T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALTERNATİF VE DARBE YÜKSEK GERİLİMLERİ İLE YAŞLANDIRILMIŞ ORTA GERİLİM YERALTI KABLOLARININ PERFORMANS ANALİZİ

Cihat Çağdaş UYDUR

DOKTORA TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Tesisleri Programı

Danışman

Doç. Dr. Oktay ARIKAN

Aralık, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALTERNATİF VE DARBE YÜKSEK GERİLİMLERİ İLE YAŞLANDIRILMIŞ ORTA GERİLİM YERALTI KABLOLARININ PERFORMANS ANALİZİ

Cihat Çağdaş UYDUR tarafından hazırlanan tez çalışması 07.12.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Oktay ARIKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Oktay ARIKAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Altuğ BOZKURT, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Bülent ORAL, Üye
Marmara Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Oktay ARIKAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Alternatif ve Darbe Yüksek Gerilimleri ile Yaşlandırılmış Orta Gerilim Yeraltı Kablolarının Performans Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Cihat Çağdaş UYDUR

İmza

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün FDK-2020-3897 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Kızım Havva Asya'ya…

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, XLPE yalıtımlı orta gerilim yeraltı kabloları alternatif ve darbe yüksek gerilimlerii ile yaşlandırılmıştır. Kabloların performansını izlemek için dielektrik parametre ölçümü ve kısmi boşalma ölçümü olmak üzere iki farklı tanı yöntemi kullanılmıştır. Deneysel uygulamalarda, ölçümlerden elde edilen veriler kullanılarak en küçük kareler yöntemi, karar ağaçları ve yapay sinir ağları algoritmaları ile kablo performansı ara değer ve dış değer tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmam sırasında, akademik olarak yol göstericim olan Doç. Dr. Oktay ARIKAN'a, fikirleri ve bilgileri ile bana destek sunan tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye ve Dr. Öğr. Üyesi Altuğ BOZKURT'a çok teşekür ederim. Ayrıca, laboratuvardaki çalışmalar sırasında desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Celal Fadıl KUMRU'ya, Araş. Gör. Dr. Barış KÜÇÜKAYDIN'a, Öğr. Gör. Bekir DURSUN'a, Araş. Gör. Fırat AKIN'a ve Elektrik Yüksek Mühendisi Mücahit BÖCÜ'ye de çok teşekkür ederim. Tezime verdikleri maddi destek dolayısıyla Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'ne olan minnettarlığımı belirtmek isterim.

Doktora çalışmam sırasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Cevat UYDUR'a ve annem Necla UYDUR'a yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim. Yoğun çalışma saatlerimde, motivasyonumu ve disiplinimi kaybetmemi engelleyen sevgili eşim Ayça UYDUR'a gösterdiği sabır ve anlayış için çok teşekkür ederim.

Cihat Çağdaş UYDUR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ix

KISALTMA LİSTESİ x

ŞEKİL LİSTESİ xi

TABLO LİSTESİ xvi

ÖZET xxiii

ABSTRACT xxv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti ... 2

1.1.1 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırmaya Yönelik Literatür İncelemesi ... 3

1.1.2 Darbe Yüksek Gerilimi İle Yaşlandırmaya Yönelik Literatür İncelemesi ... 4

1.1.3 Isıl Yaşlandırmaya Yönelik Literatür İncelemesi ... 6

1.1.4 Mekanik Yaşlandırma Süreçlerine Yönelik Literatür İncelemesi ... 9

1.1.5 Diğer Yaşlandırma Süreçlerine Yönelik Literatür İncelemesi ... 10

1.2 Tezin Amacı ... 12

1.3 Orjinal Katkı ... 13

2 YAŞLANDIRMA YÖNTEMLERİ 15

2.1 Yeraltı Kablolarında Yaşlanma Mekanizması ... 15

2.1.1 Alternatif Yüksek Gerilimin Yaşlanma Mekanizmasına Etkisi ... 17

2.1.2 Darbe Yüksek Geriliminin Yaşlanma Mekanizmasına Etkisi ... 19

2.1.3 Sıcaklık Artışının Yaşlanma Mekanizmasına Etkisi ... 21

2.1.4 Mekanik Kuvvetlerin Yaşlanma Mekanizmasına Etkisi ... 22

2.2 Yaşlandırma Yöntemleri ... 23

2.2.1 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırma Yöntemleri ... 23

2.2.2 Darbe Yüksek Gerilimi İle Yaşlandırma Yöntemleri ... 26

2.2.3 Isıl (sıcaklık etkisi ile) Yaşlandırma Yöntemleri ... 27

2.2.4 Mekanik Kuvvet İle Yaşlandırma Yöntemleri ... 29

2.2.5 Diğer Yaşlandırma Yöntemleri ... 31

3 DİELEKTRİK TANI YÖNTEMLERİ 33

3.1 Kısmi Boşalma (KB) ... 33

3.2 Dielektrik Kayıp Faktörü (tanδ) ... 36

3.3 Dielektrik Spektroskopi (DS) 41
3.4 Zaman Domeninde Reflektrometri (ZDR) 44
3.5 DA Kaçak Akım 46
3.6 Dielektrik Dayanım 47
3.7 Kurtarma Gerilimi 49
4 ANALİZ YÖNTEMLERİ 52
4.1 Sayısal Analiz 54
4.2 Karar Ağaçları (KA) 56
4.3 Yapay Sinir Ağları (YSA) 59
5 DENEYSEL UYGULAMALAR 63
5.1 Kablo Numunelerinin Hazırlanması 64
5.2 Yaşlandırma Düzenekleri 64
5.2.1 Alternatif Yüksek Gerilim ile Yaşlandırma 65
5.2.2 Darbe Gerilim ile Yaşlandırma 66
5.3 Ölçüm Sistemleri 68
5.4 Ölçüm Sonuçları 70
5.4.1 Başlıklı Kablo Numuneleri 71
5.4.2 Başlıksız Kablo Numuneleri 149
5.5 Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi 174
5.5.1 Kablo Numunelerinin Değerlendirmesi 174
5.5.2 Yaşlandırma İşlemlerinin Değerlendirilmesi 175
5.5.3 Dielektrik Tanı Yöntemlerinin Değerlendirilmesi 176
5.5.4 Kablo Başlığında Meydana Gelen Kusur 177
6 TAHMİN VE ANALİZ UYGULAMALARI 180
6.1 Veri Setinin Oluşturulması 181
6.2 Ara Değer Analizi 183
6.2.1 Senaryo A-1: $3*U_0$ Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Ara Değer Analizi 183
6.2.2 Senaryo A-2: $5*U_0$ Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Ara Değer Analizi 186
6.2.3 Senaryo A-3: Darbe Gerilimi İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Ara Değer Analizi 190
6.3 Dış Değer Analizi 193
6.3.1 Senaryo D-1: $3*U_0$ Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dış Değer Analizi 193

6.3.2 Senaryo D-2: 5*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dış Değer Analizi 196
6.3.3 Senaryo D-3: Darbe Gerilimi İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dış Değer Analizi 199
6.3.4 Senaryo D-4: 3*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dinamik Olarak Son Çevrim Değer Analizi 202
6.3.5 Senaryo D-5: 5*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dinamik Olarak Son Çevrim Değer Analizi 203
6.3.6 Senaryo D-6: Darbe Gerilimi İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dinamik Olarak Son Çevrim Değer Analizi 204
6.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi 205
7 SONUÇ VE ÖNERİLER **208**
KAYNAKÇA **213**
A 6/10 kV KABLOLAR İÇİN ANALİZ SONUÇLARI **222**
B ANALİZ UYGULAMA KODLARI **231**
C CPC100 VE MPD600 TEKNİK ÖZELLİKLERİ **269**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **272**

SİMGE LİSTESİ

ω	Açısal Frekans
ε_r	Bağıl Dielektrik Katsayısı
d	Boşluk Boyutu
I_{depol}	Depolarizasyon Akımı
P_k	Dielektrik Kayıp
tanδ	Dielektrik Kayıp Faktörü
D	Dielektrik Tanı Faktörü
R	Direnç
I_R	Direnç Akımı
U_C	Doğru Gerilim Genliği
T_d	Elektriksel Boşalan Gerilim Süresi
χ	Gaz Derecesi
β	Gaz İletkenliği
U	Gerilim
p	İç Basınç
C	Kablo Kapasitesi
I_C	Kapasite Akımı
Z_0	Karakteristik Empedans
Gini	Kazanç Endeks Değeri
V_{PD}	Kısmi Boşalma Olay Gerilimi
I_{pol}	Polarizasyon Akımı
Z_d	Süreksizlik Empedansı
I	Toplam Akım
Net	Transfer Fonksiyonu
T_c	Uygulanan Gerilim Süresi
c	Veri Kümesi
P_j	Veri Örneği
ρ	Yansıma Katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

ÇDF	Çok Düşük Frekans
ÇYF	Çok Yüksek Frekans
DA	Doğru Akım
DG	Delinme Gerilimi
DPA	Depolarizasyon Akımı
DS	Dielektrik Spekstroskopi
EA	Elektrik Alan
EKKY	En Küçük Kareler Yöntemi
EPR	Etilen Propilen Kauçuk (Ethilen Propilen Rubber)
DYPE	Düşük Yoğunluklu Poli Etilen
FÇKB	Faz Çözünümlü Kısmi Boşalma
FDKS	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi
FTK	Fark Taramalı Kalorimetre
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
IEEE	Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
KA	Karar Ağacı
KB	Kısmi Boşalma
KBBG	Kısmi Boşalma Başlangıç Gerilimi
KÇA	Kaçak Akım
KİYK	Kağıt Yalıtımlı Yeraltı Kablosu
OG	Orta Gerilim
PA	Polarizasyon Akımı
PE	Poli Etilen
TEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XLPE	Çapraz Bağlı Poli Etilen (Cross-link Poli Etilen)
YEK	Yağ Emdirilmiş Kağıt
YG	Yüksek Gerilim
YSA	Yapay Sinir Ağları
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Poli Etilen
ZDR	Zaman Domeninde Reflektometre

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Yaşlanma mekanizmasının şematik gösterimi 16
Şekil 2.2 Kablo yalıtkanı içerisinde meydana gelen elektrik alan dağılımı 17
Şekil 2.3 Kablo yalıtkanı içerisinde bulunan kusurlar 18
Şekil 2.4 Alternatif yüksek gerilim etkisi ile meydana gelen yaşlanma mekanizması 19
Şekil 2.5 Kablo yalıtkanı içerisinde meydana gelen su ve elektrik ağaçları.....20
Şekil 2.6 Darbe gerilimi etkisi ile meydana gelen yaşlanma mekanizması 21
Şekil 2.7 Kablo iletken sıcaklığının kablo yalıtkanı üzerindeki etkisi.....21
Şekil 2.8 Sıcaklık etkisi ile meydana gelen yaşlanma mekanizması.....22
Şekil 2.9 Mekanik kuvvet etkisi ile meydana gelen yaşlanma mekanizması 23
Şekil 3.1 Kısmi boşalma eşdeğer devresi [87] 35
Şekil 3.2 Yalıtkan malzemede oluşan polarizasyonlar.....38
Şekil 3.3 Yalıtkan malzemeye ait eşdeğer devre ve fazör diyagramı 39
Şekil 3.4 Frekansa bağlı polarizasyon türleri [92] 42
Şekil 3.5 Polarizasyon ve depolarizasyon akımları [2] 43
Şekil 3.6 ZDR ölçümüne ait blok diyagram.....44
Şekil 3.7 Kablo empedansında meydana gelen değişimler [68] 46
Şekil 3.8 Kablo yalıtkanı içerisindeki kaçak akım yönelimleri 47
Şekil 3.9 Dielektrik dayanım testi şematik gösterimi [81].....48
Şekil 3.10 Kurtarma gerilimi deneyinin uygulama prosedürü [81] 50
Şekil 4.1 Veri analizinde kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması [95].....53
Şekil 4.2 Sayısal analiz uygulamasına ait işlem adımları [96].....54
Şekil 4.3 Gerçek değer ve tahmin edilen değer arasındaki farklar [98], [99].....55
Şekil 4.4 Karar ağacı algoritması 57
Şekil 4.5 Karar ağacı dallanma yapısı örneği 58
Şekil 4.6 Çok katmanlı yapay sinir ağlarının yapısı.....60
Şekil 4.7 Yapay sinir hücresi işlem yapısı [106] 60
Şekil 4.8 Sigmoid fonksiyon grafiği [107].....62
Şekil 5.1 Deneysel uygulamaların şematik gösterimi 63
Şekil 5.2 Kablo başlığı montaj aşamaları.....64

Şekil 5.3 Yaşlandırma prosedürlerine ait şematik gösterim.....65
Şekil 5.4 Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma düzeneği bağlantı şeması....66
Şekil 5.5 Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma düzeneği.....66
Şekil 5.6 Darbe gerilimi ile yaşlandırma düzeneği bağlantı şeması.....67
Şekil 5.8 Darbe gerilim üreteci deney düzeneği.....68
Şekil 5.9 OMICRON ölçüm cihazları.....68
Şekil 5.10 OMICRON CPC100/CPTD1 bağlantı şeması.....69
Şekil 5.11 OMICRON MPD600 bağlantı şeması [109].....69
Şekil 5.12 Test transformatörü KB ölçüm sonuçları.....70
Şekil 5.13 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları.....72
Şekil 5.14 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları.....75
Şekil 5.15 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları.....77
Şekil 5.16 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranları....79
Şekil 5.17 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçüm sonuçları.....81
Şekil 5.18 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları.....82
Şekil 5.19 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları.....84
Şekil 5.20 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları.....86
Şekil 5.21 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları.....89
Şekil 5.22 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranları.....90
Şekil 5.23 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçümü ve KBBG değişim oranları.....93
Şekil 5.24 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları.....94
Şekil 5.25 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları.....95

Şekil 5.26 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları.....98

Şekil 5.27 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları 100

Şekil 5.28 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranları 102

Şekil 5.29 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçümü ve KBBG değişim oranları.....104

Şekil 5.30 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları.....105

Şekil 5.31 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları 107

Şekil 5.32 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları.....109

Şekil 5.33 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C ölçüm sonuçları 111

Şekil 5.34 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranları 113

Şekil 5.35 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçümü ve KBBG değişim oranları.....115

Şekil 5.36 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları.....116

Şekil 5.37 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları 117

Şekil 5.38 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları.....120

Şekil 5.39 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları 122

Şekil 5.40 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranları 123

Şekil 5.41 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçüm sonuçları 125

Şekil 5.42 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları.....126

Şekil 5.43 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları 128

Şekil 5.44 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları.....130

Şekil 5.45 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları 132

Şekil 5.46 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranları 134

Şekil 5.47 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçüm sonuçları 136

Şekil 5.48 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları.....137

Şekil 5.49 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları 138

Şekil 5.50 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları.....141

Şekil 5.51 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları.....143

Şekil 5.52 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranları 145

Şekil 5.53 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçüm sonuçları.....147

Şekil 5.54 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları 148

Şekil 5.55 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi P_K değişim oranları.....150

Şekil 5.56 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi tanδ değişim oranları...152

Şekil 5.57 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi C değişim oranları.....155

Şekil 5.58 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi P_K değişim oranları 157

Şekil 5.59 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi tanδ değişim oranları.....160

Şekil 5.60 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi C değişim oranları 163

Şekil 5.61 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi P_K değişim oranları 166

Şekil 5.62 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi tanδ değişim oranları.....169

Şekil 5.63 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi C değişim oranları 172

Şekil 5.64 Kablo başlığında meydana gelen delinme.....178

Şekil 6.1 Analiz uygulamalarının şematik gösterimi 180

Şekil 6.2 $3*U_0$ alternatif YG ile yaşlandırılan kabloda ara değer tahmini 184

Şekil 6.3 $5*U_0$ alternatif YG ile yaşlandırılan kabloda ara değer tahmini 188

Şekil 6.4 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan kabloda ara değer tahmini 191

Şekil 6.5 $3*U_0$ alternatif YG ile yaşlandırılan kabloda dış değer tahmini.....194

Şekil 6.6 $5*U_0$ alternatif YG ile yaşlandırılan kabloda dış değer tahmini.....197

Şekil 6.7 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan kabloda dış değer tahmini.....200

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Numunelere uygulanan alternatif yüksek gerilim yaşlandırma süreçleri 25

Tablo 2.2 Numunelere uygulanan darbe yüksek gerilimi yaşlandırma süreçleri. 27

Tablo 2.3 Numunelere uygulanan ısıl yaşlandırma süreçleri 29

Tablo 2.4 Numunelere uygulanan mekanik yaşlandırma süreçleri 30

Tablo 2.5 Numunelere uygulanan diğer yaşlandırma süreçleri 31

Tablo 3.1 KB yöntemine ait avantajlar ve dezavantajlar [2] 36

Tablo 3.2 Tanδ yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2] 41

Tablo 3.3 DS yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2] 44

Tablo 3.4 ZDR yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2] 45

Tablo 3.5 DA kaçak akım yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2] 47

Tablo 3.6 Dielektrik dayanım yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2] 49

Tablo 3.7 Kurtarma gerilimi yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2] 51

Tablo 5.1 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları 73

Tablo 5.2 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 74

Tablo 5.3 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları 76

Tablo 5.4 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları 77

Tablo 5.5 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları 78

Tablo 5.6 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları 78

Tablo 5.7 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 79

Tablo 5.8 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 80

Tablo 5.9 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ölçüm sonuçları.....83

Tablo 5.10 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları 85

Tablo 5.11 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 85

Tablo 5.12 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları87

Tablo 5.13 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları 88

Tablo 5.14 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları 89

Tablo 5.15 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları 90

Tablo 5.16 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 91

Tablo 5.17 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 92

Tablo 5.18 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ve KBBG ölçüm sonuçları 92

Tablo 5.19 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları 96

Tablo 5.20 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 97

Tablo 5.21 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları99

Tablo 5.22 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları 99

Tablo 5.23 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları 100

Tablo 5.24 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları 101

Tablo 5.25 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 103

Tablo 5.26 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 103

Tablo 5.27 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ve KBBG ölçüm sonuçları 106

Tablo 5.28 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları 108

Tablo 5.29 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 108

Tablo 5.30 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları.....110

Tablo 5.31 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları.....110

Tablo 5.32 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları ..112

Tablo 5.33 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları .112

Tablo 5.34 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları ..114

Tablo 5.35 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları .114

Tablo 5.36 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ve KBBG ölçüm sonuçları 117

Tablo 5.37 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları 119

Tablo 5.38 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 119

Tablo 5.39 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları121

Tablo 5.40 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları 121

Tablo 5.41 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları 122

Tablo 5.42 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları 123

Tablo 5.43 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 124

Tablo 5.44 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 125

Tablo 5.45 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ölçüm sonuçları.....127

Tablo 5.46 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları 129

Tablo 5.47 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 129

Tablo 5.48 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları131

Tablo 5.49 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları 131

Tablo 5.50 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları 133

Tablo 5.51 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları 133

Tablo 5.52 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 135

Tablo 5.53 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 135

Tablo 5.54 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) sonuçları 136

Tablo 5.55 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları .139

Tablo 5.56 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 140

Tablo 5.57 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları.....142

Tablo 5.58 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları.....143

Tablo 5.59 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları 144

Tablo 5.60 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları .144

Tablo 5.61 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları 145

Tablo 5.62 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları .146

Tablo 5.63 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ölçüm sonuçları.....149

Tablo 5.64 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları 151

Tablo 5.65 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 152

Tablo 5.66 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları 154

Tablo 5.67 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları 154

Tablo 5.68 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları 156

Tablo 5.69 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de C ölçüm sonuçları 156

Tablo 5.70 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları 158

Tablo 5.71 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 159

Tablo 5.72 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları 161

Tablo 5.73 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları 162

Tablo 5.74 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları 164

Tablo 5.75 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de C ölçüm sonuçları 165

Tablo 5.76 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları 167

Tablo 5.77 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları 168

Tablo 5.78 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları 170

Tablo 5.79 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları 171

Tablo 5.80 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları 172

Tablo 5.81 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de C ölçüm sonuçları 173

Tablo 5.82 Anma gerilimi ve frekansında yapılan ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....179

Tablo 6.1 Algoritmaların yapısal özellikleri 181

Tablo 6.2 Kablo bilgilerine ait veri örneği.....182

Tablo 6.3 Yaşlandırma bilgilerine ait veri örneği 182

Tablo 6.4 Ölçüm bilgileri verisi.....183

Tablo 6.5 Senaryo A-1 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları.....185

Tablo 6.6 Senaryo A-2 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları.....189

Tablo 6.7 Senaryo A-3 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları.....192

Tablo 6.8 Senaryo D-1 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları 195

Tablo 6.9 Senaryo D-2 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları 198

Tablo 6.10 Senaryo D-3 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları 201

Tablo 6.11 Senaryo D-4 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları 202

Tablo 6.12 Senaryo D-5 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları 203

Tablo 6.13 Senaryo D-6 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları 204

Tablo 6.14 A1-A2-A3-D1-D2-D3 senaryolarının hata oranları.....206

ÖZET

Alternatif ve Darbe Yüksek Gerilimleri ile Yaşlandırılmış Orta Gerilim Yeraltı Kablolarının Performans Analizi

Cihat Çağdaş Uydur

Elektrik Mühendisliği Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Oktay ARIKAN

Orta gerilim yeraltı kabloları, kablo ekleri, kablo başlıkları ve benzeri donanımların dielektrik davranışlarının izlenmesi ile farklı çalışma şartları altındaki performanslarının analizi güç sistemlerinin kesintisiz, arızasız, ekonomik ve güvenilir bir biçimde işletilmesi açısından oldukça önemlidir.

Literatürde bulunan çalışmalarda, kablo sistemlerinin işletilmesinde meydana gelen koşulları simüle etmek için laboratuvar çalışmalarında alternatif yüksek gerilim, darbe gerilimi, sıcaklık etkisi ve mekanik kuvvetler ile hızlı yaşlandırma prosedürleri kullanılmaktadır. Yaşlandırma işlemleri sırasında, kabloların dielektrik performansının değerlendirmesi için dielektrik kayıp faktörü, reflektometre, kısmi boşalma ve benzeri tanı yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Yaşlandırma işlemlerinin kablo yalıtkanı üzerindeki etkileri değerlendirilirken yaşlandırma öncesi ve sonrası ölçüm sonuçları dikkate alınarak, ara değerler göz ardı edilmektedir. Bu yüzden, darbe gerilimi veya alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılan kablonun, dielektrik performansının belirli periyotlarla ölçülerek dielektrik davranışının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte,

güç sistemlerinde bulunan harmonik bileşenlerin kablo üzerinde meydana getirdiği yıpranmalar ve dielektrik malzemenin gerilim harmonikleri altındaki performanslarının incelenmesi konusunda, literatürde yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümü Yüksek Gerilim Laboratuvarı imkanları kullanılarak 6/10 kV ve 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı orta gerilim yeraltı kabloları üzerinde yaşlandırma işlemleri gerçekleştirilmiş ve kabloların dielektrik performansı tahmin edilmiştir. Yaşlandırma işlemlerinde, alternatif yüksek gerilim ve yıldırım darbe gerilimi (1.2/50 μs, pozitif kutuplu) kullanılmıştır. Kablolar üzerinde, OMICRON CPC100/CPTD1 ölçüm cihazı ile dielektrik parametreler (kablo kapasitesi, dielektrik kayıp ve dielektrik kayıp faktörü) ve OMICRON MPD600 kiti ile kısmi boşalma ölçümü yapılmıştır. Böylelikle, alternatif yüksek gerilim ve darbe geriliminin dielektrik malzeme üzerindeki etkileri belirlenmiş ve yaşlandırmaya bağlı olarak kabloların dielektrik davranışı ortaya çıkarılmıştır. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında, dielektrik tanı yöntemlerinin etkinliği irdelenmiştir. Deneysel uygulama ile elde edilen veriler kullanılarak, en küçük kareler yöntemi, karar ağaçları ve yapay sinir ağları algoritmaları ile ara değer ve dış değer tahmin analizleri gerçekleştirilmiştir. Tahmin algoritmalarının başarı oranları karşılaştırılmış ve ölçüm sonuçlarının, öngörülebilirliği sınanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alternatif yüksek gerilim, dielektrik kayıplar, kısmi boşalma, orta gerilim yeraltı kabloları, yıldırım darbe gerilimi

ABSTRACT

Performance Analysis of Medium Voltage Underground Cables Aged with Alternating and Impulse High Voltages

Cihat Çağdaş UYDUR

Department of Electrical Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Oktay ARIKAN

Monitoring the dielectric behavior of medium voltage underground cables, cable splices, cable terminations and similar equipment and evaluating their performance under different operating conditions are very important in terms of uninterrupted, fault-free, economic and reliable operation of power systems.

In studies in the literature, rapid aging procedures are used in laboratory studies to simulate the conditions that occur in the operation of cable systems, with overvoltage, impulse stress, temperature effect and mechanical forces. During the aging processes, dielectric loss factor, reflectometry, partial discharge and similar diagnostic methods are used to evaluate the dielectric performance of the cables. While evaluating the effects of aging processes on the cable insulaton, intermediate values are ignored considering the measurement results before and after aging. Therefore, there is a need to determine the dielectric behavior of the cable aged by impulse voltage or overvoltage by measuring the dielectric performance of the cable at certain intervals. However, there is a need for new studies in the literature on the wear of the harmonic components in power systems

on the cable and the examination of the performance of the dielectric material under voltage harmonics.

Within the scope of the thesis, aging processes were carried out on XLPE insulated medium voltage underground cables with a rated voltage of 6/10 kV and 12/20.8 kV using Yıldız Technical University Electrical Engineering Department High Voltage Laboratory facilities and the dielectric performance of the cables was estimated. Overvoltage and lightning impulse voltage (1.2/50 μs, positive polarity) were used in aging processes. On the cables, dielectric parameters (cable capacity, dielectric loss and dielectric loss factor) were measured with the OMICRON CPC100/CPTD1 measuring device and partial discharge measurements were made with the OMICRON MPD600 kit. Thus, the effects of overvoltage and impulse voltage on the dielectric material were determined and the dielectric behavior of the cables due to aging was revealed. During the evaluation of the measurement results, the effectiveness of dielectric diagnostic methods was examined. Intermediate value and external value estimation analyzes were carried out with the data obtained by the experimental application, the least squares method, decision trees and artificial neural network algorithms. The success rates of the estimation algorithms were compared and the predictability of the measurement results was tested.

Keywords: Dielectric losses, lightning impulse voltage, medium voltage underground cables, overvoltage, partial discharge

1
GİRİŞ

Orta gerilim (OG) dağıtım sistemlerinde kullanılan cihaz ve donanımlar dikkate alındığında, enerji iletimini sağlayan ve sistemin bel kemiğini oluşturan güç kablolarının en temel elemanlardan biri olduğu görülmektedir. Bunun nedenleri, enerjiyi taşıyan eleman olmaları, yatırımlarının pahalı olması ve arızalanmaları durumunda; enerji kesintilerine, sistem kalitesinin ve sürekliliğinin bozulmasına, hem dağıtım şirketi hem de tüketici tarafında ciddi ekonomik kayıplara sebebiyet vermesi olarak sıralanabilir. Bu sebeple, OG kablolarının işletmede kaldıkları süre boyunca güvenilir ve arızasız bir biçimde işletilmesi, ömürlerinin olabildiğince uzun olması büyük öneme sahiptir. Bir OG yeraltı kablosunun ömrünü tamamlamasının, yaşlanmasının veya kablo üzerinde arıza meydana gelmesinin elektriksel, ısıl, kimyasal ve fiziksel zorlanmalardan kaynaklandığı bilinmektedir. Bu zorlanmaların gerçekleşme sıklığı/ihtimali birbirlerinden farklı olup literatürde ve uygulamada en çok karşılaşılanları; alternatif yüksek gerilim, darbe gerilimi, ısıl ve mekanik kuvvetlerin meydana getirdiği zorlanmalardır.

Kablo yalıtkanı alternatif yüksek gerilime veya darbe gerilimine maruz kaldığında, meydana gelen yüksek elektrik alan nedeniyle yalıtkan malzeme içerisindeki kimyasal bağlar zorlanmakta, zayıflamakta ve zamanla ömrü azalmaktadır [1]. Şebekede meydana gelen kısa devre arızaları sebebiyle yükselen akım değeri, kablo iletken sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Artan sıcaklık ile birlikte kablo yalıtkanı ısıl olarak olumsuz etkilenerek, yalıtkan malzemenin dielektrik dayanımı azalmaktadır. Kablo sistemlerinin montajı ve işletimi sırasında meydana gelen bükülme, ezilme vb. mekanik etkilerin kablo üzerinde yarattığı kusurlar sonucunda yalıtkan malzeme zarar görmektedir. Bu durum, kablonun dielektrik dayanımını doğrudan etkilemektedir. Kablonun mevcut durumunun ve kalan ömrünün değerlendirilmesi açısından IEEE 400 kılavuzunda pek çok dielektrik tanı yöntemi belirtilmiştir [2]. Bu yöntemlerin temel amacı, kablonun nominal

çalışma şartları altında zaman içerisinde maruz kaldığı tüm zorlanmaların kabloyu, kablo başlığını ve kablo eklerini hangi ölçüde yıprattığının belirlenmesidir.

Bu çalışmada, 6/10 kV ve 12/20.8 kV gerilimli çapraz bağlı polietilen (XLPE) yalıtımlı OG kablo numuneleri, alternatif yüksek gerilim ve yıldırım darbe gerilimi ile yaşlandırılmıştır. Dielektrik parametreler (P_K, tanδ ve C) ve kısmi boşalma (KB) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm verilerinden yararlanarak yapay sinir ağları (YSA), karar ağaçları (KA) ve en küçük kareler yöntemi (EKKY) algoritmaları ile kablo dielektrik parametrelerinin ara değer ve dış değer tahmin analizleri yapılmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Literatürde, yeraltı kablo sistemlerinin uzun yıllar boyunca işletmede maruz kalabileceği elektriksel etkileri araştırmak üzere, kablo sisteminin davranışını inceleyen ve/veya çeşitli yaşlandırma tekniklerinin kullanıldığı çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan yaşlandırma teknikleri; alternatif yüksek gerilim, darbe gerilimi, mekanik kuvvetler ve ısıl yaşlandırma olarak özetlenebilir. Alternatif yüksek gerilim; kablonun anma geriliminden daha yüksek bir gerilim seviyesi kullanılmasıyla elde edilirken, darbe gerilimi; test numunesinin belirli sayıda anahtarlama veya yıldırım darbe gerilimine maruz kalmasıyla uygulanmaktadır. Mekanik kuvvetler; bükme, basma ve çekme kuvvetlerinin kablolara uygulanmasıyla kullanılırken, ısıl yaşlandırma; kablonun yalıtkan malzemesinin farklı yöntemler yardımıyla yüksek sıcaklıklara maruz kalmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, bu çalışmalarda çoğunlukla kısmi boşalma (KB) ve dielektrik parametreler (P_K, tanδ ve C) ölçümü olmak üzere birbirinden farklı tanı yöntemleri kullanılmıştır. Kablo yalıtkanı üzerinde fiziksel ve kimyasal davranış analizleri veya simülasyon ile elektrik alan (EA) analizi yapılan çalışmaları da literatürde sıkça görmek mümkündür. Bu bağlamda, literatürde yapılan çalışmaları kullanılan yaşlandırma yöntemine göre sınıflandırarak incelemek daha tutarlı bir analize imkan tanıyacaktır.

1.1.1 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırmaya Yönelik Literatür İncelemesi

1996 yılında Das-Dupta, nemli bir ortamda ve sabit elektrik alan altında çapraz bağlı polietilen (XLPE) ve düşük yoğunluklu polietilenin (DYPE) yaşlanma mekanizmalarını incelemek için elektrik alan (EA) polarizasyonu ve dielektrik gevşeme davranışını kullanmıştır [3]. Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırdığı numuneleri incelemek için polarizasyon akımı (PA) analizi yapmıştır. XLPE kablo örneklerinin ve DYPE yassı örneklerin dielektrik davranışı, hem düşük frekanslı yük alışverişinin hem de yüksek frekanslı şarj hareketinin varlığını gösterdiğini belirtmiştir. 2004 yılında Guastavino, XLPE yalıtkan örnekleri üzerinde alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma işleminden sonra sivri uç elektrot sistemini kullanarak KB ölçümleri gerçekleştirmiştir [4]. Ek olarak, alternatif yüksek gerilimin sebep olduğu elektrik ağaçları oluşumunun aşamalarını ortaya koymuştur. 2007 yılında Florkowska, epoksi reçine numunelerini 3*KBBG değerinde gerilim ile 720 saat yaşlandırarak KB ölçümleri gerçekleştirmiştir [5]. Farklı elektrot sistemlerinin ölçüm sonuçlarına etkisini incelemiştir. Ayrıca, ölçüm gerilimi içerisinde bulunan harmonik etkilerin yol açtığı olumsuz sonuçları ortaya koymuştur. 2012 yılında ise, 0.5 mm kalınlığında XLPE ve etilen propilen kauçuk (EPR) numunelerini 400 saat boyunca 10 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırarak KB ve taramalı elektron mikroskobu (TEM) ölçümleri ile tanılama işlemi yapmıştır [6]. Bu durumu benzetim yoluyla da incelemiş ve MATLAB programındaki çalışmasını laboratuvar çalışması ile karşılaştırarak uyumluluk sonuçlarını sunmuştur. 2014 yılında Wong, 11 kV XLPE kablodan başlıksız numuneler oluşturarak, cam ve eğe ile soyma işlemi gerçekleştirmiştir [7]. Sabit stres adı altında $3*U_0$ alternatif yüksek gerilim kullanarak yaşlandırma işleminin ardından KB ölçümleri ile kablo başlığı montajında kullanılacak ekipmanların önemini ortaya koymuştur. 2016 yılında ise, 11 kV yağ emdirilmiş kağıt (YEK) yalıtımlı kablolardan oluşturduğu numuneleri $2*U_0$ gerilim ile delinme gerçekleşene kadar yaşlandırmıştır [8]. Çok düşük frekans (ÇDF) yöntemini kullanarak tanδ ve KB ölçümleri yapmıştır. KB ölçümlerinin arıza tanılamada etkin olduğunu, tanδ ölçümlerinin kablonun genel durumu hakkında bilgi verdiğini belirtmiştir. Her iki ölçümün de birlikte yapılması ve değerlendirilmesi gerektiğini

vurgulamıştır. 2016 yılında He, 10 kV XLPE yalıtımlı kablo numunelerini 47 kV alternatif yüksek gerilim ile 384 saat boyunca yaşlandırmıştır [9]. 150 saatlik çevrimlerde EA'ya bağlı olarak yük yoğunluğu ölçümleri ile alternatif yüksek gerilimin etkisini ortaya koymuştur. Yük yoğunluğunda meydana gelen bozunumların, arıza noktasının tespiti için kullanılabileceğini belirtmiştir. 2017 yılında Dabbak, düşük yoğunluklu poli etilen (DYPE), poli propilen (PP) ve yüksek yoğunluklu poli etilen (YYPE)'den oluşan üç farklı yalıtkan malzemeden numuneler oluşturmuştur [10]. Alternatif yüksek gerilim kullanılarak yaşlandırma işlemi gerçekleştirdikten sonra KB ve tanδ ölçümleri ile malzemelerin dielektrik durumlarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Yüzey boşalmalarında en iyi özellikleri PP'nin gösterdiğini belirtmiştir. 2017 yılında He, 30 kV XLPE kablolardan 12 m uzunluğundaki numuneleri $4*U_0$ alternatif yüksek gerilim ile 200 saat yaşlandırmıştır [11]. Tanδ ölçümleri yaparak, numunelerin dielektrik davranışını incelemiş ve alternatif yüksek gerilimin meydana getirdiği olumsuz etkileri ortaya koymuştur. 2019 yılında ise, 10 yıl boyunca kullanılmış olan 10 kV XLPE kablolardan numuneler oluşturmuş ve 26 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırmıştır [12]. Kablo eklerinde kullanılan yarı iletken malzeme çeşidinin arıza olasılığı üzerindeki etkisini yük yoğunluğuna bağlı olarak incelemiştir. Silikon kauçuk ve asetat malzemeleri ile gerçekleştirilen yük yoğunluğu ölçümlerinde her iki malzemenin de iyi performans gösterdiği fakat, silikon kauçuğun daha üstün olduğunu belirtmiştir.

1.1.2 Darbe Yüksek Gerilimi İle Yaşlandırmaya Yönelik Literatür İncelemesi

2007 yılında Grzybowski, 15 kV XLPE ve EPR yalıtkanlı kablo numuneleri üzerinde darbe gerilimi ile yaşlandırma işlemi yapmıştır [13]. Dakikada bir adet olacak şekilde, 100 kV genlikli darbeleri toplamda 5.000 adet olarak numunelere uygulamıştır. 8 kV gerilimde, sensör kullanarak KB ölçümleri gerçekleştirmiştir. XLPE yalıtkanlı kablo numunelerinin EPR yalıtkanlı kablo numunelerinden %10 oranında daha fazla bozulduğunu belirtmiştir. 2008 yılında ise, dakikada iki adet 100 kV genliğe sahip 5.000 darbe gerilimini XLPE ve EPR yalıtımlı kablo numunelerine uygulamıştır [14], [15]. KB ölçüm sonuçlarını, kısmi boşalma

başlangıç gerilimi (KBBG) ile değerlendirmiştir. Yaşlandırma öncesi duruma göre, KBBG değerlerinin azaldığını ve bu azalmanın da kablolarda meydana gelen yaşlanmanın kanıtı olduğunu söylemiştir. 2009 yılında ise, 15 kV EPR yalıtımlı kablo numuneleri üzerinde darbe gerilimi ile yaşlandırma işlemi yapmıştır [16], [17]. Gruplara ayırdığı numunelerin üzerinde ıslak ve kuru olmak üzere farklı ortam koşullarını sınamıştır. KB ve tanδ ölçümleri yaparak kablo numunelerinde meydana gelen bozunumu incelemiştir. Tanδ değerinin değişmediğini, KB ölçüm sonuçlarının literatürde bulunan çalışmalara benzer artış gösterdiğini belirtmiştir. Son olarak delinme dayanımını sorgulamış ve ıslak kabloların daha kısa sürede delindiğini ortaya koymuştur. 2010 yılında Cao, 15 kV EPR yalıtımlı kablordan 5 m uzunluğunda numune oluşturmuş ve numunelere 52 kV genlikli 13.000 adet darbe gerilimi uygulamıştır [18]. Bin darbelik periyotlarla KB ölçümü yapmış ve KBBG değerlerini izlemiştir. Ek ölçüm yöntemi olarak, fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi (FDKS) yönteminin, kabloların yaşlanma davranışını izlemek için kullanılabilirliğini irdelemiştir. KBBG değerlerinin literatürde bulunan çalışmalara benzer şekilde azaldığını söylemiştir. FDKS ölçümlerinin tutarlı sonuç verdiğini ve kablolar üzerinde kullanılabileceğini belirtmiştir. 2011 yılında ise, 15 kV EPR yalıtımlı kabloların dış yüzeyi su içerisinde olacak şekilde test düzeneği kurmuş ve kablo numunelerini 52 kV genlikli darbe gerilimi ile yaşlandırmıştır [19]. Toplamda 10.000 darbe uygulanan numuneler üzerinde 25 kV gerilimde KB ölçümleri yapmıştır. Yaşlandırılmamış kablo ile kıyaslanan ölçüm sonuçlarında, KBBG değerinin azaldığını, darbe gerilimlerinin bozucu etkisinin ortaya konduğunu ve FDKS ölçümlerinin numunelerde meydana gelen bozunumu belirlemede etkili olduğunu ortaya koymuştur. 2015 yılında ise, 15 kV EPR yalıtımlı kablo numunelerini toplamda 10.000 adet 100 kV genlikli darbe gerilimi ile yaşlandırmıştır [20]. KB ve delinme gerilimi (DG) ölçümleri yaparak kablo numunelerinin davranışını incelemiştir. Ölçüm sonuçlarından yola çıkarak üstel yaşlanma modeli ile ömür analizi yapmıştır. Üstel yaşlanma modelinin parametreleri ile test edilen kablo numunelerinin kalan ömrünü %95 güven aralığı ile tahmin ettiğini belirtmiştir. 2018 yılında Long, 8,7/15 kV XLPE yalıtımlı kablolardan oluşan numueneler üzerinde başlık montajında meydana gelebilecek

kusurları incelemiştir [21]. Bıçak kesiği ve kaçık eksenli başlık montajını yapay olarak oluşturmuştur. Numunelere, 6.000 adet 50 kV genlikli darbe gerilimi uygulamıştır. KB ölçümleri yapmış ve KBBG değerlerini değerlendirmiştir. Kaçık eksenli başlık montajının daha tehlikeli olacağını belirterek, montaj işçiliğinin önemini vurgulamıştır. 2018 yılında Wu, 6/10 kV XLPE yalıtımlı kablolardan 4 metre uzunluğunda numuneler oluşturup, numuneleri kablo ekleri ile birbirine bağlamıştır [22]. 5 dakika anma gerilimine maruz bırakılan numunelere 35 saniye süre ile geçici darbe gerilimi uygulamıştır. Kablo numunelerinin durum değerlendirmesini KB ölçümleri ile yapmıştır. KBBG değerlerini kullanarak geçici darbelerin kablo ekleri üzerindeki olumsuz etkisini yorumlamıştır. KB olaylarının darbe gerilimleri tarafından tetiklendiğini ve kablo eki montaj işçiliğinin önemini vurgulamıştır. 2019 yılında Souza, 15 kV anma gerilimine sahip XLPE ve YYPE yalıtkanlı kablolardan numuneler oluşturmuştur [23]. Numuneler üzerinde 10 kV darbe gerilimi ile yaşlandırma işlemi yapmıştır. Kabloların durumunu değerlendirmek için DG ölçümlerini kullanmıştır. XLPE ve YYPE malzemeleri arasında %60'a varan davranış farklılıklarının olduğunu, XLPE yalıtkanlı kabloların daha iyi performans sergilediğini belirtmiştir.

1.1.3 Isıl Yaşlandırmaya Yönelik Literatür İncelemesi

2000 yılında Mecheri, XLPE yalıtkan numuneleri üzerinde 80-100-120-140 °C sıcaklıklarda 5.000 saat süre ile ısıl yaşlandırma işlemi gerçekleştirmiştir [24]. 2 kV gerilim altında tanδ ölçümleri yapmıştır. Isıl yaşlandırma işleminin XLPE malzeme üzerindeki olumsuz etkisini ortaya koymuştur. 2009 yılında Boukezzi, 18/30 kV XLPE yalıtımlı kablolardan 7,5 cm boyunda numuneler oluşturmuştur [25]. Kablolar üzerinde 80-100-120-140 °Csıcaklıklarda 500 saat süre ile ısıl yaşlandırma işlemi gerçekleştirmiştir. Mekanik gerilme dayanımı ölçümleri ile numunelerin durumunu izlemiştir. Üstel yaşlanma modeli ve Arrhenius denklemini kullanarak ömür analizleri yapmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırma işlemlerinde XLPE kablolarına ait mekanik özelliklerin güçlü bir şekilde azalacağını belirtmiştir. 2010 yılında Mecheri, XLPE yalıtkan malzeme üzerinde 20-140 °Csıcaklıklarda ve %100 nem oranında 5.600 saat yaşlandırma işlemi

yapmıştır [26]. 2 kV gerilimde tanδ ölçümleri ve FDKS ölçümleri gerçekleştirmiştir. Nem oranının dielektrik katsayısını (ε) etkilemediğini, sıcaklık değerinin ise tanδ değerini arttırarak olumsuz yönde etkilediğini vurgulamıştır. Islak koşullar altında, FDKS ölçümlerinin daha etkin olduğunu belirtmiştir. 2012 ve 2013 yılında ise Boukezzi, geçmiş çalışmalarından elde ettiği verileri kullanarak, yapay sinir ağları (YSA) algoritması yardımıyla tahmin işlemi yapmıştır [27], [28]. 80-100 °Csıcaklıklarına ait 2.000 saat ölçüm verileri ile 80-100-120-140 °Csıcaklıktaki mekanik gerilme dayanımı değerleri için tahmin işlemi gerçekleştirmiştir. İşlemler sırasında, YSA için farklı transfer fonkisyonlarını sınamıştır. Tüm fonksiyonlar için sonuçların kabul edilebilir olduğunu ve tahmin analizlerinde kullanılabileceğini belirtmiştir. 2013 yılında Cao, 15 kV EPR yalıtımlı kablodan oluşturduğu numuneler üzerinde 105-140-165-190 °Csıcaklıklarda ısıl yaşlandırma işlemi uygulamıştır [29]. Elektrik alan (EA) dağılımı incelemesi yaparak Crine modeli ile ömür analizi gerçekleştirmiştir. %63 doğruluk payı elde ettiğinden dolayı, sonuçların tutarlı olmadığını ve kullanılamayacağını belirtmiştir. 2014 yılında Bessissa, XLPE yalıtkan malzeme numunelerini 80-100-120 °Csıcaklıklarda 2.500 saat süre ile yaşlandırmıştır [30]. Çekme dayanımı ölçümleri ile malzeme durumlarını izlemiş ve bulanık mantık yöntemi ile ölçüm sonuçlarını tahmin etmiştir. Tahmin sonuçlarının %5'ten düşük hata oranına sahip olduğunu ve bulanık mantık yöntemi kullanmanın ekonomik olarak avantaj sağlayacağını belirtmiştir. 2015 yılında Conlan, 10 kV XLPE kablodan oluşturduğu numuneleri HD605-S:2 standardındaki metot 7'ye göre 55 °Csıcaklıkta 500 saat süre ile yaşlandırmıştır [31]. Yaşlandırma işlemi sırasında su içerisinde bulunan numuneler üzerinde TEM ile su ağaçlanmasını izlemiştir. Nunumelerde meydana gelen su ağaçlarını sınıflandırarak oluşma sebeplerini belirtmiştir. 2015 yılında Liu, XLPE kablo numuneleri üzerinde 240 saat boyunca 30-50-80-135 °Csıcaklık ile ısıl yaşlandırma işlemi gerçekleştirmiştir [32]. 120 saatlik periyotlar ile 0,001 ve 1.000 Hz frekans aralığında tanδ, kapasite (C) ve ε ölçümleri yapmıştır. Sıcaklık etkisi ile birlikte C ve tanδ değerinin arttığını, ε değerinin ise sabit kaldığını belirtmiştir. Düşük frekans ölçümlerinde ε değerinin yorumlanması gerektiğini vurgulamıştır. 2016 yılında Wang, 10 kV XLPE yalıtımlı kablolardan

numuneler oluşturmuştur. Numuneleri, 120 °Csıcaklık ile 20-30-40-50-60 gün süre boyunca ve 160 °Csıcaklıkta 10-15-20-25-30 gün süre ile yaşlandırmıştır [33], [34]. 0,001-1.000 Hz frekans aralığında tanδ ölçümleri yaparak kabloların durumunu değerlendirmiştir. Debye modelini kullanarak işlediği veriler yardımıyla yaşlanma faktörünü hesaplamış ve ölçümlerin %90 oranında başarılı olduğunu söylemiştir. Sıcaklığın, numuneler üzerindeki olumsuz etkisini belirterek, 160 °Csıcaklıkta malzeme düzensizliğinin arttığını vurgulamıştır. 2017 yılında Boukezzi, 18/30 kV XLPE yalıtımlı kablolardan 7,5 cm boyunda numuneler oluşturmuştur [35], [36]. Kablolar üzerinde 80-100-120-140 °Csıcaklıklarda 3.000 saat süre ile ısıl yaşlandırma işlemi gerçekleştirmiştir. 2 kV gerilim altında tanδ ölçümleri ile numuneler üzerindeki yaşlanma etkisini gözlemlemiştir. Ek olarak TEM ile elektron ışını radyasyonu teknolojisinden yararlanmıştır. TEM ve tanδ ölçümlerinin benzer sonuçlar verdiğini, yaşlanma etkisinin her iki ölçüm metodu ile belirlenebileceğini vurgulamıştır. Ayrıca, YSA ve bulanık mantık algoritmalarını kullanarak ölçüm sonuçlarını tahmin etmiştir. Her iki yöntemin de %91 oranında başarılı olduğunu, etkin bir biçimde kullanılabileceğini ve XLPE kablo numunelerinin ısıl yaşlanma davranışının öngörülebileceğini belirtmiştir. 2018 yılında Wang, 500 kV anma geriliminde XLPE yalıtımlı kablodan 1 mm'lik kare parçalar halinde numuneler oluşturmuştur [37]. 160 gün boyunca 130 °Csıcaklık ile ısıl olarak yaşlandırılan numunelerin davranışlarını, polarizasyon akımı (PA), x-ray görüntülemeleri, FDKS ölçümleri ve DG ölçümleri ile izlemiştir. Yaşlanma süresi uzadıkça, XLPE numunelerinin gevşeme zirvelerinin daha düşük sıcaklıklara kaydığını vurgulamıştır. Yaşlanmamış numune ile 160 gün boyunca yaşlandırılmış XLPE numunesi karşılaştırıldığında, arıza geriliminin %40 oranında azaldığını belirtmiştir. 2019 yılında Di Sante, XLPE kablo ekleri üzerinde incelemeler ve karşılaştırmalar yapmıştır [38]. Üç farklı kablo eki tipini analiz etmiştir. Numuneleri 10 °C ve 60 °C sıcaklık değerlerinde ısıl olarak 12 saat boyunca yaşlandırmıştır. Soğuma ve ısınma durumlarında kablo eki davranışlarını değerlendirmiştir. Isıl yaşlanmanın kablo üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkiyi tanδ değerinde oluşan artışın ortaya koyduğunu vurgulamıştır.

1.1.4 Mekanik Yaşlandırma Süreçlerine Yönelik Literatür İncelemesi

1999 yılında Nadolny, kablo eklerinde KB özellikleri üzerinde mekanik basınç ve silikon gresinin etkilerini incelemiştir [39]. 1-4 atm basınç altında kablo ekleri üzerinde KB ölçümleri gerçekleştirmiştir. Ölçümler sırasında, ultra geniş bantlı bir KB algılama sistemi kullanmıştır. Basınç arttıkça KB genliğinin ve olay sayısının azaldığını belirtmiştir. KB aktivitesini azaltmak için mekanik basıncın ve silikon gresinin etkili olduğunu ortaya koymuştur. 2010 yılında Du, 110 kV XLPE yalıtımlı kablodan 40x25x1 mm boyutlarında numuneler oluşturmuştur [40]. Bu numuneler üzerinde, 20 kN/cm^2, 100 kN/cm^2 ve 300 kN/cm^2 basınç ile iğne-düzlem düzeneğini kullanarak KBBG ölçümleri gerçekleştirmiştir. Ek olarak, dijital kamera ile KB ışığını gözlemlemiştir. Basınç artışıyla birlikte KBBG değerinin de arttığını belirtmiştir. KB ışığının arıza tespitinde ve sınıflandırmasında kullanılabileceğini vurgulamıştır. 2011 yılında Placek, 1 kV XLPE yalıtımlı kablolar üzerinde bükme ve basınç etkilerini araştırmıştır [41]. 5 m uzunluğundaki kablo numunesi 6x15 cm boyutlarında bükülmüş ve 25 cm uzunluğundaki numuneler kilit mekanizması ile %20 oranında sıkıştırılmıştır. Numuneler üzerinde 500 V gerilim ile yalıtım direnci ve 0.1-100 kHz frekans aralığında tanδ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik yaşlandırma işlemleri sonucunda tanδ değerinin değişmediği fakat C değerinin azaldığı belirtilmiştir. 2012 yılında Berg, hidrostatik basıncın silikon kablo eki içerisinde oluşan elektriksel ağaçlanmalar üzerindeki etkilerini incelemiştir [42]. 30°Csıcaklıkta 1-100 bar basınç altında iğne-düzlem düzeneğini kullanarak KB ölçümleri gerçekleştirmiştir. Basınç arttıkça KBBG değerinin azaldığını, elektriksel ağaçlanma oluşumunun ve ağaç büyüme hızının arttığını belirtmiştir. 2018 yılında Sun, 220 kV kablo başlığı montajının farklı basınçlar altındaki davranışını incelemiştir [43]. Montaj sırasında kullanılan silikon yağının eksik kullanımı, fazla kullanımı, pürüzlü soyma işlemi, pürüzsüz soyma işlemi, koni tutucunun civatalarının eksik kullanımı ve civataların gevşek bırakılması gibi 7 farklı montaj kusurunu içeren 220 kV kablo başlığı numunesi oluşturarak KB ölçümleri gerçekleştirmiştir. 0.64 MPa basınç değerinin kritik eşik olduğunu söylemiştir. Daha düşük basınçlarda yapılan kablo başlığı montajının kabul ve devreye alma testlerini geçemeyeceğini belirtmiştir. 2019 yılında

Ghaderi, XLPE kablo ekleri üzerinde incelemeler ve karşılaştırmalar yapmıştır [44]. Kablo eki numuneleri üzerinde kelepçe kullanarak 6 MPa basınç altında tanδ ölçümleri yapmıştır. Basınç değeri arttıkça tanδ değerinin azaldığını belirtmiştir. 2021 yılında Su ve ekibi, kablo yalıtkanlarında meydana gelen esneme oranının %30'a çıktığında elektriksel ağaçlanmanın başlama süresinin kritik bir değere ulaştığını söylemiştir [45]. Ağaç uzunluğu ve biriken hasarın esneme oranı ile doğru orantılı olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte, sıkıştırma oranının elektriksel ağaçların büyümesini geciktirdiğini vurgulamıştır. Sıkıştırma oaranı ile ağaç büyümesi arasında ters orantı olduğunu ortaya koymuştur [46].

1.1.5 Diğer Yaşlandırma Süreçlerine Yönelik Literatür İncelemesi

2009 yılında Hernandez-Mejia, yeni ve sahada kullanılmış 15 ve 25 kV anma gerilimine sahip XLPE ve EPR kablo numuneleri üzerinde, anma geriliminin 0.5-1-1.5-2 katı gerilim değerlerinde ÇDF ile tanδ ölçümleri yapmıştır [47]. Ölçümleri; zamana göre, gerilime göre ve dinlendirme süresine göre üç farklı test protokolünde yapmıştır. Ölçüm sonuçlarından yola çıkarak, uygulanan protokollerin doğruluğunu sınamıştır. Zamana ve dinlenme durumuna göre test sonuçlarının değişmediğini, gerilime göre ise bazı kabloların zarar gördüğünü belirtmiştir. Yine 2009 yılında, 40 yıldır kullanılmakta olan 15 kV XLPE kablolardan başlıksız olarak 6 numune oluşturmuştur [48]. Numuneler üzerinde ÇDF metodu ile tanδ ve delinme dayanımı ölçümleri yapmıştır. Delinme süresi ile tanδ ölçüm sonuçları arasında korelasyon kurmuştur. Weibull istatiksel analizi ile davranış karakteristiğini ortaya koyarak, kablo performansının değerlendirilebilmesi için yeni kriterleri belirlemiştir. IEEE 400 kılavuzuna katkı sağlamıştır. 2010 yılında Rawangpai, 22 kV XLPE kablo numunelerini 23-60-75 °C sıcaklık altında 75-130 kV/mm elektrik alana maruz bırakarak yaşlandırmıştır [49]. Numuneler üzerinde FDKS ölçümü ile kimyasal analiz ve TEM ölçümü ile de fiziksel analiz gerçekleştirmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarını kullanarak Crine modeli ile ömür saptaması yapmıştır. Ömür hesaplamalarının, deneysel çalışmalarla oldukça uyumlu sonuçlar verdiğini belirtmiştir. 2012 yılında Chen, 0.5 mm kalınlığında kraft kağıdı ve polimer malzemelerden oluşturduğu

numuneleri 90-110-130 °Caltında 4 kV/mm elektrik alana maruz bırakarak 720 saat boyunca yaşlandırmıştır [50]. Numuneler üzerinde hacim direnci, TEM ve KB ölçümleri yapmıştır. Ölçümler sonucunda, numunelerin hacim direnci ve KBBG değerlerinin değişmediğini vurgulamıştır. TEM ölçümlerinin daha kullanışlı olduğunu belirtmiştir. 2012 yılında Chmura, sahada kullanılmış olan 150 kV ve 250 kV anma gerilimine sahip yağ yalıtımlı kablolar üzerinde tanδ ölçümleri gerçekleştirmiştir [51]. Tanδ ölçümlerini, ortam ve yağ sıcaklığını dikkate alan bir algoritma ile ömür saptaması yaparak değerlendirmiştir. Kablo ömrünün %69 oranında başarılı olarak öngörülebildiğini belirtmiştir. 2012 yılında Mladenovic, 20 kV YEK yalıtımlı kablo numunelerinden 57 adet kullanmıştır. Kablo numunelerini 100 °Csıcaklıkta $4*U_0$ gerilim ile 720 gün boyunca yaşlandırmıştır [52]. Yaşlandırılan numunelerin üzerinde tanδ ve KB ölçümleri yapmıştır. Ek olarak, sahada kullanılmış kabloları da kıyaslama için numunelere dahil etmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi için yeni bir analiz program arayüzü kullanarak, kabloların bakım zamanlarını planlamıştır. Sonuçların, ömrünü tamamlamış kablolardan elde edilen bilgilerle uyumlu olduğunu belirtmiştir. 2012 yılında Wang, YEK ve polimer parçalarından oluşturduğu numuneleri 300 gün boyunca 90-110-130 °Csıcaklık altında 3 kV/mm elektrik alana maruz bırakmıştır [53]. Dielektrik spektroskopi (DS) ile 0.01 Hz ile 1 MHz frekans aralığında tanδ ölçümleri gerçekleştirmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak yorumladığı sonuçlarda, yaşlanma etkisinin net olarak görüldüğünü belirtmiştir. Polimer malzemenin daha dayanıklı olduğunu vurgulamıştır. 2012 yılında Yue, 40x40x0,5 mm boyutlarında polimer malzeme numunelerini 48 saat transformatör yağında beklettikten sonra, 60 gün boyunca 90-110-130 °Csıcaklık altında 4 kV/mm elektrik alana maruz bırakmıştır [54]. Numunelerin davranışını izlemek için tanδ ölçümleri yapmıştır. Yaşlanma süresi ve sıcaklık değeri arttıkça tanδ değerinin daha olumsuz etkilendiğini ortaya koymuştur. 2014 yılında Mecheri, 18/30 kV XLPE kablolardan 12 m uzunluğunda numuneler oluşturmuştur [55]. Numuneleri 18-36-54 kV gerilim ile 80-100-120-140 °Csıcaklıklarda 2.000 saat süre ile yaşlandırmıştır. Numuneler üzerinde tanδ ölçümleri yapmıştır. Çalışmada, tanδ ölçümlerinin ısıl yaşlanma nedeniyle başarısızlık riskini değerlendirmiştir. Sıcaklık etkisinin daha

baskın olduğunu ve sonuçların kesinliğini vurgulamıştır. 2018 yılında Knenicky, 22 kV anma gerilimine sahip XLPE kablolardan 3 m uzunluğunda numuneler hazırlamıştır [56]. Kapalı çevrim test düzeneğini kullanarak, içerisinden akım akıtılan numuneleri $3*U_0$ gerilimde ve 90 °C sıcaklıkta 12 hafta süre ile yaşlandırmıştır. MPD600 ölçüm kiti ile KB ölçümleri gerçekleştirmiştir. Ek olarak x-ray cihazı ile elektriksel ağaçlanmaları gözlemlemiştir. KB olayları ve elektrik ağaçları arasında korelasyon kurmuştur. KB ölçüm sonuçlarının kablo arızası hakkında erken uyarı verdiğini belirtmiştir. 2019 yılında Chimunda, dağıtım şirketi tarafından işletilen şebekede 88 kV XLPE yalıtımlı kablo bağlantı ekipmanlarının arıza verisini kullanarak IEC62539'a göre ömür hesaplaması yapmıştır [57]. Ortam koşullarından kaynaklanan korozyon ve sıcaklık etkisini analiz etmiştir. Yaşlanma faktörlerini hesaplayarak yeni bir bağlantı ekipman tasarımı önermiştir. Ayrıca, kablo başlığı güvenilirliğini sınamak için bir model oluşturmuştur. Model değerlendirmesinde sonuçların %80 oranında başarı sağladığını, bu durumda çalışmada önerilen modelin kabul edilebilir olduğunu belirtmiştir. 2020 yılında Aakre, 100x100x3 mm boyutlarında mika ve epoksi malzemelerden numuneler oluşturmuştur [58]. Numuneleri 10 kV gerilim altına 40-60-90 °Csıcaklıkta 20 saat boyunca yaşlandırmıştır. Numuneler üzerinde 0.1-300 Hz frekans aralığında KB ölçümleri gerçekleştirmiştir. KBBG değerini sıcaklık ve frekansa bağlı olarak incelemiştir. Frekansa bağlı olarak KBBG değerinin azaldığını fakat yüksek sıcaklıklarda bu davranışın değiştiğini belirtmiştir. Bu incelemeler sonucunda, KB olaylarına neden olan boşluk geriliminin hesaplanabilmesi için yeni bir matematiksel model önermiştir. Modelin, 5 mm çapındaki boşluklar için literatürde yapılan çalışmalara uygun sonuçlar sunduğunu belirtmiştir.

1.2 Tezin Amacı

OG kabloları, işletme süresi boyunca elektriksel zorlanmalara maruz kalmaktadır. Zorlanmaların sonucunda, kablo dielektrik malzemesinin delinme dayanımı zayıflamakta, dielektrik kayıplarında artış meydana gelmekte ve dielektrik kayıp faktörünün kötüleşmesi gibi etkenlerin sonucunda ise kablonun ömrü

azalmaktadır. Azalan kablo ömrü, dağıtım sisteminin performansının düşmesine, kayıpların ve kısmi boşalmaların artmasına, kablo arızalarına, beklenmeyen enerji kesintilerine ve önemli ekonomik kayıplara sebep olmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı; alternatif ve darbe yüksek gerilimleri ile yaşlandırma türlerinin kablo numuneleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, yaşlanma etkilerinin dielektrik parametreler (P_K, tanδ ve C) ve KB ölçüm yöntemleri ile tespit edilmesi, kablo numunelerinde meydana gelen bozunumların daha sık periyotlar halinde izlenmesi, ölçüm yöntemlerinin yaşlandırma türüne göre etkinliğinin irdelenmesi, EKKY, KA ve YSA algoritmaları kullanılarak ölçüm sonuçlarının öngörülebilirliğinin sınanmasıdır.

Tez çalışmasından elde edilen ölçüm verileri ve yapılan analiz çalışmaları, kablo arızalarının önceden tespit edilmesine, gerekli durumlarda kablo değişimlerinin ve alternatif besleme olanaklarının planlanmasına, enerji kesintilerinden kaynaklanan ekonomik kayıpların önüne geçilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, kabloların elektriksel zorlanmalar karşısındaki davranış karakteristiklerinin detaylı olarak belirlenmesi, kablo üretici firmalarının tasarım çalışmalarında kullanabilecekleri önemli verilerin elde edilmesine imkan tanıyacaktır.

1.3 Orjinal Katkı

Tez çalışmasında, 6/10 kV ve 12/20.8 kV gerilimli OG kablo numuneleri, yıldırım darbe gerilimi (50 kV, 1.2/50 μs, [+]), $3*U_0$ ve $5*U_0$ alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılmıştır. Dielektrik parametreler (P_K, tanδ ve C) ve KB ölçüm yöntemleri ölçüm yöntemleri kullanılarak numunelerin yaşlanma durumları izlenmiştir. Ek olarak, ölçüm verilerinden yararlanılarak EKKY, KA ve YSA algoritmaları ile kablo dielektrik parametrelerinin ara değer ve dış değer tahmin analizi yapılmıştır. Tezin, literatüre katkıları aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir. Bu tez çalışması ile birlikte;

- 6/10 kV ve 12/20.8 kV anma gerilimine sahip kablo numuneleri kullanılmıştır. Böylece, anma geriliminin yaşlanma karakteri üzerindeki etkisi ortaya konmuştur.

- Kablo numunelerine, alternatif yüksek gerilim ve yıldırım darbe gerilimi ile yaşlandırma işlemleri uygulanmıştır. Farklı yaşlandırma işlemlerinin kablolar üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve değerlendirilmiştir.
- Ölçümler sırasında, dielektrik parametreler (P_K, tanδ ve C) ve KB ölçüm yöntemleri olmak üzere iki farklı dielektrik tanı yöntemi kullanılmıştır. Tanı yöntemlerinin ölçüm kabiliyeti karşılaştırılmış ve yaşlandırma türüne göre etkinlikleri belirtilmiştir.
- Dielektrik parametrelerin (P_K, tanδ ve C) ölçümünde 50-400 Hz frekans ve 2-12 kV gerilim aralıklarında farklı değerler kullanılarak, harmonik bileşenlerin ölçümler üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmıştır.
- EKKY, KA ve YSA olmak üzere farklı tahmin algoritmaları yardımıyla yeraltı kablolarının dielektrik parametreleri tahmin edilmiştir. Böylece farklı algoritmaların tahmin performansları karşılaştırılarak, öngörü kabiliyeti yüksek olan algoritma belirtilmiştir.
- Analiz işlemlerinde ara değer ve dış değer tahmini yapılacak kabloların yaşlandırmaya bağlı dielektrik davranışının öngörülebilirliği sınanmıştır.
- Ara değer tahminleri sonucunda, uzun ölçüm sürelerinin kısaltılabileceği ve ölçüm maliyetlerinin düşürebileceği kanıtlanmıştır.
- Dış değer tahmin analizleri sonucunda, iletim ve dağıtım sistemi içerisinde işletilmekte olan kabloların sergileyeceği davranışların öngörülebileceği ortaya konmuştur. Öngörü kabiliyetinin, kestirimci bakımların ve ekipman değişimlerinin planlanması ve yapılmasına olumlu katkı sağlayacağı vurgulanmıştır.

2
YAŞLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Yeraltı kablolarının dielektrik performansını araştırmak amacıyla literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, sahada yaşlanmış kablolar ve laboratuvar ortamında yapay olarak yaşlandırılmış kablo numuneleri üzerinde farklı dielektrik tanı yöntemleri kullanılmıştır. Şebekede meydana gelen alternatif yüksek gerilim, darbe gerilimi, ısıl ve mekanik etkiler gibi olayların kablo yalıtkanı üzerinde oluşturduğu zorlanmaların yaşlanmaya sebep olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, kablo tasarım ve üretim aşamalarının optimize edilmesi, arızaların önceden fark edilmesi, bakım faaliyetlerinin planlanması ve ömür analizlerinin yapılabilmesi için deneysel çalışmalar ile yaşlandırma yöntemlerinin kablo üzerindeki etkilerinin incelenmesi önem arz etmektedir.

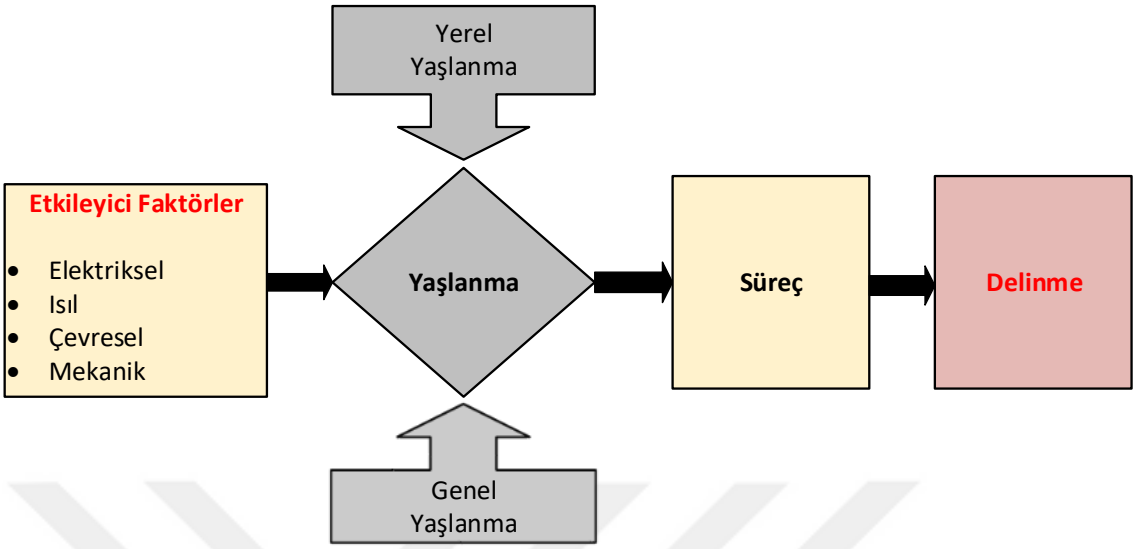
Bu bölümde, yeraltı kablolarında meydana gelen yaşlanma mekanizmaları, yaşlandırma işlemlerinin önerildiği yönergeler ve literatürdeki çalışmalarda kullanılan yaşlandırma metotları detaylı olarak açıklanmıştır.

2.1 Yeraltı Kablolarında Yaşlanma Mekanizması

Gelişen teknoloji ile birlikte kablo sistemleri içerisinde kullanılan yalıtkan malzemeler kağıttan polimer ve türevleri malzemelere evrilmiştir. Bu durumun başlıca sebepleri; kurulum ve bakım maliyetlerinin, arıza olasılığının ve dielektrik kayıpların azaltılması ile dielektrik dayanımın arttırılması olarak özetlenebilir.

Yalıtkan malzemenin dielektrik dayanımı zayıflama eğlimine girdiğinde, sistem yaşlanmaya başlar. Yaşlanma mekanizması kablo özellikleri ve ortam koşullarına doğrudan bağlı olduğundan, farklı kablo sistemleri farklı biçim ve süreçlerde yaşlanabilmektedir. Yaşlanma süreci doğası gereği istatiksel ve zamana bağlı olarak gelişmektedir. Yaşlanma ile ilişkili nedenlerin sınıflandırılabilmesi için tipik bozulmaların ve eskime olaylarının açıklanması yeterli olacaktır. Fakat, buradaki en önemli nokta belirli bir başlangıç koşulunun olduğu ve herhangi bir müdahale

şansı olmadan, doğrudan arızaya yol açan faktörlerin ihmal edildiğinin kabul edilmesidir.



Şekil 2.1 Yaşlanma mekanizmasının şematik gösterimi

Şekil 2.1'de OG yeraltı kablosunda meydana gelen yaşlanmanın şematik gösterimi bulunmaktadır. Yaşlanmayı etkileyici faktörler; elektriksel, ısıl, çevresel ve mekanik olarak gruplandırılmıştır. Yaşlanma, kablo içerisinde yerel bir noktada ya da kablo yalıtkanının genelinde meydana gelebilir. Kablo yalıtkanında meydana gelen delinme olayları, yerel noktalarda bulunan kusurların birbirleri ile etkileşim sürecinin tamamlanmasından sonra oluşmaktadır. Yaşlanma mekanizmasına ait işlem adımlarının daha anlaşılır olması için kablonun üretim, montaj ve işletilmesi sırasında ortam koşulları sebebiyle olan durumları irdelemek gerekmektedir.

Üretim kusurları, kablonun üretim aşamasında meydana gelebilecek hataların tümü olarak açıklanabilir. Kusurları, kablo yalıtkanı içerisinde oluşan boşluklar, kirletici maddeler, eksen kaçıklıkları ve hatalı siper tasarımı olarak çeşitlendirmek mümkündür. Bu kusurlar elektrik alan dağılımından kaynaklanan yerel zorlanmaların artışına ve oluşan KB olayları ile birlikte yaşlanma sürecinin delinme ile sonuçlanmasına sebep olmaktadır [59], [60].

Zayıf işçilik, kablo ve kablo ekipmanlarının montajı sırasındaki operasyonların tümünde yapılan işçiliğin kalitesindeki sorunlar olarak tanımlanabilir. Kablo eki ya da kablo başlığı montajında meydana gelen kesikler, hatalı ölçülendirme, yanlış

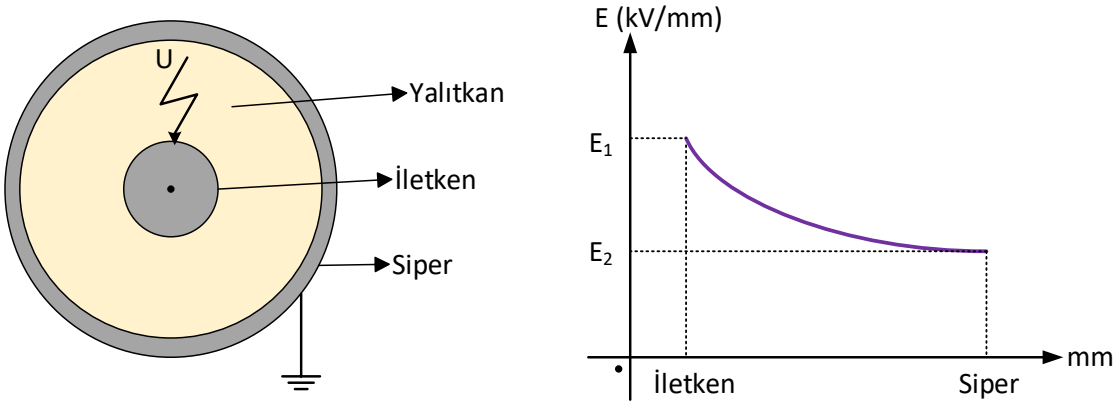
yerleşim ve malzeme kirliliği bu duruma örnek olarak verilebilir. Zayıf işçiliğin bilinçli bir kusur olmadığı, fakat kablo sisteminin işletilmesi sırasında yerel zorlanmalar sebebiyle elektrik alan dağılımının bozulmasına neden olduğu bilinmektedir. Bu durum, kablo ekipmanlarının genel olarak yaşlanmasına ve kısa sürede delinmesine yol açmaktadır [61].

Ortam koşulları; kablo sisteminin işletme esnasında karşılacağı nem, sıcaklık ve kimyasal koşulların kablo yalıtkan malzemesi üzerindeki olumsuz etkilerinin bütünü olarak adlandırılabilir. Nem ve sıcaklık ile etkileşimde bulunan kablo yalıtkanı içerisinde su ağaçlanmaları ve korozyon meydana gelebilir. Bu durumda, kablo sisteminin dielektrik dayanımı olumsuz etkilenmektedir [62], [63].

2.1.1 Alternatif Yüksek Gerilimin Yaşlanma Mekanizmasına Etkisi

IEEE 519'a göre, anma geriliminin %10 fazlası 61 saniye sürdüğünde alternatif yüksek gerilim olarak tanımlanmaktadır. EN 50160'da ise, bu süre 181 saniye olarak belirtilmiştir [64], [65].

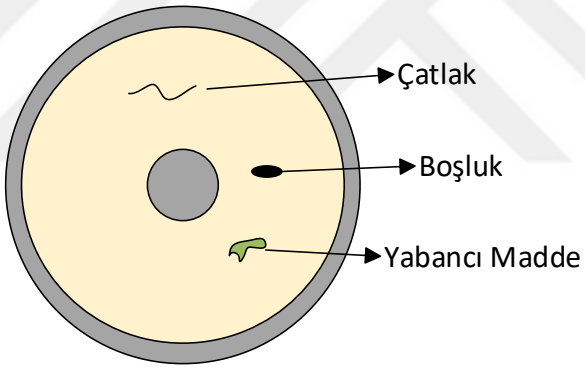
Güç kabloları, gerilim altında işletildiklerinden dolayı yalıtkan üzerinde oluşan elektrik alanın düzgün dağılması istenmektedir. Kablo içerisinde meydana gelen ideal elektrik alan dağılımı Şekil 2.2'de gösterilmiştir [59].



Şekil 2.2 Kablo yalıtkanı içerisinde meydana gelen elektrik alan dağılımı

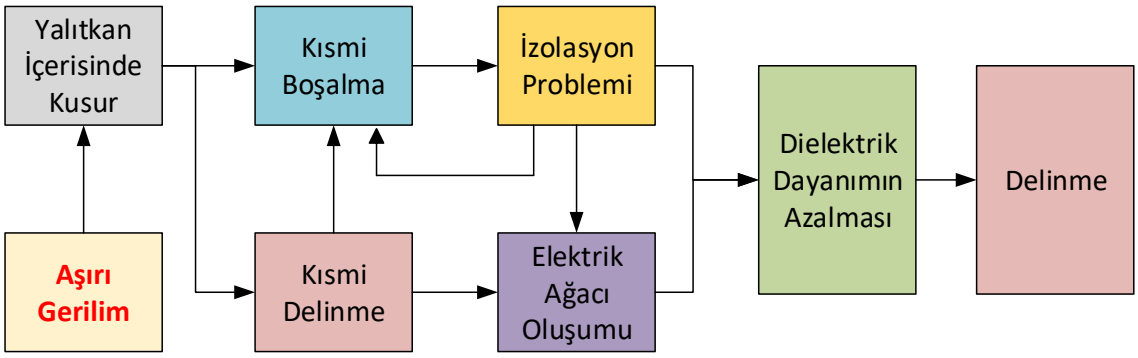
Kablo iletkeni üzerinde oluşan elektrik alanı kablo siperine yakınlaştıkça azalmaktadır. Kablo içerisindeki yalıtkan malzemenin dielektrik dayanımının mecvut elektrik alan dağılımından daha büyük olması gerekmektedir. Bu

bağlamda, elektrik alan dağılımını bozucu ya da yerel olarak dielektrik dayanımını zayıflatıcı etkilerin varlığı kablo sisteminin arızalanmasına sebep olacaktır. Kablo sistemlerinin işletilmesi sırasında, şebekede meydana gelen alternatif yüksek gerilimlerin etkisiyle E_1 elektrik alan şiddeti artmaktadır. Bu durumda, yalıtkan malzeme zorlanacak ve dielektrik parametrelerinde değişimler meydana gelecektir. Alternatif yüksek gerilime maruz kalma süresinin veya alternatif yüksek gerilim oluşumunun yinelenme sayısının artmasıyla birlikte malzemenin dielektrik dayanımı azalacaktır. Üretim ya da montaj aşaması sırasında yalıtkan malzeme içerisinde meydana gelen kusurlar da elektrik alan dağılımını bozacaktır. Kablo yalıtkanı içerisindeki boşluk, çatlak ve yabancı madde bulunması gibi kusurlar Şekil 2.3'te detaylı olarak gösterilmektedir. Yalıtkan malzemede meydana gelen herhangi bir çatlak ve boşluğun içerisinde bulunan hava ya da yabancı maddenin farklı dielektrik dayanıma sahip olduğu düşünüldüğünde elektrik alan dağılımı düzensiz hal alacaktır.



