



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**ENERJİ NAKİL HATLARINDA KULLANILAN
HABERLEŞME KABLOLARINDA ÇEVRESEL
ETKİLERİN İNCELENMESİ**

Yük. Müh. İbrahim GÜNEŞ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Doç. Dr. Mukden UĞUR

Ocak, 2010

İSTANBUL



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**ENERJİ NAKİL HATLARINDA KULLANILAN
HABERLEŞME KABLOLARINDA ÇEVRESEL
ETKİLERİN İNCELENMESİ**

Yük. Müh. İbrahim GÜNEŞ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Doç. Dr. Mukden UĞUR

Ocak, 2010

İSTANBUL

Bu çalışma 16.02.2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik - Elektronik Mühendisliği programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Doç.Dr. Mukden UĞUR (Danışman)
İstanbul Üniversitesi


Prof.Dr. Ayten KUNTMAN
İstanbul Üniversitesi


Prof.Dr. İlhan KOCAARSLAN
İstanbul Üniversitesi


Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR
İstanbul Teknik Üniversitesi


Doç.Dr. Özcan KALENDERLİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin
T - 2789 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek gerilim konularına olan ilgimi ve sevgimi arttıran, tezin gerçekleştirilmesi aşamalarındaki yardım ve yönlendirmeleri ve ortaya çıkan sorunlar karşısındaki sabırlı ve anlayışlı tutumlarından dolayı sayın hocam Doç. Dr. Mukden UĞUR'a, bu çalışmanın ortaya çıkmasında gerekli birikime sahip olmamda büyük katkıları olan değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Ayten KUNTMAN ve Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye teşekkür ederim.

Ayrıca doktora öğrenimime ve çalışmalarına destek sağlayan İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, tez çalışmalarımın gerçekleşmesinde laboratuvar desteği sağlayan Arizona State Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'ne ve Prof. Dr. George G. KARADY'e teşekkürü borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hep yanımda bulduğum sahip olmaktan büyük mutluluk ve onur duyduğum Sevgili Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

OCAK 2010

İbrahim GÜNEŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ:.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	8
2.1. FİBER OPTİK KABLOLAR.....	8
2.1.1. Fiber Optik Kablonun Avantajları	8
2.1.1.1. Geniş Band Aralığı.....	8
2.1.1.2. Elektromanyetik Bağışıklık	9
2.1.1.3. Karışma (Diyafoni) Olmaması	9
2.1.1.4. Çevre Koşullarına Karşı Dayanım.....	9
2.1.1.5. Tesis Kolaylığı	9
2.1.1.6. Güvenlik.....	10
2.1.1.7. Maliyet.....	10
2.1.2. Fiber Optik Kablonun Sakıncaları	10
2.2. ENERJİ İLETİM HATTINDA KULLANILAN FİBER OPTİK KABLOLAR	10
2.2.1. OPGW Kablolar	11
2.2.2. ADSS Kablolar.....	12

2.2.3.	Sarmal Yapıda F/O Kablolar (Wrap Type Cable).....	13
2.3.	ADSS KABLolarIN ENERJİ İLETİM HATTINDA KULLANIMI...13	
2.4.	KABLolarIN YALITKAN YÜZEYİNDE BOZULMALAR.....	16
2.4.1.	Yaşlanma.....	17
2.4.2.	Kısmi Boşalma	17
2.4.3.	Kanal Oluşumu	17
2.4.4.	Termik Delinme	18
2.4.5.	Elektromekanik Delinme.....	18
2.4.6.	Erozyon	19
2.4.7.	Yüzey Aşınımı	19
3.	MALZEME VE YÖNTEM.....	20
3.1.	KURU YÜZEYDE ELEKTRİKSEL ARK OLUŞUMU DENEY DÜZENEĞİ.....	21
3.1.1.	Deney Düzeneginin Kurulumu.....	23
3.1.1.1.	Plastik Kazan	24
3.1.1.2.	Yağmurlama Sistemi.....	24
3.1.1.3.	Sıvı Akışı Kontrol Cihazı.....	27
3.1.1.4.	Elektrotlar.....	27
3.1.1.5.	Transformatör.....	28
3.1.1.6.	Varyak	29
3.1.1.7.	Akım Sınırlayıcı Devre (RC devresi)	29
3.1.2.	Deney Prosedürü ve Deneyin Yapılışı.....	32
3.2.	EĞİK DÜZLEM YÜZEY AŞINIM DENEY DÜZENEĞİ	35
3.2.1.	Deney Düzeneginin Hazırlanışı	36
3.2.2.	Eğik Düzlem Deney Düzeneginde Deneyin Yapılışı.....	39
3.3.	FARKLI YAPIDAKİ FİBER OPTİK KABLolarIN DENEYLERİ ...	39

3.4.	ISLAK YÜZEY MODELLERİ İÇİN YAŞLANMA DENEYLERİ	40
3.4.1.	Bir Delikten Yağmurlama Sistemi	41
3.4.2.	İki Delikten Yağmurlama Sistemi.....	41
3.4.3.	Üç Delikten Yağmurlama Sistemi	42
3.5.	ISLAK YÜZEY MODELLERİ İÇİN ELEKTRİKSEL ARK İŞARET ANALİZİ DENEY YÖNTEMİ.....	43
3.6.	ADSS KABLOLARIN YAŞLANMA DENEYLERİNDE RÜZGAR ETKİSİ	44
3.7.	TİTREŞİMİN ADSS KABLOLARIN YAŞLANMA SÜRECİNE ETKİSİ	45
3.8.	ADSS KABLOLARIN BOZULAN YÜZEYLERİNDE FİZİKO KİMYASAL DENEYLER.....	47
3.8.1.	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi.....	47
3.8.2.	FT-IR (Fourier Transform Infrared) Analizi.....	48
3.8.3.	TGA (Termogravimetrik) Analizi.....	49
3.8.4.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	49
3.9.	GÜVENİLİRLİK ANALİZİ	50
3.9.1.	Weibull Dağılımı	52
4.	BULGULAR.....	55
4.1.	KURU YÜZEY ELEKTRİKSEL ARK OLUŞUMU DENEY SONUÇLARI	57
4.2.	EĞİK DÜZLEM DENEY YÖNTEMİ DENEY SONUÇLARI	61
4.3.	ASKI HALATLI VE ASKI HALATSIZ F/O KABLOLARIN DENEY SONUÇLARI	64
4.4.	ISLAK YÜZEY MODELLERİ İÇİN KABLO YAŞLANMALARI DENEY SONUÇLARI.....	69

4.5. ISLAK YÜZEY MODELLERİ İÇİN ELEKTRİKSEL ARK İŞARET ANALİZİ.....	75
4.5.1. Bir Kanaldan Yağmurlama İle Yaşlandırma Deneyleri Sırasında İşaret Analizi	76
4.5.1.1. Yağmurlama anındaki elektriksel ark işaretleri	76
4.5.1.2. Yağmurlama durumundan kuru duruma geçiş anındaki işaretler.....	77
4.5.1.3. Yağmurlama sisteminin kapanması ile deney periyodunun bitimi arasındaki işaretler	78
4.5.2. İki Kanaldan Yağmurlama İle Yaşlandırma Deneyleri Sırasında İşaret Analizi	78
4.5.2.1. Yağmurlama anındaki elektriksel ark işaretleri	79
4.5.2.2. Yağmurlama durumundan kuru duruma geçiş anındaki işaretler.....	80
4.5.2.3. Yağmurlama sisteminin kapanması ile deney periyodunun bitimi arasındaki işaretler	81
4.5.3. Üç Kanaldan Yağmurlama İle Yaşlandırma Deneyleri Sırasında İşaret Analizi	82
4.5.3.1. Yağmurlama anındaki elektriksel ark işaretleri	82
4.5.3.2. Yağmurlama durumundan kuru duruma geçiş anındaki işaretler.....	83
4.5.3.3. Yağmurlama sisteminin kapanması ile deney periyodunun bitimi arasındaki işaretler	84
4.5.4. Yağmurlama Anındaki Elektriksel Ark İşaretlerinin Karşılaştırılması	87
4.5.5. Yağmurlama Durumundan Kuru Duruma Geçiş Anındaki İşaretler..	87
4.5.6. Yağmurlama Sisteminin Kapanması İle Deney Periyodunun Bitimi Arasındaki İşaretlerin Karşılaştırılması.	88
4.6. RÜZGAR ETKİSİ ALTINDA ADSS KABLULARIN YAŞLANMA DENEYLERİ.....	89

