



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Orta gerilim güç sistemlerinde bakım yönetimi için kısmi deşarj izleme tekniklerinin incelenmesi

Investigation of partial discharge monitoring techniques for maintenance management in medium voltage power systems

Yazar(lar) (Author(s)): Burak ALTIN¹, Mehmet Aytaç ÇINAR², Bora ALBOYACI³

ORCID¹: 0000-0003-1261-8740

ORCID²: 0000-0002-1655-4281

ORCID³: 0000-0002-1117-0326

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Altın B., Çınar M. A. ve Alboyacı B., “Orta gerilim güç sistemlerinde bakım yönetimi için kısmi deşarj izleme tekniklerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 25(4): 1671-1679, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.904546

Orta Gerilim Güç Sistemlerinde Bakım Yönetimi için Kısmi Deşarj İzleme Tekniklerinin İncelenmesi

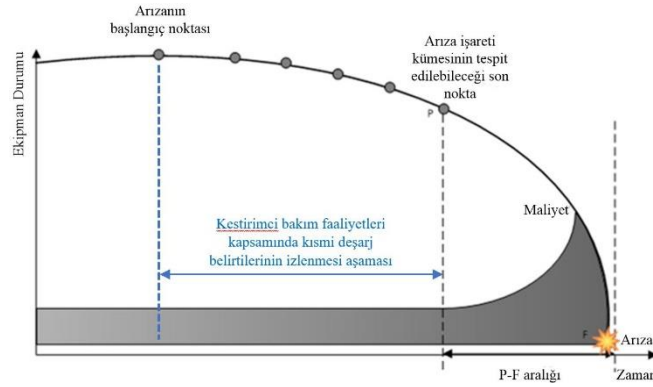
Investigation of Partial Discharge Monitoring Techniques for Maintenance Management in Medium Voltage Power Systems

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Bakım yönetimi çalışmalarının incelenmesi / Investigation of maintenance management studies
- ❖ Kısmi deşarjların öneminin vurgulanması / Emphasizing the importance of partial discharges
- ❖ Kısmi deşarj tespit yöntemlerinin değerlendirilmesi / Evaluation of partial discharge detection methods

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Kısmi deşarj izleme yöntemleri değerlendirildi/ PD monitoring methods have been evaluated.



Şekil. Arıza gelişim süreci /Figure. Fault development process

Amaç (Aim)

OG şebeke bileşenlerinin bakım süreçlerinde kısmi deşarj olaylarının izlenmesinin faydaları araştırıldı. / Benefits of monitoring PD events in maintenance processes of medium voltage grid components has been investigated.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Kısmi deşarj izleme yöntemleri ve bu yöntemlerin orta gerilim şebeke bileşenlerine uygulanması araştırılmıştır. / PD monitoring methods and the application of this methods to medium voltage grid components are investigated.

Özgünlük (Originality)

Kısmi deşarj tespitinin kestirimci bakım çalışmalarına dahil edilmesi değerlendirilmiştir. / Inclusion of PD detection in predictive maintenance studies was evaluated.

Bulgular (Findings)

Kısmi deşarj olayları orta gerilim şebeke bileşenleri için kestirimci bakım süreçlerine dahil edilmelidir. / PD monitoring studies should be included in preventive maintenance process of MV grid components.

Sonuç (Conclusion)

Kestirimci bakım süreçlerine kısmi deşarj ölçümlerinin dahil edilmesi ile OG şebeke bileşenlerinin güvenilirliği ve enerji temininin sürekliliğinin artırılacağı belirlenmiştir. / It has been defined that the reliability of MV grid components and the continuity of energy supply would be increased by including PD measurements in predictive maintenance processes.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Orta Gerilim Güç Sistemlerinde Bakım Yönetimi için Kısmi Deşarj İzleme Tekniklerinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Burak ALTIN¹, Mehmet Aytaç ÇINAR^{2*}, Bora ALBOYACI³

¹GENETEK Güç & Enerji Ltd. Şti., KOU-Teknopark, Türkiye

²İzmit Meslek Yüksekokulu, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

³Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 28.03.2021 ; Kabul/Accepted : 29.07.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 17.08.2021)

ÖZ

Orta gerilim (OG) güç sistemleri elektrik enerjisinin son kullanıcıya güvenli ve sürekli şekilde temini için önemli role sahiptir. Bu bileşenlerde meydana gelen arızalar kısa veya uzun süreli enerji kesintilerine ve yüksek maliyetli kayıplara yol açmaktadır. Kestirimci bakım çalışmaları, arıza meydana gelmeden önce arıza belirtilerinin tespit edilmesini ve önlem alınmasını sağlaması sebebiyle güç sistemlerinde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu çalışmada, arıza kök nedenlerinden biri olan kısmi deşarj olaylarının erken tespit edilmesi amacıyla orta gerilim güç sistemindeki uygulamaları özetlenmektedir. Bu doğrultuda, öncelikle kısmi deşarj olaylarının oluşum süreçleri açıklanmaktadır. Ardından, kısmi deşarj ölçüm yöntemleri güç sistemi bileşenlerine yönelik uygulama örnekleri ile açıklanmış ve bakım yönetimi süreçlerindeki önemi vurgulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, orta gerilim şebeke bileşenlerindeki kısmi deşarj oluşumuna yönelik işaretlerin kestirimci bakım kapsamında izlenmesi sayesinde arızaların erken tespitinin ve yüksek maliyetli arızaların önüne geçilebilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Bakım yönetimi, izleme, kestirimci bakım, kısmi deşarj, orta gerilim.

Investigation of Partial Discharge Monitoring Techniques for Maintenance Management in Medium Voltage Power Systems

ABSTRACT

Medium voltage (MV) power system has great importance to provide electrical energy to the consumers safely and continuously. Various types of faults in power systems components cause shortages and costly losses. Predictive maintenance studies are increasingly preferred in power systems because it provides to detect the fault symptoms and to take action before a malfunction occur. In this study, measurement methods of partial discharge (PD) activities, which are one of the root causes of faults in medium voltage power systems, are summarized. First, the development processes of partial discharge events is expressed. Then, partial discharge measurement methods are explained with application examples for power system components and their importance in maintenance management processes is emphasized. Obtained results show that, by means of partial discharge monitoring in preventive maintenance studies, it is possible to detect possible faults and prevent costly outages in power system.