Şekil 2.3 Kablo yalıtkanı içerisinde bulunan kusurlar

İletim ve dağıtım şebekesindeki bir arızadan kaynaklanan alternatif yüksek gerilimin etkisiyle oluşan elektriksel zorlanmalar, kablo sistemindeki kusurlar ile birlikte yalıtkan malzemenin daha da hızlı yaşlanmasına sebep olacaktır [7], [8], [10]. Alternatif yüksek gerilimin etkisi ile oluşan yaşlanma sürecinin şematik gösterimi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Alternatif yüksek gerilim etkisi ile meydana gelen yaşlanma mekanizması

Kusurun boyutuna, konumuna ve mevcut elektrik alanın büyüklüğüne bağlı olarak yalıtkan malzeme içerisinde ortaya çıkan yerel zorlanmalar sonucunda kablo içerisinde KB olayları meydana gelecektir. Bu sebeple oluşan yalıtım problemleri dolayısıyla, elektrik ağaçlanması meydana gelerek dielektrik kayıp faktörünün artmasına ve dielektrik dayanımın azalmasına yol açacaktır. Kablo yalıtkanı zarar görecek ve süreç delinme ile sonuçlanmış olacaktır [10], [66], [67].

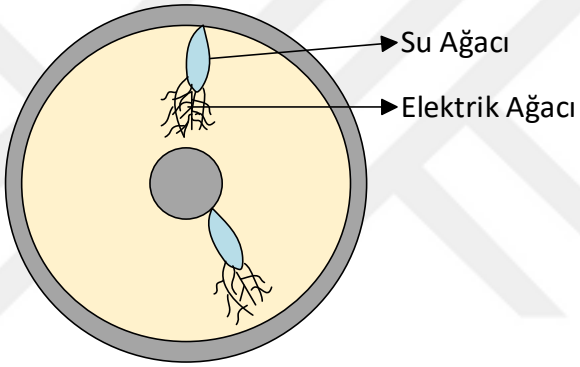
2.1.2 Darbe Yüksek Geriliminin Yaşlanma Mekanizmasına Etkisi

Güç sistemleri, kaynağı atmosferik boşalmalar olan yıldırım darbe gerilimlerine ve sistemin aç-kapa manevraları sırasında ortaya çıkan anahtarlama darbe gerilimlerine maruz kalmaktadır. Yıldırım darbe gerilimlerinin genliği, güç sisteminden bağımsız olarak ortaya çıkarken, anahtarlama darbe gerilimlerinin genliği sistem gerilimi ile doğrudan ilişkilidir. Darbe gerilimleri, tepe değere ulaşma ve sönümlenme süreleri ile tanımlanmaktadır. IEC 60060-1 ve IEEE 4 standartlarında; yıldırım darbe gerilimine ait cephe süresi 1.2 μs (±%30), sırt süresi 50 μs (±%20) olarak tanımlanırken, anahtarlama darbe gerilimi ise 250 μs (±%20) ve 2500 μs (±%60) olarak belirtilmiştir.

Darbe gerilimleri, yürüyen dalgalar oluştururlar. Yürüyen dalgalar sistem boyunca yansıma ve kırılmalara uğrayarak, sistem içerisindeki ekipmanların yalıtımını ciddi oranda zorlayabilmektedir. Bu zorlanmalar, yalıtım problemlerine yol açarak kısmi boşalma oluşumuna katkı sağlamaktadırlar [68]. İletim ve dağıtım şebekesinde bulunan bileşenlerden bir veya birkaçı herhangi bir darbe gerilimine maruz kaldığında, yalıtım malzemeleri üzerinde olumsuz etkiler görülmektedir

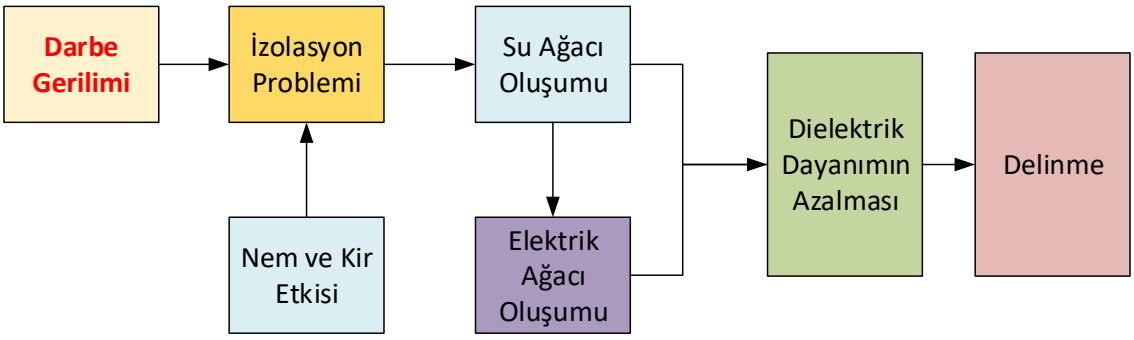
[1]. Meydana gelen yalıtım problemleri ortam koşullarına bağlı olarak yalıtkan malzeme içerisinde nem ve kir birikimine sebep olmaktadır. Nem emilimi ile yalıtkan malzeme içerisinde biriken su moleküllerinin oluşturduğu tabaka(lar) elektrik alan dağılımını düzensiz hale getirmektedir [14], [15]. Kablo sistemi içerisine nem girişinin sebep olduğu su ve elektrik ağaçlanmasının yapısal gösterimi Şekil 2.5'te görülmektedir.

Dış ortamda bulunan kimyasal maddelerin emilimi korozyona neden olmaktadır. Darbe gerilimleri sebebiyle meydana gelen anlık/geçici gerilim yükselmeleri kısmi boşalma olaylarını destekleyerek, dielektrik kayıp faktörünün artmasına yol açmaktadır. Darbe gerilimlerinin etkisi ile meydana gelen yaşlanma sürecine ait şematik gösterim Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Kablo yalıtkanı içerisinde meydana gelen su ve elektrik ağaçları

İletim ve dağıtım sistemi içerisinde işletilmekte olan kablolar, anahtarlama ya da yıldırım darbe gerilimine maruz kaldığında, bağlantı noktalarından başlayan yalıtım problemleri görülmektedir. Ortamda bulunan nem ve kir etkisi ile birlikte su ağaçlanması meydana gelmekte ve artan elektrik alan değeri ile de elektrik ağaçlanması oluşmaktadır [16], [17]. Sonuç olarak dielektrik dayanımı azalmakta ve süreç, delinmeye kadar ilerleyebilmektedir [21], [22].

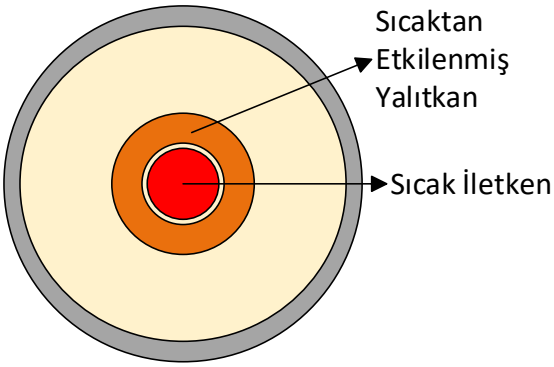


Şekil 2.6 Darbe gerilimi etkisi ile meydana gelen yaşlanma mekanizması

2.1.3 Sıcaklık Artışının Yaşlanma Mekanizmasına Etkisi

EPR, XLPE vb. yalıtkan malzemeler, fiziksel, kimyasal ve dielektrik özelliklerinden dolayı güç kabloları için yaygın olarak kullanılmaktadır. XLPE kablolar için minimum kurulum sıcaklığı 0 °Cve maksimum işletme sıcaklığı 90 °Cdir [69]. Ancak, artan sıcaklık etkisi ile birlikte malzemelerin kimyasal ve fiziksel yapısı değişmektedir. Örneğin, XLPE yalıtkanın iletkenliği ve dielektrik kayıpları artarken, mekanik dayanımını azalabilir. Isıl yaşlanma, yalıtkan malzemelerin dielektrik özelliklerini güçlü bir şekilde değiştirebilen, zorlanma ile güç kablolarının etkin hizmet ömrünü sınırlayan ve geri dönüşü olmayan bir süreçtir.

Oldukça dinamik bir sistem olan elektrik enerjisi iletim ve dağıtım şebekesinin işletilmesi sırasında, şebekede meydana gelen kısa devre arızaları sebebiyle yükselen akım değeri, kablo iletken sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Bu durumun yalıtkan malzeme üzerindeki etkisi Şekil 2.7'de görülmektedir.

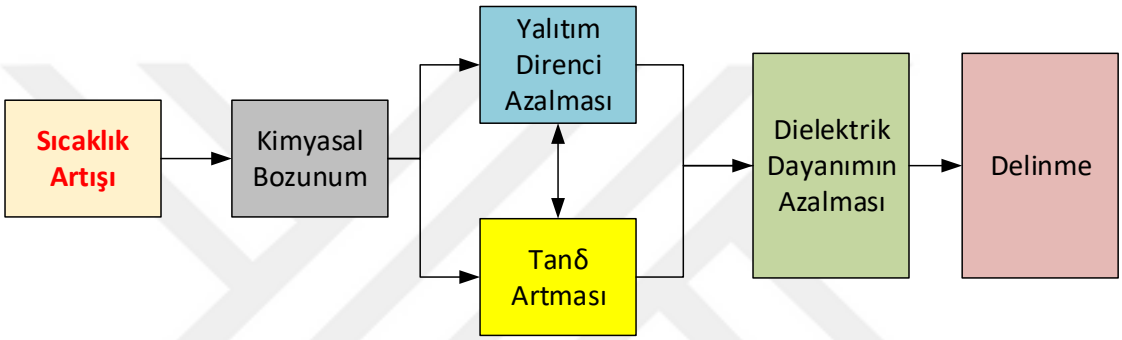


Şekil 2.7 Kablo iletken sıcaklığının kablo yalıtkanı üzerindeki etkisi

Ayrıca, montaj sırasında yanlış aksesuar seçimi ve zayıf işçilikten kaynaklanan kablo sistemindeki problemler, sıcaklık etkisi ile birlikte daha belirgin hale

gelmektedir. Sıcaklık etkisi ile oluşan yaşlanma sürecine ait şematik gösterim Şekil 2.8'de sunulmuştur.

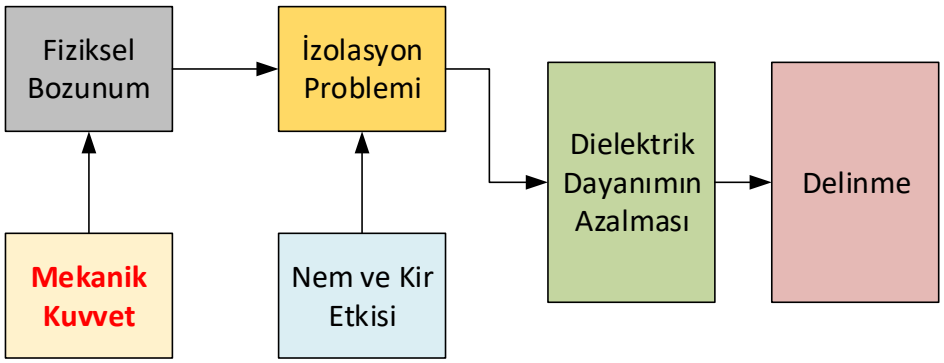
İletken sıcaklığındaki artış ile birlikte meydana gelen olumsuz koşullar yalıtkan mazlemenin kimyasal olarak değişmesine neden olmaktadır [70]. Bu bağlamda, XLPE molekülleri arasındaki bağlar zayıflamakta ve elektriksel zorlanmalara karşı zayıf dielektrik dayanımı göstermektedir [32]–[36]. Bu duruma ek olarak dielektrik kayıp faktörü artmakta ve yalıtım direnci azalmaktadır. Sonuç olarak, kablo sisteminin dielektrik dayanımı azalarak, delinmeyle sonuçlanabilecek arızaların oluşmasına sebep olacaktır.



Şekil 2.8 Sıcaklık etkisi ile meydana gelen yaşlanma mekanizması

2.1.4 Mekanik Kuvvetlerin Yaşlanma Mekanizmasına Etkisi

Güç kabloları üzerinde meydana gelebilecek mekanik kuvvetler bükme ve sıkıştırma kuvveti olarak adlandırılabilir. Kablo montajı aşamalarında, üreticinin önerdiği bükülme yarıçapı ve kritik sıkıştırma değerlerinin aşılmadığı kabul edilmektedir. Güvenliğin ön planda olduğu yerlerde, IEC 60780 ve IEEE 383 standartları gereği kablo sistemlerinin montaj aşamaları için kısıtlayıcı yönergelere uyulması oldukça önemlidir. Fakat, uygulama esnasında fiziksel koşulların meydana getirdiği zorluklar dolayısıyla üretici önerilerinin dışına çıkılmaktadır. Şekil 2.9'da mekanik kuvvetlerin yaşlanma mekanizması üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Mekanik kuvvet etkisi ile meydana gelen yaşlanma mekanizması

Kablonun montajı önerilen değerlerden daha fazla bükülerek ve kelepçeler ile sıkıştırılarak yapıldığında, fiziksel bozunum meydana gelmektedir. Fiziksel bozunumlar yalıtım problemlerine yol açarak yalıtkan malzemenin dielektrik davranışını olumsuz etkilemektedir. Ortam koşullarından kaynaklanan nem ve kir etkisi ile birlikte azalan dielektrik dayanım, sürecin delinme ile sonuçlanmasını sağlayacaktır.

2.2 Yaşlandırma Yöntemleri

Yaşlanma sürecinin oluşmasına katkı sağlayan etmenlerin laboratuvar ortamında simüle edildiği ve kısa sürede etkilerinin incelendiği çalışmalar yaşlandırma işlemleridir. Yaşlandırma yöntemleri; ekipman tasarımı, arıza önleme, kestirimci bakım faaliyetleri ve ömür analizleri gibi konuların değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Bu bölümde, literatürde kullanılan yaşlandırma yöntemleri ve bu yöntemlerin belirtildiği yönergeler irdelenmiştir.

2.2.1 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırma Yöntemleri

Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma metodunun kullanıldığı çalışmalarda genellikle IEEE 1407 kılavuzunun yönergeleri uygulanırken, bazı çalışmalar da ise laboratuvar imkanları ve proje süreleri göz önünde bulundurulmuştur.

BS EN 60071-1 standardı, 1 kV ve üzeri anma gerilimine sahip ekipmanlar için dayanma gerilimi prosedürlerini tanımlamakta ve nominal dayanma gerilimlerinin seçildiği listeleri paylaşmaktadır [71]. Yalıtımı zorlayan alternatif yüksek gerilimler, alternatif yüksek gerilim önleme cihazlarının seçimini ve yerini

belirleyen bir sistem analizi vasıtasıyla genlik, şekil ve süre olarak belirlenmiş ve tanımlanmıştır. BS EN 60071-2 standardında, alternatif yüksek gerilimlerin belirlenmesi ve dayanma gerilimi testlerine ilişkin uygulama yönergeleri paylaşılmıştır [72]. Standart içerisinde alternatif yüksek gerilime sebep olan etmenler detaylı olarak irdelenmiştir. Ayrıca, faz-toprak sistem gerilim değerinden yararlanılarak, uygulanabilecek alternatif yüksek gerilim değerinin bulunabileceği belirtilmiştir. Elde edilen alternatif yüksek gerilim değerlerine göre dayanım testleri için uygulama gerilimleri hesaplanmıştır. BS EN 60071-2 standardına göre yapılan hesaplamalarda, 6/10 kV ve 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı kablolar için alternatif yüksek gerilim değerleri (faz-toprak) sırasıyla, 25 kV ve 50 kV olarak hesaplanmıştır.

IEEE 1407 klavuzunda, 5-35 kV arasında anma gerilimine sahip kablolar için hızlı yaşlandırma yöntemleri önerilmiştir [73]. Ekstrüde orta gerilim kabloları üzerinde hızlandırılmış yaşlanma testleri ele alınmaktadır. Yaşlandırma testlerini gerçekleştirmek için ekipman, kablo örnekleri, test koşulları ve ölçümler hakkında bilgi verilmektedir. Test verilerinin nasıl analiz edileceğine ilişkin teknikler de dahildir. Bu kılavuzun uygulanması, farklı laboratuvarlar tarafından elde edilen test verilerinin daha iyi tanımlanmasına olanak sağlayacaktır. Gerilim stresi, yaşlanma süreci için kritik bir parametredir. Seviyesi, kararlılığı ve kalitesi önemli parametrelerdir. IEEE 1407 klavuzunda, su ağaçlanması analizleri de dahil olmak üzere hızlandırılmış ömür testleri için anma geriliminin 4 katı gerilim değeri ($4*U_0$) önerilmektedir. Eğer su tankları kullanılarak yaşlandırma işlemi uygulanacaksa, anma geriliminin 3 katı değerinde gerilim ($3*U_0$) kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Ayrıca, HD 605 S2 standardında belirtilen ek deney metotları içerisinde Bölüm 3.2.6'da alternatif gerilim dayanım deneylerinin; en az 5 m uzunluğundaki kablolar kullanılarak, anma geriliminin 5 katı gerilim değerinde ($5*U_0$) ve 10 dakika süre ile yapılması gerektiği belirtilmiştir [74].

IEC 60502-2 standardında, Kısım 16.4.4'te belirtilen şebeke frekanslı deney gerilimi, anma geriliminin 3.5 katı olarak tanımlanmıştır. Standart içerisinde,

Çizelge 11'de tanımlanan rutin deney gerilimlerinde; 6/10 kV ve 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE kablolar için tek fazlı deney gerilimlerinin değerleri sırasıyla, 21 kV ve 42 kV olarak önerilmiştir [75].

Tablo 2.1 Numunelere uygulanan alternatif yüksek gerilim yaşlandırma süreçleri

Yıl	Yazar	Yalıtkan	Anma Gerilimi	Alternatif yüksek Gerilim	Süre	Ölçüm
1996	Das-Gupta	XLPE - DYPE	-	6 kV	2000 s	PA
2004	Guastavino	XLPE	-	9 kV	-	KB
2007	Florkowska	Epoksi	-	3·KBBG	720 s	KB
2012	Florkowska	XLPE - EPR	-	10 kV	400 s	KB - TEM
2014	Wong	XLPE	11 kV	$3 \cdot U_0$	200 s	KB
2016	Wong	YEK	11 kV	$2 \cdot U_0$	200 s	tanδ - KB
2016	He	XLPE	10 kV	$4 \cdot U_0$	384 s	EA
2017	Dabbak	PE - PP	-	12.5 kV	2 s	KB - tanδ
2017	He	XLPE	10 kV	$4 \cdot U_0$	200 s	tanδ
2019	He	XLPE	10 kV	$3 \cdot U_0$	300 g	tanδ

Literatürde bulunan çalışmalardan birkaçına ait detaylar Tablo 2.1'de sunulmuştur. Yapılan çalışmaların 90'lı yıllardan günümüze güncelliğini koruduğu görülmektedir. Çalışmalarda kullanılan yalıtkan malzemenin yüksek oranda XLPE olduğu ve gerek kablo numunesi gerekse ince film takaba şeklinde tercih edildiği göze çarpmaktadır. Alternatif yüksek gerilimin yaşlandırma etkisini inceleyen çalışmalarda, genellikle anma geriliminin 3 katı ve daha fazla gerilimin uygulandığı fark edilmiştir. Yaşlandırma süreleri ise, laboratuvar imkanlarına ve destek alınan proje kurallarına göre belirlenerek 200 ile 2.000 saat arasında

değişmektedir. Kullanılan dielektrik tanı yöntemlerinin başlıcaları da tanδ ve KB ölçümleri olarak özetlenebilmektedir. Çalışmaların çoğunda, ölçüm sonuçları sunulurken yaşlandırma işlemleri öncesi ve sonrası biçimi tercih edilmiştir. Bazı çalışmalarda ise öncesi-ortası-sonrası şeklinde ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.

2.2.2 Darbe Yüksek Gerilimi İle Yaşlandırma Yöntemleri

Darbe gerilimi ile yaşlandırma metodunu kullanan çalışamalarda, yerel dağıtım şirketlerinin desteklediği projelerin sunduğu imkanlar gözetiminde test prosedürleri belirlenmiştir.

IEC 60230'a göre, yıldırım darbe geriliminin dalga biçimi; cephe süresi 1-5 μs, sırt süresi de 40-60 μs aralığında olmak zorundadır. Darbe gerilimi ile ilgili diğer bilgiler IEC 60060-1 standardında belirtilen yönergeleri uygun bir biçimde karşılamalıdır. BS EN 60071-1 ve BS EN 60071-2 standartlarında sunulan yıldırım darbe dayanım testleri hesaplamalarına göre, 6/10 kV ve 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE kablolar için yıldırım darbe gerilimi değerleri sırasıyla 31 kV ve 63.25 kV olarak elde edilmiştir [71], [72].

Öte yandan, HD 605 S2 standardı bölüm 3.2.7'de; kablo iletkeni ile topraklanmış siper arasına uygulanacak darbe geriliminin tepe değeri, 6/10 kV kablolar için minimum 50 kV, 12/20.8 kV kablolar için de minimum 75 kV olarak belirtilmiştir. Ayrıca, 5 adet pozitif kutuplu darbe geriliminin uygulanması önerilmiştir [74].

Fakat, IEC 60502-2 standardı gereği, 6/10 kV kabloların 75 kV ve 12/20.8 kV anma gerilimine sahip kabloların da 125 kV tepe değerine sahip darbe gerilimleri ile test edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu testler boyunca kablo numunelerine, 15 adet pozitif ve 15 adet negatif darbe geriliminin ardışık olarak uygulanması önerilmiştir [75].

Tablo 2.2'de belirtilen literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, kullanılan kablo numunelerinin çoğunlukla XLPE ve EPR yalıtkanlı olduğu görülmektedir. Deneylerde uygulanan geriliminin, anahtarlama veya yıldırım darbe gerimi olarak tercih edildiği fark edilmiştir. Yaşlandırma prosedürleri ise, dakikada 1 veya 2 darbe olacak şekilde 1.000 – 10.000 darbe arasında oluşturulmuştur. Kullanılan

dielektrik tanı yöntemlerinin başlıcaları, tanδ ve KB ölçümü olarak belirtilmektedir. Çok az çalışmada 1.000'er darbelik periyotlarla paylaşılan ölçüm sonuçları, genelde yaşlandırma öncesi ve sonrası olarak sunulmuştur. Fakat, çalışmalardan elde edilen sonuçlar dikkate alındığında KB ölçüm yönteminin daha etkin ve sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

Tablo 2.2 Numunelere uygulanan darbe yüksek gerilimi yaşlandırma süreçleri

Yıl	Yazar	Yalıtkan	Anma Gerilimi	Darbe Gerilimi	Sayı	Ölçüm
2007	Grzybowski	XLPE - EPR	15 kV	100 kV	5.000	tanδ - KB
2008	Grzybowski	XLPE - EPR	15 kV	100 kV	5.000	KB
2008	Grzybowski	EPR	15 kV	100 kV	10.000	tanδ - KB
2009	Grzybowski	EPR	15 kV	100 kV	10.000	KB
2009	Grzybowski	EPR	15 kV	100 kV	10.000	tanδ - KB
2010	Cao	EPR	15 kV	52 kV	13.000	KB - FDKS
2011	Cao	EPR	15 kV	52 kV	10.000	KB
2015	Cao	EPR	15 kV	100 kV	10.000	KB - DG
2018	Long	XLPE	15 kV	50 kV	6.000	KB
2018	Wu	XLPE	6/10 kV	-	100	KB
2019	Souza	XLPE - YYPE	-	10 kV	1.000	DG

2.2.3 Isıl (sıcaklık etkisi ile) Yaşlandırma Yöntemleri

HD 605 S2 standardı Bölüm 5.1.1.3'te ısıl yaşlandırma işlemlerinin, 10 günden az olmayan bir sürede ve 150 °C'yi geçmeyen bir sıcaklıkta, 8 saat ısıtma ve 16 saat soğutma döngüsü ile yapılması önerilmektedir [74]. Bu standard içerisinde 6 farklı ısıl yaşlandırma metodu bulunmaktadır. Bölüm 5.1.4'te, 10 m uzunluğunda

ki kablo numunesinin etüv içerisindeki yaşlandırılmasını tanımlanmış ve IEC 60216-8 standardında belirtilen sıcaklık ve çevrim sürelerinin kullanılması belirtilmiştir. Bölüm 5.1.6'da akım ve gerilim uygulanarak ısıtılan kablo numunesinin en az 5.000 saat ve 210 ısı çevrimi ile yaşlandırılması istenmiştir.

IEC 60502-2 Bölüm 19.7.3'te belirtilen ısıl yaşlandırma deneyinin, 7 gün 24 saat süre ile 100 °C sıcaklıkta yapılması gerektiği belirtilmiştir [75]. Ayrıca, ısıl yaşlandırma işlemlerinde kullanılacak ekipman ve test numunelerinin hazırlanması ile ilgili bilgiler için BS EN 60811-401 standardına atıf yapılmıştır. Bu standardın C.1 bölümünde, fırın kullanılarak gerçekleştirilen ısıl yaşlandırma işlemlerinin hazırlık aşamaları belirtilmiştir [76].

IEC 60216-8 ve IEEE 99 standartlarında, ısıl yaşlandırma işlemlerinde kullanılacak sıcaklık ve gün olarak maruz kalma süresi tablo biçiminde paylaşılmıştır. Toplam yaşlandırma süresinin 5.000 saatten az olmaması gerektiği vurgulanmış ve 5.000 ile 20.000 saat arasında süreye sahip yaşlandırma işlemlerinin uygulanması önerilmiştir [77], [78]. Örneğin, her iki standartta da 120 °C sıcaklık değeri için 28 gün maruz kalma süresi önerilmiştir.

Literatürdeki çalışmalardan birkaçına ait detaylar Tablo 2.3'te sunulmuştur. Kullanılan yalıtkan malzemenin çoğunlukla XLPE olduğu görülmektedir. Numunelerin ağırlıklı olarak film tabakalar şeklinde hazırlandığı dikkat çekmektedir.

Yaşlandırma prosedürlerinde, XLPE yalıtkanın maksimum çalışma sıcaklığı olan 90°C'nin üzerinde sıcaklıkların tercih edildiği göze çarpmaktadır. Sıcaklık uygulamalarının 2.000 saat ile 160 gün arasında değiştiği ve genellikle uzun yaşlandırma sürelerinin tercih edildiği görülmüştür.

Kullanılan dielektrik tanı yönteminin, sıcaklıkla yakından ilişkisi sebebiyle tanδ olduğu farkedilmiştir. Ölçüm sonuçları, genelde yaşlandırma öncesi ve sonrası olarak sunulmuştur. 140 °C değeri aşıldığında, XLPE yalıtkanın tutarsız davrandığı sonuçlarda oldukça sık net bir biçimde belirtilmiştir.

Tablo 2.3 Numunelere uygulanan ısıl yaşlandırma süreçleri

Yıl	Yazar	Yalıtkan	Sıcaklık	Süre	Ölçüm
2000	Mecheri	XLPE	80 - 140°C	5000 s	tanδ
2009	Boukezzi	XLPE	80 - 140°C	500 s	tanδ
2010	Mecheri	XLPE	20 - 140°C	5600 s	tanδ - FDKS
2012	Boukezzi	XLPE	80 - 100°C	5000 s	tanδ – ÇD
2013	Boukezzi	XLPE	80 - 100°C	2000 s	tanδ - ÇD
2013	Cao	EPR	105 - 190°C	750 d	EA
2014	Bessissa	XLPE	80 - 120°C	2500 s	ÇD
2015	Conlan	XLPE	55°C	500 s	TEM
2015	Liu	XLPE	30 - 135°C	240 s	tanδ
2016	Wang	XLPE	120°C	60 g	tanδ
2016	Wang	XLPE	160°C	30 g	tanδ
2017	Boukezzi	XLPE	80 - 140°C	3000 s	tanδ
2017	Boukezzi	XLPE	80 - 140°C	3000 s	TEM
2018	Wang	XLPE	120°C	160 g	FDKS - DG
2019	Di Sante	XLPE	60°C	12 s	tanδ

2.2.4 Mekanik Kuvvet İle Yaşlandırma Yöntemleri

Mekanik kuvvetler ile yaşlandırma metodunu kullanan çalışmalar; kabloların montajı ve işletilmesi sırasında, üreticilerin yönergelerine uymayan durumları incelemek amacıyla yapılmıştır.

BS EN 60811-501 standardında, yalıtım ve kaplama bileşenlerinin mekanik özelliklerini belirlemek için test prosedürleri ve numunelerin hazırlanması ile ilgili bilgiler paylaşılmıştır [79]. BS EN 60811-508 standardında ise çekme, bükme ve basınç dayanımları ile ilgili uygulanacak prosedürler Bölüm 4.3.2'de detaylı olarak belirtilmiş ve kuvvet yönleri ile ilgili teknik resimler detaylı olarak Ek-A'da sunulmuştur [80].

Tablo 2.4 Numunelere uygulanan mekanik yaşlandırma süreçleri

Yıl	Yazar	Yalıtkan	Mekanik Kuvvet	Ölçüm
1999	Nadolny	-	1 – 4 atm	KB
2010	Du	XLPE	20 – 300 kN/cm^2	KB
2011	Placek	XLPE	6x15 cm Bükme %20 sıkıştırma	tanδ
2012	Berg	-	1 – 100 bar	KB
2018	Sun	XLPE	0 - 1 MPa	KB
2019	Ghaderi	XLPE	6 MPa	tanδ
2021	Su	XLPE	%30 esneme	TEM
2021	Xu	XLPE	%30 sıkıştırma	TEM

Tablo 2.4'teki bilgiler incelendiğinde, kullanılan yalıtkan malzemenin çoğunlukla XLPE olduğu ve kablo ekleri üzerinde araştırmaların yapıldığı görülmektedir. Yaşlandırma prosedürlerinde öne çıkan detaylar, bükme ve sıkıştırma işlemlerinin tercih edildiğini göstermektedir. Oldukça değişken büyüklüklerde mekanik kuvvetlerin numunelere uygulandığı fark edilmiştir. Kullanılan dielektrik tanı yöntemlerinin başlıcaları tanδ ve KB olarak özetlenebilmektedir. Ölçüm sonuçları, genelde yaşlandırma öncesi ve sonrası olarak sunulmuştur. Tanδ yöntemine kıyasla KB ölçüm metodunun daha belirleyici olduğu sonuçlarda belirtilmiştir.

2.2.5 Diğer Yaşlandırma Yöntemleri

Literatürdeki bazı çalışamalarda, sahada kullanılmış veya herhangi bir yönergeye uymayan yaşlandırma yöntemleri kullanılmıştır.

Tablo 2.5 Numunelere uygulanan diğer yaşlandırma süreçleri

Yıl	Yazar	Yalıtkan	Yaşlandırma	Süre	Ölçüm
2009	Mejia	XLPE - EPR	Sahada kullanılmış	40 yıl	tanδ
2009	Mejia	XLPE	Sahada kullanılmış	40 yıl	DG
2010	Rawangpai	XLPE	Alternatif yüksek Gerilim + Isıl	400 dakika	FDKS
2012	Chen	Polimer	Alternatif yüksek Gerilim + Isıl	720 saat	KB
2012	Chumra	Yağ İzoleli	Sahada kullanılmış	28 yıl	tanδ
2012	Mladenovic	YEK	Alternatif yüksek Gerilim + Isıl	720 gün	tanδ-KB
2012	Wang	YEK	Alternatif yüksek Gerilim + Isıl	300 gün	DS
2012	Yue	Polimer	Alternatif yüksek Gerilim + Isıl	60 gün	tanδ
2014	Mecheri	XLPE	Alternatif yüksek Gerilim + Isıl	2000 saat	tanδ
2018	Knenicky	XLPE	Alternatif yüksek Gerilim + Isıl	12 hafta	KB
2019	Chimunda	XLPE	Sahada kullanılmış	-	-
2020	Aakre	Epoksi	Alternatif yüksek Gerilim + Isıl	20 saat	KB

Tablo 2.5'te belirtilen çalışmalarda, kullanılan yalıtkan malzemenin değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Numunelerin ağırlıklı olarak film tabakalar ve kablo numunesi şeklinde hazırlandığı dikkat çekmektedir. Yaşlandırma prosedürlerinde, sahada kullanılmış veya çoklu (Isıl-Elektriksel) yaşlandırma yöntemi ile oluşturulan prosedürlerin tercih edildiği göze çarpmaktadır. Sahada kullanılmış kablolarda tanδ metodu tercih edilirken, çoklu yaşlandırma prosedürlerinde daha farklı dielektrik tanı yöntemlerinin de kullanıldığı görülmektedir. Yaşlandırma sürelerinin oldukça değişken olduğu ve genellikle kablo üreticileri tarafından belirlenen test düzeneklerinin kullanıldığı belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları, genelde yaşlandırma öncesi ve sonrası olarak sunulmuştur. Çalışmaların çoğunda, ölçüm sonuçlarından elde edilen bilgiler yardımıyla ömür analizi işlemleri yapılmıştır.

3
DİELEKTRİK TANI YÖNTEMLERİ

Kablo sistemlerinde meydana gelen arızaların başlıca nedeni, yalıtım malzemesi davranışının zorlanmalara bağlı olarak değişmesidir. Kablo yalıtımında kullanılan malzemelerin yaşadığı değişim, dielektrik tanı yöntemlerinin de gelişmesini beraberinde getirmiştir. Yeraltı kablo ve kablo sistemlerinin durumunu değerlendirmek için kısmi boşalma (KB), dielektrik kayıp faktörü (tanδ), dielektrik spektroskopi (DS), zaman domeninde reflektometri (ZDR), doğru akım (DA) kaçak akım, dielektrik dayanım ve kurtarma gerilimi gibi tanı yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [81]. KB yalıtkan malzeme içerisinde meydana gelen boşalma olaylarını elektriksel veya akustik olarak izlemeyi amaçlarken, tanδ, DS ve DA kaçak akım yöntemleri ise yalıtkan içerisinden sızan akımı ve bu akımın meydana getirdiği kayıp değerini ölçmeyi hedeflemektedir. ZDR ise kablo empedansından yola çıkarak arıza noktasının tespitinde büyük rol oynamaktadır. Kurtarma gerilimi de yalıtkan malzeme içerisindeki gerilim artışını izleyen tanı metodudur. Bu bağlamda, doğru tanı yönteminin tercih edilmesi arızanın tespitini kolaylaştıracaktır. Belirli bir uygulama için doğru tanı yönteminin seçilmesinde dikkat edilmesi gereken kriterler; yöntemin amaca uygunluğu, doğru değerlendirmenin yapılabilirliği ve ölçüm sonuçlarının kolay yorumlanabilmesi şeklinde sıralanabilir [82].

Bu bölümde, lieratürde yaygın olarak kullanılan dielektrik tanı yöntemleri hakkında teorik bilgiler paylaşılmıştır. Yöntemin amacı, çalışma prensibi, olumlu ve olumsuz yönleri belirtilmiştir.

3.1 Kısmi Boşalma (KB)

Gazlarda boşalma olayları, Towsend ve Kanal teorisi olmak üzere iki farklı temel teori ile açıklanır [68]. Bir gazda meydana gelen delinme, gazın basıncı ve elektrot açıklığına bağlıdır. Serbest yol yasasına göre, gaz molekülleri elektrik alan

doğrultusunda hareket etmektedir. Bu hareket sırasında parçacıklar birbiri ile çarpışır. Bir elektronun, elektrik alan doğrultusunda bir birim yol aldığı sırada çarpma ile meydana getirdiği iyon çifti sayısına iyonlaştırma katsayısı (α) denir. Bir pozitif iyonun ise katota çarparak, katottan kopardığı elektron sayısı "γ" ile gösterilir. Eğer katottan bir elektron kopmuş ise boşalma devam edebilir demektir. Bu duruma, boşalmanın kendini besleme koşulu denir. Bu koşul, düzgün alanda delinme geriliminin hesaplanabilmesi için temel olarak alınır. Towsend teorisine göre düzgün elektrik alanda delinme gerilimi Denklem 3.1'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır [83].

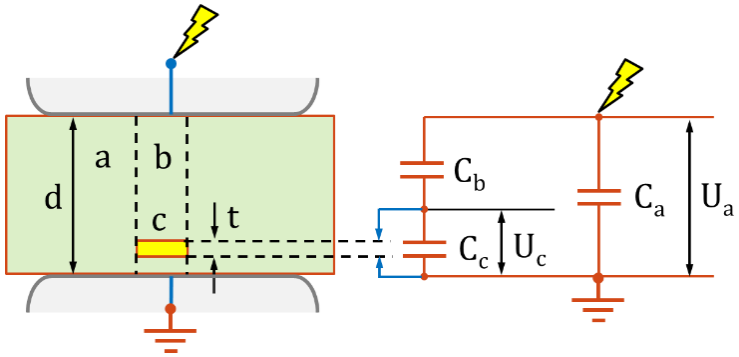
$$U_d = \frac{B \cdot p \cdot a}{\ln\left(\frac{A \cdot p \cdot a}{\ln\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)}\right)} \tag{3.1}$$

Burada, U_d (V) delinme gerilimini, A (1/cm.mmHg) ve B (V/cm.mmHg) gaz sabitlerini, p (mmHg) gaz basıncını, a (cm) elektrot açıklığını ve γ koparılan elektron sayısını belirtmektedir.

İki elektrot arasında bulunan yalıtkan malzemenin yalnızca bir bölümünde meydana gelen ve delinmeye yol açmayan elektriksel boşalmalara kısmi boşalma (KB) adı verilir. KB'ler genel olarak; korona, iç ve yüzeysel olmak üzere üç çeşit olarak sınıflandırılmıştır. Korona boşalması, keskin kenar ya da sivri uç gibi yüksek elektrik alan bulunan yerlerde meydana gelmektedir. Yalıtkan malzeme içerisinde bulunan boşluklarda oluşan KB'lere iç KB, yalıtkan malzeme yüzeyinde ortaya çıkan KB'lere ise yüzeysel KB denilmektedir. KB ölçümlerinin amacı, KB olaylarını tespit etme, bu olayların büyüklüklerini ölçme ve yerini belirleyerek sonuçları değerlendirmedir. Oluşan KB büyüklüğü kadar, gerilim değişimi meydana getiren yüke KB genliği (pC) denir. KB genliği Q sembolü ile gösterilir [83], [84]. KB olaylarının meydana geldiği en düşük gerilime kısmi boşalma başlangıç gerilimi (KBBG) adı verilir.

KB ölçümlerini teorik olarak açıklamak için gerekli olan eşdeğer devre Şekil 3.1'de verilmiştir [85], [86]. Burada, kapasite değerleri a,b,c alt indisleri ile

tanımlanmaktadır. C_a kusur içermeyen yalıtkana ait kapasite değerini, C_b boşluk dışında kalan kısmın kapasitesini, C_c ise boşluğun kapasite değerini göstermektedir. KB ölçümlerinde, elektriksel ve elektriksel olmayan yöntemler kullanılmaktadır.



Şekil 3.1 Kısmi boşalma eşdeğer devresi [87]

Elektriksel yöntemler, KB'lerden kaynaklanan yük hareketinin meydana getirdiği akım darbelerini (μA) ölçüm empedansı (Z_m) yardımıyla gerilim darbelerine (μV) dönüştürerek ölçme prensibine dayanmaktadır. Ölçüm empedansının kuplaj kapasitesine (C_K) bağlanma şekline göre, seri ve paralel olmak üzere iki çeşit elektriksel yöntem bulunmaktadır. Mevcut KB ölçüm cihazları IEC 60270 standardı gereği kHz, MHz gibi farklı frekans değerlerinde ölçüm yapabilmektedir [88].

Elektriksel olmayan yöntemler ise; akustik, optik ve elektriksel ağaçlanma incelemesi olarak sıralanabilir. Akustik yöntemde KB olaylarının neden olduğu gürültünün tespitinden yararlanılırken, optik yöntemde ise KB olaylarının ortaya çıkardığı ışıltının izlenmesinden faydalanılmaktadır.

KB ölçümleri çevrimiçi ve çevrimdışı olarak uygulanabilmektedir. Çevrimiçi testler, boşalma olaylarından kaynaklanan sinyallerin tespiti için yüksek frekanslı akım transformatörlerine ya da kapasitif sensörlere ihtiyaç duymaktadır. Çevrimdışı ölçümler ise genellikle C_K üzerinden gerçekleştirilmektedir. Her iki çeşide ait KB ölçümleri düşük frekansta, anma frekansında ve sönümlü gerilim altında gerçekleştirilebilir [2].

IEC 60502-2 standardına göre KB ölçümü, U_0 değerinin 2 katında 10 saniye süre ile beklendikten sonra $1.73 \cdot U_0$ gerilim değerinde yapılmaktadır. Yöntem olarak KB, tüm kablo tiplerini ve sistemini kapsayan bir dielektrik tanı yöntemidir. KB olayları rastlantısal bir süreçte meydana gelen boşalma olaylarıdır. Bir ölçümde görülen KB olayı, ardışık olarak gerçekleştirilen diğer ölçümde meydana gelmeyebilir. KB ölçümlerine ait olumlu ve olumsuz yönlerin belirtildiği genel bilgiler, maddeler halinde Tablo 3.1'de detaylı olarak sunulmuştur [2].

Tablo 3.1 KB yöntemine ait avantajlar ve dezavantajlar [2]

Avantajlar	• Tüm kablo tipleri için geçerlidir. • Elektrik ağaçlarını tespit edebilir. • Kusurların tanımları nettir.
Açık Noktalar	• Fabrika test sonuçları ile karşılatırma yapılamaz. • Ölçüm sonuçlarının yorumlanması zordur. • Uzun kablolarda yöntem başarısı kesin değildir. • Diğer KB kaynakları ölçümü sabote edebilir. • Tespit edilen hatanın arıza olasığı bilinmez. • Sıcaklıktan kötü etkilenir.
Dezavantajlar	• Tüm kusurları tespit edemez. • Su ağaçlarını tespit edemez. • Saha testi için belirleyici kriteri yoktur. • Algılanan KB olayları arızanın kesin kaynağı değildir.

3.2 Dielektrik Kayıp Faktörü (tanδ)

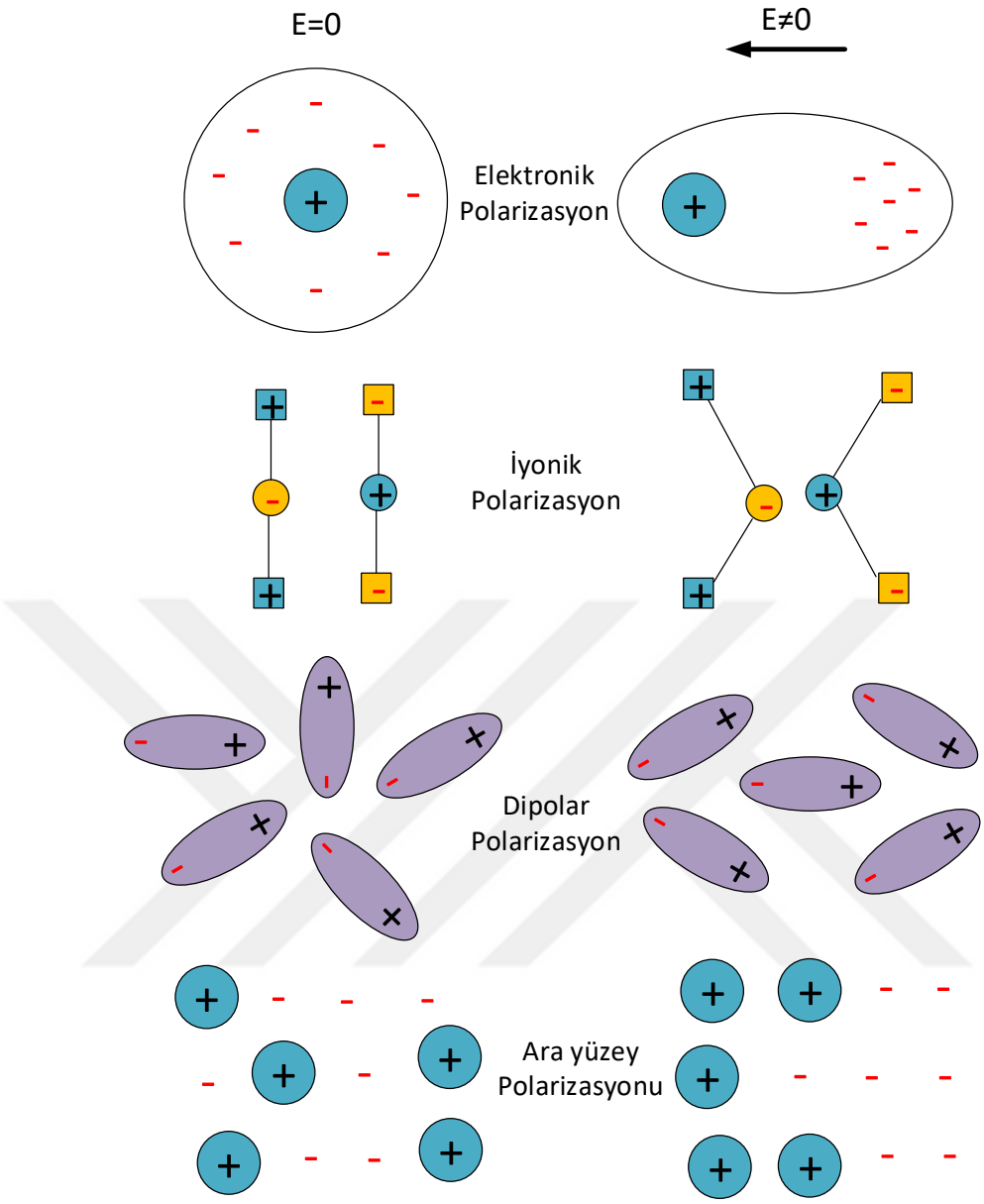
Elektriksel özellikler, bir malzemenin polarite derecesi ile belirlenmektedir. Yalnızca karbon ve hidrojen veya metilen zincirlerinden oluşan bir dielektrik benzeri polietilen, doğada polar halde bulunmamaktadır [89]. Bu tür

malzemelerin iletkenlik değeri düşüktür. Zincirde herhangi bir polar bileşen varsa, polimer daha polar hale gelir ve özellikleri artık ideal durumdaki gibi olmaz. Bir polimer elektrik alanına maruz kaldığında, polimer zincirin uygulanan elektrik alana tepki vereceği yerde polarize olacaktır. Sonuç olarak, zincirdeki iki yük polaritesi nedeniyle polimer iki yöne çekilecektir. İdeal olarak polietilen polar olmayan bir malzeme olmasına rağmen, gerçek dünya bileşimlerinde polimer yapısında bulunan safsızlıklar gibi her zaman az miktarda polar bileşen vardır. Elektrik alan uygulaması altında, bu safsızlıklar da polarizasyon yaşayacaktır. Şekil 3.2'de yalıtkan malzeme içerisinde oluşan polarizasyon mekanizma türleri gösterilmiştir [89].

Elektrik alana bağlı polarite değişimine göre kutup zinciri ileri geri hareket etmektedir. Bu zincirin hızlanmasındaki değişim oranı, frekans tarafından kontrol edilmektedir. Frekans arttıkça, zincirin değişen frekansa "ayak uyduramadığı" bir noktada değişim meydana gelir. Polimerdeki çeşitli fonksiyonel gruplarla, farklı gruplar farklı frekanslara duyarlı olacaktır. Frekans arttıkça, dipolün yanıt verebilmesi koşuluyla gerçek geçirgenlik değerinde (ε') herhangi bir değişiklik görülmeyecektir [82]. Dipol artık değişen alan kadar hızlı dönemediğinde, yükler tutulamaz ve dielektrik sabiti değeri ile değişir. Bu fenomen sadece bir polar yapıda meydana gelmez, aynı zamanda elektronik, atomik ve oryantasyonel polarizasyon gibi diğer elektriksel polarizasyonda da meydana gelir [90].

Elektronik polarizasyon; bir elektrik alan uygulaması altındaki tüm atomlarda meydana gelir. Atomun çekirdeği ve elektron bulutunun merkezi birbirinden uzaklaşarak çok küçük polarizasyon etkisi olan küçük bir dipol oluşturur [90].

İyonik polarizasyon; seramik malzemeler gibi iyonik katılarda, iyonlar net sıfır polarizasyon ile bir kristal kafes içinde simetrik olarak düzenlenir. Bir elektrik alanı uygulandığında, katyonlar ve anyonlar zıt yönlere çekilir. Bu, kondansatörlerde yaygın olarak kullanılan seramiklerde yüksek dielektrik sabitlerine yol açabilen nispeten (elektronik yer değiştirmeye kıyasla) büyük bir iyonik yer değiştirme yaratır [90].



Şekil 3.2 Yalıtkan malzemede oluşan polarizasyonlar

Dipol polarizasyon; bazı katıların, bir elektrik alanı altında kendilerini uygulanan alan yönünde döndürerek molekül başına net bir ortalama dipol momenti oluşturmasıdır. Dipol polarizasyonu, atomik yapıları sebebiyle polimerlerde daha yaygındır [90]. Arayüzey polarizasyonu; polikristal katıların arayüzlerindeki kirleticilerden veya düzensiz geometriden gelen yabancı yüklerden kaynaklanır. Bu yükler kısmen hareketlidir ve uygulanan bir alan altında göç ederek kutuplaşmaya neden olur. Dielektrik geçirgenlik (ε'), malzemenin bir elektrik alanı ile polarize olma yeteneğini temsil eder [91].

Tanδ, elektrik enerjisi olarak aktarılmanın aksine ısı enerjisi olarak meydana gelen kayıp miktarının bir ölçüsüdür. İyi bir yalıtkan için ε' ve tanδ değerlerinin düşük olması gerekir. Kompleks dielektrik geçirgenlik bağıntısı Denklem 3.2'de verilmiştir [91].

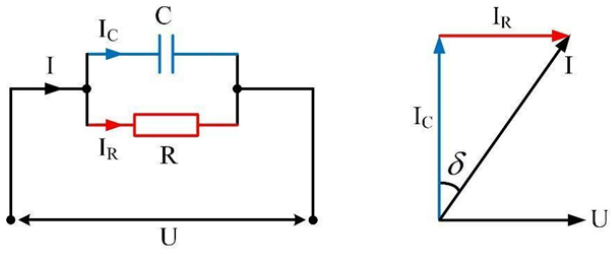
$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \tag{3.2}$$

Dielektrik sabiti kavramını anlamak için, önce yakından ilişkili bir özelliği, kapasiteyi (C) tartışmak daha kolaydır. Dielektrik için C ve iletkenlik (G) ile ilgili hesaplamalar Denklem 3.3 ve 3.4'te verilmiştir [91].

$$C = \frac{\varepsilon' \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{\mathrm{d}} \tag{3.3}$$

$$G = \frac{\sigma \cdot A}{d} = \frac{1}{R} \tag{3.4}$$

Burada, A (m^2) elektrot alanını, d (m) elektrot açıklığını, σ ($\Omega^{-1}m^{-1}$) öz iletkenliği ve R (Ω) direnç değerlerini belirtmektedir. Bu duruma ait paralel eşdeğer devre ve fazör diyagramı Şekil 3.3'te verilmiştir [1].



Şekil 3.3 Yalıtkan malzemeye ait eşdeğer devre ve fazör diyagramı

Şekilde, R (Ω) yalıtım kayıplarını temsil eden direnci, C (F) yalıtkan malzemenin eşdeğer kapasitesini, U (V) uygulanan gerilim değerini, I_R (A) dielektrik kayıba neden olan akımı, I_C (A) kablo kapasitesi üzerindan akan akımı, I (A) toplam akımı ve δ (°) da I_C ile I_R arasındaki faz açısını temsil etmektedir.

Eşdeğer devre parametrelerinden ve dielektrik geçirgenlikten yararlanarak, dielektrik kayıp faktörü Denklem 3.5'te verildiği şekilde hesaplanabilir [1].

$$tan\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\mathrm{U}/_R}{\mathrm{U} \cdot \omega \cdot \mathrm{C}} = \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (3.5)$$

Burada tanδ, dielektrik kayıp faktörünü, ω (rad/sn) açısal frekansı, ε' (F/m) dielektrik geçirgenliğin gerçek kısmını, ε' ' (F/m) dielektrik geçirgenliğin sanal kısmını tanımlamaktadır. Buna göre, dielektrik malzeme içerisinde meydana gelen kayıplar Denklem 3.6'da verildiği şekilde hesaplanabilir [1].

$$P_k = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot tan\delta \quad (3.6)$$

Sahada kullanılmakta olan bir kablo üzerinde meydana gelen olumsuz etki gerilimin genliğine, frekansına ve kablo tipine bağlı olarak değişebilmektedir [81].

Tanδ ölçümleri, dielektrik malzeme içerisindeki güç yayılımını belirlemeye yarayan bir tanı yöntemidir. Tanδ ölçümleri ile kablo sisteminin daha etkin değerlendirilmesi için periyodik ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Periyodik ölçümlerin kıyaslanması, kablo sisteminde meydana gelen ek bozunumların tespitinde etkin rol oynar. Fakat, değerlendirmelerin sağlıklı olarak yapılabilmesi için ölçüm kriterlerinin ve koşullarının aynı olması gerekmektedir. Farklı kablo tiplerinde gerçekleştirilen tanδ ölçümleri, farklı değerlendirme kriterleri gerektirdiğinden dolayı genel bir değerlendirme kriteri bulunmamaktadır. Bu durumun sonucu olarak farklı analiz metotlarına ve ilişki kurmaya yönelik incelemelere ihtiyaç duyulmaktadır [47], [48].

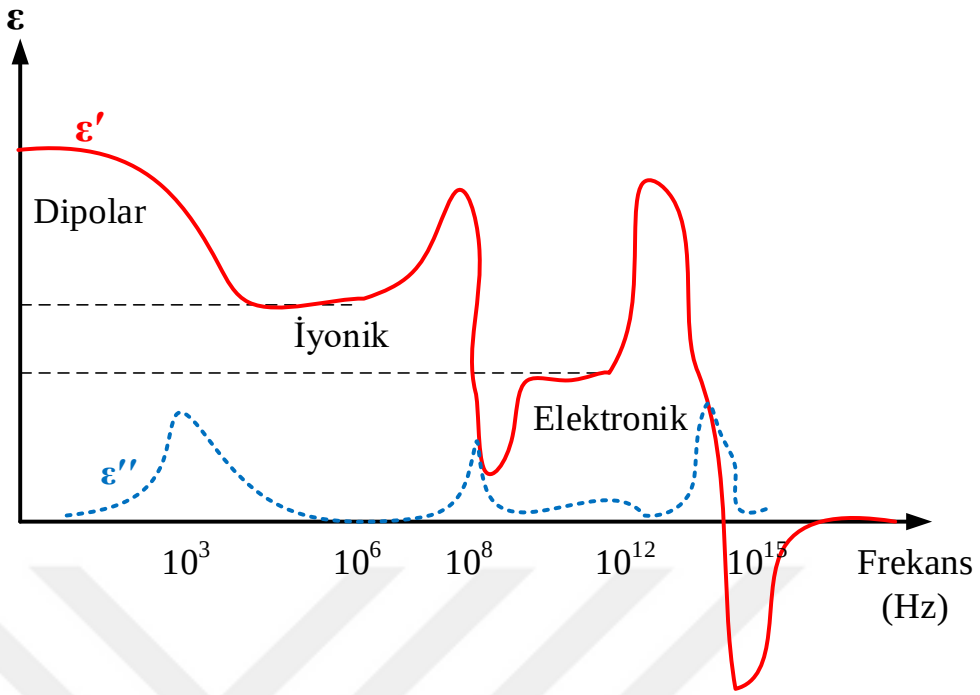
Çevrimdışı olarak gerçekleştirilen tanδ ölçümleri çok düşük frekansta (0.01 Hz), anma frekansında, harmonik frekanslarda ve sönümlü gerilim kullanılarak uygulanabilir. IEC 60502-2 standardına göre, 6 kV'tan daha yüksek anma gerilimine sahip kablolarda en düşük 2 kV gerilim altında tanδ ölçümü gerçekleştirilmelidir. Tanδ ölçüm yöntemine ait genel olumlu ve olumsuz özellikler Tablo 3.2'de belirtilmiştir [2].

Tablo 3.2 Tanδ yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2]

Avantajlar	• Uygulanması kolaydır. • Genel bir değerlendirme sağlar. • Farklı güç kaynakları ile gerçekleştirilebilir. • Gürültü ve parazitlerden etkilenmez. • Düşük gerilimde elde edilen veriler kullanılabilir. • Sonuçlar basit sayısal değerlerdir. • Sonuçların yorumlanması kolaydır.
Açık Noktalar	• Aksesuara ait arıza tespit edilemeyebilir. • Farklı kablo tiplerinde karşılaştırma yapılamaz. • Frekansların ölçüm üzerindeki etkisi bilinemez. • Sıcaklığın ölçüm üzerindeki etkisi net değildir.
Dezavantajlar	• Kusurun konumu belirlenemez. • Test için kablo devresi hizmet dışında bırakılmalıdır.

3.3 Dielektrik Spektroskopi (DS)

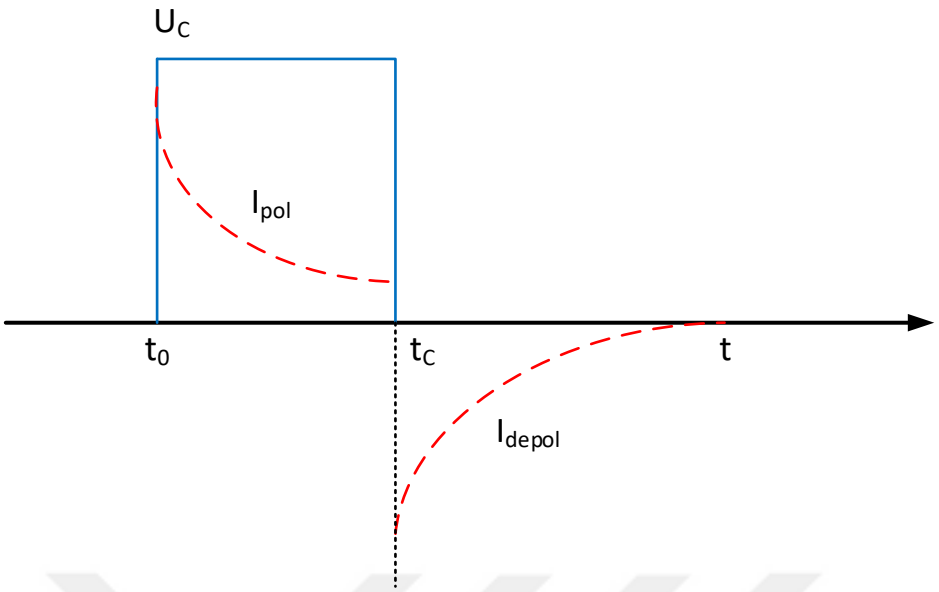
Dielektrik spektroskopi (DS), tanδ ölçümüne benzer bir yöntemdir. Ek olarak, tanδ ölçümleri 0.001 ile 100 MHz frekans aralığında yapılır ve Şekil 3.4'te belirtildiği üzere dielektrik parametreler frekansın bir fonksiyonu olarak tanımlanır [3]. DS ölçümlerinden elde edilen veriler, oldukça fazla bilgiler içeren frekans spektrumlarıdır. Bu bağlamda, tanδ ölçümlerine kıyasla daha dikkatli yorumlanması gerekir. Farklı frekans bölgelerinde, dielektrik geçirgenliği ve kayıp faktörünün frekans bağımlılığı farklıdır. Şekil 3.4'te görüldüğü üzere, düşük frekanslarda ε, ε' değerine eşittir ve ε'' sıfırdır. Frekans arttıkça, ε' başlangıçta oldukça yavaş azalırken, elektromanyetik dalgaların (infrered, görünür ışık ve ultraviyole vb.) daha yüksek frekanslarında bir azalmanın ardından keskin artışlar olur [92]. ε'', ε değerinin değiştiği frekansların yakınlarında tepe noktalarına sahiptir. ε' ve ε'' değerlerine ait değişim grafiği Şekil 3.4'te paylaşılmıştır [86].



Şekil 3.4 Frekansa bağlı polarizasyon türleri [92]

Frekansın artmasıyla ortaya çıkan denge dışı etkiler; elektronik, atomik ve arayüz polarizasyonu olmak üzere üç kısım olarak adlandırılır. Her bir kısım; elektronların, atomların, moleküllerin ve iyonların hareketlerine karşılık gelir [90].

Ölçümler hem gerilim altında (polarizasyon) hem de gerilim uygulanmadığında (depolarizasyon) yapılır. Polarizasyon akımı (PA) ve depolarizasyon akımına (DPA) ait grafik Şekil 3.5'te verilmiştir [2]. Burada, U_C uygulanan doğru gerilimin genliğini (V), t_C gerilim uygulandığı süreyi (sn), $I_{pol}(t)$ polarizasyon akımını, $I_{depol}(t)$ depolarizasyon akımını belirtmektedir.



Şekil 3.5 Polarizasyon ve depolarizasyon akımları [2]

Ölçümlerden elde edilen veriler Hamon yaklaşımı kullanılarak frekans domenine dönüştürülür. Hamon yaklaşımına ait bağıntı Denklem 3.7'de verilmiştir [81]. Hamon yaklaşımı kullanılarak frekans domenine dönüştürülen verilerde, kısa süreler yüksek frekanslara, uzun süreler ise düşük frekanslara karşılık gelmektedir. Bu durumun sonucu olarak, kısa süreli ölçümlerin doğruluk oranı düşmektedir.

$$Tan\delta\left(\frac{0.1}{t}\right) = \frac{i_{pol}\left(\frac{0.1}{t}\right)}{\omega \cdot C \cdot U} \tag{3.7}$$

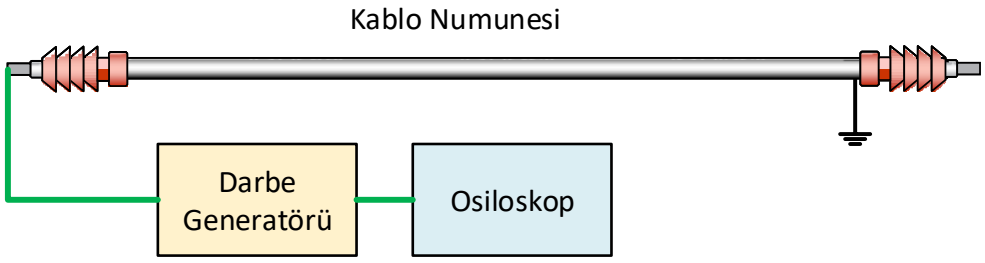
ASTM D150 standardı gereği DS ölçümleri, frekans (FDS) ve zaman (ZDS) domeninde olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilir [93]. FDS yaklaşımı, ayrı frekanslarda gerilim uygulanmasının ardından o frekanstaki akımın gerçek ve sanal değerlerinin hesaplanması ile elde edilir. Frekans, tüm aralığı kapsayacak şekilde kademelendirildiğinde, veriler değerlendirilebilir. ZDS yaklaşımı, FDS ile karşılaştırıldığında, kablo sisteminde kayıp akımlarının ölçümlerini zamanın bir fonksiyonu olarak elde etmek için belirli bir süre uygulanan doğru gerilim kullanır. Tablo 3.3'te tanδ yöntemine ek olarak DS yöntemi ile ilgili olumlu ve olumsuz yönler özet olarak sunulmuştur [2].

Tablo 3.3 DS yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2]

Avantajlar	• Uygulanması kolaydır. • Gürültü ve parazitlerden etkilenmez. • Düşük gerilimde elde edilen veriler kullanılabilir.
Açık Noktalar	• Su ağaçlarının etkisi tespit edilemez.
Dezavantajlar	• Bu yaklaşımın kullanılabilirliği yaygın değildir.

3.4 Zaman Domeninde Reflektrometri (ZDR)

Kablo sistemine ait empedans değeri, sistem içerisinde meydana gelen kısa devrelerden, kablo eklerinde oluşan yüksek direnç noktalarından ve yalıtım malzemesindeki bozunumlardan dolayı zamanla değişmektedir. Zaman domeninde reflektometri (ZDR) testi, bir kablo sistemindeki empedans değerinde meydana gelen değişimleri izleyerek karakterize eden ve IEEE/IEC 62582-5 standardına göre yapılan bir tanı yöntemidir [81]. Tipik olarak, ZDR metodu çevrimdışı gerçekleştirilen bir ölçüm yöntemidir. Test süresi ortalama olarak 5-10 dakika sürmektedir.



Şekil 3.6 ZDR ölçümüne ait blok diyagram

ZDR yöntemine ait ölçüm şeması Şekil 3.6'da gösterilmiştir. ZDR, radar benzeri bir yöntemdir. Kablo sisteminin bir ucundan hızlı yükselen bir darbe gerilimi uygulanır. Sistem içerisinde herhangi bir empedans kesintisi olduğunda darbenin bir kısmı kaynağa geri yansıyacaktır. Yansıyan darbenin bileşenleri kablonun durumunu değerlendirmek için kullanılır. Başlangıç darbesi ve yansıma, ölçü aleti ekranında işaretlenerek yorumlanabilecektir. Bu durumda, kablo uzunluğu da

belirlenebilecektir. Yansıyan darbeler yardımıyla kablo sistemindeki süreksizlik noktası da bulunur. Yansıma katyasısı (ρ) Denklem 3.8'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır [81]. Burada, Z_0 (Ω) kablonun karakteristik empedans değerini, Z_d (Ω) ise süreksizlik noktasına kadar olan empedans değerini ifade eder. Yansıma katsayısının değeri +1 ile -1 arasında değişmektedir. Değerin +1 olması açık devre olduğunu, -1 olması ise kısa devre meydana geldiğini göstermektedir. Yansıma katsayısı sıfır olduğunda hiçbir yansıma olmadığını gösterir.

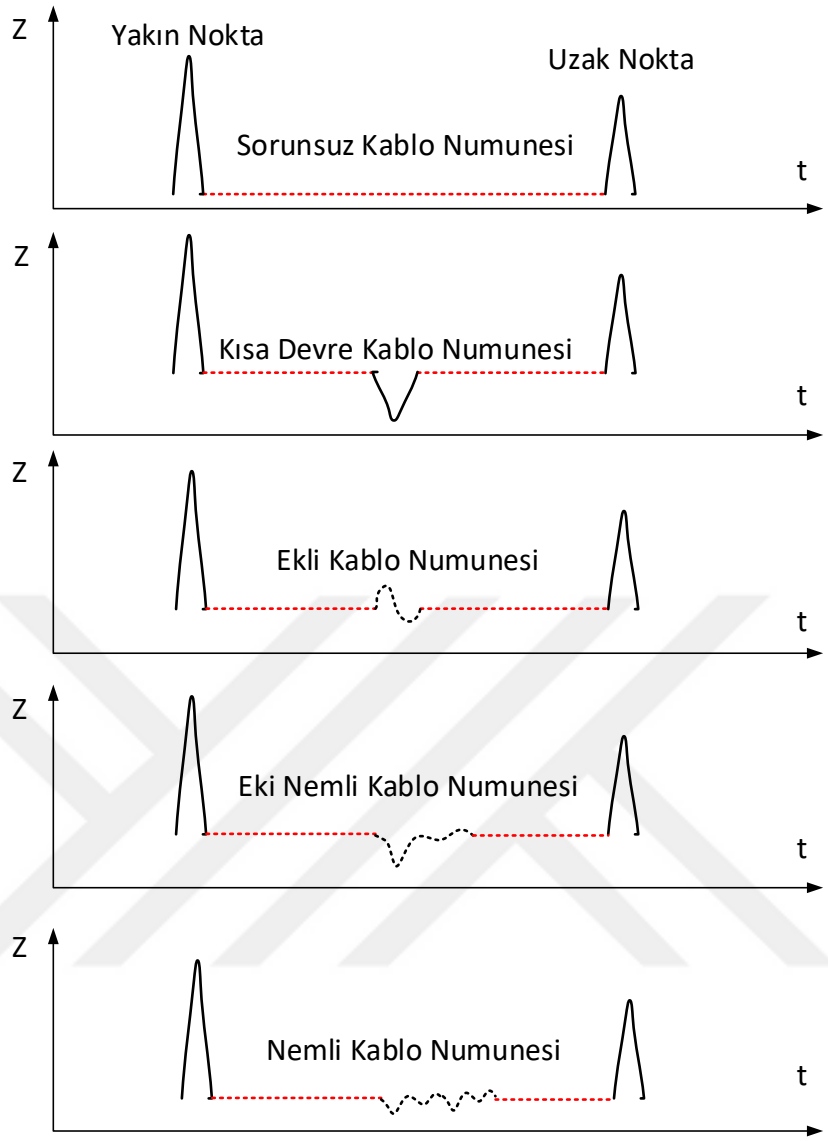
$$\rho = \frac{Z_d - Z_0}{Z_d + Z_0} \tag{3.8}$$

Ek olarak yansıyan darbelerin şekilleri ile süreksizliğe sebep olan etmenler de analiz edilebilmektedir. Zaman; darbeden yararlanılarak konuma veya mesafeye dönüştürülebilir. Şekil 3.7'de kablolarda meydana gelen empedans değişimleri ve sebeplerine ait birkaç örnek ölçüm sonucu gösterilmiştir [68].

Tablo 3.4'te tanı yönteminin olumlu ve olumsuz özelliklerinden bahsedilmiştir [2].

Tablo 3.4 ZDR yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2]

Avantajlar	• Test ekipman boyutları küçüktür. • Darbe gerilim genliği küçüktür. • Arıza konumu belirlenebilir.
Açık Noktalar	• Çevrimiçi uygulanması belirsizdir. • Kablo sistemine ait geçmişin bilinmesi gerekir. • Süreksizliklerin tamamı yorumlanamayabilir.
Dezavantajlar	• Gürültü ve parazitlerden olumsuz etkilenlir.

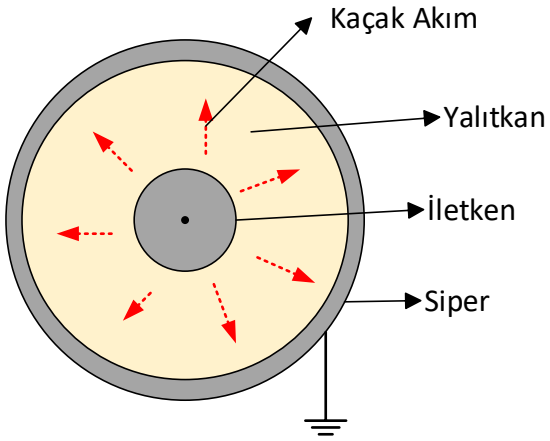


Şekil 3.7 Kablo empedansında meydana gelen değişimler [68]

3.5 DA Kaçak Akım

DA kaçak akım testleri, düşük DA gerilim altında meydana gelen kaçak akımın ölçülmesine dayanan bir tanı yöntemidir. Tüm kablo devrelerine uygulanabilmektedir. Fakat, kullanım ömrünü tamamlamaya yaklaşmış olan kablolarda arızalara neden olabilmektedir. Kaçak akımın şematik gösterimi Şekil 3.8'de sunulmuştur.

Kablo sistemine uygulanan DA gerilimi kararlı durumda olduğunda, gerilimi sabit tutmak için gerekli olan akım değeri ölçülür. Bu yöntem çevrimdışı olarak uygulanır. Burada amaç, kablo sistemi yalıtımının genel durumunu belirlemektir.



Şekil 3.8 Kablo yalıtkanı içerisindeki kaçak akım yönelimleri

İletken ve yalıtkan arasında gerilim uygulanarak meydana gelen akım değeri ölçülür. Kademeli olarak arttırılan gerilim değerinde bir adım yaklaşık olarak 30 saniye sürer. Bu yöntem genellikle, anma geriliminde gerçekleştirilmektedir. IEC 60950 standardında atıflanan IEC60601-1 standardına göre maksimum 210 μA kaça akım kabul edilmektedir. Gerekli koşullarda, deney sırasında uygulanan maksimum gerilim değeri anma geriliminin 2 katıdır. Toplam test süresi 10 dakikayı bulmaktadır. DA kaçak akım ölçüm yöntemine ait olumlu ve olumsuz özellikler Tablo 3.5'te verilmiştir [2].

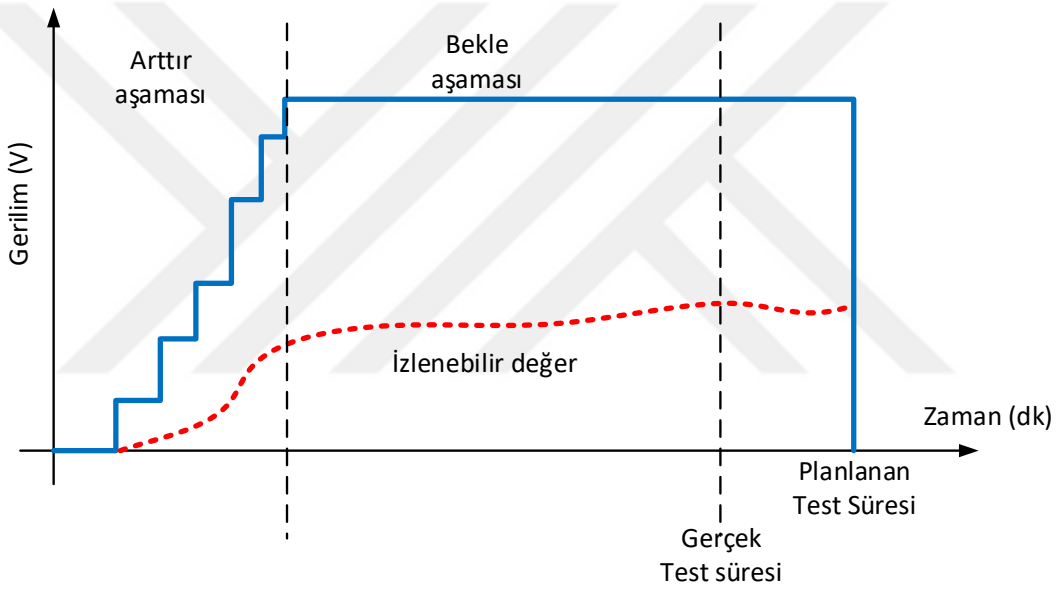
Tablo 3.5 DA kaçak akım yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2]

Avantajlar	• Ölçü aleti ucuzdur. • Yöntemin uygulanması kolaydır.
Açık Noktalar	• Kirli kablo başlıklarında sonuç alınamayabilir.
Dezavantajlar	• Her test öncesinde kablo topraklanmalıdır. • Ciddi kablo kusurlarını algılar.

3.6 Dielektrik Dayanım

Dielektrik dayanım testleri, basit ve izlenebilir olmak üzere iki çeşit olarak uygulanmaktadır. Basit dielektrik dayanım testi, anma geriliminden daha yüksek

değerlerde gerilimlerin uygulanması ile oluşan tanı yöntemidir [81]. Bu testlerin sonucunda kablo sistemi zarar görmektedir. Başarılı bir dayanım testi, yalıtım sistemindeki kusurlarını geride bırakmadan kablo sisteminin başarısız olmasına yetecek sürede gerilimin sürekli olarak arttırılmasıyla gerçekleştirilir. Testin uygulanış biçiminin şematik gösterimi Şekil 3.9'da sunulmuştur. Uygulanan gerilim değeri anma geriliminin 1,5-3 katı arasında önceden belirlenen seviyeye yükseltilir. Burada amaç, sistem içerisindeki kusurların işletme sırasında meydana getirebileceği arızaları test sırasında ortaya çıkarmaktır. Buna karşılık, izlenebilir dielektrik dayanım testi gerçekleştirilirken, testin dayanma süresi veya "Bekle" aşaması sırasında dielektrik boşalma özelliği izlenir.



Şekil 3.9 Dielektrik dayanım testi şematik gösterimi [81]

Diğer tanılama teknikleri gibi, basit ve izlenebilir dayanım testleri, uzun süreler için (60 dakikaya kadar) işletme geriliminden daha yüksek gerilimlerin uygulanmasını gerektirir. Bununla birlikte, diğer birçok tanısal test tekniğinden farklı olarak, testte başarısızlık kabul edilebilir bir sonuçtur [48].

Dielektrik dayanım testleri için kritik bir konu, test için seçilen gerilimin uygulama süresidir. Test süresi çok kısaysa, arızalara neden olabilecek yerel kusurları olan kablo sistemleri, hatanın test sırasında başarısız olma şansı olmadan kullanıma döndürülebilir [94]. Aynı şekilde, kısaltılmış bir test, ölçümlerin yararlı bilgiler

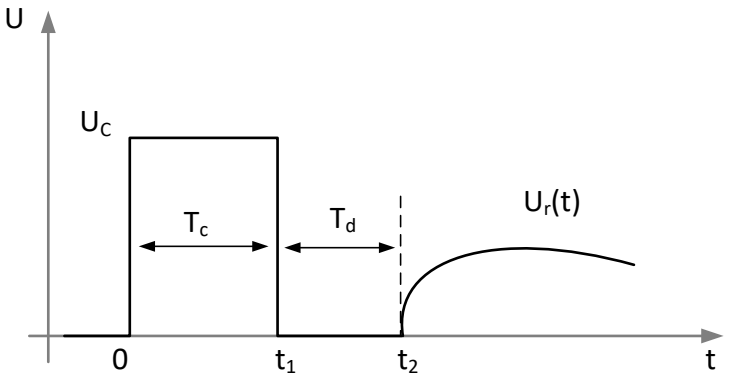
sağlaması için yeterli fırsatı sağlamayabilir. IEEE 400 kılavuzunda, basit dielektrik dayanım testi için, öngörülen test süresinin 60 dakika olması gerektiği önerilmektedir [2]. Deneyimler izlenen verilerin iyi kablo sistemi performansını kesin olarak doğruladığını gösteriyorsa, test süresi de 15 dakikaya düşürülebilir. Tablo 3.6'da bu yönteme ait olumlu ve olumsuz yönler verilmiştir [2].

