



## Harmonik kaynaklı gerilim bozulmalarının elektriksel kısmi boşalmalar üzerindeki etkilerinin incelenmesi

Murat Fidan<sup>1\*</sup>, Hasbi İsmailoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gökkyöy, 14300, Bolu, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Umutepe, 41380, Kocaeli, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Elektriksel kısmi boşalma ölçümleri
- Sivri uç yarı küre elektrot sistemi
- Harmonikli ve harmoniksiz yüksek gerilimler.

#### Makale Bilgileri

Geliş: 15.06.2016

Kabul: 16.10.2016

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.337646

#### Anahtar Kelimeler:

Yüksek gerilim,  
kısmi boşalma,  
harmonik,  
toplam harmonik bozulma

#### ÖZET

Elektriksel kısmi boşalma ölçümü, yüksek gerilim sistemlerinin yalıtım kalitesini ve performansını değerlendirmek için tercih edilen tahribatsız deney yöntemlerinin başında gelmektedir. Bu nedenle, kısmi boşalma ölçümü yüksek gerilim endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Yüksek gerilim aygıtlarının kısmi boşalma ölçümleri laboratuvar ortamında sinüzoidal gerilimler ile yapılmaktadır. Ancak, yüksek gerilim sistemleri, işletme koşullarında harmoniklerden kaynaklanan gerilim bozulmaları nedeniyle farklı zorlanmalara maruz kalabilmektedir. Bu çalışmada, harmoniklerden kaynaklanan gerilim bozulmalarının kısmi boşalmalar üzerindeki etkileri, geliştirilen deney düzeneği yardımıyla gözlemlenmiştir. Deneysel çalışmalarda, sivri uç-yarı küre elektrot sisteminin, harmonikli ve sinüzoidal yüksek gerilimler altındaki kısmi boşalma davranışları incelenmiştir. Kısmi boşalma ölçümleri, farklı toplam harmonik bozulmalara sahip üçüncü ve beşinci harmoniklerden birini içeren sinüzoidal ve saf sinüzoidal deney gerilimleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, çalışma kapsamında geliştirilen faz çözünümlü kısmi boşalma ölçüm sistemi kullanılmıştır. Deney sonuçları, harmonik bozulma içeren deney gerilimlerinin, ölçme verilerinde hatalı değerlendirmelere neden olabileceğini göstermiştir. Kısmi boşalma sırasında ortaya çıkan ortalama darbe sayısının, ölçülen görünür kısmi boşalma yükü ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

## Investigation of the effects of distorted voltages due to harmonics on partial discharges

### H I G H L I G H T S

- Partial discharge measurements
- Point – hemisphere electrode system
- High voltages with and without harmonics

#### Article Info

Received: 15.06.2016

Accepted: 16.10.2016

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.337646

#### Keywords:

High voltage,  
partial discharge,  
harmonics,  
total harmonic distortion

#### ABSTRACT

Partial discharge testing is the most favored non-destructive experimental method for the assessment of the high voltage systems' insulation performance and quality. Therefore, measurement of partial discharges has an important role in high voltage industry. Partial discharge measurements of high voltage devices are performed with sinusoidal voltages in laboratory conditions. However, high voltage systems are exposed to different stresses caused by harmonics, during operation. In this study, the effects of voltages distorted with harmonics on partial discharges are observed experimentally. In experiments, the point-hemisphere electrode system was used and, its partial discharge behaviour was analyzed at sinusoidal voltages and at voltages containing one of the third and fifth harmonic components. The obtained data were analyzed using a phase resolved partial discharge measurement system which was developed within the scope of the study. The experimental results show that the test voltages containing harmonic components may cause errors on the measurement results. It is concluded that the average number of occurred pulses during discharges should be considered in conjunction with the measured apparent charge.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güç sistemlerinde önemli bir yeri olan yüksek gerilim aygıtlarının yalıtım kalitesi, işletmeye alınmadan önce bu aygıtlara uygulanan bazı tahribatsız deneyler ile belirlenebilmektedir [1.] Kısmi boşalma (KB) ölçümleri, yalıtım kalitesinin değerlendirilmesinde tercih edilen, en güvenilir deney yöntemlerinin başında gelmektedir. Bu nedenle, elektriksel KB ölçümlerinin yüksek gerilim endüstrisindeki önemi büyüktür [2, 3]. Günümüzdeki endüstriyel gelişmeler elektrik enerjisine olan talebi ve bağımlılığı daha da arttırmaktadır [4, 5]. Yarı iletken teknolojisindeki gelişmelerin yanı sıra doğrusal olmayan (non-linear) yüklerin artışıyla birlikte, enerji kalitesini bozan etkenler de çoğalmıştır [6]. Özellikle harmonik bileşenler, işletme gerilimi dalga şeklini sinüzoidal biçimden uzaklaştırarak, enerji kalitesini bozan etkenlerin başında gelmektedir [7, 8]. Harmonikler, işletme frekansının tam katları (2, 3, 4, 5, ... n) şeklinde ortaya çıkmakta ve temel bileşen üzerine eklenerek, görünür dalga şeklini sinüzoidal biçimden uzaklaştırmaktadırlar [9, 10]. Güç sistemlerinde harmonik üreten yükler, aynı şebekeden beslenen diğer yüklerin, bu harmoniklerin yol açtığı olumsuz etkilere maruz kalmasına sebep olabilmektedir. Şebeke geriliminde harmonik düzeyinin yükselmesi, yalıtımda kısmi boşalma gelişimini hızlandırarak, yalıtkan ömrünü kısaltabilmektedir [11]. Harmonik ve toplam harmonik bozulma (THB) düzeyindeki yükselme, yüzeysel boşalma başlama gerilimini küçültmektedir [12]. Gerilimdeki yüksek frekanslı bileşenler belirli bir değeri aştığında, kısmi boşalma sıklığı da artmaktadır [13, 14]. Gerilimdeki harmonik bileşimine bağlı olarak, boşalma başlama gerilimi ve boşalma sıklığı yanında, boşalma yükü de değişebilmekte [15], yalıtım sisteminde bozulmaların gelişmesi söz konusu olmaktadır [16]. Söz konusu etkiler; sistem elemanlarında aşırı ısınmalar-yaşlanmalar, koruma cihazlarında zamansız ve hatalı açmalar, rezonans etkileri, akım ve gerilimin etkin ve tepe değerinde artma ya da azalmalar, yalıtım sorunları, etkin güç faktöründe azalmalar, gürültü, elektromanyetik kirlilik vb. şeklinde ortaya çıkabilmektedir.

Alternatif yüksek gerilimde kullanılmak üzere üretilen aygıtların elektriksel kısmi boşalma ölçümlerinde, aygıt (deney cisminde) uygulanan gerilim dalga şeklinin, tam sinüzoidal biçimde veya tepe değeri ile etkin değeri arasındaki oranın, yani tepe faktörünün (TF)  $\sqrt{2} \pm \%5$  sınırları içinde olması gerekir [2, 17]. Laboratuvar ortamında yapılan kontrollü deneylerde, gerilim dalga şeklinin standartlarda tanımlanan sınırlar içinde kalmasını sağlamak mümkündür. Ancak, yüksek gerilim aygıtları üreten ve bu aygıtların deneylerini, bünyelerindeki laboratuvarlarda yapan firmalar deney gerilimlerini, genel olarak şebekeden beslenen yüksek gerilim transformatörleri ile sağlamaktadırlar. Örnek olarak, bir firma bünyesinde üretilen iki adet gerilim ölçü transformatörü numunesinden elde edilmiş KB örüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Bu deneylerdeki gerilim dalga şekillerinin tam sinüzoidal olmadığı ve 3. dereceden harmonik bileşen içerdiği