4.7. TİTREŞİM ETKİSİ ALTINDA ADSS KABLULARIN YAŞLANMA DENEYLERİ.....	95
4.8. FİZİKO KİMYASAL DENEYLER.....	99
4.8.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi Sonuçları.....	99
4.8.2. FTIR Analizi Sonuçları	100
4.8.3. ADSS Kabloların TGA Analiz Sonuçları.....	102
4.8.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi Sonuçları.....	104
4.9. GÜVENİLİRLİK ANALİZİ	106
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	116
6. KAYNAKLAR	118
7.ÖZGEÇMİŞ	124

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: OPGW kablo yapısı.....	12
Şekil 2.2: ADSS kablo yapısı ve kesit görüntüsü.....	12
Şekil 2.3: Sarmal yapıda kullanılan F/O kablolar.....	13
Şekil 2.4: ADSS F/O kablo ve yüksek gerilim iletkeni	14
Şekil 2.5: ADSS kablonun direk bağlantısı ve korona oluşumu	14
Şekil 2.6: ADSS kablonun EİH'a kurulumu ve 230 kV EİH'da eş potansiyel çizgileri.....	15
Şekil 2.7: Enerji iletim hattında 6 adet iletken bulunması durumunda eş potansiyel çizgileri dağılımı	15
Şekil 2.8: ADSS kabloda kanal oluşumu ve delinme	18
Şekil 3.1: Kuru yüzeyde elektriksel ark test yöntemi blok gösterimi	23
Şekil 3.2: Plastik kazan	24
Şekil 3.3: Sıvı akışı blok gösterimi.....	25
Şekil 3.4: Yağmurlama sistemi	26
Şekil 3.5: Tuzlu su çözeltisi ve iletkenlik ölçümü.....	26
Şekil 3.6: Sıvı akışı kontrol cihazı.....	27
Şekil 3.7: Elektrotlar	28
Şekil 3.8: 220 V / 36 kV gerilim transformatörü.....	28
Şekil 3.9: Varyak (ototransformatör).....	29
Şekil 3.10: RC devresi	30
Şekil 3.11: RC devresinde ark oluşumu ve trafo yağı içinde kullanımı.....	30
Şekil 3.12: Deney düzeneğinin tüm elemanları ile görünümü	31
Şekil 3.13: Test örneğinin deney havuzundaki görünümü	31
Şekil 3.14: Kablo testleri için eğik düzlem test düzeneği şematik gösterimi	36

Şekil 3.15: Yüksek gerilim elektrodunun yandan (a) ve önden (b) görünüşü.....	37
Şekil 3.16: Toprak elektrodunun yandan (a) ve önden (b) görünüşü.....	38
Şekil 3.17: Kablo örneğinin eğik düzlem deney düzeneğindeki kurulumu.....	38
Şekil 3.18: Eğik düzlem testinde, elektrotların test örneği üzerindeki bağlantısı.....	38
Şekil 3.19: Test örneği üzerinde bir yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması.....	41
Şekil 3.20: Test örneği üzerinde iki yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması.....	42
Şekil 3.21: Test örneği üzerinde üç yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması	43
Şekil 3.22: Elektriksel ark işaret analizi yapılan deney düzeneğinin blok gösterimi.....	44
Şekil 3.23: Rüzgar etkisinin incelendiği deney düzeneği	45
Şekil 3.24: Titreşim etkisi ile kablo örneklerinin yorulma düzeneği.....	46
Şekil 3.25: DSC analizi deney düzeneği	48
Şekil 3.26: SEM Analizi için test örneğinden alınan malzemelerin bölgeleri.....	50
Şekil 3.27: Bozulma oranı fonksiyonları	53
Şekil 4.1: Kablo yüzeyinde oluşan elektriksel ark.....	57
Şekil 4.2: Kuru yüzeyde elektriksel ark işareti.....	58
Şekil 4.3: Test sonuçlarının grafik olarak gösterimi	60
Şekil 4.4: Deney sonrası A kablosu örneğinde bozulma.....	60
Şekil 4.5: B kablosunun deney sonrası görüntüsü	60
Şekil 4.6: C kablosunun deney sonrası görünümü.....	61
Şekil 4.7: Test örneklerinin bozulma zamanları grafiği.....	63
Şekil 4.8: Askı halatlı F/O kablo	65
Şekil 4.9: Askı halatsız ADSS hava hattı F/O kablo	65
Şekil 4.10: Askı halatlı F/O kablo ıslak yüzey görüntüsü.....	65
Şekil 4.11: Askı halatsız F/O ıslak yüzey görüntüsü	66
Şekil 4.12: Askı halatlı F/O kablonun deney sonrası görünümü	66
Şekil 4.13: Askı halatsız F/O kabloların deney sonrası görüntüleri	66

Şekil 4.14: Askı Halatlı F/O kablolar için önerilen dış kılıf.....	68
Şekil 4.15: Test örneği üzerinde bir yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması.....	70
Şekil 4.16: Test örneği üzerinde iki yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması.....	70
Şekil 4.17: Test örneği üzerinde üç yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması	71
Şekil 4.18: Kuru bölgelerde elektriksel atlama model anlatımı	71
Şekil 4.19: Test örneklerinin deney sonrası görünümü.....	72
Şekil 4.20: Test örneklerinin yaşlanma süreleri ile yağmurlama sistemi arasındaki ilişki	74
Şekil 4.21: Elektrik ark sinyallerinin incelendiği deney düzeneği	76
Şekil 4.22: Bir kanaldan yağmurlama sırasında oluşan sinyal görüntüsü.....	77
Şekil 4.23: Bir kanaldan yağmurlama sırasında oluşan sinyalin görüngen değerleri	77
Şekil 4.24: Bir kanallı yağmurlama sisteminin kapandığı anı ve sonrasında da içeren elektriksel ark işareti.....	78
Şekil 4.25: İki kanaldan yağmurlama sırasında oluşan sinyal.....	79
Şekil 4.26: İki kanaldan yağmurlama sırasında oluşan sinyalin frekans görüngesi.....	80
Şekil 4.27: İki kanallı yağmurlama sistemi kapandığı an ve sonrasında da içeren elektriksel ark işareti.....	80
Şekil 4.28: İki kanaldan yağmurlama modelinde kuruma anında oluşan işaret	81
Şekil 4.29: İki kanaldan yağmurlama modelinde kuruma anında işaretin frekans görüngesi.....	82
Şekil 4.30: Üç kanaldan yağmurlama sırasında oluşan işaret	82
Şekil 4.31: Üç kanaldan yağmurlama sırasında oluşan işaret ve frekans görüngesi.....	83
Şekil 4.32: Üç kanallı yağmurlama sistemi kapandığı an ve sonrasında da içeren elektriksel ark işareti.....	84
Şekil 4.33: Üç kanaldan yağmurlama modeli kuruma anında oluşan işaret.....	85
Şekil 4.34: Üç kanaldan yağmurlama modeli kuruma anında frekans görüngesi.....	85
Şekil 4.35: Yağmurlama anındaki elektriksel ark işaretlerinin karşılaştırılması	87
Şekil 4.36: Yağmurlama sistemlerinin kapanması durumunda değişen elektriksel ark işaretlerinin karşılaştırılması.....	88

Şekil 4.37: Kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumlarının yağmurlama deliklerinin sayısı ile değişimleri	89
Şekil 4.38: Rüzgar kaynağının eklendiği deney düzeneği	90
Şekil 4.39: Rüzgar hızının ölçüldüğü deney düzeneği.....	91
Şekil 4.40: Bozulma süresinin rüzgar hızı ile değişimi	94
Şekil 4.41: Rüzgar etkisi altında test edilen örneklerde bozulma.....	94
Şekil 4.42: Yorulan kabloların titreşim ivmesi ile bozulma zamanı değişimi.....	97
Şekil 4.43: Yorulan kabloların titreşim hızı ile bozulma zamanı değişimi	98
Şekil 4.44: Titreşim etkisi altında test örneğinde oluşan bozulma	98
Şekil 4.45: ADSS kablo kılıfı DSC analiz sonuçları	99
Şekil 4.46: Test örneklerine verilen ısının zamanla değişimi.....	100
Şekil 4.47: ADSS kabloların yaşlanma deneyleri öncesi ve sonrası FTIR analizi sonuçları	102
Şekil 4.48: ADSS kablonun yaşlanma deneyleri öncesi TGA analizi sonuçları	103
Şekil 4.49: ADSS kablonun yaşlanma deneyleri sonrası TGA analizi sonuçları	104
Şekil 4.50: Deneyler gerçekleştirilmeden önce ADSS kabloya ait SEM görüntüsü (Büyütme 500 kat)	105
Şekil 4.51: Bozulmuş örneğin SEM görünümü (Büyütme 25 kat).....	105
Şekil 4.52: (1) Bozulmaya uğramış yüzeyin SEM görünümü.....	106
Şekil 4.53: A kablosu için elde edilen ömür sürelerinin Weibull dağılımına uygunluğu	107
Şekil 4.54: B kablosu için elde edilen ömür sürelerinin Weibull dağılımına uygunluğu	107
Şekil 4.55: C kablosu için elde edilen ömür sürelerinin Weibull dağılımına uygunluğu	108
Şekil 4.56: A kablosunun ömür süreleri için olasılık yoğunluk fonksiyonu	108
Şekil 4.57: B kablosunun ömür süreleri için olasılık yoğunluk fonksiyonu	109
Şekil 4.58: C kablosunun ömür süreleri için olasılık yoğunluk fonksiyonu	109
Şekil 4.59: A kablosunun güvenilirlik eğrisi.....	112
Şekil 4.60: B kablosunun güvenilirlik eğrisi	113
Şekil 4.61: C kablosunun güvenilirlik eğrisi	113

