

# **Güç Transformatorlerinde Kısmi Deşarjın Belirlenmesi için Örnek Uygulama**

## ***Field Measurements for Determining Partial Discharge in Power Transformers***

*Burak ALTIN, Bora ALBOYACI,*

<sup>1</sup>Genetek Güç Enerji Ltd., Kocaeli Üniversitesi Teknopark, Kocaeli, Türkiye  
burak.altin@genetek.com.tr

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye  
alboyaci@kocaeli.edu.tr

### **Özet**

Güç sistemlerinin en temel elektrik donanımı güç transformatorleridir. Güç transformatorleri işletme sırasında meydana gelen arızalar, elektrik kesintilerine ve maddi kayıplara neden olur. Güç sisteminde büyük çaplı arızaları önlemek için güç sistemi operatörleri, güç trafolarının yalıtım durumunu sürekli olarak değerlendirmeli ve önlem almalıdır. Son yıllarda güç trafolarının yalıtım durumunu değerlendirmek için geleneksel test yöntemlerine ek olarak kısmi deşarj ölçümleri, gelişmiş test yöntemleri olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, güç trafolarının yalıtım durumunu değerlendirmek için uygulanan kısmi deşarj ölçümleri ve kısmi deşarj ölçüm adımları örnek bir saha çalışması ile ele alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Güç transformatorleri, Kısmi deşarj, Kestirimci bakım,

### **Abstract**

The most basic electrical equipment of power systems is power transformers. Failures in power transformers during operation cause power outages and financial losses. To prevent large-scale failures in the power system, power system operators should constantly evaluate the insulation status of power transformers and take precautions. In recent years, partial discharge measurements have been used as advanced test methods in addition to traditional test methods for assessing the insulation status of power transformers. In this study, partial discharge measurements and partial discharge measurement steps applied to evaluate the insulation status of power transformers are discussed with a sample field study.

**Keywords:** Power transformer, Partial discharge, Predictive maintenance

## **1. Giriş**

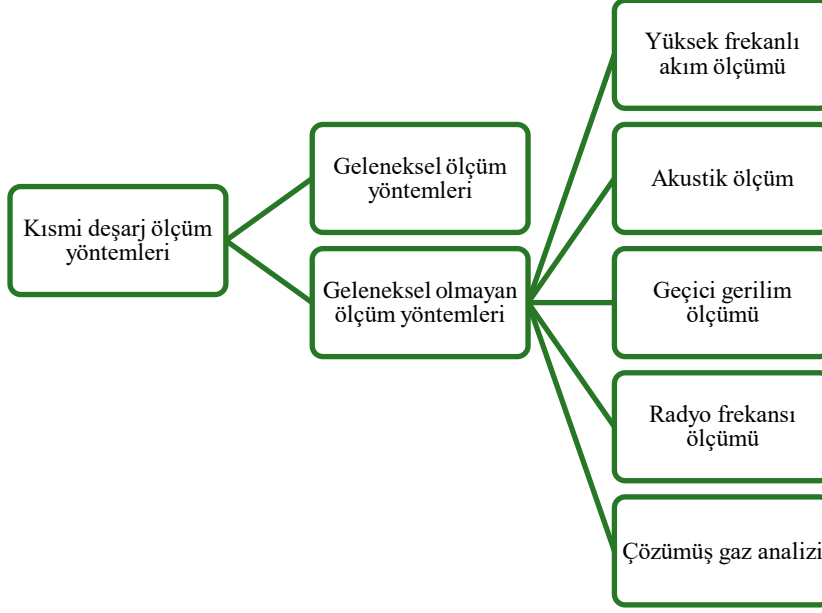
Güç transformatorleri gün geçtikçe genişleyen güç sistemlerinin en temel parçasıdır. Güç transformatorleri 20-35 yıllık ortalama kullanım ömrü ile oldukça