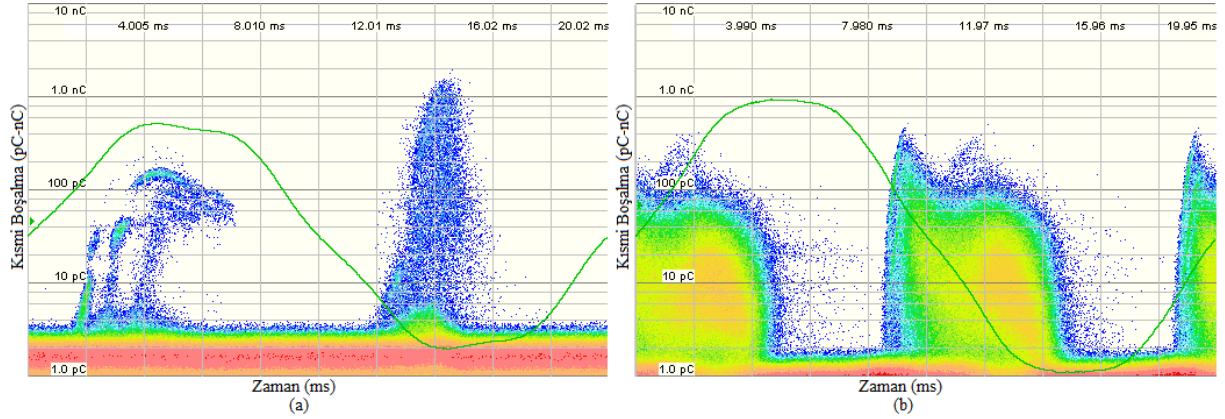
kestirilebilmektedir. Aygıtların, satışa sunulmadan önce yapılan KB deneyleri sırasında kullanılan gerilim dalga şekillerinin dikkatle irdelenmesi önemlidir. Deney gerilimlerinin harmonik bileşenler içermesi durumunda, KB ölçüm sonuçları hatalı olabilmektedir. Ayrıca, işletme koşullarında ortaya çıkan harmonik bileşenler, yalıtım sistemlerinin daha fazla zorlanmasına neden olabilmekte [18, 19]; toplam harmonik bozulma (THB) düzeyindeki artış da yalıtkan yaşlanmasını hızlandırabilmektedir [20, 21]. Dolayısıyla harmonik içeren gerilimlerin yalıtım sistemleri üzerinde meydana getirebileceği etkiler, araştırılması gereken önemli konulardır. Bu çalışmada, gerek işletme koşullarında, gerekse kısmi boşalma (KB) ölçüm deneylerinde, gerilimin harmonik bileşen içermesi durumunda ortaya çıkabilecek bazı sorunlar incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

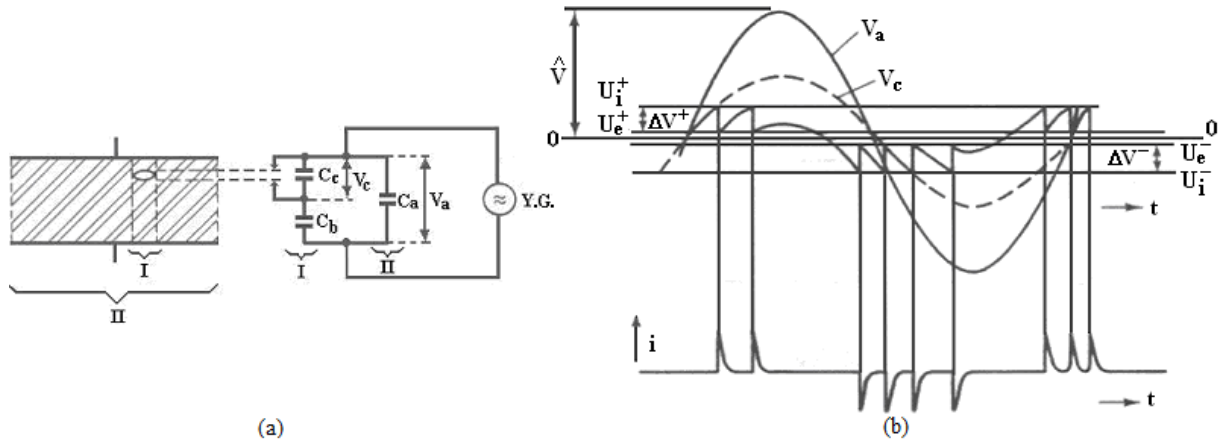
### 2.1. Elektriksel Kısmi Boşalma Oluşum Mekanizmaları (Partial Discharge Formation Mechanisms)

Alternatif gerilimde elektriksel KB'ların davranışları, Şekil 2(a)'daki  $C_a-C_b-C_c$  (kapasitif) eşdeğer devre ve Şekil 2(b)'de görülen dalga şekli yardımıyla açıklanabilir. Şekil 2(a)'daki eşdeğer devre, içinde boşluk (kusur) bulunan bir yalıtkan malzemeyi temsil etmektedir. Şekilde, I ile gösterilen kısım kusurlu bölgeye, II ile ifade edilen kısım yalıtkanın sağlam bölgesine karşılık gelmektedir. Şekil 2(a) ve (b)'de boşluk üzerine düşen  $V_c$  gerilimi, boşluk içindeki maddenin (gaz)  $U_i^+$  delinme gerilimine eriştiğinde boşlukta bir boşalma meydana gelir. Boşalma olayı,  $V_c$  gerilimi  $U_c^+$  seviyesine düşene kadar sürer ve boşalma söner. Gerilimdeki düşme süresi, mikro-nano saniyeler seviyesinde olup, 20 ms'lik sinüzoidal gerilim periyoduna göre çok kısadır. Boşalma söner sönmöz boşluk üzerindeki  $V_c$  gerilimi,  $V_a$  geriliminden dolayı, tekrar artmaya başlar.  $V_c$  gerilimi  $U_i^+$  seviyesine tekrar ulaştığında bir boşalma daha meydana gelir. Bu olayların birbiri ardına sürüp gitmesi ile pozitif yarı dalgada bir KB darbe grubu oluşur. Aynı durum negatif yarı periyod için de geçerlidir. Ortam koşulları değişmediği sürece boşalma gruplarının oluşumu sürer ve yüksek frekansa sahip KB darbelerinin etkileri dış devreye yansır.

KB'lar yalıtkan malzemenin kusurlu bölgesinde meydana gelen yük hareketleri olarak nitelendirilebilir ve genlikleri Coulomb birimi ile ifade edilebilir. Uygulamada, bu yük hareketi doğrudan ölçülememekte; ancak, söz konusu yük hareketinin dış devreye yansımaları olan akım, gerilim vb. büyüklükler ölçülebilmektedir. Ölçülen bu büyüklükler, yük hareketi ile ilişkilendirilerek KB'ların yeğinliği hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Sinüzoidal gerilimle zorlanan kusurlu bir yalıtıkanda meydana gelen KB olayları birçok parametreye bağlıdır. Katı yalıtıkanda içindeki boşluğu dolduran gazın cinsi, basıncı, sıcaklığı, boşluğun geometrisi, konumu, yalıtıkanda ile boşluk arasındaki yük hareketleri, boşluk duvarında kalan artık yük hareketleri vb. onlarca parametre KB olaylarının gelişimine etkide bulunabilmektedir.



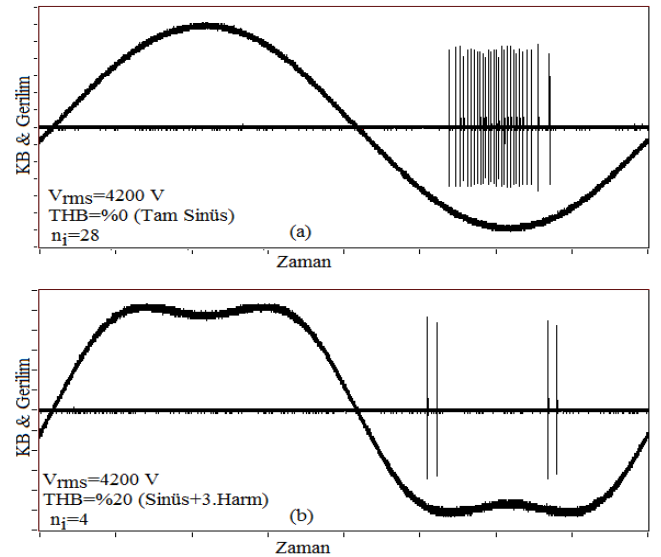
**Şekil 1.** Yükseltici transformatör ile harmonikli şebeke geriliminde elde edilen KB örüntüleri a) 1. numune b) 2. numune (Partial discharge patterns at voltages with harmonics provided from network via step up transformer (a) Sample 1 (b) Sample 2)