Şekil 4.62: A kablosu için bozulma oranı-zaman eğrisi	114
Şekil 4.63: B kablosu için bozulma oranı-zaman eğrisi.....	115
Şekil 4.64: C kablosu için bozulma oranı-zaman eğrisi.....	115

TABLO LİSTESİ:

Tablo 3.1: Kuru Yüzey Ark Deneyi Devre parametreleri	34
Tablo 3.2: Kirlilik seviyelerini belirleyen R ve C değerleri	34
Tablo 3.3: Bir çevrim için teknik değerler	35
Tablo 4.1: Kuru yüzey elektriksel ark deney sonuçları (Çevrim sayıları)	59
Tablo 4.2: Eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deney sonuçları (Dakika)	62
Tablo 4.3: Askı halatlı F/O kabloların bozulma zamanları	67
Tablo 4.4: Askı halatsız F/O kabloların bozulma zamanları	67
Tablo 4.5: Bir kanaldan yağmurlama yapılması sonucu ADSS kabloların bozulma zamanları ..	73
Tablo 4.6: İki kanaldan yağmurlama yapılması sonucu ADSS kabloların bozulma zamanları ..	73
Tablo 4.7: Üç kanaldan yağmurlama yapılması sonucu ADSS kabloların bozulma zamanları ..	74
Tablo 4.8: Test örneğinin rüzgar kaynağından uzaklığı ile etki eden rüzgar hızları	91
Tablo 4.9: Hesaplanan rüzgar basıncı değerleri	92
Tablo 4.10: Farklı rüzgar hızlarında ADSS kablo bozulma süreleri	93
Tablo 4.11: ADSS kabloların yorulmasında kullanılan titreşim değerleri	96
Tablo 4.12: ADSS kabloların titreşim etkisi altında bozulma zamanları	97
Tablo 4.13: Farklı dağılımlar için Likelihood değerleri	110
Tablo 4.14: A, B ve C kabloları için Weibull dağılım parametreleri	111
Tablo 4.15: Test örneklerinin istatistiksel ve deneysel ömür süreleri	112
Tablo 4.16: Kablo test örneklerinin PDF ve güvenilirlik eşitlikleri	114

ÖZET

ENERJİ NAKİL HATLARINDA KULLANILAN HABERLEŞME KABLOLARINDA ÇEVRESEL ETKİLERİN İNCELENMESİ

Haberleşme kabloları ülkemiz koşullarında bakır telli hava hatları ile şehirlerarası bilgi akışını sağlamaktadır. Mevcut kablolar enerji iletim hatları ile aynı mekanik sistemde kullanıldığı takdirde manyetik alan etkisi ile haberleşmede kullanılan işaretle bozulmalar meydana gelmektedir, bu sebeple haberleşme hattı için ayrı bir mekanik sistem oluşturulmaktadır. Fiber optik kablolar ile bilgi akışı sağlandığında bilgi manyetik alandan etkilenmemekte ve güvenli bir şekilde gönderilebilmektedir. Ancak bu çeşit kablolar enerji iletim hattı ile aynı mekanik sistemi kullandığında elektrik alan etkisi ve çevresel etkiler ile kablo yalıtkanında bozulmalar oluşmaktadır.

Bu çalışmada ülkemiz koşullarında haberleşme sisteminin hava hattı fiber optik kablolar ile gerçekleşmesi ve enerji iletim hattı mekanik sisteminin birleştirilmesi sonucu oluşacak etkiler ve bu etkiler altında kabloların başarımı denenmiştir.

Bu sistemde kullanılacak kabloların yaşlanmalarına etki eden çevresel faktörlerin etki dereceleri belirlenmiştir. Test örneklerinin çevresel etkenler altındaki başarımları Kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumu (Dry-Band Arcing Test) yöntemi ile incelenmiştir.

Kullanılan deney yönteminin ana yaklaşımı, enerjilendirilmiş kablo üzerine bir kaç dakika tuzlu suyun püskürtülmesi sonucu oluşan elektriksel boşalmaların kablo üzerinde meydana getirdiği bozulmanın incelenmesidir. Kabloların kullanıldığı ortamdaki çevresel etkiler ve elektrik alandaki değişimlere göre boşalmaların oluşumu da farklılık göstermektedir.

Tez çalışmasında farklı tip haberleşme kabloları test edilmiş, kablonun yaşlanmasının kablo geometrisi ile ilişkisi belirlenmiştir. Farklı ıslaklık seviyeleri için kabloların yaşlanma süreçlerindeki değişim incelenmiş, rüzgar ve titreşim etkilerini modellemek amacı ile deney düzeneğinde bu etkiler oluşturularak test sistemi yenilenmiştir. Farklı deney yöntemleri ile aynı kabloların yaşlanma deneyleri yapılmış ve deney yöntemleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, Weibull istatistik modeli kullanılarak güvenilirlik analizi yapılmıştır.

Deneysel sonuçlarında, test örneğinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi ile camsı geçiş ve bozulma sıcaklığındaki değişimler, deney sırasında oluşan elektriksel arkların örneklerin yüzeylerinde meydana getirdikleri değişimler taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında incelenmiştir. Kablo yapısında meydana gelen bozulmaların fiziksel değişim ve kimyasal bozulma olduğu gözlemlenmiştir.

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EXTERNAL EFFECTS ON THE PERFORMANCE OF COMMUNICATION CABLES INSTALLED AT HV TRANSMISSION LINES

All dielectric self supporting (ADSS) optical fiber cables are progressively being installed on overhead lines. ADSS optical cables have so far shown an acceptable performance on high voltage lines. Nonetheless, failures have occurred with ADSS cables installed on lines with a higher voltage. These failures are caused by electrical discharge phenomena, such as corona, sparking and dry band arcing, since the cables are exposed to the strong electrical field environment. Studies show that corona discharges can be mitigated by installing grading devices and the impact of micro-sparking can be reduced by attaching electric field reducing hardware to towers. The failure of ADSS cables caused by dry band arcing in high electric field environments is potentially an industry wide problem.

In this study, in terms of communication systems with fiber optic cables, overhead lines and power transmission lines to occur as a result of the merging of mechanical systems to create effects and these effects were tested.

The basic concept of the arc resistance test is that the energized cable is sprayed by salt water for few minutes. This produces conducting wet layer on the cable surface and initiate leakage current. The current is limited to few milliamps by a RC circuit. The current dries the surface, produces dry bands and initiates arcing. Transmission lines and communication cables (ADSS cables) are used on the same mechanical systems under the influence of electric field.

ADSS cables mostly used under different environmental effects, such as temperature, wind, vibration, etc. In this study, different level wet layer effect, vibration effect, wind effect on ADSS cables was investigated by using dry band arcing (IEEE 1222 Electrical

surface degradation) test method. The performance of cable jacket on ADSS cable are tested under different environmental condition.

The insulating properties of ADSS cables have been investigated by measuring the fundamental and harmonic frequencies of the leakage current flowing over the surface of the test sample for different wet layer model. By using Differential Scanning Calorimeter (DSC) the change in glass transition and degradation temperature of cable samples (for HDPE cable jacket) have been analysed. The morphologies of the cable samples were observed by using a scanning electron microscope (SEM). This analyse revealed clearly that tracking images of cable jacket has glass type surface. Thermogravametric Analysis (TGA) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) were used for detect thermogravimetric characteristic and molecular structure of ADSS cables at the before and after the dry band arcing test.

Different test methods were used at the experiments, for determine life time of the cables. By using Weibull statistics, a special reliability function has been derived, which indicates the remaining lifetime of the ADSS cables according to the test methods.

1.GİRİŞ

Elektrik iletim sistemlerinin veri ve ses iletişim ihtiyacı sistemin gelişmesine paralel olarak artmaktadır. Bu ihtiyaçların karşılanması amacıyla gerekli iletişim altyapısının kurulması ve geliştirilmesi çalışmaları sürmektedir. Bu amaçla, iletişim ağı ile ulusal elektrik şebekesinin gelecekteki yapı ve ihtiyaçları da göz önüne alınarak fiber optik iletişim sisteminin yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmaktadır.