Keywords: Maintenance management, monitoring, predictive maintenance, partial discharge, medium voltage.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde kaliteli, yeterli ve kesintisiz elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç sürekli olarak artmaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalarda gerek yatırım gerekse işletme süreçlerinde yüksek maliyetler ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu sebeple, şebeke yatırımları ile tesis edilen sistem bileşenlerinin kullanım ömürlerinin artırılması ve işletme sürecindeki maliyetlerin azaltılması tüketicilere kaliteli enerji temininin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır [1,2].

Güç sisteminin güvenilirliği, güç sistemlerinde elektriksel arıza kaynaklı kesinti sıklığı ve süresine bağlı olarak ifade edilmektedir [3]. Bu doğrultuda, güç sistemi bileşenlerine çeşitli zamanlarda ve değişken içeriğe sahip

bakım çalışmaları uygulanmaktadır. Zamana bağlı olarak gerçekleştirilen önleyici bakım çalışmaları ile kıyaslandığında kestirimci bakım faaliyetleri bu noktada enerji sağlayıcılarına yönelik avantajlar ortaya koymaktadır. Bu sayede orta gerilim sisteminde yer alan güç sistemi bileşenlerinin çalışma şartları ve mevcut durumları izlenerek arıza oluşumuna yol açabilecek olumsuzlukların erken aşamada tespit edilmesi ve önlem alınabilmesi mümkün olmaktadır.

Literatürde güç sistemi bileşenlerine uygulanan bakım çalışmalarının önemi, kapsamı ve sağladığı faydalar ile ilgili çeşitli çalışmalar yer almaktadır. [4]'te elektriksel ekipmanların planlanan kullanım ömürleri baz alınarak yaşlanma hızının hesaplanması, gelecek yatırım planlarının oluşturulması ve işletmecinin şebeke üzerindeki öngörüsünün artırılarak enerji sürekliliğini ve güvenilirliği olumsuz etkileyecek olayların önüne

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : aytaç@kocaeli.edu.tr

geçilebilmesi amacıyla oluşturulan durum bazlı kestirimci bakım uygulamaları incelenmektedir. [5]'te bir yerel güç şebekesinde, şebekenin izlenmesi ve durum bazlı kestirimci bakım planlarının düzenlenmesine yönelik yol haritasının çıkarılması konusu incelenmiştir. Bu çalışmada güç sistemi içerisinde çeşitli ekipman türleri için uygun durum izleme sistemleri geliştirilmektedir. Ek olarak, literatürde güç sistemi bileşenlerinde meydana gelen arızaların istatistiki olarak incelenmesine, arıza türlerinin ve bu arızaların kök nedenlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar da göze çarpmaktadır.

Bu kapsamda, [6]'da transformatörlerde meydana gelen izolasyon arızaları, tasarım ve üretim aşamalarında meydana gelen sorunlar, yalıtım yağında meydana gelen kirlenme, transformatörün aşırı yüklenmesi, bağlantı noktalarındaki problemler, nem ve gerek kullanıcı kaynaklı olarak gerekse doğal sebeplerle oluşan arıza olayları değerlendirilmektedir. [7]'de transformatörlerin işletme koşulları altında karşı karşıya kaldığı zorluklar sebebiyle farklı bileşenlerinde meydana gelen arızalar değerlendirilmektedir. CIGRE tarafından gerçekleştirilen bir başka araştırmada ise, büyük güç transformatörlerinde meydana gelen arızaların %41'inin yükte kademe değiştiriciler, %19'unun ise sargılar kaynaklı olarak oluştuğu ifade edilmektedir [8]. Arızaların ise %53'ünün mekanik, %31'inin ise dielektrik kaynaklı olarak gerçekleştiği belirtilmektedir. Yükte kademe değiştiricisi olmayan transformatörlerde ise arızaların %26,6'sının sargılarda, %6,4'ünün manyetik devrede, %33,3'ünün bağlantı terminalleri, %17,4'ünün kazan ve yağ, %11'inin diğer aksesuarlar ve %4,6'sının kademe değiştiricide meydana geldiği raporlanmıştır. [9]'da bir başka güç sistemi bileşeni olan kablolarla meydana gelen arızaların nedenleri incelenmektedir. Kablolarla meydana gelen arızaların %32'si montaj hataları, %18'i mekanik hasarlar, %22'si nem, %11'i kablo döşemi esnasında yapılan hatalar, %10'u izolasyon arızaları ve %7'si diğer etkiler olarak sınıflandırılmaktadır. [10]'da transformatörlerin geçit izolatörlerinde meydana gelen arızaların sebepleri; kısmi deşarj, düşük enerjili deşarj, yüksek enerjili deşarj ve sıcaklık olarak sıralanmaktadır. [11]'de 2004-2009 arasında elde edilen istatistiki veriler ışığında geçit izolatörü arızalarının temel sebepleri aşırı ısınma ve izolatör üzerindeki çatlaklar olarak ifade edilmektedir. [12-14]'te orta gerilim şebeke elemanlarında kullanılan buşinglere yönelik incelemeler gerçekleştirilmiş olup buşing arızalarının başlıca nedenleri; yaşlanma sonucu buşinge su girmesi, buşingde korozyon oluşması ve ortam şartları sebebiyle zarar gören bağlantı elemanları olarak sıralanmaktadır. [15]'te 26 ülkeden 83 şebeke operatörüne ait kesicilerde gözlenen arıza türlerine ve güvenilirliğe yönelik kapsamlı bir inceleme gerçekleştirilmektedir. Bu incelemede arızalar majör ve minör arıza türleri olarak sınıflanmaktadır. Majör arıza türleri, kesicinin ana görevini yerine getirmesini engelleyerek şebeke davranışında ciddi sonuçlar yaratan arızalar, minör arıza türleri ise kesicinin çalışma

fonksiyonuna engel olmayıp kısmen fonksiyon kaybı yaratan arızalar olarak tanımlanmaktadır.

Transformatörler başta olmak üzere izolatör, kablo, buşing ve benzeri bileşenlerde arıza oluşumuna yol açan faktörlerden bir tanesi kısmi deşarj olayları olarak öne çıkmaktadır. Orta gerilim bileşenlerinde çevresel etkilerden dolayı zamanla gelişen kısmi deşarj olaylarının uygun ekipmanlar kullanılarak sürekli olarak izlenmesi ve gelişim süreçlerinin takibi ile güç sistemi bileşenine arıza olayı meydana gelmeden önce müdahale edilerek gerekli tedbirlerin alınması mümkün olmaktadır. Bu sayede uzun süreli kesintilerin ve enerji kalitesindeki bozulmaların önüne geçebilmek mümkündür.

