasılıksal Sinir Ağı, Bulanık Çıkarım Sistemi

ABSTRACT

In this study, different signal recognition approximations are presented to determine applied voltage value using sound records of the electrical discharges (coronas). The signal recognition is made by a Probabilistic Neural Network (PNN) and a Fuzzy Inference System (FIS). Sound records are obtained experimentally from the electrical discharges at different 50 Hz AC high voltage levels. One of the goals of this work is to determine voltage value from the sound data, and other is optimization of data and diagnostic for less data used and to find correct voltage value. In the algorithmical method, linear prediction coefficients of the different degrees are used. It is shown that the results can be accepted for the work goals.

1. GİRİŞ

Potansiyel farkı olan iki nokta arasındaki gerilim veya bir iletken çevresindeki elektrik alan şiddeti, aradaki veya çevredeki yalıtkanın delinme geriliminden veya delinme dayanımından büyük olursa bu noktalar arasında, tamamında (delinme) veya belli bölümünde (kısmi boşalma, korona şeklinde) gerçekleşen bir elektriksel boşalma olur. Elektriksel boşalma kendini, akım, gerilim darbeleri ve elektromanyetik alan yayılımı dışında, ısı, ışık, ses, koku gibi birçok özelliği ile belli eder [1-3]. Boşalma ile ilgili elektriksel bilgiler, boşalmanın elektriksel büyüklüklerinin ölçülmesinden elde edilir. Elektriksel olmayan büyüklüklerden, özellikle boşalmayı oluşturan gerilimin genliğini belirlemek literatürde daha az karşılaşılan bir uygulamadır [4-5]. Örneğin ışıktan, sestan gerilimin değerini bulmak, genelde elektriksel boşalma sıcaklık, basınç, nem, malzeme türü, boyutları, geometrisi, homojenliği, uygulanan alanın türü gibi pek çok değişkene bağlı fiziksel bir olay olduğu için güvenilir bir yol olarak görülmemektedir. Günümüz ışıkla (optik) ve sesle (akustik) ölçme

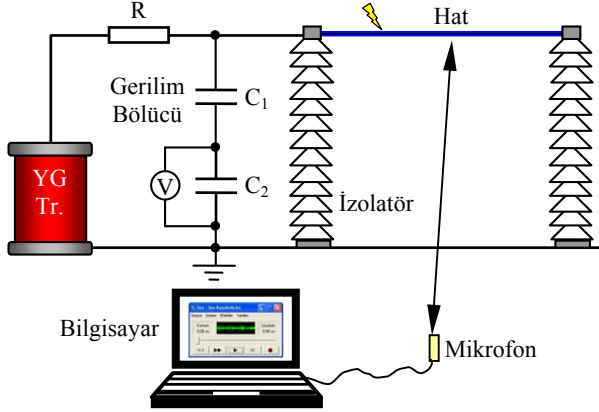
yöntemleri, ışık ve ses algılama ve kaydetme olanakları, gelişen bilgisayar donanımları ve işaret işleme yöntemleri göz önüne alındığında bir ölçme seçeneği olarak ilgi çekici gelmektedir [6]. Genelde bu yöntemler, ölçmeden çok, boşalmanın varlığını (detection) ve yerini (location) belirlemede kullanılırlar. Sesin, ışığın, ısının,... gerilim ölçme amaçlı kullanımı, özellikle doğrudan ölçmenin zor olduğu yüksek gerilimlerde, arıza tanısında ve uzun süreli sistem davranışı izleme ve değerlendirme çalışmalarında önemli bir araç oluşturur.

Bu düşünce ile bu çalışmada, elektriksel boşalmalara (koronaya) ilişkin ses kayıtları kullanılarak bir olasılıksal yapay sinir ağı - Probabilistic Neural Network (PNN) ve bulanık çıkarım sistemi - Fuzzy Inference System (FIS) yardımıyla elektriksel boşalmaya neden olan gerilimin genliğinin belirlenmesine yönelik yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