Tablo 3.6 Dielektrik dayanım yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2]

Avantajlar	• Kullanımı kolaydır. • Sonuçları çok nettir. • Tüm kablolar için kullanılabilir.
Açık Noktalar	• Arızaya neden olmadan dielektrik malzeme yapısını bozabilir.
Dezavantajlar	• Yanlış uygulama ile hasar nedeni olabilir. • Kablo sistemi hizmet dışı bırakılmalıdır. • Olası kablo kusurları tespit edilemez.

3.7 Kurtarma Gerilimi

Kurtarma gerilimi metodu, yalıtkan malzemesi içerisindeki yüklerin salınmasından kaynaklanan gerilim artışını ölçen bir tanı metodudur. Yalıtkan malzeme içerisinde biriken nem, malzeme içerisinde yüklerin sıkışmasına neden olur [2]. Uygulanan deney gerilimi kesildiğinde kablo sistemi boyunca ölçülen gerilim değerine kurtarma gerilimi denir. Kurtarma gerilimi deneyi genellikle kağıt yalıtımlı kurşun kaplı (PILC) kablolarda su ağacından kaynaklanan bozulma seviyelerini tespit etmek için kullanılmaktadır [81].



Şekil 3.10 Kurtarma gerilimi deneyinin uygulama prosedürü [81]

Test, çevrimdışı kullanılabilen bir metottur. Yalıtkan malzemenin genel durumunu değerlendirmek için kullanılır. Test prosedürüne ait şema Şekil 3.10'da verilmiştir [2]. Kablo sistemi, U_C DA gerilimi (V) uygulanarak T_C (dk) süresi boyunca şarj edilir. U_C gerilimi, anma geriliminin (U_0) katı olacak şekilde belirlenir. T_C, genellikle 15 dakika olacak şekilde seçilir. Şarj süresi tamamlandığında kablo sistemi T_d (sn) süresi boyunca deşarj edilir. Deşarj süresi 2-5 saniye arasında değişebilmektedir.

Deşarj sona erdikten sonra ölçülen $U_r(t)$ gerilimi kurtarma gerilimi olarak tanımlanmaktadır. Kurtarma gerilimi metodunda, dielektrik tanı faktörü olarak D büyüklüğü kablodaki hasarın seviyesini belirtir. D faktörüne ilişkin bağıntı Denklem 3.9'da verilmiştir [81].

$$D = \frac{U_{r-max-2\cdot U_0}}{U_{r-max-U_0}} \tag{3.9}$$

Hasarsız kablolar için D değeri 2'ye eşit olmalıdır. U_C gerilimi ile $U_r(t)$ gerilimi arasında doğru orantı ve uyum bulunmaktadır. Kurtarma gerilimi yönteminin olumlu ve olumsuz yönlerine ait değerlendirmeler Tablo 3.7'de özetlenmiştir [2].

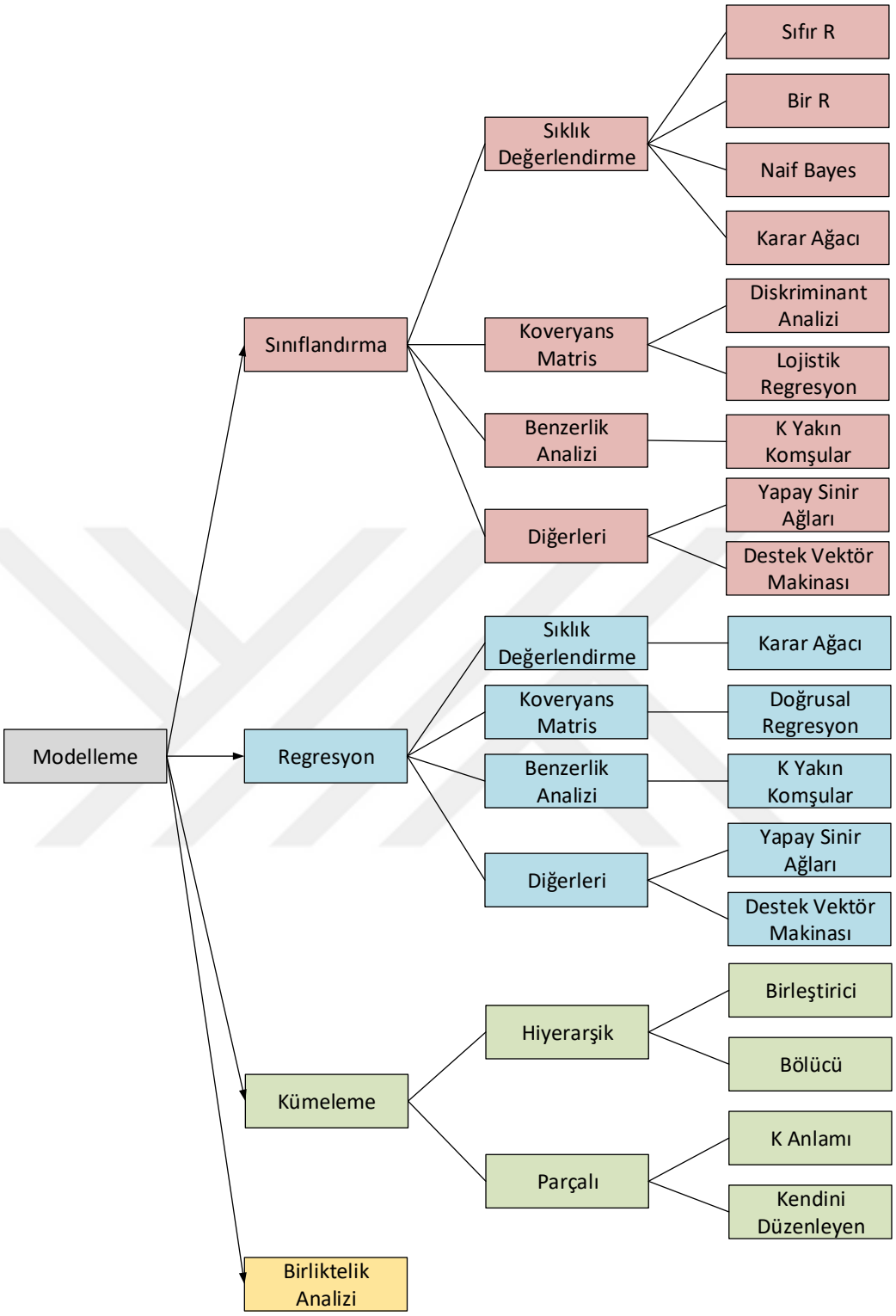
Tablo 3.7 Kurtarma gerilimi yöntemine ait avantaj ve dezavantajlar [2]

Avantajlar	• Ölçü aleti küçüktür. • Genel durum değerlendirmesi yapar.
Açık Noktalar	• Sadece PILC kabloları için uygulanabilir. • Her testten sonra kablo topraklanmalıdır.
Dezavantajlar	• Uygulama klavuzu yoktur. • Olası kablo kusurları tespit edilemez.

4
ANALİZ YÖNTEMLERİ

Yeraltı kablolarının dielektrik durumunun izlenebilmesi için farklı yöntemler bulunmaktadır ve kullanılan başlıca tanı yöntemlerinin detayları Bölüm 3'te verilmiştir. Literatürde, kablonun dielektrik performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Tüm bu çalışmalarda, kullanılan tanı yöntemleri kablonun dielektrik performansı hakkında anlık bilgi sunmaktadır. Ancak, günümüzde izlenebilir ve kararlı bir güç sisteminden beklenen, kablonun gelecekteki dielektrik performansının tahmin edilebilmesi ve arızaların öngörülebilmesidir. Kablonun yaşlanma sürecinin izlenmesine ek olarak ileriye dönük tahmin yapılabilmesi pek çok arızanın önüne geçilmesini sağlayarak sistem sürekliliğine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, dielektrik parametrelerin tahmin edilmesi, oluşan kayıpların maliyeti ve sistemdeki reaktif güç yükünün kontrolü açısından oldukça önemlidir. Bununla birlikte uzun ölçüm süreleri; yüksek maliyet ve iş gücü gereksinimlerini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, veri analizinde kullanılabilecek yöntemlerin araştırılması ve öngörü kabiliyetlerinin ortaya konması son derece gereklidir.

Veri analizi, depolanan verilerin kullanılmasıyla geçmişin değerlendirilebilmesi ve geleceğin öngörülebilmesi olarak açıklanabilir. Öngörülebilirlik, sonuçların tahmin edilebilmesi için modellerin oluşturulduğu işlemler bütünüdür. İşlemler; sınıflandırma (classification), regresyon (regression), kümeleme (clustering) ve birliktelik analizi (association rules) şeklinde belirlenmiştir. Sınıflandırma; sayısal ve kategorik değişkenlere dayanan bir model oluşturarak kategorik değişkenin değerini tahmin etmeye yönelik iken, regresyon ise; sayısal değişken değerini tahmin etmeyi hedefleyen bir yöntemdir. Kümeleme; her grubun üyelerini, mümkün olduğunca birbirine benzer ve birbirinden farklı olacak şekilde gruplara ayırma işlemidir. Dr. Saed Sayad'ın öngörülebilirlik konusunda kullanılan yöntemleri sınıflandırdığı şema Şekil 4.1'de paylaşılmıştır [95].



Şekil 4.1 Veri analizinde kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması [95]

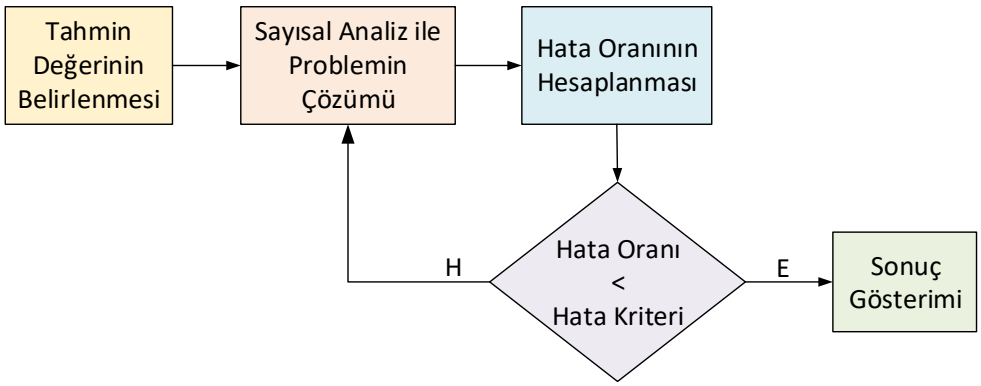
Veri analizinde; istatistik, sayısal analiz, makine öğrenmesi ve yapay zeka (derin öğrenme) uygulamalarının bir veya birkaçından oluşan algoritmalar kullanılmaktadır.

İstatistik; verilerin biraraya getirilerek sınıflandırılmasını, sonuçların yorumlanmasını, özelliklerin birbiri ile ilişkilendirilmesini ve belirli kriter ile tahmin yapılmasını mümkün kılan yöntemler bütünüdür. Sayısal analiz; veri setlerinin matematiksel olarak modellenmesini mümkün kılan hesaplama biçimidir. Makine öğrenmesi; bilgisayarlar yardımıyla karmaşık örüntülerin tespitinde ve akılcı kararların alınmasında rol oynayan algoritmaların bütünüdür. Yapay zeka ise, insan zekasına ait yüksek bilişsel fonksiyonları kullanabilen bir sistemdir. Farklı türden algoritmaların birlikte çalışmasıyla, algılama, öğrenme ve çıkarımda bulunarak karar verme yetilerini segilemektedir.

Bu tez çalışmasında, sayısal analiz, makina öğrenmesi ve yapay zeka uygulamalarını temsilen; en küçük kareler yöntemi (EKKY), karar ağacı (KA) ve yapay sinir ağları (YSA) algoritmaları veri analizi için kullanılmıştır. Bu bölümde, kullanılan analiz yöntemlerinin çalışma prensiplerine ait genel bilgiler paylaşılmıştır.

4.1 Sayısal Analiz

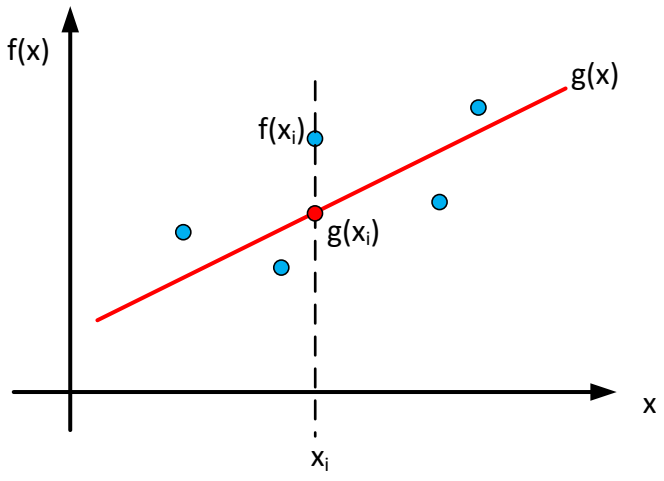
Sayısal analiz yöntemleri oldukça esnek problem çözme yeteneğine sahip araçlardır. Problemin, farklı bağımsız değişkenleri kapsayan genel çözümü yerine kabul edilebilir hata oranı içerisinde yaklaşık çözümünü elde etmeye yarayan bir algoritmadır. Sayısal işaret ve görüntü işleme ile bilgisayar destekli analiz gibi farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Tüm sayısal analiz uygulamalarında izlenmesi gereken işlem adımları Şekil 4.2'de belirtilmiştir [96].



Şekil 4.2 Sayısal analiz uygulamasına ait işlem adımları [96]

Tahmin değeri, deney ve ölçümlerden elde edilen verilerin kullanılması ile oluşturulan veri setlerinden oluşmaktadır. Problemin çözümünde; lagrange polinomu, bölünmüş farklar yöntemi başta olmak üzere interpolasyon veya en küçük kareler yöntemi gibi eğri uydurma metotları kullanılabilmektedir. Sayısal çözümleme sonucunda elde edilen değerleri ile gerçek veriler arasında bir hata oranı belirlenir. Belirlenen hata oranı hata kriterini sağlıyorsa, sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Aksi halde hata kriteri sağlanana kadar sayısal çözümleme işlemine devam edilmelidir [96].

Eğri uydurma işleminde, ölçüm verilerini kapsayan eğrinin türü kestirilemeyebilir. Bu durumda, kullanılacak eğri doğrusal, ikinci veya üçüncü dereceden polinomlar, üstel ya da logaritmik olarak seçilebilir. Eğri uydurmak için kullanılan en popüler yöntem en küçük kareler yöntemi (EKKY)'dir. EKKY, birbirine bağlı iki büyüklük arasındaki ilişkiyi, gerçeğe uygun bir denklem olarak belirlemek için kullanılan, standart bir regresyon yöntemidir. Bir başka deyişle bu yöntem, ölçüm ile elde edilmiş veri değerlerine "mümkün olan en yakın" fonksiyon eğrisi bulmak için uygulanmaktadır [97]. EKKY'nin amacı, gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkın karelerinin toplamının en küçük olmasıdır. Şekil 4.3'te gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farklar gösterilmiştir [98].



Şekil 4.3 Gerçek değer ve tahmin edilen değer arasındaki farklar [98], [99]

Burada, ölçüm sonuçları [$f(x_i)$] ile uydurulan eğri [$g(x_i)$] arasında farkın minimum olması gerekmektedir. EKKY, farklı türdeki fonksiyonları kullanarak, gerçek

değere en uygun eğriyi uydurmayı hedefler. Kullanılabilecek fonksiyonların (Y) bağıntılarına ait örnekler Denklem 4.1 ile 4.6 arasında sıralanmıştır [100]. Burada, X ölçüm sonuçlarının değişkenini, a, b, c, d… v.b. terimleri ise Y fonksiyonu içerisindeki x değişkenlerinin katsayılarını göstermektedir.

$$Y = aX + b \tag{4.1}$$

$$Y = aX^2 + bX + c \tag{4.2}$$

$$Y = aX^3 + bX^2 + cX + d \tag{4.3}$$

$$Y = ae^{bX} \tag{4.4}$$

$$Y = aX^b \tag{4.5}$$

$$Y = a + b \ln X \tag{4.6}$$

Eğri uydurma işleminden sonra, uydurulan eğrinin ölçü verilerine uygunluğunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için, belirleme katsayısı (R^2) kullanılmaktadır. R^2 değerinin formülasyonu Denklem 4.7'de paylaşılmıştır [100].

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{RES}}{SS_{TOT}} = 1 - \frac{\sum[f(x_i) - g(x_i)]^2}{\sum\left[f(x_i) - \overline{f(x)}\right]^2} \tag{4.7}$$

Ölçüm sonuçları [$f(x_i)$] ile uydurulan eğri [$g(x_i)$] arasındaki farkların karelerinin toplamı ile $f(x_i)$ verilerinin ortalama değere ($\overline{f(x)}$) uzaklığı oranının 1'den çıkarılması ile R^2 değeri elde edilmektedir. R^2 değeri 0-1 arasında değişmektedir. R^2 değeri 0'a yakınsa uydurulan eğrinin uyumlu olmadığı, R^2 değeri 1'e yaklaştıkça uydurulan eğrinin uyumlu olduğu kabul edilir.

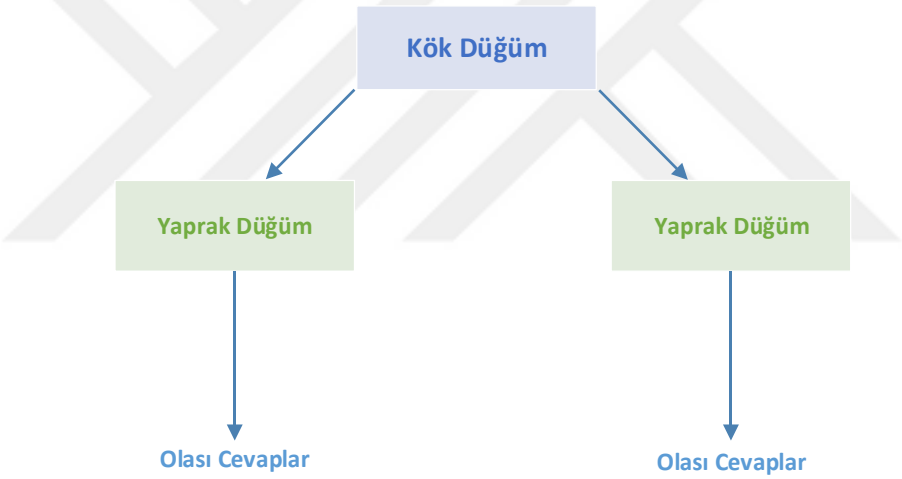
4.2 Karar Ağaçları (KA)

Karar ağacı (KA), her düğümün bir nitelik veya nicelik üzerinde bir değerlendirmeyi temsil ettiği akış şemasına benzer bir yapıdır. Bir karar ağacında, ağaç dalları değerlendirme sonucunu, yapraklar ise alınan kararı temsil eder. Kökten yaprağa giden yollar, sınıflandırma veya tahmin kurallarını gösterir. Karar

analizinde, bir karar ağacı ve yakından ilişkili etki diyagramı, rakip alternatiflerin beklenen değerlerinin (veya faydasının) hesaplandığı görsel ve analitik bir karar destek aracı olarak kullanılır. Bir karar ağacı üç tür düğümden oluşur [101]:

- Karar düğümleri - tipik olarak karelerle temsil edilir.
- Şans düğümleri - tipik olarak dairelerle temsil edilir.
- Uç düğümler - tipik olarak üçgenlerle temsil edilir.

Karar ağacı, her düğümün bir giriş özelliği ile etiketlendiği bir ağaçtır (Şekil 4.4). Bir giriş özelliği ile etiketlenmiş bir düğümden gelen yaylar, hedef özelliğin olası değerlerinin her biri ile etiketlenir, farklı bir giriş özelliğindeki bir alt karar düğümüne götürür. Ağacın her yaprağı, veri setinin ağaç tarafından belirlenen bir kısıma veya bir kurala göre seçildiğini belirten sınıflar üzerinde bir olasılık dağılımı ile etiketlenir.



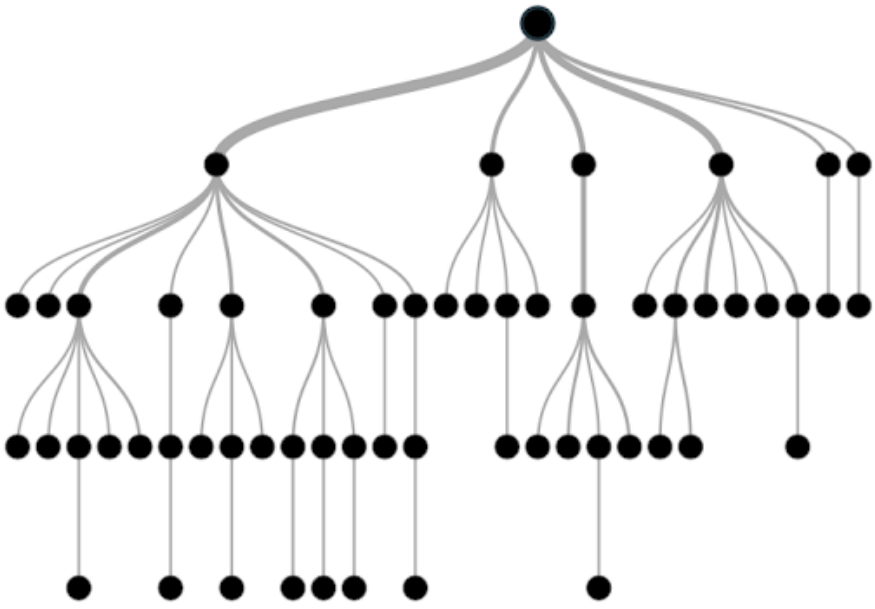
Şekil 4.4 Karar ağacı algoritması

Bir ağaç, ağacın kök düğümünü oluşturan kaynak kümesini, ardıl yaprakları oluşturan alt kümelere bölerek oluşturulur. Bölme, sınıflandırma özelliklerine dayalı bir dizi bölme kuralına dayanmaktadır [101]. Bu işlem, her türetilmiş alt kümede özyinelemeli bölümleme adı verilen özyineli bir şekilde tekrarlanır. Özyineleme, bir düğümdeki alt küme hedef değişkenin tüm değerlerine sahip olduğunda veya bölme artık tahminlere değer eklemediğinde tamamlanır. Karar ağaçlarının yukarıdan aşağıya indüksiyonu, açgözlü bir algoritma örneğidir. Karar ağacının dallanma yapısına ait şematik gösterim Şekil 4.5'te paylaşılmıştır.

Algoritma içerisinde seçilecek olan kök düğümünün tüm veri setini kapsayacak şekilde olması oldukça önemlidir. Kök düğümün belirlenmesinde "Gini Endeksi" olarak Denklem 4.8'de tanımlanan alt küme saflık değeri bulunmaktadır [102].

$$Gini = 1 - \sum_{j=1}^{c} p_j^2 \tag{4.8}$$

Burada, "c" veri kümesini, "p_j" belirli bir düğüm için veri kümesine ait örneklerin oranını belirtmektedir. Gini endeksi 0-1 arasında bir değer almaktadır ve değerin 0'a yakın olması küme ayrımının saflıkla yapıldığını gösterir. Gini endeksi, gelişigüzel seçilen bir değerin ne hata ile belirlendiğini değerlendirmek için kullanılan bir büyüklüktür. Karar ağacının kök hücresi bulunurken, meydana gelebilecek her düğüm için gini endeksi hesaplanır ve 0'a en yakın değere sahip olan düğüm kök düğümü olarak otomatik olarak atanır ve dallanma işlemi başlamış olur. Dallanma işlemi sırasında her bir yaprak düğümü oluşumunda gini endeksi aktif olarak kullanılmaktadır [103].



Şekil 4.5 Karar ağacı dallanma yapısı örneği

Veri madenciliğinde karar ağaçları, belirli bir veri kümesinin tanımlanmasına, sınıflandırılmasına ve genelleştirilmesine yardımcı olmak için matematiksel ve

hesaplama tekniklerinin kombinasyonu olarak da tanımlanabilir. Bir karar ağacının tahmin peformansından daha iyi performans elde etmek için farklı karar ağaçlarını birleştiren ve karışık orman (random forest) denilen metotlar da bulunmaktadır. Karar ağacı algoritmalarının ana amacı, bir grup güçsüz bileşenin bir araya getirilmesi ile güçlü topluluk oluşturmaktır [102]–[104].

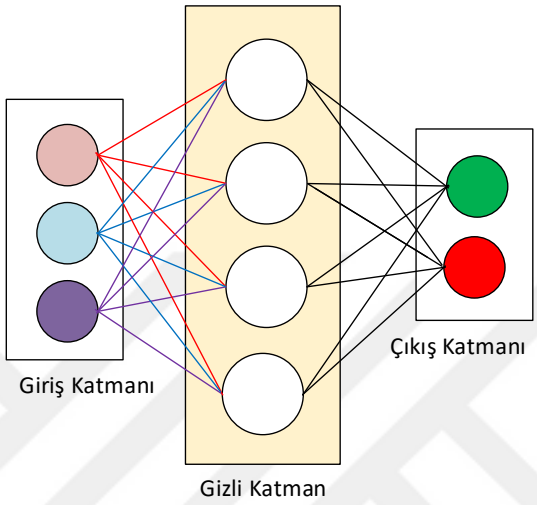
Arttırma (boosting) adı verilen teknikte bileşenler, ilk aşamada öğrenenlerin modellerini kullandıktan sonra verileri analiz ederek hata oranını düşürmektedir. Bu teknik, iteratif olarak bölme ağırlıklarının arttırılmasına dayanmaktadır. Fakat, yöntemin başarı oranı, sınıflandırma problemleri dışında kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, tahmin edilecek verilerin ait olduğu fonksiyonun gradyanı, algoritma tarafından tanımlanan kayıp fonksiyonunun hata oranlarını en aza indirmemize olanak sağlayacaktır. Başka bir ifade ile gradyan arttırma, kullanılarak tahminlerin güncellenmesi hata oranlarını minimize edecektir. Bu nedenle, gradyan artırma algoritmasının ardındaki amaç, artıklardaki etkileşimleri yeniden kullanmak ve zayıf tahminlerle bir modeli güçlendirerek kusursuz hale getirmektir. Kalıntılardan modellenebilecek herhangi bir örüntü olmadığı noktaya ulaştığımızda, modelleme otomatik olarak sonlanacaktır. KA algortimasının eğitilmesi ile ilgili işlem adımları maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir [104].

- Eğitim veri setinin belirlenmesi
- Kök düğümün belirlenmesi
- Ağaç sayısının belirtilmesi
- İlk karar ağacının sınanması

4.3 Yapay Sinir Ağları (YSA)

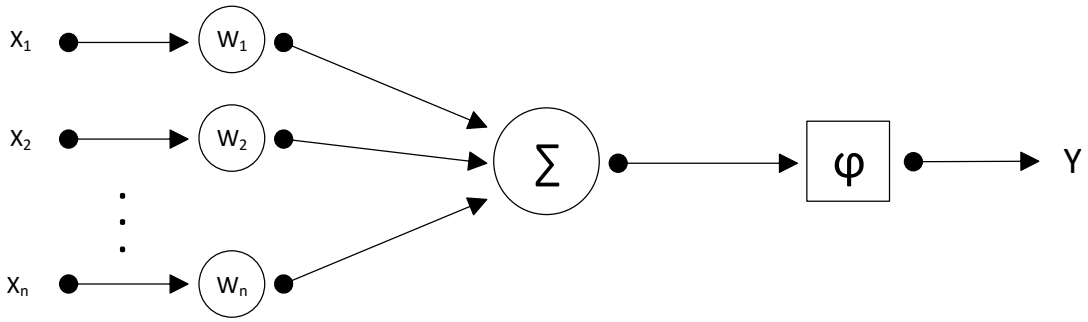
Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir ağlarından yola çıkılarak oluşturulmuş hesaplama birimleridir [105]. YSA, nöronları modelleyerek, birbirine bağlı sinirlerin işlevselliğine dayanır. Her bir bağlantı, beyindeki sinapslar gibi sinyal iletebilir. Yapay bir nöron sinyal aldığında, onu işleyerek diğer nöronlara iletir. İletilen sinyal gerçek bir sayıdır ve her bir nöronun çıkışı, girişlerinin toplamının hesaplanmasıyla elde edilir. Bağlantılara, kenarlar adı verilir. Nöronlar ve kenarlar tipik olarak, öğrenme ilerledikçe ayarlanan bir ağırlığa sahiptir.

Ağırlık, bağlantılarda bulunan sinyallerin gücünü değiştirir. Nöronlar içerisinde bir eşik değer belirlenmiş olabilir. Bunun sonucunda, toplam sinyal bu eşiği geçerse iletim gerçekleştirilir. Nöronlar katmanlar halinde bir araya getirilir. Farklı katmanlar, farklı dönüşümler gerçekleştirebilir [105]. Sinyaller giriş katmanından çıkış katmanına giderken birden çok geçiş yapabilmektedir. Yapay sinir ağının yapısını Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Çok katmanlı yapay sinir ağlarının yapısı

YSA, değeri bilinen bir giriş değerleri ile çıktı değeri arasında ilişkiler oluşturan örnekleri inceleyerek eğitilir. Şekil 4.7'de bir sinir hücresinde yer alan işlemlerin şeması görülmektedir [106]. Burada, "X_n" girdi verilerini, "W_n" ağırlık çarpanlarını, "$\sum$" bilgiyi hesaplayan transfer fonksiyonunu, "φ" çıkış değerinin seçimini işleyen aktivasyon fonsiyonunu ve "Y" ise sinir hücresinin çıkış değerini sembolize etmektedir.



Şekil 4.7 Yapay sinir hücresi işlem yapısı [106]

Girdiler (X_n), nöronlara giriş verilerdir. YSA hücresine, başka hücrelerden gelebileceği gibi dışarıdan da dahil olabilir. Girdiler vasıtasıyla gelen veriler, gerçek sinir hücrelerinde olduğu şekilde toplanmak üzere nöron çekirdeğine gönderilir.

Ağırlık (W_n), çekirdeğe iletilen bilgi olarak tanımlanabilir. YSA hücresine gelen bilgiler, bağlantıların ağırlığıyla çarpılarak çekirdeğe iletilir. Bu şekilde, giriş değerlerinin çıkış değerleri üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir. Ağırlık değerleri reel sayılardan belirlenebilmektedir. Ağırlık değeri sıfır ise çıkış üzerinde herhangi bir etkisi olmayacaktır.

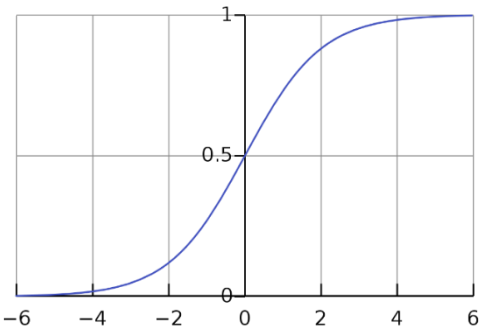
Transfer fonksiyonu ($\sum$), YSA hücresine gelen bilgileri toplama veya çarpma işlemini kullanarak, o hücrenin bilgisini hesaplayan bir matematiksel fonksiyondur. Birleştirme fonksiyonu olarak toplama, çarpım, maksimum, minimum ve çoğunluk gibi fonksiyonlar kullanılmaktadır. Denklem 4.9'de toplam transfer fonksiyonu görülmektedir.

$$net = \sum_{i=1}^{n} X_i \cdot W_i \tag{4.9}$$

Aktivasyon fonksiyonu (φ), YSA hücresine gelen bilgileri işleyerek hücrenin üreteceği çıkış değerini seçer. Aktivasyon fonksiyonu olarak genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. YSA'nın doğrusal olmama özelliği buradan gelmektedir. Belirlenirken dikkat edilmesi gereken nokta, fonksiyon türevinin hesaplanabilir olmasıdır. Günümüzde, çok katmanlı YSA modelinde sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır [107].

Şekil 4.8'de grafiği gösterilen sigmoid fonksiyonu sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. Doğrusal olmayışı dolayısıyla YSA uygulamalarında en sık kullanılan fonksiyondur. Sigmoid fonksiyonu, giriş değerleri için Denklem 4.10'a göre 0 ile 1 arasında bir değer üretir.

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \tag{4.10}$$



Şekil 4.8 Sigmoid fonksiyon grafiği [107]

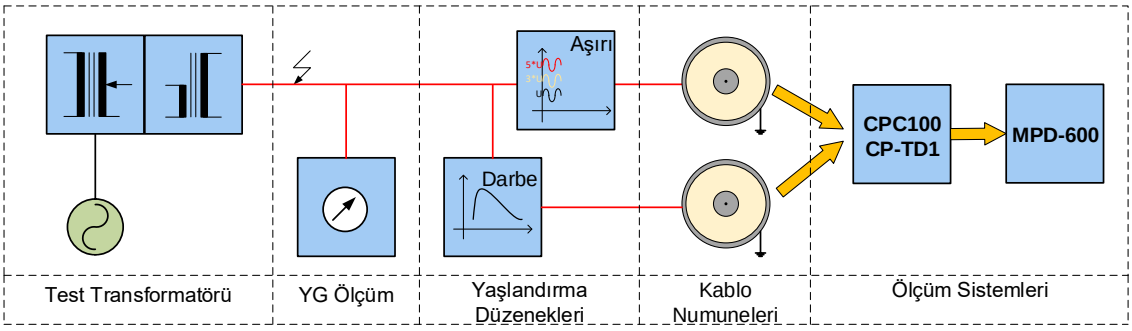
YSA'nın belirlenen hata oranı içerisinde sonuca ulaşmasına öğrenme adı verilir. Öğrenme işlemi giriş verilerinin hücre içerisine girmesi ile başlar. Giriş verileri transfer ve aktivasyon fonksiyonlarından geçirilerek bir hücreye ait çıkış değeri elde edilir. Bir çok hücrenin meydana getirdiği YSA'da çıkış katmanından elde edilen çıktılar, gerçek değerler ile kıyaslanarak hata oranı belirlenir. Belirlenen hata oranının istenilen değerden büyük olması sonucunda her bir YSA hücresi giriş verisini yeniden işleme alır. Bu işlem döngüsü, her bir çevrimde değiştirilen ağırlık katsayıları ile elde edilen çıktılar gerçek değere istenilen hata oranında ulaşana kadar devam ettirilir. Hedef hata değerine ulaşıldığı anda öğrenme işlemi sonlandırılır. Sonuç olarak, belirlenen katsayı ve fonksiyonlar, YSA yapısı içerisinde saklanır. Öğrenme işleminde kullanılan veriler, eğitim verisi olarak da tanımlanmaktadır. Eğitim verisine dahil edilmeyen ve öğrenme işlemi ile elde edilen verilere tahmin verisi denir. Tahmin işlemi ile sınanan ağın karakteri ve performansı değerlendirilerek eğitim işleminin doğruluğu kontrol edilebilmektedir. Bir sinir ağının eğitimi ile ilgili işlem adımları sırası ile maddeler halinde aşağıda paylaşılmıştır [108].

- Eğitim veri setinin belirlenmesi
- Sinir ağı topolojik yapısının seçilmesi
- Transfer fonksiyonunun belirlenmesi
- Aktivasyon fonksiyonunun belirlenmesi
- Sinir ağının sınanması

5
DENEYSEL UYGULAMALAR

Tez çalışmasında, Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ), Elektrik Mühendisliği, Yüksek Gerilim Laboratuvarı imkanları dahilinde deneysel uygulamalar planlanmış ve yaşlandırma prosedürleri, deney düzenekleri ve ölçüm yöntemleri belirlenmiştir.

Tez kapsamında, 6/10 kV ve 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE kablo numunelerine $3*U_0$ ile $5*U_0$ alternatif yüksek gerilimleri ve 50 kV yıldırım darbe gerilimi (1.2/50 μs, [+]) kullanılarak yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma işlemi 15 dakikalık periyotlar halinde yapılmıştır. Darbe gerilimi ile yaşlandırma prosedürü ise 250 adet darbenin 60 dakika süre içerisinde uygulanması ile oluşturulmuştur. Her bir yaşlandırma çevrimi ardından dielektrik parametre (tanδ, P_K, C) ve KB ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Dielektrik parametrelerin ölçümü OMICRON CPC100/CPTD-1 cihazı yardımıyla 2-12 kV gerilim ve 50-400 Hz frekans aralığında, KB ölçümleri de $1.73*U_0$ geriliminde MPD600 deney kiti kullanılarak yapılmıştır. Bu bölümde; kablo numunelerinin hazırlanması, alternatif yüksek gerilim ve darbe gerilimi yaşlandırma deney düzeneklerinin oluşturulması, yaşlandırma prosedürleri, ölçüm cihazları, ölçüm prosedürleri hakkında bilgiler ve ölçüm sonuçları paylaşılmıştır. Deneysel uygulamaların şematik gösterimi Şekil 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1 Deneysel uygulamaların şematik gösterimi

5.1 Kablo Numunelerinin Hazırlanması

Deneysel uygulamalarda iki farklı gerilim değerine sahip kablolardan yararlanılarak başlıklı ve başlıksız kablo numuneleri oluşturulmuştur. Kablo çeşitleri hakkında gerilim, kesit, tür, yalıtkan ve kod olmak üzere detaylı bilgiler aşağıda sunulmuştur.

- 6/10 kV, 1x95 (Cu) / 25(Cu) mm^2, tek damarlı, XLPE yalıtkanlı, NA2XSY
- 12/20.8 kV, 1x25 (Al) / 25(Cu) mm^2, tek damarlı, XLPE yalıtkanlı, NA2XSY
- 12/20.8 kV, 1x150 (Al) / 25(Cu) mm^2, tek damarlı, XLPE yalıtkanlı, NA2XSY

Kablo numuneleri, 5 m uzunluğunda hazırlanmıştır. Soyma ekipmanı kullanarak gerçekleştirilen kablo başlığı montajı Şekil 5.2'de görülmektedir. Başlıklı kablo numunelerinin testlerinde, kablo başlığı içerisinde meydana gelen delinme sonucunda bazı kablo numunelerinde hedeflenen yaşlandırma çevrimi sayısına ulaşılamamıştır. Bu yüzden, başlıksız kablo numunleri oluşturulmuş ve birebir aynı metotlar kullanılarak testler yinelenmiştir.



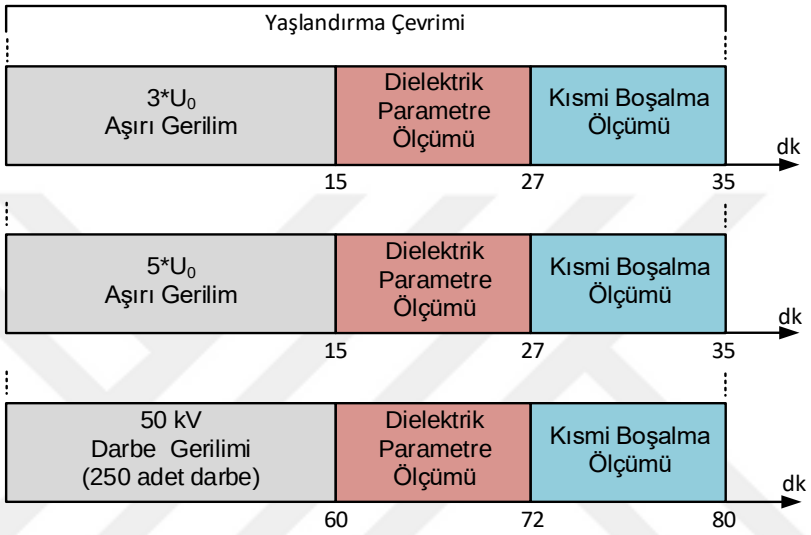
(a) Soyma (b) Montaj-1 (c) Montaj-2

Şekil 5.2 Kablo başlığı montaj aşamaları

5.2 Yaşlandırma Düzenekleri

Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda bulunan ekipmanlar kullanılarak hem başlıksız kablo numuneleri hem de başlıklı kablo numuneleri üzerinde yaşlandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan yaşlandırma prosedürlerine ait detaylar bir yaşlandırma çevrimini içerecek biçimde Şekil 5.3'te

şematik olarak gösterilmiştir. Alternatif yüksek gerilim kullanılarak gerçekleştirilen yaşlandırma işlemlerinde bir yaşlandırma çevrimi 15 dakika ve pozitif kutuplu yıldırım darbe gerilimi kullanılarak yapılan yaşlandırma işlemlerinde bir yaşlandırma çevrimi 60 dakika olarak belirlenmiştir. 60 dakika süren bir çevrim boyunca toplam 250 adet yıldırım darbesi uygulanması uygun görülmüştür. Yaşlandırma işlemlerinin ardından yapılan dielektrik parametre ölçümü 12 dakika ve kısmi boşalma ölçümü de 8 dakika sürmüştür.



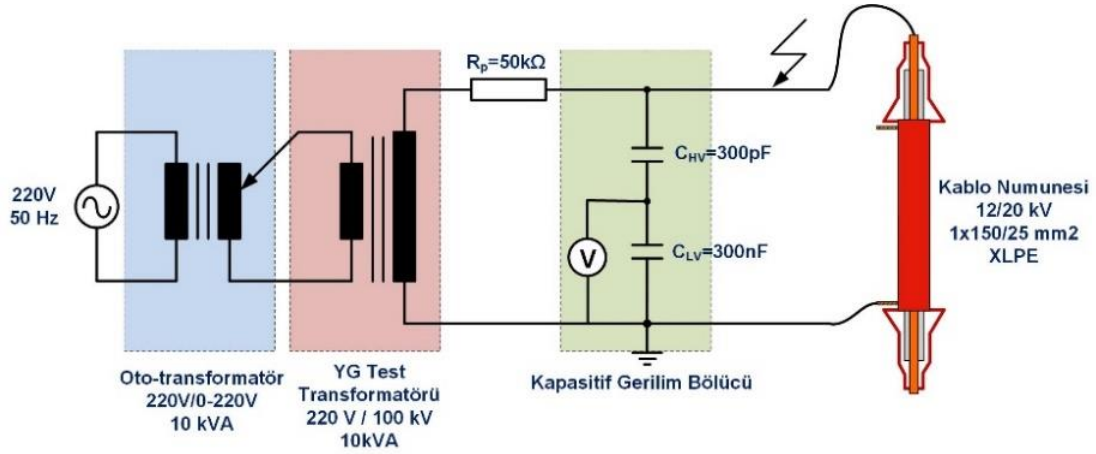
Şekil 5.3 Yaşlandırma prosedürlerine ait şematik gösterim

Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma işlemlerinin 100 çevrim ve darbe gerilimi ile yaşlandırma işlemlerinin de 50 çevrim olarak (toplamda 12500 darbe) uygulanması hedeflenmiştir.

5.2.1 Alternatif Yüksek Gerilim ile Yaşlandırma

Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma işlemi için YTÜ Yüksek gerilim laboratuvarında bulunan 220V/100kV, 10 kVA deney transformatörü kullanılmıştır. Şekil 5.4'te görüldüğü üzere, YG test transformatörü, primer gerilimi 0-220 V arasında ayarlanabilen bir oto-transformatör üzerinden beslenmektedir. YG test transformatörünün çıkışında bulunan 50 kΩ değerindeki Rp direnci, olası atlama/boşalma durumunda transformatörün sekonder sargılarını korumak ve kısa devre akımını sınırlandırmak için kullanılmaktadır. Direncin sonrasında bulunan kapasitif gerilim bölücü ile kablo numunelerine

uygulanan gerilimin genliği ölçülmekte olup gerilim bölücünün dönüştürme oranı 1/1000'dir. Bu noktadan sonra kablo iletkeni devrenin yüksek gerilim kısmına, kablo siperi de toprağa bağlanmaktadır. Laboratuvarda bulunan deney düzeneği Şekil 5.5'te sunulmuştur.



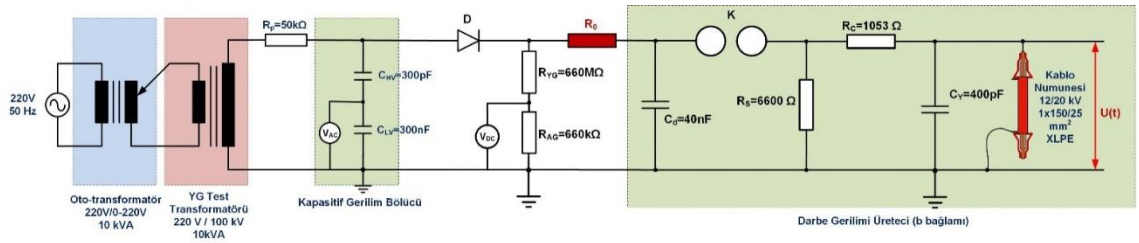
Şekil 5.4 Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma düzeneği bağlantı şeması



Şekil 5.5 Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma düzeneği

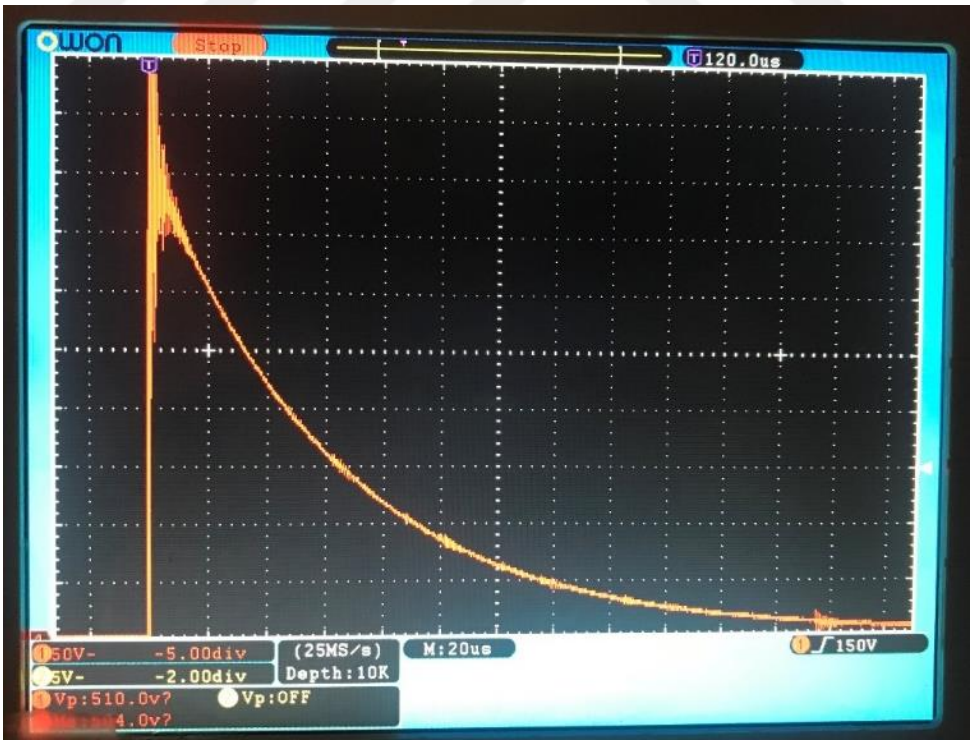
5.2.2 Darbe Gerilim ile Yaşlandırma

Kablo yalıtkanını yaşlandırmak için kullanılan yöntemlerden biri de darbe gerilimidir. Darbe geriliminin üretilmesi için YTÜ Yüksek Gerilim Laboratuvarında bulunan ve Şekil 5.6'da gösterilen darbe üreteci kullanılmıştır.

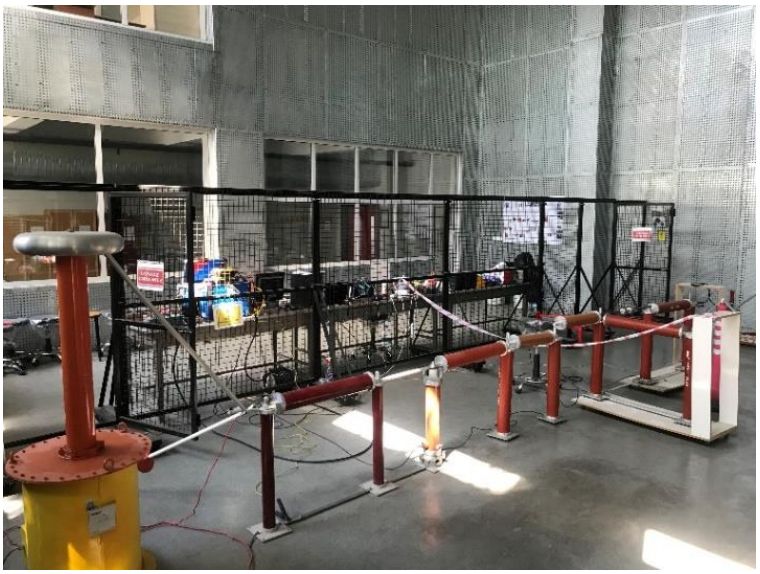


Şekil 5.6 Darbe gerilimi ile yaşlandırma düzeneği bağlantı şeması

Bu devrede üretilen darbe gerilimi, C_Y yük kondansatörü uçlarında meydana gelen U(t) gerilimidir. Kapasitif gerilim bölücü çıkışında bulunan diyot (D) yardımıyla C_d darbe kondansatörü istenen gerilim seviyisinde R_0 direnci üzerinden doldurulur. Sonrasında küresel elektrotlarda (K) atlama meydana gelir ve C_d kondansatörü R_C cephe direnci üzerinden boşalarak C_Y kondansatörünü dolduruur. Böylelikle darbe geriliminin cephe kısmı oluşur. C_Y kondansatörünün $R_C + R_S$ direnci üzerinden boşalması ile darbe geriliminin sırt kısmı oluşur. Bu bağlamda tasarlanan darbe gerilimi üreteç devresi test edilmiş olup elde edilen darbe gerilim dalga şekli Şekil 5.7'de verilmiştir. Laboratuvarda bulunan darbe gerilim üretecine ait deney düzeneği Şekil 5.8'de paylaşılmıştır.



Şekil 5.7 Üretilen standart yıldırım darbe gerilimi (50kV, (+), 1,2/50 μs)



Şekil 5.8 Darbe gerilim üreteci deney düzeneği

5.3 Ölçüm Sistemleri

Tez çalışmasında, alternatif yüksek gerilim ve darbe geriliminin dielektrik malzeme üzerindeki etkilerini incelemek için dielektrik parametreler (tanδ, P_K, C) ve KB ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Dielektrik parametre ölçümlerinde OMICRON CPC-100/CPTD1 cihazı, KB ölçümlerinde ise OMICRON MPD600 kiti kullanılmıştır. Ölçüm cihazları Şekil 5.9'da görülmektedir.

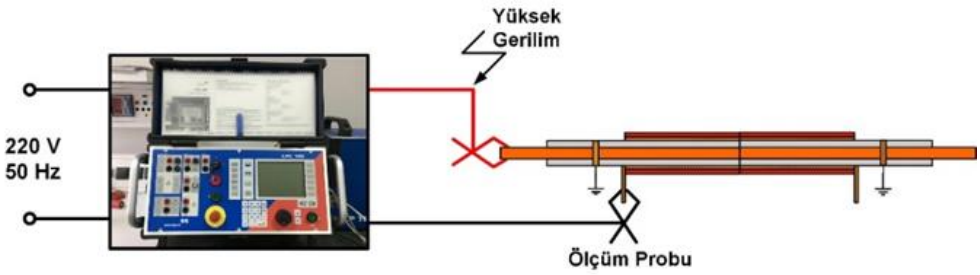


(a) CPC100/CPTD1 (b) MPD600

Şekil 5.9 OMICRON ölçüm cihazları

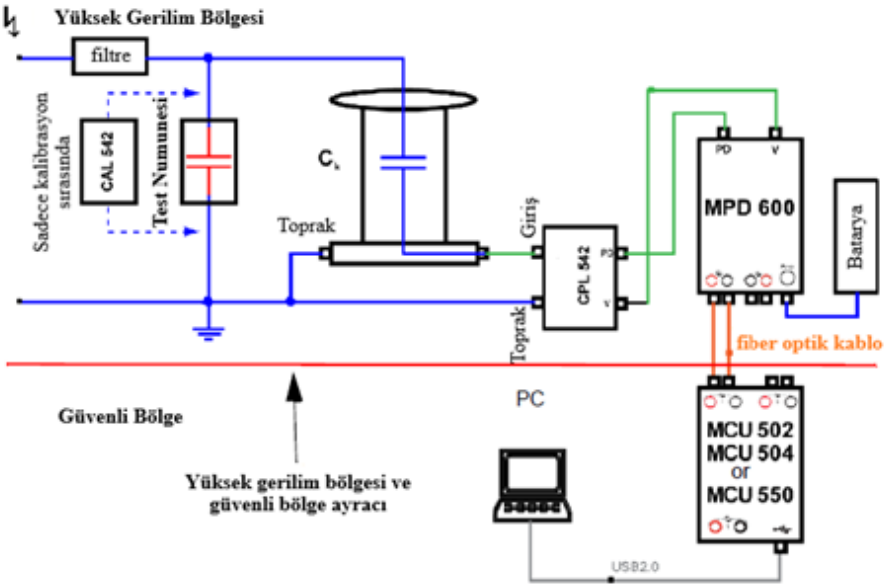
Dielektrik parametre ölçümleri için Şekil 5.10'da verilen bağlantı şemasından yararlanılmıştır. Cihazın YG probu kablo iletkenine, ölçüm probu ise kablo siperine bağlanmaktadır. Cihaz, 50-400 Hz frekans ve 2-12 kV aralığında ölçüm gerçekleştirebilmektedir. Test işlemlerinde, her bir yaşlandırma çevrimi

sonrasında yapılan dielektrik parametre (P_K, tanδ, C) ölçümleri, 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 kV'da ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Belirtilen bu gerilimlerin her biri için ölçümler 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 ve 400 Hz frekans değerlerinde yapılmıştır.



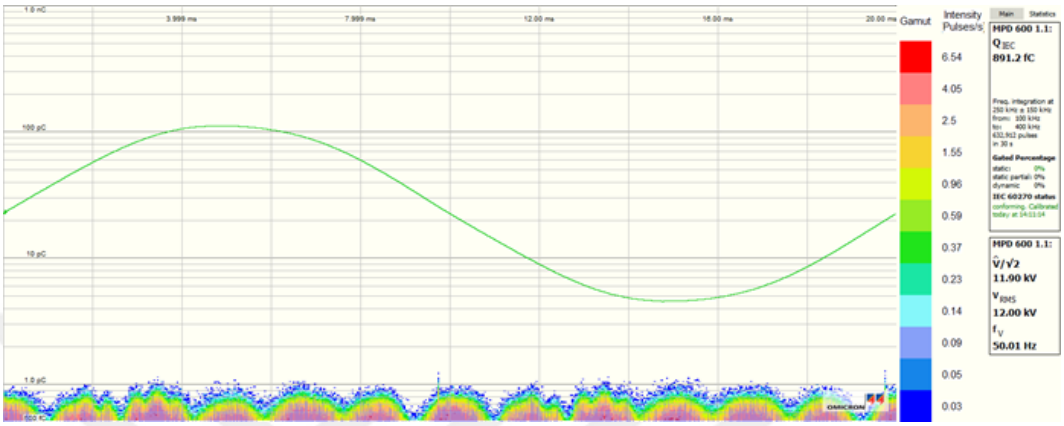
Şekil 5.10 OMICRON CPC100/CPTD1 bağlantı şeması

KB ölçümünde, öncelikle kalibratör ünite kullanılarak MPD600 kitinin kalibrasyonu sağlanmıştır. Sonrasında IEC 60502-2 standardına uygun olarak gerilim $2*U_0$ değerine çıkarılmıştır. Bu gerilim seviyesinde 10 saniye beklendikten sonra gerilim $1.73*U_0$ değerine düşürülerek ölçümler bu gerilim değerinde alınmıştır. KBBG ölçümleri, gerilim arttırılırken 5 pC olarak belirlenen eşik değeri aşan KB olayları olduğunda otomatik olarak kaydedilmiştir. OMICRON MPD600 bağlantı şeması Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11 OMICRON MPD600 bağlantı şeması [109]

KB ölçümünde önemli bir nokta da test transformatörünün oluşturduğu KB genlik değerinin düşük olmasıdır. Aksi halde, transformatör içerisinde meydana gelen KB olayları ölçüm sonuçlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu amaçla, YTÜ Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda bulunan test transformatörünün boştaki KB ölçümleri gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12 Test transformatörü KB ölçüm sonuçları

KB ölçümleri için kullanılacak test transformatöründen kaynaklanan boştaki KB sonucu 900 fC olarak ölçülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, yaşlanmış kablolar üzerinde yapılan KB ölçümlerinin pC mertebesinde olduğu görülmektedir. Bu nedenle, transformatörün içerisinde meydana gelen KB olaylarının ölçüm sonuçlarını olumsuz etkilemeyeceği öngörülmüştür.

5.4 Ölçüm Sonuçları

Bu bölümde, yaşlandırma işlemlerinin kablo sistemi ve yalıtkan malzeme üzerindeki etkisini incelemek ve değerlendirmek için dielektrik parametre (tanδ, P_K, C) ve KB ölçüm sonuçları sunulmuştur. Deneysel uygulamalarda, sıcaklık değeri 25±2 °C, nem oranı %45±3 ve hava basıncı 736±6 mmHg olarak ölçülmüştür.

Kablo başlığı içerisinde meydana gelen delinmeden dolayı her bir yaşlandırma türü için farklı çevrim sayıları ortaya çıkmıştır. 12/20.8 kV kablolarda $3*U_0$ alternatif, $5*U_0$ alternatif ve 50 kV darbe yüksek gerilimi için sırasıyla 55-29-50 çevrim, 6/10 kV kablolarda 47-25-32 çevrim sayıları elde edilmiştir.

Ölçüm sonuçları, üç adet kablo numunesi ile yapılan deneysel uygulamalardan elde edilen verilerin ortalama değeri olarak değerlendirilmiştir. Yaşlandırma öncesi ölçüm değerleri referans (%100) olarak kabul edilmiştir. Referans değer kullanılarak, ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları yüzde biçiminde elde edilerek grafikler oluşturulmuş ve paylaşılmıştır.

5.4.1 Başlıklı Kablo Numuneleri

Deneysel uygulamalarda, başlıklı kablo numuneleri üzerinde yapılan dielektrik parametre (tanδ, P_K, C) ve KB ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Dielektrik parametre ölçümlerinden elde edilen C değerleri kullanılarak Denklem 5.1'e göre bağıl dielektrik geçirgenlik katsayısı (ε_r) hesaplanmıştır. Buradan yola çıkılarak, dielektrik kayıp indisi ($\tan\delta \cdot \varepsilon_r$) verileri elde edilmiştir.

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} = \frac{C \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{hava} \cdot l} \tag{5.1}$$

Burada; C (F) ölçüm ile elde edilen kablo kapasitesini, r_1 (m) iletken dış yarıçapını, r_2 (m) yalıtkan dış yarıçapını, ε_0 boşluğun dielektrik geçirgenlik katsayısını, ε_{hava} havanın dielektrik geçirgenlik katsayısını l (m) kablo uzunluğunu belirtmektedir.

Dielektrik parametre ölçüm sonuçları ve $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerleri ile KB ölçüm sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

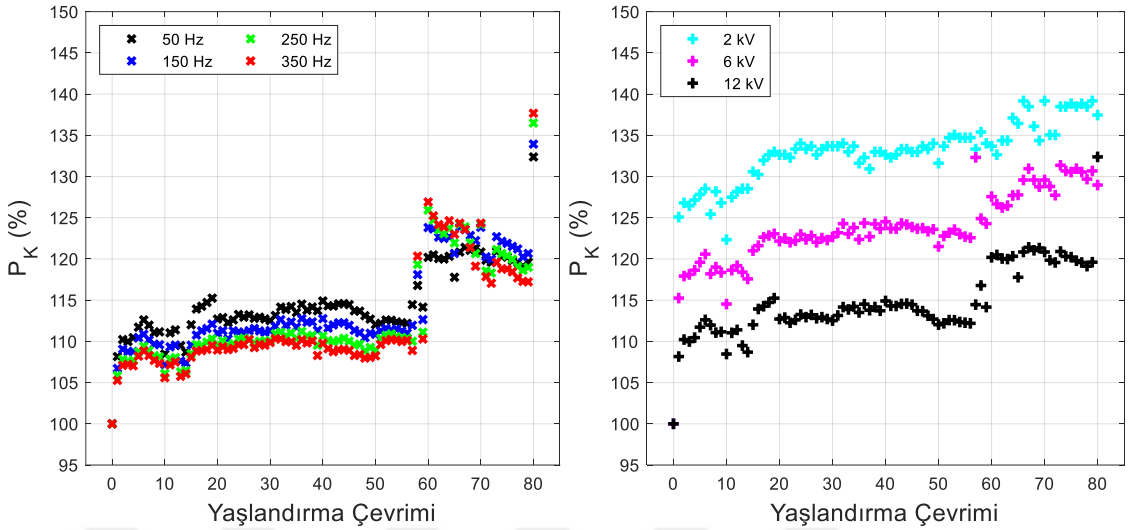
5.4.1.1 5*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim (60 kV) ile Yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE İzoleli 1x150 mm² Kesitli Başlıklı Kablo Numuneleri

60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x150 mm^2 kesitli ve başlıklı kablo numunelerine ait dielektrik parametre ölçüm sonuçları ve $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerleri ile KB ölçüm sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

- **Dielektrik Parametre Ölçüm Sonuçları**

Sonuçların, yaşlandırma çevrim sayısına göre davranış değişimi, ölçüm frekansı ve gerilimine bağlı olacak şekilde 80 yaşlandırma çevrimine göre gösterilmiştir. P_K

ölçüm sonuçları Şekil 5.13'te, tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.14'te ve C ölçüm sonuçları Şekil 5.15'te sunulmuştur.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.13 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.13a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranı görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 136.9 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda P_K'da %8.5 değerinde bir artış meydana gelmiştir. 20. yaşlandırma ile birlikte oluşan %12.7 artış oranı yaklaşık olarak 60. yaşlandırma çevrimine kadar devam etmiştir. 60 yaşlandırma işlemi sonunda P_K değerinde %20.2 oranında, 80 yaşlandırmadan sonra ise %32.4 oranında bir artış olmuştur. Ölçüm frekansı arttıkça, başlangıç değeri olarak alınan yaşlandırma öncesi P_K değerleri de artmıştır. Ölçüm frekansının artması ile birlikte, P_K değerinde oluşan artış oranları artış göstermiştir. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 312-460.3-596.2 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde 80. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %34, %36.5 ve %37.7 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.1'de paylaşılmıştır.

Şekil 5.13b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 2.9 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %22.3 oranında artarak 3.6 mW değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında P_K değerinde %32.6 artış meydana gelmiştir. Bu artış oranı 40 yaşlandırma çevrimi boyunca devam ederek 60. yaşlandırma işlemine kadar yaklaşık aynı değerde seyretmiştir. 60. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranı %33.7 ve %37.5 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 29.2 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %14.5 oranında artarak 33.5 mW değerine ulaşmıştır. 20. yaşlandırmadan sonra P_K değerinde %22.2 artış olmuştur. 60. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranının %29.6 ve %29 olduğu görülmektedir. Tablo 5.2'de, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.1 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	136.9	230.7	312.0	388.1	460.3	528.7	596.2	665.4
10	148.5	247.9	334.4	414.1	488.4	560.5	629.5	701.6
20	154.3	257.2	346.2	427.8	504.4	578.1	649.5	723.0
30	154.0	257.3	347.2	429.6	506.7	581.9	655.0	730.7
40	157.3	261.3	351.8	433.3	509.2	583.4	654.3	728.0
50	153.3	256.4	345.8	426.7	501.4	575.5	645.4	719.1
60	164.5	279.2	386.2	487.2	579.6	669.0	756.6	848.2
70	165.4	282.0	386.3	480.0	571.7	657.8	741.3	828.9
80	181.2	304.2	417.8	524.0	628.2	725.2	820.8	922.3
Değişim	%32.4	%31.9	%33.9	%35.0	%36.5	%37.2	%37.7	%38.6

Tablo 5.1'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, P_K değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %68.5 oranında, 150 Hz'te %127.9 oranında, 200 Hz'te

%183.5 oranında, 250 Hz'te %236.3 oranında, 300 Hz'te %286.3 oranında, 350 Hz'te %335.6 oranında ve 400 Hz'te %386.1 oranında arttığı görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için artış oranları sırasıyla; %68-%130.6-%189.2-%246.7-%300.2-%353-%409 olarak değişmiştir.

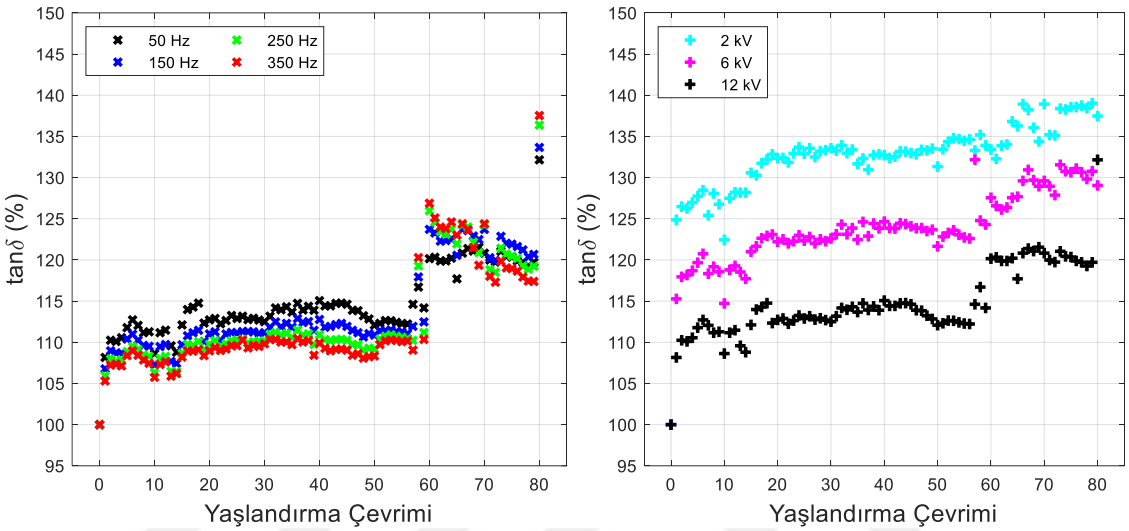
Tablo 5.2'deki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değere göre; 6 kV'ta %904.8 oranında ve 12 kV'ta %4603.4 oranında arttığı görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %842.8-%4429.8 olarak değişmiştir.

Tablo 5.2 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	2.9	12.3	29.2	55.0	90.3	136.9
10	3.6	14.5	33.5	61.5	99.5	148.5
20	3.9	15.7	35.7	64.9	104.1	154.3
30	3.9	15.7	35.9	65.1	104.5	154.0
40	3.9	15.8	36.4	66.3	106.3	157.3
50	3.8	15.5	35.5	64.6	103.6	153.3
60	3.9	16.0	37.3	69.3	111.9	164.5
70	4.1	16.5	37.9	69.2	111.3	165.4
80	4.0	16.4	37.7	67.3	108.4	181.2
Değişim	%37.5	%33.6	%29.0	%22.4	%20.0	%32.4

Şekil 5.14a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ değerinin 0.0036 olduğu görülmektedir. 10. yaşlandırma sonunda tanδ değeri 0.0039'a ulaşmış ve %8.6 değerinde bir artış göstermiştir. 20-60 yaşlandırma çevrimleri arasında tanδ değeri yaklalık olarak %12.7 oranında artmıştır. 60 yaşlandırma işlemi sonunda tanδ değerinde %20.2 oranında, 80

yaşlandırmadan sonra ise %32.2 oranında bir artış olmuştur. Ölçüm frekansı arttıkça, tanδ değerlerinin azaldığı görülmektedir. Yaşlandırma öncesinde, 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.0027-0.0024-0.0022 olan tanδ değerleri 80. Yaşlandırmadan sonra sırasıyla %33.7, %36.4 ve %37.5 oranında artmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.3'te paylaşılmıştır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.14 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.14b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarının değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0028 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %22.4 artarak 0.0034 değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ değerinde %32.4 oranında artış meydana gelmiştir. Bu artış oranı 60. yaşlandırma işlemine kadar yaklaşık aynı değerde seyretmiştir. 60. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranı %33.4 ve %37.5 olarak elde edilmiştir. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 0.0031 olan tanδ değeri, 10 yaşlandırma çevriminden sonra %14.7 oranında artarak 0.0035 değerine ulaşmıştır. 60. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranının %27.5 ve %29 olduğu görülmektedir. Tablo 5.4'te, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50 Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.3 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

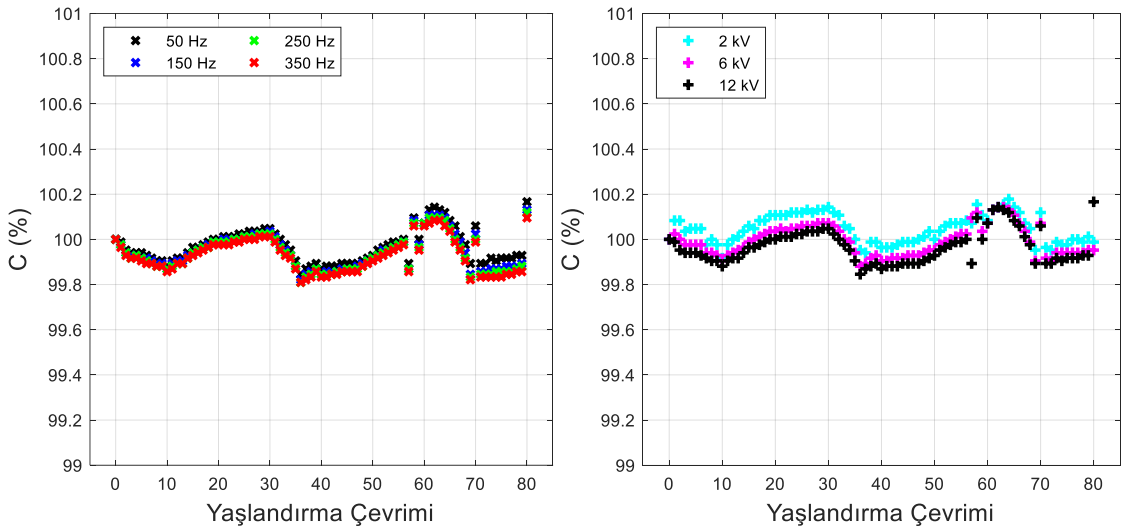
	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0036	0.0030	0.0027	0.0026	0.0024	0.0023	0.0022	0.0022
10	0.0039	0.0033	0.0029	0.0027	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023
20	0.0040	0.0034	0.0030	0.0028	0.0027	0.0025	0.0024	0.0024
30	0.0040	0.0034	0.0030	0.0028	0.0027	0.0026	0.0025	0.0024
40	0.0041	0.0034	0.0031	0.0029	0.0027	0.0026	0.0025	0.0024
50	0.0040	0.0034	0.0030	0.0028	0.0026	0.0025	0.0024	0.0024
60	0.0043	0.0037	0.0034	0.0032	0.0031	0.0029	0.0028	0.0028
70	0.0043	0.0037	0.0034	0.0032	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027
80	0.0047	0.0040	0.0037	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030
Değişim	%32.2	%32.0	%33.7	%34.8	%36.4	%37.1	%37.5	%38.5

Tablo 5.3'teki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, tanδ değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %15.7 oranında, 150 Hz'te %23.9 oranında, 200 Hz'te %28.9 oranında, 250 Hz'te %32.6 oranında, 300 Hz'te %35.4 oranında, 350 Hz'te %37.6 oranında ve 400 Hz'te %39 oranında azaldığı görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış oranları sırasıyla, %15.8-%23-%27.4-%30.4-%33-%35-%36.1 olarak değişmiştir.

Tablo 5.4'teki yaşlandırma öncesi ölçüm verileri incelendiğinde, 2 kV gerilimdeki tanδ değerine göre; 6 kV'ta %11.5 oranında ve 12 kV'ta %30.4 oranında arttığı görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %4.7-%25.4 olarak değişmiştir. Bu durum, yaşlandırmaya bağlı olarak 2 kV gerilim ile ölçülen tanδ değerinin 12 kV gerilim ile ölçülen tanδ değerinden daha çok arttığını ortaya koymaktadır.

Tablo 5.4 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.0028	0.0029	0.0031	0.0032	0.0034	0.0036
10	0.0034	0.0034	0.0035	0.0036	0.0038	0.0039
20	0.0036	0.0037	0.0038	0.0038	0.0039	0.0040
30	0.0037	0.0037	0.0038	0.0038	0.0039	0.0040
40	0.0037	0.0037	0.0038	0.0039	0.0040	0.0041
50	0.0036	0.0037	0.0037	0.0038	0.0039	0.0040
60	0.0037	0.0038	0.0039	0.0041	0.0042	0.0043
70	0.0038	0.0039	0.0040	0.0041	0.0042	0.0043
80	0.0038	0.0039	0.0040	0.0040	0.0041	0.0047
Değişim	%37.5	%33.6	%29.0	%22.5	%20.1	%32.2



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.15 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları

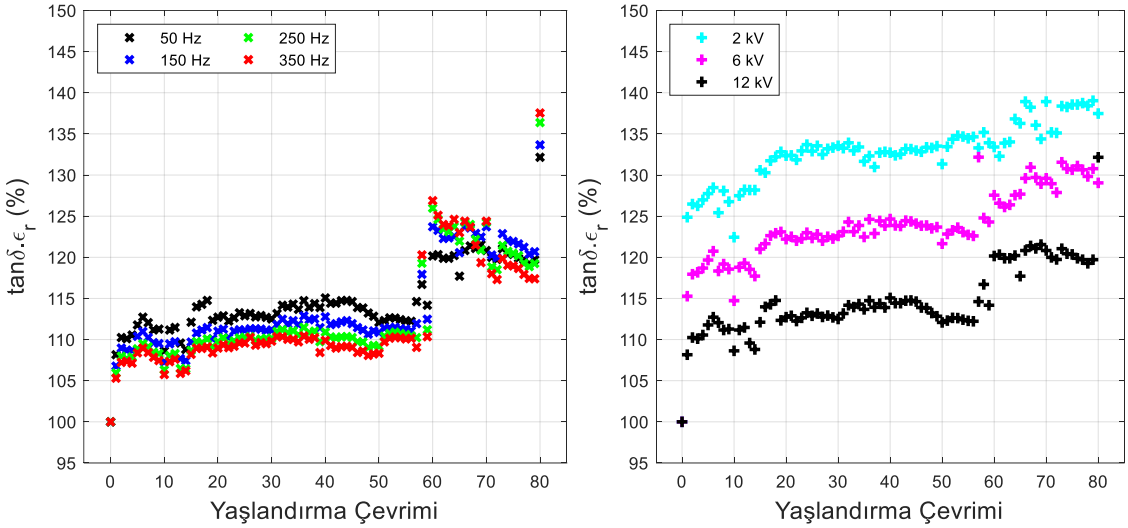
Şekil 5.15a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında ve Şekil 5.15b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçlarının değişim oranları paylaşılmıştır. Tüm ölçüm varyasyonlarında, C değerinin 841.9 pF ile 843 pF arasında değiştiği görülmektedir.

Tablo 5.5 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	841.9	840.8	840.5	840.2	839.9	839.8	839.6	839.5
10	840.9	839.7	839.4	839.1	838.8	838.6	838.4	838.3
20	841.9	840.8	840.4	840.0	839.8	839.5	839.4	839.2
30	842.3	841.1	840.8	840.4	840.1	839.9	839.7	839.6
40	840.8	839.6	839.2	838.9	838.6	838.4	838.2	838.1
50	841.3	840.2	839.8	839.4	839.2	839.0	838.8	838.6
60	842.5	841.2	841.1	840.8	840.5	840.3	840.1	839.9
70	842.4	841.1	840.7	840.3	839.9	839.7	839.5	839.3
80	843.3	842.0	841.6	841.2	840.9	840.6	840.4	840.2
Değişim	%0.2	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1

Tablo 5.6 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	841.2	841.3	841.4	841.6	841.7	841.9
10	840.5	840.5	840.6	840.7	840.8	840.9
20	842.1	841.8	841.7	841.7	841.8	841.9
30	842.4	842.1	842.0	842.1	842.2	842.3
40	840.9	840.7	840.6	840.7	840.7	840.8
50	841.2	841.0	841.0	841.1	841.2	841.3
60	841.9	841.8	842.0	842.3	842.4	842.5
70	842.2	842.0	842.0	842.1	842.2	842.4
80	841.1	840.9	841.0	841.0	841.2	843.3
Değişim	%-0.01	%-0.05	%-0.05	%-0.07	%-0.06	%0.17



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.16 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ·ε$_r$ değişim oranları

Yaşlandırma öncesi, ε$_r$ değeri 2.3439 olarak elde edilmiştir. Bu değer yardımıyla tanδ·ε$_r$ değerine ait değişim oranları Şekil 5.16'da sunulmuştur.