[16]'da orta gerilim dağıtım merkezlerinde kısmi deşarj ölçümlerinin avantajları ve dezavantajları tartışılmaktadır. [17]'de orta gerilim metal clad hücrelerde yalıtım durumunun değerlendirilmesini için farklı elektromanyetik kısmi deşarj ölçüm tekniklerinin uygulanmasına ilişkin bir çalışma sunulmaktadır. [18]'de yağlı tip transformatörlerde yalıtım problemlerinin konumunun belirlenmesi için akustik ve yüksek frekanslı akım transformatörlerinin kullanılabileceği anlatılmaktadır. [19]'da orta gerilim güç kablolarında meydana gelen yalıtım problemlerinin belirlenebilmesi için çevrimiçi kısmi deşarj konumlandırıcı geliştirilmesi yaklaşımı ele alınmaktadır. [20]'de kullanımda olan ve yeni tesis edilen orta gerilim güç kablolarında ölçülen kısmi deşarj büyüklükleri karşılaştırılmakta ve sınıflandırılmaktadır.

Bu çalışmada, şebeke operatörleri tarafından son tüketiciye sunulan elektrik enerjisinin sürekliliği ve güvenilirliği için gerçekleştirilen bakım yönetimi çalışmalarının önemi ifade edilmektedir. Ek olarak, bu amaç doğrultusunda güç sistemi bileşenlerinde meydana gelen kısmi deşarj olaylarının tespiti ve izlenmesi amacıyla uygulanan yöntemler özetlenmekte ve güç sistemi bileşenleri için en uygun yöntemlerin kullanımının sağlayacağı faydalar vurgulanmaktadır.

2. ORTA GERİLİM GÜÇ SİSTEMİ BİLEŞENLERİNDE BAKIM YÖNETİMİ (MAINTENANCE MANAGEMENT IN MEDIUM VOLTAGE POWER SYSTEM COMPONENTS)

Elektriksel ekipmanlarda arıza oluşumlarını engellemek ve ekipman ömürlerini artırmak amacıyla gerçekleştirilen bakım çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Elektriksel ekipmanlarda bakım, mevcut arızaların ortadan kaldırılması, gelişmekte olan arızaların önceden tespiti ve ekipmanın kullanım sürecinde oluşabilecek potansiyel arıza olasılığının en aza indirilmesi için düzenli ve sistematik olarak gerçekleştirilen mühendislik çalışmaları olarak ifade edilmektedir.

Elektriksel ekipmanlara uygulanan bakım çalışmaları; düzeltici, önleyici ve kestirimci bakım faaliyetleri olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılmaktadır. Düzeltici bakım, ekipmanda bir arıza meydana gelmesini takiben bu arızanın onarımı veya arızalı ekipmanın yenisi ile değiştirilmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışma olarak tanımlanmaktadır. Düzeltici bakımlar arıza oluşuktan

sonra gerçekleştirilmesi sebebiyle maliyeti ve iş gücü gereksinimi yüksek çalışmalardır. Önleyici bakım; elektriksel ekipmanlarda planlı olarak belirli zaman aralıklarında yapılan ve çoğunlukla ekipman değişimi gerektirmeyen kapsamlı bakım çalışmalarıdır. Kestirimci bakım faaliyetleri ise kullanım süresince ekipmanlarda meydana gelen yıpranmaları ve buna bağlı olarak yaşanabilecek arızaları önceden tespit etmek için gerçekleştirilen faaliyetlerdir.

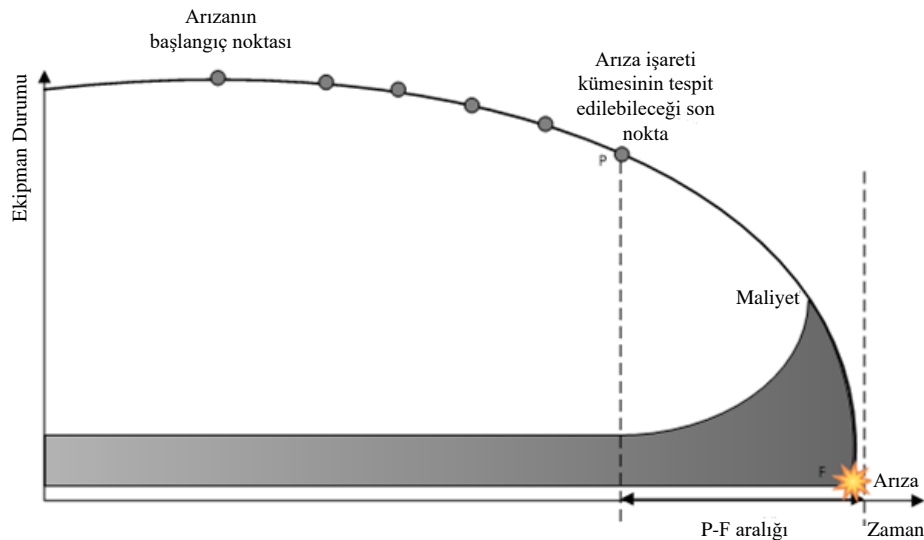
Güç sistemlerinde genellikle zamana dayalı olarak gerçekleştirilen önleyici bakım çalışmalarının benimsendiği görülmektedir. Bu kapsamda, güç sistemi

ve bunun sonucunda kısa veya uzun süreli enerji kesintileri meydana gelmektedir. Bu olumsuzluklara karşı, akıllı şebeke teknolojileri içerisinde geliştirilen yeni nesil yaklaşımlar ile günümüzde kestirimci bakım çalışmaları ön plana çıkmaktadır.

