

AKÜ FEMÜBİD 18 (2018) 015202 (904-912)

AKU J. Sci.Eng.18 (2018) 015202 (904-912)

DOI: 10.5578/fmbd.67581

Araştırma Makalesi / Research Article

Orta Gerilim Kablolarında Kısmi Boşalma Analizi Üzerine Deneysel Bir Yaklaşım

Fatih SERTTAŞ¹, Fatih Onur HOCAOĞLU^{1,2}¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisare-posta: ¹fserttas@aku.edu.tr, ²hocaoglu@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:21.05.2018 ; Kabul Tarihi: 24.10.2018

Özet

Elektriksel kısmi boşalmalar, yüksek gerilim arızalarının büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Yalıtkan malzemelerde hasar meydana getirebilecek kadar güçlü elektrik alanının olduğu her yerde elektriksel kısmi boşalma (deşarj) oluşabilir. Trafolarda, yüksek gerilim kablolarında veya diğer yüksek gerilim elemanlarında meydana gelen kısmi boşalmaların yeri, büyüklüğü ve meydana gelme sıklığı doğru tespit edilemezse zaman içerisinde önemli kalıcı hasarlara sebep olmaktadır. Bu çalışmada, orta gerilim hatlarında yaygın olarak kullanılan XLPE kabloları üzerinde kısmi boşalma ölçüm testleri gerçekleştirilmiştir. XLPE kablolar üzerinde çeşitli küçük hasarlar (defektler) oluşturulmuş ve laboratuvar ortamında bu kablolar yüksek gerilim altında test edilmiştir. Defektler, sahada kablo montaj işlemlerinde meydana gelebilecek-gelebilen hasarlar ve kabloların üretiminden kaynaklanabilecek iç kısmi boşalmalar göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Testlerden elde edilen kısmi boşalma sinyallerinin istatistiksel özellikleri incelenmiş ve analiz edilmiştir. Sonuç olarak kablo üzerindeki yakın özellikteki farklı defektlerde kısmi boşalma sinyallerinin farklı özellikler gösterebildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler

XLPE Kablo; Kısmi Boşalma; Deşarj; Yüksek Gerilim; İstatistiksel Öznitelikler

An Experimental Approach to Partial Discharge Analysis in Medium Voltage Cables

Abstract

Electrical partial discharges constitute a large majority of high voltage faults. Electrical partial discharge may occur wherever there is an electric field strong enough to cause damage to the insulating materials. The location, size and frequency of occurrence of partial discharges that occur in transformers, high voltage cables or other high voltage components cause significant permanent damage over time. In this study, partial discharge measurement tests are carried out on XLPE cables which are widely used in medium voltage lines. Several small defects are brought to the scene on the XLPE cables and these cables are tested under high voltage in the laboratory. Defects are occurred by taking into consideration the internal partial discharges that may arise from the production of cables and damages that may occur in the cable installation process. The statistical properties of partial discharge signals obtained from the tests are examined and analyzed. As a result, it is seen that partial discharge signals can show different properties in different (but very similar) defects on the cable.

Keywords

XLPE Cable; Partial discharge; Discharge; High voltage; Statistical Features

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Ölçüm tekniklerinin gelişmesiyle birlikte, kısmi boşalma (Kısmi Deşarj) ölçüm ve görüntüleme sistemleri de oldukça geliştirilmiştir. Bugüne kadar yapılan araştırmalar, faz özümlemeli bilgi, istatistiksel operatörler, darbe şekli analizi, darbe dizisi analizi (PSA), frekans spektrumu ve dalgacık

analizi gibi farklı tanımlama parametrelerinin çeşitlerini ele almıştır. Son yıllarda uzmanlar tarafından bilgisayar destekli tanımlama yöntemleri önerilmiş ve geliştirilmiştir.

Elektrik güç sistemlerinde yüksek gerilim güç kabloları ve bileşenleri oldukça büyük öneme sahiptir. Oluşan bir arızada sistemi kapatmak arıza

tespiti ve işleme yeniden almak büyük bir maddi kayıp anlamına gelmektedir. Bu kabloların kullanımda olduğu süre boyunca minimum arıza vermesini sağlamak önemli bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Kısmi boşalma (KB) yöntemi bu amaca ulaşmak için kullanılan en önemli yöntemlerden biridir (Fynes-Clinton & Nyamupangedengu 2016). KB'nin etkilerine biraz dirençli olan kâğıt / yağ izolasyonunun aksine, XLPE ve silikon gibi katı malzemelerden yapılmış yalıtım sistemleri, KB'ye karşı direnç taşımaz ve KB altında daimi olarak bozunur. KB'nin ölçümü tüm farklı gerilim formları ve frekansları için benzerdir; sonuç olarak, 50 Hz dışında farklı test frekansları kullanılmaktadır. Faz çözünümlü kısmi boşalma (PRPD) yöntemi çok sayıda verinin işlenmesini gerektiren kısmi boşalma hesaplama yöntemidir. Bu yöntemler uygulanırken test ortamında oluşan manyetik alan, gürültü gibi bozucu etkiler verilerin doğruluğunu dolayısıyla kısmi boşalma hesaplamalarının doğruluğunu etkilemektedir. T-w-Matrix yöntemi, hem KB verilerinden karakteristik bir zaman bilgisi T'nin yanı sıra bir karakteristik frekans bilgisi olan w'yi hesaplar.