**Şekil 2.** a) Kusurlu yalıtkan elektriksel eşdeğer devresi b) Kısmi boşalmaların oluşumu [4]  
(a) Equivalent circuit diagram of a defected insulator (b) Occurrence of partial discharges)

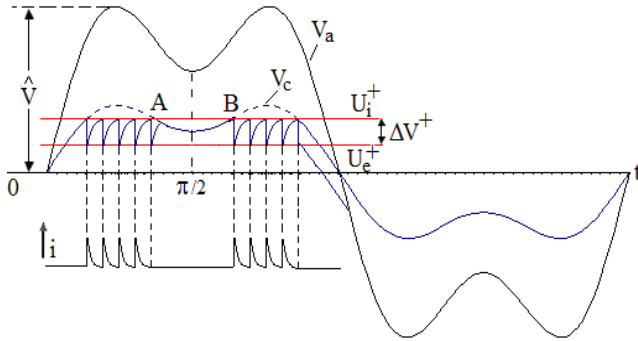
Parametre sayısının fazlalığı, KB gelişiminin besleme gerilimi ile ilişkisini belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Harmonikli gerilimlerde KB oluşumu mekanizması, çalışma kapsamında elde edilen ve biri, Şekil 3'te gösterilen deney verileri yardımıyla açıklanabilir. Şekil 3'teki dalga şekilleri kararlı bir boşalma kaynağı olarak tanımlanan sivri uç-yarı küre (SYK) elektrot sistemiyle 4200 V etkin gerilim değerlerinde elde edilmiştir. Şekil 3 (a)'da tam sinüzoidal gerilim altında, Şekil 3 (b)'de ise 3. harmoniğin sebep olduğu % 20 toplam harmonik bozulma (THB) içeren gerilimle elde edilen KB işaretleri verilmiştir [7].

Verilen KB darbelerine göre, besleme geriliminin şekli ile KB darbelerinin konumları arasında bir ilinti kurulabilir. Sinüzoidal gerilimin tepe değerinde 3. harmoniğin oluşturduğu çökme, anlık gerilim değerinin, boşalma başlama geriliminin altında kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, sinüzoidal gerilimin tepesinde oluşan KB darbeleri, harmonikli gerilimde görülmemektedir. Buradan yola çıkılarak, harmonik bileşen içeren gerilim uygulandığında yalıtıkanda oluşabilecek KB mekanizmasını açıklamak için Şekil 4'de görülen gerilim dalga şekillerinden yararlanılabilir. Şekil 4'te  $V_a$  gerilimine bağlı olarak artan  $V_c$  gerilimi,  $U_i^+$  delinme gerilimine eriştiğinde bir boşalma meydana getirir.



**Şekil 3.** SYK ile 4200 V etkin gerilimde elde edilen kısmi boşalma darbeleri a)sinüzoidal gerilim b) harmonikli gerilim  
(Partial discharge pulses obtained at 4200 V effective voltage on point-hemisphere electrode system a) sinusoidal voltage b) voltage with harmonics)

Boşalma,  $V_c$  gerilimi  $U_e^+$  seviyesine inene kadar sürer. Boşluk üzerindeki  $V_c$  gerilimi,  $U_i^+$  seviyesine tekrar ulaştığında bir boşalma daha oluşur. Boşalmaların oluşumu, bu şekilde A noktasına kadar devam eder.



**Şekil 4.** Harmonik bileşen içeren bozuk gerilimde elektriksel KB'ların oluşumu [7]  
(Occurrence of partial discharges at distorted voltage including harmonics)

Fakat, A noktasında harmonik bileşenden dolayı  $V_c$  gerilimi,  $U_i^+$  seviyesine erişemediği için B noktasına kadar KB oluşma şartı sağlanmaz ve darbe oluşamaz. B noktasından sonra boşluk üzerindeki  $V_c$  gerilimi,  $U_i^+$  boşalma başlama gerilimine tekrar erişir ve bir öncekine benzer biçimde KB darbeleri tekrar görülür. Yukarıda anılan KB oluşumunda etkili parametrelerin, harmonikli gerilimlerde de etkili olabileceği dikkate alınmalıdır. İlgili standartlarda elektriksel kısmi boşalma ölçümlerinin yaklaşık sinüzoidal gerilimler altında yapılması gerektiği belirtilmektedir.

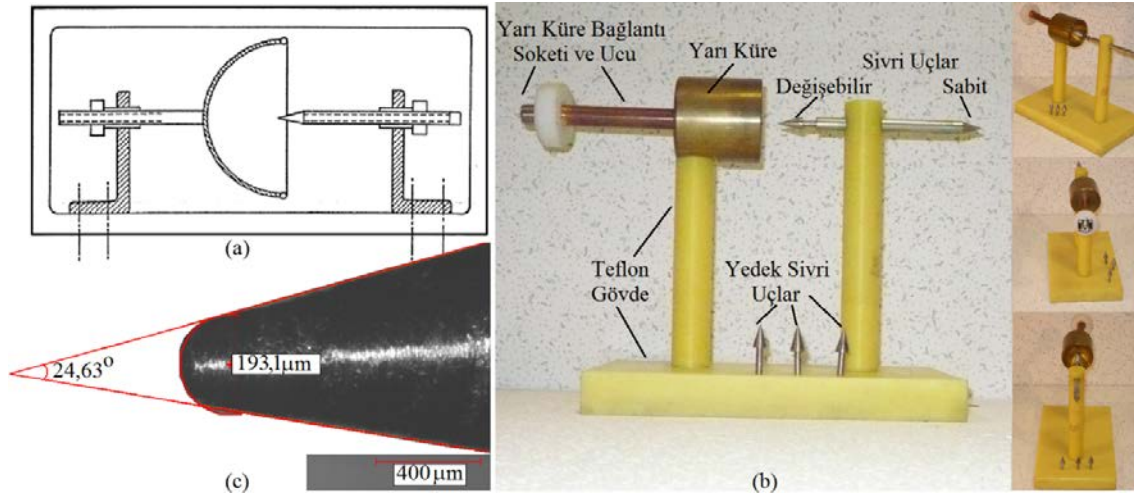
Ancak, işletmede gerilim dalga şekillerinin her zaman sinüzoidal biçimde olmama ihtimali vardır. Bu nedenle, gerek işletme koşullarına daha dayanıklı aygıt üretilebilmesi, gerekse sağlıklı KB ölçümleri yapılabilmesi için bozuk gerilim dalga şekli altında yalıtkan davranışlarının incelenmesi gereklidir. Bu çalışmada, özellikle harmoniklerin neden olduğu gerilim dalga şekli

bozulmalarının elektriksel kısmi boşalmalar üzerindeki etkileri, geliştirilen KB ölçme sistemi ve sivri uç-yarı küre elektrot düzeneği yardımıyla deneysel olarak incelenmiştir.