güvenilir elemanlardır. Ancak işletme esnasında güç transformatorleri elektriksel, mekanik, termal ve kimyasal etkilere maruz kalabilir. Bu etkilerden dolayı güç transformatorlerinin yalıtkan malzemelerindeki deformasyon sonucunda arızalar meydana gelebilir. Meydana gelen bu arızalar sistemin güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini doğrudan etkiler ve yüksek maliyetli kayıplara yol açar. Güç transformatorlerinde yalıtım malzemesini doğrudan veya dolaylı yoldan ekilebilecek nedenlerin bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Güç transformatorünün yalıtım malzemesinin üretiminde oluşan üretim kusurluları,
- Güç transformatorlerinin aktif kısmında üretim esnasında sivri uç bırakılması,
- Gevşek veya sıkı bağlantı,
- Üretim veya bakım çalışmaları kapsamında transformator kazanı içerisinde unutulmuş parçalar,
- Zaman içerisinde yağ ile metal parçalar arasında oluşan kimyasal tepkiler sonucunda meydana gelen korozyon,
- Nem ve sıcaklık değişimleri,

Güç transformatorlerinin yalıtım durumunun değerlendirilmesi için kısmi deşarj ölçümleri güvenilir bir yöntemdir. Kısmi deşarj farklı iki potansiyele sahip iletkenlerin arasında bulunan yalıtım malzemelerinin iç ve dış faktörlerden dolayı elektrik alan dağılımının bozulması sonucunda kısmi köprü oluşumu sonucunda meydana gelen elektriksel boşalma olarak tanımlanır. Güç transformatorlerinde kısmi deşarj iç deşarj, yüzey deşarjı ve korona deşarjı olarak sınıflandırılabilir. [1]

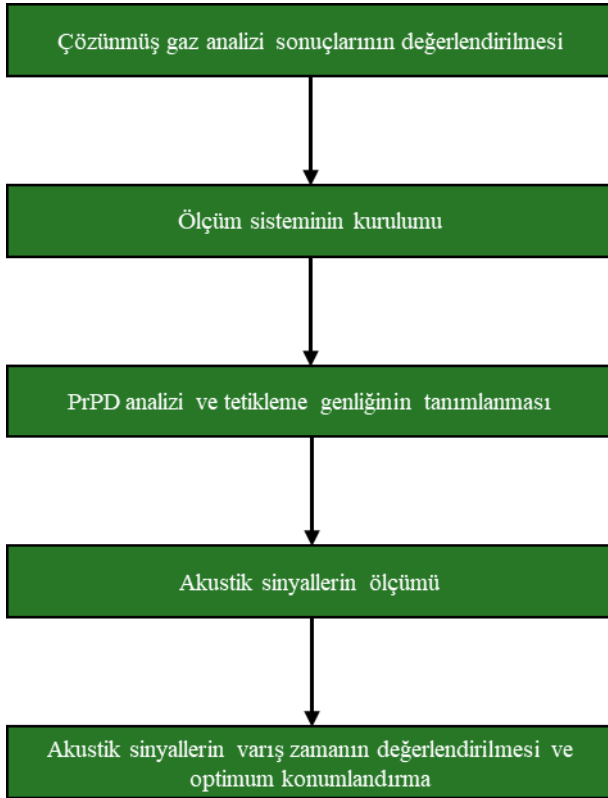
Kısmi deşarj ölçümleri uluslararası literatürde geleneksel ve geleneksel olmayan yöntemler olarak ikiye ayrılır. Geleneksel kısmi deşarj ölçüm yöntemi, enerjisiz elektriksel ekipmanların yalıtım durumunu değerlendirmek için kullanılan yöntemdir. Geleneksel olmayan kısmi deşarj ölçüm yöntemleri, son yıllarda sensör teknolojisinin de gelişmesi ile işletme durumundaki elektriksel ekipmanların yalıtım durumlarını değerlendirmek için kullanılan ölçüm yöntemleridir. [2]



Şekil 1. Kısmi deşarj ölçüm yöntemleri

## 2. Transformatörlerde Kısmi Deşarj Ölçümü ve Konumlandırılması Adımları

Güç transformatörlerinde yalıtım durumunun değerlendirilmesi ve kısmi deşarj kaynağının konumunun belirlenmesi için sırasıyla aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır.