İlke olarak, her KB kaynağı tipi, eşsiz bir KB parmak izi verir. Araştırmacılar, tipik kablo aksesuar kusurlarını, ilgili KB imzalarıyla ilişkilendirmektedir (Eigner&Rethmeier 2016). Güç frekansı ve çok düşük frekans (VLF) uyarılma gerilimleri kullanarak karşılaştırmalı olarak test edilen çapraz bağlı polietilen (XLPE) orta gerilim güç kablosu uçlarında tipik kurulum kusurlarına odaklanan bilgilere katkıda bulunmaktadır.

KB darbelerinin enerjisi, KB faaliyetlerinin özelliklerini incelemek için faydalıdır. Chen ve arkadaşları (2017) beyaz gürültü ve dar bant gürültüsü varlığında KB darbelerinin enerjisini tahmin etmek için bir yöntem önermektedir (Chen et al. 2016). Önerdikleri yöntemde ilk olarak, darbe enerjisinin maksimum benzerlik (ML) tahmincisi, enerji spektrumu katsayılarının olasılık dağılımından türetilmektedir. ML yöntemini uygulamak için örneklenen veriler sinyal ve gürültü katmanlarına bölünür. Daha sonra gürültü katmanları, 3F-C yöntemini kullanarak gürültü parametrelerini ayıklamaktadır. Sonunda, bu

gürültü parametreleri, darbe enerjisinin ML tahminini bulmak için sinyal katmanlarına uygulanmaktadır. KB darbelerinin analizinde, özdeğer analizi, Marchenko - Pastur (M-P) kanunu, halka kanunu gibi yöntemlerin yanında Rassal Matris Teorisi (RandomMatrixTheory) yöntemi de kullanılmaktadır (Luo et al. 2017). Gürültülü kısmi boşalma sinyallerinin modellenmesinde modern istatistiksel matematik aracı olan rassal matris teorisi ile örüntü tanıma tabanlı bir yöntem geliştirilmiş ve laboratuvar ortamında üretilen farklı kısmi boşalma sinyallerinde uygulanmıştır.

Literatürde çeşitli çalışmalarda kullanılan KB verileri genel itibariyle üçe ayrılmaktadır. Bunlar faza bağlı veriler, zamana bağlı veriler ve faz-zaman bilgisi olmayan verilerdir (Sahoo et al. 2005). Faza bağlı veriler, alternatif akım test geriliminin dalga şekliyle ilintili olarak elde edilir. Test gerilimi sabit tutulur ve gerilimin fazı küçük aralıklarda uygun sayıya bölünür. KB darbelerinin gerçek şekillerine ilişkin bilgi içermez. Farklı faz değerleri için darbe sayısı, ortalama yük, pik yük değerleri elde edilir. Zamana bağlı verilerde ise KB verisinin gerçek şekli elde edilir. Defektin fiziksel özellikler ve KB şekli hakkında doğrudan ilişki içermesi ve daha düşük maliyetli cihazlarla ölçümlerin yapılabilmesinden dolayı sık tercih edilmektedir. Faz-zaman bilgisinin mevcut olmadığı kısmi deşarj darbe verileri tipik bir örneği, bir test çevriminde PD histerezis etkisini göstermek için test geriliminin değişken genliklerinde deşarj büyüklüğünün ölçülmesiyle elde edilen q-V dir.

Kısmi boşalma sinyallerinin işlenmesinde Fourier(Hucker & Krantz 1995)(Van Brunt et al. 1993), Wavelet dönüşümleri (McDonnell & Bentley 1994)(Lalitha & Satish 2000), Haar ve Walsh(Hucker & Krantz 1995) dönüşümleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Faza bağlı üç boyutlu (faz-darbe sayısı-yük değeri) örüntülerden oluşturulan resimlerle görüntü işleme teknikleri kullanılarak da öznelik çıkarımı yapılmaktadır (Arora et al. 2000).

Mas'ud ve arkadaşları (2016), istatistiksel parmak izlerinin kısmi boşalma (KB) ϕ -q-n (faz-genlik sayısı) modellerinin farklı faz çözünürlüğü (PR) ve genlik kutuları (AB) boyutlarına duyarlılığını

araştırmışlardır (Mas'ud et al. 2016). Çalışmalarında, u-q-n boşalma düzeninin farklı çözünürlük boyutlarını tanımda ve ayırmada, topluluk sinir ağı (ENN) ve tek sinir ağı (SNN) yeteneğini karşılaştırılmaktadır. Hem SNN hem de ENN için eğitim parametreleri, farklı ϕ -q-n ölçümlerinden istatistiksel parametreleri içerir. Sonuç, istatistiksel parametrelerinin bazılarında farklı PR ve AB boyutları için istatistiksel ayırım bulunduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, ENN ve SNN çıktıları, farklı PR ve AB boyutlarıyla eğitim ve teste bağlı olarak değişir. Dahası, ENN, çözünürlük değişikliklerini SNN'ye kıyasla tanımda ve ayırt etmede daha duyarlı görünmektedir. Son olarak, sonuçlar enerji endüstrisinde pratik uygulama için değerlendirilir ve uygulayıcılara sağlanan faydalar vurgulanır.