Elektriksel ekipmanların işletimi esnasında arızaların ortaya çıkma sürecinde öncü işaretler gözlenmektedir. Bu öncü işaretlerin, güç sistemi içerisinde kullanılan elektriksel ekipmanlar tamamen işlevini yitirmeden önce tespit edilmesi ve değerlendirilmesi ile arızaların önüne geçilebilmesi ve enerji kesintilerinin engellenmesi sağlanır. Şekil 1'de güç sistemi ekipmanlarında arıza

Çizelge 1. Güç sistem bileşenlerinde zamana dayalı bakım çalışmaları periyodları (Time-based preventive maintenance periods in power system components) [21]

Elektriksel Ekipman	Mekanik Kontrol	Görsel Muayene	Termal Muayene ve Yağ Testi	Kesinti Önleyici Bakım ve Test
Kablo başlıkları ve bağlantı noktaları	-	1 yıl	1 yıl	3 yıl
Yağlı ve kuru tip transformatörler	-	1 yıl	1 yıl	3 yıl
Metal-clad hücreler	-	1 ay	1 yıl	3 yıl
Orta gerilim kesicileri	1 yıl	1 yıl	1 yıl	3 yıl
Baralar	-	1 yıl	1 yıl	3 yıl
Koruma röleleri	-	1 yıl	-	1 yıl
Otomatik transfer ekipmanları	1 yıl	6 ay	1 yıl	3 yıl
Alçak gerilim ekipmanları	-	1 yıl	1 yıl	3 yıl
Alçak gerilim şalt	-	1 yıl	1 yıl	3 yıl
Alçak gerilim kesicileri	1 yıl	1 yıl	1 yıl	3 yıl
Alt dağıtım panosu	-	1 yıl	1 yıl	3 yıl
Yardımcı besleme ekipmanları	-	3 ay	1 yıl	1 yıl
Toprak arızası koruma sistemleri	-	-	-	1 yıl
Motor kontrol merkezi	1 yıl	1 yıl	1 yıl	3 yıl
Dönen makineler: motorlar ve generatörler	1 yıl	1 yıl	1 yıl	1 yıl
Ölçü ekipmanları	-	1 yıl	1 yıl	3 yıl



Şekil 1. Orta gerilim güç sistemi bileşenlerinde arıza oluşum süreci (Fault development process of medium voltage power system components)

bileşenlerine uygulanan önleyici bakım çalışmalarının kapsamı ve periyodu güç sistemi bileşenine bağlı olarak Çizelge 1'de gösterilmektedir. Bununla birlikte, güç sistemi içerisinde çalışma koşullarının sürekli olarak değişkenlik göstermesi sebebiyle, iki planlı bakım arasındaki sürede elektriksel ekipmanların eşzamanlı olarak izlenememesi sebebiyle arızalar ortaya çıkmakta

oluşum süreci gösterilmektedir. Buna göre, arıza belirtilerinin ortaya çıkmaya başladığı aşamalarda bu belirtilerinin tespit edilmesi durumunda önlenmesi veya ortadan kaldırılmasının maliyetleri oldukça düşüktür. Buna karşın arızanın gelişimiyle birlikte zamanla bu maliyetler artmakta ve arızanın meydana gelmesine yakın süreçte en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bu

durum arıza belirtilerinin erken tespit edilmesinin maliyet yönünden de avantaj sağlayacağını göstermektedir.

Elektriksel ekipmanlarda oluşan arızalara ilişkin öncü belirtilerin algılanabilmesi için kestirimci bakım çalışmaları kapsamında farklı sensör tipleri ve bu sensörlerin entegre oldukları sürekli izleme sistemleri kullanılmaktadır. Çizelge 2’de, güç sistemi bileşenlerinde arızaların tespit edilebilmesi için gerekli olan fiziksel büyüklüklere ilişkin sensör tipleri verilmektedir. Kullanılan sensörlerden ve sürekli izleme sistemlerinden elde edilen veriler ekipman kullanım ömrünün tayin edilebilmesi için gerçekleştirilecek değerlendirmelerin temelini oluşturmaktadır. Ancak sürekli izleme sistemlerinden ve farklı sensörler ile ölçülen veriler, tek başlarına yalnızca anlık bilgiler vermekten öteye gidememektedir. Ölçülen değerlerin sürekli olarak izlenmesi, yüklenme, sıcaklık, kısmi deşarj gibi parametrelerin birbiri ile etkileşiminin incelenmesi, kritik parametreler için alarm değerleri tanımlanması

3. ORTA GERİLİM GÜÇ SİSTEMİ BİLEŞENLERİNDE KISMİ DEŞARJ OLUŞUMU (PARTIAL DISCHARGE FORMATION IN MEDIUM VOLTAGE POWER SYSTEM COMPONENTS)

IEC 60270 standardına göre kısmi deşarj, “yalnızca iletkenler arasındaki yalıtıma kısmen köprü oluşturan ve bir iletkenin bitişiğinde veya başka bir belli yerde meydana gelen elektriksel boşalma” olarak tanımlanmaktadır [22]. Kısmi deşarj olaylarının şiddeti genellikle oldukça düşük olmasına karşın sürekliliği sebebiyle izolasyon malzemeleri üzerinde giderek artan yıpranmalara ve nihayetinde arızalara sebep olmaktadır.

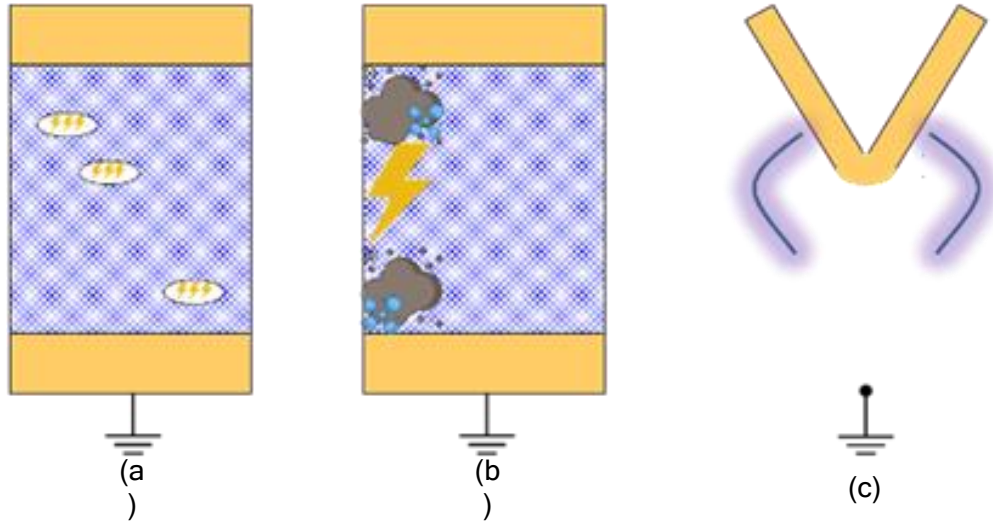
Kısmi deşarj olayları üç grupta incelenmekte olup Şekil 2’de gösterilmektedir. Birinci grup, orta gerilim şebekesindeki bileşenlerin yapısında mevcut olan izolasyon malzemeleri içerisindeki boşluklar sebebiyle oluşan iç kısmi deşarj olaylarıdır. Özellikle katı dielektrik malzeme içerisinde üretim aşamasındaki olumsuzluklar başta olmak üzere çeşitli sebeplerle oldukça küçük