Şekil 2. Transformatörlerde kısmi deşarj ölçümü ve konumlandırılması

## 3. Çözünmüş Gaz Analizi

Çözünmüş gaz analizi transformatörlerde meydana gelen veya gelebilecek arızaların teşhisi için ve durum değerlendirmesinin yapılması için çok önemli, yararlı bir analizdir. Bu test sonucunda ölçülen gazlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Hidrojen (H<sub>2</sub>)
- Methan (CH<sub>4</sub>)
- Ethan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)
- Etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)
- Asetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)
- Karbonmonoksit (CO)
- Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)
- Oksijen (O<sub>2</sub>)
- Nitrojen (N<sub>2</sub>)

Her bir gaz için kabul edilebilir maksimum seviyeler hakkında bir fikir birliği bulunmamaktadır. Çözünmüş gaz analizi yorumlanırken sadece gaz bileşenlerinin miktarına ve içeriğine değil aynı zamanda zaman içindeki artış miktarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Güç transformatörlerinde çözünmüş gaz analizi planlı bakım çalışmaları kapsamında periyodik olarak yapılan çalışmalardır. Gazlardaki artış eğilimine göre çözünmüş gaz analizi periyodunun sıklığı artırılmaktadır.

Transformatörlerde çözünmüş gaz analizi ile arıza tanısı aşağıdaki metotlar ile yapılabilmektedir.

- IEC 60599 metodu
- Key Gas metodu
- Doernenburg metodu
- Rogers metodu

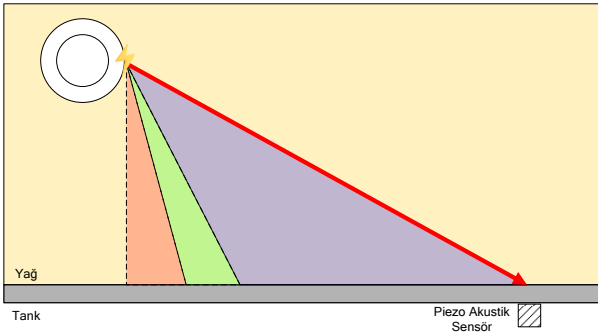
Bu metotların hepsi ampirik metotlardır ve gazlar ile gaz analizi sonuçları arasında korelasyona dayanmaktadır.

#### 4. Transformatörlerde Kısmi Deşarjın Konumlandırılması

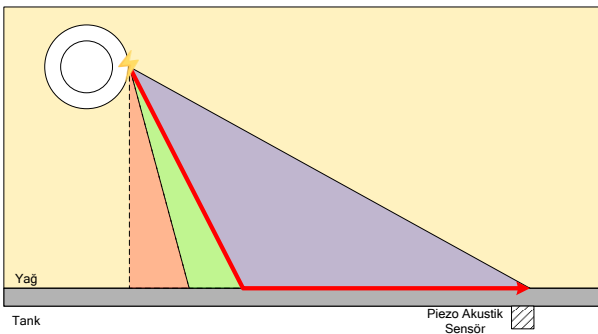
Transformatörlerde kısmi deşarjın konumlandırılması, bakım planlarının oluşturulup yerinde müdahale için kritik öneme sahiptir. Transformatörlerde meydana gelen kısmi deşarj olayları noktasal akustik dalga kaynağı olarak ifade edilebilir ve oluşan akustik dalgalar ortam boyunca küresel olarak yayılır. Yayılan akustik dalgalar piezo akustik sensörleri ile ölçülebilir ve ölçülen ölçüm verilerinin analiziyle kısmi deşarj kaynağının konumu belirlenebilir. [4],[5].