Üretici firmalar tarafından yüksek gerilim iletim kabloları ile ilgili olarak cevaplanması istenilen soru, hangi kısmi boşalma yönteminin hangi uzunluktaki kabloların kullanımına olanak sağladığıdır (Montanari 2016). KB'nin algılanabileceği azami kablo uzunluğu ile ilgili soru çeşitli faktörlere bağlı olarak farklı cevaplara sahip olabilmektedir. Bu makale, bir kablo üzerinde gezinirken KB darbe zayıflamasını araştırmak için simülasyon araçlarını kullanarak ve hem HV hem de MV polimerik kabloları düşünülerek, cevapların türetilebileceği bir çerçeve sunmaktadır. Gürültünün ve bir KB aracının gürültüyü reddetme veya gürültü seviyesinin altında bile KB darbelerini ölçme kabiliyeti tarafından üstlenilen önemli rol vurgulanmaktadır.

Destek vektör makineleri kısmi boşalma işaretlerinin farklı özellikleriyle sınıflandırılmasına son yıllarda yaygın olarak rastlanmaktadır (Ma et al. 2015; Li et al. 2012; Evagorou et al. 2010; Hunter et al. 2010). Sarathi ve arkadaşları (2013) kısmi boşalma işaretlerini destek vektör makinelerini kullanarak; korona deşarjı, yüzey deşarjı dahili deşarjı, akışkan parçacık deşarjı, trafo yağı deşarjı ve parçacık hareketi deşarjı olarak sınıflandırmışlar ve bu sınıflandırmalarda sırasıyla %100, %98.98, %99.62, %99.98, %100 ve %100 başarı oranı elde etmişlerdir. Sonuçların SVM'in özellikle korona deşarjılarını sınıflandırmada büyük başarıya sahip

olduğunu göstermektedir. Chan ve arkadaşları (2013) kesikli dalgacık dönüşümü ve empirik mod ayrıştırma yöntemlerini kısmi boşalma işaretlerini ayrıştırmak ve destek vektör makinelerini de bu işaretleri sınıflandırmak için kullanmışlardır (Chan et al. 2013). Bulgular, ayrıştırılmış işaretlerden çıkarılan özelliklerin, orijinal KB işaretlerinden özümsemiği geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında daha yüksek sınıflandırma doğruluğu sağladığını göstermektedir. Ambikairajah ve arkadaşları (2013), kısmi boşalma işaretlerinin spektral özelliklerini çıkarmışlar ve buna bağlı olarak sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir (Ambikairajah et al. 2013).

Yalıtım durumunu verimli bir şekilde değerlendirmek için hava izoleli trafo merkezlerinde kısmi deşarj (PD) lokalizasyonu kullanılabilir (Li et al. 2017). Li ve arkadaşları (2017) çalışmalarında, konumlandırma sonucunun doğruluğunu iyileştirmek ve muhtemel hata dağılımını bildirmek için yönlendirme antenine ve çoklu nokta ölçümüne dayanan yeni bir lokalizasyon yöntemi önermişlerdir. Testlerini 220 kV'da gerçekleştirmişler ve sonuçları mevcut bir yöntemle karşılaştırmışlar, daha başarılı bir yöntem olduğunu kanıtlamışlardır.

Zheng ve arkadaşları (2011), yüksek gerilimlerde kullanılan XLPE kablolarında yalıtımın kısmi olarak bozulmasına bağlı meydana gelen kısmi boşalmalarda konum tespiti amacıyla çeşitli sensörleri (HCFT, UHF ve AE) kullanarak veri kaydetmişlerdir (Zheng et al. 2011). Çalışmalarında varış zamanı analiziyle kablo üzerindeki KB konumunu araştırmışlardır. Yayılma hızına göre ölçtükleri sinyallerin konumlarını teorik olarak hesaplatmış ve çeşitli sensörlerle uygulamalı olarak deneyip karşılaştırmışlardır. Büyük ölçüde doğrulukla konumlandırma işlemini gerçekleştirmişlerdir.

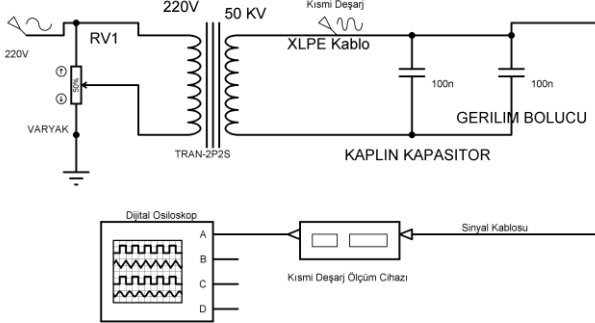
Literatürdeki çalışmalara ilaveten bu çalışmada, elektriksel kısmi boşalma sinyalleri laboratuvar ortamında ölçülerek sayısal veri olarak kaydedilmiş kaydedilen kısmi boşalma sinyallerinin istatistiksel özellikleri incelenmiş ve olarak analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'ne ait yüksek gerilim laboratuvarında özellikle hasarlanmış XLPE kablolar üzerinde kısmi boşalma ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler için öncelikle XLPE kablolar özenle soyulmuştur. Kabloların kısmi boşalma testleri tamamen faraday kafesiyle çevrili bir bölümde yapılmıştır. Kablolarda meydana gelen defektleri, deşarj sinyalleri sayesinde analiz etmek amacıyla testler gerçekleştirilmiştir.