2. DENEYSEL VERİ TOPLAMA

Boşalma seslerini elde etmek için Şekil 1'de görülen deney düzeninde iki izolatör arasına yerden 220 cm yükseklikte, 5 m uzunluğunda, 2,5 mm² dairesel kesitli, pürüzsüz, temiz, kuru, çıplak bir bakır tel gerilmiştir. Tele 0,220/100 kV, 5 kVA'lık bir yüksek gerilim trafosundan, tel çevresinde çıplak kulakla duyulabilir boşalma (korona) başlangıç gerilimi olarak saptanan 27 kV'un üzerinde sırasıyla 35 kV, 40 kV, 45 kV, 50 kV, 55 kV ve 65 kV etkin değerli, 50 Hz frekanslı sabit alternatif gerilimler uygulanmıştır. Her gerilim basamağında telden yatayda 4 m uzağa yerleştirilen bir bilgisayar çoğul ortam mikrofonu üzerinden bir dizüstü bilgisayarda, MS Windows XP'nin ses kaydedici programı yardımıyla elektriksel boşalma (korona) sesleri kaydedilmiştir. Deney, 758

mmHg hava basıncı ve 24°C ortam sıcaklığında, elektromanyetik ekranlı bir laboratuvarında, sessiz ortam koşullarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeni

3. MATEMATİKSEL YÖNTEM – Doğrusal Öngörü

Kaydedilen ses verilerinden gerilim değeri verisini çıkarmak için, ses spektrumunu elde etmenin yollarından biri olan ve genellikle konuşma işareti analizinde kullanışlı bir yöntem olarak bilinen doğrusal öngörü (LP) analizinden yararlanılmıştır [7-8]. Bu yöntemde spektrum, spektral tepeler üzerine yoğunlaşan bir tüm-kutup fonksiyon ile modellenir.

İleri yönlü doğrusal öngöründe amaç, işaretin bir sonraki örneği (n)'i, p adet geçmiş örneğin doğrusal birleşimi ile elde etmektir:

$$\hat{y}(n) = \sum_{i=1}^p a_i y(n-i) \quad (1)$$

Burada a_i ile gösterilen katsayılar, doğrusal öngörü katsayıları olarak adlandırılır. (1) denklemi, transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi olan bir tüm-kutup süzgeç tanımlar:

$$H(z) = \frac{1}{A(z)} = \frac{1}{1 - \sum_{i=1}^p a_i z^{-i}} \quad (2)$$

Doğrusal öngöründe amaç, ortalama karesel öngörü hatası e 'yi en küçük yapan a katsayılarını bulmaktır:

$$e = E \left\{ \left| y(n) - \sum_{i=1}^p a_i y(n-i) \right|^2 \right\} \quad (3)$$

$$e \approx \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left| y(n) - \sum_{i=1}^p a_i y(n-i) \right|^2 \quad (4)$$

Burada $E\{\cdot\}$ beklendiği değer işlecidir. (3) veya (4) eşitliğini minimize etmek için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada Levinson-Durbin algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, çok bilinen

bir algoritma olduğundan ayrıntılarına burada yer verilmemiştir; ancak ayrıntılı bilgiye [9]'dan ulaşılabilir.

4. OLASILIKSAL SINIR AĞI (PNN)

Olasılıksal Sinir Ağı (Probabilistic Neural Network - PNN) Bayes-Parzen kestiriciler olarak da bilinir. K_1 ve K_2 sınıflarından birine ait, m -boyutlu bir x vektörü olsun. K_1 ve K_2 sınıflarına ait olasılık yoğunluk fonksiyonları $F_1(x)$ ve $F_2(x)$ olsun. Bayes Teoremi'ne göre x vektörü,

$$\frac{F_1(x)}{F_2(x)} > \frac{L_1 P_2}{L_2 P_1} \quad (5)$$

eşitsizliği doğru ise K_1 , eşitsizliğin tersi doğru ise K_2 sınıfına aittir. Burada P_1 ve P_2 , K_1 ve K_2 sınıflarının görülme olasılığıdır. L_1 , x vektörünün K_1 sınıfına ait iken K_2 olarak yanlış sınıflama oranı; L_2 ise x vektörünün K_2 sınıfına ait iken K_1 olarak yanlış sınıflama oranıdır ve maliyet fonksiyonu olarak adlandırılır. Buradan görüleceği gibi, $F_1(x)$, $F_2(x)$, L_1 ve L_2 'nin bilinmesi durumunda x vektörünün en yüksek olasılıkla hangi sınıfa ait olduğu saptanabilir [9]. Uygulamada genellikle maliyet fonksiyonları eşit alındığından, sınıflara ait olasılık yoğunluk fonksiyonlarının hesaplanması yeterlidir. Sınıflara ait yoğunluk fonksiyonları Parzen pencereleri [10] kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunur:

$$F(x) = \frac{1}{(2\pi)^{m/2} \sigma^m n} \sum_{i=1}^n \exp \left[-\frac{(x - x_i)^T (x - x_i)}{2\sigma^2} \right] \quad (6)$$