##### 4.1. Akustik Sinyallerin Transformatör Kazanı İçerisinde Yayılımı

Güç transformatörlerinin yapısı gereği, akustik kısmi deşarj sinyalleri piezo akustik sensörler tarafından doğrudan veya dolaylı yoldan algılanır. Doğrudan veyahut dolaylı yoldan algılanan akustik sinyallerin, yayılma ortamı değiştiği için, yayılma hızları değişmektedir. Ayrıca doğrudan algılanan akustik sinyaller yüksek genliğe sahiptir. Dolaylı yoldan algılanan akustik sinyaller, doğrudan yayılan akustik sinyallerin aksine düşük genliğe sahiptir. Şekil 3'te doğrudan yayılma, Şekil 4 dolaylı yoldan yayılma gösterilmiştir.



Şekil 3. Doğrudan yayılma



Şekil 4. Dolaylı yayılma

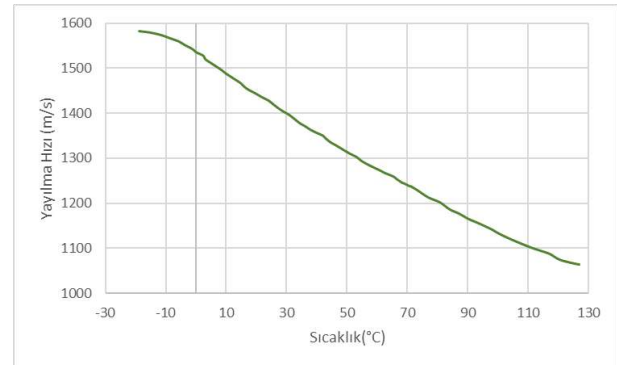
##### 4.2. Akustik Sinyallerin Farklı Ortam Koşullarına Göre Yayılma Hızları

Akustik sinyallerin yayılma hızları, yayıldıkları ortamın özelliklerine göre değişkenlik gösterir. Tablo 1 de farklı ortam koşullarında akustik sinyalin enine ve boyuna yayılma hızları paylaşılmıştır. Şekil 5'te ise akustik sinyalin sıcaklığa göre yayılma hızı paylaşılmıştır. Sıcaklık arttıkça akustik sinyalin yayılma hızının

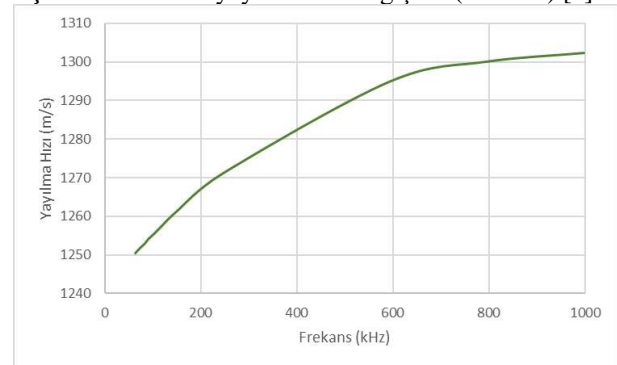
azaldığı görülmektedir. Ayrıca şekil 6 da akustik sinyalin frekansa göre yayılma hızı verilmiştir.

**Tablo 1.** Farklı ortam koşullarına göre akustik sinyal yayılma hızları [6]

Madde	Boyuna dalga (m/s)	Enine dalga (m/s)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
20°C'deki transformatör yağı	1415		~0.89
Çelik	5900	3200	7.83
Bakır	4700	2300	8.9
Alüminyum	6300	3100	2.7
Epoksi	2600	1100	1.2
İzolasyon kâğıdı	1950		1.25
Hava	343		1.29



Şekil 5. Sıcaklık-yayılma hızı değişimi (150kHz) [7]

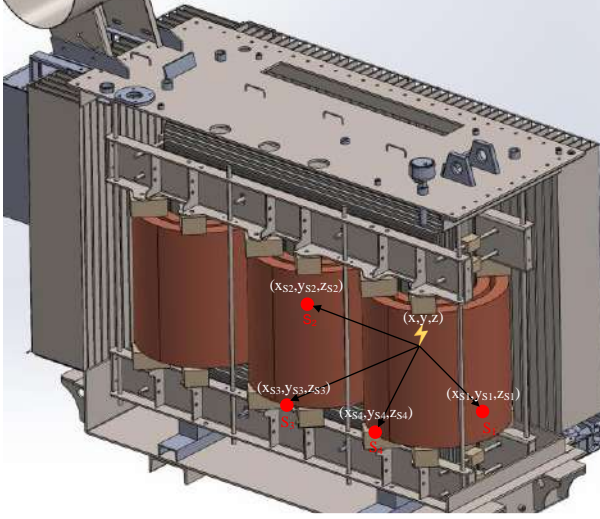


Şekil 6. Frekans-yayılma hızı değişimi (60°C yağ sıcaklığı) [7]