Çizelge 2. Güç sistemleri bileşenlerinde kullanılan sensör tipleri (Sensor types used in power system components) [21]

Elektriksel Ekipman	Sürekli izleme sistemleri sensör tipleri
Baralar-yalıtımsız	Sıcaklık, nem, kısmi deşarj
Baralar-yalıtımlı	Sıcaklık, nem, kısmi deşarj
Kablo başlıkları	Sıcaklık, nem, kısmi deşarj
Transformatörler	Sargı sıcaklığı, yağda çözülmüş gaz, kısmi deşarj
Generatörler	Titreşim, sıcaklık, kısmi deşarj
Kablolar	Sıcaklık, nem, kısmi deşarj
Kesiciler	Sıcaklık, nem, toz
Motorlar	Sıcaklık, titreşim

erken uyarı/alarm sistemlerinin geliştirilmesi ve ilgili ekipmana özel olarak geliştirilecek gelişmiş algoritmaları ile yapılan değerlendirme sonucunda beklenmedik ekipman arızalarının ve plansız kesintilerin önüne geçilebilir.

boşluklar meydana gelebilmektedir. Gerilim altında çalışan güç sistemi bileşeninin maruz kaldığı elektrik alan değeri izolasyon içerisindeki bu boşluğun dayanabileceği alan değerini aştığı durumda bu boşluk içerisinde deşarj olayı meydana gelmektedir. Bunun sonucunda öncelikle boşluğun iç yüzeylerinde karbonlaşma meydana gelmekte olup zamanla bu hasar



Şekil 2. Kısmi deşarj türleri a) iç kısmi deşarj b) yüzey kısmi deşarjı c) korona kısmi deşarjı (Partial discharge types a) internal partial discharge b) surface partial discharge c) corona partial discharge)

ağaçlanma şeklini alıp dielektrik malzemenin yapısını bozarak daha ciddi hasarlara yol açmaktadır.

İkinci grup, nem ve diğer çeşitli çevresel şartların sonucu olarak izolasyon malzemesinin yüzeyinde katmanlar halinde oluşan birikintiler sebebiyle meydana gelen yüzey deşarjlarıdır. Bu birikimler sebebiyle izolatörün yüzeyinde bir akım yolu meydana gelmektedir. Oluşan kaçak akım yalıtım malzemesinin bozulmasına neden olmakta ve meydana gelen yüzey deşarjları izolasyonun yüzeyinde karbon izleri oluşmasına yol açmaktadır.

Üçüncü grup ise keskin yüzeylerde oluşan ve korona olarak adlandırılan olaylardır. Korona deşarjları, bir iletkenin çevresindeki elektrik alanının şiddeti (potansiyel gradyan) iletken bir bölge oluşturmak için yeterince yüksek olduğunda meydana gelen kısmi deşarj aktivitesidir. Bir diğer ifadeyle korona deşarjı bir iletkeni çevreleyen ortamın iyonlaşmasıyla meydana gelmektedir. Korona deşarjı esnasında ışık yayılımı ve ses oluşmaktadır. Korona deşarjları genellikle iletim hatlarında ve izolatörlerde arızalara sebebiyet vermektedir.

Yukarıda sayılan bu sebeplerle ortaya çıkan kısmi deşarj olayları iç ve dış deşarjlar olarak iki sınıfa ayrılır. Dış deşarjlar yüzeyde meydana gelen toz veya su sebebiyle oluşan deşarjlar ile havada meydana gelen deşarjları (korona) tanımlamaktadır. Bu deşarjlar optik, akustik, elektriksel ve elektromanyetik yöntemler ile tespit edilebilirler. Optik ve akustik işaretler sıklıkla gözle veya kulakla belirlenebilmekle birlikte ultrasonik yöntemler de sıklıkla kullanılır. İç deşarjlar ise izolasyon malzemesinin içerisindeki boşluklar ile iletken-izolasyon ve izolasyon-izolasyon arası yüzeylerin yetersizliği sebebiyle meydana gelen olaylar olarak sınıflandırılmaktadır.

İzolasyon malzemesindeki lokal zayıflıkların bir göstergesi olan kısmi deşarj olaylarının sonucunda güç sistemi bileşeninin devre dışı kalmasıyla sonuçlanan arızalar meydana gelebilmektedir. Bu sebeple, kısmi deşarj ölçümleri transformatörler, güç kabloları ve anahtarlama elemanları için gerek kabul testlerinde gerekse önleyici bakım çalışmaları süreçlerinde önemli bir gösterge niteliği taşımaktadır.

4. ORTA GERİLİM GÜÇ SİSTEMİ BİLEŞENLERİNDE KISMİ DEŞARJ TESPİT YÖNTEMLERİ VE UYGULAMALARI (PARTIAL DISCHARGE DETECTION METHODS AND APPLICATIONS IN MEDIUM VOLTAGE POWER SYSTEM COMPONENTS)

Kısmi deşarj olaylarının meydana geldiği şebeke bileşenlerinin izlenmesi ve kısmi deşarj olaylarının tespit edilebilmesi amacıyla literatürde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler; akustik, elektriksel ve elektromanyetik tespit yöntemleri olarak üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Orta gerilim şebekesinde kullanılan farklı bileşenlerde meydana gelen kısmi deşarj olaylarının izlenmesinde bu yöntemlerden biri veya birkaçından faydalanmak mümkündür.