Tablo 5.7 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ·ε$_r$ ölçüm sonuçları

	tanδ·ε$_r$							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0084	0.0071	0.0064	0.0060	0.0057	0.0054	0.0052	0.0051
10	0.0091	0.0076	0.0069	0.0064	0.0060	0.0058	0.0055	0.0054
20	0.0095	0.0079	0.0071	0.0066	0.0062	0.0059	0.0057	0.0056
30	0.0095	0.0079	0.0071	0.0066	0.0062	0.0060	0.0058	0.0056
40	0.0097	0.0080	0.0072	0.0067	0.0063	0.0060	0.0058	0.0056
50	0.0094	0.0079	0.0071	0.0066	0.0062	0.0059	0.0057	0.0055
60	0.0101	0.0086	0.0079	0.0075	0.0071	0.0069	0.0067	0.0065
70	0.0102	0.0087	0.0079	0.0074	0.0070	0.0068	0.0065	0.0064
80	0.0111	0.0094	0.0086	0.0081	0.0077	0.0074	0.0072	0.0071
Değişim	%32.37	%32.19	%33.84	%35.01	%36.54	%37.24	%37.67	%38.64

Şekil 5.16a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerine ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerinin 0.0084 olduğu görülmektedir. 10. yaşlandırma sonunda $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri 0.0091'a ulaşmış ve %8.5 değerinde bir artış göstermiştir. 20-60 yaşlandırma çevrimleri arasında $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri yaklaşık olarak %12.5 oranında artmıştır. 60 yaşlandırma işlemi sonunda %20.2 oranında, 80 yaşlandırmadan sonra ise %32 oranında bir artış olmuştur. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta elde edilen $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerleri 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.7'de paylaşılmıştır.

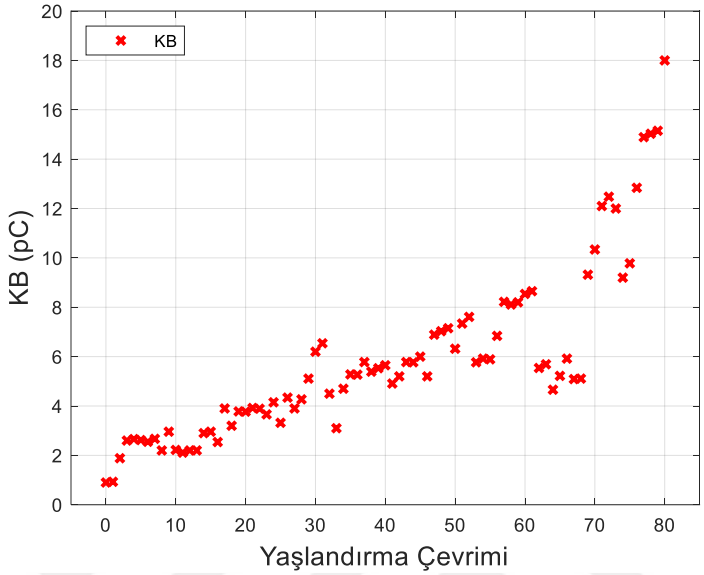
Tablo 5.8 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

	$\tan\delta\cdot\varepsilon_r$					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.0064	0.0068	0.0072	0.0076	0.0080	0.0084
10	0.0079	0.0080	0.0082	0.0085	0.0088	0.0091
20	0.0085	0.0087	0.0088	0.0090	0.0092	0.0095
30	0.0086	0.0087	0.0088	0.0090	0.0092	0.0095
40	0.0086	0.0088	0.0090	0.0092	0.0094	0.0097
50	0.0085	0.0086	0.0087	0.0089	0.0092	0.0094
60	0.0086	0.0088	0.0092	0.0096	0.0099	0.0101
70	0.0090	0.0091	0.0093	0.0096	0.0099	0.0102
80	0.0089	0.0091	0.0093	0.0093	0.0096	0.0111
Değişim	%37.46	%33.57	%28.98	%22.39	%19.99	%32.37

Şekil 5.16b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0064 olan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri 10 yaşlandırma sonunda %22 artarak 0.0079 değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında %32 oranında artış meydana gelmiştir. Bu artış oranı 60. yaşlandırma işlemine kadar yaklaşık aynı değerde seyretmiştir. 60. ve

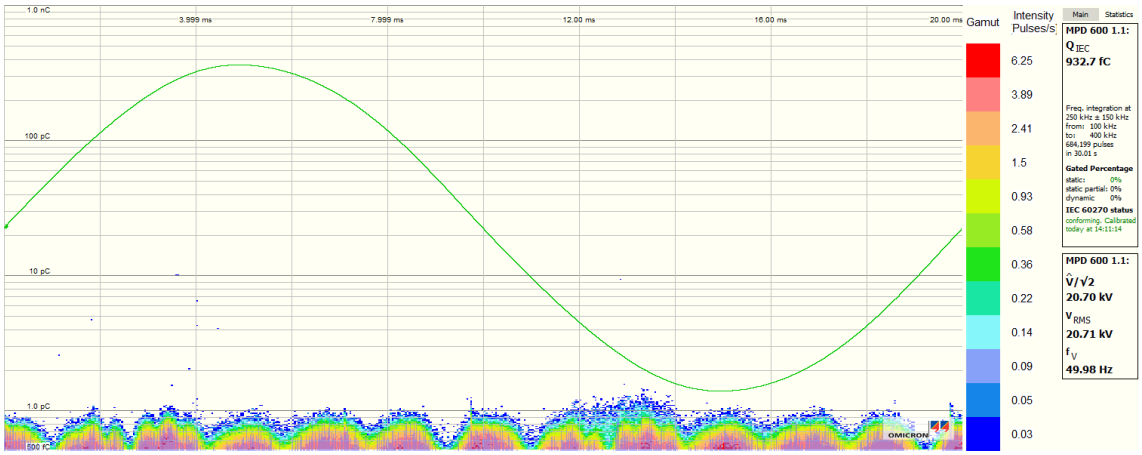
80. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ·ε_r değerindeki artış oranı %33 ve %37 olarak elde edilmiştir. Tablo 5.8'de, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50 Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ·ε_r değerleri sunulmuştur.

- **Kısmi Boşalma Ölçüm Sonuçları**

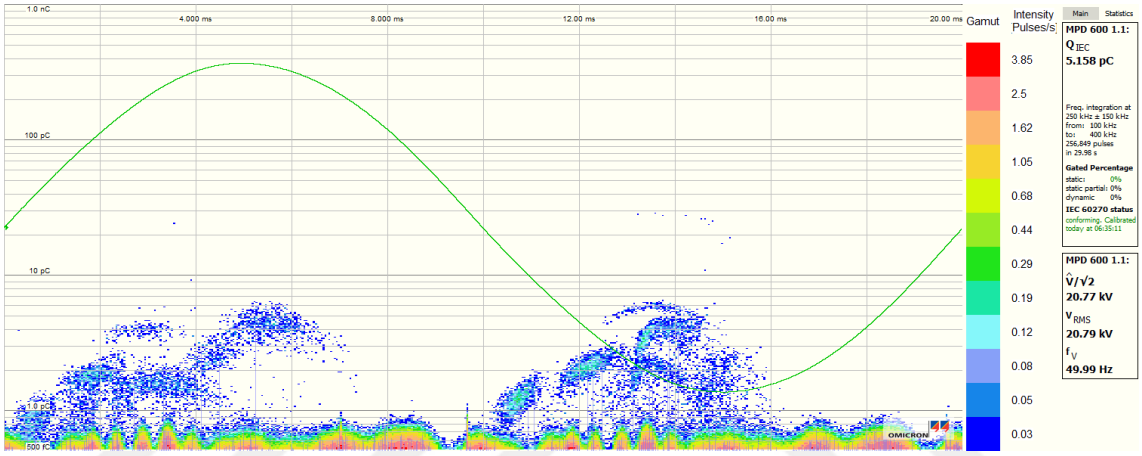


Şekil 5.17 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçüm sonuçları

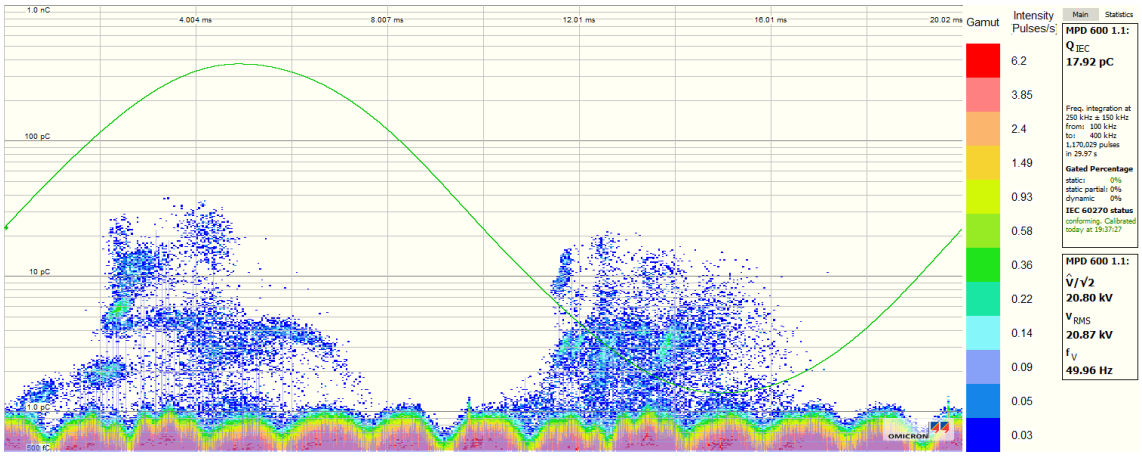
Şekil 5.17'de 20.8 kV gerilim ve 50 Hz frekansta yapılan KB genliği ölçüm sonuçları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 0.93 pC olan KB genlik değeri, 10 yaşlandırma işlemi sonunda 2.22 pC değerine ulaşmıştır. Yaşlandırma periyoduna bağlı olarak artış ve azalış miktarları değişmesine rağmen doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu söylenebilir. Bu artma eğilimi 80 yaşlandırma boyunca devam etmiştir. KB genliği, 40. yaşlandırma çevriminden sonra 5.65 pC ve 80 yaşlandırma sonucunda 17.9 pC değerine ulaşmıştır.



(a) Yaşlandırma öncesi KB ölçüm sonucu



(b) 40. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu



(c) 80. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu

Şekil 5.18 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları

Yaşlandırma öncesi, 40. yaşlandırma ve 80. yaşlandırma çevrimlerine ait MPD600 KB ölçüm kiti ekran görüntüleri Şekil 5.18'de paylaşılmıştır. Şekil 5.18a'ya kıyasla, ölçüm geriliminin pozitif ve negatif artan kolu üzerinde meydana gelen KB olaylarındaki artış, alternatif yüksek gerilimin kablo numunesinde sebep olduğu iç kısmi boşalmalar olarak ortaya çıkmaktadır. KB ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler Tablo 5.9'da paylaşılmıştır.

Tablo 5.9 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ölçüm sonuçları

Çevrim	0	10	20	30	40	50	60	70	80	Değişim
KB (pC)	0.93	2.22	3.77	6.20	5.65	6.32	8.54	10.34	17.9	%1888.9

5.4.1.2 $3*U_0$ Alternatif Yüksek Gerilim (36 kV) ile Yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE İzoleli 1x25 mm^2 Kesitli Başlıklı Kablo Numuneleri

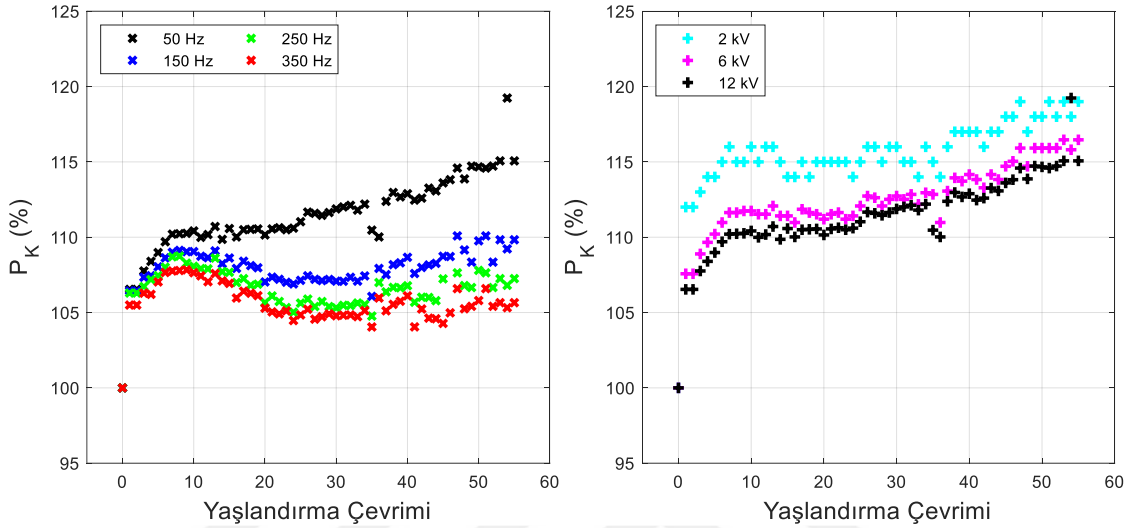
36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x25 mm^2 kesitli ve başlıklı kablo numunelerine ait dielektrik parametre ve KB ölçüm sonuçları bu kısımda paylaşılmıştır.

- Dielektrik Parametre Ölçüm Sonuçları

Sonuçların, yaşlandırma çevrim sayısına göre davranış değişimi, ölçüm frekansı ve gerilimini içerecek şekilde 55 yaşlandırma çevrimine göre gösterilmiştir. P_K ölçüm sonuçları Şekil 5.19'da, tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.20'de ve C ölçüm sonuçları Şekil 5.21'de sunulmuştur.

Şekil 5.19a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranı görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 37.6 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda P_K'da %10.2 değerinde bir artış meydana gelmiştir. Bu oran 25. yaşlandırma çevrimine kadar devam etmiştir. 40 yaşlandırma işlemi sonunda P_K değerinde %12.9 oranında, 55. yaşlandırmadan sonra ise %15.1 oranında bir artış olmuştur. Ölçüm frekansı arttıkça, başlangıç değeri olarak alınan yaşlandırma öncesi P_K değerleri de artmıştır. Buna rağmen, ölçüm frekansının artması ile birlikte, P_K

değerinde oluşan artış oranları azalmıştır. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 112.5-177.3-237.9 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde 55. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %9.8, %7.3 ve %5.7 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları Tablo 5.10'da paylaşılmıştır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.19 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.19b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 1.0 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %20 oranında artarak 1.2 mW değerine ulaşmış ve 55 yaşlandırma işlemi boyunca yaklaşık aynı değerde ölçülmüştür. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 9.1 mW olan P_K değeri 55 yaşlandırma sonunda %16.5 oranında artarak 10.6 mW değerine ulaşmıştır. Tablo 5.11'de, 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.10'daki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, P_K değerinin 50 Hz frekanstaki referans değerine göre; 100 Hz'te %101.3 oranında, 150 Hz'te %199.0 oranında, 200 Hz'te %288.8 oranında, 250 Hz'te %371.2 oranında, 300 Hz'te %453.7 oranında, 350 Hz'te %532.2 oranında ve 400 Hz'te %610.8 oranında arttığı görülmektedir. 55 yaşlandırma işlemi sonrasında, 50 Hz frekans referans değerine

göre 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerlerinin artış oranları sırasıyla; %95.6-%185.4-%262.8-%339.2-%413.5-%480.5-%550.7 olarak elde edilmiştir. Yaşlandırma çevrimi arttığında, ölçüm frekansına bağlı artış oranlarının azaldığı görülmektedir.

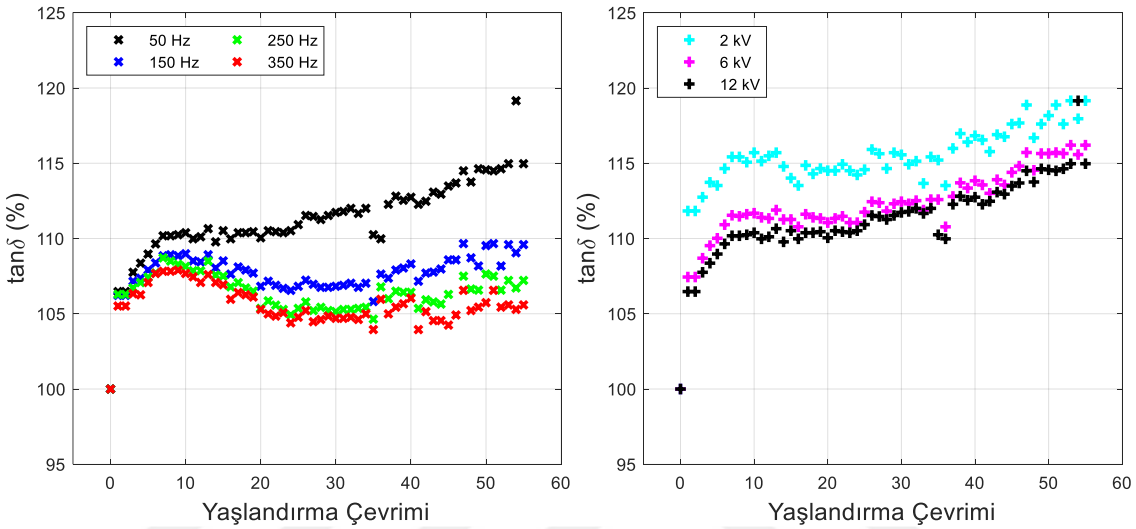
Tablo 5.10 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	37.6	75.8	112.5	146.3	177.3	208.4	237.9	267.5
10	41.6	82.9	122.7	158.4	191.6	226.1	256.1	288.0
20	41.5	82.2	120.4	154.2	187.3	219.1	250.5	280.3
30	42.1	82.6	120.5	154.4	186.7	218.0	249.3	279.6
40	42.5	83.7	122.3	155.1	189.3	221.7	252.4	281.8
50	43.2	85.4	123.5	157.6	191.1	222.5	251.7	281.4
55	43.3	84.7	123.6	157.1	190.2	222.4	251.3	281.8
Değişim	%15.1	%11.8	%9.8	%7.4	%7.3	%6.7	%5.7	%5.3

Tablo 5.11 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	1.0	4.0	9.1	16.4	25.8	37.6
10	1.2	4.6	10.2	18.2	28.6	41.6
20	1.2	4.5	10.1	18.1	28.5	41.5
30	1.2	4.6	10.3	18.4	28.9	42.1
40	1.2	4.6	10.4	18.6	29.2	42.5
50	1.2	4.7	10.6	18.8	29.7	43.2
55	1.2	4.7	10.6	18.9	29.8	43.3
Değişim	%19.0	%17.1	%16.5	%15.7	%15.3	%15.1

Tablo 5.11'deki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değere göre; 6 kV'ta %811 oranında ve 12 kV'ta %3663 oranında arttığı görülmektedir. 55 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %791.6-%3538.7 olarak değişmiştir. Bu durum, gerilim ile P_K değerinin doğru orantılı olduğunu, yaşlandırma çevriminin artmasının da artış oranlarını olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.20 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.20a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçümlerine ait değişim oranları görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ değerinin 0.00148 olduğu görülmektedir. 10. yaşlandırma sonunda tanδ değeri 0.00164'a ulaşmış ve %10.4 değerinde bir artış göstermiştir. 20-25 yaşlandırma çevrimleri arasında tanδ değeri benzer artış oranı sergilemiştir. 55 yaşlandırma işlemi sonunda tanδ değerinde %15 oranında artış meydana gelmiştir, Ölçüm frekansı arttıkça, tanδ değerlerinin azaldığı görülmektedir. Yaşlandırma öncesinde, 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.00148-0.00140-0.00134 olan tanδ değerleri 55. yaşlandırmadan sonra sırasıyla %9.6, %7.2 ve %5.6 oranında artmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları Tablo 5.12'da paylaşılmıştır.

Şekil 5.20b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim ile ölçümü yapılan tanδ değerinin değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.00142 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %15.7 artarak 0.00164 değerine ulaşmıştır. 30. ve 55. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranı %15.6 ve %19.2 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 0.00144 olan tanδ değeri, 10 yaşlandırma çevriminden sonra %11.7 oranında artarak 0.00161 değerine ulaşmıştır. 30. ve 55. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranının %12.4 ve %16.2 olduğu görülmektedir. Tablo 5.13'de, 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim ile ölçülen tanδ değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.12'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, tanδ değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100-150 Hz'te değişmediği, 200 Hz'te %3.0 oranında, 250 Hz'te %5.6 oranında, 300 Hz'te %7.6 oranında, 350 Hz'te %9.5 oranında ve 400 Hz'te %11 oranında azaldığı görülmektedir. 55 yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış oranları sırasıyla, %2-%5-%9.2-%12-%14.2-%16.9-%18.3 olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.12 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.00148	0.00149	0.00148	0.00144	0.00140	0.00137	0.00134	0.00132
10	0.00164	0.00164	0.00161	0.00156	0.00151	0.00149	0.00145	0.00142
20	0.00163	0.00162	0.00158	0.00152	0.00148	0.00144	0.00141	0.00138
30	0.00166	0.00163	0.00158	0.00152	0.00147	0.00143	0.00141	0.00138
40	0.00167	0.00165	0.00160	0.00153	0.00149	0.00146	0.00142	0.00139
50	0.00170	0.00167	0.00162	0.00155	0.00151	0.00146	0.00142	0.00139
55	0.00171	0.00167	0.00162	0.00155	0.00150	0.00146	0.00142	0.00139
Değişim	%15.0	%12.1	%9.6	%7.6	%7.2	%6.7	%5.6	%5.3

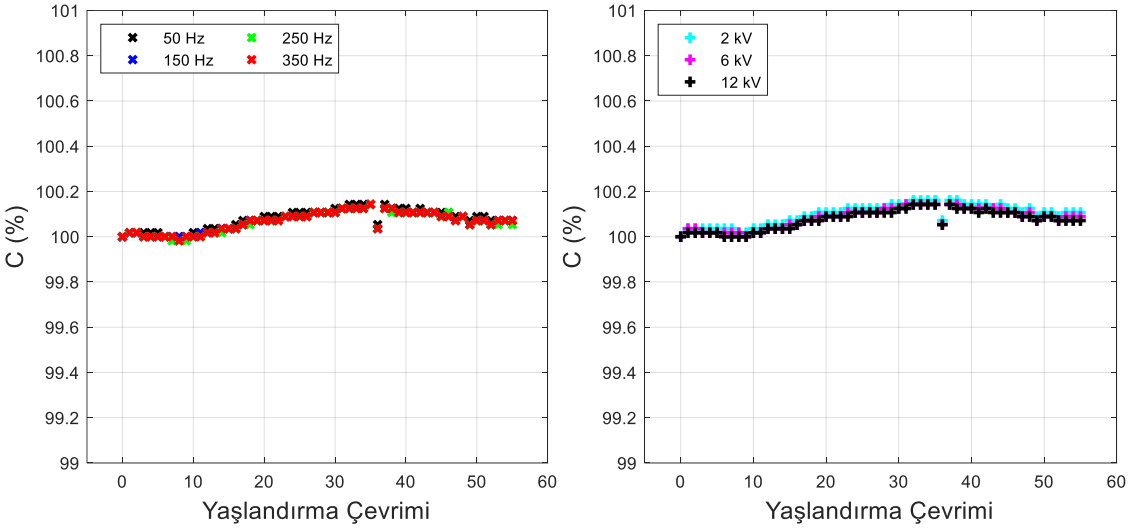
Tablo 5.13'teki yaşlandırma öncesi ölçüm verileri incelendiğinde, 2 kV gerilimdeki tanδ değerine göre; 6 kV'ta %1.3 oranında ve 12 kV'ta %4.4 oranında arttığı görülmektedir. 55 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV'ta %1.2 oranında azalırken, 12 kV gerilim değeri için %0.8 artış göstermiştir.

Tablo 5.13 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.00142	0.00143	0.00144	0.00145	0.00147	0.00148
10	0.00164	0.00162	0.00161	0.00161	0.00162	0.00164
20	0.00163	0.00160	0.00160	0.00160	0.00162	0.00163
30	0.00164	0.00162	0.00162	0.00163	0.00164	0.00166
40	0.00166	0.00164	0.00164	0.00165	0.00166	0.00167
50	0.00168	0.00167	0.00166	0.00167	0.00168	0.00170
55	0.00169	0.00167	0.00167	0.00168	0.00169	0.00171
Değişim	%19.2	%17.1	%16.2	%15.6	%15.2	%15.0

Şekil 5.21a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan C ölçüm değerine ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, C değerinin 560.8 pF ile 561.2 pF arasında değiştiği görülmektedir. Yaşlandırma çevrimine bağlı, meydana gelen %0.2 oranındaki değişim miktarının ihmal edilebileceği aşikardır. Bu durum, 150-250-350 Hz olmak üzere diğer ölçüm frekansları için de geçerlidir.

Şekil 5.21b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçları görülmektedir. 2 kV gerilimde, C değerinin 560.6 pF ile 561.4 pF arasında değiştiği görülmektedir. Yaşlandırma çevrimine bağlı olarak %0.2 oranındaki değişim miktarının herhangi bir anlam ifade etmediği, C değerinin değişmediği kabul edilebilmektedir. Tablo 5.14'te ve Tablo 5.15'te C (pF) değerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

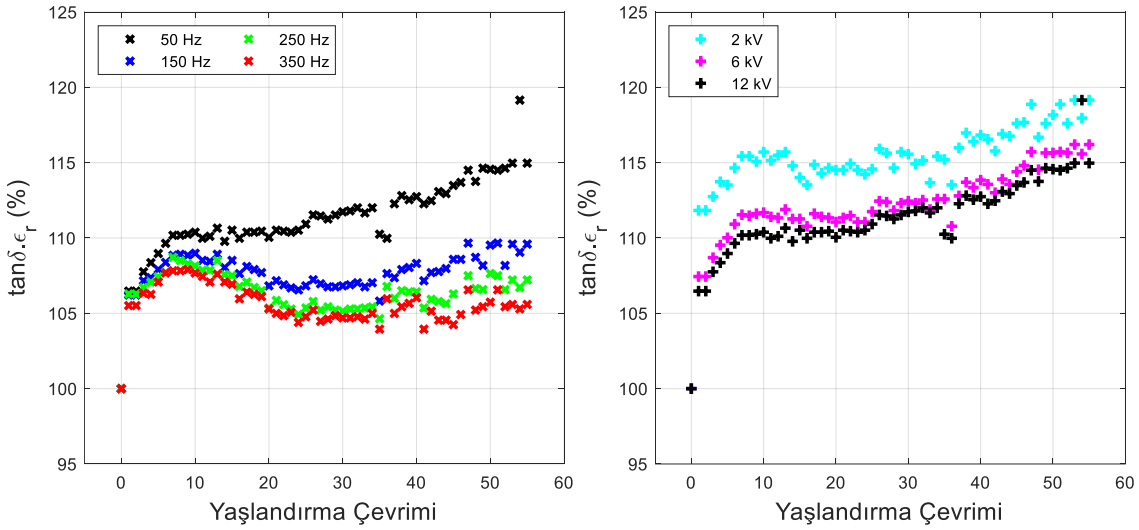
Şekil 5.21 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları

Tablo 5.14 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	560.8	560.4	560.2	560.2	560.1	560.0	559.9	559.8
10	560.9	560.5	560.2	560.2	560.1	560.0	559.9	559.8
20	561.3	560.8	560.6	560.6	560.5	560.4	560.3	560.2
30	561.5	561.0	560.8	560.8	560.7	560.6	560.5	560.5
40	561.5	561.1	560.8	560.8	560.7	560.6	560.5	560.4
50	561.3	560.9	560.6	560.6	560.5	560.4	560.3	560.2
55	561.2	560.8	560.6	560.6	560.4	560.3	560.3	560.2
Değişim	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1

Tablo 5.15 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	560.6	560.6	560.7	560.7	560.7	560.8
10	560.8	560.8	560.8	560.8	560.8	560.9
20	561.2	561.2	561.2	561.2	561.2	561.3
30	561.4	561.4	561.4	561.4	561.5	561.5
40	561.4	561.4	561.4	561.4	561.5	561.5
50	561.2	561.2	561.2	561.3	561.3	561.3
55	561.2	561.2	561.2	561.2	561.2	561.2
Değişim	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.22 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ·ε_r değişim oranları

Yaşlandırma öncesi, anma gerilim ve anma frekansındaki ε_r değeri 2.3478 olarak elde edilmiştir. Bu değer yardımıyla tanδ·ε_r değerine ait değişim oranları Şekil 5.22'de sunulmuştur.

Şekil 5.22a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerine ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerinin 0.0035 olduğu görülmektedir. 10. yaşlandırma sonunda $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri 0.0038'a ulaşmış ve %10.2 değerinde bir artış göstermiştir. 20-25 yaşlandırma çevrimleri arasında benzer artış oranı sergilemiştir. 55 yaşlandırma işlemi sonunda $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerinde %14.7 oranında artış meydana gelmiştir, Yaşlandırma öncesinde, 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.0038-0.0035-0.0033 olan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerleri 55. yaşlandırmadan sonra sırasıyla %9.4, %7 ve %5.5 oranında artmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta elde edilen $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerleri yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.16'de paylaşılmıştır.

Tablo 5.16 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

	$\tan\delta\cdot\varepsilon_r$							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0035	0.0035	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0031
10	0.0038	0.0038	0.0038	0.0037	0.0036	0.0035	0.0034	0.0033
20	0.0038	0.0038	0.0037	0.0036	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032
30	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032
40	0.0039	0.0039	0.0038	0.0036	0.0035	0.0034	0.0033	0.0033
50	0.0040	0.0039	0.0038	0.0036	0.0035	0.0034	0.0033	0.0033
55	0.0040	0.0039	0.0038	0.0036	0.0035	0.0034	0.0033	0.0033
Değişim	%15.05	%12.15	%9.67	%7.65	%7.27	%6.77	%5.66	%5.38

Şekil 5.22b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0033 olan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri 10 yaşlandırma sonunda %15.7 artarak 0.0039 değerine ulaşmıştır. 30. ve 55. yaşlandırma çevrimlerinde ise $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerindeki artış oranı %15.4 ve %19.28 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri,

10 yaşlandırma çevriminden sonra %11.5 oranında artarak 0.0038 değerine ulaşmıştır. 30. ve 55. yaşlandırma çevrimlerinde ise $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerindeki artış oranının %12.2 ve %16.31 olduğu görülmektedir. Tablo 5.17'de, yaşlandırma çevrimi için 50 Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.17 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

	$\tan\delta \cdot \varepsilon_r$					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.0033	0.0034	0.0034	0.0034	0.0034	0.0035
10	0.0039	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
20	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
30	0.0039	0.0038	0.0038	0.0038	0.0039	0.0039
40	0.0039	0.0039	0.0038	0.0039	0.0039	0.0039
50	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039	0.0040	0.0040
55	0.0040	0.0039	0.0039	0.0039	0.0040	0.0040
Değişim	%19.28	%17.27	%16.31	%15.74	%15.32	%15.05

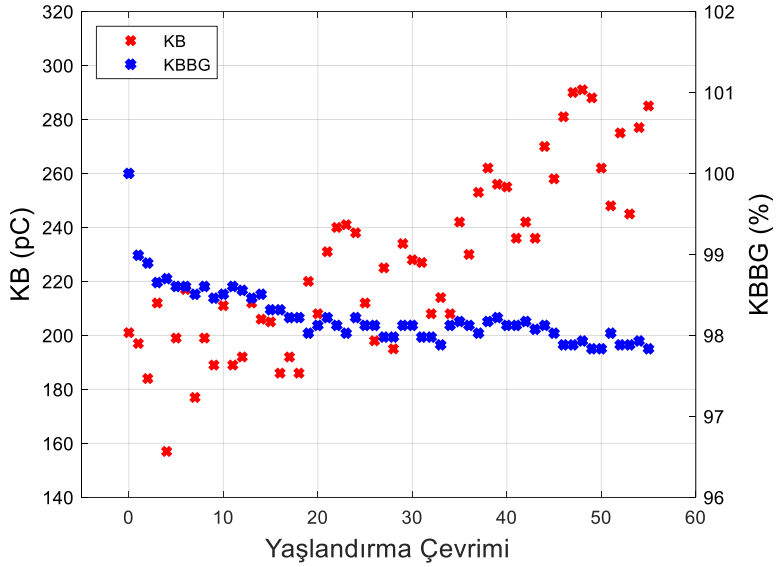
- **Kısmi Boşalma Ölçüm Sonuçları**

Bu kısımda, KB ve KBBG ölçüm sonuçları, yaşlandırma çevrim sayısına göre sunulmuştur. Ayrıca, OMICRON MPD600 ölçüm kitinin 25. yaşlandırma ve 55. yaşlandırma çevrimlerine ait ekran görüntüleri de paylaşılmıştır.

KB ve KBBG ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler Tablo 5.18'de paylaşılmıştır.

Tablo 5.18 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ve KBBG ölçüm sonuçları

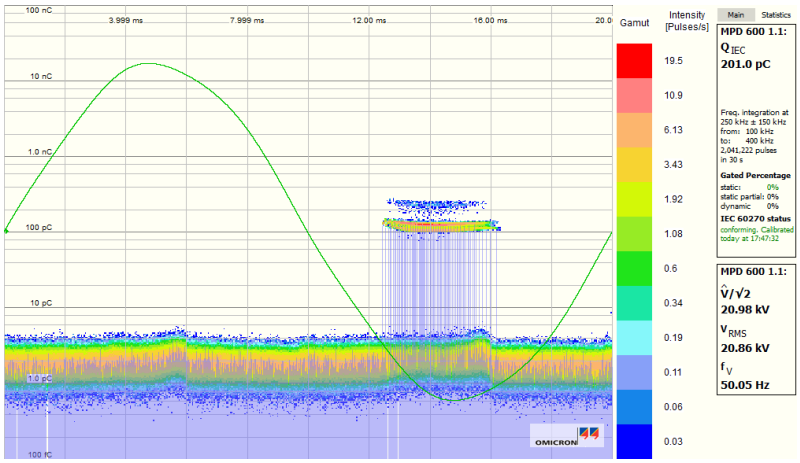
Çevrim	**0**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**55**	**Değişim**
KB (pC)	201	211	208	228	255	262	285	%41.8
KBBG (kV)	15.80	15.56	15.50	15.50	15.50	15.46	15.46	%-2.17



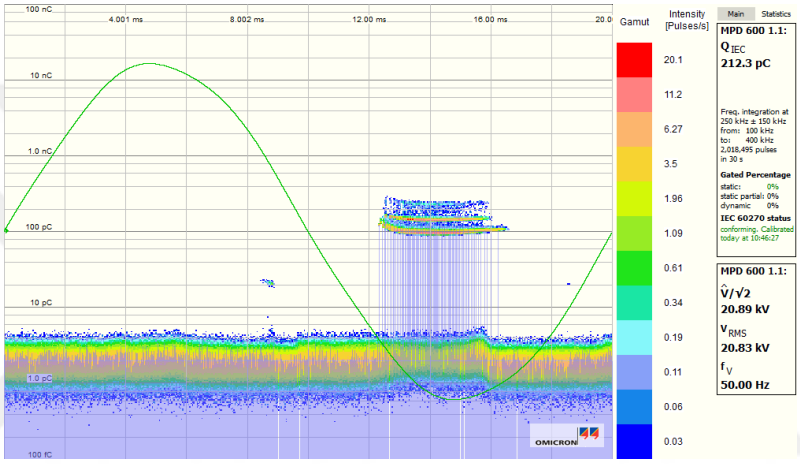
Şekil 5.23 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçümü ve KBBG değişim oranları

Şekil 5.23'de 20.8 kV gerilim ve 50 Hz frekansta yapılan KB genliği ölçüm sonuçları ve KBBG değerinin değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 201 pC olan KB genlik değeri, 10 yaşlandırma işlemi sonunda 211 pC değerine ulaşmıştır. Yaşlandırma periyoduna bağlı olarak artış ve azalış miktarları değişmesine rağmen doğrusal olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu artış eğilimi, 55 yaşlandırma çevrimi boyunca sürmüştür. KB genliği, 55. yaşlandırma çevriminden sonra 285 pC değerine ulaşmıştır. 15.8 kV olan KBBG değeri, ilk 10 yaşlandırma işleminden sonra %1.49 oranında azalmıştır. Yaşlandırma çevrim sayısı artmasına rağmen yaklaşık aynı değerde seyretmiştir. 55 yaşlandırma sonunda %2.17 oranında azalmıştır.

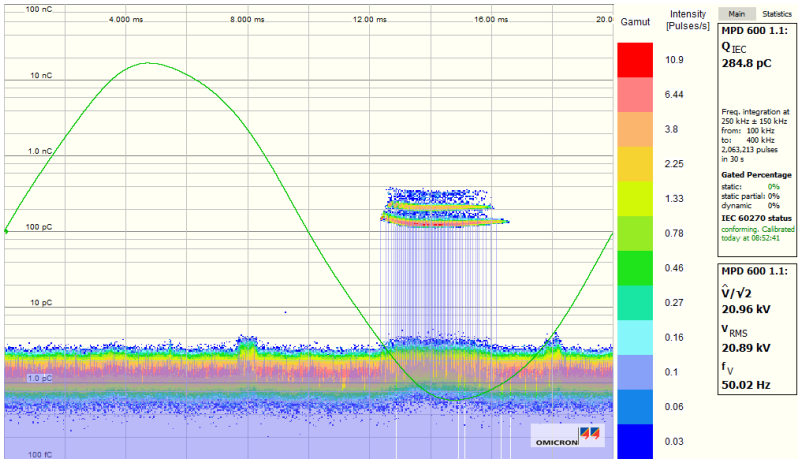
Yaşlandırma öncesi, 25. yaşlandırma ve 55. yaşlandırma çevrimlerine ait MPD600 KB ölçüm kiti ekran görüntüleri Şekil 5.24'de paylaşılmıştır. Şekil 5.24a'da, kablo başlığı montajı sırasında meydana gelen kusurların oluşturduğu KB olayları açıkça görülmektedir. Bu bağlamda, yaşlandırma öncesi 201 pC değerinde KB genliği ölçülmüştür. Kablo numunesi 55 yaşlandırma çevrimi sonrasında kablo başlığı içerisinden delinmiştir.



(a) Yaşlandırma öncesi KB ölçüm sonucu



(b) 25. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu



(c) 55. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu

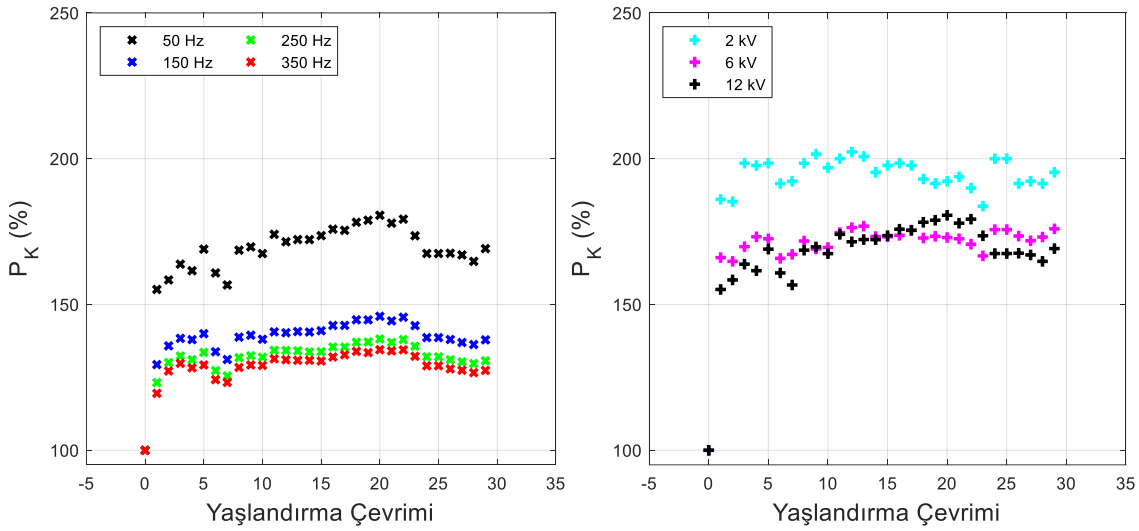
Şekil 5.24 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları

5.4.1.3 5*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim (60 kV) ile Yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE İzoleli 1x25 mm² Kesitli Başlıklı Kablo Numuneleri

Bu kısımda, 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x25 mm² kesitli ve başlıklı kablo numunelerine ait dielektrik parametre ve KB ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.

- **Dielektrik Parametre Ölçüm Sonuçları**

Sonuçların yaşlandırma çevrim sayısına göre davranış değişimi, ölçüm frekansı ve gerilimine bağlı olacak şekilde 29 yaşlandırma çevrimi için sunulmuştur. P_K ölçüm sonuçları Şekil 5.25'te, tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.26'da ve C ölçüm sonuçları Şekil 5.27'de görülmektedir.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.25 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm² kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.25a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranı paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 48.4 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda P_K'da %67.5 değerinde bir artış meydana gelmiştir. 20. yaşlandırma ile birlikte oluşan %80.6 artış oranı maksimum artış miktarıdır. 20-29 yaşlandırma işlemi aralığında P_K değerinde oluşan artış miktarı azalmıştır. Ölçüm frekansı arttıkça, başlangıç değeri olarak alınan yaşlandırma öncesi P_K değerleri de artmıştır. Buna

rağmen, ölçüm frekansının artması ile birlikte, P_K değerinde oluşan artış miktarı azalmıştır. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 127-191.2-247.5 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde 29. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %37.9, %30.7 ve %27.4 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları Tablo 5.19'da paylaşılmıştır.

Şekil 5.25b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim ile yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 1.3 mW olan P_K değeri 20 yaşlandırma sonunda %98.4 oranında artarak 2.5 mW değerine ulaşmıştır. 29. yaşlandırma çevrimi sonunda ise P_K değerindeki artış oranı %95.3 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 11.8 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %69.6 oranında artarak 19.9 mW değerine ulaşmıştır. 20. yaşlandırmadan sonra P_K değerinde %73.0 artış olmuştur. 29. yaşlandırma çevriminde ise P_K değerindeki artış oranının %75.9 olduğu görülmektedir. Tablo 5.20'de, 50 Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.19 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	48.4	89.0	127.0	160.4	191.2	220.2	247.5	275.0
5	81.8	131.2	177.8	217.4	255.4	289.4	319.9	352.0
10	81.0	129.8	175.4	214.6	252.3	286.8	319.5	351.1
15	84.0	133.8	179.1	218.4	255.9	290.9	323.3	356.0
20	87.4	139.0	185.4	225.6	264.2	300.2	332.9	366.7
25	81.0	131.1	176.1	216.1	252.5	286.3	319.2	351.3
29	81.9	130.9	175.1	213.3	249.9	283.5	315.3	346.8
Değişim	%69.2	%47.0	%37.9	%33.0	%30.7	%28.8	%27.4	%26.1

Tablo 5.19'teki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, P_K değerinin 50 Hz frekanstaki referans değere göre; 100 Hz'te %84.0 oranında, 150 Hz'te %162.5 oranında, 200 Hz'te %231.4 oranında, 250 Hz'te %295.1 oranında, 300 Hz'te %355.0 oranında, 350 Hz'te %411.5 oranında ve 400 Hz'te %468.2 oranında arttığı görülmektedir. 29 yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için artış oranları sırasıyla; %59.9-%113.9-%160.6-%205.3-%246.4-%285.2-%323.6 olarak değişmiştir.

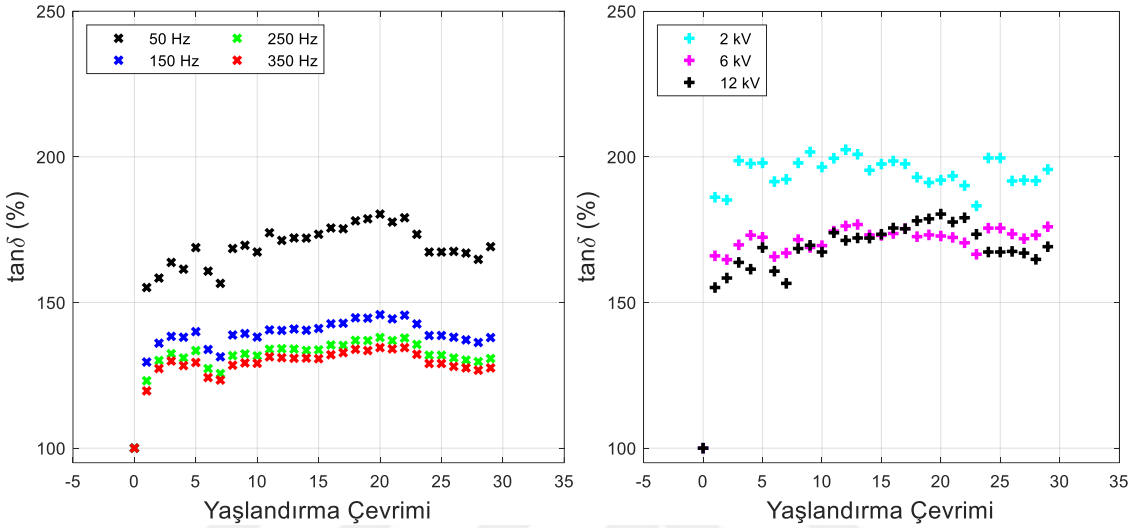
Tablo 5.20 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	1.3	5.2	11.8	21.1	33.3	48.4
5	2.6	9.6	20.3	34.8	53.8	81.8
10	2.5	9.4	19.9	34.5	54.1	81.0
15	2.6	9.5	20.4	35.7	56.6	84.0
20	2.5	9.3	20.3	36.5	58.5	87.4
25	2.6	9.7	20.7	35.8	55.8	81.0
29	2.5	9.5	20.7	36.3	56.4	81.9
Değişim	%95.3	%83.3	%75.9	%71.9	%69.6	%69.2

Tablo 5.20'daki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değere göre; 6 kV'ta %811.6 oranında ve 12 kV'ta %3651.2 oranında arttığı görülmektedir. 29 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %721-%3148.4 olarak değişmiştir.

Şekil 5.26a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ değerinin 0.00190 olduğu görülmektedir. 10. yaşlandırma sonunda tanδ değeri 0.00319'a ulaşmış ve %67.3 değerinde bir artış göstermiştir. 24-29 yaşlandırma çevrimleri arasında tanδ değerinde meydana

gelen artış yaklaşık olarak %69 olmuştur. Artış oranının azaldığı ortaya çıkmıştır. Yaşlandırma öncesinde, 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.00167-0.00151-0.00139 olan tanδ değerleri 29. yaşlandırmadan sonra sırasıyla %38, %30.8 ve %27.5 oranında artmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları Tablo 5.21'de paylaşılmıştır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.26 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.26b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarının değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.00183 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %96.5 artarak 0.00359 değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ değerinde %92.0 oranında artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 0.00185 olan tanδ değeri, 10 yaşlandırma çevriminden sonra %69.5 oranında artarak 0.00314 değerine ulaşmıştır. Tablo 5.22'de, 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.21'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, 50 Hz frekanstaki tanδ değerine göre; 100 Hz'te %7.8 oranında, 150 Hz'te %12.6 oranında, 200 Hz'te %17.2 oranında, 250 Hz'te %20.8 oranında, 300 Hz'te %24.0 oranında, 350 Hz'te %26.8 oranında ve 400 Hz'te %28.8 oranında azaldığı görülmektedir. 29 yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış

oranları sırasıyla, %20-%28.7-%34.8-%38.8-%42.1-%44.8-%46.9 olarak elde edilmiştir.

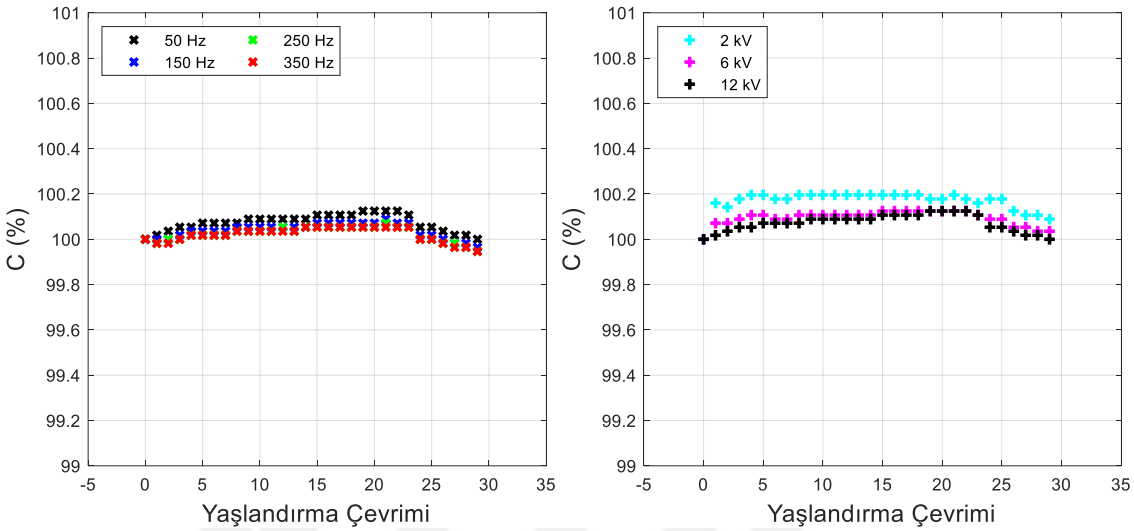
Tablo 5.21 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.00190	0.00176	0.00167	0.00158	0.00151	0.00145	0.00139	0.00136
5	0.00322	0.00258	0.00233	0.00214	0.00201	0.00190	0.00180	0.00174
10	0.00319	0.00256	0.00230	0.00211	0.00199	0.00188	0.00180	0.00173
15	0.00330	0.00263	0.00235	0.00215	0.00202	0.00191	0.00182	0.00176
20	0.00343	0.00274	0.00243	0.00222	0.00208	0.00197	0.00188	0.00181
25	0.00319	0.00258	0.00231	0.00212	0.00199	0.00188	0.00180	0.00173
29	0.00322	0.00258	0.00230	0.00210	0.00197	0.00186	0.00178	0.00171
Değişim	%69.2	%46.8	%38.0	%33.3	%30.8	%28.8	%27.5	%26.3

Tablo 5.22 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.00183	0.00184	0.00185	0.00187	0.00189	0.00190
5	0.00361	0.00339	0.00319	0.00308	0.00305	0.00322
10	0.00359	0.00334	0.00314	0.00305	0.00306	0.00319
15	0.00361	0.00336	0.00320	0.00316	0.00320	0.00330
20	0.00351	0.00331	0.00320	0.00323	0.00331	0.00343
25	0.00365	0.00343	0.00325	0.00316	0.00316	0.00319
29	0.00357	0.00337	0.00326	0.00321	0.00320	0.00322
Değişim	%95.7	%83.3	%76.0	%71.8	%69.6	%69.2

Tablo 5.22'deki yaşlandırma öncesi ölçüm verileri incelendiğinde, 2 kV gerilimdeki tanδ değerine göre; 6 kV'ta %1.4 oranında ve 12 kV'ta %4.3 oranında arttığı görülmektedir. 29 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV için %8.8 oranında ve 12 kV gerilim için %10 oranında azalış meydana geldiği görülmektedir.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.27 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları

Tablo 5.23 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	561.6	561.1	560.9	560.9	560.8	560.7	560.6	560.5
5	562.0	561.4	561.1	561.1	560.9	560.8	560.7	560.6
10	562.1	561.5	561.2	561.2	561.0	560.9	560.8	560.7
15	562.2	561.6	561.3	561.3	561.1	561.0	560.9	560.8
20	562.3	561.6	561.3	561.3	561.1	561.0	560.9	560.8
25	561.9	561.3	561.0	561.0	560.8	560.7	560.6	560.5
29	561.6	561.0	560.7	560.7	560.5	560.4	560.3	560.2
Değişim	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0	-%0.1	-%0.1	-%0.1	-%0.1

Şekil 5.27a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında ve Şekil 5.27b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçlarının değişim oranları paylaşılmıştır. Tüm ölçüm varyasyonlarında, C değerinin 561.1 pF ile 561.9 pF arasında değiştiği görülmektedir. Tablo 5.23'da ve Tablo 5.24'de C (pF) değerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur.

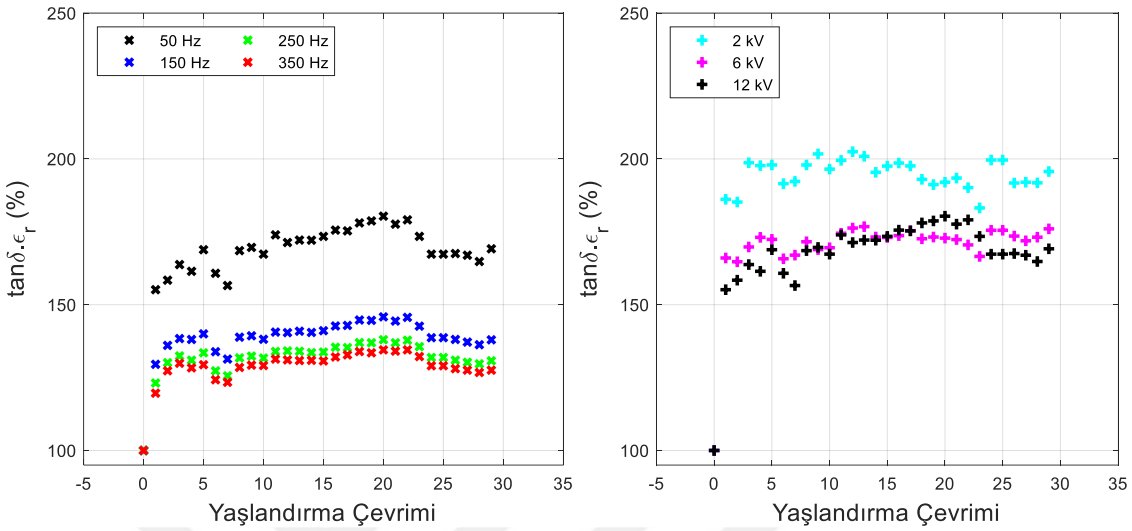
Tablo 5.24 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	561.5	561.5	561.5	561.5	561.5	561.6
5	562.6	562.2	562.1	562.0	562.0	562.0
10	562.6	562.3	562.1	562.0	562.0	562.1
15	562.6	562.3	562.2	562.1	562.1	562.2
20	562.5	562.3	562.2	562.2	562.2	562.3
25	562.5	562.2	562.0	562.0	561.9	561.9
29	562.0	561.8	561.7	561.6	561.6	561.6
Değişim	%0.1	%0.1	%0.0	%0.0	%0.0	%0.0

Yapılan hesaplamalar sonucunda, yaşlandırma öncesi anma gerilimi ve anma frekansındaki ε_r değeri 2.3512 olarak elde edilmiştir. Bu değer yardımıyla $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerine ait değişim oranları Şekil 5.28'de sunulmuştur.

Şekil 5.28a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerine ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerinin 0.0045 olduğu görülmektedir. 10. yaşlandırma sonunda $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değeri 0.0075'a ulaşmış ve %67.3 değerinde bir artış göstermiştir. 24-29 yaşlandırma çevrimleri arasında $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerinde meydana gelen artış yaklaşık olarak %69 olmuştur. Artış oranının azaldığı ortaya çıkmıştır. Yaşlandırma öncesinde, 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.0039-0.0035-0.0033 olan $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerleri 29. yaşlandırmadan sonra sırasıyla %37.9, %30.7 ve %28.75

oranında artmıştır.. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta elde edilen tanδ·ε_r değerleri yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.25'de paylaşılmıştır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.28 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ·ε_r değişim oranları

Şekil 5.28b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan tanδ·ε_r değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0043 olan tanδ·ε_r değeri 10 yaşlandırma sonunda %96.5 artarak 0.0085 değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ·ε_r değerinde %92.0 oranında artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 0.0044 olan tanδ·ε_r değeri, 10 yaşlandırma çevriminden sonra %69.5 oranında artarak 0.0072 değerine ulaşmıştır. Tablo 5.26'de, yaşlandırma çevrimi için 50 Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ·ε_r değerleri sunulmuştur.

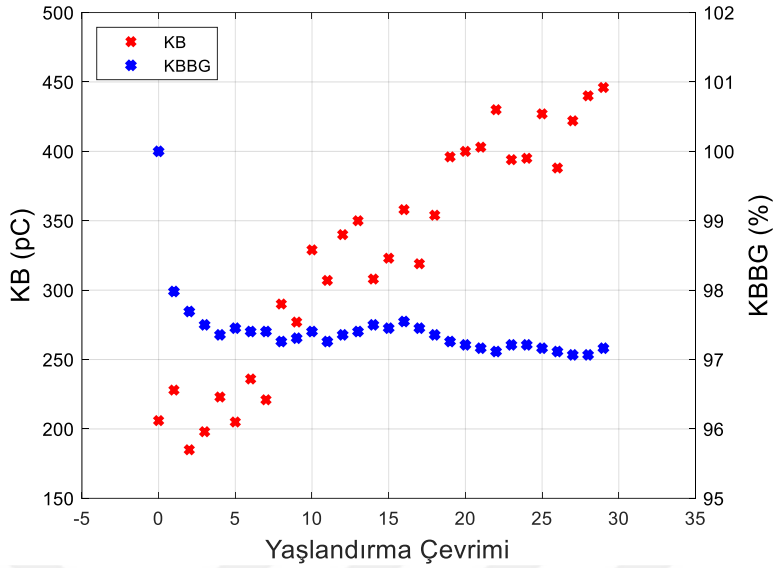
Tablo 5.25 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

	$tan\delta \cdot \varepsilon_r$							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0045	0.0041	0.0039	0.0037	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032
5	0.0076	0.0061	0.0055	0.0050	0.0047	0.0045	0.0042	0.0041
10	0.0075	0.0060	0.0054	0.0050	0.0047	0.0044	0.0042	0.0041
15	0.0078	0.0062	0.0055	0.0050	0.0047	0.0045	0.0043	0.0041
20	0.0081	0.0064	0.0057	0.0052	0.0049	0.0046	0.0044	0.0042
25	0.0075	0.0061	0.0054	0.0050	0.0047	0.0044	0.0042	0.0041
29	0.0076	0.0061	0.0054	0.0049	0.0046	0.0044	0.0042	0.0040
Değişim	%69.17	%46.75	%37.91	%33.26	%30.70	%28.75	%27.48	%26.21

Tablo 5.26 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

	$tan\delta \cdot \varepsilon_r$					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.0043	0.0043	0.0044	0.0044	0.0044	0.0045
5	0.0085	0.0080	0.0075	0.0072	0.0072	0.0076
10	0.0085	0.0079	0.0074	0.0072	0.0072	0.0075
15	0.0085	0.0079	0.0075	0.0074	0.0075	0.0078
20	0.0083	0.0078	0.0075	0.0076	0.0078	0.0081
25	0.0086	0.0081	0.0076	0.0074	0.0074	0.0075
29	0.0084	0.0079	0.0077	0.0076	0.0075	0.0076
Değişim	%95.85	%83.37	%76.08	%71.85	%69.65	%69.17

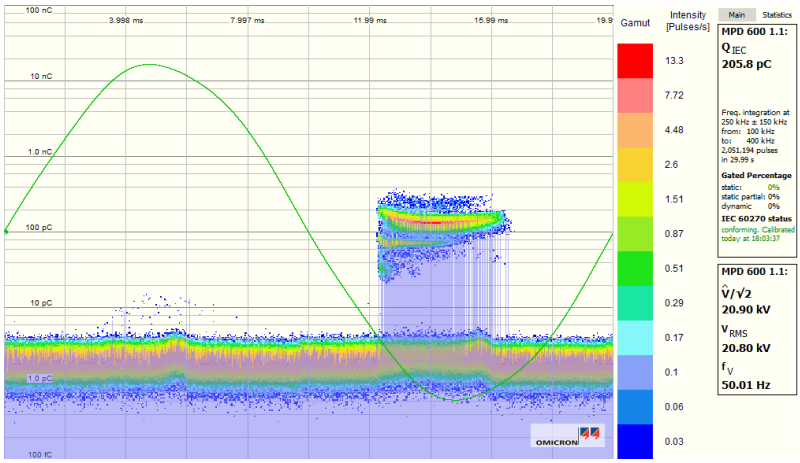
- **Kısmi Boşalma Ölçüm Sonuçları**



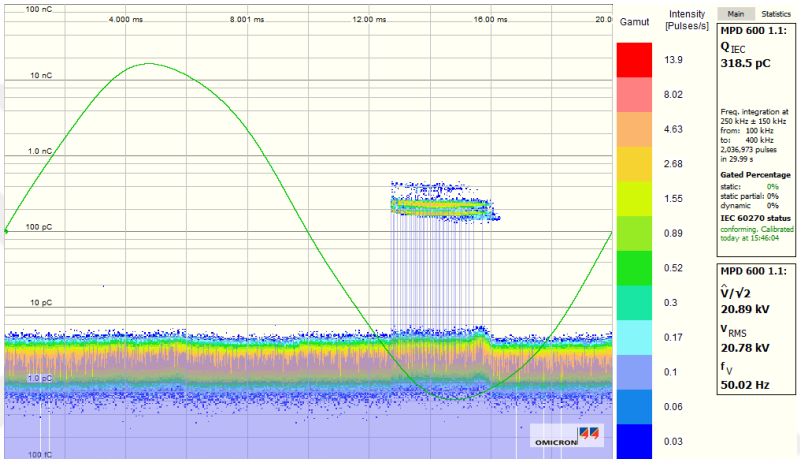
Şekil 5.29 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçümü ve KBBG değişim oranları

Şekil 5.29'da 20.8 kV gerilim ve 50 Hz frekansta yapılan KB genliği ölçüm sonuçları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 206 pC olan KB genlik değeri, 10 yaşlandırma işlemi sonunda 329 pC değerine ulaşmıştır. KB genliği, 29. yaşlandırma çevriminden sonra 446 pC olarak ölçülmüştür. Yaşlandırma öncesi 15.5 kV olan KBBG değeri, ilk 10 yaşlandırma işleminden sonra %2.60 oranında azalmıştır. 29 yaşlandırma işlemi sonucunda, %2.84 oranında azalarak 15.06 kV değerine gerilemiştir.

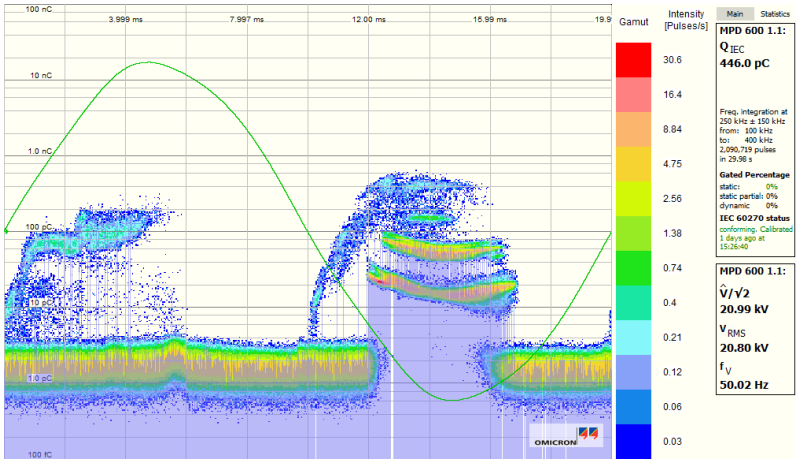
Yaşlandırma öncesi, 15. yaşlandırma ve 29. yaşlandırma çevrimlerine ait MPD600 KB ölçüm kiti ekran görüntüleri Şekil 5.30'de paylaşılmıştır. Şekil 5.30a'da, kablo başlığı montajı sırasında meydana gelen kusurların oluşturduğu KB olayları, gerilimin yükselen kenarı üzerinde görülmektedir. Bu bağlamda, yaşlandırma öncesi 206 pC değerinde KB genliği ölçülmüştür. Alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma işleminin de etkisiyle KB genliği ve olay sayısı artmıştır. Montaj kusurlarından dolayı, kablo numunesi 29 yaşlandırma çevrimi sonrasında kablo başlığı içerisinden delinmiştir. KB ve KBBG ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler Tablo 5.27'de paylaşılmıştır.



(a) Yaşlandırma öncesi KB ölçüm sonucu



(b) 15. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu



(c) 29. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu

Şekil 5.30 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları

Tablo 5.27 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ve KBBG ölçüm sonuçları

Çevrim	0	5	10	15	20	25	29	Değişim
KB (pC)	206	205	329	318.5	400	427	446	%116.5
KBBG (kV)	15.50	15.11	15.10	15.11	15.07	15.06	15.06	%-2.84

5.4.1.4 Darbe Gerilimi (50 kV) ile Yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE İzoleli 1x25 mm^2 Kesitli Başlıklı Kablo Numuneleri

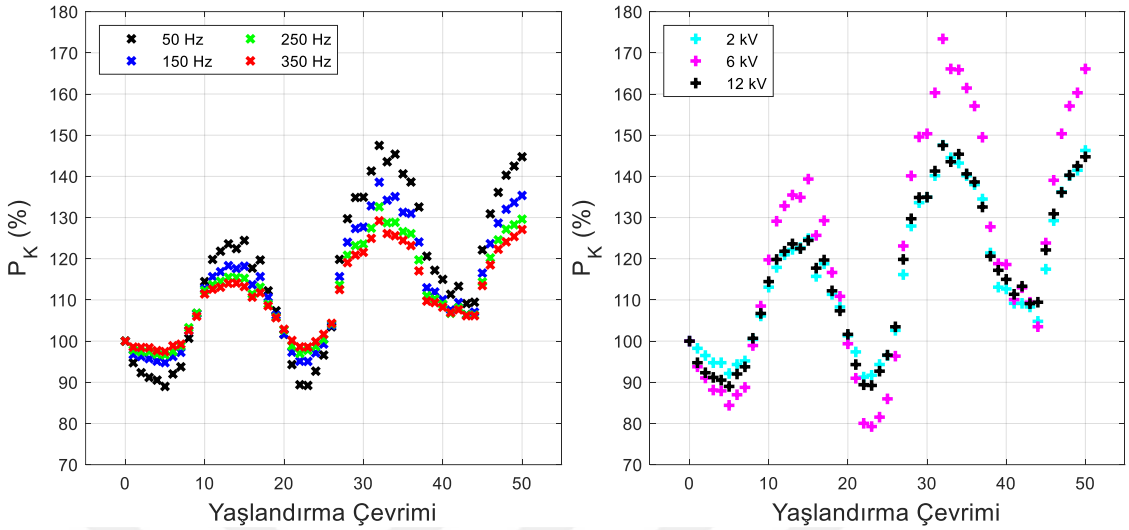
Bu bölümde, 50 kV genlikli pozitif kutuplu yıldırım darbe gerilimi (1.2/50 μs) ile yaşlandırılan 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x25 mm^2 kesitli ve başlıklı kablo numunelerine ait dielektrik parametre ve KB ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.

- **Dielektrik Parametre Ölçüm Sonuçları**

Sonuçların, yaşlandırma çevrim sayısına göre davranış değişimi, ölçüm frekansı ve gerilimine bağlı olacak şekilde 50 yaşlandırma çevrimine göre gösterilmiştir. P_K ölçüm sonuçları Şekil 5.31'de, tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.32'de ve C ölçüm sonuçları Şekil 5.33'te sunulmuştur.

Şekil 5.31a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranı görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 48.8 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda 55.9 mW değerine ulaşan P_K'da %14.5 değerinde bir artış meydana gelmiştir. 20. yaşlandırma ile birlikte başlangıç değerine dönen P_K değeri azalış eğilimine devam etmiştir. 30 yaşlandırma işlemi sonunda P_K değerinde %35.0 oranında, 50 yaşlandırmadan sonra ise %44.0 oranında bir artış meydana gelmiş ve 70.7 mW olmuştur. Ölçüm frekansı arttıkça, başlangıç değeri olarak alınan yaşlandırma öncesi P_K değerleri de artmıştır. Fakat, ölçüm frekansının artması ile birlikte, P_K değerinde oluşan artış oranları azalmıştır. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 120.2-179.4-233.0 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde 50. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %35.4, %29.6 ve %27.1 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-

400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.28'de paylaşılmıştır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.31 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.31b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 1.15 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %13.1 oranında artarak 1.3 mW değerine ulaşmıştır. 30 yaşlandırma işlemi sonrasında P_K değerinde %34.9 artış meydana gelmiştir. 50. yaşlandırma çevriminde ise P_K değerindeki artış oranı %46.3 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 14 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %19.7 oranında artarak 16.7 mW değerine ulaşmıştır. 30. yaşlandırmadan sonra P_K değerinde %50.4 artış olmuştur. 50. yaşlandırma çevriminde ise P_K değerindeki artış oranının %66.7 olduğu görülmektedir. Tablo 5.29'de, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.28'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, 50 Hz frekanstaki P_K değerine göre; 100 Hz'te %75.2 oranında, 150 Hz'te %146.3 oranında, 200 Hz'te %209.3 oranında, 250 Hz'te %267.5 oranında, 300 Hz'te %325.5 oranında, 350 Hz'te %377.3 oranında ve 400 Hz'te %429.5 oranında arttığı görülmektedir. 50 yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans

değerleri için artış oranları sırasıyla; %70.1-%130.3-%180.9-%229.1-%275.5-%319.1-%360 olarak elde edilmiştir.

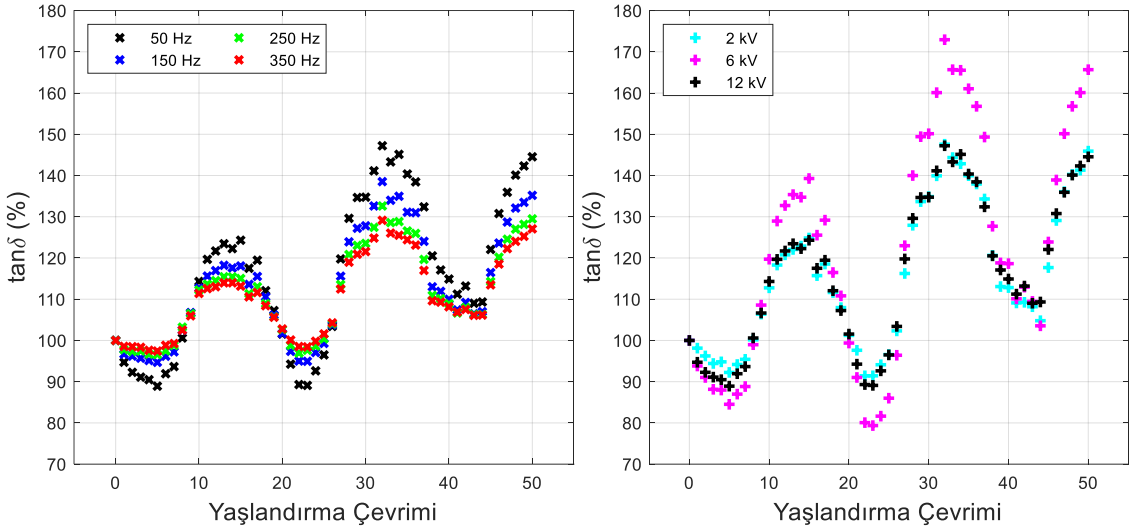
Tablo 5.28 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	48.8	85.5	120.2	151.0	179.4	207.7	233.0	258.5
10	55.9	97.3	135.6	169.0	201.4	231.4	259.6	287.6
20	49.6	87.0	122.3	153.9	184.2	213.2	239.7	266.9
30	65.9	112.9	153.5	189.1	221.7	253.9	283.2	311.9
40	56.1	95.6	132.3	164.6	195.5	224.6	252.2	279.3
50	70.7	120.2	162.7	198.5	232.5	265.3	296.1	325.0
Değişim	%44.8	%40.6	%35.4	%31.4	%29.6	%27.7	%27.1	%25.7

Tablo 5.29'teki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değere göre; 6 kV'ta %1121 oranında ve 12 kV'ta %4162.9 oranında arttığı görülmektedir. 50 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %1286.3-%4118.2 olarak değişmiştir.

Tablo 5.29 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	1.15	5.9	14.0	25.6	33.0	48.8
10	1.30	7.0	16.7	31.1	37.7	55.9
20	1.16	5.9	13.9	25.9	33.6	49.6
30	1.55	8.9	21.0	38.9	44.6	65.9
40	1.29	6.8	16.6	30.7	38.6	56.1
50	1.68	9.8	23.2	42.8	48.1	70.7
Değişim	%46.3	%66.7	%66.1	%67.3	%45.9	%44.8



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.32 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.32a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ değerinin 0.00194 olduğu görülmektedir. 10. yaşlandırma sonunda tanδ değeri 0.00222'a ulaşmış ve %14.3 değerinde bir artış göstermiştir. 30 yaşlandırma işlemi sonunda tanδ değerinde %34.7 ve 50 yaşlandırmadan sonra da %44.5 oranında bir artış olmuştur. Yaşlandırma öncesinde, 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.00159-0.00143-0.00133 olan tanδ değerleri 50. yaşlandırmadan sonra sırasıyla %35.2, %29.5 ve %27.1 oranında artmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.30'te paylaşılmıştır.

Şekil 5.32b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarının değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.00164 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma işlemi sonunda %12.8 artarak 0.00185 değerine ulaşmıştır. 30 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ değerinde %34.9 oranında artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 0.00223 olan tanδ değeri, 10 yaşlandırma çevriminden sonra %19.7 oranında artarak 0.00267 değerine ulaşmıştır. 50. yaşlandırma işleminden sonra ise tanδ

değerindeki artış oranının %65.7 olduğu görülmektedir. Tablo 5.31'te, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50 Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.30 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.00194	0.00170	0.00159	0.00150	0.00143	0.00138	0.00133	0.00129
10	0.00222	0.00193	0.00179	0.00168	0.00160	0.00153	0.00148	0.00143
20	0.00197	0.00173	0.00162	0.00153	0.00147	0.00141	0.00136	0.00133
30	0.00261	0.00224	0.00203	0.00188	0.00176	0.00168	0.00161	0.00155
40	0.00223	0.00190	0.00175	0.00163	0.00156	0.00149	0.00143	0.00139
50	0.00280	0.00239	0.00215	0.00197	0.00185	0.00176	0.00168	0.00162
Değişim	%44.5	%40.5	%35.2	%31.6	%29.5	%27.7	%27.1	%25.7

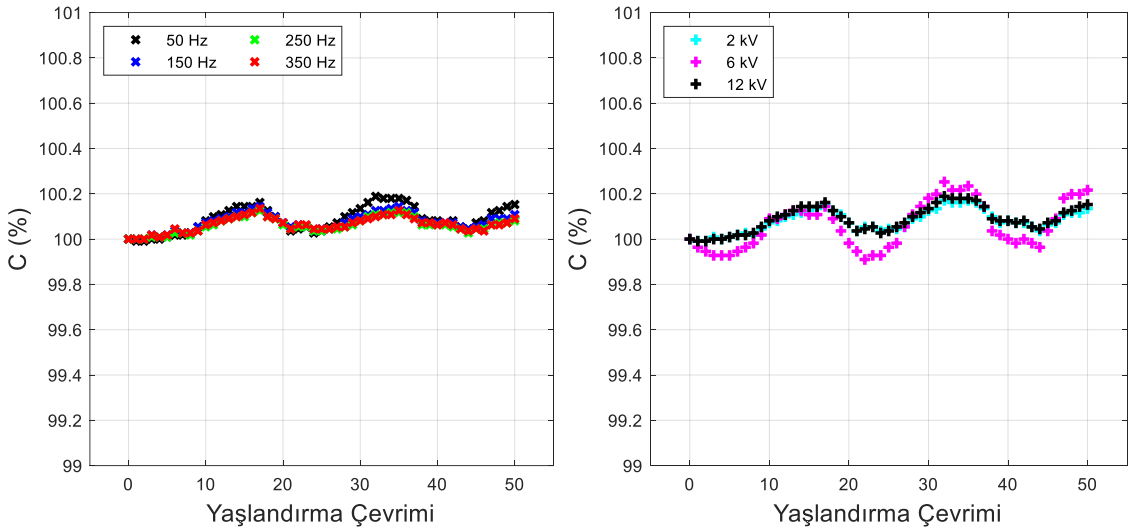
Tablo 5.31 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.00164	0.00211	0.00223	0.00230	0.00189	0.00194
10	0.00185	0.00252	0.00267	0.00278	0.00215	0.00222
20	0.00166	0.00212	0.00221	0.00232	0.00192	0.00197
30	0.00221	0.00317	0.00335	0.00348	0.00255	0.00261
40	0.00185	0.00245	0.00264	0.00275	0.00221	0.00223
50	0.00239	0.00351	0.00369	0.00383	0.00275	0.00280
Değişim	%45.9	%66.3	%65.7	%67.0	%45.7	%44.5

Tablo 5.30'teki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, tanδ değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %12.4 oranında, 150 Hz'te %18 oranında, 200 Hz'te %22.8

oranında, 250 Hz'te %26.4 oranında, 300 Hz'te %29.1 oranında, 350 Hz'te %31.7 oranında ve 400 Hz'te %33.7 oranında azaldığı görülmektedir. 50 yaşlandırma sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış oranları sırasıyla, %15-%23.3-%29.7-%34.1-%37.3-%40-%42.4 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.31'teki yaşlandırma öncesi ölçüm verileri incelendiğinde, 2 kV gerilimdeki tanδ değerine göre; 6 kV'ta %36.0 oranında ve 12 kV'ta %18.4 oranında arttığı görülmektedir. 50 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %54.4-%17.3 olarak değişmiştir.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.33 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C ölçüm sonuçları

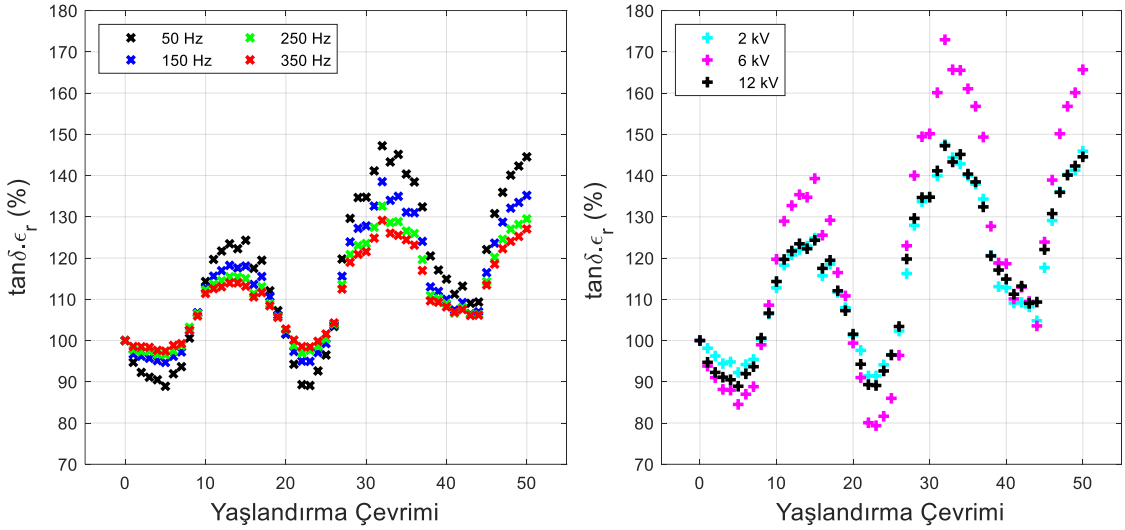
Şekil 5.33a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında ve Şekil 5.33b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçlarının değişim oranları paylaşılmıştır. Tüm ölçüm sonuçlarında, C değerinin 554.7 pF ile 557.7 pF arasında değiştiği görülmektedir. Tablo 5.32'da ve Tablo 5.33'de C (pF) değerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.32 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	556.8	556.4	556.2	556.2	556.1	556.0	555.9	555.9
10	557.3	556.8	556.6	556.6	556.4	556.4	556.3	556.2
20	557.2	556.8	556.6	556.6	556.5	556.4	556.3	556.2
30	557.6	557.0	556.7	556.7	556.6	556.5	556.4	556.3
40	557.3	556.8	556.6	556.6	556.5	556.4	556.3	556.2
50	557.7	557.1	556.8	556.7	556.6	556.5	556.4	556.3
Değişim	%0.2	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1	%0.1

Tablo 5.33 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	556.7	554.6	554.7	554.8	556.8	556.8
10	557.1	555.1	555.2	555.2	557.3	557.3
20	557.1	554.5	554.6	554.6	557.2	557.2
30	557.4	555.6	555.7	555.7	557.6	557.6
40	557.1	554.6	554.7	554.7	557.3	557.3
50	557.4	555.8	555.9	556.0	557.6	557.7
Değişim	%0.1	%0.2	%0.2	%0.2	%0.1	%0.2



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.34 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ·ε$_r$ değişim oranları

Yaşlandırma öncesinde, ε$_r$ değeri 2.3311 olarak elde edilmiştir. Bu değer yardımıyla tanδ·ε$_r$ değerine ait değişim oranları Şekil 5.34'te sunulmuştur.