## 2.2. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

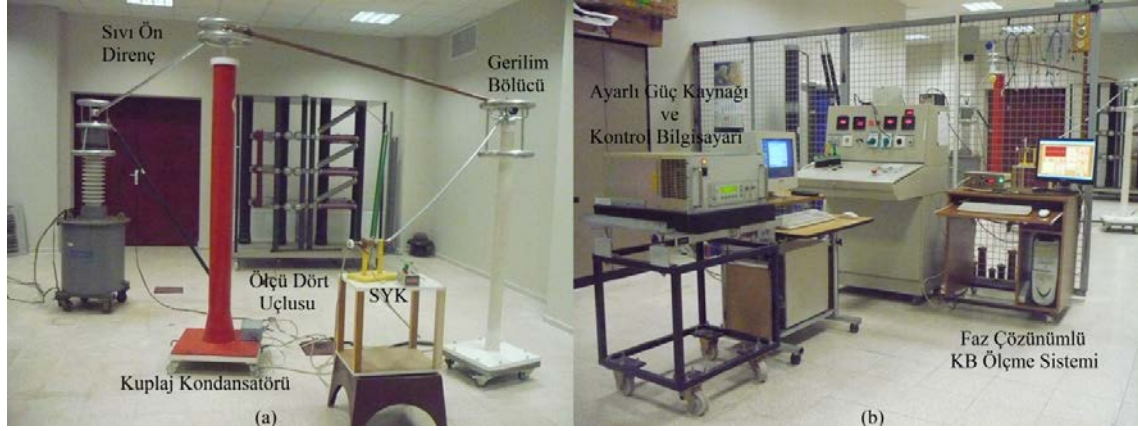
Harmoniklerden kaynaklanan gerilim dalga şekli bozulmalarının, kısmi boşalmalar üzerindeki etkilerinin araştırılabilmesi için bir deney düzeneği ve ölçme sistemi geliştirilmiştir. Araştırma sonuçlarının güvenilirliğinin artırılabilmesi için de yüksek gerilim altında kararlı KB darbeleri üreten, sivri uç-yarı küre (SYK) elektrot sistemi kullanılmıştır. SYK elektrot sisteminde sivri uç, Şekil 5 (a)'da görüldüğü gibi içi boş bir yarı kürenin karşısına, merkezi biçimde yerleştirilir. Böylece, sivri uç etrafında simetrik bir alan dağılımı elde edilir. Sivri uçta meydana gelen boşalmalardaki küçük yer değişimleri, boşalmayı meydana getiren elektrik alanı fazla değiştirmedikenden, sabit ve düzenli boşalma darbeleri elde etmek mümkündür. SYK elektrot sisteminde boşalma başlama gerilimine ulaşıldığında, boşalmalar öncelikle her negatif yarı dalgada bir-iki adet olarak görülür.

Gerilimin genliği arttırıldığında boşalmaların sayısı artar; ancak, genlikleri ortalama olarak sabit kalır [1]. Deneysel çalışmalar için yapımı gerçekleştirilen SYK elektrot sisteminin resmi Şekil 5 (b)'de görülmektedir. Yarı küre yapımı için 60 mm çapında ve 60 mm uzunluğunda silindirik şekilde pirinç malzeme kullanılmıştır. Malzeme, eksenine doğrultusunda 50 mm çaplı yarı küre biçiminde, CNC tornada oyulup, işlenmiştir. Yarı küre elektrodun arkasına soket ve bağlantı ucu yerleştirilmiştir. Sivri ucu oluşturan elektrot, 10 mm çapında paslanmaz çelik malzemeden tasarlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan sivri uç elektrodun metal mikroskopunda elde edilen görüntüsü Şekil 5 (c)'de verilmiştir. Sivri ucun eğrilik yarıçapı yaklaşık 193,1  $\mu\text{m}$  ve koniklik açısı yaklaşık 24,63° olarak ölçülmüştür.



**Şekil 5.** a) SYK elektrot sistemi şematik gösterimi [4] b) Çalışmada kullanılan SYK elektrot sistemi [7] c) Deneysel çalışmada kullanılan sivri ucun metal mikroskopundaki görüntüsü

(a) Schematic point-hemisphere electrode system (b) Point-hemisphere electrode system used in the study (c) Metal microscope image of point electrode used in the study)



**Şekil 6.** a) Denei düzeneği ve SYK elektrot sistemi b) Faz çözünümlü KB ölçüm sistemi ve güç kaynağı [7]  
(a) Test arrangement and point-hemisphere electrode system b) Phase resolved partial discharge measurement system and power supply)

Ölçümlerde Nikon MA 100<sup>®</sup> metal mikroskobu ve Clemex Captiva<sup>®</sup> görüntü analiz programı kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçların doğru biçimde karşılaştırılabilmesi için tüm deneysel çalışmalar sırasında aynı sivrî uç kullanılmıştır. Kararlı kısmi boşalma kaynağı SYK ile oluşturulan denei düzeneği Şekil 6 (a)'da görülmektedir. Ayarlı güç kaynağı ile üretilen denei gerilimleri, Şekil 6 (a)'da görülen yüksek gerilim transformatörü ile yükseltilmiştir. Denei transformatörü, 1/500 çevirme oranına sahip, tek fazlı, 100 kV ve 5 kVA'lık, yağ yalıtımlı, kısmi boşalmaz bir transformatördür. Kuplaj kondansatörü, 1 nF, 50 kV etkin gerilimde kullanılabilen, yağ yalıtımlı, kısmi boşalmaz bir kondansatördür ve çalışmadaki KB ölçümlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. KB denei gerilimleri, 100 kV'luk kısmi boşalmaz omik bir gerilim bölücü üzerinden ölçülmüştür. Söz konusu gerilim bölücü yine bu çalışma için tasarlanmış ve alçak gerilim dirençleri kullanılarak, yağ yalıtımlı olarak imal edilmiştir. Saf ve harmonikli denei gerilimlerinin üretildiği ve kısmi boşalmaların değerlendirildiği ölçüm sisteminin yapısı Şekil 6 (b)'de gösterilmiştir.

Çalışmada denei gerilimleri, California Instrument 4500 Lx<sup>®</sup> model, 4500 VA gücünde, 45-1000 Hz frekans aralığında ayarlanabilir güç kaynağı ile üretilmiştir. Bu kaynak yardımıyla belirli bir temel frekans bileşeni üzerine, farklı harmonik bileşenlerin bindirilmesiyle istenen harmonik bozulmaya sahip gerilim dalga şekilleri üretmek mümkündür. Kısmi boşalma işaretleri ve denei gerilimleri, çalışma için geliştirilen faz çözünümlü kısmi boşalma ölçüm sistemi ile değerlendirilmiştir. Sistem bilgisayar kontrollü olup; ölçümler, National Instrument NI-5112<sup>®</sup> model, 100 MHz (100 MS/s), 8-16-32 bit örnekleme yapabilen analog/sayısal dönüştürücü kart ve geliştirilen filtre ve ölçme devreleri ile yapılmıştır. Analog/sayısal dönüştürücüden alınan örnekler, faz çözünümlü kısmi boşalma ölçüm sisteminin Şekil 7'de görülen kullanıcı ara yüzü ile işlenmiştir. Faz çözünümlü kısmi boşalma ölçüm sistemine ilişkin arayüz yazılımı, National Instrument firmasının LabVIEW<sup>®</sup> (deneme sürümü) programlama ortamında geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım ile kısmi boşalma

işaretleri ve denei gerilimi gerçek zamanlı olarak ölçülebilmektedir. Yazılım, dalgacık analizi (Wavelet Analysis) ile sayısal filtreleme ve Fourier analizi de yapabilmektedir. Kısmi boşalma ölçüm sisteminin ölçebildiği en düşük kısmi boşalma değeri 0,1 pC dur. (Çalışmada için geliştirilen kısmi boşalma ölçüm sistemi, çalışma tarihlerinde TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü tarafından 2012.01981 istek numarası ile kalibre edilmiştir.)

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Harmoniklerden kaynaklanan gerilim dalga şeklindeki bozulmaların, elektriksel kısmi boşalmalar üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için deneylerde, 50 Hz temel bileşen ve 3. veya 5. harmonik bileşen içeren gerilimler kullanılmıştır. Denei transformatörünün, daha yüksek frekanslı bileşenlere sahip gerilimlerde kapasitif yüklenme ve nüve doyması sonucu zorlanması nedeniyle çalışmalar, 3. ve 5. harmonik içeren gerilimlerle sınırlı tutulmuştur. Deneysel çalışmalarda, her bir gerilimde 30 saniye (1500 periyot) süre ile kayıt alınmış olup; ölçümlerde, gerilimlerin temel ve harmonik bileşenleri arasında faz farkı gözlenmemiştir. SYK elektrot sistemine uygulanan, 50 Hz temel bileşen ve temel bileşene ek olarak 3 veya 5. harmonik bileşenlerden birer tanesini içeren gerilimlerin etkin değerleri 4,02 kV'ta sabit tutulmuştur. Harmonik bileşen oranlarının belirlenmesinde tepe faktörünün, standartta  $\sqrt{2} \pm \%5$  ( $1,3435 < TF < 1,4849$ ) biçiminde tanımlanan sınırlar içinde olmasına dikkat edilmiştir. Söz konusu denei gerilimlerinde elde edilen ölçüm sonuçları ve hesaplanan değerler Tablo 1'de, kaydedilen KB örüntüleri ise Şekil 8'de verilmiştir. Bu ölçümler, 27°C sıcaklık, 730 mmHg basınç, %82 bağıl nem altında yapılmıştır. Tablo 1'de verilen ortalama darbe sayısı ve ortalama darbe tekrarlaması sıklığı, toplam darbe sayısının birer fonksiyonudur. Değerlendirme kolaylığı sağlamak amacıyla ortalama darbe tekrarlaması sıklığının, TF'ye ve THB'ye bağılı değişim grafikleri, sırasıyla Şekil 9 (a) ve (b)'de verilmiştir. Ortalama görünen yük genliğinin, söz konusu parametrelere bağılı değişimi ise aynı sıra ile Şekil 9 (c) ve (d)'de gösterilmiştir. Şekil 9'da verilen grafiklere göre, her iki harmonik bileşene bağılı