4.1. Elektriksel Yöntemler (Electrical methods)

Güç sistemi bileşenlerinde meydana gelen kısmi deşarj olaylarının elektriksel olarak eş zamanlı biçimde tespit edilebilmesi için Şekil 3'te gösterilen yüksek frekanslı akım transformatörleri (HFCT) yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu bileşenlerde oluşan kısmi deşarjlar bileşenin toprak bağlantısı üzerinden toprağa akan yüksek frekanslı akımlar meydana getirmektedir. Akım sensörleri izlenecek bileşenin topraklama iletkeni üzerine yerleştirilerek bu akımların tespit edilmesi sağlanır. Bu yöntem, toprak bağlantısına sahip transformatörler, metal gövdeli hücreler, kablolar ve benzeri bileşenlerde uygulanabilmektedir.



Şekil 3. Yüksek frekanslı akım transformatörleri (High frequency current transformers) [23]

Şekil 4'te 10 MVA gücünde 34,5 kV / 15 kV gerilimli ve Dyn11 bağlantı grubuna sahip bir güç transformatörünün topraklama iletkeninden 80MHz frekans aralığına sahip yüksek frekanslı akım transformatörü kullanılarak gerçekleştirilen kısmi deşarj ölçümüne ait bir görsel yer almaktadır.



Şekil 4. Güç transformatörlerinde yüksek frekanslı akım transformatörü ile kısmi deşarj ölçümü (Partial discharge measurement using high frequency current transformer in power transformers)

Yüksek frekanslı kısmi deşarj akım transformatörlerinin kullanıldığı bileşenlerden bir diğeri ise kablo uygulamalarıdır. Şekil 5'te kablo topraklama bağlantısında ve 34,5kV gerilim seviyesindeki metal muhafazalı hücrelerde güç kablolarında kablo başlıkları ve kablolarında oluşan kısmi deşarjların ölçümü için 40MHz frekans aralığına sahip yüksek frekanslı akım

transformatörü ile gerçekleştirilen kısmi deşarj ölçümleri görülmektedir.



Şekil 5. Güç kablolarında yüksek frekanslı akım transformatörü ile kısmi deşarj ölçümü (Partial discharge measurement using high frequency current transformer in power cables)

4.2. Elektromanyetik Yöntemler (Electromagnetic methods)

Kısmi deşarj olaylarının elektromanyetik yöntemlerle tespit edilmesi amacıyla geçici toprak gerilimi (TEV-Transient Earth Voltage) algılayıcıları ve yüksek frekans (UHF-Ultra High Frequency) algılayıcılardan faydalanılmaktadır.

Elektriksel şebeke bileşenlerinde meydana gelen kısmi deşarj olayları çok geniş bir frekans aralığında elektromanyetik dalgalar meydana getirmektedir. Bu dalgalar, kısmi deşarjın meydana geldiği noktadan çevreye doğru yayılırlar. Bu dalgaların yüksek frekanslı bileşenleri havada zayıflamakla birlikte alçak frekanslı bileşenler ise elektriksel donanımın metal duvarlarının iç yüzeylerine çarpar. Bir kısım dalga ise metal duvardaki boşluklardan çevreye yayılır. Bu durum metal gövdede geçici olarak endüklenen nanosaniye süreli ve milivolt seviyesinde gerilimler meydana getirir. Bu gerilimlerin ölçülmesi için topraklı metal gövdenin yüzeyine yerleştirilen ve TEV sensörü olarak adlandırılan kapasitif algılayıcılardan faydalanılır. Şekil 6'da metal muhafazalı orta gerilim hücrelerinde geçici toprak gerilimi sensörü ile gerçekleştirilen kısmi deşarj ölçümü görülmektedir.



Şekil 6. Metal muhafazalı orta gerilim hücrelerinde TEV sensörü ile kısmi deşarj ölçümü (Partial discharge measurement using TEV sensor in medium voltage metal-clad cubicle)

4.3. Akustik Yöntemler (Acoustic methods)

Akustik yöntemler ile kısmi deşarj olaylarının izlenmesi amacıyla yüzey temaslı (contact) algılayıcılar ve uzak mesafeden ölçüm gerçekleştiren (airborne) algılayıcılardan faydalanılmaktadır.

Kısmi deşarj olayları geniş bir akustik spektrumda ses dalgaları meydana getirmektedir. Bu ses dalgalarından bir kısmı insan kulağı tarafından da algılanabilir düzeyde olmasına karşın büyük kısmının tespiti için akustik algılayıcılara gereksinim duyulmaktadır. Kısmi deşarj olaylarının uzak mesafeden tespiti için 40kHz frekansta çalışan yönlendirilmiş mikrofonlardan faydalanılır. Bu yöntem, kaynak noktası ile mikrofon arasında engel görevi üstlenecek başka bir elemanın olmadığı durumlarda oldukça etkili olmaktadır. Bu sayede kısmi deşarj, korona olayları ve ark oluşumlarının meydana getirdiği akustik ses dalgalarından yola çıkarak tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Saha uygulamalarında Şekil 7'de gösterilen parabolik algılayıcı cihazın üzerinde mevcut olan lazer işaretleyici ile izlenmesi hedeflenen güç sistemi bileşenine odaklanması yapılan ölçüm işleminin yüksek doğrulukla sonuçlanmasına yardımcı olmaktadır.

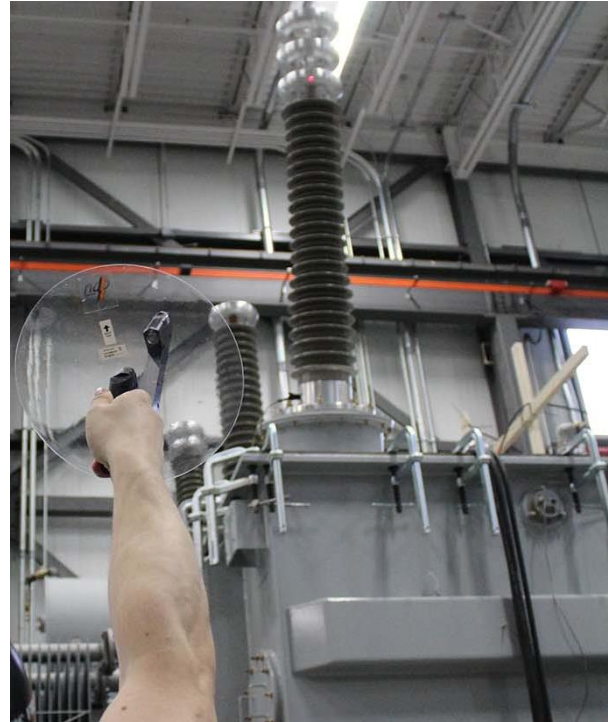


Şekil 7. 40 kHz parabolik algılayıcı (40 kHz parabolic sensor) [23]

Şekil 8 ve Şekil 9’da parabolik algılayıcı kullanılarak bir orta gerilim hücresi ve izolatörde gerçekleştirilen bir uygulama örneği gösterilmektedir.