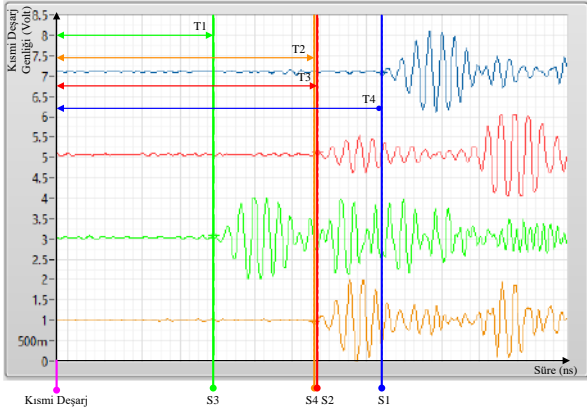
##### 4.3. Kısmi Deşarj Akustik Sinyal Varış Zamanı Tekniği

Kısmi deşarjın konumu, deşarj esnasında oluşan akustik sinyalin transformatör üzerine yerleştirilen piezo akustik sensörlere varış zamanının değerlendirilmesi ve

denklem 1-4 çözümü ile belirlenebilir. Şekil 8’de görüldüğü kısmi deşarj kaynağına yakın olan piezo akustik sensöre akustik sinyal ilk ulaşacaktır.



Şekil 7. Piezo akustik sensörlerin transformatör üzerindeki konumu



Şekil 8. Akustik sinyallerin varış zamanı

$$(X - x_{s3})^2 + (Y - y_{s3})^2 + (Z - z_{s3})^2 = (V \cdot T1)^2 \quad (1)$$

$$(X - x_{s4})^2 + (Y - y_{s4})^2 + (Z - z_{s4})^2 = (V \cdot T2)^2 \quad (2)$$

$$(X - x_{s2})^2 + (Y - y_{s2})^2 + (Z - z_{s2})^2 = (V \cdot T3)^2 \quad (3)$$

$$(X - x_{s1})^2 + (Y - y_{s1})^2 + (Z - z_{s1})^2 = (V \cdot T4)^2 \quad (4)$$

#### 4.4. Akustik Sinyallerin Ölçülmesinde Karşılaşılan Zorluklar

Kısmi deşarj ölçümleri sırasında, akustik sinyallerin, ortam koşulları ve transformatörlerin yapısal farklılıkları nedeniyle ölçülmesi zor olabilir. Ölçümler esnasında aşağıdaki parametreler dikkate alınmalıdır.[8]

- Transformatörün iç yapısı,
- Akustik sinyalin yayılma yolu,
- Ölçüm ortamında bulunan diğer ses kaynakları (fan, hava koşulları, vb.),
- Yüzey geçirgenliği,

### 5. Saha Çalışması

Şekil 9 da paylaşılan güç transformatörüne planlı bakım çalışmaları esnasında çözünmüş gaz analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda hidrojen gazında artış

gözlenmiştir. Transformatör yağındaki hidrojen gazının artışı nedeniyle çözünmüş gaz analizi periyodu sıklaştırılmıştır. Bu analiz çalışmaları sonucunda hidrojen gazında sürekli olarak artış gözlenmiştir. Oluşan hidrojen gazı nedeniyle transformatör kazanı içerisinde sistem operatörleri tarafından kısmi deşarj kaynağının varlığından şüphelenilmiştir.