Burada n eğitim verisi sayısı, m giriş uzayının boyutu, i örüntü numarası ve σ ise ayarlanabilir bir yumuşatma terimidir.

4.1. Uygulama

Çalışmada kullanılan ses örnekleri, her gerilim basamağında 60 s'lik süreli kayıtlar sonucunda elde edilen elektriksel boşalma (korona) sesi örnekleridir. Ses örnekleri 22050 Hz örnekleme frekansında ve 8 bit çözünürlükle kaydedilmiştir.

Her bir gerilim basamağı için elde edilen ses örnekleri, 1 s'lik parçalara bölünerek, her gerilim basamağındaki ses kaydı için 60 veri elde edilmiştir. 6 farklı gerilim basamağı için elde edilen 360 veri ile eğitim ve test kümeleri oluşturulmuştur. LP katsayıları 1 s'lik ses kaydı boyunca 20 ms uzunluklu çerçeveler için hesaplanmıştır. Çerçeveler arasında örtüşme yoktur. Her çerçeve için LP katsayıları hesaplanmış, tüm çerçeveler için hesaplanan katsayıların ortalamaları alınarak her bir ses kaydı, bu ortalama değerler ile temsil edilmiştir. Ses kayıtları için 20. dereceden LP katsayıları hesaplanmıştır. LP katsayılarının uzunluğu değiştirilerek, uzunluğun sonuca etkisi de incelenebilir.

Veri kümesi farklı oranlarda kayıt süresi kullanan eğitim ve test altkümelerine bölünerek eğitim ve test kümeleri oluşturulmuştur. Tablo 1, eğitimde ve testte kullanılan kayıt sürelerini ve altküme adlarını göstermektedir. Burada, örneğin S1 olarak adlandırılan alt kümede ses kayıtlarının ilk 15 saniyesi eğitim kümesine, sonraki 45 saniyesi test kümesine bölünerek ve diğer alt kümelerde de Tablo 1’de görülen süreler kullanılarak, farklı eğitim ve test verisi yüzdelerine sahip veri kümeleri oluşturulmuştur.

Tablo 1. Eğitim ve test altkümelerindeki veri sayıları

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Eğitim verisi sayısı	90	120	180	240	270	300
Test verisi sayısı	270	240	180	120	90	60

Alt kümeler için eğitim ve test verilerinin hatalı sınıflama yüzdesi her gerilim seviyesi için hesaplanmıştır (Tablo 2). Bu çalışma sırasında eğitim verilerinin hatalı sınıflama yapmadığı gözlenmiştir.

Tablo 2. Test kümesi hatalı sınıflama yüzdesi

U (kV)	Hatalı sınıf yüzdesi (%)						Ort.
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
35	3.333	1.25	1.111	2.5	3.33	5	2.755
40	5.926	2.917	1.667	1.67	3.33	1.7	2.863
45	10.37	8.75	6.667	6.67	6.67	5	7.353
50	2.222	0.833	2.778	0.83	1.11	0	1.296
55	0	0	0	0	0	0	0
65	8.519	10	10.56	8.33	7.78	0	7.531
Ort.	5.062	3.958	3.796	3.33	3.7	1.9	

5. BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (FIS)

Bulanık mantık, insanın düşünme biçimine uyan bir yöntemdir. Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki temel fark, bulanık mantıkta kesin sınırların olmamasıdır [11-12].