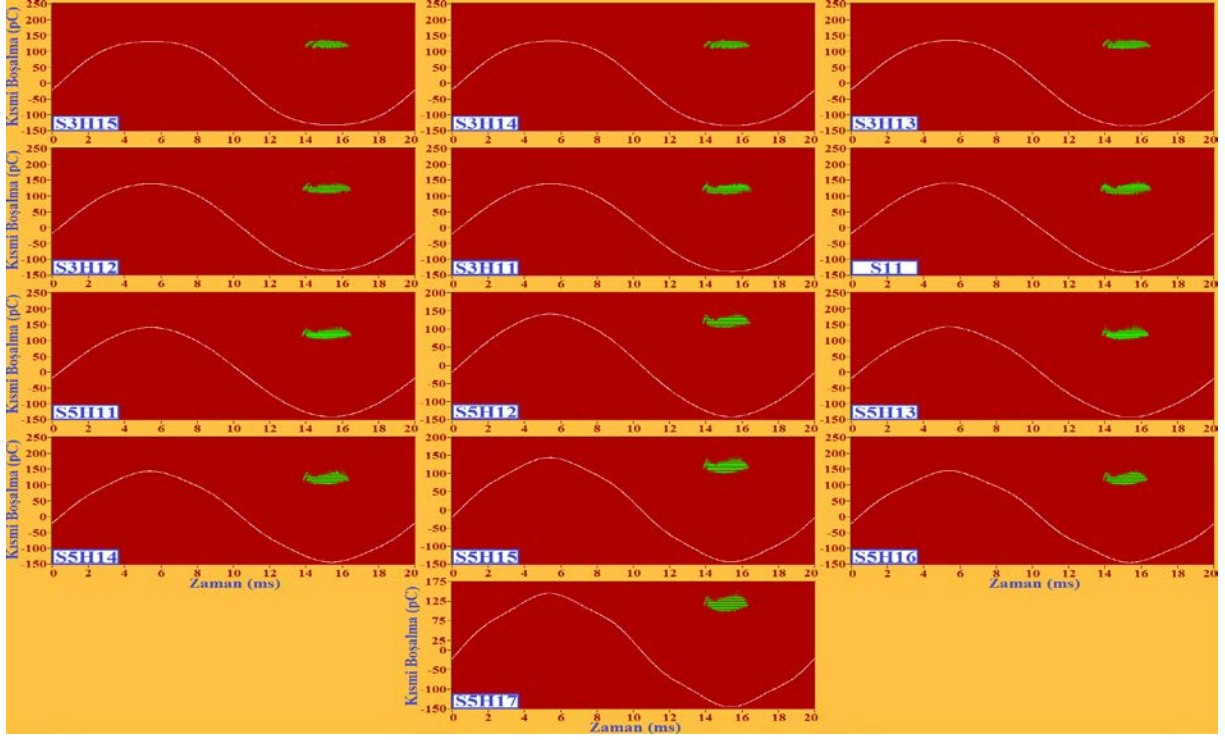
Şekil 7. Faz çözünümlü kısmi boşalma ölçüm sistemi kullanıcı ara yüzü  
(Phase resolved partial discharge measurement system user interface)

Tablo 1. Etkin değer 4,02 kV'ta SYK ile elde edilen KB ölçüm sonuçları  
(Partial discharge measurement results on point-hemisphere electrode system at 4.02 kVrms)

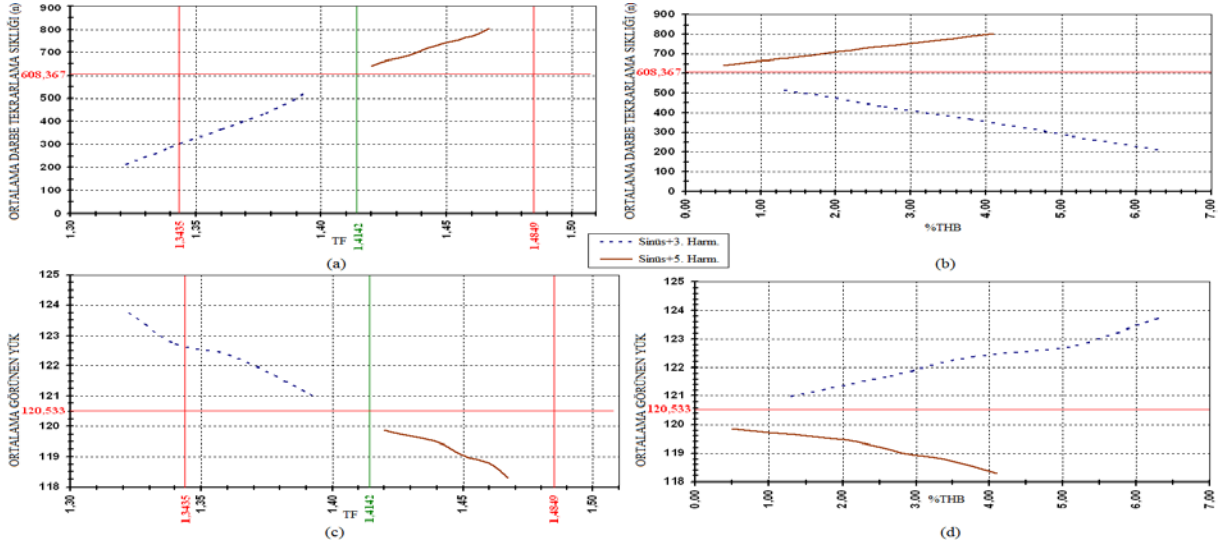
| Deney No | Dalga Şekli        | $U_{rms}$ (kV) | $U_p$ (kV) | THB (%) | TF    | Ortalama Görünen Yük (pC) | Toplam Darbe Sayısı | Ortalama Darbe Sayısı | Ort. Darbe Tekrarlama Sıklığı (n) |
|----------|--------------------|----------------|------------|---------|-------|---------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| S3H15    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,02           | 5,32       | 6,30    | 1,323 | 123,74                    | 6340                | 4,23                  | 211,33                            |
| S3H14    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,02           | 5,39       | 5,10    | 1,341 | 122,74                    | 8593                | 5,73                  | 286,43                            |
| S3H13    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,02           | 5,46       | 3,80    | 1,358 | 122,39                    | 10982               | 7,32                  | 366,07                            |
| S3H12    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,02           | 5,53       | 2,60    | 1,376 | 121,68                    | 13033               | 8,69                  | 434,43                            |
| S3H11    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,02           | 5,60       | 1,30    | 1,393 | 120,98                    | 15528               | 10,35                 | 517,60                            |
| S11      | 50 Hz Sinüs        | 4,02           | 5,69       | 0,00    | 1,414 | 120,53                    | 18251               | 12,17                 | 608,37                            |
| S5H11    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,02           | 5,71       | 0,50    | 1,420 | 119,86                    | 19221               | 12,81                 | 640,70                            |
| S5H12    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,02           | 5,74       | 1,00    | 1,428 | 119,73                    | 19939               | 13,29                 | 664,63                            |
| S5H13    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,02           | 5,76       | 1,50    | 1,433 | 119,61                    | 20618               | 13,75                 | 687,27                            |
| S5H14    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,02           | 5,80       | 2,20    | 1,443 | 119,40                    | 21613               | 14,41                 | 720,43                            |
| S5H15    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,02           | 5,82       | 2,80    | 1,448 | 119,03                    | 22323               | 14,88                 | 744,10                            |
| S5H16    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,02           | 5,86       | 3,40    | 1,458 | 118,78                    | 23080               | 15,39                 | 769,33                            |
| S5H17    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,02           | 5,90       | 4,10    | 1,468 | 118,28                    | 24163               | 16,11                 | 805,43                            |