2.1 Deneysel çalışmalar

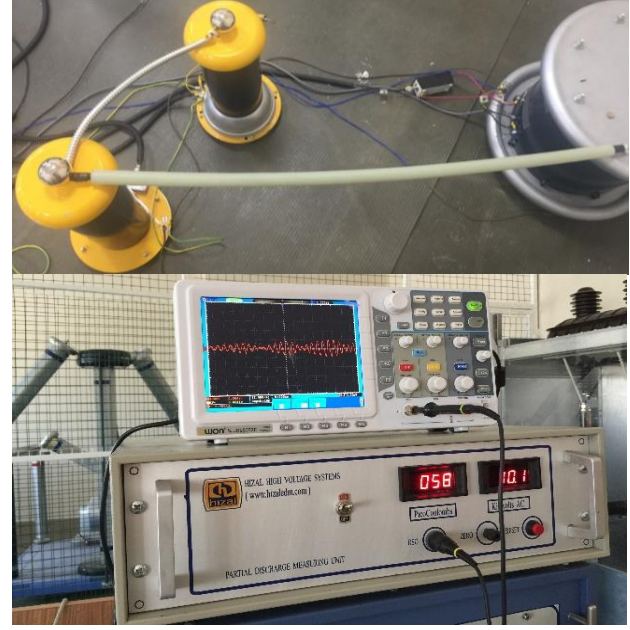
Şekil 1'de, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'ne ait yüksek gerilim laboratuvarında bulunan kısmi boşalma ölçüm sistemi şematik olarak verilmiştir. Deneyler bu şemaya göre gerçekleştirilmiştir. Dijital osiloskop üzerinden ölçülen kısmi boşalma sinyalleri sayısal veri olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Şekil 1. Kısmi boşalma ölçüm sisteminin şematik gösterimi

Şekil 1'de görülen kaplinkapasitör ile test gerilimi olan 50 Hz frekansındaki alternatif yüksek gerilimler filtrelenmektedir. Bu şekilde yalnızca daha yüksek frekanstaki ve çok daha düşük gerilimlerdeki kısmi deşarj sinyalleri gözlemlenmektedir. Şekil 2'de deney düzeneği ve ölçüm sistemi gösterilmiştir. Şekil 2'nin üst kısmında soldan sağa sırasıyla kaplinkapasitör, gerilim bölücü ve trafo görülmektedir. Trafo ve kaplinkapasitör numune olarak hazırlanmış XLPE kablo ile bağlanmıştır. Defektler bu kablolarla oluşturulmuştur. Aşağı kısımdaki resimde kısmi

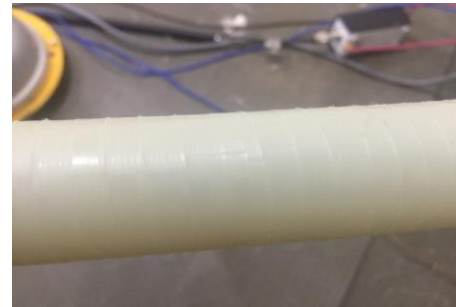
boşalma ölçüm cihazı ve bilgisayara bağlı dijital osiloskop bulunmaktadır.



Şekil 2. Kısmi boşalma ölçüm sistemi ve deney düzeneği

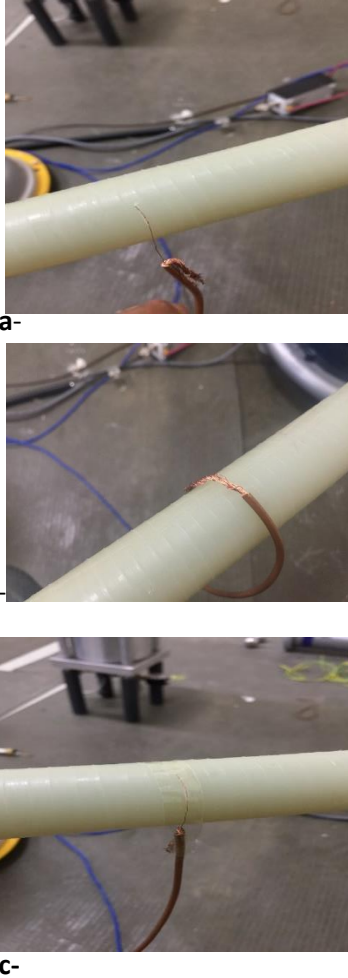
2.2 Numune XLPE kablunun hazırlanması

Yarıiletken tabakası, ekranı ve koruyucu kılıfı soyulmuş Şekil 2'de görülen, 50 mm²lik 36 kV orta gerilimde kullanılan XLPE kablunun, öncelikle hiçbir defekte uğratılmadan Şekil 1'de görülen şemaya göre kısmi boşalma testlerine başlanmıştır. Bu testler, defekte sahip XLPE kablo kısmi boşalma testleriyle karşılaştırma amaçlı, kablunun herhangi bir defekt olmaksızın yüksek gerilimdeki kısmi boşalma durumunu incelemek için gerçekleştirilmiştir. Çeşitli gerilim kademelerinde (0,4, 3, 5, 8, 12, 15, 20 kV) deşarj testleri gerçekleştirilmiştir. Çeşitli kademelerde veri alınmasının nedeni ise, kısmi boşalmaların ne zaman başladığını ve nasıl arttığını gözlemleyebilmektir.