FIS’in beş temel adımı, verilerin bulanıklaştırılması, bulanık operatörlerin uygulanması, kural tabanı ve çıkarım mekanizması, sonuçların toplanması ve sonuçların durulaştırılmasıdır. Bulanıklaştırma, bulanık olmayan bir büyüklüğün bulanık bir büyüklüğe dönüştürülmesidir. Bunun için, üyelik fonksiyonları kullanılarak girişlerin bulanık kümelere hangisine hangi derecede ait olduğu belirlenir. Girişler, giriş değişkeninin evrensel kümesinde bulunan sayısal değerlerle sınırlıdır. Çıkış ise, kümeyi niteleyen üyeliğin 0–1 aralığında bulanık bir derecesidir. Girişler bulanıklaştırıldıktan sonra, sistemin yapısına göre kural tabanı belirlenir. FIS’te değişkenler arasındaki ilişkiler, bulanık kurullarla ifade edilir. Verilen bir kuralın öncül önermesi birden fazla bölüme sahipse, tek bir sayı elde etmek için

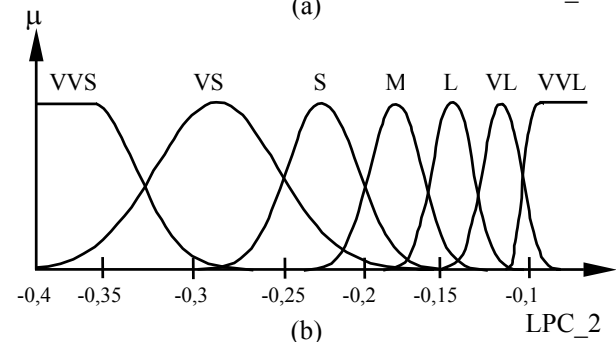
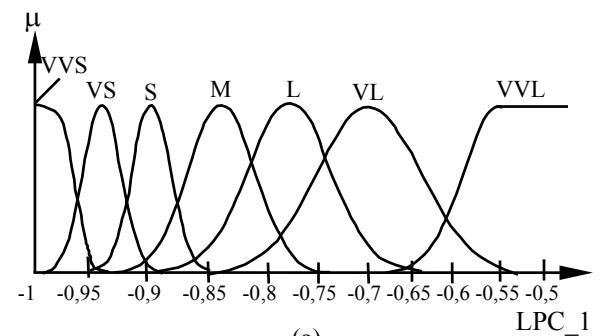
bulanık operatörler kullanılır. Bu sayı daha sonra çıkış fonksiyonuna uygulanır. Bulanık operatörün girişi, bulanıklaştırılmış giriş değişkenlerinden oluşan iki veya daha fazla üyelik değeridir. Bununla beraber, kurallardan belirlenen çıkış değerlerinin toplamı, bulanık kümedir. Bu nedenle tek bir çıkış değeri elde etmek için, küme durulaştırılmalıdır. Durulayıcı, çıkarım mekanizmasının ürettiği bulanık kümeleri gerçel değerli sistem çıkışına dönüştürür [11-12].

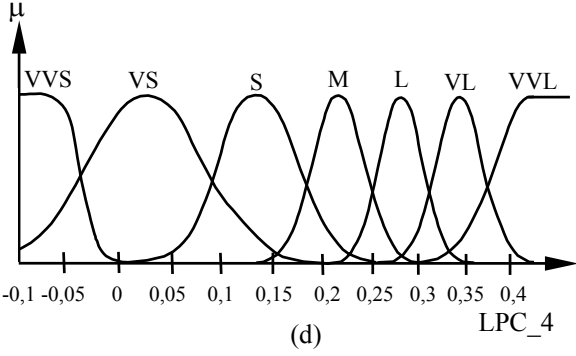
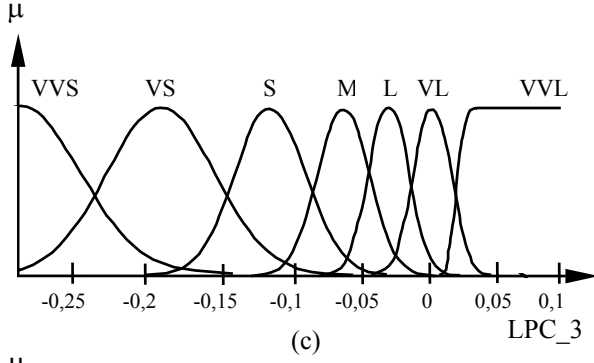
5.1. Uygulama

Çalışmada kullanılan ses örnekleri, her gerilim basamağında 15 s süreli kayıtlar sonucunda elde edilen elektriksel boşalma (korona) sesi örnekleridir. Ses örnekleri 22050 Hz örnekleme frekansında ve 8 bit çözünürlükle kaydedilmiştir.