Şekil 9. 260 MVA 400/22 kV tek fazlı güç trafosu

Kısmi deşarjın varlığının tespiti ve konumlandırılması için elektriksel ve akustik yöntemler kullanılarak kısmi deşarj ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elektriksel ve akustik ölçümlerin birlikte ölçülüp analiz edilebilmesi için Şekil 10’da paylaşılan kompakt kısmi deşarj ölçüm ve konumlandırma cihazı kullanılmıştır.



Şekil 10. Kısmi deşarj tespit ve konumlandırma cihazı

Şekil 10’da paylaşılan kompakt kısmi deşarj ölçüm ve konumlandırma cihazı elektriksel ölçümler için 80 MHz kesim frekansına sahip yüksek frekanslı akım transformatörü sahiptir. Saha çalışmaları kapsamında 260 MVA güç transformatöründe bulunan dört adet topraklama iletkeninden elektriksel ölçüm alınmış ve kaydedilmiştir.



**Şekil 11.** Topraklama iletkeni yüksek frekanslı akım ölçümü

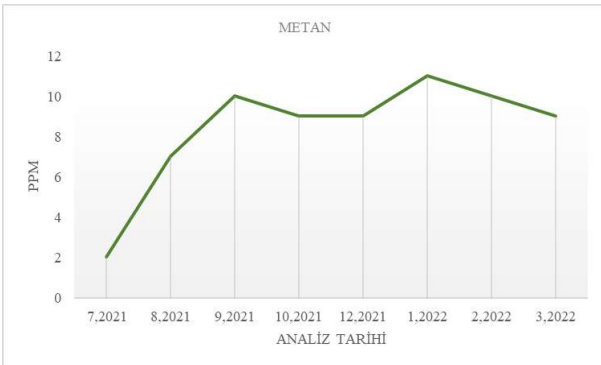
Şekil 11 de paylaşılan kompakt kısmi deşarj ölçüm ve konumlandırma cihazı akustik ölçümler için 150 kHz rezonans frekansına sahip dört adet piezo akustik sensöre sahiptir. Saha çalışmaları kapsamında 260 MVA güç transformatörünün farklı yüzeylerinden akustik ölçüm alınmış ve kaydedilmiştir. Elde edilen elektriksel ve akustik ölçüm sonuçları sırasıyla başlık 5.2 ve 5.3'te paylaşılmıştır.

### 5.1. Çözünmüş Gaz Analizi Sonuçları

Zaman içerisinde yapılan çözünmüş gaz analizi trenleri bu başlık altında paylaşılmıştır.



**Şekil 12.** Hidrojen gazı (zaman-ppm)

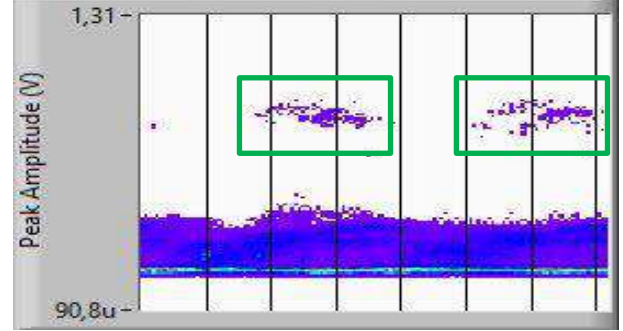


**Şekil 15.** Metan gazı (zaman-ppm)

### 5.2. Faz Çözünürlüklü Kısmi Deşarj Ölçüm Sonuçları

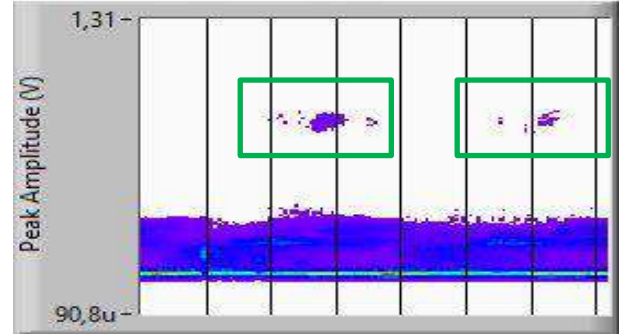
Bu başlık altında farklı topraklama iletkenlerinden alınan elektriksel ölçümlerde elde edilen faz çözünürlüklü kısmi deşarj ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.