Şekil 8. Metal muhafazalı orta gerilim hücrelerinde parabolik algılayıcı ile kısmi deşarj ölçümü (Partial discharge measurement using airborne sensor in medium voltage metal-clad cubicle)



Şekil 9. İzolatörlerde parabolik algılayıcı ile kısmi deşarj ölçümü (Partial discharge measurement using airborne sensor in medium voltage insulator)

Buna ek olarak, akustik ölçüm işlemlerinin bazı uygulamalarda yüzey temaslı algılayıcılar ile gerçekleştirilmesi de mümkündür. Panolar başta olmak üzere metal gövde üzerinden yayılan ses dalgalarının bu sayede tespit edilmesi ve algılanan ses işaretlerinin değerine göre kısmi deşarj aktivitesinin yorumlanması mümkün olmaktadır.

Güç transformatörlerinde meydana gelen kısmi deşarj olaylarının izlenmesi ve olayın meydana geldiği noktanın kestiriminde akustik yöntemler ile birlikte elektriksel ve elektromanyetik yöntemlerden de yararlanılmaktadır. Bu amaçla, transformatör kazanının dış yüzeyine akustik algılayıcılar yerleştirilmektedir. Transformatörün iç yapısında meydana gelen kısmi deşarj olayının sonucunda bu algılayıcılar tarafından tespit edilen sinyaller ile bu sinyallerin birbirlerine göre olan zaman farkları değerlendirilmekte ve birden fazla ölçüm noktasından elde edilen sonuçlardan yola çıkarak kısmi deşarj olayının lokasyon kestirimi gerçekleştirilmektedir. Akustik algılayıcılara ek olarak HFCT algılayıcılardan ve transformatör kazanının içerisine yerleştirilen UHF algılayıcılar ile kısmi deşarj olayının şiddeti ve lokasyonuna yönelik daha doğru bir kestirim gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Şekil 10’da 34.5 kV/15 kV güç transformatöründe kısmi deşarj olayının konumunun belirlenmesi için kullanılan akustik ölçüm sistemi görülmektedir.



Şekil 10. Güç transformatörlerinde yüzey temaslı akustik sensörler ile kısmi deşarj ölçümü (Partial discharge measurement using acoustic sensor in power transformer)

Güç şebekesinde yer alan başlıca elektriksel ekipmanlara yönelik olarak gerçekleştirilen bakım yönetimi çalışmalarının bir parçası olarak yukarıda sayılan kısmi deşarj izleme yöntemlerinin uygulanabilirliğini gösteren ekipmana bağlı sınıflandırma Çizelge 3'te verilmektedir.

Buna göre, transformatörler, pano/hücreler, kablolar ve izolatörler üzerine gerçekleştirilen test ve ölçümler değerlendirildiğinde, yüksek frekanslı akım transformatörleri yardımıyla gerçekleştirilen elektriksel ölçümlerin kısmi deşarj olaylarının oluşum ve gelişim süreçlerindeki belirtilerin tespitinde en etkin yöntem olduğunu göstermektedir. Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterildiği gibi bu bileşenlerin toprak bağlantıları üzerinden izlenecek olan yüksek frekanslı işaretler kısmi deşarj olaylarının erken tespiti ve gerekli bakım yönetim çalışmalarının planlanması süreçlerinde avantajlar sağlamaktadır.

Kısmi deşarj olaylarının meydana getirdiği geçici toprak gerilimleri veya çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların izlendiği elektromanyetik yöntemlerin ise özellikle metal gövdeye sahip olan pano ve hücreler için ön plana çıktığı görülmektedir. Bu uygulama alanlarında geçici toprak gerilimi algılayıcılarının kullanıldığı ve Şekil 6'da bir örneği gösterilen ölçüm yöntemi ile kısmi deşarj olaylarının başlangıç ve gelişimlerinin tespiti mümkün olmaktadır. Elektromanyetik yöntemler ile eş zamanlı olarak pano ve hücrelerin toprak hattına bağlanacak yüksek frekanslı akım transformatörleri yardımıyla elektriksel yöntemlerin de uygulanması ile özellikle bu gibi şebeke bileşenlerindeki kısmi deşarj

oluşumlarının tespitinde doğruluk oranının önemli düzeyde artırılabilirdiği gerçekleştirilen ölçümler sonucunda tespit edilmektedir.

Akustik izleme yöntemlerinin ise bu amaçla kullanılan sensörlerin algılama frekansı aralığına da bağlı olarak gürültü yaratan diğer kaynaklardan daha fazla etkilenmesi sebebiyle tek başına kullanıldığında sınırlı düzeyde faydalı bilgi sağlayabildiğini göstermektedir. Gerek yüzey temaslı gerekse temassız sensörler kullanılarak gerçekleştirilen ve Şekil 8-10'da gösterilen transformatör, izolatör ve hücre ölçümlerinde akustik yöntemlere ek olarak diğer yöntemlerden de faydalanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Günümüzde kaliteli, yeterli ve kesintisiz elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç sürekli olarak artmaktadır. Bu nedenle güç sistemi içerisine tesis edilen elektriksel ekipmanların kullanım ömürlerinin artırılması ve işletme sürecindeki maliyetlerin azaltılması, müşterilere sağlanan kaliteli hizmetin sürdürülebilirliği açısından büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmada, orta gerilim güç sistemlerinde arızalardan dolayı meydana gelen enerji kesintilerinin önlenmesi amacıyla uygulanan bakım yöntemleri ve kestirimci bakım çalışmaları kapsamında uygulanan kısmi deşarj tespit yöntemleri ele alınmıştır. Akıllı şebeke teknolojileri içerisinde geliştirilen yeni nesil yaklaşımlar ile günümüzde kestirimci bakım çalışmaları ile oluşabilecek arızaların önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Kestirimci bakım çalışmaları kapsamında farklı sensör teknolojilerinden ve sensörlerin entegre oldukları sürekli izleme sistemlerinden faydalanılmaktadır. Orta gerilim güç sistemi içerisinde arızaların önceden tespiti ve elektriksel ekipmanların durumlarının belirlenebilmesi için kullanılan en etkili yöntemlerden biri kısmi deşarj ölçümleridir. Bu sayede elektriksel ekipmanlarda izolasyon zafiyeti nedeniyle meydana gelebilecek arızalar önceden tespit edilerek uzun süreli enerji kesintilerinin önüne geçilebilir ve ekipman yönetimi yapılabilir. Özellikle güç sistemi bileşeninin izlenmesi için en uygun izleme yöntem ve donanımlarının kullanımı ve elde edilen ölçüm bilgilerinin doğru biçimde değerlendirilmesi ile bu bileşenlerin yüksek düzeyde problemlere sebep olan kısmi deşarj olaylarından korunabilmesi mümkün görülmektedir.