Ses kayıtları için dördüncü dereceden LP katsayıları hesaplanmıştır. Herbir gerilim basamağında ses örneklerinin LP katsayıları sistemin girişlerini oluştururken, gerilim basamağı da sistemin çıkışını oluşturur. Bu çalışmada, karar verme aşamasında, Sugeno (Singleton) bulanık mantık modeli kullanılmıştır. Sugeno modelinde çıkış üyelik fonksiyonları doğrusal veya sabittir. Bu çalışmada, sistemin çıkışı gerilim basamağı olduğu için, çıkış üyelik fonksiyonları sabittir. Girişlerin bulanıklaştırılması için Gaussian ve Sigmoid üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Bütün değişkenler yedi bulanık kümeye bölünmüştür (Şekil 2).

- VVS: Very very small (çok çok küçük)
- VS: Very small (çok küçük)
- S: Small (küçük)
- M: Medium (orta)
- L: Large (büyük)
- VL: Very large (çok büyük)
- VVL: Very very large (çok çok büyük)





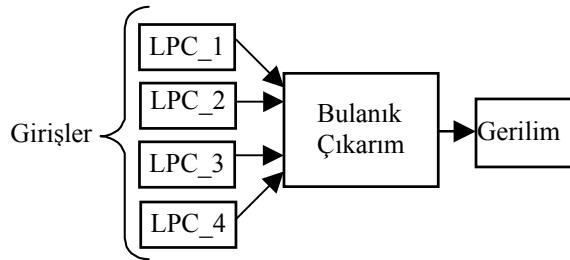
Şekil 2. Girişlerin üyelik fonksiyonları
(a) LPC_1, (b) LPC_2, (c) LPC_3, (d) LPC_4

Ses örnekleri için belirlenen LP katsayıları ve gerilim basamakları kullanılarak FIS için kurallar oluşturulmuştur. Giriş – çıkış veri kümesi kullanılarak oluşturulan bulanık kural tabanı, bütün olasılıklar bu sistemde aktif durumda olmadığı için 39 kural içermektedir. Bu çalışmada, bulanık mantıksal *VE* operatörü çarpım, *VEYA* operatörü cebirsel toplam olarak seçilmiştir. Çıkarım yöntemi olarak minimum, durulaştırma için ise ağırlıklı ortalama yöntemi seçilmiştir. Sistemde kullanılan *EĞER - O HALDE* ifadeleri aşağıda gösterilen formda yazılarak, kurallar tanımlanmıştır.

EĞER LPC_1 A ise *VE* LPC_2 B ise *VE* LPC_3 C ise *VE* LPC_4 D ise;

O HALDE Gerilim E'dir.

Burada A, B, C, D bulanık kümeler ile tanımlanan dilsel değerlerdir. Sistemin şeması Şekil 3'te görülmektedir. Çıkış değerleri durulaştırma işleminden sonra, giriş olarak sisteme verilen LP katsayılarının temsil ettiği ses örneğinin olduğu gerilim değerini verir.



Şekil 3. Problemin bulanık modeli

Sistemin başarımını incelemek için, farklı gerilim değerlerine sahip sekiz ses örneği, LP katsayıları kullanılarak FIS'e uygulanmış ve sonuçlar gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır (Tablo 3).

Burada ortalama hata,

$$e_i = |\text{gerçek değer}_i - \text{FIS sonuçları}_i|$$

$$\text{Ortalama Hata} = (e_i / \text{Gerçek değer}) \times 100 \quad (5)$$

$$i = 1, \dots, n; n = 8$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 3. Gerçek değerler ile FIS sonuçlarının karşılaştırılması

Gerçek değerler (kV)	FIS sonuçları (kV)	Ortalama hata (%)
35,00	38,00	8,571
40,00	40,00	0
45,00	44,90	0,222
50,00	58,10	16,20
55,00	54,20	1,454
60,00	58,20	3,000
65,00	64,80	0,308
70,00	67,40	3,714

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Amacın hem ses verisinden gerilim genliğini belirlemek hem de en az ses verisi ile en doğru olarak gerilim düzeyini belirlemek için veri ve tanı optimizasyonu yapmak olan bu çalışmada, bu amaçla doğrusal öngörüyle olasılıksal sinir ağı ve bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır.