olarak TF'nin artması, ortalama darbe tekrarlamaya sıklığını arttırmakta; ortalama görünen yük genliğini düşürmektedir. Diğer taraftan, 3. harmonik kaynaklı THB değerinin artması, ortalama darbe tekrarlamaya sıklığını düşürürken; görünen yük genliğinde artışa neden olmaktadır. 5. harmonik kaynaklı THB'deki artma ise, darbe tekrarlamaya sıklığını arttırmakta; görünen yük genliğini düşürmektedir. Harmonik bileşen kaynaklı gerilim tepe değerinin ve TF'nün yükselmesi, darbe tekrarlamaya sıklığını arttırmaktadır. Bunun, boşalma oluşum sürecini kısalttığı ve boşalmada, hareket eden yük miktarının azalmasına yol açtığı söylenebilir. Aynı elektrot sistemine,

temel bileşene ek olarak 3 veya 5 harmonik bileşenlerden birini içeren ve etkin değerleri 4,29 kV olan gerilimlerin uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 2'de, KB örüntüleri Şekil 10'da verilmiştir. Bu gruptaki deney gerilimleri, TF'nin standartta tanımlı sınırlarını aşan oranlarda harmonik bileşenlerden birini içermektedir. Ölçümler 22,5°C sıcaklık, 732 mmHg basınç ve % 68 bağıl nem altında yapılmıştır. TF için ilgili standartta tanımlı sınırları aşacak düzeylerde THB içeren deney gerilimleri ile elde edilen sonuçlar, önceki sonuçlarla benzerlik göstermektedir. THB'de 3. harmonik bileşene bağlı artma,



Şekil 8. SYK ile etkin değer 4,02 kV'ta elde edilen KB örüntüleri  
(PD patterns obtained on point-hemisphere electrode system at 4,02 kVrms)



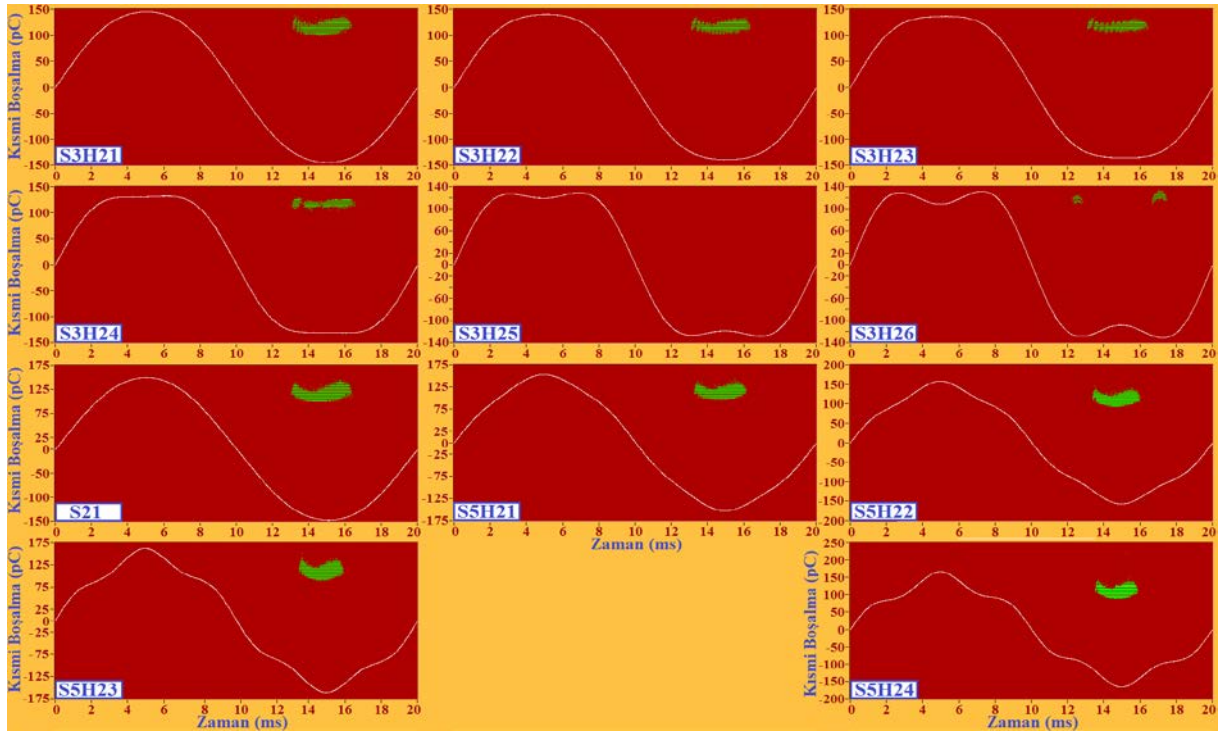
Şekil 9. Ortalama darbe tekrarlamaya sıklığının; a) TF'ye bağlı değişimi b) % THB'ye bağlı değişimi - Ortalama görünen yük genliğinin c) TF'ye bağlı değişimi d) %THB'ye bağlı değişimi (Mean pulse repetition rate a) vs crest factor b) vs % total harmonic distortion and Mean apparent charge c) vs crest factor d) vs % total harmonic distortion)

ortalama görünen yük değerini yükseltirken; ortalama darbe tekrarlamaya sıklığını düşürmektedir. Ancak, THB değeri %19,2 olan S3H25 no'lu deneyde uygulanan gerilimin tepe değerinin küçülmesi nedeniyle KB oluşmazken; THB değeri %25,6 olan S3H26 no'lu deney geriliminde KB'nın tekrar oluştuğu görülmektedir. Bu sonuç, THB'nin artışına bağlı olarak düşen TF'nin, belirli bir noktadan sonra tekrar artışa geçmesi ile açıklanabilir. TF'nin artma ya da azalmasıyla doğru orantılı biçimde ortalama darbe tekrarlamaya sıklığı da değişmektedir. Diğer taraftan,

THB'de 5. harmonik kaynaklı artma darbe sayısını arttırırken; görünen yük genliğini düşürmektedir. Bu verilere göre, gerek işletme koşullarında, gerekse deneysel çalışmalarda, KB görünen yük miktarı ile birlikte, boşalma sırasında oluşan darbe sayısının da dikkate alınması gerekir. Temel ve 3. harmonik bileşenler içeren ve daha yüksek THB'lere sahip deney gerilimlerinde elde edilen KB ölçüm sonuçları, Tablo 3'te ve bunlara ilişkin örüntüler, Şekil 11'de verilmiştir. THB'deki artma, KB darbelerinin faz açıları üzerinde de etkili olmakta ve sıfır geçişlerine daha yakın

**Tablo 2.** Etkin değer 4,29 kV gerilimde SYK ile elde edilen KB ölçüm sonuçları  
(Partial discharge measurement results on point-hemisphere electrode system at 4.29 kVrms)

| Deney No | Dalga Şekli        | $U_{rms}$ (kV) | $U_p$ (kV) | THB (%) | TF    | Ortalama Görünen Yük (pC) | Toplam Darbe Sayısı | Ortalama Darbe Sayısı | Ort. Darbe Tekrarlama Sıklığı (n) |
|----------|--------------------|----------------|------------|---------|-------|---------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| S3H26    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,29           | 5,29       | 25,6    | 1,233 | 121,40                    | 829                 | 0,553                 | 57,81                             |
| S3H25    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,29           | 5,21       | 19,2    | 1,214 | 0,00                      | 0                   | 0                     | 0,00                              |
| S3H24    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,29           | 5,29       | 12,80   | 1,233 | 117,82                    | 5672                | 3,781                 | 189,07                            |
| S3H23    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,29           | 5,50       | 9,00    | 1,282 | 117,16                    | 13240               | 8,827                 | 441,33                            |
| S3H22    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,29           | 5,65       | 6,70    | 1,317 | 116,32                    | 18165               | 12,110                | 605,50                            |
| S3H21    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,29           | 5,89       | 2,80    | 1,373 | 114,77                    | 26489               | 17,659                | 882,97                            |
| S21      | 50 Hz Sinüs        | 4,29           | 6,07       | 0,00    | 1,414 | 114,66                    | 33433               | 22,289                | 1114,43                           |
| S5H21    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,29           | 6,23       | 2,80    | 1,452 | 111,89                    | 34100               | 22,733                | 1136,67                           |
| S5H22    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,29           | 6,40       | 5,90    | 1,492 | 109,71                    | 38491               | 25,661                | 1283,03                           |
| S5H23    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,29           | 6,59       | 9,10    | 1,536 | 108,64                    | 42278               | 28,185                | 1409,27                           |
| S5H24    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 4,29           | 6,76       | 12,50   | 1,576 | 107,52                    | 47101               | 31,401                | 1570,03                           |