Şekil 5.34a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ·ε$_r$ değerine ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ·ε$_r$ değerinin 0.0045 olduğu görülmektedir. 10. yaşlandırma sonunda tanδ·ε$_r$ değeri 0.0052'a ulaşmış ve %14.3 değerinde bir artış göstermiştir. 30 yaşlandırma işlemi sonunda tanδ·ε$_r$ değerinde %34.7 ve 50 yaşlandırmadan sonra da %44.75 oranında bir artış olmuştur. Yaşlandırma öncesinde, 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.0037-0.0033-0.0031 olan tanδ·ε$_r$ değerleri 50. yaşlandırmadan sonra sırasıyla %35.3, %29.6 ve %27.2 oranında artmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta elde edilen tanδ·ε$_r$ değerleri için Tablo 5.34'de paylaşılmıştır.

Şekil 5.34b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan tanδ·ε$_r$ değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0038 olan tanδ·ε$_r$ değeri 10 yaşlandırma işlemi sonunda %12.8 artarak 0.0043 değerine ulaşmıştır. 30 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ·ε$_r$ değerinde %34.9 oranında artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 0.0052 olan tanδ·ε$_r$ değeri, 10 yaşlandırma çevriminden sonra %19.7 oranında artarak 0.0062 değerine

ulaşmıştır. 50. yaşlandırma işleminden sonra ise $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerindeki artış oranının %66 olduğu görülmektedir. Tablo 5.35'de, 50 Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.34 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 12 kV'ta $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

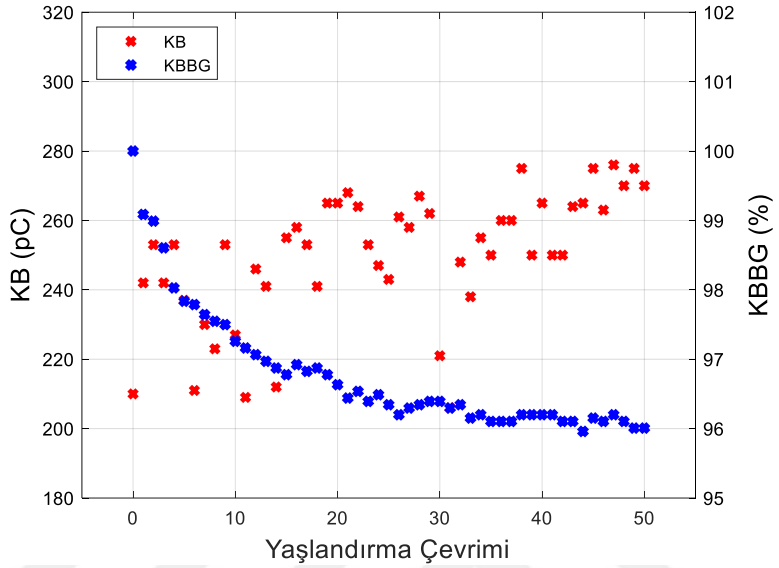
	$\tan\delta \cdot \varepsilon_r$							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0045	0.0040	0.0037	0.0035	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030
10	0.0052	0.0045	0.0042	0.0039	0.0037	0.0036	0.0034	0.0033
20	0.0046	0.0040	0.0038	0.0036	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031
30	0.0061	0.0052	0.0047	0.0044	0.0041	0.0039	0.0038	0.0036
40	0.0052	0.0044	0.0041	0.0038	0.0036	0.0035	0.0033	0.0032
50	0.0065	0.0056	0.0050	0.0046	0.0043	0.0041	0.0039	0.0038
Değişim	%44.76	%40.62	%35.33	%31.68	%29.60	%27.83	%27.17	%25.85

Tablo 5.35 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

	$\tan\delta \cdot \varepsilon_r$					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.0038	0.0049	0.0052	0.0053	0.0044	0.0045
10	0.0043	0.0058	0.0062	0.0065	0.0050	0.0052
20	0.0039	0.0049	0.0051	0.0054	0.0045	0.0046
30	0.0052	0.0074	0.0078	0.0081	0.0060	0.0061
40	0.0043	0.0057	0.0061	0.0064	0.0051	0.0052
50	0.0056	0.0082	0.0086	0.0089	0.0064	0.0065
Değişim	%46.11	%66.69	%66.02	%67.33	%45.93	%44.76

- **Kısmi Boşalma Ölçüm Sonuçları**

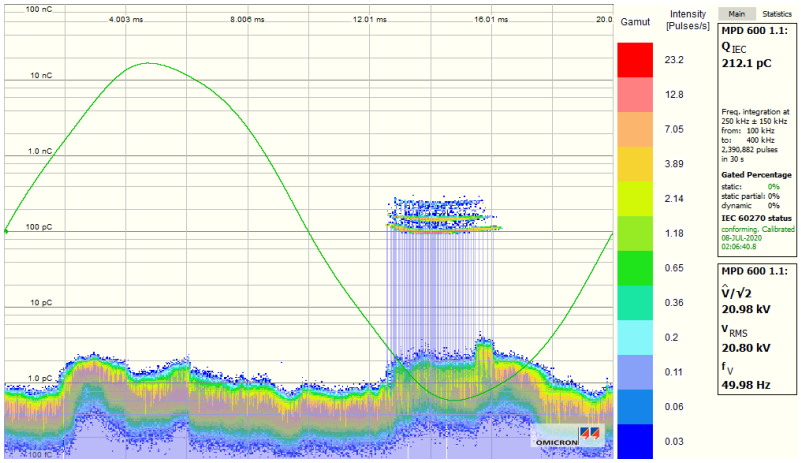
KB ve KBBG ölçüm sonuçları, yaşlandırma çevrim sayısına göre bu kısımda sunulmuştur. Ayrıca, OMICRON MPD600 ölçüm kitinin yaşlandırma öncesi, 25. ve 50. yaşlandırma çevrimlerine ait ekran görüntüleri de paylaşılmıştır.



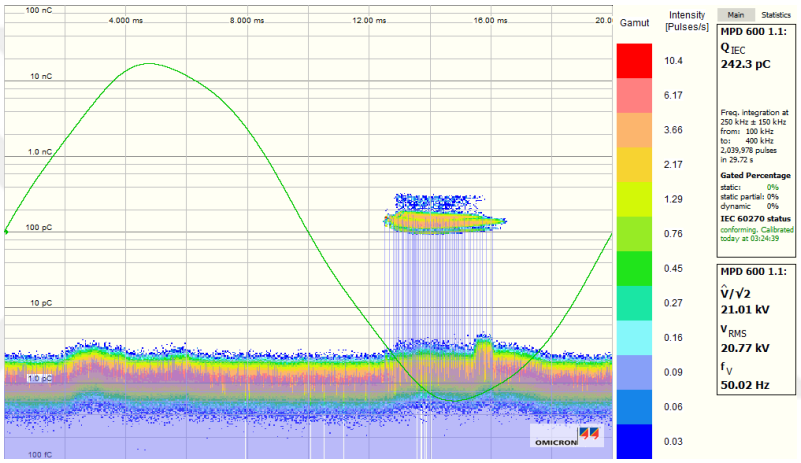
Şekil 5.35 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçümü ve KBBG değişim oranları

Şekil 5.35'te 20.8 kV gerilim ve 50 Hz frekansta yapılan KB genliği ölçüm sonuçları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 212.3 pC olan KB genlik değeri, 10 yaşlandırma işlemi sonunda 227 pC değerine ulaşmıştır. KB genliği, 30. yaşlandırma çevriminden sonra 221 pC ve 50 yaşlandırma sonucunda 270 pC değerine ulaşmıştır. 15 kV olan KBBG değeri, 5. yaşlandırma çevrimi ile birlikte %2.82 oranında azalmıştır. 30 yaşlandırma işlemi süresince azalış devam etmiştir. 30-50 yaşlandırma çevrimi arasında benzer davranış sergileyerek %4.16 oranında azalmıştır.

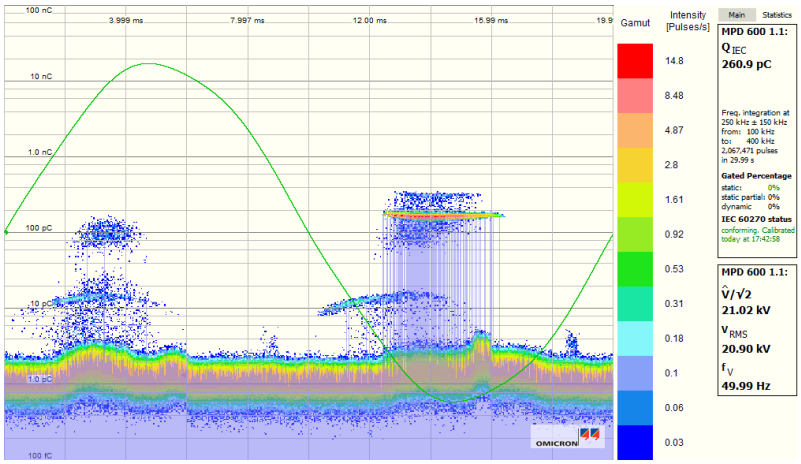
Yaşlandırma öncesi, 25. yaşlandırma ve 55. yaşlandırma çevrimlerine ait MPD600 KB ölçüm kiti ekran görüntüleri Şekil 5.36'da paylaşılmıştır. Şekil 5.36c'de görülen, ölçüm geriliminin pozitif ve negatif artan kolu üzerinde meydana gelen KB olaylarındaki artış, kablodaki iç kısmi boşalmaları işaret etmektedir. KB ölçüm sonuçları ve KBBG değerinin değişim oranları Tablo 5.36'de paylaşılmıştır.



(a) Yaşlandırma öncesi KB ölçüm sonucu



(b) 25. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu



(c) 50. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu

Şekil 5.36 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları

Tablo 5.36 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ve KBBG ölçüm sonuçları

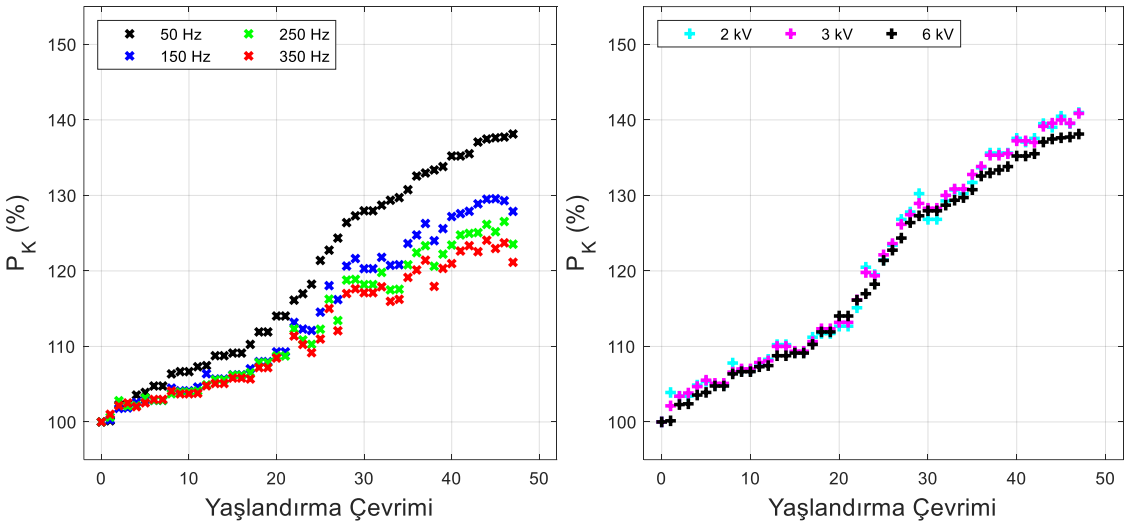
Çevrim	0	10	20	30	40	50	Değişim
KB (pC)	212.3	227	265	221	265	270.9	%27.18
KBBG (kV)	15.00	14.59	14.49	14.46	14.43	14.40	%-4.16

5.4.1.5 3*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim (18 kV) ile Yaşlandırılan 6/10 kV XLPE İzoleli 1x95 mm^2 Kesitli Başlıklı Kablo Numuneleri

18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x95 mm^2 kesitli ve başlıklı kablo numunelerine ait dielektrik parametre ve KB ölçüm sonuçları bu kısımda paylaşılmıştır.

- **Dielektrik Parametre Ölçüm Sonuçları**

Sonuçların, yaşlandırma çevrim sayısına göre davranış değişimi, ölçüm frekansı ve gerilimine bağlı olacak şekilde 47 yaşlandırma çevrimine göre gösterilmiştir. P_K ölçüm sonuçları Şekil 5.37'de tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.38'de ve C ölçüm sonuçları Şekil 5.39'da sunulmuştur.



(a) 6 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.37 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.37a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranı paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 19.96 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda 21.29 mW değerine ulaşan P_K'da %6.7 değerinde bir artış meydana gelmiştir. 20. yaşlandırma sonunda %14, 30. yaşlandırma sonunda %28, 40. yaşlandırma sonunda %35.2 ve 47. yaşlandırma sonunda %38.1 oranında artış meydana gelmiştir. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 51.29-78.18-103.6 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde 47. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %27.9, %23.5 ve %21.1 olarak hesaplanmıştır. 6 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları Tablo 5.37'de paylaşılmıştır.

Şekil 5.37b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 2.05 mW olan P_K değeri, 10 yaşlandırma sonunda %6.8 oranında artarak 2.19 mW değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında P_K değerinde %12.7 artış meydana gelmiştir. 30-40-47 yaşlandırma çevrimlerine ait değişim oranları sırasıyla, %26.8-%37.6-%41 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 3 kV gerilimde 4.70 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %7 oranında artarak 5.03 mW değerine ulaşmıştır. Tablo 5.38'de, 50Hz frekansta 2-3-6-9-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.37'daki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, P_K değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %83, 150 Hz'te %157, 200 Hz'te %226.2, 250 Hz'te %291.7, 300 Hz'te %355.8, 350 Hz'te %419, ve 400 Hz'te %479.5 oranında artmıştır. 47 yaşlandırma çevrimi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için artış oranları sırasıyla; %74.6-%137.9-%195.8-%250-%304.5-%355.2-%455.7 olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.38'daki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değere göre; 3 kV'ta %129.3 oranında ve 6 kV'ta %873.7 oranında arttığı görülmektedir. 47 yaşlandırma işlemi sonrasında 3 kV ve 6 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %129.1-%854 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.37 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

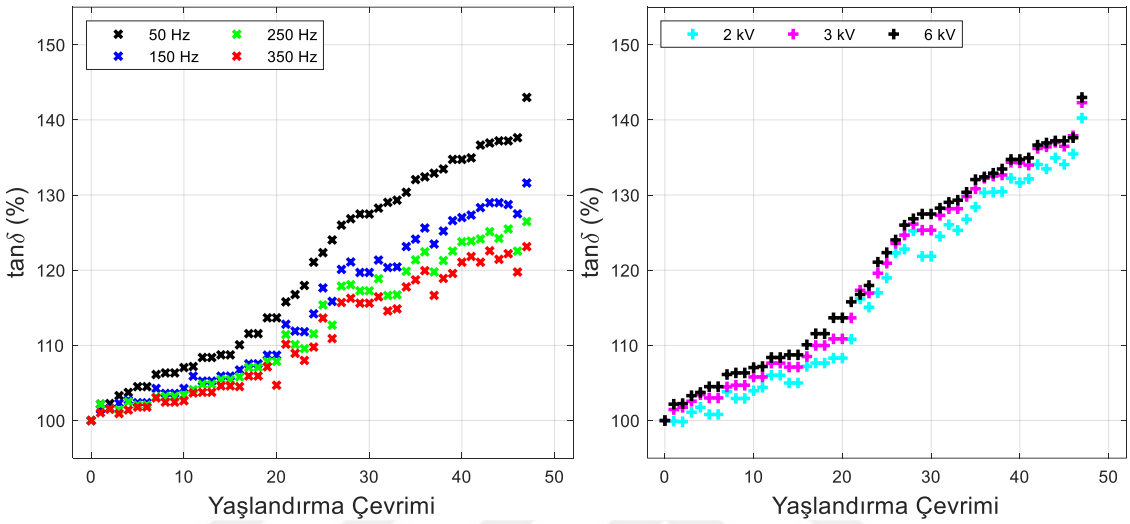
	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	19.96	36.51	51.29	65.11	78.18	90.97	103.60	115.67
10	21.29	38.21	53.41	67.80	81.29	94.15	107.45	121.17
20	22.76	40.34	56.05	70.84	85.01	98.57	112.36	125.72
30	25.54	44.83	61.70	77.35	92.40	106.57	121.33	135.58
40	26.99	47.59	65.24	81.17	96.50	111.16	125.32	139.74
47	27.57	48.15	65.59	81.54	96.58	111.49	125.50	139.43
Değişim	%38.1	%31.9	%27.9	%25.2	%23.5	%22.6	%21.1	%20.5

Tablo 5.38 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	2.05	4.70	19.96	47.22	86.50
10	2.19	5.03	21.29	49.93	91.75
20	2.31	5.32	22.76	53.63	98.72
30	2.60	6.03	25.54	59.76	109.30
40	2.82	6.45	26.99	62.74	114.18
47	2.89	6.62	27.57	63.77	115.80
Değişim	%41.0	%40.9	%38.1	%35.0	%33.9

Şekil 5.38a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ değeri 0.00142 olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda 0.00152 değerine ulaşan tanδ'da %7 değerinde bir artış meydana gelmiştir. 20. yaşlandırma sonunda %13.7, 30. yaşlandırma sonunda %27.5, 40. yaşlandırma sonunda %34.7 ve 47. yaşlandırma sonunda %43 oranında artış

meydana gelmiştir. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.00122-0.00112-0.00106 olan yaşlandırma öncesi tanδ değerlerinde 47. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %31.6, %26.5 ve %23.1 olarak hesaplanmıştır. 6 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları Tablo 5.39'de paylaşılmıştır.



(a) 6 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.38 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.38b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.00136 olan tanδ değeri, 10 yaşlandırma sonunda %2.8 oranında artarak 0.00141 değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ değerinde %8.3 artış meydana gelmiştir. 30-40-47 yaşlandırma çevrimlerine ait değişim oranları sırasıyla, %21.9-%31.6-%40.3 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 3 kV gerilimde 0.00136 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %5.7 oranında artarak 0.00144 değerine ulaşmıştır. Tablo 5.40'de, 50Hz frekansta 2-3-6-9-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.39'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, tanδ değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %8.7 oranında, 150 Hz'te %14.2 oranında, 200 Hz'te %18.1 oranında, 250 Hz'te %21.2 oranında, 300 Hz'te %23.3 oranında, 350 Hz'te %25.1 oranında ve 400 Hz'te %26.4 oranında azaldığı görülmektedir. 47

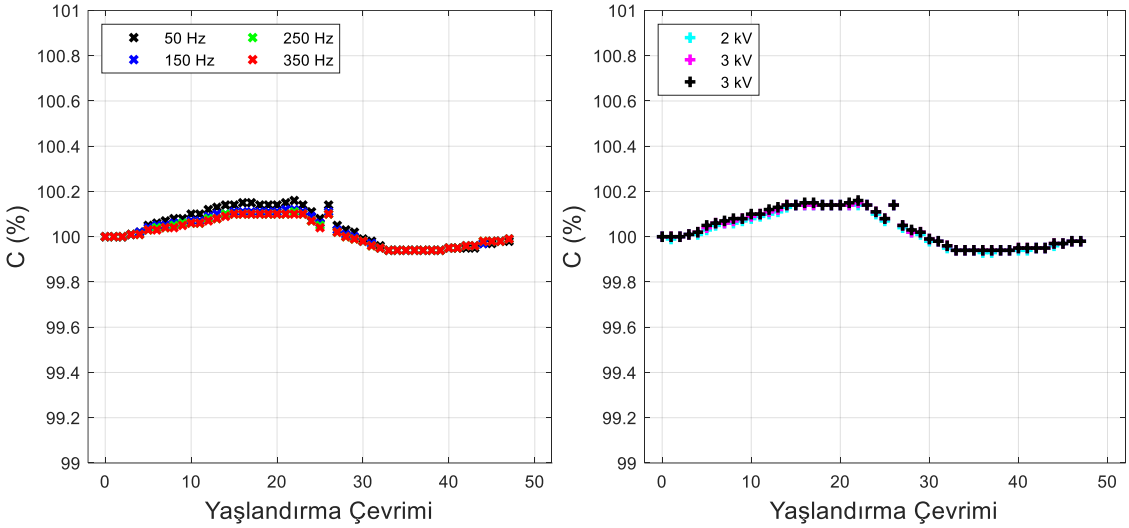
yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış oranları sırasıyla, %13.1-%21-%26.3-%30.3-%33-%35.5-%37.4 olarak değişmiştir. Tablo 5.40'deki yaşlandırma öncesi ölçüm verileri incelendiğinde, 2 kV gerilimdeki tanδ değerine göre; 3 kV'ta %0.2 oranında ve 6 kV'ta %4.4 oranında arttığı görülmektedir. 47 yaşlandırma işlemi sonrasında 3 kV ve 6 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %1.7-%6.5 olarak değişmiştir.

Tablo 5.39 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.00142	0.00130	0.00122	0.00116	0.00112	0.00109	0.00106	0.00104
10	0.00152	0.00136	0.00127	0.00121	0.00116	0.00112	0.00109	0.00107
20	0.00161	0.00143	0.00132	0.00126	0.00121	0.00117	0.00111	0.00112
30	0.00181	0.00159	0.00146	0.00137	0.00131	0.00126	0.00123	0.00120
40	0.00191	0.00168	0.00155	0.00146	0.00138	0.00133	0.00129	0.00126
47	0.00203	0.00176	0.00160	0.00150	0.00141	0.00136	0.00131	0.00127
Değişim	%43.0	%36.0	%31.6	%28.7	%26.5	%24.8	%23.1	%21.7

Tablo 5.40 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	0.00136	0.00136	0.00142	0.00147	0.00152
10	0.00141	0.00144	0.00152	0.00158	0.00160
20	0.00147	0.00151	0.00161	0.00169	0.00175
30	0.00166	0.00171	0.00181	0.00188	0.00194
40	0.00179	0.00183	0.00191	0.00199	0.00204
47	0.00191	0.00194	0.00203	0.00209	0.00213
Değişim	%40.3	%42.3	%43.0	%42.5	%39.9



(a) 6 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.39 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları

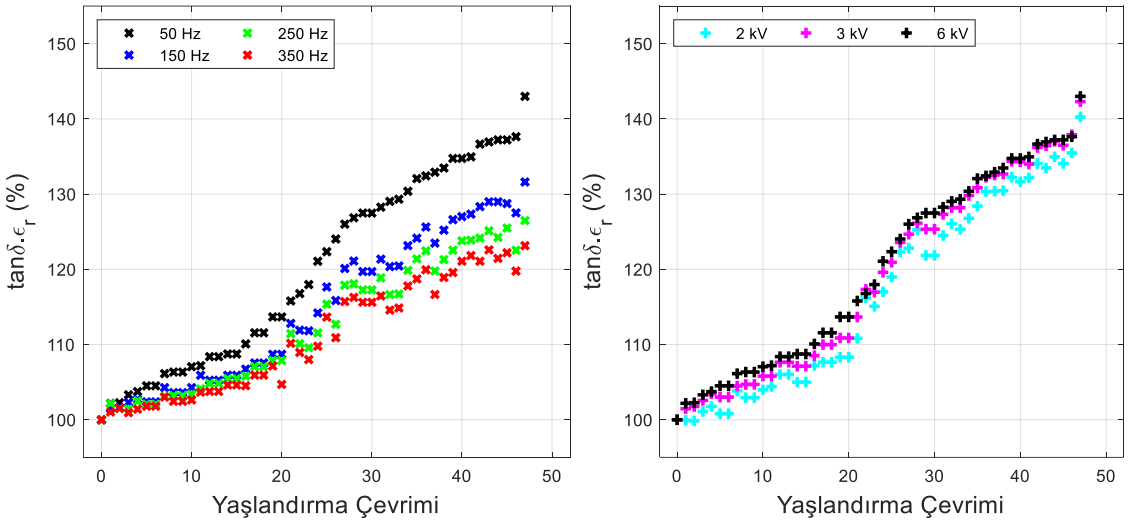
Şekil 5.39a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında ve Şekil 5.39b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçlarının değişim oranları paylaşılmıştır. Tüm ölçüm sonuçlarında, C değerinin 1245 pF ile 1249 pF arasında değiştiği görülmektedir. Tablo 5.41'te ve Tablo 5.42'te C (pF) değerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.41 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	1246.4	1245.7	1245.3	1245.4	1245.2	1245.0	1244.9	1244.8
10	1247.6	1246.6	1246.2	1246.3	1246.0	1245.8	1245.7	1245.5
20	1248.2	1247.2	1246.7	1246.7	1246.4	1246.2	1246.1	1246.0
30	1246.3	1245.5	1245.0	1245.2	1244.9	1244.7	1244.6	1244.5
40	1245.8	1245.1	1244.7	1244.8	1244.6	1244.4	1244.3	1244.2
47	1246.2	1245.5	1245.2	1245.3	1245.1	1244.9	1244.8	1244.7
Değişim	-%0.02	-%0.02	-%0.01	-%0.01	-%0.01	-%0.01	-%0.01	-%0.01

Tablo 5.42 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	1246.3	1246.3	1246.4	1246.5	1246.6
10	1247.3	1247.4	1247.6	1247.7	1247.9
20	1248.0	1248.0	1248.2	1248.3	1248.4
30	1246.1	1246.2	1246.3	1246.4	1246.5
40	1245.6	1245.7	1245.8	1245.9	1245.9
47	1246.1	1246.1	1246.2	1246.3	1246.4
Değişim	-%0.02	-%0.02	-%0.02	-%0.02	-%0.02



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.40 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ·ε$_r$ değişim oranları

Yapılan hesaplamalar sonucunda, ε$_r$ değeri 2.3415 olarak elde edilmiştir. Bu değer yardımıyla tanδ·ε$_r$ değerine ait değişim oranları Şekil 5.40'da sunulmuştur.

Şekil 5.40a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ·ε$_r$ değerine ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ·ε$_r$ değeri 0.0033 olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda 0.0036 değerine ulaşan tanδ·ε$_r$'da %7 değerinde bir artış meydana gelmiştir. 20.

yaşlandırma sonunda %13.7, 30. yaşlandırma sonunda %27.5, 40. yaşlandırma sonunda %34.7 ve 47. yaşlandırma sonunda %43 oranında artış meydana gelmiştir. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.0028-0.0026-0.0025 olan yaşlandırma öncesi $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerlerinde 47. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %31.6, %26.5 ve %23.1 olarak hesaplanmıştır. 6 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta elde edilen $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerleri Tablo 5.43'te paylaşılmıştır.

Şekil 5.40b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0032 olan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri, 10 yaşlandırma sonunda %2.8 oranında artarak 0.0033 değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerinde %8.3 artış meydana gelmiştir. 30-40-47 yaşlandırma çevrimlerine ait değişim oranları sırasıyla, %21.9-%31.6-%40.23 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 3 kV gerilimde 0.0032 olan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri 10 yaşlandırma sonunda %5.7 oranında artarak 0.0034 değerine ulaşmıştır. Tablo 5.44'te, 50 Hz frekansta 2-3-6-9-12 kV gerilim uygulanarak yapılan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.43 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

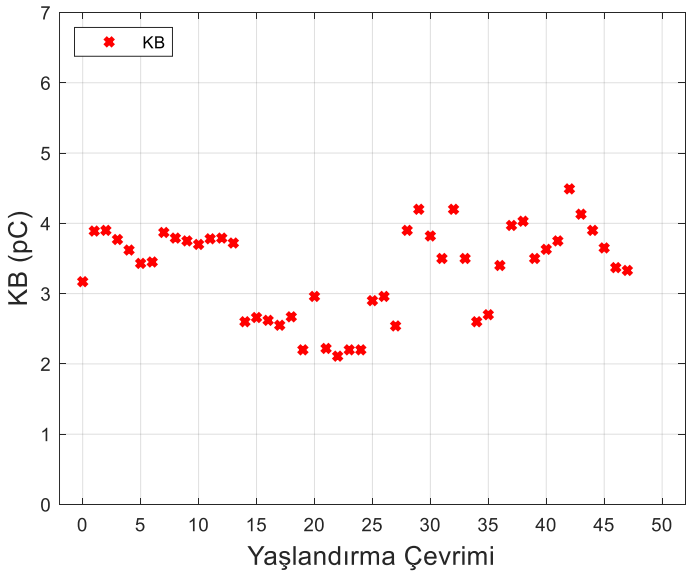
	$\tan\delta\cdot\varepsilon_r$							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0033	0.0030	0.0028	0.0027	0.0026	0.0025	0.0025	0.0024
10	0.0036	0.0032	0.0030	0.0028	0.0027	0.0026	0.0026	0.0025
20	0.0038	0.0033	0.0031	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026	0.0026
30	0.0042	0.0037	0.0034	0.0032	0.0031	0.0029	0.0029	0.0028
40	0.0045	0.0039	0.0036	0.0034	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029
47	0.0048	0.0041	0.0037	0.0035	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030
Değişim	%42.97	%36.01	%31.60	%28.73	%26.47	%24.78	%23.13	%21.73

Tablo 5.44 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ·ε_r ölçüm sonuçları

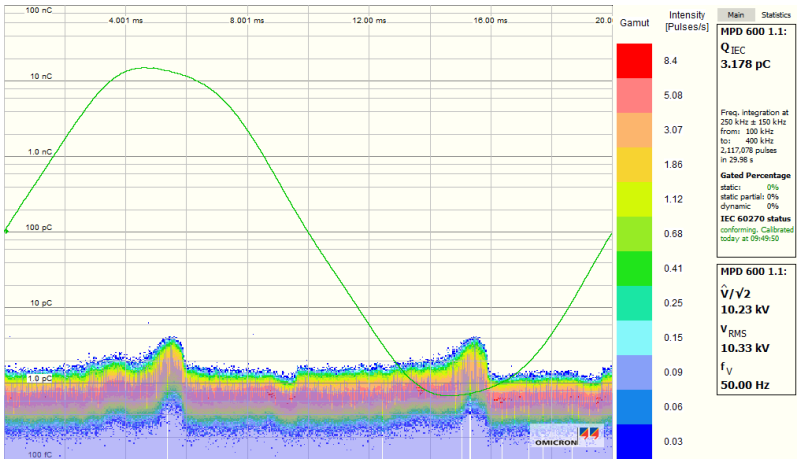
	tanδ·ε_r				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	0.0032	0.0032	0.0033	0.0034	0.0036
10	0.0033	0.0034	0.0036	0.0037	0.0037
20	0.0035	0.0035	0.0038	0.0040	0.0041
30	0.0039	0.0040	0.0042	0.0044	0.0045
40	0.0042	0.0043	0.0045	0.0046	0.0048
47	0.0045	0.0045	0.0048	0.0049	0.0050
Değişim	%40.23	%42.27	%42.97	%42.50	%39.83

- **Kısmi Boşalma Ölçüm Sonuçları**

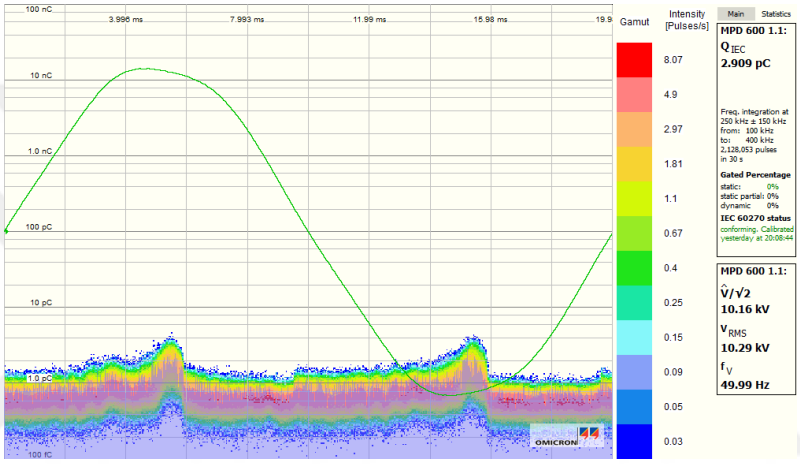
KB olaylarını görebilmek adına OMICRON MPD600 ölçüm kitinin ekran görüntüsü şeklinde paylaşılmıştır. KB genliği, 5 pC eşik değerini aşmadığı için KBBG değeri kayıt altına alınamamıştır.



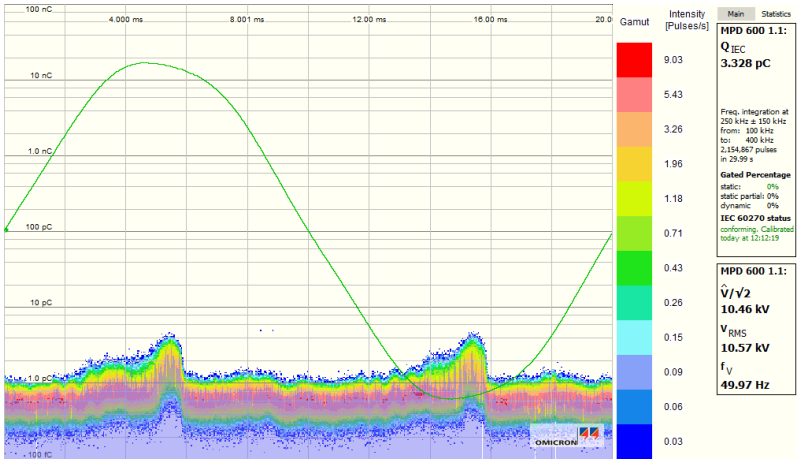
Şekil 5.41 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçüm sonuçları



(a) Yaşlandırma öncesi KB ölçüm sonucu



(b) 25. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu



(c) 47. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu

Şekil 5.42 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları

Şekil 5.41'de 10 kV gerilim ve 50 Hz frekansta yapılan KB genliği ölçüm sonuçları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 3.17 pC olan KB genlik değeri, 10 yaşlandırma

işlemi sonunda 3.70 pC değerine ulaşmıştır. KB genliği, 40. yaşlandırma çevriminden sonra 3.63 pC ve 47 yaşlandırma sonucunda 3.33 pC değerine ulaşmıştır. Yaşlandırma öncesi, 25. yaşlandırma ve 47. yaşlandırma çevrimlerine ait MPD600 KB ölçüm kiti ekran görüntüleri Şekil 5.42'de paylaşılmıştır. KB genliğinde ve KB olaylarında herhangi önemli bir değişimin olmadığı ortaya çıkmıştır. KB ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler Tablo 5.45'te paylaşılmıştır.

Tablo 5.45 18 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ölçüm sonuçları

Çevrim	0	10	20	30	40	47	Değişim
KB (pC)	3.17	3.70	2.96	3.82	3.63	3.33	%5.05

5.4.1.6 $5*U_0$ Alternatif Yüksek Gerilim (30 kV) ile Yaşlandırılan 6/10 kV XLPE İzoleli 1x95 mm^2 Kesitli Başlıklı Kablo Numuneleri

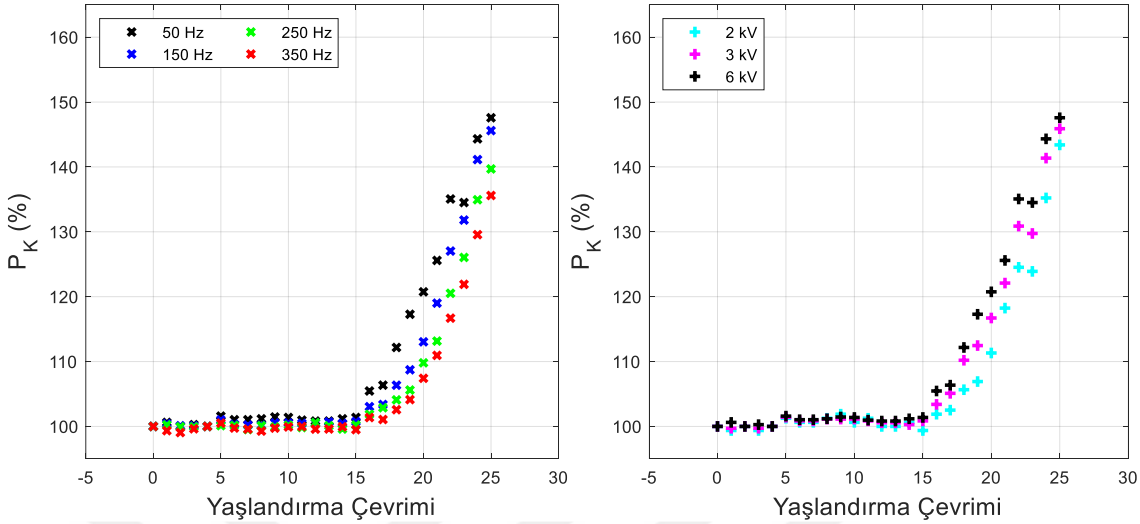
Bu kısımda, 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x95 mm^2 kesitli ve başlıklı kablo numunelerine ait dielektrik parametre ve KB ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.

- Dielektrik Parametre Ölçüm Sonuçları

Sonuçların, yaşlandırma çevrim sayısına göre davranış değişimi, ölçüm frekansı ve gerilimine bağlı olacak şekilde 25 yaşlandırma çevrimine göre gösterilmiştir. P_K ölçüm sonuçları Şekil 5.43'te, tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.44'te ve C ölçüm sonuçları Şekil 5.45'te sunulmuştur.

Şekil 5.43a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranı paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 14.5 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda 14.7 mW değerine ulaşan P_K'da %1.6 değerinde bir artış meydana gelmiştir. 20. yaşlandırma sonunda %20.7, 25. yaşlandırma sonunda %47.6 oranında artış meydana gelmiştir. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 38.7-61.5-83.5 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde, 25. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %45.6, %39.7 ve %35.6 olarak hesaplanmıştır. 6 kV

gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları Tablo 5.46'da paylaşılmıştır.



(a) 6 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.43 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.43b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 1.6 mW olan P_K değeri, 15 yaşlandırma işlemi sonunda herhangi bir değişim göstermemiştir. 20 yaşlandırma sonrasında P_K değerinde %11.3 artış meydana gelmiştir. 25. yaşlandırma çevrimi ile %43.4 oranında artış değeri hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 3 kV gerilimde 3.5 mW olan P_K değeri 20 yaşlandırma sonunda %16.7 oranında artarak 4.1 mW değerine ulaşmıştır. Tablo 5.47'de, 50Hz frekansta 2-3-6-9-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.46'daki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, P_K değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %84.3 oranında, 150 Hz'te %167.8 oranında, 200 Hz'te %250 oranında, 250 Hz'te %325.3 oranında, 300 Hz'te %400.6 oranında, 350 Hz'te %477.2 oranında ve 400 Hz'te %550 oranında arttığı görülmektedir. 25 yaşlandırma çevrimi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans

değerleri için artış oranları sırasıyla; %85.1-%164.2-%237.3-%302.6-%365.8-%430.3-%488.6 olarak değişmiştir.

Tablo 5.46 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

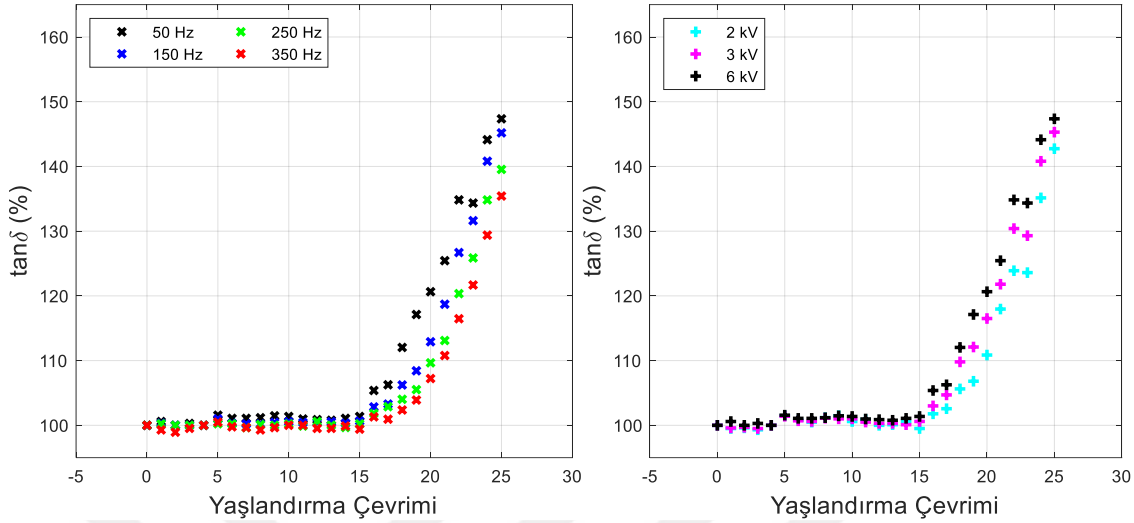
	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	14.5	26.7	38.7	50.6	61.5	72.4	83.5	94.0
5	14.7	26.9	39.1	50.6	61.6	72.7	83.9	94.3
10	14.7	26.8	38.9	50.4	61.6	72.7	83.4	94.2
15	14.7	26.9	39.0	50.5	61.6	72.4	83.0	93.8
20	17.5	31.1	43.8	55.8	67.5	78.9	89.7	100.7
25	21.3	39.5	56.4	72.0	85.9	99.4	113.2	125.6
Değişim	%47.6	%48.3	%45.6	%42.2	%39.7	%37.3	%35.6	%33.7

Tablo 5.47 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	1.6	3.5	14.5	33.5	61.0
5	1.6	3.6	14.7	33.9	61.8
10	1.6	3.6	14.7	33.8	61.6
15	1.6	3.6	14.7	34.1	62.4
20	1.8	4.1	17.5	41.3	75.1
25	2.3	5.2	21.3	49.6	90.9
Değişim	%43.4	%45.9	%47.6	%48.0	%48.9

Tablo 5.47'deki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değere göre; 6 kV'ta %122 oranında ve 12 kV'ta %809.4 oranında arttığı görülmektedir. 25 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim

değerleri için artış oranları sırasıyla, %125.9-%836 olarak değişmiştir. Bu durum, gerilim ile P_K değerinin doğru orantılı olduğunu ortaya koymaktadır.



(a) 6 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.44 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.44a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ değeri 0.00102 olarak ölçülmüştür. İlk 15 yaşlandırma çevrimi sonunda tanδ değerinde bir artış meydana gelmemiştir. 20. yaşlandırma sonunda %20.6 ve 25. yaşlandırma sonunda %47.4 oranında artış meydana gelmiştir. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.00091-0.00087-0.00084 olan yaşlandırma öncesi tanδ değerlerinde 25. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %45.2, %39.5 ve %35.4 olarak hesaplanmıştır. 6 kV gerilim ile 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları Tablo 5.48'de paylaşılmıştır.

Şekil 5.44b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.00101 olan tanδ değeri, 20 yaşlandırma sonunda %11 oranında artarak 0.00112 değerine ulaşmıştır. Yaşlandırma öncesi 3 kV gerilimde 0.00100 olan tanδ değeri

20 yaşlandırma sonunda %16.5 oranında artarak 0.00123 değerine ulaşmıştır. Tablo 5.49'da, 50Hz frekansta 2-3-6-9-12 kV gerilim ile yapılan tanδ ölçüm sonuçları sunulmuştur.

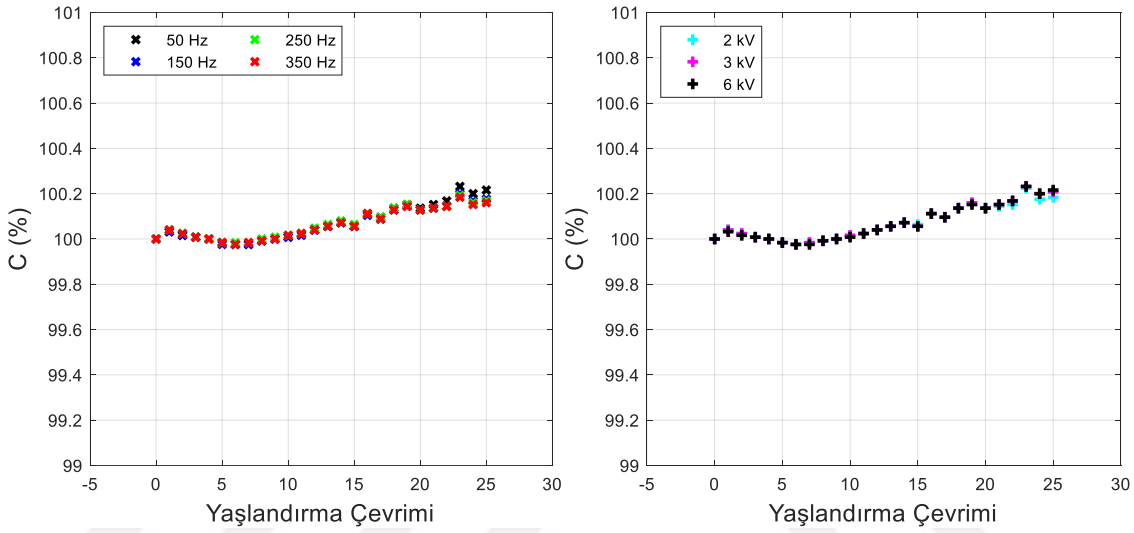
Tablo 5.48 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.00102	0.00094	0.00091	0.00090	0.00087	0.00085	0.00084	0.00083
5	0.00104	0.00095	0.00092	0.00090	0.00087	0.00086	0.00085	0.00083
10	0.00104	0.00095	0.00092	0.00089	0.00087	0.00086	0.00084	0.00083
15	0.00104	0.00095	0.00092	0.00089	0.00087	0.00085	0.00084	0.00083
20	0.00123	0.00110	0.00103	0.00099	0.00095	0.00093	0.00091	0.00089
25	0.00151	0.00140	0.00133	0.00127	0.00121	0.00117	0.00114	0.00111
Değişim	%47.4	%48.3	%45.2	%42.0	%39.5	%37.1	%35.4	%33.6

Tablo 5.49 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	0.00101	0.00100	0.00102	0.00105	0.00108
5	0.00103	0.00101	0.00104	0.00107	0.00109
10	0.00102	0.00101	0.00104	0.00106	0.00109
15	0.00101	0.00101	0.00104	0.00107	0.00110
20	0.00112	0.00117	0.00123	0.00130	0.00133
25	0.00145	0.00145	0.00151	0.00156	0.00160
Değişim	%42.7	%45.3	%47.4	%47.7	%48.7

Tablo 5.48'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, tanδ değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %7.8 oranında, 150 Hz'te %10.6 oranında, 200 Hz'te %12.4 oranında, 250 Hz'te %14.9 oranında, 300 Hz'te %16.4 oranında, 350 Hz'te %17.4 oranında ve 400 Hz'te %18.7 oranında azaldığı görülmektedir. 25 yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış oranları sırasıyla, %7.2-%11.9-%15.6-%19.4-%22.2-%24.1-%26.3 olarak değişmiştir.



(a) 6 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.45 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları

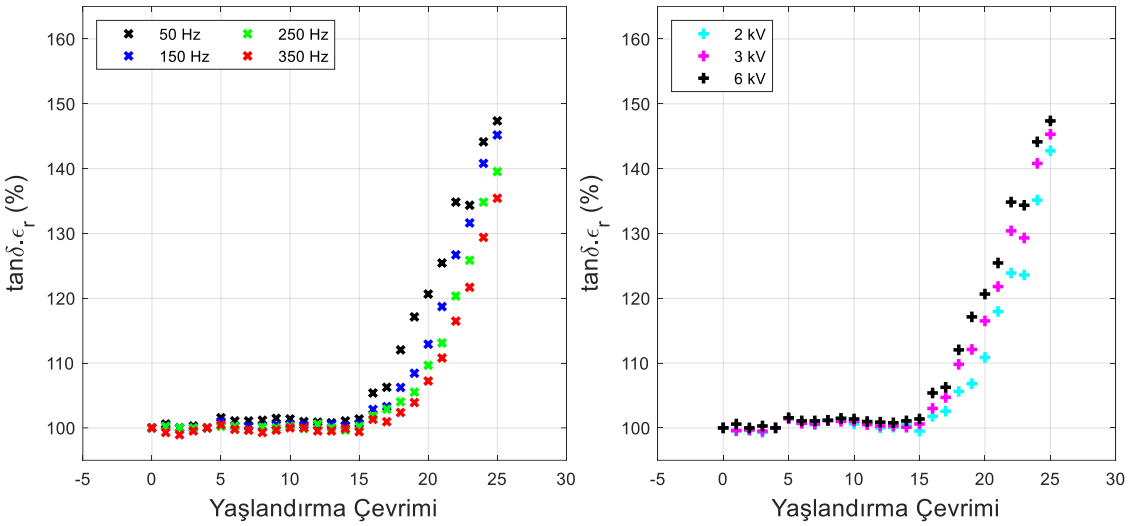
Şekil 5.45a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında ve Şekil 5.45b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçlarının değişim oranları paylaşılmıştır. Tüm ölçüm sonuçlarında, C değerinin 1249 pF ile 1253 pF arasında değiştiği görülmektedir. Tablo 5.50'ta ve Tablo 5.51'de C (pF) değerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.50 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	1250.3	1249.8	1249.6	1249.7	1249.5	1249.4	1249.3	1249.2
5	1250.1	1249.6	1249.3	1249.5	1249.3	1249.2	1249.1	1249.0
10	1250.4	1250.0	1249.7	1249.9	1249.7	1249.6	1249.5	1249.3
15	1251.0	1250.6	1250.3	1250.5	1250.3	1250.1	1250.0	1249.9
20	1252.0	1251.5	1251.2	1251.3	1251.1	1251.0	1250.9	1250.8
25	1253.0	1252.2	1251.8	1251.9	1251.6	1251.4	1251.3	1251.2
Değişim	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2

Tablo 5.51 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	1250.2	1250.2	1250.3	1250.3	1250.4
5	1250.0	1250.0	1250.1	1250.1	1250.2
10	1250.4	1250.4	1250.4	1250.5	1250.5
15	1251.0	1250.9	1251.0	1251.0	1251.1
20	1251.9	1251.9	1252.0	1252.1	1252.2
25	1252.5	1252.8	1253.0	1253.1	1253.2
Değişim	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2	%0.2



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.46 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranları

Yapılan hesaplamalar sonucunda, yaşlandırma öncesi anma gerilimi frekansındaki ε_r değeri 2.3489 olarak elde edilmiştir. Bu değer yardımıyla $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerine ait değişim oranları Şekil 5.46'da sunulmuştur.

Şekil 5.46a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerine ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değeri 0.0024 olarak ölçülmüştür. İlk 15 yaşlandırma çevrimi sonunda $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerinde bir artış meydana gelmemiştir. 20. yaşlandırma sonunda %20.6 ve 25. yaşlandırma sonunda %47.7 oranında artış meydana gelmiştir. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.0021-0.0020-0.0020 olan yaşlandırma öncesi $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerlerinde 25. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %45.5, %39.8 ve %35.64 olarak hesaplanmıştır. 6 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta elde edilen $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerleri Tablo 5.52'de paylaşılmıştır.

Şekil 5.46b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0024 olan $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değeri, 20 yaşlandırma sonunda %11 oranında artarak 0.0026 değerine ulaşmıştır. Yaşlandırma öncesi 3 kV gerilimde 0.0023 olan $tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değeri 20 yaşlandırma sonunda %16.5 oranında artarak 0.0029 değerine ulaşmıştır. Tablo

5.53'te, 50 Hz frekansta 2-3-6-9-12 kV gerilim uygulanarak yapılan $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerleri sunulmuştur.

Tablo 5.52 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

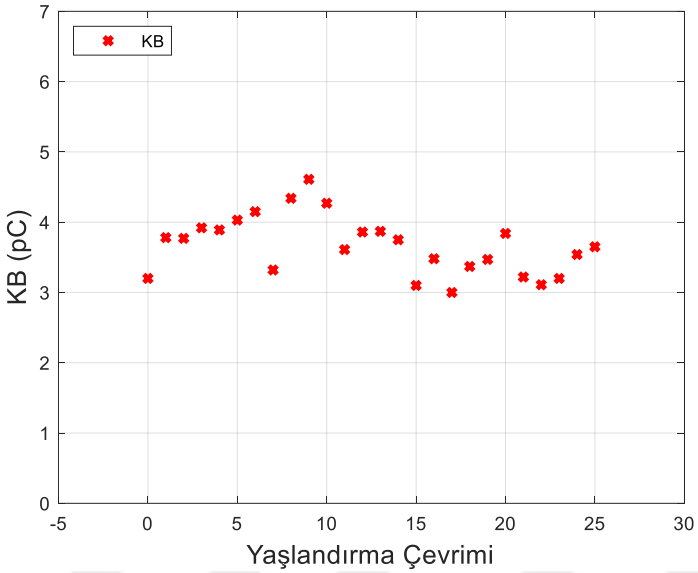
	$\tan\delta \cdot \varepsilon_r$							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0024	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
5	0.0024	0.0022	0.0022	0.0021	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
10	0.0024	0.0022	0.0022	0.0021	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
15	0.0024	0.0022	0.0022	0.0021	0.0020	0.0020	0.0020	0.0019
20	0.0029	0.0026	0.0024	0.0023	0.0022	0.0022	0.0021	0.0021
25	0.0035	0.0033	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
Değişim	%47.68	%48.59	%45.44	%42.26	%39.77	%37.34	%35.64	%33.79

Tablo 5.53 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

	$\tan\delta \cdot \varepsilon_r$				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	0.0024	0.0023	0.0024	0.0025	0.0025
5	0.0024	0.0024	0.0024	0.0025	0.0026
10	0.0024	0.0024	0.0024	0.0025	0.0026
15	0.0024	0.0024	0.0024	0.0025	0.0026
20	0.0026	0.0027	0.0029	0.0030	0.0031
25	0.0034	0.0034	0.0035	0.0037	0.0038
Değişim	%43.01	%45.60	%47.68	%48.00	%49.03

- **Kısmi Boşalma Ölçüm Sonuçları**

Bu kısımda, KB ölçüm sonuçları yaşlandırma çevrim sayısına göre sunulmuştur. Ayrıca, KB olaylarını görebilmek adına OMICRON MPD600 ölçüm kitinin ekran görüntüsü şeklinde paylaşılmıştır. KB genliği, 5 pC eşik değerini aşmadığı için KBBG değeri kayıt altına alınamamıştır.



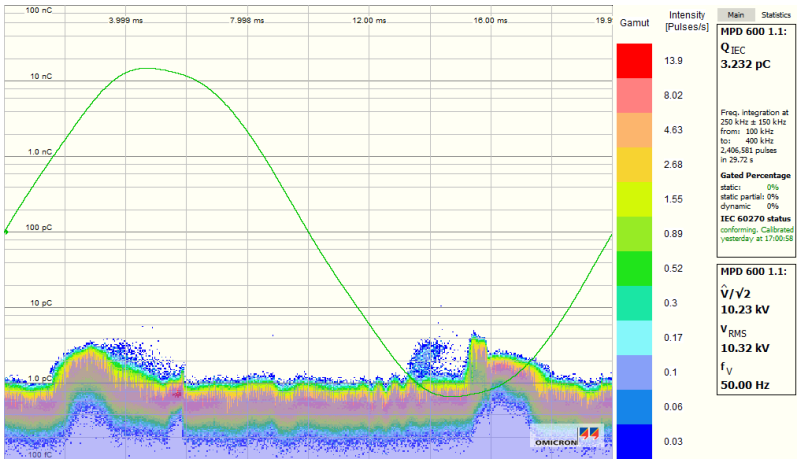
Şekil 5.47 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçüm sonuçları

Şekil 5.47'de 10 kV gerilim ve 50 Hz frekansta yapılan KB genliği ölçüm sonuçları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 3.23 pC olan KB genlik değeri, 10 yaşlandırma işlemi sonunda 4.27 pC değerine ulaşmıştır. KB genliği, 25. yaşlandırma çevriminden sonra 3.62 pC değerine ulaşmıştır.

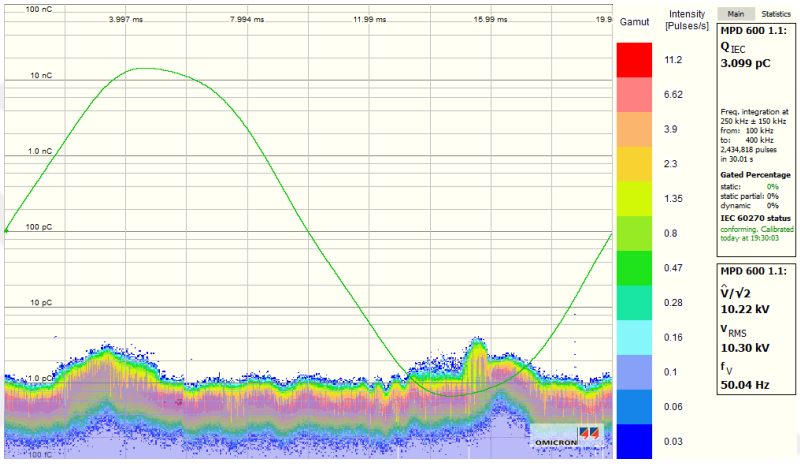
Yaşlandırma öncesi, 15. yaşlandırma ve 25. yaşlandırma çevrimlerine ait MPD600 KB ölçüm kiti ekran görüntüleri Şekil 5.48'de paylaşılmıştır. KB genliğinde ve KB olaylarında dikkate değer herhangi bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir. KB ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler Tablo 5.54'te paylaşılmıştır.

Tablo 5.54 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) sonuçları

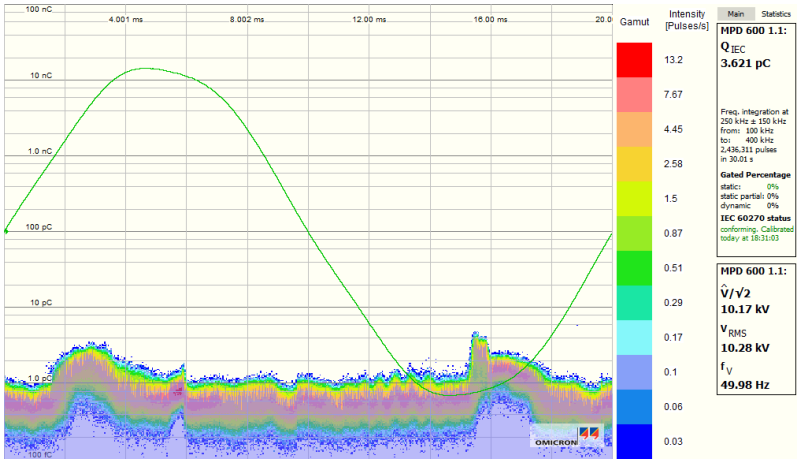
Çevrim	0	5	10	15	20	25	Değişim
KB (pC)	3.23	4.03	4.27	3.10	3.84	3.62	%12.07



(a) Yaşlandırma öncesi KB ölçüm sonucu



(b) 15. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu



(c) 25. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu

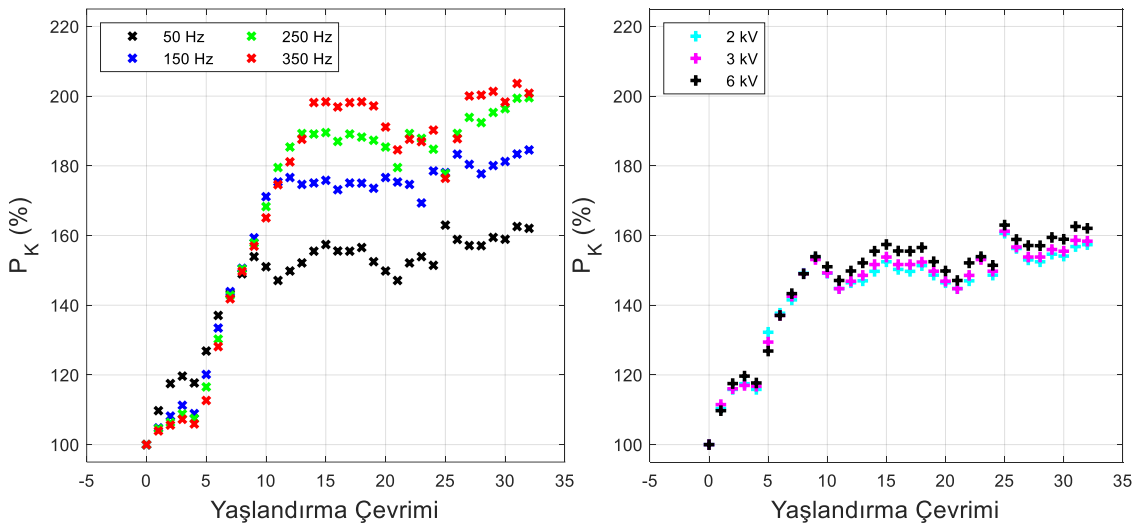
Şekil 5.48 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları

5.4.1.7 Darbe Gerilimi (50 kV) ile Yaşlandırılan 6/10 kV XLPE İzoleli 1x95 mm² Kesitli Başlıklı Kablo Numuneleri

50 kV genliki, pozitif kutuplu, yıldırım darbe gerilimi (1.2/50 μs) ile yaşlandırılan 6/10 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x95 mm^2 kesitli ve başlıklı kablo numunelerine ait dielektrik parametre ve KB ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.

- **Dielektrik Parametre Ölçüm Sonuçları**

Sonuçların, yaşlandırma çevrim sayısına göre davranış değişimi, ölçüm frekansı ve gerilimine bağlı olarak 32 yaşlandırma çevrimi sayısına göre gösterilmiştir. P_K ölçüm sonuçları Şekil 5.49'da, tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.50'de ve C ölçüm sonuçları Şekil 5.51'de sunulmuştur.



(a) 6 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.49 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.49a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranı görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 17.2 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda P_K'da %50 oranında bir artış meydana gelmiştir. 15. yaşlandırma ile birlikte oluşan %57.5 artış oranı 30. yaşlandırma çevriminde de yaklaşık olarak aynıdır. 32 yaşlandırma işlemi sonunda P_K değerinde %62.1 oranında artış olmuştur. Ölçüm frekansı arttıkça, başlangıç değeri olarak alınan yaşlandırma öncesi P_K değerleri

de artmıştır. Ölçüm frekansının artması ile birlikte, P_K değerinde oluşan artış oranları da artmıştır. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 43.5-65.4-86.1 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde 32. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %84.6, %99.5 ve %100.8 olarak hesaplanmıştır. 6 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları Tablo 5.55'te paylaşılmıştır.

Şekil 5.49b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 1.8 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %49.2 oranında artarak 2.4 mW değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında P_K değerinde %46.4 artış meydana gelmiştir. 25. ve 32. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranı %60.7 ve %57.5 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 3 kV gerilimde 4.2 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %49.3 oranında artarak 6.2 mW değerine ulaşmıştır. 20. yaşlandırmadan sonra ise P_K değerinde %46.9 artış olmuştur. 25. ve 32. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranının %61.2 ve %58.5 olduğu görülmektedir. Tablo 5.56'te, 50Hz frekansta 2-3-6-9-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.55 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

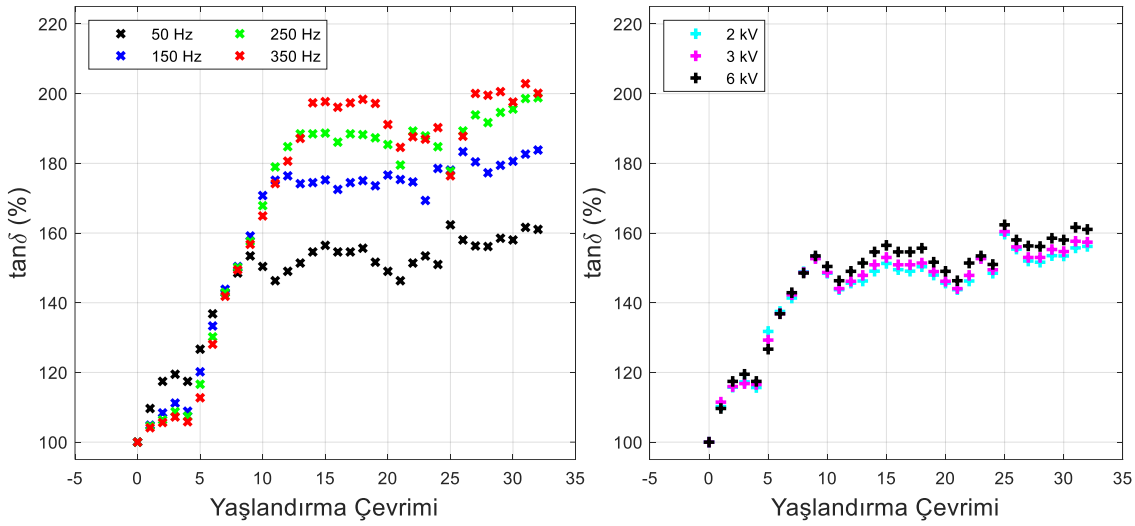
	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	17.2	31.2	43.5	55.2	65.4	75.8	86.1	96.4
5	21.9	38.4	52.2	64.1	76.2	87.5	97.0	107.7
10	26.0	52.2	74.4	92.6	110.1	126.0	142.2	157.4
15	27.1	52.0	76.4	100.4	124.0	147.3	170.9	194.0
20	25.8	51.9	76.8	100.5	121.3	139.5	156.0	172.4
25	28.1	54.7	77.4	97.4	116.3	134.3	152.0	169.2
32	27.9	54.3	80.2	105.9	130.5	153.5	173.0	190.8
Değişim	%62.1	%74.1	%84.6	%91.9	%99.5	%102.4	%100.8	%98.0

Tablo 5.55'daki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, P_K değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %80.8 oranında, 150 Hz'te %152.1 oranında, 200 Hz'te %220 oranında, 250 Hz'te %279.5 oranında, 300 Hz'te %340 oranında, 350 Hz'te %399.6 oranında ve 400 Hz'te %459 oranında arttığı görülmektedir. 32 yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için artış oranları sırasıyla; %94.3-%187.1-%278.9-%367.1-%449.4-%519.1-%582.9 olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.56 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	1.83	4.2	17.2	40.2	72.1
5	2.42	5.4	21.9	49.7	89.0
10	2.73	6.2	26.0	61.8	115.9
15	2.79	6.4	27.1	63.8	117.5
20	2.68	6.1	25.8	61.3	115.1
25	2.94	6.7	28.1	65.9	122.6
32	2.88	6.6	27.9	66.1	123.8
Değişim	%57.4	%58.4	%62.1	%64.3	%71.6

Tablo 5.56'deki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değere göre; 3 kV'ta %128.4 oranında ve 6 kV'ta %842.1 oranında arttığı görülmektedir. 32 yaşlandırma işlemi sonrasında 3 kV ve 6 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %129.9-%870.1 olarak değişmiştir. Bu durum, gerilim ile P_K değerinin doğru orantılı olduğunu ortaya koymaktadır.



(a) 6 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.50 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.50a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarının değişim oranı görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ değeri 0.00122 olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda tanδ'da %50.4 oranında bir artış meydana gelmiştir. 15. yaşlandırma ile birlikte oluşan %56.5 artış oranı yaklaşık olarak 25. yaşlandırma çevrimine kadar devam etmiştir. 32 yaşlandırma işlemi sonunda tanδ değerinde %61 oranında artış olmuştur. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.00103-0.00093-0.0087 olan yaşlandırma öncesi tanδ değerlerinde 32. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %83.8, %98.8 ve %100.1 olarak hesaplanmıştır. 6 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları Tablo 5.57'te paylaşılmıştır.

Şekil 5.50b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.00117 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %48.5 oranında artarak 0.00173 değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ değerinde %45.6 artış meydana gelmiştir. 25. ve 32. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranı %59.7 ve %56.2 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 3 kV gerilimde 0.00119 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %48.7 oranında

artarak 0.00176 değerine ulaşmıştır. 20. yaşlandırmadan sonra ise tanδ değerinde %46.2 artış olmuştur. 25. ve 32. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranının %60.4 ve %57.4 olduğu görülmektedir. Tablo 5.58'da, 50 Hz frekansta 2-3-6-9-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.57 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

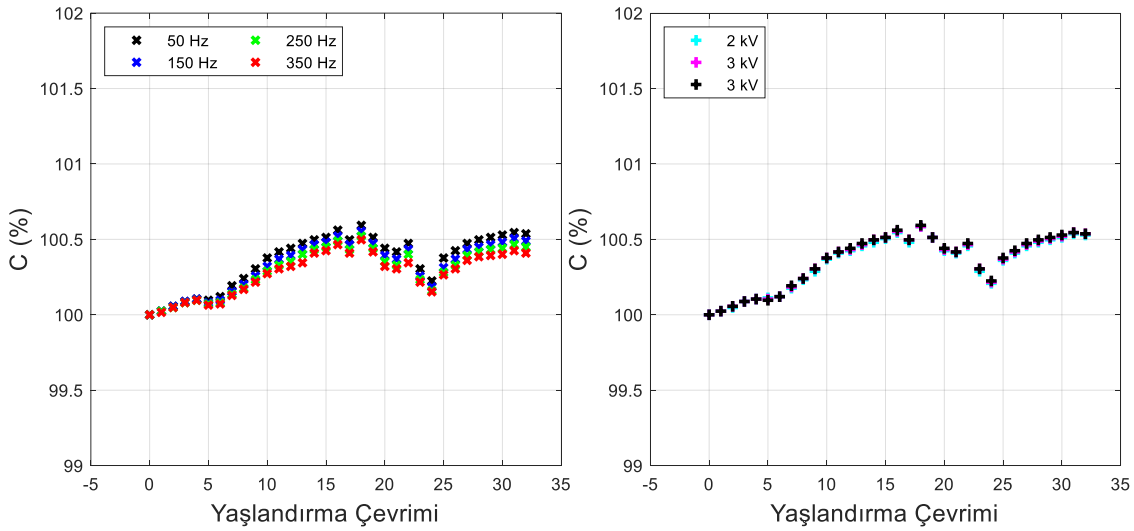
	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.00122	0.00110	0.00103	0.00098	0.00093	0.00090	0.00087	0.00085
5	0.00155	0.00136	0.00123	0.00114	0.00108	0.00103	0.00098	0.00095
10	0.00184	0.00184	0.00175	0.00164	0.00156	0.00148	0.00144	0.00139
15	0.00191	0.00184	0.00180	0.00177	0.00175	0.00173	0.00172	0.00171
20	0.00182	0.00183	0.00181	0.00178	0.00171	0.00164	0.00158	0.00152
25	0.00198	0.00193	0.00182	0.00172	0.00164	0.00158	0.00154	0.00150
32	0.00197	0.00191	0.00189	0.00187	0.00184	0.00181	0.00175	0.00169
Değişim	%61.0	%73.3	%83.8	%90.9	%98.8	%101.7	%100.1	%97.3

Tablo 5.57'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, tanδ değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %9.7 oranında, 150 Hz'te %16 oranında, 200 Hz'te %20 oranında, 250 Hz'te %24.1 oranında, 300 Hz'te %26.7 oranında, 350 Hz'te %28.6 oranında ve 400 Hz'te %30.1 oranında azaldığı görülmektedir. 32 yaşlandırma işlemi sonrasında, 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış oranları sırasıyla, %2.8-%4.2-%5.1-%6.4-%8.2-%11.3-%14.4 olarak değişmiştir.

Tablo 5.58'daki yaşlandırma öncesi ölçüm verileri incelendiğinde, 2 kV gerilimdeki tanδ değerine göre; 3 kV'ta %1.5 oranında ve 6 kV'ta %4.6 oranında arttığı görülmektedir. 32 yaşlandırma işlemi sonrasında 3 kV ve 6 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %2.2-%7.9 olarak değişmiştir. Sonuç olarak tanδ değerinin ölçüm gerilimi ile birlikte artış gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.58 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	0.00117	0.00119	0.00122	0.00127	0.00128
5	0.00154	0.00153	0.00155	0.00156	0.00157
10	0.00173	0.00176	0.00184	0.00194	0.00204
15	0.00177	0.00181	0.00191	0.00200	0.00207
20	0.00170	0.00173	0.00182	0.00192	0.00203
25	0.00187	0.00190	0.00198	0.00207	0.00216
32	0.00182	0.00187	0.00197	0.00207	0.00218
Değişim	%56.2	%57.4	%61.0	%63.4	%70.8



(a) 6 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.51 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi C değişim oranları

Şekil 5.51a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında ve Şekil 5.51b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçlarının değişim oranları paylaşılmıştır. Tüm ölçüm sonuçlarında, C değerinin 1248 pF ile 1255 pF arasında değiştiği görülmektedir. Bu değişimin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu

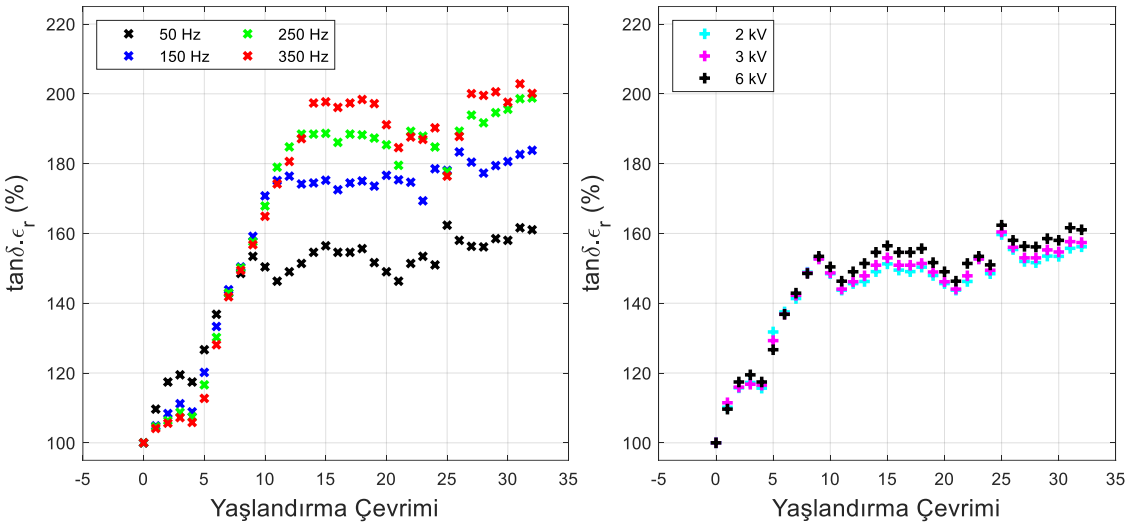
kabul edilmiştir. Tablo 5.59'de ve Tablo 5.60'de C (pF) değerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.59 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	1248.0	1247.4	1247.0	1247.2	1247.0	1246.9	1246.8	1246.7
5	1249.2	1248.4	1248.0	1248.1	1247.9	1247.7	1247.6	1247.5
10	1252.7	1251.7	1251.0	1250.9	1250.6	1250.3	1250.2	1250.0
15	1254.4	1253.5	1253.0	1252.9	1252.6	1252.3	1252.1	1251.9
20	1253.5	1252.5	1251.9	1251.8	1251.4	1251.1	1250.8	1250.6
25	1252.7	1251.5	1250.9	1250.9	1250.5	1250.3	1250.1	1249.9
32	1254.7	1253.7	1253.1	1253.0	1252.6	1252.2	1251.9	1251.7
Değişim	%0.5	%0.5	%0.5	%0.5	%0.4	%0.4	%0.4	%0.4

Tablo 5.60 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	1247.9	1247.9	1248.0	1248.1	1248.1
5	1249.3	1249.2	1249.2	1249.2	1249.2
10	1252.5	1252.6	1252.7	1252.8	1252.6
15	1254.2	1254.3	1254.4	1254.6	1254.7
20	1253.2	1253.3	1253.5	1253.6	1253.7
25	1252.4	1252.5	1252.7	1252.7	1252.7
32	1254.5	1254.6	1254.7	1254.8	1254.9
Değişim	%0.5	%0.5	%0.5	%0.5	%0.5



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.52 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değişim oranları

Yaşlandırma öncesi, ε_r değeri 2.3439 olarak elde edilmiştir. Bu değer yardımıyla $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerine ait değişim oranları Şekil 5.52'da sunulmuştur.