Gittikçe büyüyen ve karmaşıklaşan elektrik enerjisi iletim sisteminde; işletme, bakım ve yönetim fonksiyonlarını yerine getirmek için yeterli bir iletişim hizmetine ihtiyaç vardır. İletişim sistemimizin geliştirilmesi için ihtiyaçları ve hedefleri belirlemek, bu hedeflere varmak için çözüm yollarını bulmak ve uzun dönemli bir program oluşturmak ihtiyacı doğmaktadır [1,2].

Elektrik enerjisi iletim sisteminin işletilmesi için ihtiyaç duyulan en önemli araçlardan bir tanesi; kontrol merkezleri, üretim merkezleri, trafo merkezleri ve bakım onarım merkezlerinin birbirleri ile yapacakları konuşmalar için gerekli telefon şebekesidir.

Bu şebeke, kontrol merkezlerinin üretim ve trafo merkezlerine yaptıracağı manevraların talimatlandırılmasını, farklı trafo merkezlerindeki tablocuların birlikte yapacakları ve koordinasyon gerektiren işlerdeki konuşmayı, arızaların bildirilmesini, uzaktan kontrol ve işletme sistemine dahil olmayan veya arızalı olan merkezlerdeki iletim ve durum bilgilerinin kontrol merkezlerine iletilmesini, onarım ve bakım ekipleri ile yapılacak haberleşmeyi sağlar [3].

Genel haberleşme şebekelerinin bu ihtiyaçları karşılayamaması, enerji işletmelerinin kendilerine ait özel haberleşme sistemlerini oluşturmasını zorunlu kılmaktadır.

Yönetim birimlerinin aralarında ve birim içerisinde ihtiyaç duyduğu en temel hizmet telefon, faks, v.b. iletişim araçlarıdır.

Bu ihtiyaç, yönetim birimlerinde telefon santralleri ile telefon şebekesi ve ülke genelinde iletişim şebekesi gerektirir. Bu şebekenin ülke geneline hizmet veren genel telefon şebekesi olması ilk akla gelen çözüm yoludur. Ancak kendilerine ait özel iletişim şebekesi olan işletmelerin, şebekenin gelişmesine bağlı olarak bu fonksiyon için de kendi sistemlerini kullandıkları gözlenmektedir.

İletişim sistemi planlamasında bu tür ihtiyaçlar fiber optik kablo altyapısı ile karşılanmaktadır [4]. Enerjinin güvenli ve ekonomik olarak üretilmesi ve iletilmesi, arızaların irdelenmesi ve büyümeden giderilmesi, yük dağıtımının sağlıklı ve doğru yapılabilmesi gerekli olan yük dağıtım sisteminde iletişimin rolü çok önemlidir.

Uzaktan kontrol sistemleri, üretim ve iletim merkezlerinden sisteme ait bilgilerin (güç, akım, gerilim gibi örneksel bilgiler ile kesici, ayırıcı gibi şebeke elemanlarının durum bilgileri ve alarmlar) uzaktan kontrol (telecontrol) yolu ile toplanmasını, kontrol merkezlerine iletilmesini, buralarda yer alan bilgisayar sistemleri vasıtası ile değerlendirilmesini, ekran veya mimik panolarda gösterilmesini, ters yönde ise kontrol merkezlerinden iletilecek komutlar ile trafo merkezlerinin uzaktan kumanda edilmesini ve otomatik üretim kontrolü programları vasıtası ile gerektiğinde türbin kontrolünü kapsar.

Uzaktan Kontrol için gerekli işlevler hiyerarşik bir yapı içinde yerine getirilir. Bu amaç için bilgilerin her iki yönde ve hiyerarşik yapıya uygun olarak iletilmesi gerekmektedir. Bu da tüm merkezleri kapsayan yaygınlıkta, her an kullanılabilir, bilginin çok yüksek doğrulukla iletildiği, gerçek zamanda gözlem ve kontrol yapılabilmesi için kısa transfer zamanlı, gürültü şartlarında işletmenin etkilenmediği güvenilir, emniyetli ve yüksek bilgi transferinin yapılabildiği yeterli hızda ve kapasitede bir veri iletişim sistemi gerektirir [5-7].

Bu özellikte bir iletişim hizmeti genel haberleşme şebekesi ile sağlanamayacağı için Enerji iletim hattının özel iletişim şebekesi kullanılmaktadır.

İletim hatlarında veya trafo merkezindeki bir kısım birincil teçhizatı oluşturan arızaların, sisteme yayılmadan hızla izole edilmesi için; yerel bir arızanın nedeninin belirlenip

komşu hatlardan sadece gerekli olanın hızla açtırılması, diğerlerinin ise yanlış açmalarının önlenmesi gerekmektedir.

Bu işlevin yerine getirilmesi, trafo merkezlerindeki koruma rölelerinin komşu rölelere hızlı bir şekilde “aç” veya “açmana gerek yok” komutlarını iletebilmesi ile mümkündür. Ülkemizde enerji sisteminin koruma sinyalleşme arayüzü ihtiyacı koruma sinyalizasyon cihazları ile sağlanmaktadır.

Bu bilgilerin iletilmesi, merkezler arasında ve tüm iletim hatları için iletişim kanallarına ihtiyaç duymaktadır. Mevcut koruma sisteminde kanal hız ve kapasitesi oldukça düşüktür. Ancak fiber optik altyapıların gelişmesi ile koruma sinyalizasyon arayüzünün fiber optik teçhizat üzerinden gönderilmesine başlanmıştır.

Hız, doğruluk, güvenilirlik ve emniyetin çok önemli olduğu, ayrıca her trafo merkezinde bulunma zorunluluğu nedeni ile enerji iletim hattındaki haberleşme Uzaktan Koruma özel iletişim şebekesi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Ülke geneline dağılmış olan hizmet birimleri ve idari birimlerden oluşan, mali-idari konuları kapsayan bilgi işlem uygulamaları (muhasabe, personel, sabit kıymetler, ambar stok kontrolü, malzeme yönetimi, yatırım takibi, v.b.) dağılmış veriler üzerinde merkezi işlem yapmayı gerektirmektedir. Bu çalışmalar için bilgi işlem ağı iletişim kanallarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kanallar fiber optik iletişim imkanı bulunan birimler arasında bu altyapıdan, diğer yerler için ise altyapı işletme şirketlerinden kiralama yolu ile sağlanmaktadır.

Gelişen iletişim teknolojisinin getirdiği yeni imkanlar, karmaşıklaşan Elektrik Enerjisi İletim Sisteminin yönetiminde elektronik posta, video konferans ve uzaktan görüntülü izleme-koruma gibi geniş bant gerektiren uygulamaları da gündeme getirmektedir [8].

Uzaktan görüntülü sistemler için 64kbit/s hızlı kanallarla hızlı güncelleşme elde edilebildiği gibi, 2Mbit/s kanallar kullanılarak hareketli görüntüler de elde edilebilmektedir.

Üretim merkezlerinde üretilen elektrik enerjisini dağıtım merkezlerine oradan da kullanıcılara güvenli bir şekilde ulaştırmak için EİH (Enerji İletim Hattı) ve EDH

(Elektrik Dağıtım Hattı) kullanılır. Enerji iletiminde güvenlik ve sürekliliği sağlamak için frekansları 50 kHz - 500 kHz arasında olan iletişim sistemleri kullanılır. Bu sistemlere EİH taşıyıcı (Power Line Carrier –PLC- ya da kuranportör) sistemleri denir. Bu cihazlar “Taşıyıcı” adını, her türlü bilgi ve ses işaretini radyo frekanslı işaret üzerine bindirilerek ilgili yerlere taşıdıkları için almışlardır. Enerji hatları üzerinden radyo frekansı ile bilgi taşımaya sağlayan cihaz (yöntem) genellikle 600 kHz'den daha düşük frekanslarda kullanılır. 50 Hz'de enerji taşıyan iletim hattının üzerine bindirilen yüksek frekanslı bilgi sinyali aynı hat üzerinden gönderilir. Türkiye'de power line carrier tekniği ile 380 kV ve 154 kV yüksek gerilim hatları üzerinden bilgi gönderilmektedir. Power line carrier haberleşmesi uzun mesafeli ve düşük hızlı olurken veri ve ses iletişimi için kullanılmaktadır [9].