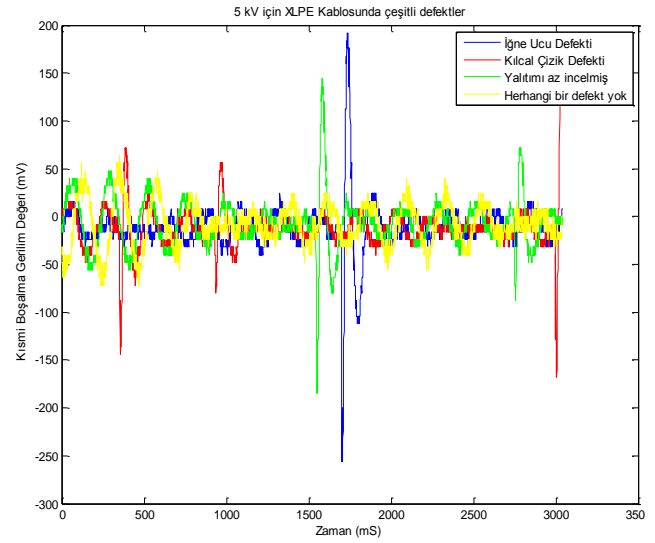
Şekil 3. Soyulmuş 50 mm² 36 kV XLPE kablo

Ardından, ikincil deneyler olarak, XLPE kablo üzerinde Şekil 3-a'da görüldüğü gibi çok küçük bir iğne ucu kadar delik oluşturulup, bu noktası toprağa bağlanmıştır. Sistemin tüm toprak bağlantıları, topraklama döngü etkisi (groundloop) olmaması için aynı noktadan yapılmaktadır. Daha sonrasında kablonun defekt olmayan yine benzer konumdaki noktasına toprak teması gerçekleştirilerek, Şekil 3-b'de görülen şekilde, XLPE kablonun yalıtımının hasar görerek incelmesi varsayılarak deneyler yapılmıştır. Buradaki amaç, soyularak yalıtımı kısmen incelmış olan noktanın toprağa temasındaki durumu incelemektir. Şekil 1'de gösterildiği şekilde kısmi boşalma ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiş ve veriler kaydedilmiştir. Son deney grubunda ise XLPE kablonun yalıtkan kısmı üzerinde kılcal bir çizik oluşturup bu nokta kılcal bir tel ile topraklanmıştır. Şekil 4'de kılcal bağlantı gösterilmiştir. Deneyler osiloskop üzerinden dijital ortama veri olarak aktarılmıştır.



Şekil 4.a) İğne ucu deliği defekti b) Yalıtımı hasarlanmış kablo defekti c) Kılcal çizik defekti

Deneysel çalışmalar sonucu, 5 kV gerilim altında çeşitli defektlerde kısmi boşalma sinyallerinin karşılaştırmaları Şekil 4 'de sunulmuştur. Şekilde görüldüğü üzere herhangi bir defekt oluşturulmayan XLPE kablosunda (sarı renkte sinyal) kısmi boşalma darbesi görülmemektedir. Yalnızca osiloskoptan kaynaklanan çok düşük bir gürültü salınımı gözlenmektedir. Kısmi boşalma darbeleriyle karşılaştırıldığında bu salınım ihmal edilebilir bir boyuttadır. Ayrıca gerilim yükseldikçe kısmi boşalma sinyalindeki tepe noktalarının genliği yükselmekte ve görülme sıklığı da artmaktadır.



Şekil 5.5 kV altında kısmi boşalma sinyallerinin karşılaştırması

2.3 İstatistiksel Analiz

50 mm²'lik 36kV orta gerilim için üretilmiş XLPE kablo üzerindeki tüm kısmi boşalma ölçüm deneylerinden elde edilen veriler "text" dosyasından düzenlenerek MATLAB ortamına aktarılmıştır. Kaydedilen tüm verilerin, analizde kullanmak amacıyla Çizelge 1'de gösterildiği gibi istatistiksel değerleri alınmıştır. Bu değerler sırasıyla ortalama değer, minimum değer, maksimum değer, medyan (dizinin ortasındaki sayı), standart sapma, varyans, kurtosis (basıklık) ve skewness (çarpıklık) olarak belirlenmiş ve matris oluşturulmuştur. Matrisin satırları ise sırasıyla 0,4 kV - 3 kV - 5kV - 8 kV - 12 kV - 15 kV - 20 kV yüksek gerilim seviyelerindeki değerleri ifade etmektedir. İstatistiksel hesaplamalara ait formüller Denklem 1-5'de sırasıyla verilmiştir. Çalışmada kurtosis (basıklık) ve skewness (çarpıklık) değerlerine

bakılmasının nedeni sinyal içerisindeki tepe noktaların analizini daha iyi gerçekleştirebilmektir. Bu tepe noktalar aslında kısmi boşalma darbelerine karşılık gelmektedir.

$$\text{Ortalama Değer } \mu = \frac{X_1+X_2+\dots+X_n}{n} * \quad (1)$$

$$\text{Standart Sapma } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n}} \quad (2)$$

$$\text{Varyans } \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n} \quad (3)$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{1}{\sigma^4} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^4}{n} \quad (4)$$

$$\text{Skewness} = \frac{1}{\sigma^3} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^3}{n} \quad (5)$$

* n = Eleman sayısı, Xi = i'nci eleman

Çizelge 1.XLPE kablo üzerindeki farklı defektler için kısmi boşalma deney verilerine ait istatistiksel değerler (mV - miliVolt)