**Şekil 10.** Etkin değer 4,29 kV gerilimde SYK ile elde edilen KB örüntüleri  
(Partial discharge patterns on point-hemisphere electrode system at 4.29 kVrms)

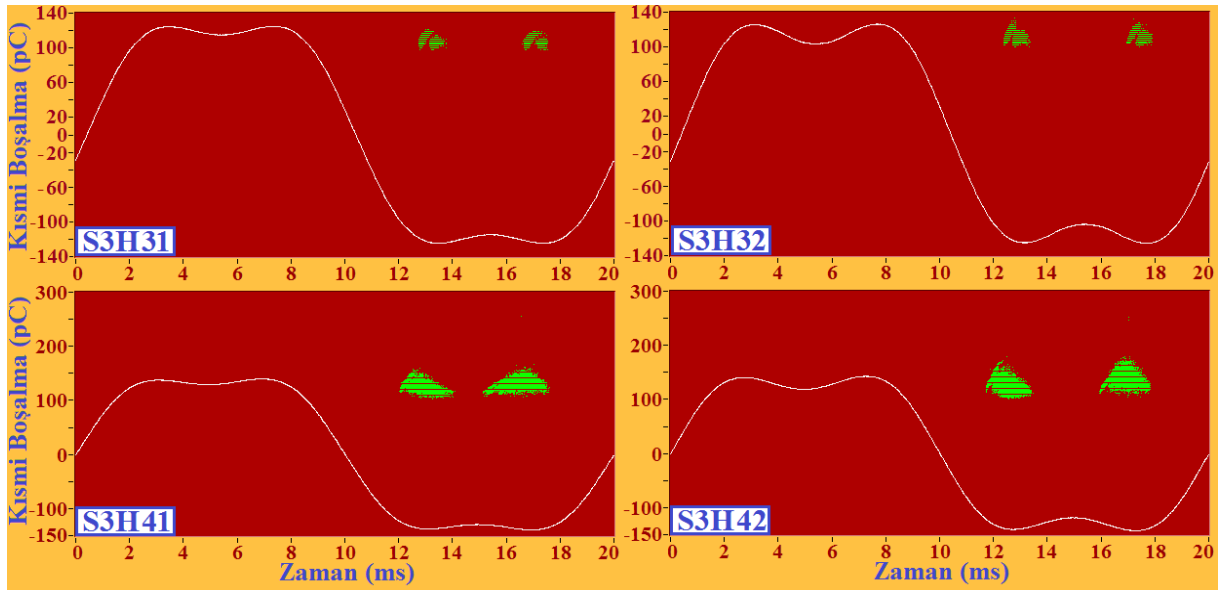
biçimde kümelenmelerine neden olmaktadır. Ortam koşulları, S3H31 ve S3H32 no'lu deneylerde, 30°C sıcaklık, 722 mmHg basınç ve % 83 bağıl nem iken; S3H41 ve S3H42 no'lu deneylerde, 22,5°C sıcaklık, 732 mmHg basınç ve % 68 bağıl nem olarak kaydedilmiştir. Tablo 2'deki S3H25 no'lu ve Tablo 3'deki S3H31 no'lu deney sonuçları karşılaştırıldığında, S3H25 no'lu deneyde gerilimin, etkin ve tepe değer olarak biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna rağmen, S3H25 no'lu deneyde kısmi boşalma oluşmazken; S3H31 no'lu deneyde KB oluşmaktadır. Böyle hava yalıtımlı sistemlerde ortam koşullarının, kısmi boşalma oluşum mekanizması üzerinde önemli etkileri olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmada, SYK elektrot sisteminde, gerilimdeki THB'nin boşalma başlama gerilimleri

üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Deney gerilimindeki 3. ve 5. harmonik bileşenlerin KB başlama gerilimi üzerindeki etkilerine yönelik elde edilen sonuçlar, Tablo 4'te verilmiştir. Bu çalışmalar sırasında ortam sıcaklığı 28°C, basıncı 724 mmHg ve bağıl nem oranı % 85 olarak ölçülmüştür. Tüm deneylerde, kısmi boşalma başlama gerilimleri tepe değerlerinin yaklaşık 5,06 kV olduğu görülmektedir. Buradan, KB başlama geriliminin, sisteme uygulanan gerilimin tepe değerine bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, THB değerleri farklı olduğundan, gerilimlerin etkin değerleri ve TF'lerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. KB başlama gerilimleri etkin değerlerinin, her iki harmonik bileşen için, THB değerlerine bağlı değişimleri Şekil 12'de grafik olarak verilmiştir.

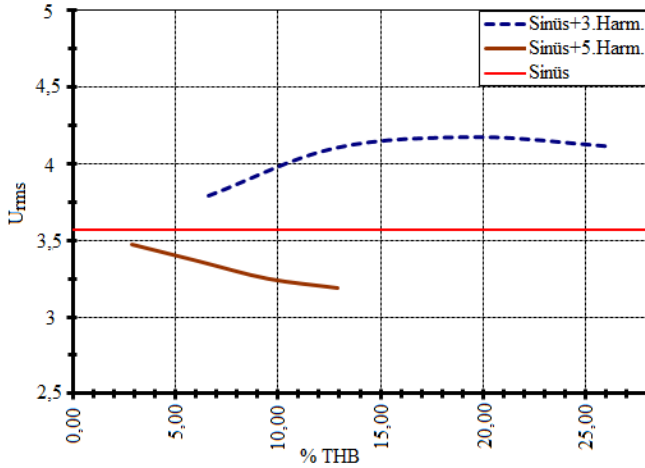


**Tablo 3.** SYK elektrot sistemi ile farklı gerilimlerde elde edilen KB ölçüm sonuçları  
(Partial discharge measurement results on point-hemisphere electrode system at different voltage levels)

| Deney No | Dalga Şekli        | $U_{rms}$ (kV) | $U_p$ (kV) | THB (%) | TF    | Ortalama Görünen Yük (pC) | Toplam Darbe Sayısı | Ortalama Darbe Sayısı | Ort. Darbe Tekrarlama Sıklığı (n) |
|----------|--------------------|----------------|------------|---------|-------|---------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| S3H31    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,19           | 5,07       | 19,70   | 1,210 | 109,31                    | 4697                | 3,13                  | 156,57                            |
| S3H32    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,16           | 5,12       | 26,10   | 1,231 | 113,38                    | 5848                | 3,90                  | 194,93                            |
| S3H41    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,67           | 5,66       | 19,40   | 1,212 | 128,89                    | 13296               | 8,86                  | 443,20                            |
| S3H42    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,70           | 5,78       | 25,40   | 1,230 | 132,73                    | 14917               | 9,94                  | 497,23                            |

**Şekil 11.** SYK elektrot sistemi ile farklı farklı gerilimlerde elde edilen KB örüntüleri  
(Partial discharge patterns on point-hemisphere electrode system at different environmental conditions)**Tablo 4.** Boşalma başlama gerilimlerinin % THB'ye bağlı değişimi (Discharge inception voltage change depend on THD %)

| Deney No | Dalga Şekli        | $U_{rms}$ (kV) | $U_p$ (kV) | THB (%) | TF    |
|----------|--------------------|----------------|------------|---------|-------|
| S3H54    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 3,79           | 5,06       | 6,60    | 1,335 |
| S3H53    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,10           | 5,06       | 12,80   | 1,234 |
| S3H52    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,17           | 5,06       | 19,70   | 1,213 |
| S3H51    | 50 Hz Sin.+3.Harm. | 4,11           | 5,06       | 26,10   | 1,231 |
| S51      | 50 Hz Sinüs        | 3,58           | 5,06       | 0,00    | 1,414 |
| S5H51    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 3,47           | 5,06       | 2,90    | 1,458 |
| S5H52    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 3,36           | 5,06       | 6,20    | 1,506 |
| S5H53    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 3,25           | 5,06       | 9,50    | 1,557 |
| S5H54    | 50 Hz Sin.+5.Harm. | 3,19           | 5,06       | 12,90   | 1,586 |