Tanının başarımı, öncelikle ses verisinin algılama ve kayıt özellikleri ile ilgilidir. Boşalma sesi, boşalmanın olduğu yapının geometrisine, boyutlarına, temizlik, kuruluk ve düzgünlüğüne çok bağlıdır. Çalışmada temiz, kuru, dairesel geometriye, düzgün yüzeyli tel kullanılmış olması, tel çevresinde boşalma oluşumu bakımından zorluk yaratan koşullardır. Bunun için tel çapının küçük, gerilim düzeyinin büyük tutulmasıyla tel yüzeyindeki elektrik alan şiddetinin, teli çevreleyen havanın delinme dayanımından yüksek olması sağlanmış ve elektrik alan şiddetinin havanın delinme alan şiddetinin altında kaldığı yere kadar boşalmanın olmasına izin verilmiştir. Işıklı, sesli ısı, kokulu belirtileri ile kendini belli eden ve genelde korona adı verilen bu yerel (kısmi) elektriksel boşalma, tel çevresindeki iyonlaşmanın, iyon hareketinin sonucu olarak 15 Hz - 30 MHz frekans aralığında seslerin yaratıcısıdır.

İnsan kulağının 15 Hz - 15 kHz arasında ses duyabilme kapasitesini kullanarak ölçmeler yapmak çevre gürültülerinden sesleri ayırt etmedeki güçlük nedeniyle pek tercih edilmez ve genelde uygulamada ultrasonik ses frekansı bölgesinde, 15 kHz'in

üstündeki frekanslarda ölçmeler yapılır. Bu çalışmada, duyulabilir ses bölgesinde çalışılmış kullanılan, dolayısıyla çevre gürültüleri önemli olmuştur. Buna önlem olarak ölçme ortamı sessizliği sağlanmış ayrıca ölçmeler laboratuvarın gün içindeki en sessiz zamanında yapılmıştır. Bu uygulamada başarılı olduğu için analizde bunun getirdiği sorunlarla karşılaşmamıştır. Ancak öngörülme bir sorun özellikle 45 kV'ta, 65 kV'ta ve 70 kV'ta yapılan ölçmeleri etkilemiştir. Bu sorun, gerilim uygulanan tel çevresindeki elektrostatik alanın örneğin mikrofonda ve bilgisayarda endüklediği gerilimlerdir. Ancak bilinmektedir ki hattan uzaklaşma ve hat ile ölçme sistemi arasında elektromanyetik ekranlama (örneğin Faraday kafesi) kullanımı bu sorunu büyük ölçüde çözecek ve kayıt, tanı kalitesini arttıracaktır.

Kayıtlarda, uygulamada yaygın olarak kullanılan bilgisayar çoğul ortam seti mikrofondan yararlanılmıştır. Bu durumun ses algılama duyarlılığında önemli olduğu bilinmekle beraber özel olmayan, sıradan bir mikrofona başarımın bu düzeylerde elde edilmiş olması, nitelikleri daha yüksek mikrofona başarımın daha iyi olacağına göstergesidir. Ses düzeyi kaynağına, sesin yayıldığı ortama, sesin alındığı uzaklığa bağlı olduğu için kaynağa olabildiğince yakın ölçme yapılmaya çalışılmıştır. Burada sesin havadaki yaklaşık normal hava koşullarındaki yayılma hızından yararlanılmıştır. Çalışmanın sıvı ve katı yalıtkan içindeki elektriksel boşalmaların incelenmesi ve ölçülmesi için yapılması durumunda ses yayılma hızı ve ortam koşulları daha önemli olacaktır. Mikrofon üzerinden sesin kaydedildiği donanım olarak bilgisayardan yararlanılmıştır. Bilgisayarın işlemci ve bellek özelliklerinin çalışmada önemli olduğu bilinmekle birlikte hem çalışmada kullanılan bilgisayarın hem de günümüz bilgisayarlarının bu tür ölçmeler için yeterli özelliklere sahip oldukları açıktır. Burada karşılaşılan sorun, bilgisayar ses kartı çözünürlük özelliklerinin yeterli olup olmamasındadır. Özel olarak tasarlanmış veya yüksek çözünürlüklü bir ses kartı sonuçlara olumlu katkı yapacaktır.