Kuranportörler, enerji iletim hatlarını iletişim ortamı gibi değerlendirerek konuşma, koruma, sinyalizasyon ve bilgi iletişimi sağlayan radyo frekanslı (RF) alıcı-verici cihazıdır. Ayrıca; haberleşmenin yanında, başka bir kanal yardımı ile arızalı hattın her iki ucundaki kesicileri kumanda ederek devre açma ve kapama işlemini de yaparlar. Santraller, trafo merkezleri ve yük tevzi merkezlerinde kullanılır. Elektrik enerjisinin taşınması amacıyla yapılan EİH'larının radyo frekanslı bir iletişim ortamı olarak kullanılması oldukça ekonomiktir, ancak böyle bir iletişim ortamında taşıyıcı sistemin çalışması için maliyeti artarsa da ilave bazı elemanları kullanmak gerekir (hat tıkaçı, kaplin kapasitör, sızdırma bobini, tuner vs.) [3,9].

Güvenlik yönünden bu iletişim ortamının enerji iletimi için daima hazır durumda olması (arıza durumları hariç) iletişimin sürekliliğini sağlar. Ayarlandığı frekans bandına karşı büyük empedans göstererek karşıdan gelen veya karşı istasyona gönderilen radyo frekanslı işaretin taşıyıcılara hat tarafına yönlendirilmesini sağlayan paralel rezonans devresidir. Enerji iletim hattının (ENH) herhangi bir fazı üzerine seri olarak bağlı sepet şeklinde bir bobindir. Yüksek frekansın, yüksek gerilim devresine girmesine engel olur.

İletişim ortamı olarak enerji iletim hatlarını kullanan kuranportör sistemleri 1950'lerden bu yana kullanılmaktadır. Başlangıçta sadece konuşma ve koruma amacı ile kullanılan kuranportörler, teknolojik gelişme ve ihtiyaçlar paralelinde gelişerek konuşma, koruma ve veri iletişimi işlevlerini aynı anda sağlayacak özelliğe ulaşmışlardır.

Enerji iletim hatlarının ulaştığı her noktaya ulaşabilmeleri, ucuz ve güvenilir olmaları bu sistemlerin en büyük avantajıdır.

Ancak, hat arıza ve manevralarından etkilenebilmeleri, dar bantlı olmaları, 40-500 kHz arasında kısıtlanmış bir frekans bandında kullanılabilmesi gibi nedenlerle veri iletişim ihtiyaçlarının ve dolayısı ile hızlı ve geniş bantlı uygulamaların gerektiği ihtiyaçlar karşısında bu sistemler yetersiz kalmaktadır.

Kuranportör sistemleri, ihtiyaçlara cevap verebilecekleri yerlerde ana iletişim kanalları olarak diğer yerlerde ise yedek veya artçı kanallar olarak kullanılmaya devam edilmektedir.

Fiber optik kablolar, sağladığı geniş bant, elektromanyetik girişimlerden etkilenmeme, kolay yalıtım ve yüksek güvenilirlik özelliklerinden dolayı elektrik enerjisi iletim sistemlerinde kullanımı, 1980'lerden bu yana dünyada büyük bir hızla yaygınlaşmaktadır.

Enerji iletim hattı koruma iletkenleri içinde tesis edilen fiber optik kablolar (OPGW-optik fiberli koruma toprak teli) ucuz ve oldukça yüksek kanal kapasitesi sağlamaktadırlar. Ayrıca direkler arasına metalsiz fiber optik kablo (ADSS) ya da yeraltı Enerji İletim Kabloları ile birlikte çekilen fiber optik kablolar da kullanılmaktadır.

Artan kapasitenin diğer ihtiyaç sahiplerine kiralanması yolu ile değerlendirilerek veya iletişim şirketleri oluşturularak bu yoldan gelir elde edilmesi yöntemlerinin yaygınlaştığı gözlenmektedir.

Fiber optik kablo ile iletişim, diğer iletişim sistemleri ile karşılaştırıldığında:

1. Yüksek hızlı iletim olanağı sağlar
2. Uzun tekrarlama aralıklarına olanak sağlar
3. Kanal başına maliyet düşüktür
4. Bilgi çalınması oldukça güçtür
5. Elektromanyetik etkilerden bozulmaz

6. Karışma (diyafoni) sorunu yoktur
7. Alış ve veriş uçlarında elektriksel yalıtım vardır
8. Değişik çevre koşullarında güvenli olarak kullanılabilir
9. Ek ve bakımda özen gerektirir.

Yük Tevzi için gerekli bilgi iletişimi, uzaktan kumanda ve bilgisayarlar arası veri iletişimi gibi geniş bant gerektiren uygulamalar için gelişmiş enerji işletmeleri, ana iletişim kanalı olarak kendilerine ait mikrodalga sistemleri kurmuşlardır.

İlk yatırımı pahalı olan, kısıtlı frekans bandı nedeniyle frekans tahsisi alınması gereken ve arazi yapısına bağımlı olarak yaklaşık 40 km'de bir tekrarlama gerektiren bu sistemler henüz kullanılmamaktadır. Geniş bant gerektiren ve fiber optiğe göre ekonomik olan yerlerde kullanımı düşünülebilir ancak Fiber-optik sistemlerin gelişmesi ile radyolink yatırımların azaldığı gözlenmektedir.

Fiber optik kablolar ile bilgi akışı sağlandığında bilgi manyetik alandan etkilenmemekte ve güvenli bir şekilde gönderilebilmektedir. Fiber sistemler, manyetik indüksiyonun neden olduğu kablolar arası karışmadan etkilenmezler. Cam ya da plastik fiberler elektriği iletmeyen malzemelerdir; bu nedenle fiber optik kablolarda, akım akışının meydana getirdiği manyetik alan yoktur. Ancak bu çeşit kablolar enerji iletim hattı ile aynı mekanik sistemi kullandığında Elektrik alan etkisi ve çevresel etkiler ile kablo yalıtkanında bozulmalar oluşmaktadır.

Bu çalışmada ülkemiz koşullarında haberleşme sisteminin hava hattı fiber optik kablolar ile gerçekleşmesi ve enerji iletim hattı mekanik sisteminin birleştirilmesi sonucu oluşacak etkiler ve bu etkiler altında kabloların başarımı test edilmiştir.

Bu sistemde kullanılacak kabloların yaşlanmalarına etki eden çevresel faktörlerin etki dereceleri belirlenmiştir. Test örneklerinin çevresel etkenler altındaki başarımları Kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumu (Dry Band Arcing Test) yöntemi ile incelenmiştir.

Kullanılan test yönteminin ana yaklaşımı, enerjilendirilmiş kablo üzerine iki dakika tuzlu suyun püskürtülmesi sonucu oluşan boşalmaların kablo üzerinde meydana getirdiği bozulmanın incelenmesidir. Haberleşme kabloları enerji iletim hatları ile aynı

mekanik sistem üzerinde kullanıldığında elektrik alan etkisi altında kalmaktadırlar ve kablolar üzerinde boşalmalar gözlenmektedir; ayrıca kabloların kullanıldığı ortamdaki çevresel etkilere göre boşalmaların oluşumu da değişmektedir.

Tez çalışmasında farklı tip haberleşme kabloları test edilmiş, kablonun yaşlanmasının kablo geometrisi ile ilişkisi belirlenmiştir. Farklı ıslaklık seviyeleri için kabloların yaşlanma süreçlerindeki değişim incelenmiş, rüzgar ve titreşim etkilerini modellemek amacı ile deney düzeneğinde bu etkiler oluşturularak test sistemi yenilenmiştir. Farklı deney yöntemleri ile aynı kabloların yaşlanma deneyleri yapılmış ve deney yöntemleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, Weibull istatistik modeli kullanılarak güvenilirlik analizi yapılmıştır.

Deneysel sonuçlarında, test örneğinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi ile camsı geçiş ve bozulma sıcaklığındaki değişimler, deney sırasında oluşan elektriksel arkların örneklerin yüzeylerinde meydana getirdikleri değişimler taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında incelenmiştir.

2.GENEL KISIMLAR

2.1. FİBER OPTİK KABLolar

Ses, veri ve görüntü iletişimindeki artış, daha ekonomik ve daha geniş kapasiteli iletişim sistemlerine olan talebin de aynı şekilde artmasına neden oldu. Yeryüzü mikrodalga sistemleri çoktan maksimum kapasitelerine ulaşmış bulunmaktadır, uydu sistemleri de her geçen gün artan talebe ancak geçici bir rahatlama getirebilmektedir. Geniş kapasitelere cevap verebilecek ve yüksek kalitede hizmet sağlayabilecek ekonomik iletişim sistemlerine gerek duyulmaktadır.

Bilgi taşıyıcısı olarak ışığın kullanıldığı iletişim sistemleri, manyetik alandan etkilenmemeye özelliklerinden dolayı enerji iletim hatlarında, enerji iletim hattının bilgi akışı ve kontrol sistemi alt yapısı olarak ve haberleşme sistemi alt yapısı olarak kullanılmaktadır. Güdümlü bir fiber optik aracılığıyla bilgi taşıyan iletişim sistemlerine fiber optik sistemler denmektedir [10,11].