#### PrPd Graph PD Channel



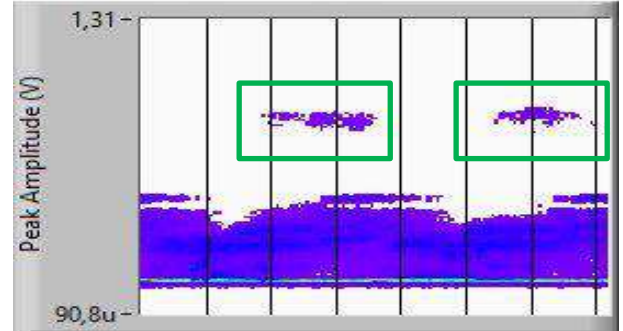
**Şekil 16.** 1. Topraklama iletkeni ölçümü (Açı-Genlik)

#### PrPd Graph PD Channel



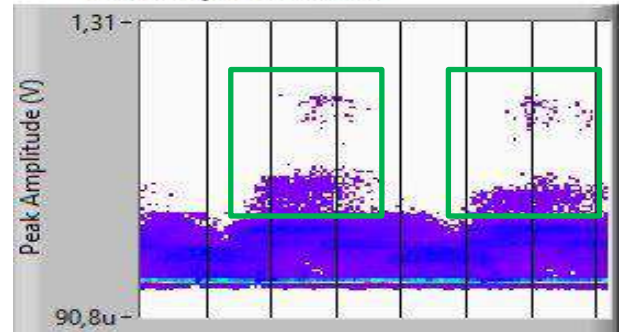
**Şekil 17.** 2. Topraklama iletkeni ölçümü (Açı-Genlik)

#### PrPd Graph PD Channel



**Şekil 18.** 3. Topraklama iletkeni ölçümü (Açı-Genlik)

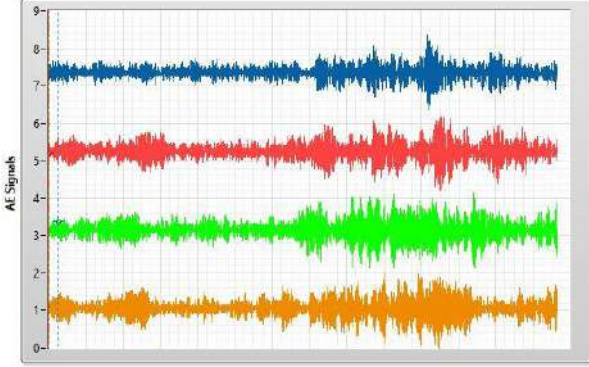
#### PrPd Graph PD Channel



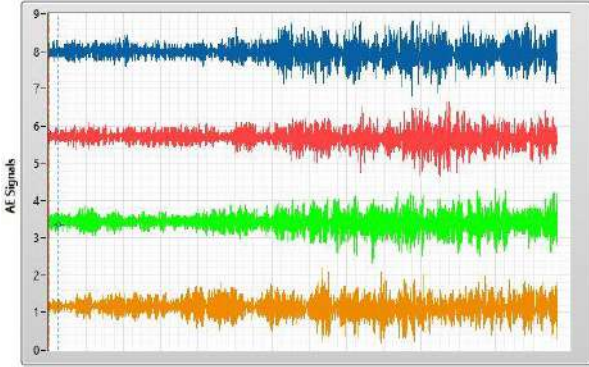
**Şekil 19.** 4. Topraklama iletkeni ölçümü (Açı-Genlik)