İĞNE UCU DEFEKTİ								
Gerilim Seviyesi (kV)	Ortalama (mV)	Min (mV)	Max (mV)	Med (mV)	Std (mV)	Var (mV)	Kurtosis (mV)	Skewness (mV)
0,4	3,480263	-20	20	0	12,01396	144,3351	-0,40041	-0,0906
3	4,184211	-60	60	0	20,4133	416,7029	-0,31055	-0,44742
5	-1,42763	-180	260	0	29,91107	894,6724	4,300946	0,437837
8	4,131579	-1100	460	20	64,4126	4148,983	48,68207	-2,04251
12	-11,0526	-2440	560	-20	156,0194	24342,05	70,8588	-5,36731
15	-10,9737	-2560	580	0	226,1435	51140,89	52,65653	-5,71306
20	-26,9737	-2560	580	20	340,0693	115647,2	22,81005	-3,97855
KILCAL ÇİZİK DEFEKTİ								
0,4	4,835526	-60	60	0	18,3937	338,3282	0,216701	-0,50135
3	3,934211	-60	60	0	20,93338	438,2062	-0,54396	-0,0564
5	3,493421	-140	140	0	30,07064	904,2434	0,012108	-0,1507
8	5,177632	-440	420	0	54,36386	2955,429	8,996262	-0,33862
12	6,960526	-2560	560	20	150,5673	22670,5	122,9065	-7,99351
15	-10,3289	-2560	580	0	227,2129	51625,68	52,59538	-5,39026
20	-41,75	-2560	580	0	363,9142	132433,5	16,85047	-3,31899
YALITIMI HASARLANMIŞ (YALITIMI İNCELMIŞ) KABLO								
0,4	7,046053	-20	20	0	10,67266	113,9058	-0,89453	0,050078
3	5,309211	-40	60	0	19,65751	386,4175	-0,72439	-0,03905
5	0,125	-200	240	0	31,90216	1017,748	2,855924	0,368311
8	3,684211	-720	420	20	55,4252	3071,953	18,96721	-1,40157
12	5,552632	-1020	480	0	114,9197	13206,54	11,21839	-0,82212
15	-11,7237	-1960	560	-20	189,5942	35945,98	14,56615	-1,94432
20	-13,875	-2320	540	20	309,3992	95727,88	9,312352	-2,2003
HIÇBİR DEFEKT YOK								
0,4	6,210526	-20	20	0	11,11461	123,5346	-0,62821	-0,04152
3	3,934211	-60	60	0	19,88244	395,3115	-0,50432	-0,27874
5	8,414474	-80	80	20	28,10435	789,8545	-0,13931	-0,5169
8	8,493421	-80	120	0	36,81881	1355,625	-0,42477	0,132842
12	6,078947	-100	120	20	43,41227	1884,625	-0,59068	0,043063
15	-0,27632	-100	100	0	45,74158	2092,292	-0,74862	0,163056
20	8,039474	-140	160	0	55,06789	3032,472	-0,59836	-0,02917

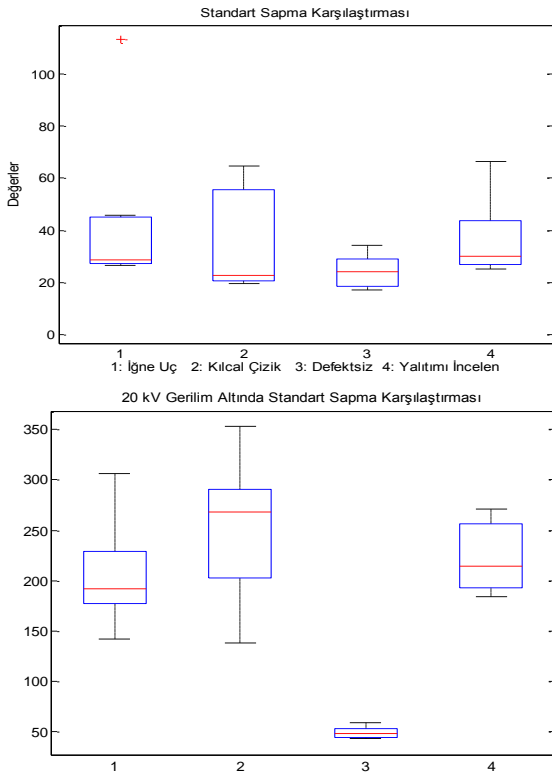
Çizelge 1'de açık olarak görüldüğü üzere minimum, maksimum değer ve medyan deneyleri kısmi boşalma sinyallerini ayırt etmekte kullanışlı görülmemektedir. Genel olarak "Minimum" değerlerinde, bekleneceği üzere gerilimin artışına bağlı (elektrik alanın artmasından kaynaklı) olarak artış gözlenmektedir. İğne ucu defektinde yalıtım ince olarak bir noktadan diğerlerine nispeten daha

fazla delindiği için 8 kV değerinde daha yüksek genlik değerine ulaşması normal bir durumdur. Kurtosis (basıklık), sinyal içerisindeki tepe noktalarının yani kısmi boşalma darbelerinin basıklık-sivrilik durumunu belirtmektedir. Pozitif kurtosis değeri, tepenin daha yüksek eğilimli, daha dik olduğunu göstermektedir. Negatif kurtosis değeri hiçbir defekt bulunmayan kabloda gözlenmiştir. Bu da bir anlamda kısmi boşalma

darbelerinin oluşmadığının ispatıdır. Skewness ise tepelerin yükselme ve alçalma zamanlarıyla ilintilidir. Pozitif skewness olan sinyallerde tepe noktalarının yükselme zamanları kısa, alçalmakuyruk zamanları uzundur. Negatifte ise durum tam tersidir. Kılcal çizik ve iğne ucu defektinde genellikle negatif skewness görülmüştür.