2.1.1.Fiber Optik Kablonun Avantajları

Fiber optik kablolar, yüksek veri transfer imkanı sağlayan geniş band aralığı, enerji iletim sistemlerinde kullanılabilme imkanı tanıyan elektromanyetik bağışıklığı, veri setleri arasında karışma olmaması, çevre koşullarına karşı dayanım, montaj aşamasında tesis kolaylığı, bilgi transferinde güvenlik ve maliyet özellikleri ile tercih edilme sebepleridir [12].

2.1.1.1. Geniş Band Aralığı

Optik frekanslar daha geniş bant genişlikleri sağladıkları için fiber sistemler daha büyük bir kapasiteye sahiptir. Metalik kablolarında, iletkenler arasında kapasitans ve iletkenler boyunca indüktans meydana gelir. Bu özellikler metalik kabloların, bant genişliklerini sınırlayan alçak geçiren filtreler gibi hareket etmelerine neden olur.

2.1.1.2. Elektromanyetik Bağıklık

Fiber sistemler, manyetik indüksiyonun neden olduğu kablolar arası karışmadan etkilenmezler. Cam ya da plastik fiberler elektriği iletmeyen malzemelerdir; bu nedenle fiber optik kablolarında, akım akışının meydana getirdiği manyetik alan yoktur. Metalik kablolarında, karışmanın başlıca nedeni birbirine yakın yerleştirilmiş iletkenler arasındaki manyetik indüksiyondur.

2.1.1.3. Karışma (Diyafoni) Olmaması

Fiber kablolar, yıldırımın, elektrik motorlarının, floresan ışığın ve diğer elektriksel gürültü kaynaklarının neden olduğu statik karışmadan etkilenmezler; bunun bir nedeni de fiber optiklerin elektrik iletmeme özelliğidir. Ayrıca, fiber kablolar enerji yaymazlar; dolayısıyla, diğer iletişim sistemleriyle girişime yol açmaları mümkün değildir. Bu özellik, fiber sistemleri askeri uygulamalara çok uygun hale getirir. Askeri uygulamalarda, nükleer silahların etkileri (EMP, elektromanyetik darbe girişimi), klasik iletişim sistemleri üzerinde çok kötü sonuçlar yaratır.

2.1.1.4. Çevre Koşullarına Karşı Dayanım

Fiber kablolar, çevre koşullarındaki büyük değişikliklere karşı daha dayanıklıdır. Metalik kablolarla oranla daha geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilirler. Aynı şekilde fiber kablolar, aşındırıcı sıvılardan ve gazlardan daha az etkilenirler.

2.1.1.5. Tesis Kolaylığı

Fiber kabloların monte edilmesi ve bakımı daha kolay ve daha güvenlidir. Cam ve plastik fiberlerin iletken olmamaları nedeniyle, fiberler kullanıldığında elektrik akımları ya da gerilimlerinin yarattığı tehlikeler yoktur. Fiberler, hiçbir patlama ya da yangın tehlikesi oluşturmaksızın, uçucu sıvıların ya da gazların çevresinde kullanılabilirler. Metalik kablolardan daha küçük ve çok daha hafiftir dolayısıyla, fiber kablolarla çalışmak daha kolaydır. Ayrıca, fiber kablolar daha az saklama alanı gerektirir ve daha ucuza nakledilebilirler.

2.1.1.6. Güvenlik

Fiber kablolar bakır kablolarla oranla daha güvenlidir. Kullanıcının haberi olmaksızın fiber kablonun içine kaçak veya gizli bir bağlantı yapmak imkansızdır. Bu da fiberi, askeri uygulamalar açısından cazip kılan bir başka niteliğidir.

2.1.1.7. Maliyet

Fiber optik bir sistemin uzun vadeli maliyeti, metalik bir sistemin uzun vadeli maliyetinden daha düşüktür.

2.1.2. Fiber Optik Kablonun Sakıncaları

Fiber optik kablo çeşitlerinden olan ADSS (All dielectric self supporting) kablolar Yüksek gerilim enerji iletim hatlarında kullanıldıklarından, elektrik alan etkisi ve çevresel faktörler kir, nem, yağmur, rüzgar, titreşim v.b. kablo yalıtkan yüzeyinde yaşlanmaya neden olmaktadır [1]. Haberleşme sistemi olarak bakır devre ve fiberin uyuşmaması nedeniyle fiber optik kabloların mevcut şebekeye ayarlanmasında zorluklar çıkmaktadır. Sayısal ve analog sistemlerin uyuşmaması söz konusudur. Fiber fiyatlarının pahalı olması nedeni ile uzun mesafe irtibatlarında fiber optik sistemler konvansiyonel fiber ve bakır kabloların ekonomik karşılaştırılmasında bant genişliği veya kanal maliyeti de dikkate alınmalıdır. Fiber optik kabloların pratikte 5 km den kısa mesafelere çekilmesi ekonomik değildir [13].

2.2. ENERJİ İLETİM HATTINDA KULLANILAN FİBER OPTİK KABLULAR

Enerji iletim hatlarının en basit işlevi, bir üretim merkezinden beslenen elektrik enerjisini oldukça uzaktaki bir veya birçok dağıtım merkezine nakletmektir. Enterkonnekte şebekelerin oluşması ile birçok üretim ve dağıtım merkezi, birbirleri ile elektriksel ve fonksiyonel olarak bağlanmaktadır. Böyle karmaşık ve büyük bir sistemin koordineli bir şekilde çalışabilmesi için merkezler arası iletişimin sağlanması önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Elektrik iletim teknolojisinde gerekli olan unsurlardan başlıcaları şunlardır:

1. Şebekenin korunması,

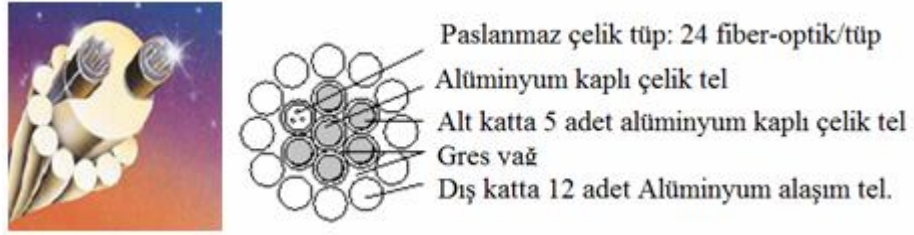
2. Şebekenin kontrolü,
3. Şebeke elektrik ölçümlenmeleri,
4. Elektrik şebekeleri üzerindeki fiziksel çalışmaların monitör üzerinde izlenmesi,
5. Bakım ekibi ile haberleşme,
6. Yönetimsel çağrılar ve veri aktarımı.

Yüksek gerilim enerji iletim hatlarında, haberleşme ve bilgi akışı için kullanılan başlıca kablo çeşitleri, tamamen yalıtkanlı kendini taşıyan kablo ADSS (All Dielectric Self Supporting), optik toprak teli veya optik faz iletkeni kabloları (OPGW veya OPPC), optik bağlantılı kablolar (OPAC), hava hattı kendini taşıyan metalik kablolar (MASS) şeklinde gruplara ayrılmaktadır. Tüm bu hava hattı haberleşme kabloları yüksek gerilim hatları ile aynı sistemde kullanılmaktadır.

2.2.1.OPGW Kablolar

OPGW (Optical Ground Wire) kablolar, optik fiberli koruma toprak tellerinin imalatıyla kullanılmaya başlanmıştır. İletim direklerine çekilen OPGW toprak iletkeniyle, elektrik şebekeleri yıldırım gibi dış etkilere ve kısa devrelere karşı korunmakla birlikte, şebekelerin daha güvenli, emniyetli ve kontrollü işletilmesi sağlanmaktadır. OPGW kabloların tesise kurulumu enerji kesintisini gerektirir. Ayrıca fiber optikli iletkenlerin kullanılması ile çok büyük bir iletişim kapasitesi de yaratılmış olmaktadır. Hatlarda kullanılmayan bu fazla kapasiteler, şehirler arası telefon şebekelerine kiralanabilmekte veya satılabilmekte ve böylece ek bir ekonomi yaratılmaktadır, Şekil 2.1'de OPGW kablo yapısı görülmektedir [14].

OPGW tasarımları incelendiğinde, ülkelere ve ülkelerin şartlarına göre değişim gösterdiği görülmüştür. Bunlar o ülkenin iklim şartları, iletişim ve veri transferleri için düşündüğü altyapı yatırım projeleri, mevcut direklerin konumları ve enerji iletim hatlarının yönetim şekilleri gibi sıralanabilir. Bu çeşit ürünler genel olarak pahalı olduklarından uygulanması gereken mekanik ve elektriksel testlerden geçmiş en sağlam ve en uzun ömürlü olarak değerlendirilen tiplerin tercih edilmesi gerekmektedir [15].