Tablo 5.61 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 6 kV'ta $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

	$\tan\delta \cdot \varepsilon_r$							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0029	0.0026	0.0024	0.0023	0.0022	0.0021	0.0020	0.0020
5	0.0036	0.0032	0.0029	0.0027	0.0025	0.0024	0.0023	0.0022
10	0.0043	0.0043	0.0041	0.0038	0.0037	0.0035	0.0034	0.0033
15	0.0045	0.0043	0.0042	0.0042	0.0041	0.0041	0.0041	0.0040
20	0.0043	0.0043	0.0043	0.0042	0.0040	0.0039	0.0037	0.0036
25	0.0047	0.0045	0.0043	0.0040	0.0039	0.0037	0.0036	0.0035
32	0.0046	0.0045	0.0044	0.0044	0.0043	0.0043	0.0041	0.0040
Değişim	%61.91	%74.22	%84.72	%91.79	%99.71	%102.53	%100.93	%98.10

Şekil 5.52a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerine ait değişim oranları paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri 0.0029 olarak belirlenmiştir. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$'da %50.4 oranında bir artış meydana gelmiştir. 15. yaşlandırma ile birlikte oluşan %56.5 artış oranı yaklaşık olarak 25. yaşlandırma çevrimine kadar devam etmiştir. 32 yaşlandırma işlemi sonunda $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerinde %61 oranında artış olmuştur. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.0024-0.0022-0.0020 olan yaşlandırma öncesi $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerlerinde 32. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %84.8, %99.7 ve %102.5 olarak hesaplanmıştır. 6 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta elde edilen $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerleri Tablo 5.61'de paylaşılmıştır.

Tablo 5.62 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin 50 Hz'de $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ ölçüm sonuçları

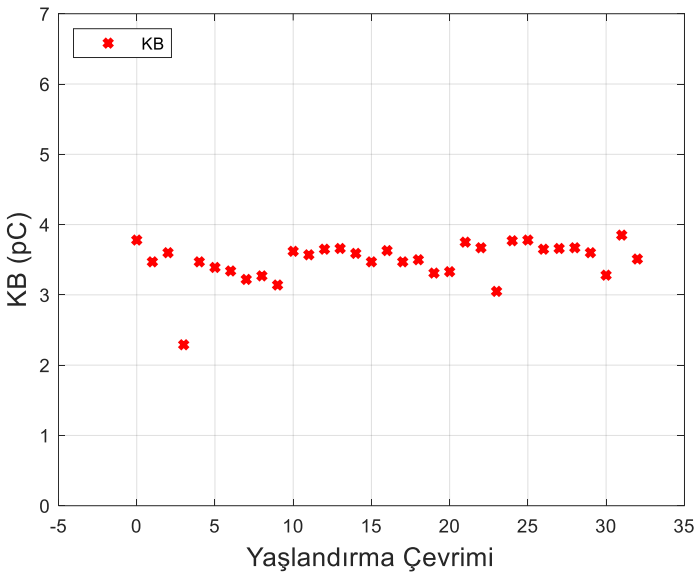
	$\tan\delta\cdot\varepsilon_r$				
Çevrim	**2 kV**	**3 kV**	**6 kV**	**9 kV**	**12 kV**
0	0.0027	0.0028	0.0029	0.0030	0.0030
5	0.0036	0.0036	0.0036	0.0037	0.0037
10	0.0041	0.0041	0.0043	0.0046	0.0048
15	0.0042	0.0043	0.0045	0.0047	0.0049
20	0.0040	0.0041	0.0043	0.0045	0.0048
25	0.0044	0.0045	0.0047	0.0049	0.0051
32	0.0043	0.0044	0.0046	0.0049	0.0051
Değişim	%56.99	%58.23	%61.91	%64.31	%71.72

Şekil 5.52b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değişim oranı görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0027 olan $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değeri 10 yaşlandırma sonunda %48.5 oranında artarak 0.0036 değerine ulaşmıştır. 20 yaşlandırma işlemi sonrasında $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerinde %45.6 artış meydana gelmiştir. 25. ve 32. yaşlandırma çevrimlerinde ise $\tan\delta\cdot\varepsilon_r$ değerindeki

artış oranı %59 ve %57 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 3 kV gerilimde 0.0028 olan $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değeri 10 yaşlandırma sonunda %48.7 oranında artarak 0.0036 değerine ulaşmıştır. 20. yaşlandırmadan sonra ise $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerinde %46.2 artış olmuştur. 25. ve 32. yaşlandırma çevrimlerinde ise $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerindeki artış oranının %60 ve %58.2 olduğu görülmektedir.Tablo 5.62'de, 50 Hz frekansta 2-3-6-9-12 kV gerilim uygulanarak yapılan $\tan\delta \cdot \varepsilon_r$ değerleri sunulmuştur.

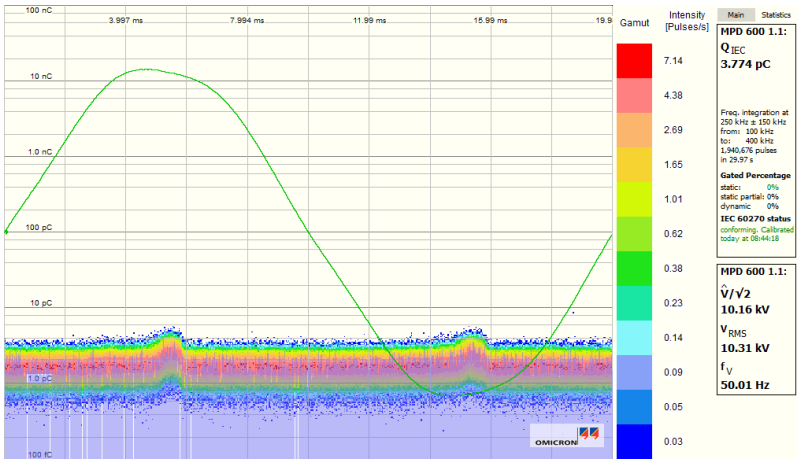
- **Kısmi Boşalma Ölçüm Sonuçları**

Bu kısımda, KB ölçüm sonuçları ve OMICRON MPD600 ölçüm kitinin ekran görüntüsü sunulmuştur. KB genliği, 5 pC eşik değerini aşmadığı için KBBG değeri kayıt altına alınamamıştır.

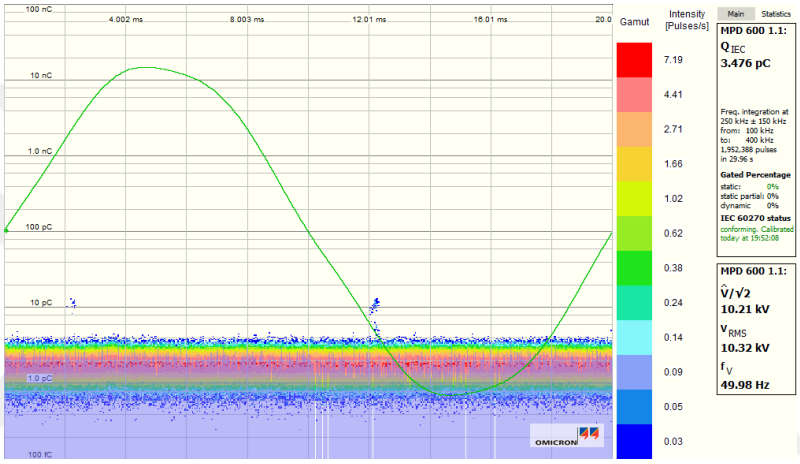


Şekil 5.53 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB genliği ölçüm sonuçları

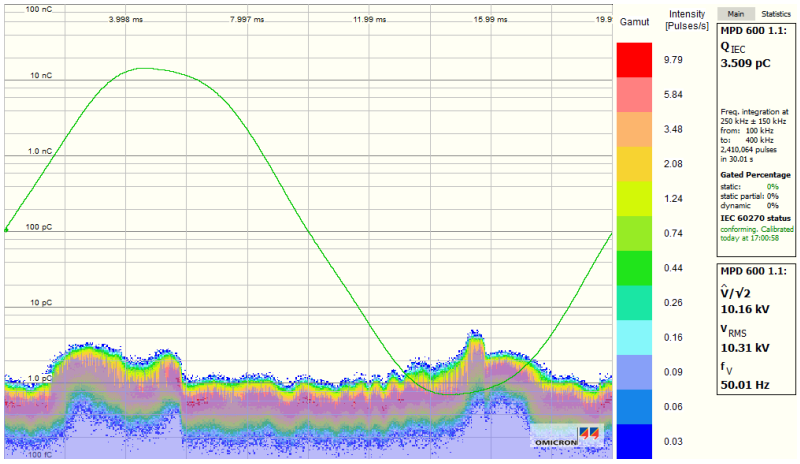
Şekil 5.53'de 10 kV gerilim ve 50 Hz frekansta yapılan KB genliği ölçüm sonuçları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 3.78 pC olan KB genlik değeri, 10 yaşlandırma işlemi sonunda 3.62 pC değerine ulaşmıştır. KB genliği, 20 ve 32 yaşlandırma çevriminden sonra sırasıyla, 3.33 pC ve 3.51 pC değerine ulaşmıştır.



(a) Yaşlandırma öncesi KB ölçüm sonucu



(b) 15. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu



(c) 32. yaşlandırma çevrimi sonrası KB ölçüm sonucu

Şekil 5.54 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi KB ölçüm sonuçları

Yaşlandırma öncesi, 15. yaşlandırma ve 32. yaşlandırma çevrimlerine ait MPD600 KB ölçüm kiti ekran görüntüleri Şekil 5.54'te paylaşılmıştır. KB genliğinde ve KB

olaylarında herhangi bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir. KB ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler Tablo 5.63'de paylaşılmıştır.

Tablo 5.63 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV XLPE yalıtımlı 1x95 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesinin KB (pC) ölçüm sonuçları

Çevrim	0	5	10	15	20	25	32	Değişim
KB (pC)	3.78	3.39	3.62	3.47	3.33	3.78	3.51	%-7.14

5.4.2 Başlıksız Kablo Numuneleri

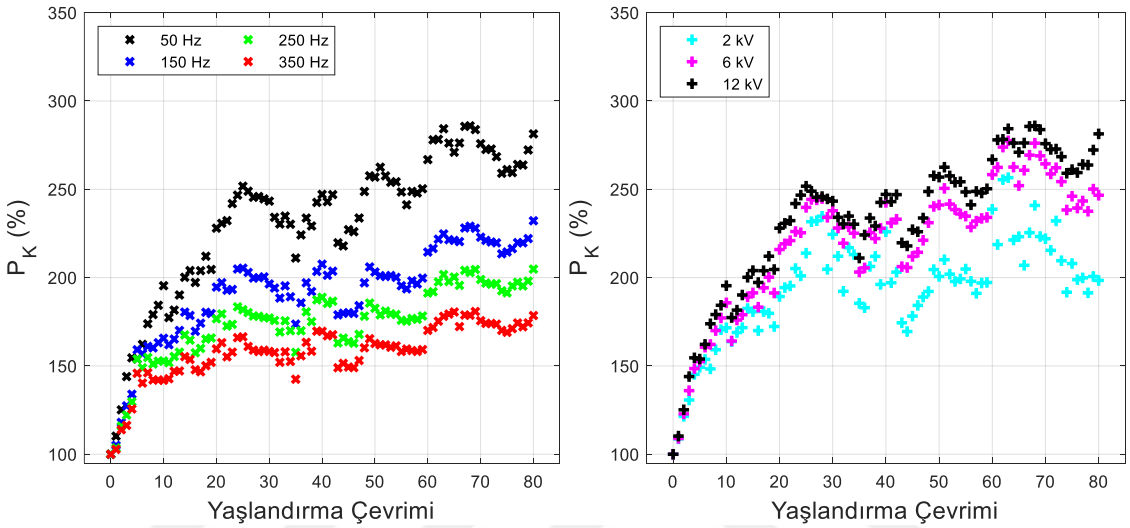
Bu bölümde, başlıksız kablo numuneleri üzerinde yapılan dielektrik parametre (tanδ, P_K, C) ölçümlerin sonuçları paylaşılmıştır. Kablo numunelerinde başlık olmadığı için KB ölçümleri gerçekleştirilmemiştir.

5.4.2.1 5*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim (60 kV) ile Yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE İzoleli 1x150 mm^2 Kesitli Başlıksız Kablo Numuneleri

Bu bölümde, 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x150 mm^2 kesitli ve başlıksız kablo numunelerine ait dielektrik parametre sonuçları paylaşılmıştır. P_K, tanδ ve C değerlerinin yaşlandırma çevrim sayısına göre davranışı, ölçüm frekansı ve geriliminin varyasyonlarını kapsayacak şekilde 80 yaşlandırma için gösterilmiştir. P_K ölçüm sonuçları Şekil 5.55'te, tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.56'da ve C ölçüm sonuçları da Şekil 5.57'de paylaşılmıştır.

Şekil 5.55a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranları görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 243.7 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda P_K'da %95.4 değerinde bir artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma çevrimi ile birlikte artış trendi 30. yaşlandırma çevrimine kadar devam ederek %143.3 oranında bir artış değerine ulaşmıştır. 50. yaşlandırma çevrimine ulaşıldığında, P_K değerindeki değişimin %156.9 olduğu görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonunda P_K değerinde %181.4 oranında bir artış olmuştur. Ölçüm frekansı arttıkça, başlangıç değeri olarak alınan yaşlandırma öncesi P_K değerleri de artmıştır. Bu değerlerin artmasına rağmen ölçüm frekansının yükselmesi ile

birlikte, P_K değerindeki artış oranları azalmıştır. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 497.3-698.4-905.3 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde 80. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %132.2, %104.8 ve %78.5 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.64'de paylaşılmıştır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.55 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.55b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 6.9 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %71.4 oranında artarak 11.8 mW değerine ulaşmıştır. 30 yaşlandırma işlemi sonrasında P_K değerinde %124.5 artış meydana gelmiştir. 70. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranı %122 ve %98.4 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 63.4 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %85.7 oranında artarak 117.8 mW değerine ulaşmıştır. 70. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranının %164.4 ve %146.6 olduğu görülmektedir. Tablo 5.65'de, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.64'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, P_K değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %56.2 oranında, 150 Hz'te %104 oranında, 200 Hz'te %146.3 oranında, 250 Hz'te %186.5 oranında, 300 Hz'te %228.7 oranında, 350 Hz'te %271.4 oranında ve 400 Hz'te %321.3 oranında arttığı görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonrasında 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için artış oranları sırasıyla, %38.8-%68.4-%90.8-%108.5-%123.8-%135.7-%150.9 olarak değişmiştir.

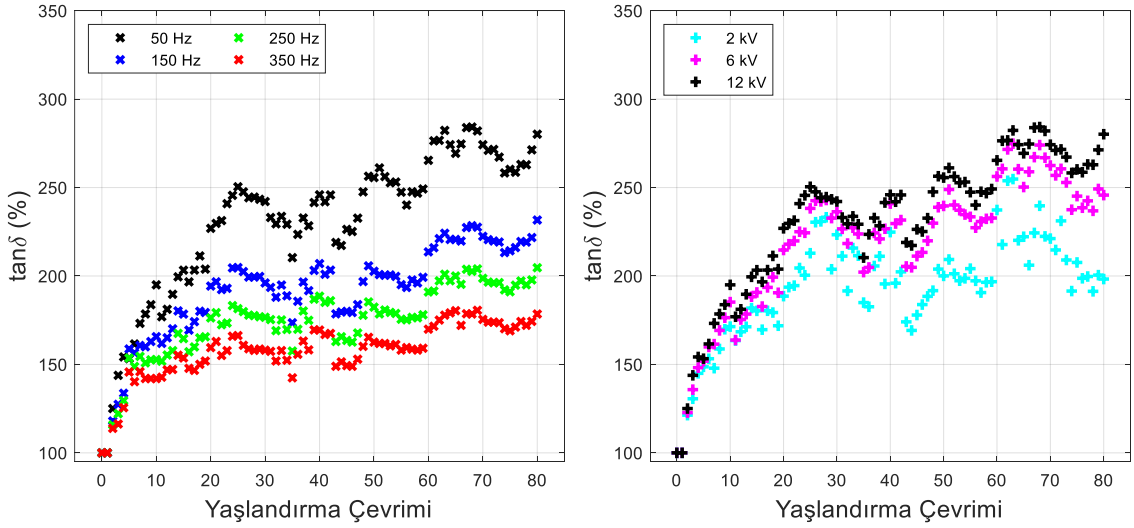
Tablo 5.65'deki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değere göre; 6 kV'ta %819.3 oranında ve 12 kV'ta %3432.5 oranında arttığı görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %1042.7-%4909.7 olarak değişmiştir. Başlıksız kablolarda meydana gelen P_K artış miktarının başlıklı kablolardan daha fazla olduğu açığa çıkmıştır.

Tablo 5.64 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	243.7	380.7	497.3	600.2	698.4	801.2	905.3	1027.0
10	476.3	676.3	823.8	949.5	1067.0	1178.0	1284.2	1424.3
20	555.7	789.7	967.8	1108.9	1234.0	1340.7	1445.5	1564.7
30	593.0	813.2	976.7	1119.3	1237.0	1337.1	1432.3	1544.5
40	602.3	839.8	1032.4	1186.1	1318.9	1433.3	1535.5	1670.1
50	626.2	846.5	1010.3	1153.8	1275.6	1380.5	1473.0	1580.3
60	650.3	883.4	1066.4	1210.8	1335.6	1445.0	1540.0	1646.8
70	672.4	927.6	1108.3	1265.3	1389.3	1500.0	1589.8	1701.3
80	685.8	952.0	1154.6	1308.7	1430.3	1534.6	1616.2	1720.7
Değişim	%181.4	%150.1	%132.2	%118.0	%104.8	%91.5	%78.5	%67.5

Tablo 5.65 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	6.9	28.1	63.4	111.7	171.0	243.7
10	11.8	50.8	117.8	212.1	332.6	476.3
20	13.1	58.4	137.0	248.8	388.7	555.7
30	15.5	65.7	150.9	268.7	416.5	593.0
40	15.6	67.0	153.9	273.9	423.6	602.3
50	13.8	64.0	152.9	278.1	436.4	626.2
60	16.5	71.2	163.8	292.8	451.8	650.3
70	15.3	70.9	167.7	303.4	472.9	672.4
80	13.7	64.6	156.4	291.1	460.7	685.8
Değişim	%98.4	%129.9	%146.6	%160.6	%169.4	%181.4



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.56 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.56a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranı paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma

öncesi tanδ değeri 0.0062 olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda tanδ'da %95 oranında artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma çevrimi ile birlikte artış trendi 30. yaşlandırma çevrimine kadar devam ederek %142.1 oranına ulaşmıştır. 50. yaşlandırma çevrimine gelindiğinde, tanδ değerindeki değişimin %155.6 olduğu görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonunda tanδ değerinde %180.1 oranında bir artış olmuştur. Ölçüm frekansı arttıkça, yaşlandırma öncesi tanδ değerleri azalmıştır. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.0042-0.0036-0.0033 olan yaşlandırma öncesi tanδ değerlerinde meydana gelen artış oranları 80. yaşlandırma işlemi sonrası için sırasıyla %131.6, %104.7 ve %78.5 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.66'da paylaşılmıştır.

Şekil 5.56b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarının değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0062 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %71.4 oranında artarak 0.0108 değerine ulaşmıştır. 30 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ değerinde %123.4 oranında artış meydana gelmiştir. 70. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranı %121.2 ve %98.3 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 0.0064 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %85.2 oranında artarak 0.0109 değerine ulaşmıştır. 70. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranının %162.5 ve %145.5 olduğu görülmektedir. Tablo 5.67'da, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.66'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, tanδ değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %21.7 oranında, 150 Hz'te %31.8 oranında, 200 Hz'te %38.2 oranında, 250 Hz'te %42.4 oranında, 300 Hz'te %44.9 oranında, 350 Hz'te %46.6 oranında ve 400 Hz'te %47 oranında azaldığı görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonrasında 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış oranları sırasıyla, %30.4-%43.6-%52-%57.9-%62.4-%66-%68.3 olarak değişmiştir.

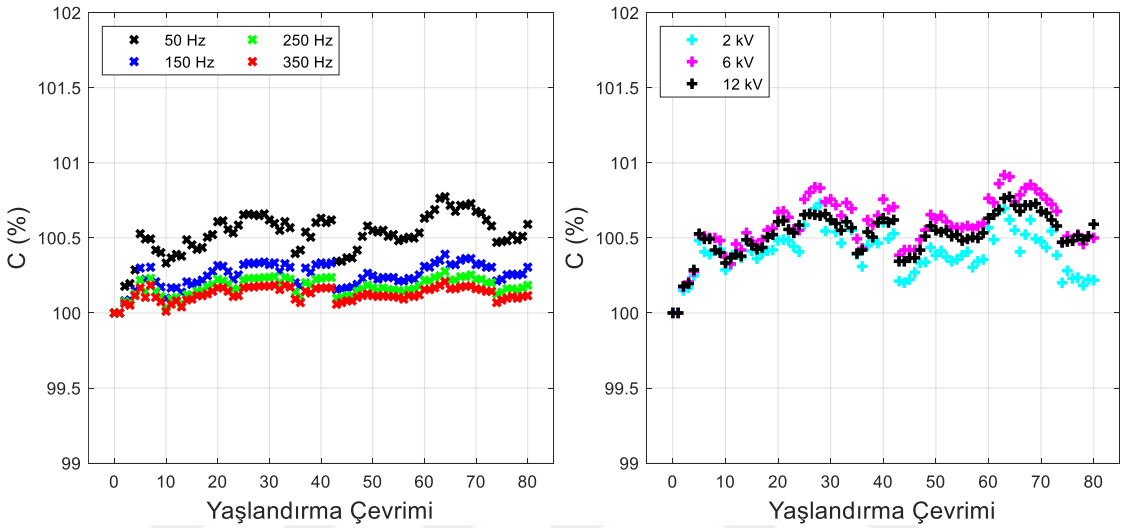
Tablo 5.66 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0062	0.0048	0.0042	0.0038	0.0036	0.0034	0.0033	0.0033
10	0.0120	0.0086	0.0070	0.0060	0.0054	0.0050	0.0047	0.0045
20	0.0140	0.0100	0.0082	0.0070	0.0063	0.0057	0.0053	0.0050
30	0.0149	0.0103	0.0082	0.0071	0.0063	0.0057	0.0052	0.0049
40	0.0152	0.0106	0.0087	0.0075	0.0067	0.0061	0.0056	0.0053
50	0.0158	0.0107	0.0085	0.0073	0.0065	0.0059	0.0054	0.0050
60	0.0164	0.0112	0.0090	0.0077	0.0068	0.0061	0.0056	0.0052
70	0.0169	0.0117	0.0094	0.0080	0.0071	0.0064	0.0058	0.0054
80	0.0173	0.0120	0.0097	0.0083	0.0073	0.0065	0.0059	0.0055
Değişim	%180.2	%149.3	%131.6	%117.5	%104.7	%91.4	%78.5	%67.5

Tablo 5.67 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.0063	0.0064	0.0064	0.0064	0.0062	0.0062
10	0.0108	0.0115	0.0119	0.0121	0.0121	0.0120
20	0.0119	0.0133	0.0138	0.0141	0.0141	0.0140
30	0.0141	0.0149	0.0152	0.0152	0.0151	0.0149
40	0.0141	0.0152	0.0155	0.0155	0.0154	0.0152
50	0.0126	0.0145	0.0154	0.0158	0.0158	0.0158
60	0.0149	0.0161	0.0165	0.0166	0.0164	0.0164
70	0.0139	0.0161	0.0169	0.0172	0.0171	0.0169
80	0.0125	0.0147	0.0158	0.0165	0.0167	0.0173
Değişim	%98.3	%129.2	%145.7	%159.6	%168.5	%180.2

Tablo 5.67'daki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, 2 kV gerilimdeki tanδ değerine göre; 6 kV ve 12 kV'ta %2 oranında değiştiği görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonrasında yapılan ölçümlerde tanδ değeri, 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için sırasıyla, %26.6-%38.5 oranında artış göstermiştir. Bu durum, başlıksız kablolarda yaşlandırmaya bağlı tanδ değerinin başlıklı kablolara kıyasla daha çok arttığını ortaya koymaktadır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.57 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi C değişim oranları

Şekil 5.57a'da 6 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında ve Şekil 5.57b'de 50 Hz frekans ve 2-3-6 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçlarının değişim oranları paylaşılmıştır.

Tüm ölçüm sonuçlarında, C değerinin 869 pF ile 878 pF arasında değiştiği görülmektedir. Bu değişimin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu kabul edilmiştir. Tablo 5.68'te ve Tablo 5.69'te C (pF) değerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.68 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

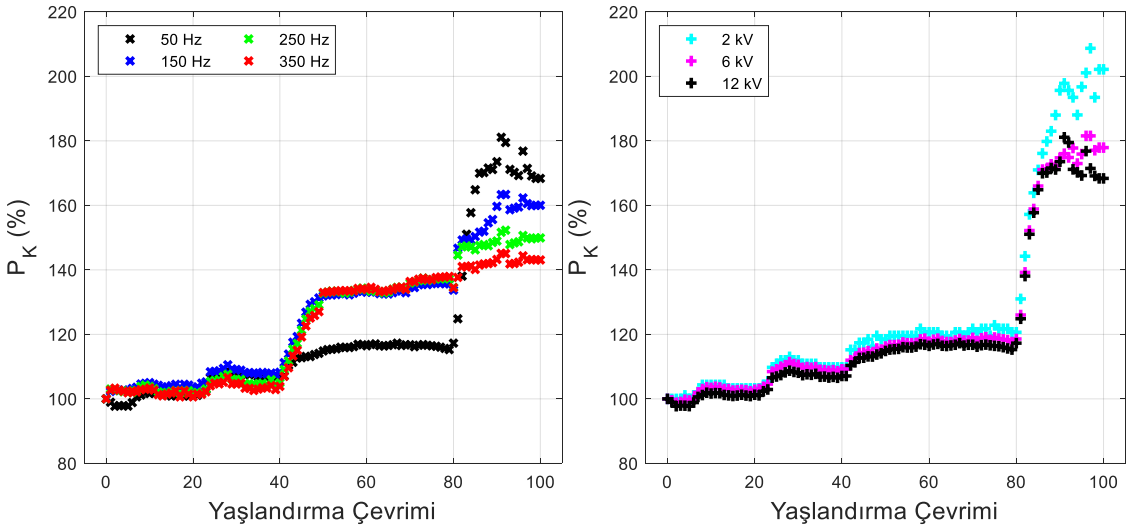
	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	872.0	870.0	869.4	868.9	868.6	868.4	868.3	868.2
10	874.9	871.4	870.3	869.4	868.9	868.6	868.4	868.3
20	877.3	873.6	872.2	871.2	870.6	870.1	869.8	869.5
30	877.4	873.7	872.2	871.3	870.7	870.2	869.9	869.6
40	877.5	873.7	872.3	871.3	870.6	870.1	869.8	869.5
50	876.8	872.9	871.6	870.7	870.1	869.6	869.3	869.0
60	877.5	873.5	872.1	871.2	870.5	870.0	869.7	869.4
70	877.9	873.8	872.2	871.3	870.6	870.1	869.7	869.4
80	877.1	873.6	872.1	871.0	870.2	869.7	869.3	869.0
Değişim	%0.6	%0.4	%0.3	%0.2	%0.2	%0.1	%0.1	%0.1

Tablo 5.69 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x150 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de C ölçüm sonuçları

	C (pF)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	871.1	871.2	871.3	871.5	871.7	872.0
10	873.6	874.3	874.5	874.7	874.8	874.9
20	875.3	876.6	877.1	877.3	877.3	877.3
30	876.5	877.5	877.9	877.8	877.6	877.4
40	876.4	877.6	877.9	877.9	877.7	877.5
50	874.5	876.1	876.7	876.9	876.9	876.8
60	876.1	877.6	877.9	877.9	877.5	877.5
70	875.3	877.5	878.2	878.3	878.1	877.9
80	873.0	874.9	875.6	876.0	876.2	877.1
Değişim	%0.2	%0.4	%0.5	%0.5	%0.5	%0.6

5.4.2.2 3*U_0 Alternatif Yüksek (36 kV) ile Yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE İzoleli 1x25 mm^2 Kesitli Başlıksız Kablo Numuneleri

Bu bölümde, 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x25 mm^2 kesitli ve başlıksız kablo numunelerine ait dielektrik parametre sonuçları paylaşılmıştır. P_K, tanδ ve C değerlerinin yaşlandırma çevrim sayısına göre davranışı, ölçüm frekansı ve geriliminin varyasyonlarını kapsayacak şekilde 100 yaşlandırma çevrimi sunulmuştur. P_K ölçüm sonuçları Şekil 5.51'de, tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.52'de ve C ölçüm sonuçları da Şekil 5.53'te paylaşılmıştır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.58 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.58a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranları görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 36.1 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda P_K'da %1.7 değerinde bir artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma çevrimi ile birlikte artış trendi aynı şekilde 40. yaşlandırma çevrimine kadar devam ederek %7.1 oranında bir artış değerine ulaşmıştır. 40 ve 50. yaşlandırma çevrimleri arasında, P_K değerindeki değişimin sıçrama yaparak %14.9 oranına ulaştığı görülmektedir. 80 yaşlandırma işlemi sonunda P_K değerinde %17.3 oranında bir artış olmuştur. 80. yaşlandırma çevriminden sonra, kablo numunesinin davranışı tamamiyle

değişmiş ve P_K değerinde meydana gelen artış hızı oldukça ivmelenmiştir. 90 yaşlandırma işlemi sonunda, artış miktarı %73.5 olarak hesaplanmıştır. Son 10 yaşlandırma çevriminde artış miktarı azalmasına rağmen değişim trendini korumuş ve 100 yaşlandırma çevrimi sonunda %68.5 oranında bir değişim meydana gelmiştir. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 95.9-150.2-200.3 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde 100. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %60, %50 ve %43.1 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.70'da paylaşılmıştır.

Tablo 5.70 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	36.1	65.6	95.9	124.1	150.2	176.8	200.3	225.0
10	36.7	69.1	100.7	128.5	156.1	182.8	207.1	232.1
20	36.5	68.6	99.4	127.2	152.9	178.1	201.6	226.7
30	39.0	72.7	104.7	133.6	159.2	185.8	209.5	234.2
40	38.6	72.3	103.8	131.3	157.7	182.9	208.1	231.2
50	41.4	85.3	126.6	163.1	199.4	233.4	266.3	300.8
60	42.0	86.3	127.6	164.4	201.0	235.0	268.3	302.1
70	42.1	86.8	129.1	167.7	204.2	239.5	273.2	306.4
80	42.3	86.8	128.3	165.5	202.2	237.2	269.4	303.9
90	62.6	110.8	153.2	189.6	223.8	256.1	286.9	316.6
100	60.7	109.8	153.5	190.5	225.2	256.3	286.6	317.6
Değişim	%68.4	%67.4	%60.0	%53.5	%49.9	%45.0	%43.1	%41.2

Şekil 5.81b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde

0.92 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %4.3 oranında artarak 0.96 mW değerine ulaşmıştır. 30 yaşlandırma işlemi sonrasında P_K değerinde %12 artış meydana gelmiştir. 80. ve 100. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranı %20.7 ve %102.2 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 8.5 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %3.4 oranında artarak 8.8 mW değerine ulaşmıştır. 80. ve 100. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranının %18.6 ve %77.9 olduğu görülmektedir. Tablo 5.71'de, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

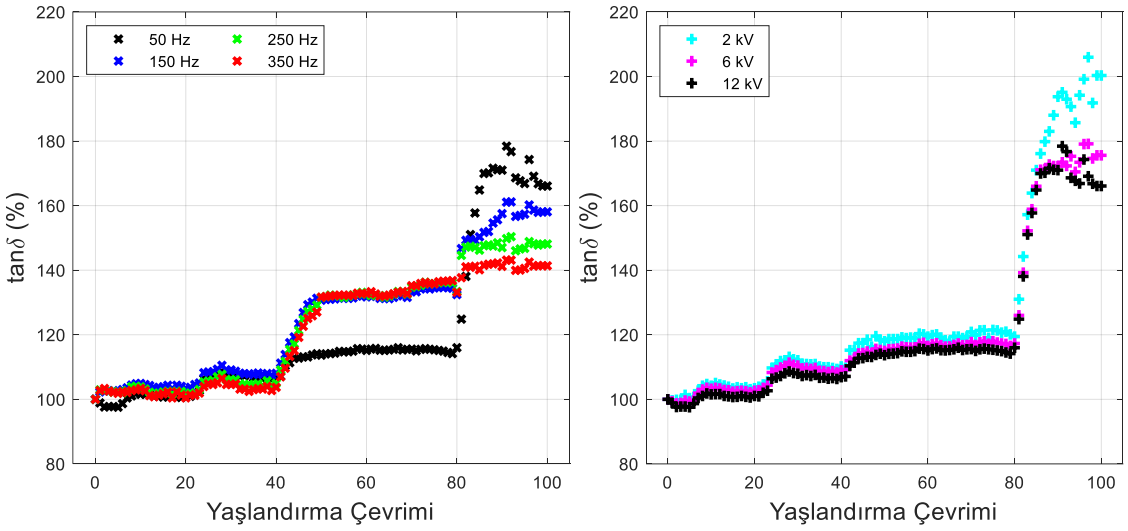
Tablo 5.71 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.92	4.72	8.5	16.5	24.5	36.1
10	0.96	4.88	8.8	17.0	25.1	36.7
20	0.95	4.85	8.8	16.9	25.0	36.5
30	1.03	5.22	9.4	18.1	26.7	39.0
40	1.01	5.15	9.3	17.9	26.5	38.6
50	1.09	5.49	9.9	19.1	28.3	41.4
60	1.11	5.57	10.0	19.4	28.7	42.0
70	1.12	5.62	10.1	19.5	28.9	42.1
80	1.11	5.60	10.1	19.5	28.9	42.3
90	1.80	8.34	14.9	28.5	42.2	62.6
100	1.86	8.50	15.1	28.5	41.8	60.7
Değişim	%102.2	%80.3	%77.9	%72.3	%70.4	%68.4

Tablo 5.70'daki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, P_K değerinin 50 Hz frekanstaki değer baz alındığında; 100 Hz'te %81.8 oranında, 150 Hz'te %166 oranında, 200 Hz'te %244.1 oranında, 250 Hz'te %316.5 oranında, 300 Hz'te %390.1 oranında,

350 Hz'te %455.5 oranında ve 400 Hz'te %523.8 oranında arttığı görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için artış oranları sırasıyla, %80.8-%152.9-%213.8-%271-%322-%372-%423 olarak değişmiştir.

Tablo 5.71'deki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değerine göre; 6 kV'ta %825 oranında ve 12 kV'ta %3819 oranında arttığı görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %714-%3164 olarak değişmiştir.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.59 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.59a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranı paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ değeri 0.00143 olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda tanδ'da %1.5 oranında artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma çevrimi ile birlikte artış trendi 30. yaşlandırma çevrimine kadar devam ederek %7.9 oranına ulaşmıştır. 50. yaşlandırma çevrimine gelindiğinde, tanδ değerindeki değişimin %13.7 olduğu görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonunda tanδ değerinde %66.1 oranında bir artış olmuştur. Ölçüm frekansı arttıkça, yaşlandırma öncesi tanδ değerleri azalmıştır. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.00126-0.00119-0.00113 olan yaşlandırma öncesi tanδ değerlerinde, 100. yaşlandırma

işlemi sonrası meydana gelen artış oranları sırasıyla, %58.1, %48.1 ve %41.5 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.72'de paylaşılmıştır.

Tablo 5.72 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.00143	0.00130	0.00126	0.00123	0.00119	0.00117	0.00113	0.00111
10	0.00145	0.00137	0.00133	0.00127	0.00124	0.00121	0.00117	0.00115
20	0.00144	0.00136	0.00131	0.00126	0.00121	0.00117	0.00114	0.00112
30	0.00154	0.00144	0.00138	0.00132	0.00126	0.00122	0.00119	0.00116
40	0.00153	0.00143	0.00137	0.00130	0.00125	0.00121	0.00118	0.00114
50	0.00162	0.00167	0.00165	0.00160	0.00156	0.00153	0.00149	0.00148
60	0.00164	0.00169	0.00167	0.00161	0.00158	0.00154	0.00151	0.00148
70	0.00165	0.00170	0.00169	0.00164	0.00160	0.00157	0.00153	0.00151
80	0.00166	0.00170	0.00167	0.00162	0.00159	0.00155	0.00151	0.00149
90	0.00244	0.00216	0.00199	0.00185	0.00175	0.00167	0.00160	0.00155
100	0.00237	0.00215	0.00200	0.00186	0.00176	0.00167	0.00160	0.00155
Değişim	%66.1	%65.3	%58.1	%51.6	%48.1	%43.4	%41.4	%39.5

Şekil 5.59b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarının değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.00131 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %4.2 oranında artarak 0.00136 değerine ulaşmıştır. 30 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ değerinde %12.1 oranında artış meydana gelmiştir. 70. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranı %19.3 ve %18.3 olarak hesaplanmıştır. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında, 0.00262 olan tanδ değerinde %100 artış oranı hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 0.00135 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma

sonunda %3.3 oranında artarak 0.00139 değerine ulaşmıştır. 80. ve 100. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranlarının %17.3 ve %75.6 olduğu görülmektedir. Tablo 5.73'da, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ ölçüm sonuçları sunulmuştur.

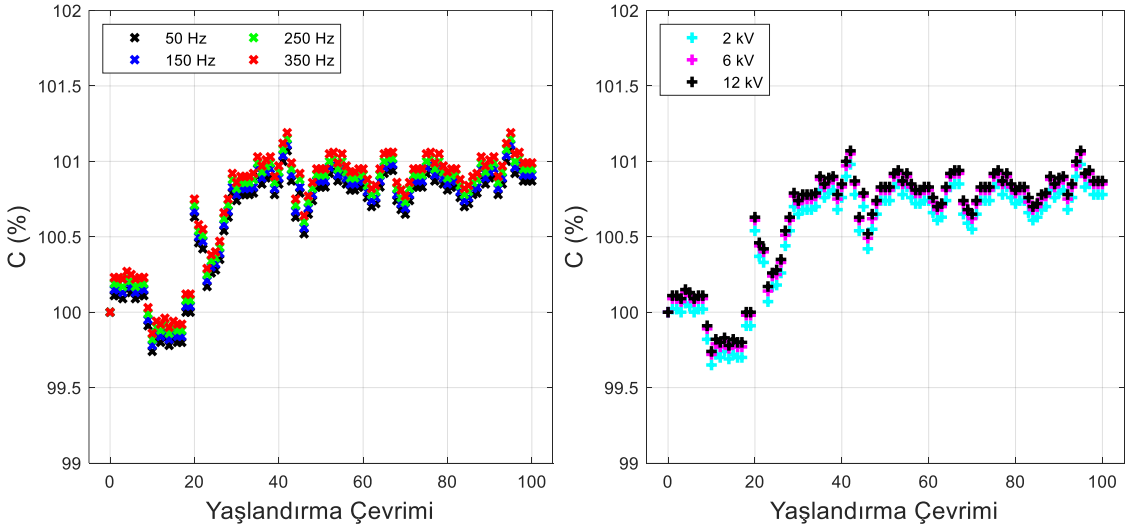
Tablo 5.73 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.00131	0.00133	0.00135	0.00137	0.00140	0.00143
10	0.00136	0.00138	0.00139	0.00141	0.00143	0.00145
20	0.00135	0.00137	0.00138	0.00140	0.00142	0.00144
30	0.00147	0.00148	0.00149	0.00150	0.00152	0.00154
40	0.00144	0.00145	0.00147	0.00149	0.00151	0.00153
50	0.00154	0.00155	0.00155	0.00157	0.00160	0.00162
60	0.00156	0.00157	0.00157	0.00159	0.00162	0.00164
70	0.00158	0.00158	0.00159	0.00161	0.00163	0.00165
80	0.00156	0.00157	0.00158	0.00161	0.00163	0.00166
90	0.00253	0.00243	0.00232	0.00234	0.00237	0.00244
100	0.00262	0.00249	0.00237	0.00236	0.00235	0.00237
Değişim	%100.3	%87.8	%75.6	%71.8	%68.1	%66.1

Tablo 5.72'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, tanδ değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %9 oranında, 150 Hz'te %11.5 oranında, 200 Hz'te %14.1 oranında, 250 Hz'te %16.7 oranında, 300 Hz'te %18.5 oranında, 350 Hz'te %20.5 oranında ve 400 Hz'te %21.7 oranında azaldığı görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış oranları sırasıyla, %9.5-%15.7-%21.6-%25.7-%29.5-%32.4-%34.4 olarak değişmiştir.

Tablo 5.73'daki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, 2 kV gerilimdeki tanδ değerine göre; 6 kV ve 12 kV gerilim değeri için sırasıyla, %3.1 ve %9.2 oranında arttığı görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında yapılan ölçümlerde tanδ değeri, 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için %10 oranında azalış göstermiştir.

Bu durumda yapılan incelemeler, başlıksız kablolarda yaşlandırmaya bağlı tanδ değerinin başlıklı kablolara kıyasla daha çok arttığını ve başlıksız kablo numunelerinde düşük gerilimlerde yapılan ölçümlerin daha dengesiz olduğunu ortaya koymaktadır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.60 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi C değişim oranları

Şekil 5.60a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan C ölçüm sonuçlarının değişimi paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, C değerinin 540 pF ile 549.6 pF arasında değiştiği görülmektedir. Yaşlandırma çevrimine bağlı olarak %1.3 oranında değişim miktarı hesaplanmıştır. Bu durum, 150-250-350 Hz olmak üzere diğer ölçüm frekansları için de yaklaşık olarak aynıdır.

Tablo 5.74 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	542.8	541.5	540.8	540.5	540.2	540.1	540.1	540.0
10	541.4	539.9	539.3	539.1	538.9	538.7	538.6	538.5
20	545.8	543.1	541.7	541.0	540.5	540.2	539.9	539.7
30	546.4	543.5	542.2	541.6	541.1	540.8	540.5	540.4
40	547.5	544.5	542.9	542.0	541.3	540.8	540.5	540.3
50	548.8	546.5	544.9	543.8	542.7	542.0	541.4	541.0
60	549.3	546.7	544.9	543.7	542.7	542.0	541.5	541.1
70	547.7	545.5	544.1	543.2	542.4	541.7	541.1	540.8
80	549.6	546.8	544.7	543.5	542.5	541.8	541.2	540.9
90	547.6	544.5	542.9	542.0	541.3	540.8	540.5	540.2
100	549.3	546.8	545.0	543.7	542.6	541.8	541.2	540.8
Değişim	%1.2	%1.0	%0.8	%0.6	%0.4	%0.3	%0.2	%0.1

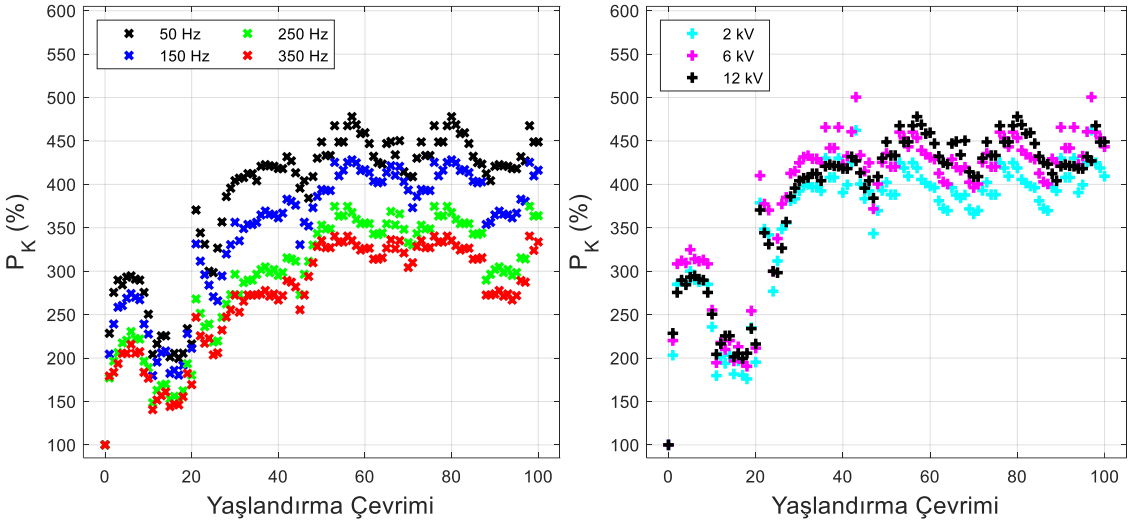
Şekil 5.60b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. 2 kV gerilimde, C değerinin 539.8 pF ile 549.6 pF arasında değiştiği görülmektedir. Yaşlandırma çevrimine bağlı olarak %1.2 oranındaki değişim miktarının görmezden gelinmesi kuvvetle muhtemeldir. Bu durum, 6 kV ve 12 kV olmak üzere diğer ölçüm gerilimleri için de geçerlidir. Tablo 5.74'ta ve Tablo 5.75'de C (pF) değerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.75 36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de C ölçüm sonuçları

	C (pF)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	541.7	542.1	542.3	542.4	542.6	542.8
10	539.8	547.1	547.5	547.7	547.6	541.4
20	544.6	545.5	545.9	546.0	546.0	545.8
30	545.2	542.7	543.3	543.5	543.7	546.4
40	545.8	540.7	541.2	541.4	541.6	547.5
50	545.7	547.6	548.5	548.9	548.9	548.8
60	545.7	548.1	549.0	549.4	549.6	549.3
70	544.7	546.3	547.3	547.7	547.8	547.7
80	545.6	547.8	549.0	549.5	549.7	549.6
90	546.0	541.2	541.6	541.9	542.0	547.6
100	545.9	547.9	548.9	549.3	549.4	549.3
Değişim	%0.8	%1.1	%1.2	%1.3	%1.3	%1.2

5.4.2.3 $5*U_0$ Alternatif Yüksek Gerilim (60 kV) ile Yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE İzoleli 1x25 mm^2 Kesitli Başlıksız Kablo Numuneleri

Bu bölümde, 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı, 1x25 mm^2 kesitli ve başlıksız kablo numunelerine ait dielektrik parametre sonuçları paylaşılmıştır. P_K, tanδ ve C değerlerinin yaşlandırma çevrim sayısına göre davranışı, ölçüm frekansı ve geriliminin varyasyonlarını kapsayacak şekilde 100 yaşlandırma çevrimi sunulmuştur. P_K ölçüm sonuçları Şekil 5.54'te, tanδ ölçüm sonuçları Şekil 5.55'te ve C ölçüm sonuçları da Şekil 5.56'da paylaşılmıştır.



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.61 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi P_K değişim oranları

Şekil 5.61a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan P_K ölçüm sonuçlarının değişim oranları görülmektedir. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi P_K değeri 92.3 mW olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda P_K'da %150.5 değerinde bir artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma çevrimi ile birlikte artış trendi aynı şekilde 40. yaşlandırma çevrimine kadar devam ederek %318 oranında bir artış değerine ulaşmıştır. 80 yaşlandırma işlemi sonunda P_K değerinde %378 oranında bir artış olmuştur. 80. yaşlandırma çevriminden sonra, kablo numunesinin davranışı tamamiyle değişmiş ve PK değerinde meydana gelen artış değişimi oldukça azalmıştır. 90 yaşlandırma işlemi sonunda, artış miktarı %320 olarak hesaplanmıştır. Son 10 yaşlandırma çevriminde, değişim trendini korumuş ve 100 yaşlandırma çevrimi sonunda %349 oranında bir değişim meydana gelmiştir. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 207.2-329-413.8 mW olan yaşlandırma öncesi P_K değerlerinde 100. yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen artış oranları sırasıyla %316, %264 ve %233.7 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan P_K ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.76'de paylaşılmıştır.

Şekil 5.61b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan P_K ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 2.12 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %135 oranında artarak 5 mW değerine ulaşmıştır. 30 yaşlandırma işlemi sonrasında P_K değerinde %292.5 artış meydana gelmiştir. 80. ve 100. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranı %319 ve %309.5 olarak hesaplanmıştır. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 22.67 mW olan P_K değeri 10 yaşlandırma sonunda %155 oranında artarak 57.88 mW değerine ulaşmıştır. 80. ve 100. yaşlandırma çevrimlerinde ise P_K değerindeki artış oranının %353.5 ve %343.3 olduğu görülmektedir. Tablo 5.77'te, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan P_K ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.76 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta P_K (mW) ölçüm sonuçları

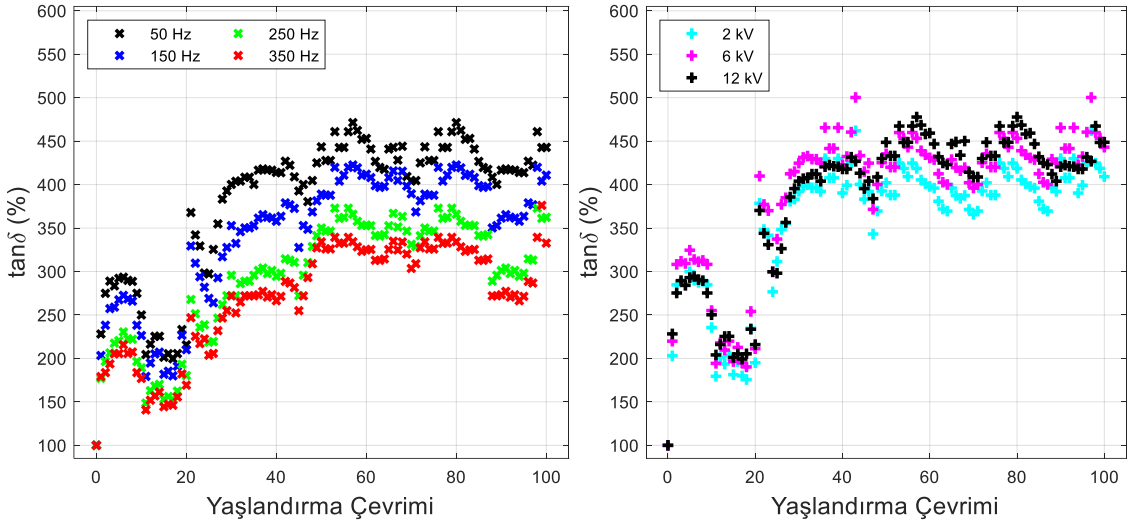
	P_K (mW)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	92.3	134.5	207.2	265.1	329.0	375.9	413.8	485.6
10	231.1	369.5	471.6	552.8	621.6	662.6	731.4	780.6
20	199.5	333.0	437.7	521.7	593.5	657.5	701.0	757.0
30	372.9	571.6	738.1	865.3	975.3	1063.3	1127.9	1201.2
40	385.9	587.4	748.8	867.7	970.6	1047.4	1104.2	1173.6
50	414.1	616.2	816.5	992.3	1161.3	1292.7	1387.4	1483.5
60	423.9	646.2	863.7	1027.8	1170.3	1274.4	1349.5	1417.3
70	377.1	608.3	815.1	977.1	1095.4	1192.0	1259.3	1338.5
80	441.0	659.7	887.2	1065.3	1209.4	1314.6	1388.0	1459.1
90	388.3	590.5	755.8	883.1	993.5	1072.6	1133.0	1196.3
100	414.2	634.8	862.5	1057.2	1197.4	1308.0	1381.0	1449.7
Değişim	%348.9	%372.0	%316.3	%298.8	%264.0	%248.0	%233.7	%198.6

Tablo 5.76'deki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, P_K değerinin 50 Hz frekanstaki değer baz alındığında; 100 Hz'te %45.8 oranında, 150 Hz'te %124.5 oranında, 200 Hz'te %187.3 oranında, 250 Hz'te %256.6 oranında, 300 Hz'te %307.4 oranında, 350 Hz'te %348.5 oranında ve 400 Hz'te %426.3 oranında arttığı görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için artış oranları sırasıyla, %53-%108.2-%155.2-%189-%215.8-%233.5-%250 olarak değişmiştir.

Tablo 5.77'teki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, P_K değerinin 2 kV gerilimdeki değerine göre; 6 kV'ta %970 oranında ve 12 kV'ta %4252 oranında arttığı görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için artış oranları sırasıyla, %1058-%4672 olarak değişmiştir.

Tablo 5.77 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de P_K (mW) ölçüm sonuçları

	P_K (mW)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	2.12	8.56	22.67	38.45	61.99	92.26
10	5.00	23.08	57.88	165.48	261.92	231.10
20	4.14	19.11	47.93	166.61	264.36	199.45
30	8.32	38.41	96.31	119.32	186.57	372.91
40	8.28	38.23	95.85	80.99	129.89	385.88
50	8.53	39.38	98.75	177.72	284.72	414.13
60	8.44	38.97	97.70	181.32	291.56	423.92
70	7.76	35.83	89.83	161.05	258.49	377.12
80	8.88	41.00	102.80	187.32	303.29	441.00
90	9.12	42.11	105.58	85.95	135.07	388.27
100	8.68	40.07	100.48	177.81	284.94	414.19
Değişim	%309.4	%368.2	%343.3	%362.4	%359.6	%348.9



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.62 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi tanδ değişim oranları

Şekil 5.62a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarına ait değişim oranı paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, yaşlandırma öncesi tanδ değeri 0.0038 olarak ölçülmüştür. İlk 10 yaşlandırma çevrimi sonunda tanδ'da %150 oranında artış meydana gelmiştir. Yaşlandırma çevrimi ile birlikte artış trendi, 30. yaşlandırma çevrimine kadar devam ederek 0.0151 değerine ulaşmasına ve meydana gelen artışın da %300 olmasına neden olmuştur. 50. yaşlandırma çevrimine gelindiğinde, tanδ değerindeki değişimin %343.4 olduğu görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonunda tanδ değerinde, %343 oranında bir artış olmuştur. Ölçüm frekansı arttıkça, yaşlandırma öncesi tanδ değerleri azalmıştır. 150-250-350 Hz ölçüm frekansları için 0.0028-0.0027-0.0024 olan yaşlandırma öncesi tanδ değerlerinde, 100. yaşlandırma işlemi sonrası meydana gelen artış oranları sırasıyla, %311, %262.5 ve %232.7 olarak hesaplanmıştır. 12 kV gerilim uygulanarak 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekansta yapılan tanδ ölçüm sonuçları 10'ar yaşlandırma çevrimi için Tablo 5.78'te paylaşılmıştır.

Şekil 5.62b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan tanδ ölçüm sonuçlarının değişim oranları görülmektedir. Yaşlandırma öncesi 2 kV gerilimde 0.0031 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %140 oranında artarak 0.0074 değerine ulaşmıştır. 30 yaşlandırma işlemi sonrasında tanδ değerinde %295.5

oranında artış meydana gelmiştir. 70. ve 80. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranı %270 ve %321.8 olarak hesaplanmıştır. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında, 0.0127 olan tanδ değerinde %312.7 oranında artış olmuştur. Yaşlandırma öncesi 6 kV gerilimde 0.0036 olan tanδ değeri 10 yaşlandırma sonunda %302.2 oranında artarak 0.0146 değerine ulaşmıştır. 80. ve 100. yaşlandırma çevrimlerinde ise tanδ değerindeki artış oranlarının %346 ve %326.6 olduğu görülmektedir. Tablo 5.79'te, 10'ar yaşlandırma çevrimi için 50Hz frekansta 2-4-6-8-10-12 kV gerilim uygulanarak yapılan tanδ ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.78 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	0.0038	0.0028	0.0028	0.0027	0.0027	0.0026	0.0024	0.0025
10	0.0094	0.0075	0.0064	0.0057	0.0051	0.0045	0.0043	0.0040
20	0.0081	0.0068	0.0060	0.0053	0.0049	0.0045	0.0041	0.0039
30	0.0151	0.0116	0.0100	0.0088	0.0080	0.0072	0.0066	0.0061
40	0.0156	0.0119	0.0101	0.0088	0.0079	0.0071	0.0065	0.0060
50	0.0167	0.0125	0.0110	0.0101	0.0094	0.0088	0.0081	0.0076
60	0.0170	0.0130	0.0117	0.0104	0.0095	0.0087	0.0079	0.0072
70	0.0152	0.0123	0.0110	0.0099	0.0089	0.0081	0.0074	0.0068
80	0.0177	0.0133	0.0120	0.0108	0.0099	0.0089	0.0081	0.0075
90	0.0157	0.0120	0.0102	0.0090	0.0081	0.0073	0.0066	0.0061
100	0.0167	0.0128	0.0116	0.0107	0.0098	0.0089	0.0081	0.0074
Değişim	%342.8	%365.8	%310.9	%294.5	%262.4	%246.7	%232.7	%197.6

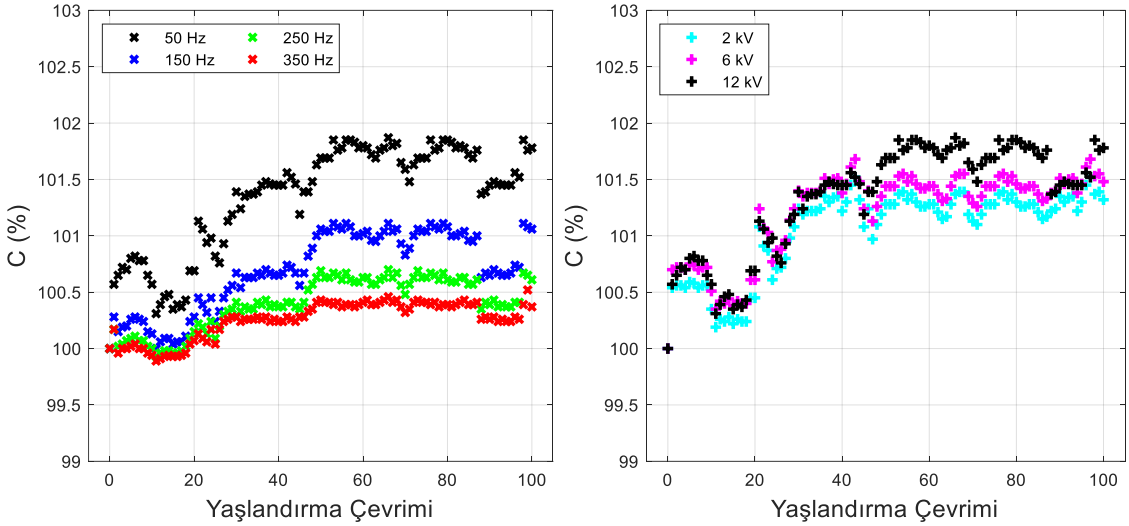
Tablo 5.78'teki yaşlandırma öncesi ölçümlerde, tanδ değerinin 50 Hz frekanstaki değere göre; 100 Hz'te %26.8 oranında, 150 Hz'te %24.7 oranında, 200 Hz'te %27.8 oranında, 250 Hz'te %28.4 oranında, 300 Hz'te %31.7 oranında, 350 Hz'te

%35.6 oranında ve 400 Hz'te %33.8 oranında azaldığı görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında 100-150-200-250-300-350-400 Hz frekans değerleri için azalış oranları sırasıyla, %23-%30-%35.7-%41.5-%46.6-%51.6-%55.5 olarak değişmiştir.

Tablo 5.79'teki yaşlandırma öncesi ölçümler incelendiğinde, 2 kV gerilimdeki tanδ değerine göre; 6 kV ve 12 kV gerilim değeri için sırasıyla, %18.1 ve %22.7 oranında arttığı görülmektedir. 100 yaşlandırma işlemi sonrasında yapılan ölçümlerde tanδ değeri, 6 kV ve 12 kV gerilim değerleri için sırasıyla, %22 ve %31.6 oranında artış göstermiştir.

Tablo 5.79 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de tanδ ölçüm sonuçları

	tanδ					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	0.0031	0.0031	0.0036	0.0035	0.0036	0.0038
10	0.0074	0.0136	0.0146	0.0150	0.0152	0.0094
20	0.0061	0.0138	0.0146	0.0151	0.0154	0.0081
30	0.0121	0.0101	0.0106	0.0109	0.0109	0.0151
40	0.0121	0.0071	0.0072	0.0074	0.0076	0.0156
50	0.0124	0.0140	0.0152	0.0161	0.0165	0.0167
60	0.0123	0.0141	0.0154	0.0164	0.0169	0.0170
70	0.0113	0.0129	0.0139	0.0146	0.0150	0.0152
80	0.0129	0.0149	0.0162	0.0169	0.0175	0.0177
90	0.0133	0.0072	0.0077	0.0079	0.0079	0.0157
100	0.0127	0.0143	0.0154	0.0161	0.0165	0.0167
Değişim	%312.7	%357.5	%326.6	%358.3	%354.7	%342.8



(a) 12 kV gerilimde (b) 50 Hz frekansta

Şekil 5.63 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesi C değişim oranları

Tablo 5.80 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 12 kV'ta C (pF) ölçüm sonuçları

	C (pF)							
Çevrim	**50 Hz**	**100 Hz**	**150 Hz**	**200 Hz**	**250 Hz**	**300 Hz**	**350 Hz**	**400 Hz**
0	539.7	539.5	539.3	539.4	539.3	539.2	539.2	539.2
10	542.8	540.9	540.0	539.7	539.3	539.1	538.9	538.8
20	543.4	541.7	540.8	540.4	540.1	539.8	539.6	539.5
30	547.2	544.3	542.9	542.1	541.5	541.0	540.7	540.4
40	547.5	544.5	542.8	541.9	541.3	540.8	540.5	540.3
50	548.8	546.4	545.0	543.9	543.0	542.1	541.5	541.1
60	549.4	546.7	544.8	543.5	542.7	542.0	541.4	541.0
70	548.3	545.6	543.8	542.8	541.9	541.3	540.9	540.6
80	549.7	547.1	545.1	543.5	542.6	541.8	541.3	540.9
90	547.5	544.4	542.8	542.0	541.4	540.9	540.6	540.4
100	549.3	546.8	545.0	543.7	542.6	541.8	541.2	540.8
Değişim	%1.8	%1.4	%1.1	%0.8	%0.6	%0.5	%0.4	%0.3

Şekil 5.63a'da 12 kV gerilim ve 50-150-250-350 Hz frekanslarında yapılan C ölçüm sonuçlarının değişimi paylaşılmıştır. 50 Hz frekansta, C değerinin 538.8 pF ile 549.7 pF arasında değiştiği görülmektedir. Yaşlandırma çevrimine bağlı olarak %1.4 oranında değişim miktarı hesaplanmıştır. Şekil 5.63b'de 50 Hz frekans ve 2-6-12 kV gerilim altında yapılan C ölçüm sonuçlarına ait değişim oranları görülmektedir. 2 kV gerilimde, C değerinin 538.8 pF ile 549.67 pF arasında değiştiği görülmektedir. Yaşlandırma çevrimine bağlı olarak %1.9 oranındaki değişim miktarının görmezden gelinmesi problem teşkil etmeyecektir. Tablo 5.80'da ve Tablo 5.81'de C (pF) değerine ait ölçüm sonuçları sunulmuştur.

Tablo 5.81 60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV XLPE yalıtımlı 1x25 mm^2 kesitli başlıksız kablo numunesinin 50 Hz'de C ölçüm sonuçları

	C (pF)					
Çevrim	**2 kV**	**4 kV**	**6 kV**	**8 kV**	**10 kV**	**12 kV**
0	538.8	538.8	538.8	539.0	539.3	539.7
10	540.7	546.7	547.2	547.4	547.4	542.8
20	541.2	546.5	547.0	547.3	547.3	543.4
30	545.5	543.1	543.6	543.9	543.9	547.2
40	545.4	540.9	541.1	541.4	541.6	547.5
50	545.7	547.4	548.3	548.8	548.9	548.8
60	545.7	548.0	549.0	549.4	549.5	549.4
70	544.9	547.0	548.0	548.4	548.4	548.3
80	545.8	548.1	549.2	549.7	549.9	549.7
90	546.1	540.8	541.2	541.4	541.5	547.5
100	545.9	547.9	548.9	549.3	549.4	549.3
Değişim	%1.3	%1.7	%1.9	%1.9	%1.9	%1.8

5.5 Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel uygulamalarda, 6/10 kV ve 12/20.8 kV anma gerilimine sahip kablo numuneleri kullanılmıştır. Kablo numunelerine, alternatif yüksek gerilim ve yıldırım darbe gerilimi ile yaşlandırma işlemleri uygulanmıştır. Dielektrik parametreler (P_K, tanδ ve C) ve KB ölçümü olmak üzere iki farklı dielektrik tanı yöntemi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Bu bölümde, farklı yaşlandırma işlemlerinin kablolar üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Tanı yöntemlerinin ölçüm kabiliyeti karşılaştırılmış ve yaşlandırma türüne göre etkinlikleri belirtilmiştir. Dielektrik parametrelerin (P_K, tanδ ve C) ölçümünde 50-400 Hz frekans ve 2-12 kV gerilim aralıklarında farklı değerler kullanılarak, harmonik bileşenlerin ölçümler üzerindeki etkisi ortaya çıkarılmıştır. Anma gerilimi ve frekansında yapılan ölçümlerden elde edilen veriler Tablo 5.82'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

5.5.1 Kablo Numunelerinin Değerlendirmesi

Deneysel uygulamalarda, 12/20.8 kV anma gerilimine sahip 150 mm^2 ve 25 mm^2 kesitli, 6/10 kV anma gerilimine sahip 95 mm^2 kesitli XLPE yalıtımlı kablolar kullanılmıştır. Ayrıca, 12/20.8 kV kablolar ile yapılan ölçümlerde başlıklı ve başlıksız numuneler oluşturulmuştur.

Anma gerilimi ve kesitleri aynı olan kablo numunelerinde, yaşlandırma öncesi dielektrik parametre ölçümlerinin değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Başlıksız kablo numunelerinin bu konuda istisna olarak kabul edilebileceği ortaya çıkmıştır. İnce kesitli kablolarda, yaşlandırma işlemlerinin daha fazla olumsuz etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Başlıklı kablo numunelerine kıyasla, başlıksız kablo numunelerinde yaşlandırma öncesi ölçümlere göre daha fazla değişim meydana geldiği ortaya çıkmıştır.

60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV, 150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunelerinde P_K değerinde %32.4 oranında artış meydana gelirken 25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunelerinde ise %69.2 oranında artış olmuştur. Başlıksız

numunelerde, 150 mm^2 kesitli kabloda %180.2 oranında artış hesaplanırken, 25 mm^2 kesitli kabloda %343'lük bir artış meydana gelmiştir. 30 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo numunelerinde ise, P_K değeri %47.4 oranında artmıştır.

5.5.2 Yaşlandırma İşlemlerinin Değerlendirilmesi

Kablo numuneleri yaşlandırılırken üç farklı metot ile uygulama yapılmıştır. Bunlar; darbe gerilimi, $3*U_0$ ve $5*U_0$ alternatif yüksek gerilim olarak tercih edilmiştir.

12/20.8 kV anma gerilimine sahip kablo numunelerinde $3*U_0$ alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma işleminin etkisi tanδ değerinin %15 artmasına sebep olurken, 6/10 kV kablolarda %43 oranında artış meydana gelmiştir. Ayrıca, 12/20.8 kV kablo numunelerinde 55. yaşlandırma çevriminde, 6/10 kV kablolar ise 47 yaşlandırma çevrimi sonunda kablo başlığında delinme meydana gelmiştir. $5*U_0$ alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma işlemlerinde, 12/20.8 kV ve 6/10 kV kablo numuneleri için tanδ artış oranları sırasıyla %69.2 ve %47.4 olarak hesaplanmıştır. $5*U_0$ alternatif yüksek gerilime, 12/20.8 kablolar 29 çevrim dayanabilirken, 6/10 kV kablolar 25 çevrim dayanabilmiştir. Yıldırım darbe gerilimi, 6/10 kV kablolarda tanδ değerinin %61 oranında artmasına sebep olurken, 12/20.8 kV kablolarda %44.5 artışa sebep olmuştur. 12/20.8 kV kablolar 12500 adet yıldırım darbe gerilmine dayanırken, 6/10 kV kablolar ise 8000 adet yıldırım darbesine dayanabilmiştir.

12/20.8 kV kablolarda, $5*U_0$ alternatif yüksek gerilimin en çok yıpratıcı etkiye sahip olduğu, darbe geriliminin onu takip ettiği ve $3*U_0$ alternatif yüksek gerilimin ise diğer iki yöntemden daha az olumsuz etkiye sebep olduğu ortaya çıkmıştır. 6/10 kV kablolarda, darbe geriliminin bozucu etkisinin, $3*U_0$ ve $5*U_0$ alternatif yüksek gerilimlerden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

5.5.3 Dielektrik Tanı Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Kablolar üzerinde gerçekleştirilen yaşlandırma işlemleri sonrasında, dielektrik parametreler ve KB ölçümü olmak üzere iki farklı dielektrik tanı yöntemi kullanılmıştır.

Dielektrik parametre ölçümleri 2-12 kV gerilim ve 50-400 Hz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. P_K, tanδ ve C ölçümleri ile birlikte kablonun dielektrik davranışı izlenmiştir. P_K ve tanδ değerlerinin benzer davranış sergilediği ve birbiri ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Farklı kablo numuneleri üzerinde yapılan farklı yaşlandırma işlemlerinde, kabloların C değerlerinin %1 civarında değiştiği ve bu değişimin ihmal edilebileceği ortaya çıkmıştır. C değerinin, yaşlandırma işlemlerinden etkilenmediği belirlenmiştir. Alternatif yüksek gerilim ve darbe geriliminin kablolar üzerindeki olumsuz etkileri, P_K ve tanδ parametrelerinde meydana gelen artış ile birlikte ortaya çıkmıştır. Anma geriliminden daha düşük gerilim ile yapılan ölçümlerde P_K ve tanδ değerlerinin daha çok salınımlı bir davranış sergilediği ve tutarsız bir hal aldığı gözlemlenmiştir. Anma frekansından farklı frekans değerleri ile yapılan ölçümlerde, P_K ve tanδ değerlerinde meydana artışın 50 Hz frekansından sonra en çok 150-250-350 Hz frekanslarında olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum; 3.-5.-7. dereceden harmonik bileşenlerin kablo üzerindeki olumsuz etkisini ortaya koymaktadır.

KB ölçümleri, başlıklı kablo numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. KBBG değeri ölçümünde 5 pC değeri eşik olarak kabul edilmiştir. Yaşlandırma öncesi, 12/20.8 kV kablolar üzerinde yapılan KB ölçümlerinin kablo içerisinde bulunan arızaların tespitinde başarılı olduğu gözlemlenmiştir. KB genliğinde meydana gelen artışların, yaşlandırmanın etkisini ortaya koyduğu belirlenmiştir. Darbe gerilimi ile yaşlandırma işleminin, KBBG değeri üzerinde daha çok olumsuz etkiye sahip olduğu dözlemlenmiştir. 6/10 kV kablolarda, KB ölçümlerinin yaşlandırma işlemlerinin etkisini belirlemede başarısız olduğu ortaya çıkmıştır. KB genliği ölçümü ile izlenemeyen etkinin KBBG değeri ile de izlenemediği belirlenmiştir. KB

ölçümlerinde, yaşlandırma çevrimine bağlı olarak yapılan ardışık ölçümlerin birbirinden farklı olabileceği farkedilmiştir.

Tanı yöntemleri karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde; dielektrik parametre ölçümlerimde, ölçüm gerilimi ile frekansının ana etken olduğu, ölçüm sonuçlarının yorumlanmasını doğrudan etkilediği ve yanlış yorumlamalara sebep olabileceği ortaya çıkmıştır. Anma gerilimi ve frekansında yapılan dielektrik parametre ölçümlerinin, kablo davranışının genel olarak izlenmesinde kullanılabileceği ve sağlıklı değerlendirmenin yapılabilmesi için geçmiş ölçüm kayıtlarına ihtiyaç duyduğu ortaya çıkmıştır.

Öte yandan, KB ölçümlerinin oldukça dinamik ve değişken olduğu gözlemlenmiştir. Ardışık yapılan KB ölçümlerinde farklı sonuçların elde edildiği belirlenmiştir. Bir KB ölçümünün tek başına yeterli olduğu ve kablolarda başlık montajı sırasında meydana gelen kusurların tespitinde dielektrik parametre ölçümüne göre daha uygun olduğu gözlemlenmiştir.

5.5.4 Kablo Başlığında Meydana Gelen Kusur

Kablo numunelerinin, oldukça farklı çevrim sayıları sonrasında kısa devre olmasından dolayı kablo başlıklarının daha detaylı incelenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Bu bağlamda, bir adet kablo numunesinin başlığı sıyırılarak incelenmiştir. Kablo başlığının yarı-iletken malzeme sınırına yakın bir noktadan delindiği görülmüştür. Kablo başlığında meydana gelen delinme ve delinmenin boyutu Şekil 5.64'de paylaşılmıştır.

Sonuç olarak, kablo başlığının montajı sırasında hava boşluğu veya yabancı madde bulunması, yarı iletken yüzeyinin düzgün kazınmaması, kablo başlığı malzemelerinin hatalı yerleştirilmesi zayıf işçilik olarak tanımlanmaktadır. Zayıf işçilik, elektrik alan dağılımının bozulmasına ve kusur bulunan noktada sistemin zorlanmasına sebep olarak kablo başlığının delinmesine yol açmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 5.64 Kablo başlığında meydana gelen delinme

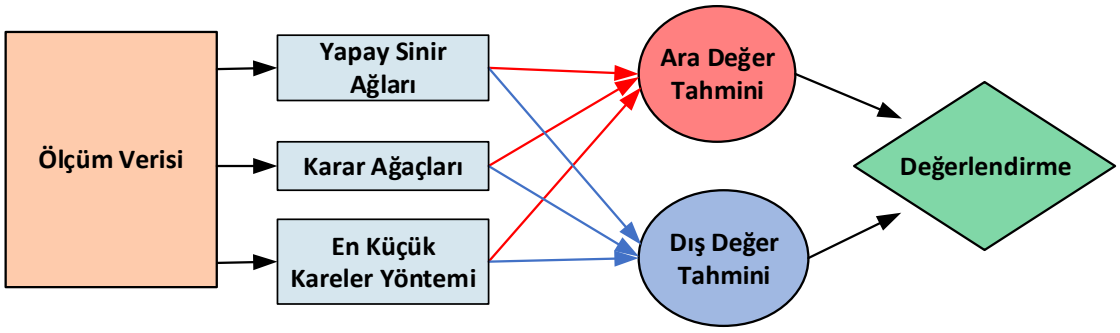
Tablo 5.82 Anma gerilimi ve frekansında yapılan ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

Kablo	Anma Gerilimi (kV)	12/20.8	12/20.8	12/20.8	12/20.8	12/20.8	12/20.8	12/20.8	6/10	6/10	6/10
	Kesit (mm^2)	150	150	25	25	25	25	25	95	95	95
	Başlık	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Var	Var	Var
Yaş	Yaşlandırma Türü	$5*U_0$	$5*U_0$	$3*U_0$	$3*U_0$	$5*U_0$	$5*U_0$	Darbe	$3*U_0$	$5*U_0$	Darbe
	Çevrim Sayısı	80	80	55	100	29	100	50	47	25	32
KB	Yaşlandırma Öncesi (pC)	0.93	-	201	-	206	-	212.3	3.17	3.23	3.78
	Yaşlandırma Sonrası (pC)	17.9	-	285	-	446	-	270.9	3.33	3.62	3.51
P_K	Yaşlandırma Öncesi (mW)	136.9	243.7	37.6	36.1	48.4	92.3	48.8	19.96	14.5	17.2
	Yaşlandırma Sonrası (mW)	181.2	685.8	43.3	60.7	81.9	414.2	70.7	27.57	21.3	27.9
	Değişim Oranı	%32.4	%181.4	%15.1	%68.4	%69.2	%349	%44.8	%38.1	%47.6	%62.1
tanδ	Yaşlandırma Öncesi	0.0036	0.0062	0.00148	0.00143	0.00190	0.0038	0.00194	0.00142	0.00102	0.00122
	Yaşlandırma Sonrası	0.0047	0.0173	0.00171	0.00237	0.00322	0.0167	0.00280	0.00203	0.00151	0.00197
	Değişim Oranı	%32.2	%180.2	%15	%66.1	%69.2	%343	%44.5	%43	%47.4	%61
C	Kablo Kapasitesi (pF)	841.9	872	560.8	542.8	561.6	539.7	556.8	1246.4	1250.3	1248

6
TAHMİN VE ANALİZ UYGULAMALARI

Dağıtım ve iletim sistemlerinde dielektrik tanı, arıza tahmini ve kestirimci bakım gibi araştırma konuları, enerji sürekliliğini, güç sistemi kararlılığını ve işletme ekonomisini doğrudan etkiledikleri için dikkatleri üzerine çekmiştir. Günümüzde olası arızaların önceden tahmin edilmesi, dielektrik performansı ve gerekli teknik önlemlerin zamanında alınması kararlı bir güç sisteminde istenen temel özellikler arasındadır. Güç sistemlerinde OG kabloları, arızaların sıklıkla yaşandığı ve kurulum maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu ekipmanlardan biridir. OG kabloları üzerinde yapılan dielektrik tanı çalışmalarının çoğunda, oldukça uzun ölçüm süreleri gerektiren yapay yaşlandırma yöntemleri tercih edilmekte ve kablonun dielektrik performansı genellikle test süresinin sonunda ölçülmektedir. Yaşlandırma işlemleri sırasında ölçülen dielektrik parametreleri kullanarak, bir kablonun gelecekteki dielektrik performansını tahmin etmek araştırılması gereken önemli bir konudur ve olası arızaları tespit etmek açısından kritik öneme sahiptir.