### 5.3. Akustik Sinyal Ölçüm Sonuçları

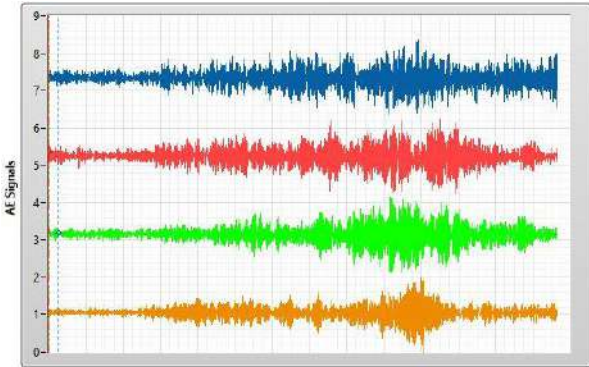
Bu başlık altında güç transformatörünün farklı yüzeylerinden alınan akustik ölçümlerde elde edilen kısmi deşarj ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.



**Şekil 20.** 1.Yüzey akustik ölçüm sonucu (zaman-genlik)



**Şekil 21.** 2.Yüzey akustik ölçüm sonucu (zaman-genlik)



**Şekil 22.** 3.Yüzey akustik ölçüm sonucu (zaman-genlik)

## 6. Sonuçlar

Güç transformatörlerinde servis sürekliliği için yalıtım durumunun değerlendirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Planlı bakım çalışmaları kapsamında yapılan çözünmüş gaz analizi sonuçlarına göre kısmi deşarj şüphesi duyulan güç transformatörlerinin geleneksel veya geleneksel olmayan yöntemlerle kısmi deşarj ölçümleri gerçekleştirilmelidir. Kısmi deşarj ölçümlerinde gerçekleştirilen faz çözünürlüklü kısmi deşarj ölçüm sonuçları kısmi deşarjın türünün belirlenmesi için en iyi

analiz yöntemidir. Akustik ölçümler ise kısmi deşarj kaynağının belirlenmesi için en iyi araçtır. Ancak akustik ölçümler bazı ortam koşullarından etkilenebilir ve ölçüm zorlukları ile karşı karşıya kalınabilir. Bu çalışmada elde edilen faz çözünürlüklü kısmi deşarj verilerine göre yüzey deşarjının olduğu tespit edilmiştir. Akustik ölçümlerde ise ortam gürültüsü nedeniyle konumlandırma gerçekleştirilememiştir.

## 7. Kaynaklar

- [1] Altın, B. Çınar, M.A. ve Albayacı, B. "Orta Gerilim Güç Sistemlerinde Bakım Yönetimi için Kısmi Deşarj İzleme Tekniklerinin İncelenmesi," J. Polytech., vol. 0900, pp. 0–2, 2021, doi: 10.2339/politeknik.904546.
- [2] Hussain, M. R. Refaat, S. S. ve Abu-Rub, H. "Overview and Partial Discharge Analysis of Power Transformers: A Literature Review," IEEE Access, vol. 9, no. April, pp. 64587–64605, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075288.
- [3] P. P. Discharge, T. Pd, T. Pd, S. Tdr, and T. P. P. Discharge, "How to Analyze Partial Discharge," pp. 2–3.
- [4] IEEE Power and Energy Society, IEEE Guide for the Detection, Location and Interpretation of Sources of Acoustic Emissions from Electrical Discharges in Power Transformers and Power Reactors. 2019.
- [5] Bakkay, S. "Onsite partial discharge testing on power transformers - Case study," 2021 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2021, pp. 0–4, 2021, doi: 10.1109/PowerAfrica52236.2021.9543383.
- [6] Lundgard L. "Partial Discharge - Part XIV: Acoustic Partial Discharge Detection -Practical Application" EEE Electr. Insul. Mag. 1992, 8, 34–43.
- [7] Howells, E. Member, S. Norton, E. T. Thomas, A. ve Alto, P. "Edison Technical," no. 5, pp. 1111–1115, 1984.
- [8] Çınar, M. A. "Transformatörlerde kazan kayıplarının azaltılmasında en uygun yatay şönt eleman boyutu ve konumunun parametrik sonlu elemanlar analizleri ile incelenmesi," J. Polytech., vol. 0900, no. 3, pp. 729–736, 2018, doi: 10.2339/politeknik.438023.