Şekil 2.1: OPGW kablo yapısı

2.2.2. ADSS Kablolar

ADSS kablolar tamamen dielektrik malzemeden üretilmiş fiber optik kablolardır. Yüksek gerilim enerji iletim hatlarında veri transferi için kullanılan bu kablolar enerji iletim hatlarının 3-6 m aşağısına yerleştirilirler [16]. Kablo dış yüzeyi çeşitli polietilen malzemelerden yapılmaktadır. Kablolar kullanım aşamasında hem elektrik alan etkisine, hem de rüzgar, sıcaklık, nem, titreşim, kirlilik v.b. dış etkenlere maruz kalmaktadırlar. Bu şartlar altında kablo yüzeyinin ıslak olması sonucu elektriksel atlamalar gerçekleşmekte ve oluşan boşalmalar kablo yalıtkanında bozulmaya neden olmaktadır. Kablonun yaşlanma süreci çevresel etkiler nedeniyle değişmekte ve dolayısıyla kablolar kullanıldıkları bölgedeki dış etkiler altında farklı servis ömürlerine sahip olmaktadır.

Maliyeti OPGW kablolarına göre daha azdır. OPGW kablolarına oranla daha fazla fiber içermektedirler. Isıl kayıpların yüksek olduğu hatlar (hot-line) için kullanıma uygundur.

Fiberler merkezdeki FRP (Fiber Reinforced Plastic) nin etrafında yerleşmiştir. Fiber kanallar süper emici şerit ile çevrelenmiştir. İç kılıf koruma PE dir. Dış yüzeyde kılıf (cable jacket) bulunmaktadır, bu kılıf HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen) malzemeden yapılmaktadır. ADSS kablonun yapısı ve kesit görüntüsü Şekil 2.2' de görülmektedir.



Şekil 2.2: ADSS kablo yapısı ve kesit görüntüsü

ADSS kablolar kullanım sırasında yüksek elektrik alan etkisi altında kullanıldığından, kablonun bozulmasına sebep olmaktadır. Korona problemi ve kirli bölgelerde kuru band elektrik atlamaları (Dry band arcing) bu bozulmanın başlıca sebebidir [17].

2.2.3.Sarmal Yapıda F/O Kablolar (Wrap Type Cable)

Enerji İletim Hatlarında haberleşme amacıyla kullanılan diğer bir çeşit Fiber Optik kablo Sarmal Yapıda F/O (Wrap Type Cable) kablolardır. Bu kablolar enerji iletim hattında yer alan koruma iletkeni üzerine sarılarak kullanılmaktadır. Bu kullanım şeklinde, ısıl kayıpların yüksek olduğu hatlarda (hot-line) kullanılması zordur [18].

Maliyeti ADSS kablodan fazla, OPGW kablodan azdır. Bu kablolarda siper (shield wire) kullanımına ihtiyaç vardır. Sarmal yapıdaki kabloların iletim hattındaki görünümü Şekil 2.3'te verilmiştir [19]

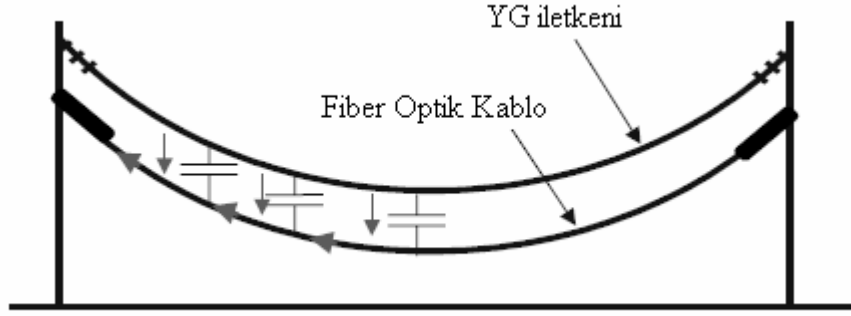


Şekil 2.3: Sarmal yapıda kullanılan F/O kablolar

Enerji İletim Hatlarında, Haberleşme alt yapısı olarak OPGW, ADSS ve Sarmal Yapıda F/O Kablolardan en yaygın olarak ADSS kablolar kullanılmaktadır. ADSS kablolar; daha fazla fiber içermeleri, ısıl kayıpların yüksek olduğu hatlarda kullanılabilmeleri, kurulum kolaylığı ve maliyet kriterlerine göre avantajlı olduğundan tercih sebebi olarak ön plana çıkmaktadır.

2.3. ADSS KABLolarIN ENERJİ İLETİM HATTINDA KULLANIMI

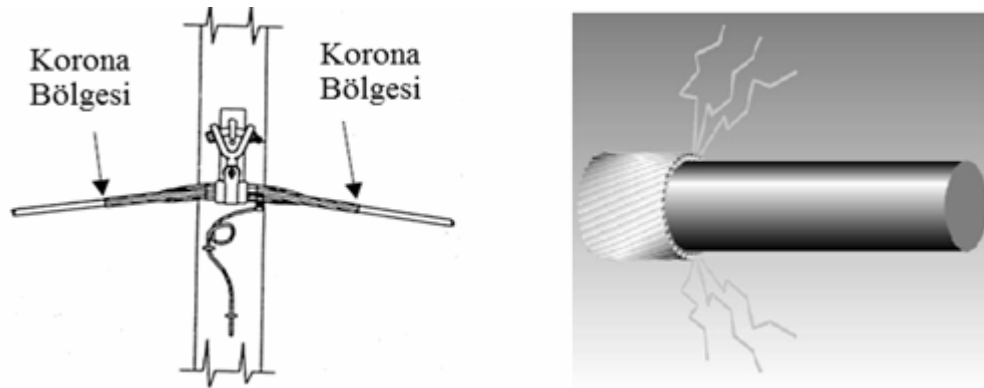
Yüksek gerilim enerji iletim hatlarında, haberleşme ve bilgi akışı için kullanılan tamamen dielektrikli kendini taşıyan ADSS (All Dielectric Self Supporting) kablo, faz iletkeninden 3-6 m aşağıya kurulur. Faz iletkeni ile ADSS kablo arasındaki mesafe enerji iletim hattında taşınan gerilimin yükselmesi ile değişiklik göstermektedir. Kablonun Enerji iletim hattındaki gösterimi Şekil 2.4'te verilmiştir [16,20].



Şekil 2.4: ADSS F/O kablo ve yüksek gerilim iletkeni

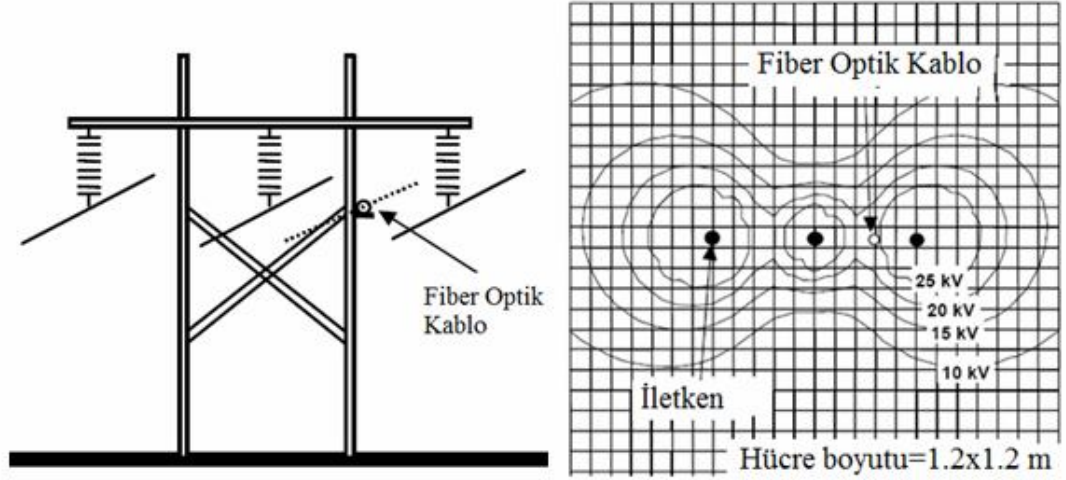
ADSS kablolar enerji iletim hatları ile aynı mekanik sistem üzerinde kullanıldığından, elektrik alan etkisi altında kalmaktadırlar ve kablolar üzerinde kir ve ıslaklık nedeniyle boşalmalar gözlenmektedir. Kabloların kullanıldığı ortamdaki çevresel etkilerin değişmesiyle, kablo yüzeyinde oluşan boşalmaların etkisi değişmektedir.