**Şekil 12.** Kısmi boşalma başlama gerilimlerinin, THB ye bağlı değişimi  
(Discharge inception voltage versus % total harmonic distortion)

Grafiklerden, 5. harmonik bileşene bağlı olarak artan THB'nin KB başlama geriliminin etkin değerini düşürdüğü, 3. harmoniğe bağlı olarak artan THB'nin ise KB başlama geriliminin etkin değerini arttırdığı anlaşılmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, harmoniklerden kaynaklanan gerilim bozulmalarının elektriksel kısmi boşalmalar üzerindeki etkileri, geliştirilen deney düzeneği ve faz çözünümlü kısmi boşalma ölçme sistemi yardımıyla araştırılmıştır. Çalışma sınırları ve elde edilen deneysel veriler dikkate alınarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Standartlarda, kısmi boşalma ölçümlerinde uygulanacak deney geriliminin dalga şekli konusunda sınırlamalar tanımlanmıştır. Ancak, deney geriliminde bulunabilecek küçük genliğe sahip harmonikler, tepe faktörü için tanımlı sınırları aşmaksızın, gerilim dalga şeklini bozabilmektedir. Tanımlı sınırlar içinde TF değerine sahip, fakat 3. veya 5. harmonik içerebilen bir deney gerilimi, elektriksel kısmi boşalmaların şiddetine ve miktarına önemli oranda etkide bulunmaktadır. Bu nedenle, kısmi boşalma ölçümleri yapılırken, deney gerilimi bir harmonik analizörü yardımıyla incelenmelidir. Deney geriliminin, şebekeden bir deney transformatörü ile yükseltilerek üretilmesi durumunda, şebeke geriliminde, harmoniklerden veya başka unsurlardan kaynaklanan bozulmalara karşı filtre kullanılması ya da gerilimin, şebekeden bağımsız bir kaynak üzerinden sağlanması yararlı olacaktır. Kısmi boşalma düzeyi bakımından aygıt performanslarının sınanmasında, görünen kısmi boşalma yükünün, ortaya çıkan ortalama darbe sayısı ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır. Yüksek gerilim aygıtlarının, normal işletme koşullarında harmonik bileşen içeren gerilimlere maruz kalabilmesi söz konusudur. Bu nedenle, aygıtların kısmi boşalma ölçümlerinin, en az %5-10 THB'ye sahip 3. ve 5. harmonik bileşen içeren deney gerilimleri altında da gözden geçirilmesinde fayda görülmektedir. Harmonikli kısmi boşalma ölçümleri, deney transformatörünün izin verdiği THB ve TF'lerdeki, 3. ve 5. harmonikler ile

gerçekleştirilebilmiştir. Daha yüksek derecedeki harmonikler ve daha büyük THB'ye sahip deney gerilimleri altında KB davranışlarının da araştırılması yararlı olabilecektir.

#### 5. SİMGELER (SYMBOLS)

- $C_c$  : Boşluğun kapasitesi,  
 $C_b$  : Boşluğa seri bulunan yalıtkan malzemenin kapasitesi,  
 $C_a$  : Yalıtkan malzemenin sağlam olan kısmının kapasitesi,  
 $V_a$  : Yalıtkanın tamamına uygulanan gerilim,  
 $V_c$  : Boşluk üzerine düşen gerilim,  
 $U_i^+$  : Madde içindeki boşlukta pozitif delinme gerilimleri  
 $U_i^-$  : Madde içindeki boşlukta negatif delinme gerilimleri,  
THB : Toplam harmonik bozulma  
TF : Tepe Faktörü (Crest Factor)  
 $U_{rms}$  : Deney gerilimi etkin değeri  
 $U_p$  : Deney gerilimi tepe değeri  
pC : Piko Coulomb  
 $n_i$  : Kısmi boşalma darbe sayısı

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, desteklerinden dolayı ELOPAR-Elektronik Elk. Oto. İnş. San. Tic. A.Ş.'ye teşekkürlerini sunmaktadır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kreuger F.H., Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment, Butterworth & Co. Ltd., 1989.
2. IEC 60270, High-Voltage Test Techniques- Partial Discharge Measurements, International Standard, International Electrotechnical Commission, Third Edition, 2000.
3. TS 2051 EN 60270 Kablolar-Yüksek Gerilim Deney Teknikleri-Kısmi Boşalma Ölçmeleri, Türk Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
4. Kuffel E., Abdullah M., High Voltage Engineering, Pergamon Press Ltd., 1970.
5. Kuffel J., Kuffel E., Zaengl W.S., Yüksek Gerilim Mühendisliği Temelleri (Çeviri), Özşar, Ç., Bodur, A., TMMOB – EMO, Yayın No: EG/2008/4, 2008.
6. Germeç K.E., Erdem H., Time-harmonic analysis in electric power systems, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (2), 263-271, 2015.
7. Fidan M., Harmoniklerden kaynaklanan gerilim bozulmalarının elektriksel kısmi boşalmalar üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2011.
8. Edin H., Partial discharges studied with variable frequency of the applied voltage, Ph.D. Dissertation, Kungl Tekniska Högskolan Department of Elec. Eng. Div. Electrotechnical Design, Stockholm- Sweden, 2001.
9. Latran M.B., Teke A., Investigation of inverter based shunt compensators for mitigation of power quality

- problems in power distribution systems, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (4), 793-805, 2014.
10. Fidan M., İsmailoğlu H., Partial discharge behavior of the CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O liquid resistor at high voltages with and without harmonics, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (1), 315-323, 2017.
  11. Sarathi R., Oza K.H., Kumar C.L.G.P., Electrical treeing in XLPE cable insulation under harmonic ac voltages, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 22 (6), 3177-3185, 2015.
  12. Sarathi R., Sheema I.P.M., Rajan J.S., Danikas M.G., Influence of harmonic AC voltage on surface discharge formation in transformer insulation, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 21 (5), 2383-2393, 2014.
  13. Kurihara T., Tsuru S., Imasaka K., Suehiro J., Hara M., PD characteristics in an air-filled void at room temperature under superimposed sinusoidal voltages, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 8 (2), 269-275, April 2001.
  14. Sarathi R., Harsha S.V., Griffiths H., Haddad A., Understanding water droplet initiated discharges on epoxy nanocomposites under harmonic AC voltages adopting UHF technique, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 21 (2), 918-925, 2014.
  15. Florkowski M., Florkowska B., Furga J., Zydron P., Impact of high voltage harmonics on interpretation of partial discharge patterns, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 20 (6), 2009-2016, 2013.
  16. Catterson V.M., Bahadoorsingh S., Rudd S., McArthur S.D.J., Rowland S.M., Identifying harmonic attributes from online partial discharge data, *IEEE Trans. On Power Delivery*, 26 (3), 1811-1819, 2011.
  17. IEC 60060-1, High-Voltage Test Techniques –Part 1: General Definitions and Test Requirements, International Standard, International Electrotechnical Commission, Edition 3.0, 2010.
  18. Di Lorenzo del Casale M., Romano P., Schifani R., On investigation of PD Aging of Epoxy Resin Under Distorted Voltage, Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena IEEE, Victoria, BC, Canada, 2, 573-576, 15-18 October, 2000.
  19. Sarathi R., Nandini A., Tanaka, T., Understanding electrical treeing phenomena in XLPE cable insulation under harmonic AC voltages adopting UHF technique, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 19 (3), 903-909, 2012.
  20. Sarathi R., Archana M., Investigation of partial discharge activity by a conducting particle in transformer oil under harmonic AC voltages adopting UHF technique, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 19 (5), 1514-1520, 2012.
  21. Florkowski M., Florkowska B., Distortion of partial-discharge images caused by high-voltage harmonics, *IET Gener. Transm. Distrib.*, 153 (2), 171–180, March 2006.