Bu bölümde; literatürde sık olarak tercih edilen EKKY, KA ve YSA algoritmaları kullanılarak tüm kablolar için, ölçüm maliyetlerinin önüne geçmek amacıyla ara değer tahmin ve bakım faaliyetlerinin planlanabilmesi için de dış değer tahmin analizleri yapılmıştır. 12/20.8 kV kablolar için ara değer ve dış değer analiz sonuçları sunulmuştur.



Şekil 6.1 Analiz uygulamalarının şematik gösterimi

Yapılan analiz çalışmasının şematik gösterimi Şekil 6.1'de paylaşılmıştır. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde ve analiz edilmesinde kullanılan yöntemlerin doğru bir şekilde kıyaslanabilmesi için yöntemlere ait niteliklerin detaylı olarak belirtilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, kullanılan algoritmaların ve yöntemlerin yapısal özelliklerine ait seçilen parametreler Tablo 6.1'de detaylı olarak görülmektedir. Tabloda belirtilen parametreler 5 denemeden sonra en iyi sonuç veren varyasyonlardan seçilmiştir.

Tablo 6.1 Algoritmaların yapısal özellikleri

Yöntem	**Eğri Uydurma (EU)**	**Karar Ağaçları (KA)**	**Yapay Sinir Ağları (YSA)**
Yazılım	MATLAB	Python	MATLAB
Tür	En Küçük Kareler	Gradient Boosting	Levenberg–Marquardt
Bileşen	-	Ağaç Sayısı 1000	Gizli Katman Sayısı 10

Gerçekleştirilen analiz çalışması sonucunda, tüm algoritmaların sonuç verileri ayrı bir dosyaya aktarılmış ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ile yöntemlerin başarı oranı kıyaslanmıştır.

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{|A_j - P_j|}{|A_j|} \tag{6.1}$$

Denklem 6.1'de, A_j ölçülen değeri, P_j tahmin edilen değeri, n veri sayısını göstermektedir. MAPE istatistiği, farklı birim değerlere sahip modellerin karşılaştırılmasında ortaya çıkabilecek dezavantajları elimine etmektedir.

6.1 Veri Setinin Oluşturulması

Kablo numuneleri ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler tahmin algoritmalarında kullanılmak üzere üç bölüm olacak şekilde sınıflandırılarak düzenlenmiştir. Birinci bölüm, kablo hakkındaki bilgileri içermektedir. Bu bilgiler;

kablo numune numarası, kablonun anma gerilimi, kablonun kesiti ve kablo başlığının bulunma durumu olmak üzere dört kısımdan oluşturulmuştur. Başlıklı kablo numuneleri “1” olarak, başlıksız kablo numuneleri “0” olarak kodlanmıştır. Kablo bilgilerinin oluşturmasına örnek olması açısında birkaç veri Tablo 6.2’de paylaşılmıştır.

Tablo 6.2 Kablo bilgilerine ait veri örneği

Numune No	Anma Gerilimi (kV)	Kesit (mm^2)	Kablo Başlığı
1	12	150	0
2	12	25	1
3	6	95	1

İkinci bölüm yaşlandırma hakkındaki bilgileri içermektedir. Tablo 6.3’te tüm verileri temsilen birkaç örnek veri görülmektedir. Bu veriler, yaşlandırma tipi, yaşlandırma gerilimi, yaşlandırma çevrim sayısı ve yaşlandırma çevrim süresi olmak üzere dört kısımdan oluşturulmuştur. Yaşlandırma tipi, alternatif yüksek gerilim için “0” ve darbe gerilimi için “1” olarak kodlanmıştır. Yaşlandırma çevrimi sayısı sıfırdan başlayarak son çevrim sayısına kadar arttırılarak devam ettirilmiştir. Yaşlandırma çevrim zamanı toplam çevrim süresi olarak hesaplanmış ve dakika birimi ile kullanılmıştır. Örneğin, alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma için çevrim sayısı 1 olduğunda çevrim zamanı 15 dakika, çevrim sayısı 2 olduğunda ise çevrim zamanı 30 dakika olarak girilmiştir.

Tablo 6.3 Yaşlandırma bilgilerine ait veri örneği

Yaşlandırma Tipi	Yaşlandırma Gerilimi (kV)	Çevrim Sayısı	Çevrim Süresi
0	60	0	0
0	60	1	15
0	60	2	30
1	50	1	60

Üçüncü bölüm yaşlandırma hakkındaki bilgileri içermektedir. Bu bilgiler; ölçüm gerilimi, ölçüm frekansı, dielektrik kayıp ölçüm sonucu, dielektrik kayıp faktörü ölçüm sonucu ve kablo kapasitesi ölçüm sonucu olmak üzere beş kısımdan oluşturulmuştur. Ölçüm gerilimi, 2-12 kV arasında 2'şer kV kademeler halinde ve ölçüm frekansı da 50-400 Hz arasında 50'şer Hz kademeler ile değişmektedir. Verilere ait örneklerden birkaçı Tablo 6.4'te sunulmuştur.

Tablo 6.4 Ölçüm bilgileri verisi

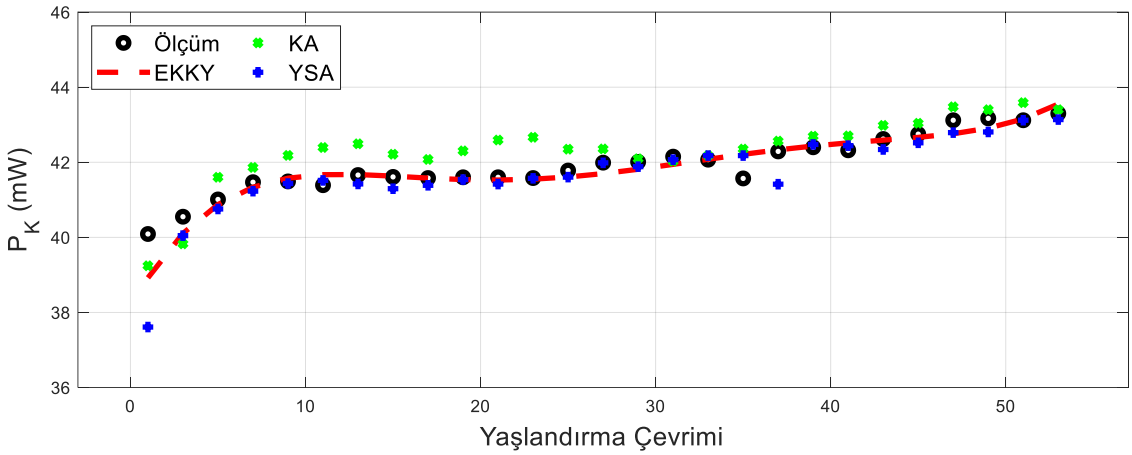
Ölçüm Gerilimi (kV)	Ölçüm Frekansı (Hz)	Dielektrik Kayıp (mW)	Dielektrik Kayıp Faktörü	Kablo Kapasitesi (pF)
2	50	2.9	0.0028	841.1
2	150	15.1	0.0022	841.1
12	250	460.3	0.0024	841.5

6.2 Ara Değer Analizi

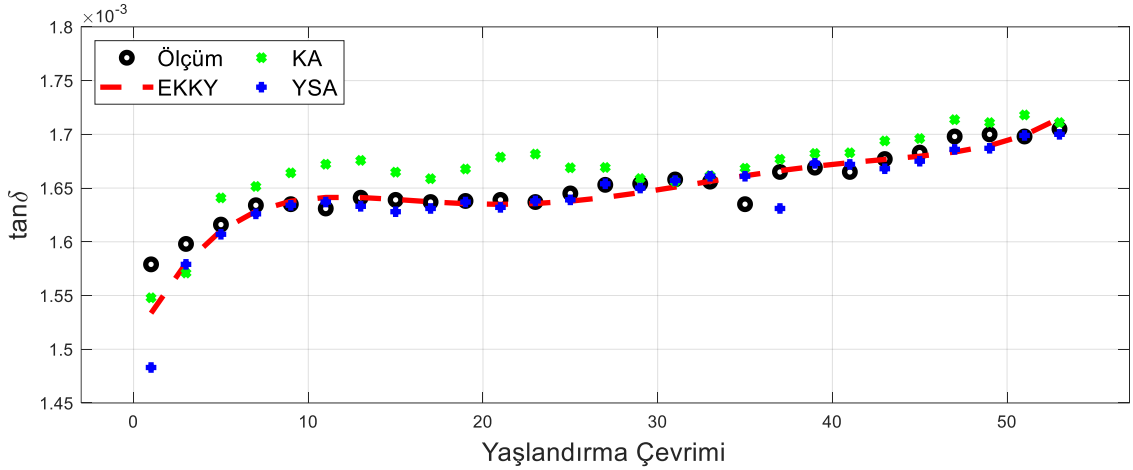
Bu bölümde, deneysel uygulamalardan elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak, P_K, tanδ ve C dielektrik parametrelerinin ara değer tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu senaryonun amacı, tahmin edilen değerler ile birlikte, kablonun davranışını öngörerek uzun ölçüm süreleri ve maliyetlerinin önüne geçmektir.

6.2.1 Senaryo A-1: $3*U_0$ Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Ara Değer Analizi

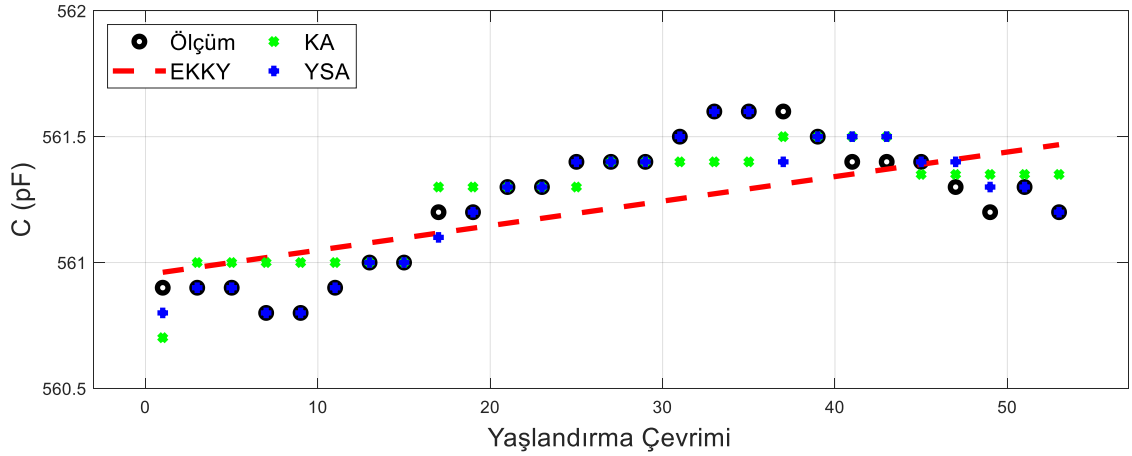
36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV kablo numunesi için 55 yaşlandırma çevrimi boyunca elde edilen ölçüm sonuçlarından, 0-2-4-…-52-54-55 gibi çevrim sayılarındaki ölçüm verileri kullanılarak algoritmalar eğitilmiştir. 1-3-5-…-51-53 gibi tek çevrim sayılarındaki ölçüm sonuçları tahmin edilmiştir. EKKY, KA ve YSA yöntemleri ile yapılan tahmin analizlerinin sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.2'de sunulmuştur. EKKY için oluşturulan fonksiyonların bağıntıları, P_K için Denklem 6.2'de, tanδ için Denklem 6.3'te ve C için Denklem 6.4'te verilmiştir. Tahmin sonuçlarına ait veriler Tablo 6.5'te paylaşılmıştır.



(a) P_K ara değer analiz sonuçları



(b) tanδ ara değer analiz sonuçları



(c) C ara değer analiz sonuçları

Şekil 6.2 3*U_0 alternatif YG ile yaşlandırılan kabloda ara değer tahmini

Şekil 6.2a'da P_K ara değer analiz sonuçları görülmektedir. 1. yaşlandırma verisi tahmininde, üç yöntemin de tahmin sonuçlarının ölçüm değerinden oldukça farklı olduğu görülmektedir. 40.09 mW değerini EKKY 38.92, KA 39.24, YSA ise 37.64 olarak tahmin etmiştir. 5 ve 30 aralığındaki yaşlandırma verisi için KA algoritmasının ölçülen değerden daha fazla kayıp öngördüğü gözlemlenmiştir. Tahmin analizinde, maksimum hata oranları, EKKY için %2.91, KA için %2.60 ve YSA için de %6.18 olarak elde edilmiştir. Ara değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %0.47 - %1.22 - %0.73 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.2b'deki tanδ tahmin analizi sonuçlarına göre, ilk yaşlandırma sonunda 0.001579 olan tanδ değerini EKKY 0.001534, KA 0.001548, YSA ise 0.001483 olarak tahmin etmiştir. 30 ve 53 çevrim aralığındaki yaşlandırma verisi için her üç yöntemin de çok düşük hata ile tahmin gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Tahmin analizinde, maksimum hata oranları, EKKY için %2.88, KA için %2.73 ve YSA için de %6.08 olarak elde edilmiştir. Ara değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %0.47 - %1.31 - %0.70 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.2c'de C değerine ait ara değer analizi sonuçları sunulmuştur. C değerinin yaklaşık sabit kalmasından dolayı, her üç yöntemin de çok düşük hata ile tahmin gerçekleştirdiği ortaya çıkmıştır. MAPE değerinin; EKKY için %0.03, KA için %0.02 ve YSA için de %0.01 olduğu görülmüştür.

$$f(x) = 3.47 \cdot 10^{-7} \cdot x^5 - 5.25 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 + 2.96 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 0.753 \cdot x^2 + 0.8556 \cdot x + 38.14 \tag{6.2}$$

$$f(x) = 1.37 \cdot 10^{-11} \cdot x^5 - 2.07 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 + 1.17 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 2.98 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + 3.4 \cdot 10^{-5} \cdot x + 1.5 \cdot 10^{-3} \tag{6.3}$$

$$f(x) = 9.75 \cdot 10^{-3} \cdot x + 560.95 \tag{6.4}$$

Tablo 6.5 Senaryo A-1 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	1	40.09	38.92	39.24	37.61
	11	41.39	41.67	42.39	41.52
	21	41.60	41.53	42.59	41.42
	31	42.15	41.94	42.03	42.07
	41	42.32	42.52	42.70	42.44
	51	43.12	43.15	43.59	43.12
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.47**	**%1.22**	**%0.73**
tanδ	1	0.001579	0.001534	0.001548	0.001483
	11	0.001631	0.001641	0.001672	0.001637
	21	0.001639	0.001635	0.001679	0.001632
	31	0.001658	0.001651	0.001656	0.001657
	41	0.001665	0.001674	0.001683	0.001672
	51	0.001698	0.001699	0.001718	0.001699
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.47**	**%.1.31**	**%0.70**
C (pF)	1	560.90	560.96	560.70	560.80
	11	560.90	561.06	561.00	560.90
	21	561.30	561.16	561.30	561.30
	31	561.50	561.25	561.40	561.50
	41	561.40	561.35	561.50	561.50
	51	561.30	561.45	561.35	561.30
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.03**	**%0.02**	**%0.01**

6.2.2 Senaryo A-2: 5*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Ara Değer Analizi

60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV kablo numunesi için 80 yaşlandırma çevrimi boyunca elde edilen ölçüm sonuçlarından, 0-2-4-…-78-80

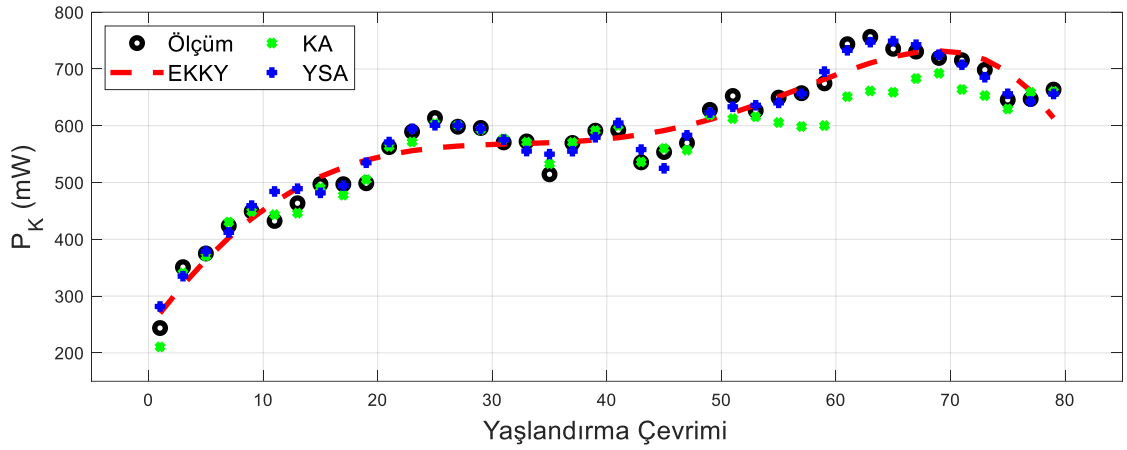
gibi çift çevrim sayılarındaki ölçüm verileri kullanılarak algoritmalar eğitilmiştir. 1-3-5-…-77-79 gibi tek çevrim sayılarındaki ölçüm sonuçları tahmin edilmiştir. EKKY, KA ve YSA yöntemleri ile yapılan tahmin analizlerinin sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.3'te sunulmuştur.

Şekil 6.2a'da sunulan P_K ara değer analiz sonuçlarında 50. yaşlandırma çevriminden sonra, KA yönteminin tahmin performansı tanδ'deki değişime uygun olmasına rağmen, hata oranları artmakadır. YSA ve EKKY'nin tahmin performansları bu bölgede daha tutarlıdırAra değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %4.41 - %3.71 - %2.79 olarak hesaplanmıştır.

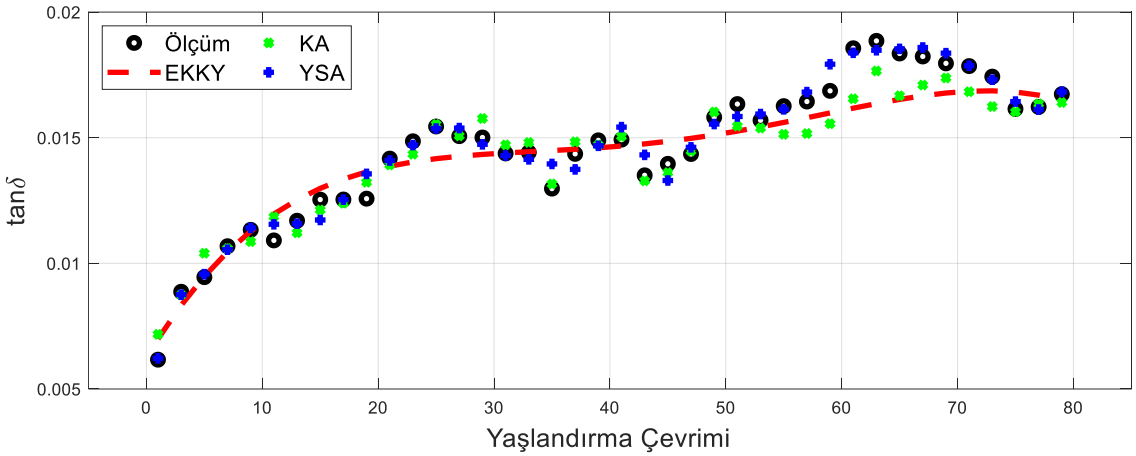
Şekil 6.3b'deki tahmin analizi sonuçlarına göre, tanδ değerindeki değişim yaklaşık doğrusal olduğundan, 25. yaşlandırma çevrimine kadar her üç yöntemin tahmin performanslarının yüksek doğruluğa sahip görülmektedir. 25. çevrimden sonra, YSA ve KA yöntemlerinin tanδ'deki artış ve azalmaya göre kablo davranışını izleyebildiği görülmüştür. Örneğin, 25. çevrimden 36. çevrime kadar tanδ azalır ve 36. yaşlandırma çevriminden 42. yaşlandırma çevrimine kadar yükselir. Bu çevrimler arasında YSA ve KA yöntemlerinin tahmin performansları tanδ'deki değişimlere oldukça benzerdir. Ara değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %5.37 - %4.15 - %2.30 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.3c'de C değerine ait ara değer analizi sonuçları sunulmuştur. C değerinin yaklaşık sabit kalmasından dolayı, her üç yöntemin de çok düşük hata ile tahmin gerçekleştirdiği ortaya çıkmıştır. MAPE değerinin; EKKY için %0.09, KA için %0.04 ve YSA için de %0.04 olduğu görülmüştür.

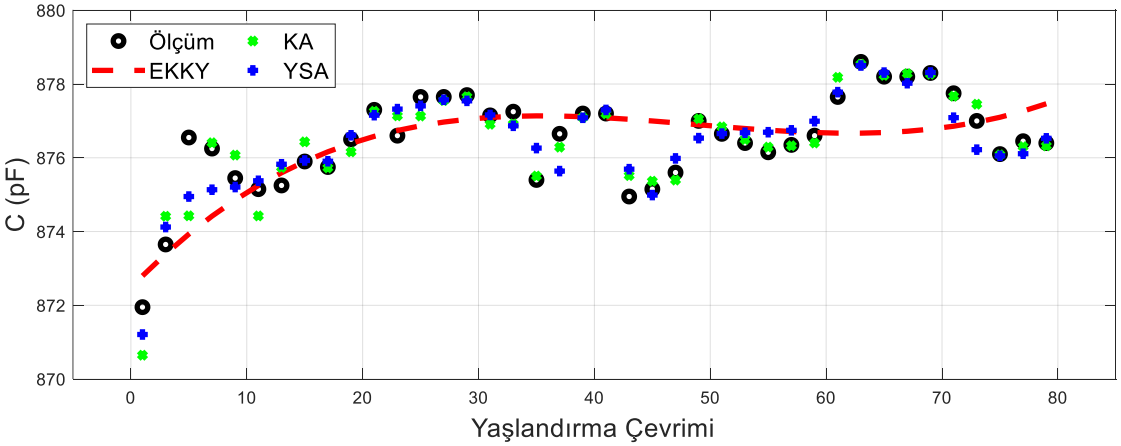
EKKY için oluşturulan fonksiyonların bağıntıları, P_K için Denklem 6.5'te, tanδ için Denklem 6.6'da ve C için Denklem 6.7'de verilmiştir. Tahmin sonuçlarına ait veriler Tablo 6.6'da paylaşılmıştır.



(a) P_K ara değer analiz sonuçları



(b) tanδ ara değer analiz sonuçları



(c) C ara değer analiz sonuçları

Şekil 6.3 5*U_0 alternatif YG ile yaşlandırılan kabloda ara değer tahmini

$$f(x) = -2.19 \cdot 10^{-6} \cdot x^5 + 2.68 \cdot 10^{-4} \cdot x^4 - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 0.642 \cdot x^2 + 27.33 \cdot x + 243.325 \quad (6.5)$$

$$f(x) = -2.34 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 + 4.31 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 2.76 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0.775 \cdot 10^{-3} \cdot x + 6.25 \cdot 10^{-3} \quad (6.6)$$

$$f(x) = 0.677 \cdot x^3 - 0.743 \cdot x^2 - 0.36 \cdot x + 877.1 \quad (6.7)$$

Tablo 6.6 Senaryo A-2 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	1	243.745	270.011	210.494	281.723
	11	432.345	465.765	443.489	484.303
	31	570.705	567.716	577.030	575.327
	51	652.445	623.037	612.627	633.369
	71	715.450	728.332	663.872	707.468
	ORT. HATA ORANLARI		**%4.41**	**%3.71**	**%2.79**
tanδ	1	0.0061675	0.006992	0.0071755	0.0062199
	11	0.0109140	0.011962	0.0118539	0.0115556
	31	0.0143740	0.014393	0.0147145	0.0142922
	51	0.0163400	0.015263	0.0154647	0.0158438
	71	0.0178510	0.016849	0.0168313	0.0178660
	ORT. HATA ORANLARI		**%5.37**	**%4.15**	**%2.30**
C (pF)	1	872.0	872.8	870.6	871.2
	11	875.2	875.2	874.4	875.4
	31	877.2	877.1	876.9	877.2
	51	876.7	876.8	876.8	876.7
	71	877.8	876.9	877.7	877.1
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.09**	**%0.04**	**%0.04**

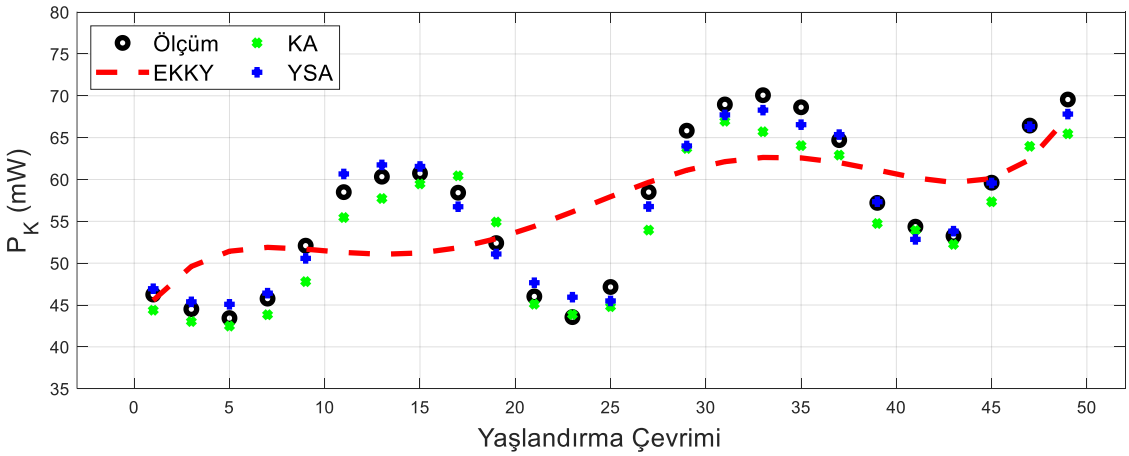
6.2.3 Senaryo A-3: Darbe Gerilimi İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Ara Değer Analizi

50 kV (1.2/50 μs, [+]) darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV kablo numunesi için 50 yaşlandırma çevrimi boyunca elde edilen ölçüm sonuçlarından, 0-2-4-…-48-50 gibi çift çevrim sayılarındaki ölçüm verileri kullanılarak algoritmalar eğitilmiştir. 1-3-5-…-47-49 gibi tek çevrim sayılarındaki ölçüm sonuçları tahmin edilmiştir. EKKY, KA ve YSA yöntemleri ile yapılan tahmin analizlerinin sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.4'te sunulmuştur.

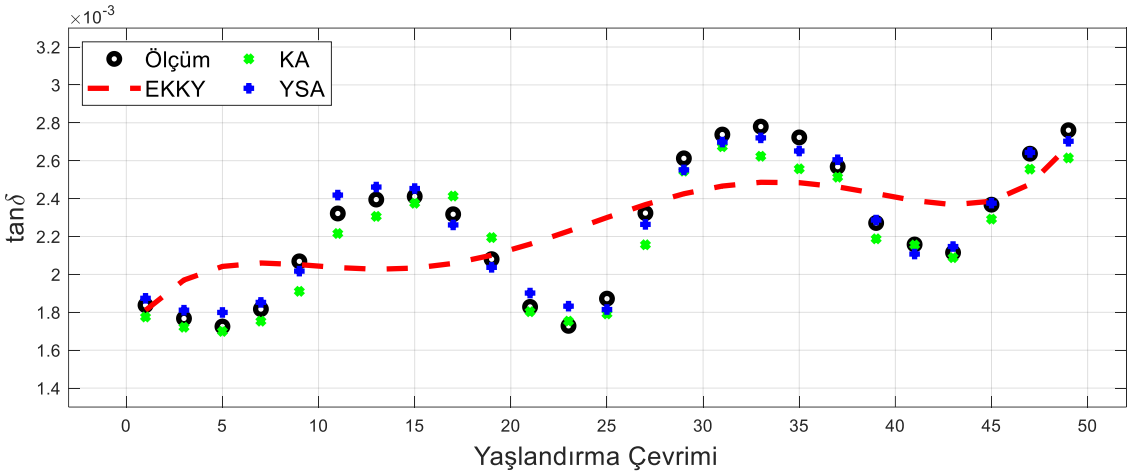
Şekil 6.4a'da P_K ara değer analiz sonuçları görülmektedir. Ölçüm verilerinin oldukça değişken olduğu ve bu verileri 5. dereceden polinom olan EKKY'nin öngörmek de zorlandığı gözlemlenmiştir. KA ve YSA algoritmalarının ise ölçüm verilerini yüksek başarı ve düşük hata oranları ile izlediği görülmüştür. Fakat, EKKY algoritmasının kablonun dielektrik davranışını temsil ettiğine vurgu yapılmalıdır. Tahmin analizinde, maksimum hata oranları, EKKY için %29.1, KA için %8.2 ve YSA için de %5.5 olarak elde edilmiştir. Ara değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %10.13 - %3.99 - %2.31 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 6.2b'deki tanδ tahmin analizi sonuçlarına göre, ilk yaşlandırma sonunda 0.001838 olan tanδ değerini EKKY 0.001810, KA 0.001775, YSA ise 0.001874 olarak tahmin etmiştir. 11 ve 27 çevrim aralığındaki yaşlandırma verisi için EKKY yöntemin maksimum hata ile tahmin gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Tahmin analizinde, maksimum hata oranları, EKKY için %29, KA için %7.6 ve YSA için de %6 olarak elde edilmiştir. Ara değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %10.12 - %3.51 - %2.37 olarak hesaplanmıştır.

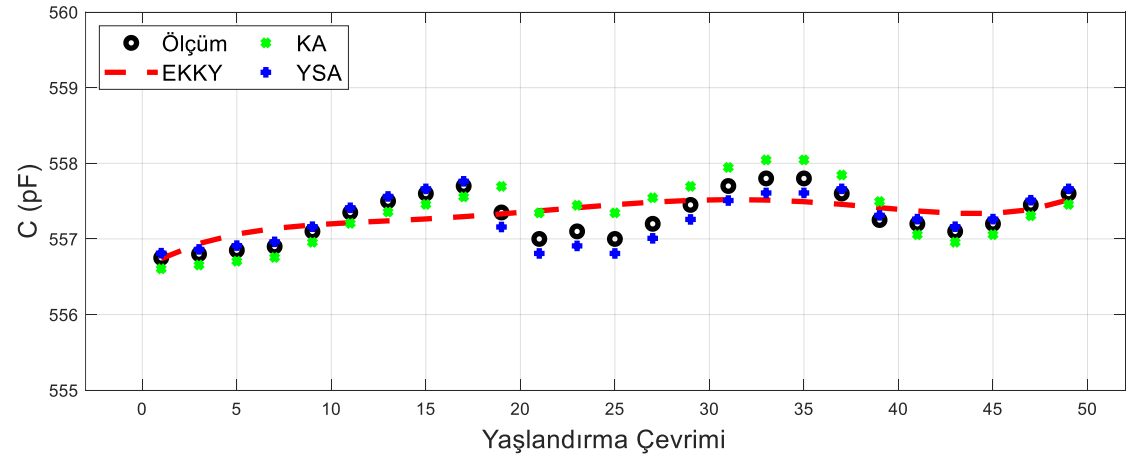
Şekil 6.2c'de C değerine ait ara değer analizi sonuçları sunulmuştur. MAPE değerinin; EKKY için %0.04, KA için %0.04 ve YSA için de %0.01 olduğu görülmüştür. EKKY için oluşturulan fonksiyonların bağıntıları, P_K için Denklem 6.8'de, tanδ için Denklem 6.9'da ve C için Denklem 6.10'da verilmiştir. Tahmin sonuçlarına ait veriler Tablo 6.7'de paylaşılmıştır.



(a) P_K ara değer analiz sonuçları



(b) tanδ ara değer analiz sonuçları



(c) C ara değer analiz sonuçları

Şekil 6.4 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan kabloda ara değer tahmini

$$f(x) = 5.32 \cdot 10^{-6} \cdot x^5 - 6.47 \cdot 10^{-4} \cdot x^4 + 27.7 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 0.49 \cdot x^2 + 3.66 \cdot x + 42.363 \quad (6.8)$$

$$f(x) = 2.11 \cdot 10^{-10} \cdot x^5 - 2.56 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 + 1.1 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 - 1.95 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 1.45 \cdot 10^{-4} \cdot x + 1.69 \cdot 10^{-3} \quad (6.9)$$

$$f(x) = 1.44 \cdot 10^{-7} \cdot x^5 - 1.77 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 + 7.76 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 - 0.015 \cdot x^2 + 0.152 \cdot x + 556.6 \quad (6.10)$$

Tablo 6.7 Senaryo A-3 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları

Parametre	Yaşlandırma	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	9	52.09	51.67	47.79	50.57
	19	52.40	52.93	54.91	51.10
	29	65.83	61.11	63.70	64.01
	39	57.21	61.13	54.74	57.34
	49	69.56	67.46	65.46	67.82
	ORT. HATA ORANLARI		**%10.13**	**%3.99**	**%2.31**
tanδ	9	0.002069	0.002052	0.001911	0.002017
	19	0.002081	0.002101	0.002194	0.002037
	29	0.002613	0.002426	0.002545	0.002552
	39	0.002272	0.002427	0.002188	0.002287
	49	0.002761	0.002677	0.002615	0.002703
	ORT. HATA ORANLARI		**%10.12**	**%3.51**	**%2.37**
C (pF)	9	557.10	557.19	556.96	557.16
	19	557.35	557.33	557.69	557.16
	29	557.45	557.51	557.69	557.26
	39	557.25	557.41	557.49	557.31
	49	557.60	557.52	557.46	557.66
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.04**	**%0.04**	**%0.02**

6.3 Dış Değer Analizi

Bu bölümde, deneysel uygulamalardan elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak, P_K, tanδ ve C dielektrik parametrelerinin dış değer tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu senaryoda, tahmin edilen değerler yardımıyla, kablonun geleceğini tahmin ederek arızaların öngörülmesi ve bakım faaliyetlerinin planlanması amaçlanmıştır.

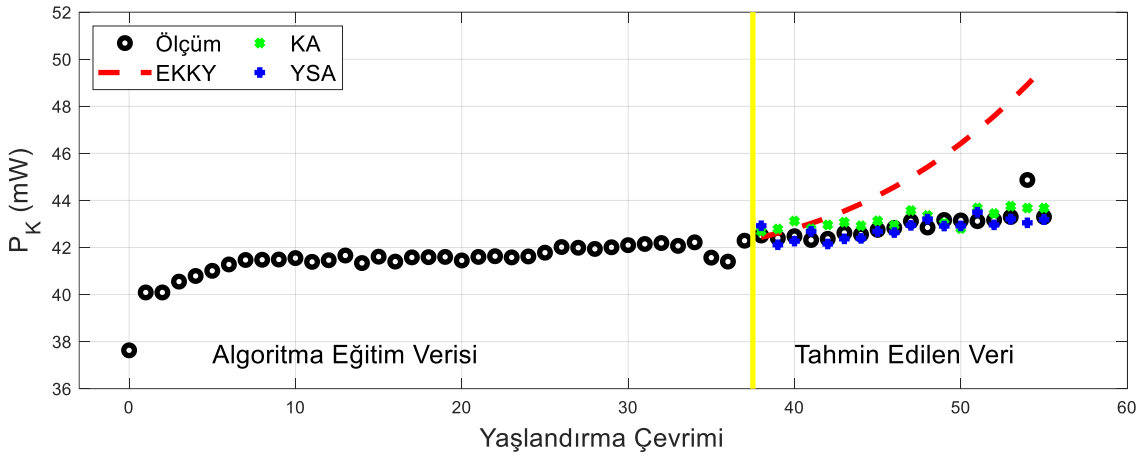
6.3.1 Senaryo D-1: $3*U_0$ Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dış Değer Analizi

36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV kablo numunesi için 55 yaşlandırma çevrimi boyunca elde edilen ölçüm sonuçlarından, toplam çevrim sayısın %67 oranındaki ölçüm verileri kullanılarak algoritmalar eğitilmiştir. Çevrim sayılarındaki sona kalan %33 ölçüm sonuçları tahmin edilmiştir. EKKY, KA ve YSA yöntemleri ile yapılan tahmin analizlerinin sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.5'te sunulmuştur.

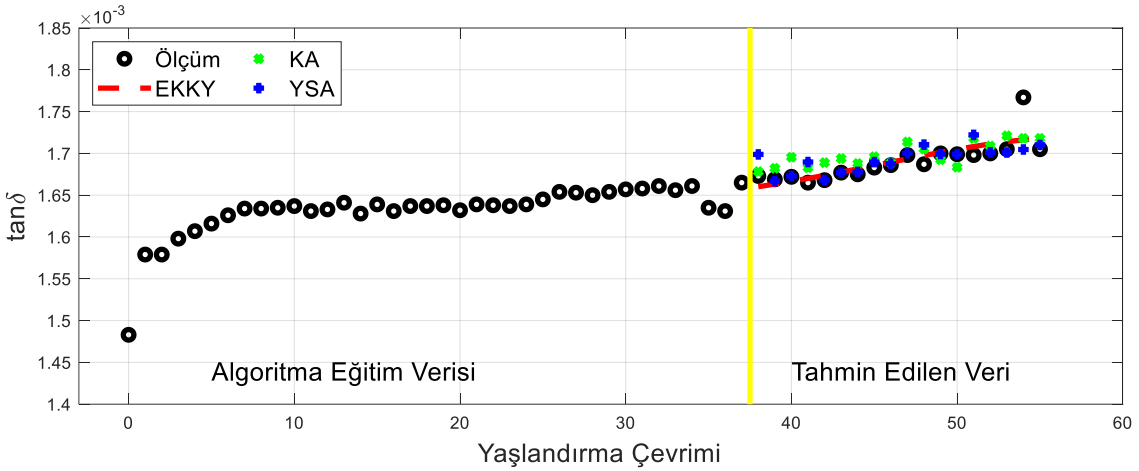
Şekil 6.5a'da P_K dış değer analiz sonuçları görülmektedir. 38-55 arasındaki çevrim sayılarının dış değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %5.36 - %1.02 - %0.74 olarak hesaplanmıştır. Üçüncü dereceden polinom olarak oluşturulan EKKY fonksiyonunun gerçekleşenden fazla kayıp artışı öngördüğü gözlemlenmiştir.

Şekil 6.5b'deki tanδ tahmin analizi sonuçlarına göre, dış değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %0.53 - %0.95 - %0.61 olarak hesaplanmıştır. Burada, EKKY algoritmasının fonksiyonu 4. dereceden polinom olarak tercih edilmiştir. Her üç yöntemin de düşük hata oranı ile başarılı bir performans sergilediği ortaya çıkmıştır.

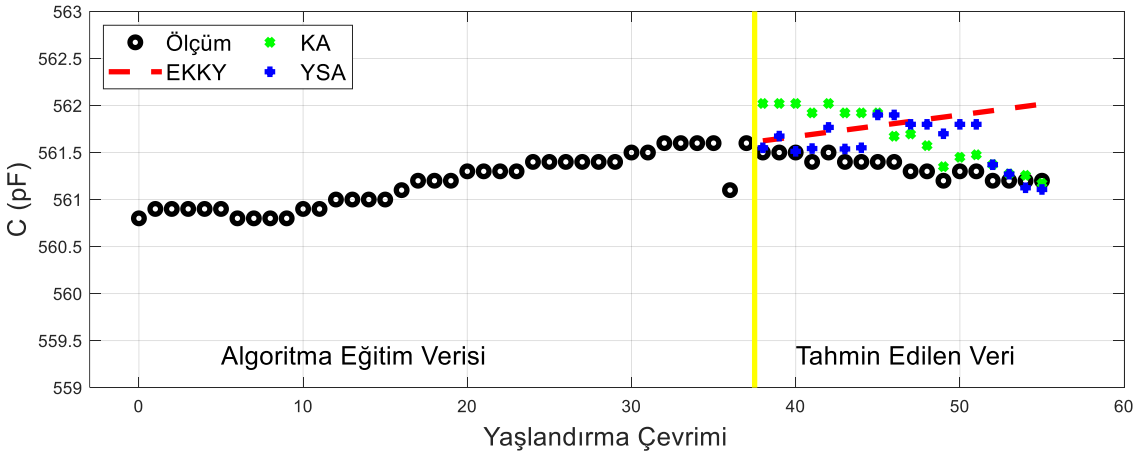
Şekil 6.5c'de C değerine ait dış değer analizi sonuçları sunulmuştur. C değerinin değişimi için oluşturulan EKKY fonksiyonu doğrusaldır. Analiz sonucunda, MAPE değerinin; EKKY için %0.08, KA için %0.06 ve YSA için de %0.05 olduğu görülmüştür. EKKY için oluşturulan fonksiyonların bağıntıları, P_K için Denklem 6.11'de, tanδ için Denklem 6.12'de ve C için Denklem 6.13'te verilmiştir. Tahmin sonuçlarına ait veriler Tablo 6.8'de paylaşılmıştır.



(a) P_K dış değer analiz sonuçları



(b) tanδ dış değer analiz sonuçları



(c) C dış değer analiz sonuçları

Şekil 6.5 3*U_0 alternatif YG ile yaşlandırılan kabloda dış değer tahmini

$$f(x) = 2.46 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 - 0.0167 \cdot x^2 + 0.363 \cdot x + 39.24 \quad (6.11)$$

$$f(x) = -1.6 \cdot 10^{-10} \cdot x^4 + 2.14 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 - 9.41 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot x + 1.54 \cdot 10^{-3} \quad (6.12)$$

$$f(x) = 22.97 \cdot 10^{-3} \cdot x + 560.75 \quad (6.13)$$

Tablo 6.8 Senaryo D-1 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	40	42.48	42.80	43.12	42.27
	45	42.75	44.20	43.13	42.68
	50	43.15	46.42	42.80	42.92
	55	43.30	49.66	43.68	43.19
	ORT. HATA ORANLARI		**%5.36**	**%1.02**	**%0.74**
tanδ	40	0.001672	0.001667	0.001695	0.001673
	45	0.001683	0.001685	0.001696	0.001690
	50	0.001699	0.001705	0.001683	0.001699
	55	0.001705	0.001718	0.001718	0.001710
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.53**	**%.0.95**	**%0.61**
C (pF)	40	561.50	561.67	562.02	561.51
	45	561.40	561.78	561.92	561.90
	50	561.30	561.90	561.45	561.80
	55	561.20	562.01	561.17	561.11
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.08**	**%0.06**	**%0.05**

6.3.2 Senaryo D-2: 5*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dış Değer Analizi

60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV kablo numunesi için 80 yaşlandırma çevrimi boyunca elde edilen ölçüm sonuçlarından, toplam çevrim sayısın %67 oranındaki ölçüm verileri kullanılarak algoritmalar eğitilmiştir. Çevrim sayılarındaki sona kalan %33 ölçüm sonuçları tahmin edilmiştir. EKKY, KA ve YSA yöntemleri ile yapılan tahmin analizlerinin sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.6'da sunulmuştur.

Şekil 6.6a'da P_K dış değer analiz sonuçları görülmektedir. 55-80 arasındaki çevrim sayılarının dış değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %35.67 - %3.40 - %2.07 olarak hesaplanmıştır. Üçüncü dereceden polinom olarak oluşturulan EKKY fonksiyonunun gerçekleşenden fazla kayıp artışı öngördüğü gözlemlenmiştir.

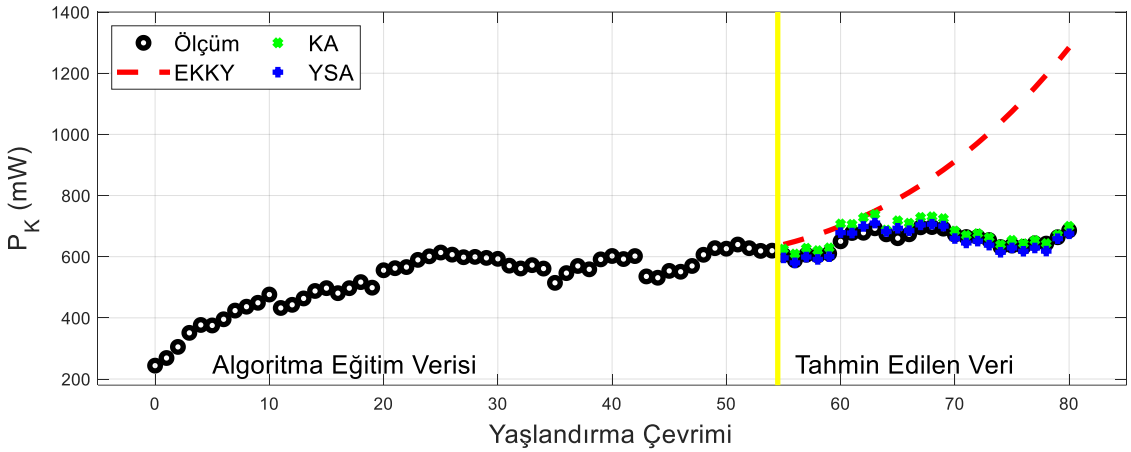
Şekil 6.6b'deki tanδ tahmin analizi sonuçlarına göre, dış değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %37.13 - %4.04 - %2.04 olarak hesaplanmıştır. EKKY kullanımının sakıncalı olacak hatalı yorumlamalara sebep olabileceği gözlemlenmiştir. Burada, KA ve YSA algoritmalarının yaşlandırmaya bağlı olarak kablonun dielektrik davranışını öngörebildiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Şekil 6.6c'de C değerine ait dış değer analizi sonuçları sunulmuştur. C değerinin değişimi için oluşturulan EKKY fonksiyonu kübiktir. Analiz sonucunda, MAPE değerinin; EKKY için %0.29, KA için %0.08 ve YSA için de %0.02 olduğu görülmüştür. EKKY için oluşturulan fonksiyonların bağıntıları, P_K için Denklem 6.14'te, tanδ için Denklem 6.15'te ve C için Denklem 6.16'da verilmiştir. Tahmin sonuçlarına ait veriler Tablo 6.9'da paylaşılmıştır.

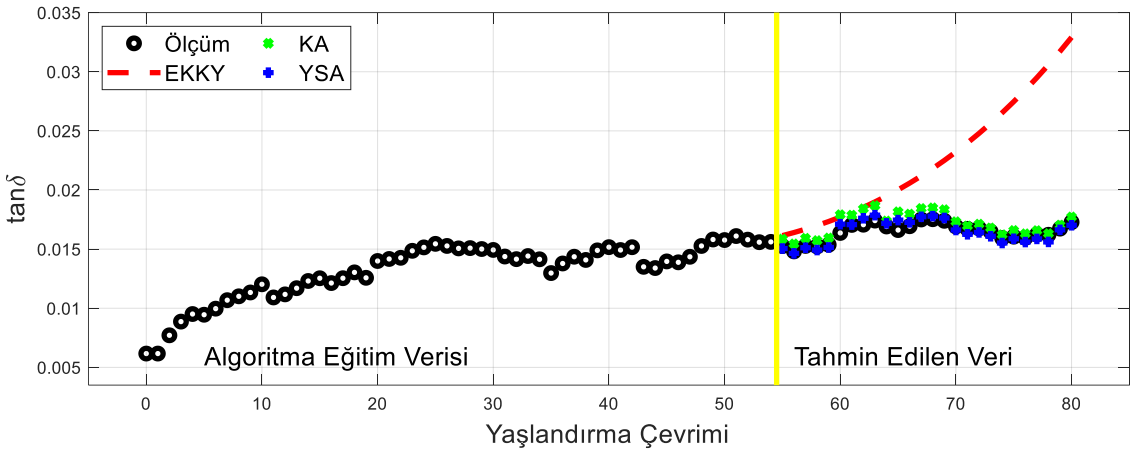
$$f(x) = 7.56 \cdot 10^{-3} \cdot x^3 - 0.786 \cdot x^2 + 27.435 \cdot x + 252.27 \quad (6.14)$$

$$f(x) = 1.96 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 2.04 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 7.07 \cdot 10^{-4} \cdot x + 6.245 \cdot 10^{-3} \quad (6.15)$$

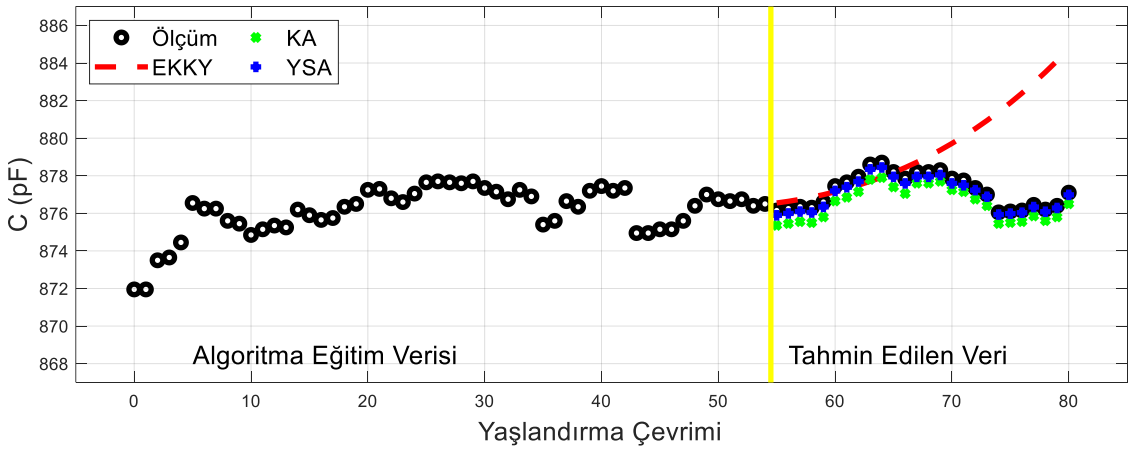
$$f(x) = 1.21 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 - 0.0131 \cdot x^2 + 0.4257 \cdot x + 872.668 \quad (6.16)$$



(a) P_K dış değer analiz sonuçları



(b) tanδ dış değer analiz sonuçları



(c) C dış değer analiz sonuçları

Şekil 6.6 5*U_0 alternatif YG ile yaşlandırılan kabloda dış değer tahmini

Tablo 6.9 Senaryo D-2 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	55	605.655	639.789	624.859	596.087
	60	650.335	699.858	707.144	678.708
	65	660.510	788.633	717.421	692.976
	70	672.360	911.784	684.039	659.450
	75	636.565	1074.979	653.511	628.835
	80	685.830	1283.887	699.346	674.852
	ORT. HATA ORANLARI		**%35.67**	**%3.40**	**%2.07**
tanδ	55	0.015258	0.016143	0.015849	0.015049
	60	0.016368	0.017705	0.017909	0.017109
	65	0.016612	0.020016	0.018154	0.017454
	70	0.016915	0.023222	0.017316	0.016616
	75	0.016053	0.027473	0.016576	0.015876
	80	0.017280	0.032914	0.017719	0.017019
	ORT. HATA ORANLARI		**%37.13**	**%.4.04**	**%2.04**
C (pF)	55	876.2	876.6	875.4	875.9
	60	877.5	877.1	876.7	877.2
	65	878.2	878.2	877.4	877.9
	70	877.9	879.7	877.3	877.6
	75	876.1	881.9	875.5	876.0
	80	877.1	884.8	876.5	877.0
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.29**	**%0.08**	**%0.02**

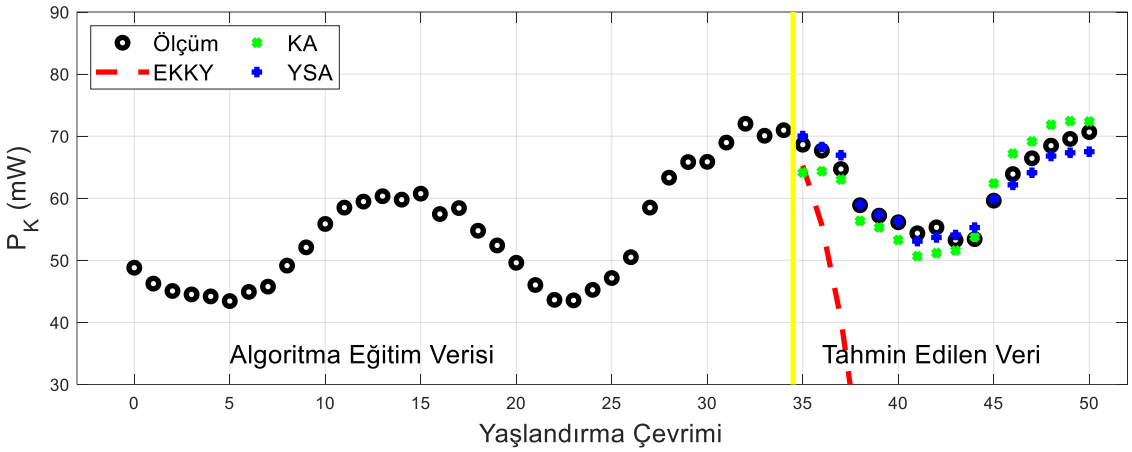
6.3.3 Senaryo D-3: Darbe Gerilimi İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dış Değer Analizi

50 kV darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV kablo numunesi için 50 yaşlandırma çevrimi boyunca elde edilen ölçüm sonuçlarından, toplam çevrim sayısın %67 oranındaki ölçüm verileri kullanılarak algoritmalar eğitilmiştir. Çevrim sayılarındaki sona kalan %33 ölçüm sonuçları tahmin edilmiştir. EKKY, KA ve YSA yöntemleri ile yapılan tahmin analizlerinin sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.7'de sunulmuştur.

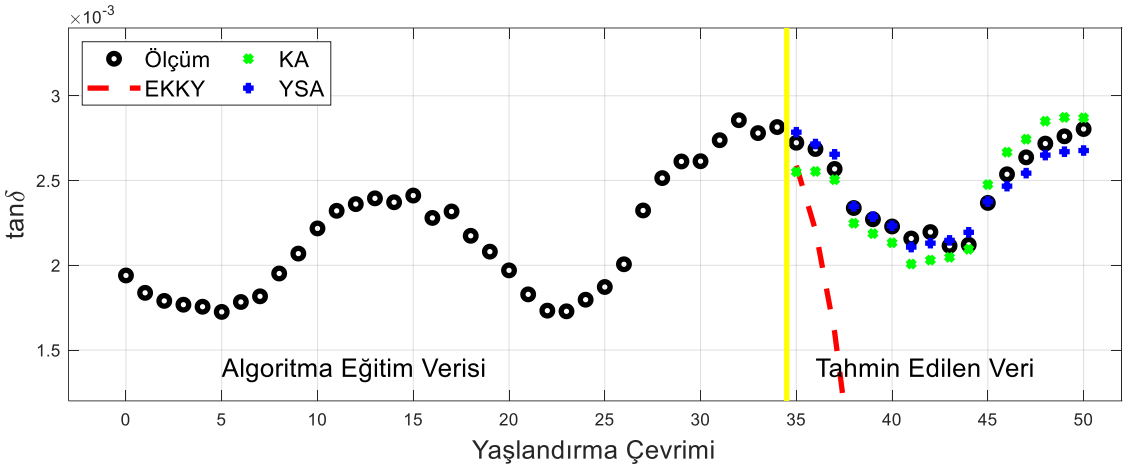
Şekil 6.7a'da P_K dış değer analiz sonuçları görülmektedir. 35-50 arasındaki çevrim sayılarının dış değer analizi sonucunda, EKKY, KA ve YSA algoritmalarına ait MAPE oranları sırasıyla, %719 - %4.39 - %2.13 olarak hesaplanmıştır. Beşinci dereceden polinom olarak oluşturulan EKKY fonksiyonunun ölçüm verilerinden alternatif yüksek derecede uzaklaştığı ve mantıksız bir kablo davranışı öngördüğü gözlemlenmiştir.

Şekil 6.7b'deki tanδ tahmin sonuçlarına göre, dış değer analizi sonucunda MAPE değerinin; EKKY için %719.31, KA için %4.35 ve YSA için de %2.11 olduğu görülmüştür. EKKY kullanımının mantıksız yorumlamalara sebep olabileceği ortaya çıkmıştır. Burada, KA ve YSA algoritmalarının yaşlandırmaya bağlı olarak kablonun dielektrik davranışını daha tutarlı bir şekilde öngörebildiği sonucu elde edilmiştir.

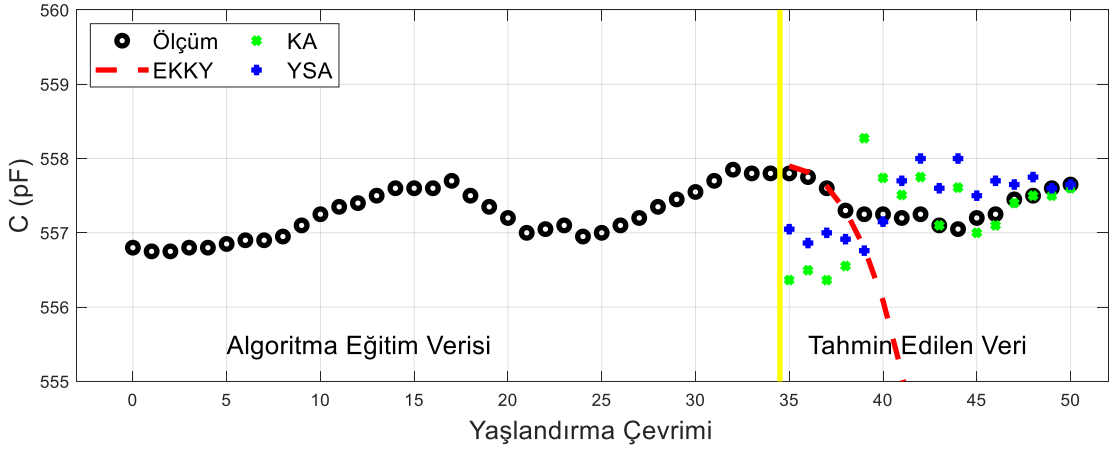
Şekil 6.7c'de C değerine ait dış değer analizi sonuçları sunulmuştur. C değerinin değişimi için oluşturulan EKKY fonksiyonu beşinci dereceden polinom olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda, MAPE değerinin; EKKY için %1.55, KA için %0.09 ve YSA için de %0.08 olduğu görülmüştür. EKKY için oluşturulan fonksiyonların bağıntıları, P_K için Denklem 6.17'de, tanδ için Denklem 6.18'de ve C için Denklem 6.19'da verilmiştir. Tahmin sonuçlarına ait veriler Tablo 6.10'da paylaşılmıştır.



(a) P_K dış değer analiz sonuçları



(b) tanδ dış değer analiz sonuçları



(c) C dış değer analiz sonuçları

Şekil 6.7 Darbe gerilimi ile yaşlandırılan kabloda dış değer tahmini

Tablo 6.10 Senaryo D-3 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	35	68.63	65.263	64.135	70.024
	40	56.13	-52.486	53.274	56.263
	45	59.62	-478.988	62.386	59.866
	50	70.66	-1526.003	72.373	67.500
	ORT. HATA ORANLARI		**%719**	**%4.39**	**%2.13**
tanδ	35	0.002723	0.002588	0.002551	0.002785
	40	0.002229	-0.002090	0.002133	0.002233
	45	0.002368	-0.019025	0.002476	0.002376
	50	0.002804	-0.060589	0.002870	0.002677
	ORT. HATA ORANLARI		**%719.31**	**%.4.35**	**%2.21**
C (pF)	35	557.8	557.9	556.4	557.0
	40	557.3	556.1	557.7	557.2
	45	557.2	547.6	557.0	557.5
	50	557.7	525.0	557.6	557.7
	ORT. HATA ORANLARI		**%1.55**	**%0.09**	**%0.08**

$$f(x) = -7.15 \cdot 10^{-5} \cdot x^5 + 6.32 \cdot 10^{-3} \cdot x^4 - 0.194 \cdot x^3 + 2.412 \cdot x^2 - 9.9 \cdot x + 53.19 \quad (6.17)$$

$$f(x) = -2.84 \cdot 10^{-9} \cdot x^5 + 2.51 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 - 7.7 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 + 9.57 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 3.93 \cdot 10^{-4} \cdot x + 0.00211 \quad (6.18)$$

$$f(x) = -1.89 \cdot 10^{-6} \cdot x^5 + 17.64 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 - 0.0057 \cdot x^3 + 0.0736 \cdot x^2 - 0.285 \cdot x + 556.986 \quad (6.19)$$

6.3.4 Senaryo D-4: 3*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dinamik Olarak Son Çevrim Değer Analizi

36 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV kablo numunesi için 55 yaşlandırma çevrimi boyunca elde edilen ölçüm sonuçlarından, 55. yaşlandırma çevrimine ait ölçüm sonucu tahmin edilmiştir. Tahmin işlemi sırasında algoritmalar, ilk 10, ilk 20, ilk 30, ilk 40 ve ilk 50 yaşlandırma çevrimlerinden elde edilen ölçüm verileri ile eğitilmiştir. EKKY, KA ve YSA yöntemleri ile yapılan tahmin analizlerinin sonuçları Tablo 6.11'de sunulmuştur.

Tablo 6.11 Senaryo D-4 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları

Parametre	Eğitim Verisi	Son Çevrim Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	İlk 10 çevrim	43.30	35670.00	40.85	42.04
	İlk 20 çevrim	43.30	2891.60	41.51	42.70
	İlk 30 çevrim	43.30	231.36	41.90	43.09
	İlk 40 çevrim	43.30	82.21	42.16	43.35
	İlk 50 çevrim	43.30	46.06	42.91	44.09
tanδ	İlk 10 çevrim	0.001705	13.629800	0.001634	0.001685
	İlk 20 çevrim	0.001705	0.114100	0.001637	0.001689
	İlk 30 çevrim	0.001705	0.008900	0.001640	0.001692
	İlk 40 çevrim	0.001705	0.003200	0.001649	0.001700
	İlk 50 çevrim	0.001705	0.001800	0.001679	0.001730
C (pF)	İlk 10 çevrim	561.2	11219.0	560.8	561.0
	İlk 20 çevrim	561.2	1311.0	561.2	561.4
	İlk 30 çevrim	561.2	633.2	561.4	561.6
	İlk 40 çevrim	561.2	546.4	561.5	561.7
	İlk 50 çevrim	561.2	561.2	561.3	561.6

EKKY yönteminin D-4 analizinde yüksek hataya sahip olduğu belirlenmiştir. KA ve YSA algoritmasının hata oranlarının %5'ten düşük olduğu görülmüştür.

6.3.5 Senaryo D-5: 5*U_0 Alternatif Yüksek Gerilim İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dinamik Olarak Son Çevrim Değer Analizi

60 kV, 50 Hz gerilim ile yaşlandırılan 12/20.8 kV kablo numunesi için 80. yaşlandırma çevrimine ait ölçüm sonucu tahmin edilmiştir.

Tablo 6.12 Senaryo D-5 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları

Parametre	Eğitim Verisi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	İlk 10 çevrim	685.83	82805.00000	425.39568	468.69622
	İlk 20 çevrim	685.83	56446.00000	509.70467	496.60950
	İlk 30 çevrim	685.83	2807.00000	590.88241	520.47639
	İlk 40 çevrim	685.83	1258.10000	573.95239	601.13000
	İlk 50 çevrim	685.83	3247.80000	599.37785	624.11216
	İlk 60 çevrim	685.83	925.37000	617.49638	643.59659
	İlk 70 çevrim	685.83	778.98000	647.51138	657.52580
tanδ	İlk 10 çevrim	0.01728	0.05290	0.01145	0.01183
	İlk 20 çevrim	0.01728	0.06676	0.01313	0.01341
	İlk 30 çevrim	0.01728	0.08080	0.01536	0.01377
	İlk 40 çevrim	0.01728	0.01970	0.01521	0.01502
	İlk 50 çevrim	0.01728	0.03090	0.01611	0.01575
	İlk 60 çevrim	0.01728	0.02230	0.01651	0.01658
	İlk 70 çevrim	0.01728	0.01940	0.01756	0.01669
C (pF)	İlk 10 çevrim	877.10000	903.08000	875.20691	874.42750
	İlk 20 çevrim	877.10000	887.17000	876.44978	877.82978
	İlk 30 çevrim	877.10000	885.34000	877.95342	876.63857
	İlk 40 çevrim	877.10000	883.27000	877.56146	877.94184
	İlk 50 çevrim	877.10000	891.74000	877.73232	877.70747
	İlk 60 çevrim	877.10000	908.68000	877.46913	876.40811
	İlk 70 çevrim	877.10000	877.42000	878.53620	877.22249

Algoritmalar, ilk 10, ilk 20, ilk 30, ilk 40, ilk 50, ilk 60 ve ilk 70 yaşlandırma çevrimlerinden elde edilen veriler ile eğitilmiştir. Tahmin analizlerinin sonuçları Tablo 6.12'de sunulmuştur. EKKY yönteminin, P_K ve tanδ tahmin analizinde yanlış yorumlamalara sebep olabileceği fark edilmiştir. C tahmininde her üç tahmin algoritması da %3'ten daha az hatalı sonuçlar sergilemiştir. KA ve YSA algoritmalarının P_K ve tanδ tahmin analizinde hata oranlarının daha tutarlı olduğu görülmüştür.

6.3.6 Senaryo D-6: Darbe Gerilimi İle Yaşlandırılan Kablo Numunesi Dinamik Olarak Son Çevrim Değer Analizi

50 kV darbe gerilimi ile yaşlandırılan 12/20.8 kV kablo numunesi için 50 yaşlandırma çevrimi boyunca elde edilen ölçüm sonuçlarından, 55. yaşlandırma çevrimine ait ölçüm sonucu tahmin edilmiştir.

Tablo 6.13 Senaryo D-6 tahmin sonuçları ve yöntemlerin hata oranları

Parametre	Eğitim Verisi	Son Çevrim Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	İlk 10 çevrim	70.65500	1026.10000	65.63371	67.99970
	İlk 20 çevrim	70.65500	279.02000	65.18683	67.55282
	İlk 30 çevrim	70.65500	276.48850	70.18079	72.54678
	İlk 40 çevrim	70.65500	67.91230	68.95442	71.32041
tanδ	İlk 10 çevrim	0.00280	0.03710	0.00265	0.00278
	İlk 20 çevrim	0.00280	0.01200	0.00264	0.00276
	İlk 30 çevrim	0.00280	0.01100	0.00291	0.00279
	İlk 40 çevrim	0.00280	0.00270	0.00275	0.00287
C (pF)	İlk 10 çevrim	557.65000	1725.90000	557.47729	556.91408
	İlk 20 çevrim	557.65000	608.70790	557.93722	557.37401
	İlk 30 çevrim	557.65000	560.99000	557.68518	557.12196
	İlk 40 çevrim	557.65000	557.97000	557.95845	558.52166

Tahmin işlemi sırasında algoritmalar, ilk 10, ilk 20, ilk 30 ve ilk 40 yaşlandırma çevrimlerinden elde edilen ölçüm verileri ile eğitilmiştir. Tahmin analizlerinin sonuçları Tablo 6.13'te sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, EKKY yönteminin son çevrim analizinde çok yüksek hata oranlarına sahip olduğu ve tutarsız sonuçlar öngördüğü belirlenmiştir. KA ve YSA algoritmasının hata oranlarının %7'ten düşük olduğu görülmüştür.

6.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ölçüm verilerinin ara değer ve dış değer analizinde, yaşlandırmaya bağlı olarak kablo davranışının öngörülmesi incelenmiştir. EKKY, KA ve YSA yöntemlerinin performansları karşılaştırılmalı olarak sınanmıştır. Farklı yaşlandırma prosedürleri ile yaşlandırılan kablo numuneleri üzerinde yapılan analiz çalışmalarının sonucunda elde edilen hata oranları Tablo 6.14'te sunulmuştur.

Ara değer analizinde, EKKY, KA ve YSA algoritmalarının kabul edilebilir hata oranları ile iyi performans sergilediği ortaya çıkmıştır. Alternatif yüksek gerilim ve darbe gerilimi ile yaşlandırma işleminin algoritmaların performansı üzerinde etkisinin bariz olmadığı belirlenmiştir. P_K, tanδ ve C parametrelerinin davranış karakteristiğinin öngörülebildiği anlaşılmıştır. Her üç algoritmanın hata oranları birbirine yakın olsa da, öngörü analizlerinde kullanılacak algoritmanın seçimi için performansa dayalı yapılan sıralama; YSA-KA-EKKY şeklindedir. En üstün performans sergileyen algoritmanın YSA olduğu belirlenmiştir.

Dış değer tahmin analizinde, EKKY algoritmasının çok yüksek hata ile yanlış yorumlamalara sebep olacak şekilde kötü performans sergilediği gözlemlenmiştir. C parametresi analizi dışında kullanılamayacağı ortaya çıkmıştır. KA ve YSA algoritmalarının ise kablo davranışını düşük hata oranları ile öngörebildiği belirlenmiştir. P_K, tanδ ve C parametreleri tahmininde güvenilir biçimde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Dinamik olarak son çevrim değer analizinde, EKKY yönteminin mantıksız ve mümkün olmayan sonuçlar öngördüğü ortaya çıkmıştır. KA ve YSA algoritmalarının daha tutarlı davranış sergileyerek kabul edilebilir hata oranları ile tahmin işlemi gerçekleştirdiği görülmüştür. Dış değer analizlerinde, performansa dayalı sıralama yapıldığında, en iyi algoritmanın YSA olduğu

görülmüştür. KA algoritması başarılı, EKKY algoritması ise başarısız olarak kabul edilmiştir.

Tablo 6.14 A1-A2-A3-D1-D2-D3 senaryolarının hata oranları

Senaryo	Parametre	EKKY	KA	YSA
A-1 (36 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılmış)	P_K	%0.47	%1.22	%0.73
	tanδ	%0.47	%.1.31	%0.70
	C	%0.03	%0.02	%0.01
A-2 (60 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılmış)	P_K	%4.41	%3.71	%2.79
	tanδ	%5.37	%4.15	%2.30
	C	%0.09	%0.04	%0.04
A-3 (50 kV darbe gerilimi ile yaşlandırılmış)	P_K	%10.13	%3.99	%2.31
	tanδ	%10.12	%3.51	%2.37
	C	%0.04	%0.04	%0.02
D-1 (36 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılmış)	P_K	%5.36	%1.02	%0.74
	tanδ	%0.53	%.0.95	%0.61
	C	%0.08	%0.06	%0.05
D-2 (60 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılmış)	P_K	%35.67	%3.40	%2.07
	tanδ	%37.13	%.4.04	%2.04
	C	%0.29	%0.08	%0.02
D-3 (50 kV darbe gerilimi ile yaşlandırılmış)	P_K	%719	%4.39	%2.13
	tanδ	%719.31	%.4.35	%2.21
	C	%1.55	%0.09	%0.08

Tablo 6.14'te belirtilmiş olan hata oranları dikkate alındığında, tüm yaşlandırma prosedürlerini kapsayacak biçimde üstün performans sergileyen algoritmanın YSA olduğu belirlenmiştir. Ara değer ve dış değer analizinde, kablonun davranışını

öngörmek ve düşük hata ile tahmin gerçekleştirmek açısından YSA algoritmasının EKKY ve KA algoritlamalarından daha önde olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durumda, periyodik ölçümlerden elde edilen verilerin kullanılmasıyla, ölçüm maliyetlerinin önüne geçilmesi ve bakım faaliyetlerinin planlanmasında YSA algoritması kullanılmalıdır.

7
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği bölümünde Yüksek Gerilim Laboratuvarı imkanları kullanılarak yaşlandırılmış orta gerilim yeraltı kablolarının dielektrik performans analizler yapılmıştır. Çalışma kapsamında, farklı anma gerilimine sahip kablolar, farklı kesitli kablolar ile başlıklı ve başlıksız test numuneleri oluşturulmuştur. Numuneler üzerinde farklı yaşlandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yaşlandırmanın kablo dielektrik performansı üzerindeki etkisi farklı tanı yöntemleri ile izlenmiştir. Harmonik etkilerin analizi için farklı gerilim ve frekanslarda ölçümler yapılmıştır. Tahmin analizleri yapılarak ölçümlerin öngörülebilirliği sınanmıştır.

Deneysel uygulamalarda, 6/10 kV ve 12/20.8 kV anma gerilimine sahip XLPE yalıtımlı kablo numuneleri kullanılmıştır. Kesit etkisini incelemek için 12/20.8 kV kablolarda 25 mm^2 ve 150 mm^2 kesitli numuneler tercih edilmiştir. Kablo başlığının meydana getirdiği durumları irdelemek için başlıklı ve başlıksız numuneler oluşturulmuştur. Kabloların işletilmesi sırasında şebekede oluşan, alternatif yüksek gerilim ve darbe gerilimi gibi yıpratıcı koşulların, kablo sistemleri üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, kablolar üzerinde yıldırım darbe gerilimi (50 kV, 1.2/50 μs, pozitif kutuplu), $3*U_0$ ve $5*U_0$ alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kabloların dielektrik davranışını izlemek ve değerlendirmek için, OMICRON CPC100/CPTD1 ile 2-4-6-8-10-12 kV gerlim ve 50-100-150-200-250-300-350-400 Hz frekanslarda dielektrik parametreler ($tan\delta$, C, P_K) ölçülmüştür. Ek olarak, OMICRON MPD600 ile $1.73*U_0$ gerilimde KB ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Kabloların dielektrik davranışının öngörülmesi ve ölçüm maliyetlerinin azaltılması amacıyla ara değer tahmini yapılmıştır. Bakım faaliyetlerinin planlaması, arızaların öngörülmesi ve ekonomik kayıpların önüne geçilmesi amacıyla da dış değer tahminleri gerçekleştirilmiştir. Tahmin analizleri için EKKY, KA ve YSA

algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler şu şekilde özetlenebilir.

12/20.8 kV gerilimli kablo numuneleri arasında bulunan kesit farkının etkisi açıkça görülmüştür. 150 mm^2 kesitli kablo numuneleri yaşlandırma öncesi KB ölçümlerinde 1 pC KB genlik değerleri, 25 mm^2 kesitli kablo numuneleri yaşlandırma öncesi KB ölçümlerinde 201/206/212.3 pC olarak ölçülmüştür. Bu bağlamda, ince kesitli kablo numunelerinde, başlık montaj işçiliğine ekstra dikkat edilmelidir.

Başlıklı ve başlıksız kablo numunelerinin dielektrik performasları arasında davranış farklılıkları görülmüştür. Anma geriliminin 5 katı ile yaşlandırılan 12/20.8 kV, 150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi için P_K ve tanδ değerlerinde meydana gelen artış miktarı %32.4 iken, aynı kesitli başlıksız kablo numunesinde %181 olmuştur. Anma geriliminin 5 katı ile yaşlandırılan 12/20.8 kV, 25 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi için P_K ve tanδ değerlerinde meydana gelen artış miktarı %69.2 iken, aynı kesitli başlıksız kablo numunesinde %343 olmuştur.

12/20.8 kV gerilimli kablo numuneleri, darbe gerilimi, $3*U_0$ ve $5*U_0$ alternatif yüksek gerilim için sırasıyla, 50-55-29 çevrim sayılarında kablo başlığı içerisinden delinerek kullanılmaz hale gelmiştir. Bu bağlamda, ortaya çıkan bir diğer sonuç ise kablo numunelerinin hazırlanması sırasında oluşabilecek hataların kötü işçilik olarak değerlendirilebileceğidir. Kablo başlığının montajı sırasında uygulanan ısıl işlemde meydana gelebilecek en ufak bir hatanın bile başlığın ömrüne doğrudan etkili olacağı ortaya çıkmıştır. Bu noktada; üretici firma tarafından oluşturulan başlık montajı yönergelerine harfiyen uyulmalıdır.

Yaşlandırma işlemlerinin yeraltı kabloları üzerindeki olumsuz etkisi, dielektrik parametreler ve KB ölçümlerinde meydana gelen değişimler ile net bir biçimde ortaya konulmuştur. $3*U_0$ alternatif yüksek gerilimin etkisi ile P_K ve tanδ değerlerinde %15, $5*U_0$ alternatif yüksek gerilimin etkisi ile P_K ve tanδ değerlerinde %69.2 ve 50 kV darbe geriliminin etkisi ile P_K ve tanδ değerlerinde %44.8 oranında artış meydana gelmiştir. Bu bağlamda, kablo sistemlerinin işletilmesi sırasında, periyodik ölçümler ihmal edilmemelidir.

12/20.8 kV kablolarda, $5*U_0$ alternatif yüksek gerilimin en çok yıpratıcı etkiye sahip olduğu, darbe geriliminin onu takip ettiği ve $3*U_0$ alternatif yüksek gerilimin ise diğer iki yöntemden daha az olumsuz etkiye sebep olduğu ortaya çıkmıştır. 6/10 kV kablolarda, P_K ve tanδ değerlerinde %62.1 artış oranı ile darbe geriliminin bozucu etkisinin, $3*U_0$ ve $5*U_0$ alternatif yüksek gerilimlerden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Yaşlandırma işlemine bağlı olarak, anma gerilimi ve frekansında yapılan ölçümlerde, P_K ve tanδ değerlerinde oluşan değişimin benzer karakterde olduğu ortaya çıkmıştır. Buna rağmen, ölçüm frekansı arttıkça P_K değeri artarken tanδ değerinin azaldığı ortaya çıkmıştır. C değerinde ise herhangi bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Meydana gelen değişmlerin de %1 civarında olduğu ve ihmal edilebileceği ortaya çıkmıştır.