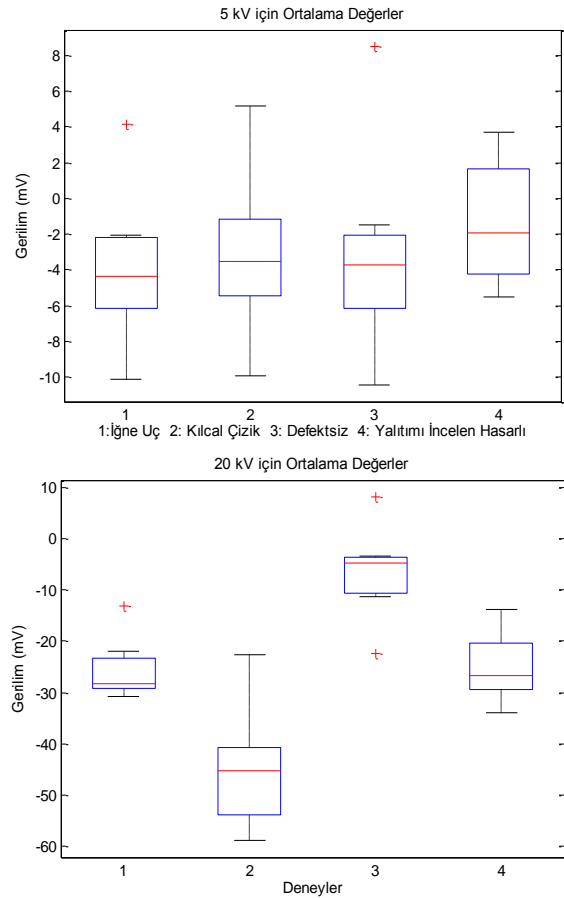
3. Bulgular

Şekil 6'da standart sapma değerleri farklı türde defektler için karşılaştırılmıştır. Grafiklerde dikey sütunlar sayıların yoğunlukla dağılım gösterdiği aralıkları, siyah çizgiler ise tüm dağılımın aralığını, bir diğer deyişle nadir gözlenen sayıları dahi içeren dağılımı göstermektedir. Sütunlardaki yatay kırmızı çizgiler ise değerlerin ortalamalarını göstermektedir. Beklenildiği üzere herhangi bir defekti olmayan kabloda gerilime bağlı olarak büyük bir artış gözlenmemiştir. Ancak diğer değerleri doğrudan birbirinden ayırmak mümkün değildir. Benzer şekilde Şekil 7'de kısmi boşalma deneylerine ait sinyallerin ortalama değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Gerilim yükseldiğinde farklar artsa da değerler benzer dağılım göstermektedir.



Şekil 6. Standart sapma değerlerinin farklı türde defektler için karşılaştırması (5 kV ve 20 kV Gerilim Altında)

Defekt bulunmayan kabloda kısmi boşalma darbeleri meydana gelmediği için Şekil 6'da 3 numaralı kutucukla görüldüğü gibi standart sapma değerleri diğerlerine oranla oldukça düşük değerde kalmıştır. Şekil 7'de ise, özellikle 20 kV gerilimle yapılan deneylerde yine 3 numaralı, yani defekt bulunmayan deneylere ait sinyallerin ortalaması sıfıra yakın seyretmekte, diğer deneylerde iğne uç defekti (1 numara) ve yalıtımı incelenmiş/hasarlanmış kablo defektli (4 numara) birbirine yakın değerlerde dağılmıştır. 5 kV gerilimlerde tüm değerler birbirine yakın seyretmektedir.



Şekil 7. Ortalama değerlerin farklı türde defektler için karşılaştırması (5 kV ve 20 kV altında)

4. Tartışma ve Sonuç

Orta gerilim iletim hatlarında yaygın olarak kullanılan XLPE kablolarda meydana gelebilecek hasarların analizi oldukça büyük öneme sahiptir. Yüksek maliyet ve işçilik ücretleriyle kurulumu gerçekleştirilen elektriksel sistemlerin güvenilir olması gereklidir. Kısmi deşarj ölçümleri

ve bu ölçümlerin ne tür bir arızaya ait olduğunun belirlenmesinin yüksek gerilim teknikleri literatürüne önemli bir katkı yapacağı düşünülmektedir. Makalede kablolarla özellikle hasar oluşturulmuş ve bu hasarların türü bilinerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin sonuçlarına göre defektleri ayırma yapmayı sağlayacak özelliklerin çıkarılması hedeflenmiştir. Gerçek uygulamalarda çoğu zaman kısmi deşarj sebep olan arıza doğrudan tespit edilememektedir. Bu nedenle arızaların oluşmadan veya daha büyük sorunlara neden olmadan çözülmesi noktasında kısmi deşarj kaynağının belirlenmesi gerekmektedir. Çeşitli noktalardan yapılan ölçümler neticesinde, ölçüm sonuçları istatistiksel değerlendirmeyle de önemli ölçüde ayrıştırılabileceği görülmüştür. Çalışma kapsamında, XLPE kabloya suni defektler oluşturulmuş ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü yüksek gerilim laboratuvarında kısmi boşalma (deşarj) ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümler dijital osiloskop üzerinden bilgisayar ortamına aktarılmış ve sayısal verilere dönüştürülmüştür. Verilerin bazı istatistiksel özellikleri incelenmiştir. Çalışmalardan elde edilen bulguları aşağıda sıralanmıştır:

- Gerilim seviyesi yükseldikçe, istatistiksel özellikler kablolarındaki defektlere göre farklılıklar göstermektedir. Düşük gerilimlerde istatistiksel sonuçlar Çizelge 1'den görüleceği üzere daha yüksek benzerlikte oluşmaktadır. Defektleri ayırt etmekte kullanılması için çeşitli gerilim seviyelerinde deneyler yapmak daha uygun olacaktır.
- Yapılan deney sonuçları kablonun defektli olduğunu gösterse de, defektin türünü belirlemede yalnız başına yetersizdir.
- Defekt bulunmayan kabloda gerilim seviyesinin artmasına bağlı olarak istatistiksel değerler, diğer değerlerdeki gibi artış göstermemektedir.
- Çizelge 1 incelendiğinde, herhangi bir defekt yok iken kurtosis değeri tüm deneyler için negatif çıkmıştır. Bulguya göre, kurtosis değeri pozitif ise, XLPE kablo

üzerinde büyük ihtimalle arıza olduğu anlaşılmaktadır. Ancak arızanın çeşidini anlamanın güç olduğu sonucuna da varılmaktadır.

Tüm bu sonuçlar ele alındığında veriler üzerinde sınıflandırma yapabilmek için daha detaylı analizlerin yapılması gerekmektedir. Bunlar arasında istatistiklerin ağırlıklandırılarak dikkate alınması, verilerin frekans düzleminde incelenmesi işlemleri sıralanabilir. Sıralanan bu çalışmalar, gelecek çalışmalar olarak düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, 17.KARİYER.124 numaralı Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP Projesi ile desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- Ambikairajah, R., Phung, B. T., Blackburn, T., Ravishankar, J., (2013). Spectral features for the classification of partial discharge signals from selected insulation defect models. *IET Science, Measurement & Technology*, **7(2)**:104–111.
- Arora, R., Abdul Rahman, M.K. ve Srivastava, S.C., (2000). Partial discharge classification using principal component transformation. *IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology*, **147(1)**:7–13.
- Van Brunt, R.J., Cernyar, E.W. ve von Glahn, P., (1993). Importance of unraveling memory propagation effects in interpreting data on partial discharge statistics. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, **28(6)**:905–916.
- Chan, J.C., Hui Ma ve Saha, T.K., (2013). Partial discharge pattern recognition using multiscale feature extraction and support vector machine. In *2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting*. IEEE: **1–5**.
- Chen, X., Qian, Y., Xu, Y., Sheng, G., Jiang, X., (2016). Energy Estimation of Partial Discharge Pulse Signals Based on Noise Parameters. *IEEE Access*, **4**:10270–10279.
- Eigner, A. ve Rethmeier, K., (2016). An overview on the current status of partial discharge measurements on AC high voltage cable accessories. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, **32(2)**:48–55.

- Evagorou, D., Kyprianou, A., Georghiou, G.E., Hunter, J.A., Hao, L., Lewin, P.L., Stavrou, A., (2010). Performance of the Support Vector Machine Partial Discharge classification method to noise contamination using phase synchronous measurements. In *2010 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*. IEEE: 1–4.
- Fynes-Clinton, D. ve Nyamupangedengu, C., (2016). Partial discharge characterization of cross-linked polyethylene medium voltage power cable termination defects at very low frequency (0.1 Hz) and power frequency test voltages. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, **32(4)**:15–23.
- Hucker, T. ve Krantz, H.-G., (1995). Requirements of automated PD diagnosis systems for fault identification in noisy conditions. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **2(4)**:544–556.
- Hunter, J.A., Hao, L., Lewin, P.L., Evagorou, d., Kyprianou, A., Georghiou, G.E., (2010). Comparison of two partial discharge classification methods. In *2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*. IEEE: 1–5.
- Lalitha, E.M. ve Satish, L., (2000). Wavelet analysis for classification of multi-source PD patterns. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **7(1)**:40–47.
- Li, J., Jiang, T., Harrison, R., Grzybowski, S., (2012). Recognition of ultra high frequency partial discharge signals using multi-scale features. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **19(4)**:1412–1420.
- Li, P., Zhou, W., Yang, S., Liu, Y., Tian, Y., Wang, Y., (2017). Method for partial discharge localisation in air-insulated substations. *IET Science, Measurement & Technology*, **11(3)**:331–338.
- Luo, L., Han, B., Chen, J., Sheng, G., Jiang, X., (2017). Partial Discharge Detection and Recognition in Random Matrix Theory Paradigm. *IEEE Access*, **5**:8205–8213.
- Ma, H., Chan, J., Saha, T., Seo, J., Ekanayake, C., (2015). Advanced signal processing techniques for transformer condition assessment. In *2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM)*. IEEE: 96–99.
- Mas’ud, A.A., Stewart, B.G. ve McMeekin, S.G., (2016). An investigative study into the sensitivity of different partial discharge ϕ -q-n pattern resolution sizes on statistical neural network pattern classification. *Measurement*, **92**:497–507.
- McDonnell, J.T.E. ve Bentley, P.M., (1994). Wavelet transforms: an introduction. *Electronics & Communication Engineering Journal*, **6(4)**:175–186.
- Montanari, G.C., (2016). Partial discharge detection in medium voltage and high voltage cables: maximum distance for detection, length of cable, and some answers. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, **32(5)**:41–46.
- Sahoo, N.C., Salama, M.M.A. ve Bartnikas, R., (2005). Trends in partial discharge pattern classification: a survey. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **12(2)**:248–264.
- Zheng, W., Qian, Y., Yang, N., Huang, C., Jiang, X., (2011). Research on Partial Discharge Localization in XLPE Cable Accessories Using Multi-Sensor Joint Detection Technology. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY (Electrical Review)*, **87(111)**:33–2097.