Güç sistemi içerisinde kullanılan sürekli izleme sistemleri ve kısmi deşarj ölçüm sensörlerinin ilk yatırım

Çizelge 3. Kısmi deşarj tespit yöntemlerinin uygulama alanları (Application areas of partial discharge detection methods)

Elektriksel Ekipman	Elektriksel		Elektromanyetik		Akustik	
	HFCT	TEV	UHF	Temaslı	Temassız	
Transformatör	+		+	+		
Hücre	+	+	+	+	+	
Kablo	+					
İzolatör / Buşing					+	

maliyetleri yüksek olsa da sistem güvenilirliği ve ekipman maliyetleri nedeniyle işletme esnasında oluşabilecek arızaların önüne geçilebilmesi adına etkili bir bilgi kaynağı olduğu ortaya çıkmaktadır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Burak ALTIN: Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Wrote the manuscript.

Mehmet Aytaç ÇINAR: Makalenin yazım ve düzenleme işlemlerini gerçekleştirmiştir. / Wrote and arranged the manuscript.

Bora ALBOYACI: Makalenin düzenleme ve koordinasyon işlemlerini gerçekleştirmiştir. / Arranged and coordinated the manuscript.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Aktaş İ.Ş., Menlik T. ve Adnan S., "Akıllı Bir Şebekedeki Risk İndikatörlerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Modellenmesi", *Politeknik Dergisi*, 2: 505–513, (2020).
- [2] Düzgün B., "Türkiye Elektrik İletim ve Dağıtım Şebekesinin Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi ve 2023 Projeksiyonları", *Politeknik Dergisi*, 21: 621–632, (2018).
- [3] 3007.2, "IEEE Recommended Practice for the Maintenance of Industrial and Commercial Power Systems", (2010).
- [4] Biasse J.M., Ferraro V., Brun P., Yang Y. and Wang G., "New Features for MV Switchgear are Now Available to Move to Condition Based Maintenance", *International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, Xi'an, 198-201, (2016).
- [5] Tang J.C.Y. "Condition Monitoring Plans of CLP Power Hong Kong and its Roadmap to Condition Based Maintenance", *International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, Beijing, 627-632, (2018).
- [6] 493, "IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems", (2007).
- [7] A2.37, "Transformer Reliability Survey, Cigre Publication Technical Brochure", (2009).
- [8] Tang S., Hale C. and Thaker H., "Reliability Modeling of Power Transformers with Maintenance Outage". *System Science and Control Engineering*, 2: 316–324, (2014).
- [9] Kumar A., Singh K.S. and Husain Z., "Root-Cause Analysis of Transformer Failure Scenario at Power Sub-Station", *Advances in Environmental and Agricultural Science*, Dubai, 265-270, (2015).
- [10] CIGRE Working Group, "An International Survey on Failures in Large Power Transformers" *Elektra*, (1983).
- [11] Higinbotham W. and Higinbotham K., "Review of Medium Voltage Asset Failure Investigations", *POWERTEST*, 1-17, (2018).
- [12] Hainan S., Shijie Y., Chen R., Ling J., Wei Z., Xiao L., Yan G., Ye W., Huijie C. and Xiaotong T., "Transformer Bushing Damage Accident Analysis", *6th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology*, Jinan, 150-157, (2018).
- [13] Stepyani H.I., Arifianto I. and Purnomodi P., "High Voltage Bushing Problems", *International Conference on Electrical Engineering and Informatic*, Bandung, 1-4, (2011).
- [14] Colon V.R.G., "Restoring Reliability of Aged Bushings", *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, Virginia Beach, 89-91, (2009).
- [15] CIGRE Working Group, "Final Report of the 2004-2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment: Part 2 – Reliability of High Voltage SF6 Circuit Breakers" *CIGRE TB 510*, (2012).
- [16] Blokhintsev I., Patterson C.L., Cassidy B.J. and Loesch A.H., "Advantage of On-Line Partial Discharge Continuous Monitoring of Medium Voltage Substations", *IEEE Electrical Insulation Conference*, Montreal, 153-158, (2009).
- [17] Gomez F.A., Sanchez R., Vecino F.G. and Arrabe R.G., "Diagnosis of Insulation Condition of MV Switchgears", *Sensors*, 18(3): 1-20, (2018).
- [18] Fuangsoongnern U., Plueksawan W. and Tikakosol K., "A Measurement Technique to Identify and Locate Partial Discharge in Transformer with AE and HFCT", *IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia*, Kuala Lumpur, 1-6, (2014).
- [19] Yamashita K., Watanuki S., Miyake T., Sakoda T and Kawano W., "Development of On-Line Partial Discharge Locator for Electric Power Cable", *IEEE Electrical Insulation Conference*, San Antonio, 1-4, (2018).
- [20] Nedphokaew S., Pukjariin S. and Boonthienthong M., "Analysis of Electric Field Values in 24 kV High Voltage Power Cable with Program for Finding Partial Discharge Values", *International Conference on Power, Energy and Innovations*, Pattaya, 1-4, (2019).
- [21] Paoletti G.J. and Herman G., "Monitoring of Electrical Equipment Failure Indicators and Zero-Planned Outages: Past, Present and Future Maintenance Practices", *Industry Applications Society 60th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, Chicago, 1-9, (2013).
- [22] IEC 60270, "High-Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements", (2000).
- [23] ndb Technologies, "XDP-II Expert Partial Discharge Detector Product Brochure", (2019)