Yaşlandırma çevrimine bağlı olarak harmonik bileşenlerin dielektrik parametreler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı frekanslarda yapılan P_K ve tanδ ölçümlerine göre 3., 5. ve 7. dereceden harmoniklerin olumsuz etkilerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Anma geriliminin 5 katı ile yaşlandırılan 12/20.8 kV, 150 mm^2 kesitli başlıklı kablo numunesi için 50 Hz frekansında yapılan ölçümlerde P_K ve tanδ değerlerinde meydana gelen artış miktarı %32.4 iken, 150-250-350 Hz frekansında artış oranları sırasıyla %33.9-%36.5-%37.7 olarak elde edilmiştir. Bu bağlamda, harmonik bileşenlerin etkisini göz önünde bulundurarak durum değerlendirmesi yapılmalıdır.

Kablolara alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırma işlemi uygulandığında, ilk birkaç yaşlanma çevriminde tanδ değeri KB genliğinden daha fazla artmıştır. Tanδ ölçümünde, uygulanan alternatif yüksek gerilimin etkin değerinin etkisi ölçüm sonuçlarında açıkça görülse de KB'de ana faktör olmadığı ortaya çıkmıştır.

Yaşlandırma çevrim sayısının artması ile birlikte tanδ değerinde meydana gelen salınımlar, kabloya uygulanan alternatif yüksek gerilim arttıkça sıklaşmaktadır. KB ölçümlerinde, tanδ değerinden daha az salınım meydana gelmiştir.

Tanδ ölçüm sonuçlarının yorumlanabilmesi için önceki ölçüm değerlerinin de bilinmesi gerekirken, KB ölçümlerinde bu durum söz konusu değildir.

Her iki dielektrik tanı metodu da yıldırım darbesinin kabloya alternatif yüksek gerilimden daha az etki uyguladığını doğrulamıştır. KB ölçümleri, darbe gerilimlerinin OG yeraltı kabloları üzerindeki etkisini değerlendirmede açık ara daha iyidir.

Periyodik ölçümlerde, tanδ değerinde oluşan salınımlar yanlış yorumlamaya neden olabilir. Bu nedenle kablonun performansına karar vermek için KB ölçümü her zaman öncelik olmalıdır.

Dielektrik parametre ölçümlerinde %40 oranında meydana gelen artışın kablonun delinme habercisi olduğu tespit edilmiştir. KB ölçümlerimde ise yaşlandırma öncesi ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığında KB olaylarında meydana gelen artışın ve KB genlik değerinin kablonun delinme habercisi olduğu açıkça görülmüştür.

Ara değer tahminlerinde, YSA algoritmasının EKKY ve KA algoritmalarından daha başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. Dış değer tahminlerinde, YSA algoritması EKKY ve KA algoritmalarından daha üstün performans sergilemiştir. Tahmin analizlerinde YSA'nın üstünlüğü açıkça görülmektedir. Bu bağlamda, ölçüm maliyetlerinin önüne geçmek ve bakım faaliyetlerinin planlanmasında YSA algoritmasından yardım alınmalıdır.

Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar doğrultusunda, şebekede meydana gelen arızalardan kaynaklanan olumsuz etkileri tespit edebilmek için kablo sistemleri periyodik ölçümler ile izlenmeldir.

Periyodik ölçümler sırasında online ve uzaktan izleme sistemleri tercih edilmeli, böylelikle sistem sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Uzaktan izleme sistemleri yardımıyla yapılan ölçümlerden elde edilen veriler, tahmin algoritmaları kullanılarak analiz edilmelidir.

Ara değer tahmin analizleri gerçekleştirilerek kablo sistemlerinin işletilmesi sırasında uzun ölçüm süreleri ve ölçüm maliyetlerinin önüne geçilmeli ve sistem sürekliliğine katkı sağlanmalıdır.

Dış değer tahmin analizleri yardımıyla bakım ve değişim planlamalarının daha tutarlı oluşturulmalı ve arızalardan kaynaklanan ekonomik kayıpların önüne geçilmelidir.

KAYNAKÇA

[1] R. Arora and W. Mosch, High Voltage and Electrical Insulation Engineering. IEEE Press, 2011.

[2] IEEE Std 400, IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above, vol. 2012, no. June. 2012.

[3] D. K. Das-Gupta and P. C. N. Scarpa, "Polarization and dielectric behavior of ac-aged polyethylene," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 3, no. 3, pp. 366–374, 1996, doi: 10.1109/94.506208.

[4] F. Guastavino, L. Centurioni, A. Dardano, and E. Torello, "Electrical treeing inception and growth in XLPE in presence of harmonics," Proc. 2004 IEEE Int. Conf. Solid Dielectr. ICSD 2004, vol. 1, pp. 363–366, 2004, doi: 10.1109/icsd.2004.1350366.

[5] B. Florkowska, M. Florkowski, and P. Zydron, "The role of harmonic components on partial discharge mechanism and degradation processes in epoxy resin insulation," 2007 Int. Conf. Solid Dielectr. ICSD, pp. 560–563, 2007, doi: 10.1109/ICSD.2007.4290875.

[6] B. Florkowska, J. Roehrich, P. Zydron, M. Florkowski, and A. Rybak, "Interaction of conductor with polymeric materials (XLPE/EPR) at partial discharges," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 19, no. 6, pp. 2119–2127, 2012, doi: 10.1109/TDEI.2012.6396972.

[7] J. K. Wong, H. A. Illias, H. Mokhlis, and A. H. A. Bakar, "Investigation of partial discharge severity at XLPE cable without termination," Conf. Proceeding - 2014 IEEE Int. Conf. Power Energy, PECon 2014, pp. 13–16, 2014, doi: 10.1109/PECON.2014.7062405.

[8] B. V. Wong, Yuan Tian, and T. Neier, "Practical experience using VLF Tan Delta and Partial Discharge measurement in medium voltage cable," in 2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), Sep. 2016, pp. 106–109, doi: 10.1109/CMD.2016.7757769.

[9] D. He, W. Wang, J. Lu, G. Teyssedre, and C. Laurent, "Space charge characteristics of power cables under AC stress and temperature gradients," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 23, no. 4, pp. 2404–2412, 2016, doi: 10.1109/TDEI.2016.7556519.

[10] S. Z. Dabbak, H. A. Illias, and B. C. Ang, "Effect of surface discharges on different polymer dielectric materials under high field stress," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 24, no. 6, pp. 3758–3765, 2017, doi: 10.1109/TDEI.2017.006418.

[11] D. He, J. Gu, W. Wang, S. Liu, S. Song, and D. Yi, "Research on mechanical and dielectric properties of XLPE cable under accelerated electrical-thermal

aging," Polym. Adv. Technol., vol. 28, no. 8, 2017, doi: 10.1002/pat.3901.

[12] D. He, F. Meng, H. Liu, Q. Li, and X. Wang, "The influence mechanism of semiconductive material on space charge accumulation in HVDC cable accessory," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 26, no. 5, pp. 1479–1486, 2019, doi: 10.1109/TDEI.2019.008077.

[13] S. Grzybowski, P. Trnka, and J. C. Fulper, "Aging of high voltage cables by switching impulse," IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2007, pp. 165–168, 2007, doi: 10.1109/ESTS.2007.372080.

[14] S. Grzybowski, P. Shrestha, and L. Cao, "Electrical degradation of high voltage cable insulation energized by switching impulses," Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP, pp. 25–28, 2008, doi: 10.1109/CEIDP.2008.4772849.

[15] S. Grzybowski, P. Shrestha, and L. Cao, "Electrical aging phenomena of XLPE and EPR cable insulation energized by switching impulses," 2008 Int. Conf. High Volt. Eng. Appl. ICHVE 2008, vol. 00, pp. 422–425, 2008, doi: 10.1109/ICHVE.2008.4773963.

[16] S. Grzybowski, L. Cao, and B. Pushpanathan, "Electrical accelerated aging of EPR cable insulation energized by AC voltage and switching impulses," Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP, pp. 51–54, 2009, doi: 10.1109/CEIDP.2009.5377872.

[17] S. Grzybowski, L. Cao, and B. Pushpanathan, "Accelerated electrical degradation of 15 kV EPR cable under dry and wet condition energized by switching impulses," 41st North Am. Power Symp. NAPS 2009, pp. 1–5, 2009, doi: 10.1109/NAPS.2009.5484004.

[18] L. Cao, A. Zanwar, B. Pushpanathan, and S. Grzybowski, "Electrical aging of 15 kV EPR cable energized by AC voltage with switching impulses superimposed," 2010 Int. Conf. High Volt. Eng. Appl. ICHVE 2010, pp. 148–151, 2010, doi: 10.1109/ICHVE.2010.5640844.

[19] L. Cao, A. Zanwar, and S. Grzybowski, "Electrical aging phenomena of medium voltage EPR cable energized by ac voltage with switching impulses superimposed," 2011 IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2011, pp. 353–356, 2011, doi: 10.1109/ESTS.2011.5770896.

[20] L. Cao and S. Grzybowski, "Accelerated aging study on 15 kV XLPE and EPR cables insulation caused by switching impulses," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 22, no. 5, pp. 2809–2817, 2015, doi: 10.1109/TDEI.2015.004438.

[21] X. Long et al., "The degradation of 10kV XLPE cable accessories under switching impulses," Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater., vol. 2018-May, pp. 463–466, 2018, doi: 10.1109/ICPADM.2018.8401055.

[22] J. Wu, L. C. C. Heredia, A. R. Mor, and J. J. Smit, "Partial Discharges at Artificial Defects in XLPE Cable Accessories under Superimposed Transients," ICHVE 2018 - 2018 IEEE Int. Conf. High Volt. Eng. Appl., pp.

4–7, 2019, doi: 10.1109/ICHVE.2018.8641999.

[23] R. E. Souza, F. H. Silveira, R. M. Gomes, G. S. Lima, A. De Conti, and S. Visacro, “Characterization of the effect of the insulating material of covered cables on the impulse breakdown behavior of single- and three-phase compact distribution lines,” Electr. Power Syst. Res., vol. 172, pp. 161–166, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.02.017.

[24] Y. Mecheri, L. Boukezzi, A. Boubakeur, and M. Lallouani, “Dielectric and mechanical behavior of Cross-Linked Polyethylene under thermal aging,” Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenom. (CEIDP), Annu. Rep., vol. 2, pp. 560–563, 2000, doi: 10.1109/CEIDP.2000.884022.

[25] L. Boukezzi, A. Boubakeur, and M. Lallouani, “Life Time Estimation with Different Models of XLPE Insulation Cables under Thermal Ageing,” 7th Nat. Conf. High Volt. (CNHT’2009), Sidi Bel Abbes, no. September 2015, pp. 1–4, 2009.

[26] Y. Mecheri, M. Nedjar, A. Lamure, M. Aufray, and C. Drouet, “Influence of moisture on the electrical properties of XLPE insulation,” Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP, pp. 1–4, 2010, doi: 10.1109/CEIDP.2010.5724017.

[27] L. Boukezzi and A. Boubakeur, “Comparison of some neural network algorithms used in prediction of XLPE HV insulation properties under thermal aging,” Proc. 2012 IEEE Int. Conf. Cond. Monit. Diagnosis, C. 2012, no. September, pp. 1218–1222, 2012, doi: 10.1109/CMD.2012.6416381.

[28] L. Boukezzi and A. Boubakeur, “Prediction of mechanical properties of XLPE cable insulation under thermal aging: Neural network approach,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 20, no. 6, pp. 2125–2134, 2013, doi: 10.1109/TDEI.2013.6678861.

[29] L. Cao and S. Grzybowski, “Life-time characteristics of EPR cable insulation under electrical and thermal stresses,” Proc. IEEE Int. Conf. Solid Dielectr. ICSD, pp. 632–635, 2013, doi: 10.1109/ICSD.2013.6619873.

[30] L. Bessissa, L. Boukezzi, and D. Mahi, “A fuzzy logic approach to model and predict HV cable insulation behaviour under thermal aging,” Acta Polytech. Hungarica, vol. 11, no. 3, pp. 107–123, 2014.

[31] S. Conlan, J. Courtney, and T. Looby, “Accelerated aging test on multiple XLPE MV cables simultaneously to induce water trees,” Proc. Univ. Power Eng. Conf., vol. 2015-Novem, pp. 1–4, 2015, doi: 10.1109/UPEC.2015.7339809.

[32] J. Liu, D. Zhang, C. Bin, L. Huang, Y. Gao, and X. Li, “A New method of aging assessment for XLPE cable insulation based on dielectric response,” Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater., vol. 2015-Octob, pp. 560–563, 2015, doi: 10.1109/ICPADM.2015.7295333.

[33] Y. Wang et al., “Study of dielectric response characteristics for thermal aging of XLPE cable insulation,” C. 2016 - Int. Conf. Cond. Monit. Diagnosis, pp.

602–605, 2016, doi: 10.1109/CMD.2016.7757932.

[34] Y. Wang et al., “Estimating the inverse power law aging exponent for the DC aging of XLPE and its nanocomposites at different temperatures,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 23, no. 6, pp. 3504–3513, 2016, doi: 10.1109/TDEI.2016.005889.

[35] L. Boukezzi, L. Bessissa, A. Boubakeur, and D. Mahi, “Neural networks and fuzzy logic approaches to predict mechanical properties of XLPE insulation cables under thermal aging,” Neural Comput. Appl., vol. 28, no. 11, pp. 3557–3570, 2017, doi: 10.1007/s00521-016-2259-y.

[36] L. Boukezzi, S. Rondot, O. Jbara, and A. Boubakeur, “Study of thermal aging effects on the conduction and trapping of charges in XLPE cable insulations under electron beam irradiation,” Radiat. Phys. Chem., vol. 149, no. February, pp. 110–117, 2018, doi: 10.1016/j.radphyschem.2018.04.006.

[37] X. Wang et al., “Chemical Structure and Breakdown Behaviors of a New AC 500kV XLPE Submarine Cable Insulation with Different Thermal Aging Conditions,” Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP, vol. 2018-Octob, pp. 354–357, 2018, doi: 10.1109/CEIDP.2018.8544797.

[38] R. Di Sante, A. Ghaderi, A. Mingotti, and L. Peretto, “Effects of Thermal Cycles on Interfacial Pressure in MV Cable Joints,” Sensors, 2019, doi: doi:10.3390/s20010169.

[39] Z. Nadolny, J. M. Braun, and R. J. Densley, “Effect of mechanical pressure and silicone grease on partial discharge characteristics for model XLPE transmission cable joint,” IEE Conf. Publ., vol. 5, no. 467, pp. 297–300, 1999, doi: 10.1049/cp:19990944.

[40] B. X. Du and L. Gu, “Effects of interfacial pressure on tracking failure at XLPE cable joint by analyzing discharge light distribution,” Proc. 2010 IEEE Int. Conf. Solid Dielectr. ICSD 2010, pp. 4–7, 2010, doi: 10.1109/ICSD.2010.5568013.

[41] V. Plaček, T. Kohout, J. Kábrt, and J. Jiran, “The influence of mechanical stress on cable service life-time,” Polym. Test., vol. 30, no. 7, pp. 709–715, 2011, doi: 10.1016/j.polymertesting.2011.06.005.

[42] G. Berg, H. H. Saeternes, J. Aakervik, and S. Hvidsten, “The effect of hydrostatic pressure on electrical treeing in silicone cable joints,” Conf. Rec. IEEE Int. Symp. Electr. Insul., pp. 609–612, 2012, doi: 10.1109/ELINSL.2012.6251543.

[43] T. Sun, Y. Zhang, X. Guo, and Y. Xu, “Partial discharge behavior of 220 kV prefabricated cable termination induced by inadequate interface pressure,” Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater., vol. 2018-May, pp. 381–384, 2018, doi: 10.1109/ICPADM.2018.8401068.

[44] A. Ghaderi, A. Mingotti, L. Peretto, and R. Tinarelli, “Effects of Mechanical Pressure on the Tangent Delta of MV Cable Joints,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 68, no. 7, pp. 2656–2658, 2019, doi:

10.1109/TIM.2019.2910001.

[45] J. Su, B. X. Du, T. Han, Z. Li, L. Wei, and P. Zhang, “Effect of Temperature and Mechanical Stress on Charge Transport and Ageing Properties of EPDM for Cable Accessories,” 2021, pp. 271–292.

[46] H. Xu, B. Du, and Z. Li, “Effect of Mechanical Stress on Space Charge Behaviors of PP Insulation Materials,” 2021, pp. 127–149.

[47] J. C. Hernández-Mejia, R. Harley, N. Hampton, and R. Hartlein, “Characterization of ageing for mv power cables using low frequency δ tan diagnostic measurements,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 16, no. 3, pp. 862–870, 2009, doi: 10.1109/TDEI.2009.5128527.

[48] J. C. Hernández-Mejía, J. Perkel, R. Harley, N. Hampton, and R. Hartlein, “Correlation between tan δ diagnostic measurements and breakdown performance at VLF for MV XLPE cables,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 16, no. 1, pp. 162–170, 2009, doi: 10.1109/TDEI.2009.4784564.

[49] A. Rawangpai, B. Maraungsri, and N. Chomnawang, “Artificial accelerated ageing test of 22 kV XLPE cable for distribution system applications in Thailand,” World Acad. Sci. Eng. Technol., vol. 65, no. 5, pp. 220–225, 2010.

[50] S. Chen, C. Yue, W. Wang, D. He, and K. Yang, “Volume resistivity and PDIV characteristics of polymer materials under electro-thermal aging,” ICHVE 2012 - 2012 Int. Conf. High Volt. Eng. Appl., no. 50977025, pp. 190–193, 2012, doi: 10.1109/ICHVE.2012.6357073.

[51] L. Chmura, H. Jin, P. Cichecki, J. J. Smit, E. Gulski, and F. De Vries, “Use of dissipation factor for life consumption assessment and future life modeling of oil-filled high-voltage power cables,” IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 28, no. 1, pp. 27–37, 2012, doi: 10.1109/MEI.2012.6130529.

[52] I. Mladenovic and C. Weindl, “Artificial aging and diagnostic measurements on medium-voltage, paper-insulated, lead-covered cables,” IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 28, no. 1, pp. 20–26, 2012, doi: 10.1109/MEI.2012.6130528.

[53] W. Wang, K. Yang, C. Yue, S. Chen, and D. He, “Study on aging characteristics of oil-immersed paper and polymer material based on dielectric loss,” Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP, pp. 882–885, 2012, doi: 10.1109/CEIDP.2012.6378922.

[54] C. Yue, W. Wang, G. Chen, Y. Wu, and D. He, “Study on dielectric properties of polymer material in mineral oil under electro-thermal aging,” Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC, no. 50977025, pp. 1–4, 2012, doi: 10.1109/APPEEC.2012.6307661.

[55] Y. Mecheri, A. Medjdoub, A. Boubakeur, and S. Boujemaa, “Characterization of laboratory aged MV XLPE cables using dielectric losses factor measurements,” 2014 Int. Conf. Electr. Sci. Technol. Maghreb, Cist. 2014, 2014, doi: 10.1109/CISTEM.2014.7076950.

[56] M. Knenicky, R. Prochazka, and J. Hlavacek, “Partial Discharge Patterns during Accelerated Aging of Medium Voltage Cable System,” ICHVE 2018 - 2018 IEEE Int. Conf. High Volt. Eng. Appl., pp. 3–6, 2019, doi: 10.1109/ICHVE.2018.8641847.

[57] S. Chimunda and C. Nyamupangedengu, “A reliability assessment model for an outdoor 88kV XLPE cable termination,” Electr. Power Syst. Res., vol. 177, p. 105979, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.105979.

[58] T. G. Aakre, E. Ildstad, and S. Hvidsten, “Partial discharge inception voltage of voids enclosed in epoxy/mica versus voltage frequency and temperature,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 27, no. 1, pp. 214–221, 2020, doi: 10.1109/TDEI.2019.008394.

[59] C. C. Uydur, O. Arikan, and O. Kalenderli, “The Effect of Insulation Defects on Electric Field Distribution of Power Cables,” 2019, doi: 10.1109/ICHVE.2018.8641936.

[60] C. C. Uydur, O. Arikan, B. Kucukaydin, B. Dursun, and C. F. Kumru, “The Effects of Overvoltage Aging on 20 kV XLPE Power Cable,” in 2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2019, pp. 353–357, doi: 10.23919/ELECO47770.2019.8990637.

[61] C. C. Uydur and O. Arikan, “Use of Tanδ and partial discharge for evaluating the cable termination assembly,” Energies, vol. 13, no. 20, 2020, doi: 10.3390/en13205299.

[62] J. Li, X. Zhao, G. Yin, S. Li, J. Zhao, and B. Ouyang, “The effect of accelerated water tree ageing on the properties of XLPE cable insulation,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 18, no. 5, pp. 1562–1569, 2011, doi: 10.1109/TDEI.2011.6032825.

[63] L. Mittal, R. Sarathi, and K. Sethupathi, “Electrical treeing in XLPE cable insulation at cryogenic temperature under harmonic AC voltages,” Cryogenics (Guildf)., vol. 71, pp. 62–67, 2015, doi: 10.1016/j.cryogenics.2015.05.010.

[64] IEEE Std 519, “IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992), IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,” IEEE Std 519-2014 (Revision IEEE Std 519-1992), vol. 2014, pp. 1–29, 2014, [Online]. Available: http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6826457.

[65] European Standard, “En 50160 Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems,” pp. 1–20, 2005.

[66] H. A. Illias, G. Chen, and P. L. Lewin, “Partial discharge measurements for spherical cavities within solid dielectric materials under different stress and cavity conditions,” Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP, vol. 2, pp. 388–391, 2009, doi: 10.1109/CEIDP.2009.5377831.

[67] H. A. Illias, M. A. Tunio, H. Mokhlis, G. Chen, and A. H. A. Bakar, “Experiment and modeling of void discharges within dielectric insulation

material under impulse voltage," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 22, no. 4, pp. 2252–2260, 2015, doi: 10.1109/TDEI.2015.004817.

[68] E. Gockenbach, "High Voltage Engineering," in Springer Handbooks, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021, pp. 131–182.

[69] Prysmian Cables, Medium Voltage Cables Catalogue, no. April. Prysmian Australia Pty Ltd, 2012.

[70] A. Ghaderi, A. Mingotti, F. Lama, L. Peretto, and R. Tinarelli, "Effects of temperature on mv cable joints tan delta measurements," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 68, no. 10, pp. 3892–3898, 2019, doi: 10.1109/TIM.2019.2900131.

[71] BS EN 60071-1:2019 Insulation co-ordination Part 1: Definitions, principles and rules. BSI Standarts Limited, 2018.

[72] BS EN 60071- 2:2018 Insulation co-ordination Part 2: Application guidelines. BSI Standarts Limited, 2018.

[73] IEEE Guide for Accelerated Aging Tests for Medium-Voltage (5 kV–35 kV) Extruded Electric Power Cables Using Water-Filled Tanks, vol. 2007, no. February. 2008.

[74] HD 605 S2 Electric cables - Additional test methods. 2009.

[75] IEC 60502-2 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (Um = 1, 2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV) - Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV (Um = 7, 2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV). CENELEC, 2015.

[76] BS EN 60811-401 Electric and optical fibre cables — Test methods for non-metallic materials determining the density. BSI Standards Publication, 2012.

[77] IEC 60216-8: Electrical insulating materials - Thermal endurance properties - Part 8: Instructions for calculating thermal endurance characteristics using simplified procedures. CENELEC, 2013.

[78] IEEE std 99: Recommended Practice for the Preparation of Test Procedures for the Thermal Evaluation of Insulation Systems for Electrical Equipment. IEEE Press, 2019.

[79] BS EN 60811-501: Mechanical tests – Tests for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compounds. BSI Standarts Limited, 2012.

[80] BS EN 60811-508: Mechanical tests – Pressure test at high temperature for insulation and sheaths. BSI Standarts Limited, 2012.

[81] R. Hartlein and N. Hampton, "Diagnostic Testing of Underground Cable Systems (Cable Diagnostic Focused Initiative)," NEETRAC, 2010. [Online]. Available: http://www.neetrac.gatech.edu/.

[82] S. Morsalin and B. T. Phung, “Dielectric response measurement on service-aged XLPE cables: From very low frequency to power frequency,” IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 36, no. 5, pp. 19–31, 2020, doi: 10.1109/mei.2020.9165696.

[83] M. Özkaya, Yüksek Gerilim Tekniği Cilt I. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2008.

[84] M. Özkaya, Yüksek Gerilim Tekniği Cilt II. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2005.

[85] H. A. Illias, G. Chen, and P. L. Lewin, “Modelling of partial discharge behaviour in a spherical cavity within a solid dielectric material as a function of temperature,” Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP, pp. 1–4, 2010, doi: 10.1109/CEIDP.2010.5723968.

[86] H. Illias, G. Chen, and P. L. Lewin, “Modeling of partial discharge activity in spherical cavities within a dielectric material,” IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 27, no. 1, pp. 38–45, 2011, doi: 10.1109/MEI.2011.5699446.

[87] O. Kalenderli, Yüksek Gerilim Ölçme Laboratuvarı Ders Notları. 2021.

[88] H. A. Illias, M. A. Tunio, A. H. A. Bakar, H. Mokhlis, and G. Chen, “Partial discharge phenomena within an artificial void in cable insulation geometry: Experimental validation and simulation,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 23, no. 1, pp. 451–459, 2016, doi: 10.1109/TDEI.2015.005155.

[89] N. H. Malik, A. A. Al-Arainy, and M. I. Qureshi, Electrical insulation in power systems. CRC Press, 2018.

[90] M. M. Hirschler, Electrical Insulating Materials. A JOHN WILEY & SONS, INC, 2000.

[91] R. C. Smith, J. K. Nelson, and L. S. Schadler, Electrical Behavior of Particle-Filled Polymer Nanocomposites. 2010.

[92] Y. Kemari, A. Mekhaldi, G. Teyssedre, and M. Teguar, “Correlations between structural changes and dielectric behavior of thermally aged XLPE,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 26, no. 6, pp. 1859–1866, Dec. 2019, doi: 10.1109/TDEI.2019.008189.

[93] X. Zhang et al., “Research on conversion of polarization/depolarization current and frequency domain spectroscopy for XLPE cable,” ICEMPE 2017 - 1st Int. Conf. Electr. Mater. Power Equip., pp. 452–456, 2017, doi: 10.1109/ICEMPE.2017.7982126.

[94] A. M. Nobrega, M. L. B. Martinez, and A. A. A. De Queiroz, “Investigation and analysis of electrical aging of XLPE insulation for medium voltage covered conductors manufactured in Brazil,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 20, no. 2, pp. 628–640, 2013, doi: 10.1109/TDEI.2013.6508767.

[95] “Data Mining Map.” https://www.saedsayad.com/data_mining_map.htm.

[96] W. Bober and A. Stevens, Numerical and Analytical Methods with MATLAB for Electrical Engineers. 2016.

[97] B. Ayyub and R. H. McCuen, Numerical Analysis for Engineers: Methods and

Applications, Second Edition. Taylor & Francis, 2015.

[98] G. Miller, Numerical Analysis for Engineers and Scientists. Cambridge University Press, 2014.

[99] O. Kalenderli, Sayısal Yöntemler Ders Notları. 2021.

[100] J. D. Hoffman and S. Frankel, Numerical Methods for Engineers and Scientists. CRC Press, 2018.

[101] O. Z. Maimon and L. Rokach, Data Mining With Decision Trees: Theory And Applications (2nd Edition). World Scientific Publishing Company, 2014.

[102] J. R. Quinlan, “Induction of decision trees,” Mach. Learn., vol. 1, no. 1, pp. 81–106, 1986, doi: 10.1007/bf00116251.

[103] M. Koning and C. Smith, Decision Trees and Random Forests: A Visual Introduction for Beginners. Blue Windmill Media, 2017.

[104] S. Shalev-Shwartz and S. Ben-David, Understanding machine learning: From theory to algorithms, vol. 9781107057. 2013.

[105] S. S. Haykin, Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Prentice Hall, 1999.

[106] E. Öztemel, Yapay Si□ni□r Ağlari. 2008.

[107] H. Yu and B. Wilamowski, “Hao Yu and B. M. Wilamowski, LevenbergMarquardt Training Industrial Electronics Handbook, vol. 5 Intelligent Systems, 2nd Edition, chapter 12, pp. 12-1 to 12-15, CRC Press 2011.,” 2011, pp. 12–1 to 12.

[108] A. G. Cabreira, M. Tripode, and A. Madirolas, “Artificial neural networks for fish-species identification,” ICES J. Mar. Sci., vol. 66, no. 6, pp. 1119–1129, 2009, doi: 10.1093/icesjms/fsp009.

[109] OMICRON ELECTRONICS CORP., MPD 600 User Manual. 2011.

A
6/10 kV KABLOLAR İÇİN ANALİZ SONUÇLARI

50 kV darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo ara değer analiz sonuçları;

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	1	18.920	18.511	18.667	18.854
	11	25.360	26.294	26.450	26.637
	21	25.360	26.287	26.543	26.356
	31	28.030	27.882	28.138	27.951
	ORT. HATA ORANLARI		**%1.90**	**%1.97**	**%1.91**
tanδ	1	0.001340	0.001312	0.001323	0.001338
	11	0.001788	0.001856	0.001868	0.001883
	21	0.001788	0.001854	0.001874	0.001863
	31	0.001975	0.001966	0.001984	0.001973
	ORT. HATA ORANLARI		**%1.90**	**%.2.00**	**%1.95**
C (pF)	1	1248.30	1248.17	1248.17	1248.21
	11	1253.20	1252.95	1253.07	1253.11
	21	1253.20	1253.78	1253.07	1253.11
	31	1254.80	1254.82	1254.67	1254.71
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.04**	**%0.01**	**%0.01**

18 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo ara değer analiz sonuçları;

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	1	19.990	20.120	20.004	20.103
	11	21.420	21.311	21.196	21.294
	21	22.760	23.015	22.899	22.998
	31	25.540	25.567	25.451	25.552
	41	26.990	26.989	26.873	26.976
	45	27.470	27.386	27.271	27.370
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.59**	**%0.59**	**%0.58**
tanδ	1	0.001450	0.001440	0.001420	0.001427
	11	0.001521	0.001518	0.001503	0.001510
	21	0.001643	0.001649	0.001623	0.001630
	31	0.001820	0.001829	0.001807	0.001815
	41	0.001915	0.001915	0.001909	0.001916
	45	0.001947	0.001961	0.001937	0.001944
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.46**	**%.1.12**	**%0.75**
C (pF)	1	1246.40	1245.94	1246.27	1246.18
	11	1247.70	1248.11	1247.53	1247.47
	21	1248.30	1247.77	1248.17	1248.06
	31	1246.10	1246.46	1245.94	1245.81
	41	1245.80	1245.69	1245.65	1245.53
	45	1246.00	1245.87	1245.86	1245.78
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.02**	**%0.01**	**%0.02**

30 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo ara değer analiz sonuçları;

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	1	14.550	14.492	14.495	14.511
	5	14.690	14.687	14.629	14.645
	11	14.600	14.422	14.551	14.566
	15	14.660	15.038	14.612	14.627
	21	18.160	18.131	18.099	18.114
	23	19.450	19.752	19.399	19.414
	ORT. HATA ORANLARI		**%1.09**	**%0.35**	**%0.25**
tanδ	1	0.001028	0.001024	0.001026	0.001027
	5	0.001038	0.001037	0.001036	0.001036
	11	0.001032	0.001020	0.001030	0.001031
	15	0.001036	0.001063	0.001034	0.001035
	21	0.001282	0.001280	0.001279	0.001280
	23	0.001373	0.001394	0.001370	0.001371
	ORT. HATA ORANLARI		**%1.10**	**%.0.22**	**%0.13**
C (pF)	1	1250.70	1250.31	1250.61	1250.40
	5	1250.10	1250.29	1250.01	1250.38
	11	1250.60	1250.65	1250.51	1250.74
	15	1251.00	1251.15	1250.91	1251.24
	21	1252.20	1252.30	1252.11	1252.39
	23	1253.20	1252.79	1253.11	1252.88
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.02**	**%0.01**	**%0.02**

50 kV darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo dış değer analiz sonuçları;

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	22	26.230	24.906	26.846	27.202
	27	27.090	20.929	25.510	25.867
	32	27.940	14.825	25.651	26.008
	ORT. HATA ORANLARI		**%24.42**	**%5.74**	**%4.92**
tanδ	22	0.001850	0.001758	0.001895	0.001919
	27	0.001910	0.001489	0.001800	0.001825
	32	0.001968	0.001082	0.001809	0.001834
	ORT. HATA ORANLARI		**%23.63**	**%.5.67**	**%4.88**
C (pF)	22	1253.90	1252.18	1253.77	1253.74
	27	1253.90	1243.28	1253.73	1253.71
	32	1254.70	1225.76	1254.52	1254.50
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.96**	**%0.01**	**%0.01**

18 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo dış değer analiz sonuçları;

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	32	25.690	25.975	25.032	25.104
	37	26.540	26.093	27.179	27.222
	42	27.050	23.744	27.311	27.538
	47	27.570	17.231	27.058	27.094
	ORT. HATA ORANLARI		**%10.87**	**%1.84**	**%1.86**
tanδ	32	0.001831	0.001829	0.001761	0.001798
	37	0.001886	0.001738	0.001912	0.001950
	42	0.001939	0.001361	0.001935	0.001973
	47	0.002029	0.000527	0.001903	0.001940
	ORT. HATA ORANLARI		**%24.11**	**%.1.69**	**%2.40**
C (pF)	32	1245.90	1245.55	1245.73	1245.81
	37	1245.60	1243.00	1245.42	1245.57
	42	1245.80	1239.66	1245.64	1245.76
	47	1246.20	1235.71	1246.05	1246.18
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.38**	**%0.01**	**%0.01**

30 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo dış değer analiz sonuçları;

Parametre	Yaşlandırma Çevrimi	Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	17	15.380	15.652	16.714	16.202
	21	18.160	20.564	18.934	18.421
	25	21.340	33.267	20.153	19.639
	ORT. HATA ORANLARI		**%18.92**	**%4.05**	**%3.34**
tanδ	17	0.0010860	0.0011054	0.0011705	0.0011346
	21	0.0012820	0.0014528	0.0013252	0.0012893
	25	0.0015060	0.0023537	0.0014096	0.0013737
	ORT. HATA ORANLARI		**%19.07**	**%.3.74**	**%3.42**
C (pF)	17	1251.50	1251.93	1251.61	1251.14
	21	1252.20	1253.51	1252.31	1251.84
	25	1253.00	1255.67	1253.11	1252.64
	ORT. HATA ORANLARI		**%0.10**	**%0.02**	**%0.03**

50 kV darbe gerilimi ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo dış değer analiz sonuçları;

Parametre	Eğitim Verisi	Son Çevrim Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	İlk 10 çevrim	27.94000	39.06160	26.44977	26.63673
	İlk 20 çevrim	27.94000	33.61020	26.54268	26.35571
	İlk 30 çevrim	27.94000	25.94710	28.13779	27.95083
tanδ	İlk 10 çevrim	0.00270	0.001868	0.001883	0.00270
	İlk 20 çevrim	0.00240	0.001874	0.001863	0.00240
	İlk 30 çevrim	0.00200	0.001984	0.001973	0.00200
C (pF)	İlk 10 çevrim	1254.70	1289.24	1253.07	1253.12
	İlk 20 çevrim	1254.70	1259.84	1253.06	1253.13
	İlk 30 çevrim	1254.70	1253.16	1254.65	1254.77

18 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo dış değer analiz sonuçları;

Parametre	Eğitim Verisi	Son Çevrim Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	İlk 10 çevrim	27.57000	18.08490	21.19565	21.29430
	İlk 20 çevrim	27.57000	112.11560	22.89899	22.99764
	İlk 30 çevrim	27.57000	24.99000	25.45081	25.55081
	İlk 40 çevrim	27.57000	28.59520	26.87338	26.97338
tanδ	İlk 10 çevrim	0.0020290	0.0053000	0.0015033	0.0015103
	İlk 20 çevrim	0.0020290	0.0032000	0.0016234	0.0016304
	İlk 30 çevrim	0.0020290	0.0026000	0.0018075	0.0018146
	İlk 40 çevrim	0.0020290	0.0021000	0.0019090	0.0019161
C (pF)	İlk 10 çevrim	1246.2000	1256.8000	1247.5675	1247.4660
	İlk 20 çevrim	1246.2000	1248.5000	1248.1675	1248.0658
	İlk 30 çevrim	1246.2000	1248.3000	1245.9677	1245.8663
	İlk 40 çevrim	1246.2000	1244.4000	1245.6677	1245.5663

30 kV alternatif yüksek gerilim ile yaşlandırılan 6/10 kV kablo dış değer analiz sonuçları;

Parametre	Eğitim Verisi	Son Çevrim Ölçüm Verisi	EKKY	KA	YSA
P_K (mW)	İlk 10 çevrim	21.34000	17.77450	14.55071	14.56607
	İlk 20 çevrim	21.34000	22.80750	18.09872	18.11408
tanδ	İlk 10 çevrim	0.00151	0.00140	0.0010297	0.0010631
	İlk 20 çevrim	0.00151	0.00150	0.0012792	0.0013280
C (pF)	İlk 10 çevrim	1253.00000	1254.10000	1250.51235	1250.73838
	İlk 20 çevrim	1253.00000	1255.20000	1252.11235	1252.38996

B
ANALİZ UYGULAMA KODLARI

EKKY Ara Değer Analizi Matlab Kodu;

```
clear all
close all
clc
load curve_fitting_dynamic.mat

%r'yi tanımla: hangi kablo ve hangi parametre
r=K57_T;

i=length(r);
m=0:i-1;
n=m';
p=r;

%axis ayarları otomatik olarak belirleniyor.
mx=max(p);
mn=min(p);
fark=mx-mn;
f=fark/7;
cihat=-i/15;
cagdas=i+(i/15);
```

```
%1-2-3-4-5-6-7-8-9 dereceden polinomlar uyduruluyor.
   for j = 1:9
xx = polyfit(n,p,j);
yy = polyval(xx,n);

% berlilenen veriler için uydurulan 9 eğri tek bir figürde toplanıyor.
figure (i);
subplot(3,3,j), plot(n,p,'ok',n,yy,'--r', 'linewidth',2);
xlabel('Yaşlandırma Çevrimi', 'fontsize', [9]);
ylabel ('Tan', 'fontsize', [9]);
grid on;
axis ([cihat cagdas mn-f mx+f]);
legend ('Ölçüm','EKKY','Location', 'southeast', 'Numcolumns', 1, 'FontSize',9);

%uydurulan eğrilerin denklemleri grafik başlığı olarak figürlere ekleniyor.
%yaş-ölçüm-eğri-fark-APE olacak şekilde T tablolarında listeleniyor.
%denklemler açıklamalı olarak command window içerisine yazılıyor.
%denklem katsayıları F tablolarında gösteriliyor.

if j==1 %birinci dereceden denklemler
title(['(',num2str(xx(1)),')*x + ','(',num2str(xx(2)),')'],'fontsize', [9]);
      a_10=p-yy;
      b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);
```

```
        T10_1=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['1. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')','*x +','(',num2str(xx(2)),')']);
        F10_1=[xx(1),xx(2)];
elseif j==2 %ikinci dereceden denklemler
title(['(',num2str(xx(1)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(2)),')*x +
','(',num2str(xx(3)),')'],'fontsize', [9]);
        a_10=p-yy;
        b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);
        T10_2=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['2. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(2)),')*x + ','(',num2str(xx(3)),')']);
        F10_2=[xx(1),xx(2),xx(3)];
elseif j==3 %üçüncü dereceden denklemler
title(['(',num2str(xx(1)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')'],'fontsize', [9]);
        a_10=p-yy;
        b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);
        T10_3=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['3. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')']);
        F10_3=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4)];
elseif j==4 %dördüncü dereceden denklemler
```

```
title(['(',num2str(xx(1)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(3)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(4)),')*x +
','(',num2str(xx(5)),')'],'fontsize', [9]);

    a_10=p-yy;

    b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);

    T10_4=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['4. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(4)),')*x + ','(',num2str(xx(5)),')']);

    F10_4=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5)];

elseif j==5 %beşinci dereceden denklemler

title(['(',num2str(xx(1)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(3)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(4)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')'],'fontsize', [9]);

    a_10=p-yy;

    b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);

    T10_5=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['5. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^5 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')']);

    F10_5=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6)];

elseif j==6 %altıncı dereceden denklemle

title(['(',num2str(xx(1)),')*x^6 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^5 +
','(',num2str(xx(3)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(4)),')*x^3 +
```

```
','(',num2str(xx(5)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(6)),')*x +
','(',num2str(xx(7)),')'],'fontsize', [9]);

    a_10=p-yy;

    b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);

    T10_6=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['6. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^6 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(5)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(6)),')*x + ','(',num2str(xx(7)),')']);

    F10_6=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7)];

elseif j==7 %yedinci dereceden denklemler

title(['(',num2str(xx(1)),')*x^7 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^6 +
','(',num2str(xx(3)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(4)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(5)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(6)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(7)),')*x + ','(',num2str(xx(8)),')'],'fontsize', [9]);

    a_10=p-yy;

    b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);

    T10_7=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['7. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^7 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^6 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^5 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(5)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(6)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(7)),')*x + ','(',num2str(xx(8)),')']);

    F10_7=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7),xx(8)];

elseif j==8 %sekizinci dereceden denklemler
```

```
title(['(',num2str(xx(1)),')*x^8 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^7 +
','(',num2str(xx(3)),')*x^6 + ','(',num2str(xx(4)),')*x^5+
','(',num2str(xx(5)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(6)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(7)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(8)),')*x +
','(',num2str(xx(9)),')'],'fontsize', [9]);

    a_10=p-yy;

    b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);

    T10_8=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['8. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^8 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^7 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^6 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^5+ ','(',num2str(xx(5)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(6)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(7)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(8)),')*x + ','(',num2str(xx(9)),')']);

    F10_8=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7),xx(8),xx(9)];

else %dokuzuncu dereceden denklemler

title(['(',num2str(xx(1)),')*x^9 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^8 +
','(',num2str(xx(3)),')*x^7 + ','(',num2str(xx(4)),')*x^6 +
','(',num2str(xx(5)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(6)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(7)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(8)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(9)),')*x + ','(',num2str(xx(10)),')'],'fontsize', [9]);

    a_10=p-yy;

    b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);

    T10_9=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['9. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^9 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^8 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^7 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^6 + ','(',num2str(xx(5)),')*x^5 +
```

```
','(',num2str(xx(6)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(7)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(8)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(9)),')*x +
','(',num2str(xx(10)),')']);
        F10_9=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7),xx(8),xx(9),xx(10)];
          end
    end
```

EKKY Dış Değer Analizi Matlab Kodu;

```
clear all
close all
clc
load curve_fitting_dynamic.mat

%r'yi tanımla: hangi kablo ve hangi parametre
r=K1314_C;
s=length(r);

%10'ar adımla veri belirleme (10-20-30.... gibi)
for i = 10:10:s-2
m=0:i;
n=m';
p=r(1:i+1,1);

%axis ayarları otomatik olarak belirleniyor.
mx=max(p);
mn=min(p);
fark=mx-mn;
f=fark/7;
cihat=-i/15;
cagdas=i+(i/15);
```

```
%1-2-3-4-5-6 dereceden polinomlar uyduruluyor.
   for j = 1:6
xx = polyfit(n,p,j);
yy = polyval(xx,n);

% berlilenen veriler için uydurulan 6 eğri tek bir figürde toplanıyor.
figure ((i/10));
subplot(3,2,j), plot(n,p,'ok',n,yy,'--r', 'linewidth',2);
xlabel('Yaşlandırma Çevrimi', 'fontsize', [9]);
ylabel ('Tan', 'fontsize', [9]);
grid on;
axis ([cihat cagdas mn-f mx+f]);
legend ('Ölçüm','EKKY','Location', 'southeast', 'Numcolumns', 1, 'FontSize',9);

%uydurulan eğrilerin denklemleri grafik başlığı olarak figürlere ekleniyor.
%yaş-ölçüm-eğri-fark-APE olacak şekilde T tablolarında listeleniyor.
%denklemler açıklamalı olarak command window içerisine yazılıyor.
%denklem katsayıları F tablolarında gösteriliyor.
%uydurulan eğri ile son çevrim tahmin değeri Y olarak tanımlanıyor.

if j==1 %birinci dereceden denklemler
title(['(',num2str(xx(1)),')*x + ','(',num2str(xx(2)),')'],'fontsize', [9]);
   if i==10
      a_10=p-yy;
```

```
    b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);
    T10_1=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['10 veri ile 1. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')','*x
+','(',num2str(xx(2)),')']);
    F10_1=[xx(1),xx(2)];
    Y10_1=(xx(1)*(s-1))+(xx(2));
  elseif i==20
    a_20=p-yy;
    b_20=abs(a_20.*p.^-1.*100);
    T20_1=
table(n,p,yy,a_20,b_20,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['20 veri ile 1. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')','*x
+','(',num2str(xx(2)),')']);
    F20_1=[xx(1),xx(2)];
    Y20_1=(xx(1)*(s-1))+(xx(2));
  elseif i==30
    a_30=p-yy;
    b_30=abs(a_30.*p.^-1.*100);
    T30_1=
table(n,p,yy,a_30,b_30,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['30 veri ile 1. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')','*x
+','(',num2str(xx(2)),')']);
    F30_1=[xx(1),xx(2)];
    Y30_1=(xx(1)*(s-1))+(xx(2));
  elseif i==40
```

```
        a_40=p-yy;
        b_40=abs(a_40.*p.^-1.*100);
        T40_1=
table(n,p,yy,a_40,b_40,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['40 veri ile 1. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')','*x
+','(',num2str(xx(2)),')']);
        F40_1=[xx(1),xx(2)];
        Y40_1=(xx(1)*(s-1))+(xx(2));
    elseif i==50
        a_50=p-yy;
        b_50=abs(a_50.*p.^-1.*100);
        T50_1=
table(n,p,yy,a_50,b_50,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['50 veri ile 1. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')','*x
+','(',num2str(xx(2)),')']);
        F50_1=[xx(1),xx(2)];
        Y50_1=(xx(1)*(s-1))+(xx(2));
    elseif i==60
        a_60=p-yy;
        b_60=abs(a_60.*p.^-1.*100);
        T60_1=
table(n,p,yy,a_60,b_60,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['60 veri ile 1. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')','*x
+','(',num2str(xx(2)),')']);
        F60_1=[xx(1),xx(2)];
        Y60_1=(xx(1)*(s-1))+(xx(2));
```

```
    elseif i==70
        a_70=p-yy;
        b_70=abs(a_70.*p.^-1.*100);
        T70_1=
table(n,p,yy,a_70,b_70,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['70 veri ile 1. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')','*x
+','(',num2str(xx(2)),')']);
        F70_1=[xx(1),xx(2)];
        Y70_1=(xx(1)*(s-1))+(xx(2));
    end
elseif j==2 %ikinci dereceden denklemler
title(['(',num2str(xx(1)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(2)),')*x +
','(',num2str(xx(3)),')'],'fontsize',[9]);
    if i==10
        a_10=p-yy;
        b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);
        T10_2=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['10 veri ile 2. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(2)),')*x + ','(',num2str(xx(3)),')']);
        F10_2=[xx(1),xx(2),xx(3)];
        Y10_2=(xx(1)*((s-1)^2))+(xx(2)*(s-1))+(xx(3));
    elseif i==20
        a_20=p-yy;
        b_20=abs(a_20.*p.^-1.*100);
```

```
        T20_2=
table(n,p,yy,a_20,b_20,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['20 veri ile 2. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(2)),')*x + ','(',num2str(xx(3)),')']);
        F20_2=[xx(1),xx(2),xx(3)];
        Y20_2=(xx(1)*((s-1)^2))+(xx(2)*(s-1))+(xx(3));
    elseif i==30
        a_30=p-yy;
        b_30=abs(a_30.*p.^-1.*100);
        T30_2=
table(n,p,yy,a_30,b_30,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['30 veri ile 2. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(2)),')*x + ','(',num2str(xx(3)),')']);
        F30_2=[xx(1),xx(2),xx(3)];
        Y30_2=(xx(1)*((s-1)^2))+(xx(2)*(s-1))+(xx(3));
    elseif i==40
        a_40=p-yy;
        b_40=abs(a_40.*p.^-1.*100);
        T40_2=
table(n,p,yy,a_40,b_40,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['40 veri ile 2. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(2)),')*x + ','(',num2str(xx(3)),')']);
        F40_2=[xx(1),xx(2),xx(3)];
        Y40_2=(xx(1)*((s-1)^2))+(xx(2)*(s-1))+(xx(3));
    elseif i==50
        a_50=p-yy;
```

```
    b_50=abs(a_50.*p.^-1.*100);
    T50_2=
table(n,p,yy,a_50,b_50,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['50 veri ile 2. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(2)),')*x + ','(',num2str(xx(3)),')']);
    F50_2=[xx(1),xx(2),xx(3)];
    Y50_2=(xx(1)*((s-1)^2))+(xx(2)*(s-1))+(xx(3));
  elseif i==60
    a_60=p-yy;
    b_60=abs(a_60.*p.^-1.*100);
    T60_2=
table(n,p,yy,a_60,b_60,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['60 veri ile 2. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(2)),')*x + ','(',num2str(xx(3)),')']);
    F60_2=[xx(1),xx(2),xx(3)];
    Y60_2=(xx(1)*((s-1)^2))+(xx(2)*(s-1))+(xx(3));
  elseif i==70
    a_70=p-yy;
    b_70=abs(a_70.*p.^-1.*100);
    T70_2=
table(n,p,yy,a_70,b_70,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['70 veri ile 2. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(2)),')*x + ','(',num2str(xx(3)),')']);
    F70_2=[xx(1),xx(2),xx(3)];
    Y70_2=(xx(1)*((s-1)^2))+(xx(2)*(s-1))+(xx(3));
  end
```

```
elseif j==3 %üçüncü dereceden denklemler
title(['(',num2str(xx(1)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')'],'fontsize', [9]);
   if i==10
      a_10=p-yy;
      b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);
      T10_3=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
      disp(['10 veri ile 3. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')']);
      F10_3=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4)];
      Y10_3=(xx(1)*((s-1)^3))+(xx(2)*((s-1)^2))+(xx(3)*((s-
1)^1))+(xx(4));
   elseif i==20
      a_20=p-yy;
      b_20=abs(a_20.*p.^-1.*100);
      T20_3=
table(n,p,yy,a_20,b_20,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
      disp(['20 veri ile 3. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')']);
      F20_3=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4)];
      Y20_3=(xx(1)*((s-1)^3))+(xx(2)*((s-1)^2))+(xx(3)*((s-
1)^1))+(xx(4));
   elseif i==30
      a_30=p-yy;
      b_30=abs(a_30.*p.^-1.*100);
```

```
        T30_3=
table(n,p,yy,a_30,b_30,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['30 veri ile 3. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')']);
        F30_3=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4)];
        Y30_3=(xx(1)*((s-1)^3))+(xx(2)*((s-1)^2))+(xx(3)*((s-
1)^1))+(xx(4));
    elseif i==40
        a_40=p-yy;
        b_40=abs(a_40.*p.^-1.*100);
        T40_3=
table(n,p,yy,a_40,b_40,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['40 veri ile 3. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')']);
        F40_3=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4)];
        Y40_3=(xx(1)*((s-1)^3))+(xx(2)*((s-1)^2))+(xx(3)*((s-
1)^1))+(xx(4));
    elseif i==50
        a_50=p-yy;
        b_50=abs(a_50.*p.^-1.*100);
        T50_3=
table(n,p,yy,a_50,b_50,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['50 veri ile 3. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')']);
        F50_3=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4)];
```

```
        Y50_3=(xx(1)*((s-1)^3))+(xx(2)*((s-1)^2))+(xx(3)*((s-
1)^1))+(xx(4));
    elseif i==60
        a_60=p-yy;
        b_60=abs(a_60.*p.^-1.*100);
        T60_3=
table(n,p,yy,a_60,b_60,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['60 veri ile 3. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')']);
        F60_3=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4)];
        Y60_3=(xx(1)*((s-1)^3))+(xx(2)*((s-1)^2))+(xx(3)*((s-
1)^1))+(xx(4));
    elseif i==70
        a_70=p-yy;
        b_70=abs(a_70.*p.^-1.*100);
        T70_3=
table(n,p,yy,a_70,b_70,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
        disp(['70 veri ile 3. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(3)),')*x + ','(',num2str(xx(4)),')']);
        F70_3=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4)];
        Y70_3=(xx(1)*((s-1)^3))+(xx(2)*((s-1)^2))+(xx(3)*((s-
1)^1))+(xx(4));
    end
elseif j==4 %dördüncü dereceden denklemler
```

```
title(['(',num2str(xx(1)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(4)),')*x + ','(',num2str(xx(5)),')'],'fontsize', [9]);

   if i==10

      a_10=p-yy;

      b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);

      T10_4=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

      disp(['10 veri ile 4. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(4)),')*x + ','(',num2str(xx(5)),')']);

      F10_4=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5)];

      Y10_4=(xx(1)*((s-1)^4))+(xx(2)*((s-1)^3))+(xx(3)*((s-
1)^2))+(xx(4)*((s-1)^1))+(xx(5));

   elseif i==20

      a_20=p-yy;

      b_20=abs(a_20.*p.^-1.*100);

      T20_4=
table(n,p,yy,a_20,b_20,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

      disp(['20 veri ile 4. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(4)),')*x + ','(',num2str(xx(5)),')']);

      F20_4=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5)];

      Y20_4=(xx(1)*((s-1)^4))+(xx(2)*((s-1)^3))+(xx(3)*((s-
1)^2))+(xx(4)*((s-1)^1))+(xx(5));

   elseif i==30

      a_30=p-yy;
```

```
    b_30=abs(a_30.*p.^-1.*100);
    T30_4=
table(n,p,yy,a_30,b_30,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['30 veri ile 4. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(4)),')*x + ','(',num2str(xx(5)),')']);
    F30_4=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5)];
    Y30_4=(xx(1)*((s-1)^4))+(xx(2)*((s-1)^3))+(xx(3)*((s-
1)^2))+(xx(4)*((s-1)^1))+(xx(5));
  elseif i==40
    a_40=p-yy;
    b_40=abs(a_40.*p.^-1.*100);
    T40_4=
table(n,p,yy,a_40,b_40,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['40 veri ile 4. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(4)),')*x + ','(',num2str(xx(5)),')']);
    F40_4=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5)];
    Y40_4=(xx(1)*((s-1)^4))+(xx(2)*((s-1)^3))+(xx(3)*((s-
1)^2))+(xx(4)*((s-1)^1))+(xx(5));
  elseif i==50
    a_50=p-yy;
    b_50=abs(a_50.*p.^-1.*100);
    T50_4=
table(n,p,yy,a_50,b_50,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
```

```
    disp(['50 veri ile 4. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(4)),')*x + ','(',num2str(xx(5)),')']);

    F50_4=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5)];

    Y50_4=(xx(1)*((s-1)^4))+(xx(2)*((s-1)^3))+(xx(3)*((s-
1)^2))+(xx(4)*((s-1)^1))+(xx(5));

  elseif i==60

    a_60=p-yy;

    b_60=abs(a_60.*p.^-1.*100);

    T60_4=
table(n,p,yy,a_60,b_60,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['60 veri ile 4. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(4)),')*x + ','(',num2str(xx(5)),')']);

    F60_4=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5)];

    Y60_4=(xx(1)*((s-1)^4))+(xx(2)*((s-1)^3))+(xx(3)*((s-
1)^2))+(xx(4)*((s-1)^1))+(xx(5));

  elseif i==70

    a_70=p-yy;

    b_70=abs(a_70.*p.^-1.*100);

    T70_4=
table(n,p,yy,a_70,b_70,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['70 veri ile 4. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(4)),')*x + ','(',num2str(xx(5)),')']);

    F70_4=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5)];
```

```
    Y70_4=(xx(1)*((s-1)^4))+(xx(2)*((s-1)^3))+(xx(3)*((s-
1)^2))+(xx(4)*((s-1)^1))+(xx(5));
  end
elseif j==5 %beşinci dereceden denklemler
title(['(',num2str(xx(1)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(3)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(4)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')'],'fontsize', [9]);
  if i==10
    a_10=p-yy;
    b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);
    T10_5=
table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['10 veri ile 5. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^5 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')']);
    F10_5=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6)];
    Y10_5=(xx(1)*((s-1)^5))+(xx(2)*((s-1)^4))+(xx(3)*((s-
1)^3))+(xx(4)*((s-1)^2))+(xx(5)*(s-1))+(xx(6));
  elseif i==20
    a_20=p-yy;
    b_20=abs(a_20.*p.^-1.*100);
    T20_5=
table(n,p,yy,a_20,b_20,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['20 veri ile 5. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^5 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')']);
    F20_5=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6)];
```

```
    Y20_5=(xx(1)*((s-1)^5))+(xx(2)*((s-1)^4))+(xx(3)*((s-
1)^3))+(xx(4)*((s-1)^2))+(xx(5)*(s-1))+(xx(6));
  elseif i==30
    a_30=p-yy;
    b_30=abs(a_30.*p.^-1.*100);
    T30_5=
table(n,p,yy,a_30,b_30,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['30 veri ile 5. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^5 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')']);
    F30_5=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6)];
    Y30_5=(xx(1)*((s-1)^5))+(xx(2)*((s-1)^4))+(xx(3)*((s-
1)^3))+(xx(4)*((s-1)^2))+(xx(5)*(s-1))+(xx(6));
  elseif i==40
    a_40=p-yy;
    b_40=abs(a_40.*p.^-1.*100);
    T40_5=
table(n,p,yy,a_40,b_40,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['40 veri ile 5. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^5 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')']);
    F40_5=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6)];
    Y40_5=(xx(1)*((s-1)^5))+(xx(2)*((s-1)^4))+(xx(3)*((s-
1)^3))+(xx(4)*((s-1)^2))+(xx(5)*(s-1))+(xx(6));
  elseif i==50
    a_50=p-yy;
```

```
    b_50=abs(a_50.*p.^-1.*100);
    T50_5=
table(n,p,yy,a_50,b_50,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['50 veri ile 5. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^5 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')']);
    F50_5=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6)];
    Y50_5=(xx(1)*((s-1)^5))+(xx(2)*((s-1)^4))+(xx(3)*((s-
1)^3))+(xx(4)*((s-1)^2))+(xx(5)*(s-1))+(xx(6));
  elseif i==60
    a_60=p-yy;
    b_60=abs(a_60.*p.^-1.*100);
    T60_5=
table(n,p,yy,a_60,b_60,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
    disp(['60 veri ile 5. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^5 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^3 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')']);
    F60_5=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6)];
    Y60_5=(xx(1)*((s-1)^5))+(xx(2)*((s-1)^4))+(xx(3)*((s-
1)^3))+(xx(4)*((s-1)^2))+(xx(5)*(s-1))+(xx(6));
  elseif i==70
    a_70=p-yy;
    b_70=abs(a_70.*p.^-1.*100);
    T70_5=
table(n,p,yy,a_70,b_70,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
```

```
disp(['70 veri ile 5. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(4)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(5)),')*x + ','(',num2str(xx(6)),')']);

F70_5=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6)];

Y70_5=(xx(1)*((s-1)^5))+(xx(2)*((s-1)^4))+(xx(3)*((s-1)^3))+(xx(4)*((s-1)^2))+(xx(5)*(s-1))+(xx(6));

end

else %altıncı dereceden denklemler

title(['(',num2str(xx(1)),')*x^6 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(4)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(5)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(6)),')*x + ','(',num2str(xx(7)),')'],'fontsize', [9]);

if i==10

a_10=p-yy;

b_10=abs(a_10.*p.^-1.*100);

T10_6= table(n,p,yy,a_10,b_10,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

disp(['10 veri ile 6. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^6 + ','(',num2str(xx(2)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^4 + ','(',num2str(xx(4)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(5)),')*x^2 + ','(',num2str(xx(6)),')*x + ','(',num2str(xx(7)),')']);

F10_6=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7)];

Y10_6=(xx(1)*((s-1)^6))+(xx(2)*((s-1)^5))+(xx(3)*((s-1)^4))+(xx(4)*((s-1)^3))+(xx(5)*((s-1)^2))+(xx(6)*(s-1))+(xx(7));

elseif i==20

a_20=p-yy;

b_20=abs(a_20.*p.^-1.*100);
```

```
T20_6=
table(n,p,yy,a_20,b_20,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

disp(['20 veri ile 6. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^6 +
',(',num2str(xx(2)),')*x^5 + ',(',num2str(xx(3)),')*x^4 +
',(',num2str(xx(4)),')*x^3 + ',(',num2str(xx(5)),')*x^2 +
',(',num2str(xx(6)),')*x + ',(',num2str(xx(7)),')']);

F20_6=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7)];

Y20_6=(xx(1)*((s-1)^6))+(xx(2)*((s-1)^5))+(xx(3)*((s-
1)^4))+(xx(4)*((s-1)^3))+(xx(5)*((s-1)^2))+(xx(6)*(s-1))+(xx(7));

elseif i==30

a_30=p-yy;

b_30=abs(a_30.*p.^-1.*100);

T30_6=
table(n,p,yy,a_30,b_30,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

disp(['30 veri ile 6. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^6 +
',(',num2str(xx(2)),')*x^5 + ',(',num2str(xx(3)),')*x^4 +
',(',num2str(xx(4)),')*x^3 + ',(',num2str(xx(5)),')*x^2 +
',(',num2str(xx(6)),')*x + ',(',num2str(xx(7)),')']);

F30_6=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7)];

Y30_6=(xx(1)*((s-1)^6))+(xx(2)*((s-1)^5))+(xx(3)*((s-
1)^4))+(xx(4)*((s-1)^3))+(xx(5)*((s-1)^2))+(xx(6)*(s-1))+(xx(7));

elseif i==40

a_40=p-yy;

b_40=abs(a_40.*p.^-1.*100);

T40_6=
table(n,p,yy,a_40,b_40,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});
```

```
    disp(['40 veri ile 6. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^6 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(5)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(6)),')*x + ','(',num2str(xx(7)),')']);

    F40_6=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7)];

    Y40_6=(xx(1)*((s-1)^6))+(xx(2)*((s-1)^5))+(xx(3)*((s-
1)^4))+(xx(4)*((s-1)^3))+(xx(5)*((s-1)^2))+(xx(6)*(s-1))+(xx(7));

  elseif i==50

    a_50=p-yy;

    b_50=abs(a_50.*p.^-1.*100);

    T50_6=
table(n,p,yy,a_50,b_50,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['50 veri ile 6. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^6 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(5)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(6)),')*x + ','(',num2str(xx(7)),')']);

    F50_6=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7)];

    Y50_6=(xx(1)*((s-1)^6))+(xx(2)*((s-1)^5))+(xx(3)*((s-
1)^4))+(xx(4)*((s-1)^3))+(xx(5)*((s-1)^2))+(xx(6)*(s-1))+(xx(7));

  elseif i==60

    a_60=p-yy;

    b_60=abs(a_60.*p.^-1.*100);

    T60_6=
table(n,p,yy,a_60,b_60,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['60 veri ile 6. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^6 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^4 +
```

```
','(',num2str(xx(4)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(5)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(6)),')*x + ','(',num2str(xx(7)),')']);

    F60_6=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7)];

    Y60_6=(xx(1)*((s-1)^6))+(xx(2)*((s-1)^5))+(xx(3)*((s-
1)^4))+(xx(4)*((s-1)^3))+(xx(5)*((s-1)^2))+(xx(6)*(s-1))+(xx(7));

  elseif i==70

    a_70=p-yy;

    b_70=abs(a_70.*p.^-1.*100);

    T70_6=
table(n,p,yy,a_70,b_70,'VariableNames',{'Yas','Olcum','Egri','Fark','APE'});

    disp(['70 veri ile 6. dereceden y =' '(',num2str(xx(1)),')*x^6 +
','(',num2str(xx(2)),')*x^5 + ','(',num2str(xx(3)),')*x^4 +
','(',num2str(xx(4)),')*x^3 + ','(',num2str(xx(5)),')*x^2 +
','(',num2str(xx(6)),')*x + ','(',num2str(xx(7)),')']);

    F70_6=[xx(1),xx(2),xx(3),xx(4),xx(5),xx(6),xx(7)];

    Y70_6=(xx(1)*((s-1)^6))+(xx(2)*((s-1)^5))+(xx(3)*((s-
1)^4))+(xx(4)*((s-1)^3))+(xx(5)*((s-1)^2))+(xx(6)*(s-1))+(xx(7));

  end
end
  end
```

YSA Ara Değer Analizi Matlab Kodu;

```
clear all
close all
clc
load int_eg.mat
load int_test.mat
load x_ageing_eg.mat
load x_ageing_test.mat

net1=newff(int_eg(:,1)',int_eg(:,3)',[12,6,3],{'tansig','logsig','purelin'},'trainlm');
net1.trainParam.show = 50;
net1.trainParam.lr = 0.01;
net1.trainParam.max_fail=5000;
net1.trainParam.min_grad = 1e-12;
net1.trainParam.mc = 0.9;
net1.trainParam.epochs = 5000;
net1.trainParam.goal = 0;
net1.trainParam.time = inf;
[net1,tr]=train(net1,int_eg(:,1)',int_eg(:,3)');
output_train_1=sim(net1, int_eg(:,1)');
output_test_1=sim(net1, int_test(:,1)');
output_test_1=685.83*output_test_1;

figure;
```

```
plot(x_ageing_test,685.83*int_test(:,3),'-b','LineWidth',3);
hold on
plot(x_ageing_test,output_test_1,'ro','MarkerSize',10,'LineWidth',3);
set(gca,'FontSize',20,'FontName','Calibri');
xlabel('Ageing Cycle','FontName','Calibri','FontSize',20);
ylabel('Dielectric Loss [mW]','FontName','Calibri','FontSize',20);
legend('Measurement','ANN','Location','NorthEast');
grid;
```

YSA Dış Değer Analizi Matlab Kodu;

```
clear all
close all
clc
load extrp_train.mat

y=71;

net1=newff(ext_train(1:y,2)',ext_train(1:y,5)',[12,6,3],{'tansig','logsig','purelin'}
,'trainlm');
net1.trainParam.show = 50;
net1.trainParam.lr = 0.01;
net1.trainParam.max_fail=5000;
net1.trainParam.min_grad = 1e-12;
net1.trainParam.mc = 0.9;
net1.trainParam.epochs = 5000;
net1.trainParam.goal = 0;
net1.trainParam.time = inf;
[net1,tr]=train(net1,ext_train(1:y,2)',ext_train(1:y,5)');
output_train_1=sim(net1, ext_train(1:y,2)');
output_test_1=sim(net1, ext_train(1:81,2)');
output_test_1=685.83*output_test_1;

figure;
plot(ext_train(1:81),685.83*ext_train(1:81,5),'-b','LineWidth',3);
```

```
hold on
plot(ext_train(1:81),output_test_1,'ro','MarkerSize',10,'LineWidth',3);
set(gca,'FontSize',20,'FontName','Calibri');
xlabel('Ageing Cycle','FontName','Calibri','FontSize',20) % x-axis label
ylabel('Dielectric Losses [mW]','FontName','Calibri','FontSize',20) % y-axis label
legend('Measurement','ANN','Location','SouthEast');
grid;
output_test_1(81)
```

KA Ara Değer Analizi Python Kodu;

```
import pandas as pd

import numpy as np

from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler, StandardScaler


df_train = pd.read_excel("Çift - Tek Tahmini (Kablo 5 ve Kablo 7).xlsx", header=1, sheet_name=0)

df_test = pd.read_excel("Çift - Tek Tahmini (Kablo 5 ve Kablo 7).xlsx", header=1, sheet_name=1)

df_train.columns = ["sample","rated_volt","section","termination","type","applied_volt","cycle","time","measure_volt","measure_freq",

            "tan_delta","dielect_loss","cap"]

df_test.columns = df_train.columns

df_result = pd.DataFrame()


df_train = df_train[df_train.tan_delta != 0].copy()

df_test = df_test[df_test.tan_delta != 0].copy()

df_test_result = df_test.copy()


df_train["tan_delta"] = np.log(df_train["tan_delta"])

df_train["dielect_loss"] = np.log(df_train["dielect_loss"])

df_train["cap"] = np.log(df_train["cap"])

df_test["tan_delta"] = np.log(df_test["tan_delta"])

df_test["dielect_loss"] = np.log(df_test["dielect_loss"])
```

```
df_test["cap"] = np.log(df_test["cap"])
scaler_tan = StandardScaler()
scaler_tan_test = StandardScaler()
scaler_dielect = StandardScaler()
scaler_dielect_test = StandardScaler()
scaler_cap = StandardScaler()
scaler_cap_test = StandardScaler()

# scaler_tan = MinMaxScaler()
# scaler_tan_test = MinMaxScaler()
# scaler_dielect = MinMaxScaler()
# scaler_dielect_test = MinMaxScaler()
# scaler_cap = MinMaxScaler()
# scaler_cap_test = MinMaxScaler()

# df_train["tan_delta"] = scaler_tan.fit_transform(df_train[["tan_delta"]])
# df_test["tan_delta"] = scaler_tan_test.fit_transform(df_test[["tan_delta"]])
# df_train["dielect_loss"] = scaler_dielect.fit_transform(df_train[["dielect_loss"]])
# df_test["dielect_loss"] = scaler_dielect_test.fit_transform(df_test[["dielect_loss"]])

# df_train["cap"] = scaler_cap.fit_transform(df_train[["cap"]])
# df_test["cap"] = scaler_cap_test.fit_transform(df_test[["cap"]])
```

```
scalers_test = [scaler_tan_test, scaler_dielect_test, scaler_cap_test]
scalers = [scaler_tan, scaler_dielect, scaler_cap]

targets = ["tan_delta","dielect_loss","cap"]

for target,scaler_test in zip(targets,scalers):
    x_train = df_train.drop(columns=[target]).copy()
    x_test = df_test.drop(columns=[target]).copy()

    y_train =  df_train[target].copy()
    y_test = df_test[target].copy()

    from lightgbm.sklearn import LGBMRegressor
    lgb = LGBMRegressor(n_estimators=200)
    lgb.fit(x_train,y_train)
    predict = lgb.predict(x_test)
    # predict = scaler_test.inverse_transform(predict.reshape(-1,1))
    predict = np.exp(predict)
    predict = pd.Series(predict, name="predict")
    df_result["{}_predict".format(target)] = predict
       df_result["{}".format(target)] =
df_test_result.loc[:,[target]].reset_index(drop=True).copy()
    print(target,1 -
np.mean(np.abs(df_result["{}_predict".format(target)]/df_result["{}".format(tar
get)] -1)))
```

```
    df_result[[target,"{}_predict".format(target)]].plot()
# df_result["tan_delta_predict"] = df_result["tan_delta_predict"] / 2


# for target in targets:
#                                                     print(target,1 -
np.mean(np.abs(df_result["{}_predict".format(target)]/df_result["{}".format(tar
get)] -1)))
#     df_result[[target,"{}_predict".format(target)]].plot()


for target in targets:
        df_result["{}_percentage_error".format(target)]                    =
(df_result["{}_predict".format(target)]/df_result["{}".format(target)]) -1
df_result.drop(columns=targets, inplace=True)
df_test_result.reset_index(drop=True, inplace=True)
df_test_result = pd.concat([df_test_result,df_result],axis = 1)


df_test_result.to_excel("cift_tek.xlsx", index=False)
```

KA Dış Değer Analizi Python Kodu;

```
import pandas as pd

import numpy as np

from tqdm import tqdm

from sklearn import preprocessing


df_train = pd.read_excel("deger_yeni.xlsx", header=1, sheet_name=0)

df_test = pd.read_excel("Yaşlandırma Tahmini (Dinamik).xlsx", header=1, sheet_name=2)

df_train.columns = ["sample","rated_volt","section","termination","type","applied_volt","cycle","time","measure_volt","measure_freq",

                    "tan_delta","dielect_loss","cap"]

df_test.columns = df_train.columns

df_result = pd.DataFrame()

df_score = pd.DataFrame(columns = ["cycle","tan_acc","dielect_acc", "cap_acc"])


df_train = df_train[df_train.tan_delta != 0].copy()

df_test = df_test[df_test.tan_delta != 0].copy()


df_train["tan_delta"] = np.log(df_train["tan_delta"])

df_train["dielect_loss"] = np.log(df_train["dielect_loss"])

df_train["cap"] = np.log(df_train["cap"])

df_test["tan_delta"] = np.log(df_test["tan_delta"])

df_test["dielect_loss"] = np.log(df_test["dielect_loss"])
```

```
df_test["cap"] = np.log(df_test["cap"])
targets = ["tan_delta","dielect_loss","cap"]

df_temp_test = df_test[df_test["cycle"] == df_test["cycle"].max()].copy()

for i in tqdm(range(10,df_test["cycle"].max()+1, 5)):
    df_temp = df_train[(df_train["sample"] == int(df_test["sample"].unique())) &
(df_train.cycle <= i)]

    targets = ["tan_delta","dielect_loss","cap"]

    for target in targets:
        x_train = df_temp.drop(columns=[target]).copy()
        x_test = df_temp_test.drop(columns=[target]).copy()
        y_train =  df_temp[target].copy()
        y_test = df_temp_test[target].copy()

        from lightgbm.sklearn import LGBMRegressor
        lgb = LGBMRegressor(n_estimators=200)
        lgb.fit(x_train,y_train,
categorical_feature=["sample","termination","type","cycle"])
        predict = lgb.predict(x_test)
        predict = np.exp(predict)
        predict = pd.Series(predict, name="predict")
        df_result["{}_predict".format(target)] = predict
```

```
        df_result["{}".format(target)] =
np.exp(df_temp_test.loc[:,[target]].reset_index(drop=True)).copy()


    tan_acc = 1 -
np.mean(np.abs(df_result["tan_delta_predict"]/df_result["tan_delta"] -1))
    dielect_acc = 1 -
np.mean(np.abs(df_result["dielect_loss_predict"]/df_result["dielect_loss"] -1))
    cap_acc = 1 - np.mean(np.abs(df_result["cap_predict"]/df_result["cap"] -1))


    df_score =
df_score.append({"cycle":i,"tan_acc":tan_acc,"dielect_acc":dielect_acc,"cap_acc":c
ap_acc,}, ignore_index=True)


    for target in targets:
        df_result["{}_percentage_error".format(target)] = \
            (df_result["{}_predict".format(target)]/df_result["{}".format(target)]) -1


    df_result.drop(columns=targets, inplace=True)
    df_temp2 = df_temp_test.reset_index(drop=True).copy()
    df_temp2 = pd.concat([df_temp2,df_result],axis = 1)
        df_temp2[["tan_delta"]] = np.exp(df_temp2[["tan_delta"]])
    df_temp2[["dielect_loss"]] = np.exp(df_temp2[["dielect_loss"]])
    df_temp2[["cap"]] = np.exp(df_temp2[["cap"]])
    df_temp2.to_excel("yas_cycle_{}.xlsx".format(i), index=False)
df_score.plot(x="cycle")
df_score.to_excel("score_list_by_cycle.xlsx",index=False)
```

C
CPC100 VE MPD600 TEKNİK ÖZELLİKLERİ

CPC100 CİHAZININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ;

Yüksek Gerilim Çıkışı Özellikleri;

Bağlantı	U/f	THD	I [mA]	S [VA]	T [dk]
Yüksek Gerilim Probu	0-12 kV AC	< %2	300	3600	> 2
	15-400 Hz		100	1200	> 60

Frekans Özellikleri;

Ölçme Aralığı [Hz]	Çözünürlük [Hz]	Hassasiyet
15 - 400	0,01	Okunan değerin %0.005'i

Ölçme Akımının Özellikleri;

Bağlantı	Ölçme Aralığı [A]	Çözünürlük	Hassasiyet	Ölçme Şartları
IN-A Ve IN-B	0 - 5	5 rakam	Okunan Değerin % 0.3'ü	I < 8 mA
			Okunan Değerin % 0.5'i	I > 8 mA

Ölçme Gerilimi Özellikleri;

Ölçme Aralığı [V]	Çözünürlük	Hassasiyet
0 - 12000	1 V	Okunan değerin %0.3'ü

Kapasite Ölçme Özellikleri;

Ölçme Aralığı [F]	Çözünürlük	Hassasiyet	Ölçme Şartları
1p - 3µ	6 rakam	Okunan Değerin % 0.05'i	I < 8 mA
		Okunan Değerin % 0.2'si	I > 8 mA

Dielektrik Kayıp Faktörü Ölçme Özellikleri;

Ölçme Aralığı	Çözünürlük	Hassasiyet	Ölçme Şartları
%0 - %10 kapasitif	5 rakam	Okunan Değerin % 0.1'i	I < 8 mA V=300V – 10 kV
%0 - %10000		Okunan Değerin % 0.5'i	V=300V – 10 kV

Dielektrik Kayıp Ölçme Özellikleri;

Ölçme Aralığı [F]	Çözünürlük	Hassasiyet
0 - 3.6 kW	6 rakam	Okunan Değerin % 0.5'i
0 – 3.6 kVAr		Okunan Değerin % 0.5'i
0 – 3.6 kVA	5 rakam	Okunan Değerin % 0.5'i

MPD600 CİHAZININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ;

Giriş Özellikleri;

Parametre	KB Girişi	Gerilim Girişi
Frekans Aralığı	0 kHz – 20 MHz	0.1 Hz – 2.1 kHz
Empedans	50 Ω	1 μF // 1 MΩ
Maksimum Gerilim	10 Vrms	60V rms
Dinamik Skala	132 dB	102 dB

Hata Oranı;

Parametre	Ölçüm Belirsizliği
Frekans Aralığı	± 1 ppm
KB seviyesi	± %2
Gerilim	± %0.05

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. C. C. Uydur, O. Arikan, B. Kucukaydin, B. Dursun, and C. F. Kumru, “The Effects of Overvoltage Aging on 20 kV XLPE Power Cable,” in 2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2019, pp. 353–357, doi: 10.23919/ELECO47770.2019.8990637.

Makaleler

1. C. C. Uydur and O. Arikan, “Use of Tanδ and partial discharge for evaluating the cable termination assembly,” Energies, vol. 13, no. 20, 2020, doi: 10.3390/en13205299.