Ses örnekleri 22050 Hz örnekleme frekansında ve 8 bit çözünürlükle kaydedilmiştir. Farklı örnekleme frekansı ve çözünürlük üzerinde çalışılabilir, çözünürlüğün artmasının tanı başarımı açısından yararı fazladır. Ses kaydı için MS Windows XP'nin ses kaydedici programının kaydetme özellikleri içinde kalınmıştır.

PNN'nin olumsuzluğu veri sayısına bağlı olmasıdır. Ancak PNN ile toplam hatalı sınıflama sayısı her bir gerilim basamağı için ayrı ayrı belirlenerek, ağır hangi gerilim düzeyinde oluşan boşalma sesini daha iyi tanıyabildiği gözlemlenebilir. FIS'te ise 15 saniye boyunca yapılan ses kayıtları, FIS'in uygun sonuçlar vermesi için yeterli olmuştur. Böylece PNN'nin getirdiği başarımın veri sayısına bağlılığı sorunu giderilmiş olur. Olabildiği kadar kısa veya az veri ile

yüksek başarımla elde etme isteğinin bu yöntemle daha iyi karşılandığı görülmektedir.

Ses verisinin analizinde, farklı analiz yöntemlerinden yararlanılabilir. Burada doğrusal öngörü yöntemi tercih edilmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3'te verilen sonuçlara bakıldığında sonuçların hem PNN hem FIS için tatmin edici olduğu görülmektedir. Ancak başka yollar deneyerek ve karşılaştırılarak en uygun yöntem arayışında bulunulabilir. Yapay sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritma gibi algoritmik yöntemlerin günümüzde çok kullanılmaya başladığı ve uygulandığı göz önüne alındığında çalışma için başka yöntem seçeneklerinin olduğu açıktır.

Yapılan çalışma, işaret işleme tekniklerini kullanarak ses verisinden gerilim ölçme için bir adımdır. Özellikle yüksek gerilimde, yüksek gerilim hatlarına bağlantı yapmadan gerilim düzeyi hakkında bilgi edinme veya bir arızada ortaya çıkan boşalma sesinden arızaya neden olan gerilimin büyüklüğü hakkında bilgi edinme veya elektrik sistemlerinde gözleme ve izleme sistemlerinde uygulamaya dönük çalışmalar için bir uygulamadır.

KAYNAKLAR

- [1] Ö. Kalenderli, C. Kocatepe, O. Arıkan, *Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniği*, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.
- [2] L. I. Sirotinski, (Çeviren M. Özkaya), *Yüksek Gerilim Tekniği, Gazlarda Deşarj Olayları*, İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı: 594, İstanbul, 1964.
- [3] M. S. Naidu, V. Kamaraju, *High Voltage Engineering*, McGraw-Hill, New Delhi, 2004.
- [4] ASTM Publ. 669, *Engineering Dielectrics Vol. I: Corona Measurement and Interpretation*, Chapter 10, Philadelphia, 1979.
- [5] S. Ray, *An Introduction to High Voltage Engineering*, Prentice Hall, New Delhi, 2004.
- [6] E. Gulski, *Computer-Aided Recognition of Partial Discharges Using Statistical Tools*, Delft Univ. Press, Delft, 1991.
- [7] J. C. Brown, "Computer Identification of Musical Instruments Using Pattern Recognition with Cepstral Coefficients as Features", *J. Acoust. Soc. Amer.*, 105:1933-1941, 1999.
- [8] K. D. Martin, "Sound-Source Recognition: A Theory and Computational Model", *PhD. Thesis, Massachusetts Institute of Technology*, 1999.
- [9] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, NY, 1991.
- [10] A. Eronen, "Automatic Musical Instrument Recognition", *Master's Thesis, Tampere University of Technology*, 2001.
- [11] L. A. Zadeh, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3, pp. 28-44, 1973.
- [12] E. Balog, I. Berta, "Fuzzy Solutions in Electrostatics", *Journal of Electrostatics*, No. 51-52, pp. 409-415, 2001.