ADSS kablo, enerji iletim hattına montajı sırasında direğe Şekil 2.5'te görüldüğü gibi bağlanmaktadır. Bağlantı noktasında koruyucu çubuk (Armor rod) bulunmaktadır. Elektrik alan etkisinden dolayı bağlantı noktası ile kablo arasında korona oluşmaktadır [20].



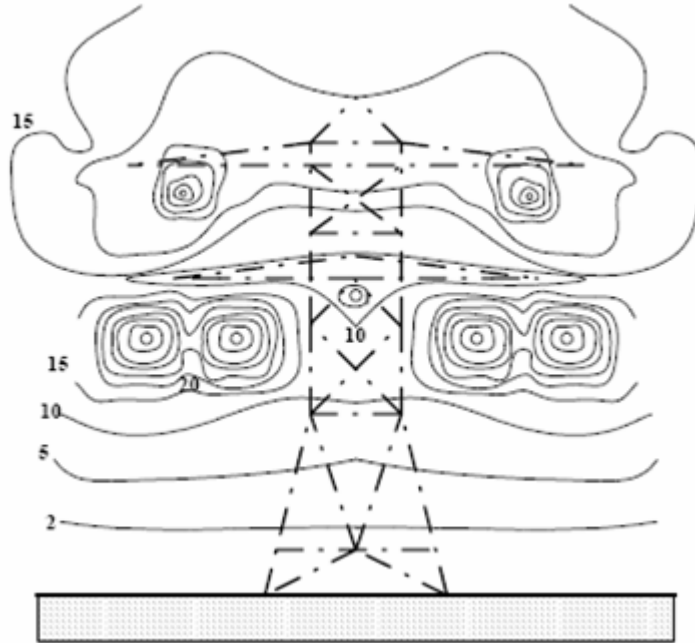
Şekil 2.5: ADSS kablonun direk bağlantısı ve korona oluşumu

ADSS kablonun servis sırasında enerji iletim hattındaki elektrik alan etkisine maruz kalması ve 230 kV' luk bir EİH'da eş potansiyel çizgilerin dağılımı Şekil 2.6'da görülmektedir. Bu enerji iletim hattında kullanılan ADSS kablo 25 kV eş potansiyel çizgisi etkisi altında servis vermektedir.



Şekil 2.6: ADSS kablonun EİH'a kurulumu ve 230 kV EİH'da eş potansiyel çizgileri

ADSS kablonun kurulumunun gerçekleştiği enerji iletim hattının taşıyıcı direklerinin mekanik yapısının değişimi ile bu direkte yer alan faz iletkenlerinin konumlandırılmasına göre ADSS kablonun yeri ve etki eden eş potansiyel çizgileri de farklılık göstermektedir. Şekil 2.7' de enerji iletim hattının 6 adet iletken hat taşıması durumu için eş potansiyel çizgileri görülmektedir. Bu durumda iletken dağılımının konumlarının değişmesi sonucu farklı eş potansiyel çizgileri oluşmaktadır [20,21].



Şekil 2.7: Enerji iletim hattında 6 adet iletken bulunması durumunda eş potansiyel çizgileri dağılımı

ADSS kablunun yapısında yalıtkan malzeme olarak Polietilen (PE) ve Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) kullanılmaktadır. Polimerik yalıtkanlar termoplastik ve termoset polimerler olmak üzere 2 gruba ayrılırlar. Termoplastiklerin erime sıcaklıkları düşüktür (100–160 °C) buna karşın esnek olmaları sebebi ile erime sıcaklıklarının altındaki sıcaklıklarda kalıplanabilir ve işlenebilirler [22]. Bu özellikleri nedeniyle termoplastikler kablo endüstrisinde yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar. Termoset polimerler ise ısı ile bir kez şekil alırlar ve şekil aldıktan sonra işlenemezler. Mekanik dayanımları ve sertlikleri termoplastiklere göre daha iyidir. Günümüzde üzerinde yoğun şekilde çalışılmaya devam edilen polimer yalıtkanlar oldukça çeşitlenmiş ve yaygınlaşmıştır. Yapılan katkılar ile polimerler özel uygulamalarda (yüksek sıcaklık gerektiren, mekanik dayanım gerektiren, kimyasallara karşı zırh olarak, vb.) güvenle kullanılabilir. ADSS kabloların yalıtkan malzemeleri Fiber kanalların güvenli bir şekilde veri iletimi açısından önem taşımaktadır.

Polietilen elektrik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan termoplastik polimerdir. PE polar gruplar içermediği için dielektrik sabiti ve kayıp faktörü oldukça düşüktür. Reaksiyon sürecine bağlı olarak polietilenler düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) veya PE moleküllerinin çapraz bağlanmasıyla (XLPE) olarak üretilirler. LDPE düşük gerilim ve akımların yalıtımında, HDPE ve XLPE yüksek akım ve gerilimlerin yalıtımında kullanılmaktadır [23,24].

2.4. KABLULARIN YALITKAN YÜZEYİNDE BOZULMALAR

ADSS kablolar kullanıldıkları yüksek gerilim enerji iletim hatlarında servis sırasında maruz kaldıkları elektrik alan etkisinden korunmak için dış kılıflarının katı yalıtkanlarla çevrili olmasına ihtiyaç duymaktadır. Zamanla kablo yüzeyinde çevresel etkenler ve elektrik alan etkisi ile oluşan bozulma kablo ömründe yaşanmaya neden olmakta ve sonunda bozulma gerçekleşmektedir [25]. Katı yalıtkanlar, yüksek gerilim tesislerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Katı yalıtkanlar bozulma gerçekleştikten sonra eski haline geri dönemezler. ADSS kablo yapısında bozulma gerçekleşmesi durumunda fiber kanallar veri taşıma işlemini gerçekleştirememektedir. Bu nedenle enerji iletim hattında kullanılan ADSS kablo yapısında kablo dış kılıfı HDPE kullanılarak izole edilmektedir [26].

Katı yalıtkanlar kullanım süreleri boyunca çeşitli elektriksel, termal ve mekanik streslerin yanı sıra aşırı akım ve gerilimlere maruz kalırlar. Nem, ısıl değişiklik, güneş ışını UV etkisi, mekanik gerilmeler ve benzeri çevresel faktörler (titreşim, vb.) yalıtkanlarda bozulmayı hızlandırmaktadır [27-30].

Katı yalıtkanlardaki başlıca bozulma mekanizmaları, yaşlanma, kısmi boşalma, kanal oluşumu, termik delinme, elektromekanik delinme, erozyon ve yüzey aşınımı başlıkları altında incelenir [31-35].

2.4.1. Yaşlanma

ADSS kablunun dış yüzeyinde bulunan malzemenin yaşlanması, enerji iletim hattında kullanımı sırasında elektrik alan ve çevresel etkenlerden dolayı yalıtkanın kullanımına bağlı olarak gözlenen geri dönüşümü olmayan bozucu değişim olarak tanımlanmaktadır [36]. Yaşlanmanın nedenleri elektriksel, termal, mekanik, kimyasal veya çevresel faktörler olabildiği gibi bunların beraber etkimesi sonucu da gerçekleşebilmektedir [31,36].

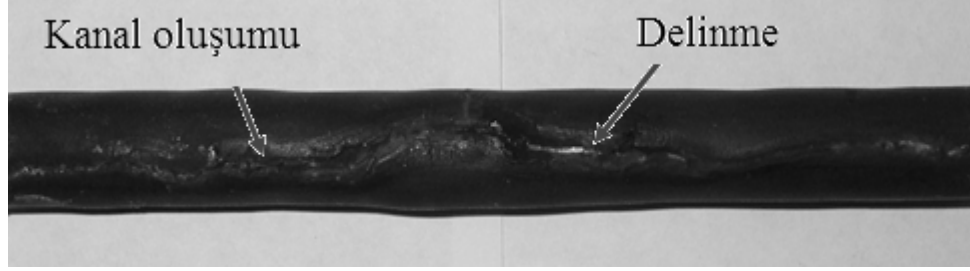
2.4.2. Kısmi Boşalma

Yüksek elektrik alan etkisi sonucu, yalıtkanlarda yer alan boşluklarda veya kompozit yalıtıkanda gerçekleşen, yüzeyde meydana gelen boşalmalar kısmi boşalma olarak değerlendirilir. ADSS kabloların direklere bağlantı noktalarında bağlantı elemanı ile F/O kablo yalıtkanı arasında gerçekleşen elektriksel boşalmalar buna örnek olarak gösterilebilir. Bu tür boşalmalar yalıtkanın ani bozulmasına neden olmazlar, fakat kullanım ömrünü kısaltırlar [35,36].

2.4.3. Kanal Oluşumu

Kablo Yüzeyinde oluşan elektriksel arklar zamanla kablo yapısında bozulma meydana getirir. Katı yalıtkanlarda kanal oluşumu, elektriksel öncül delinme olarak tanımlanabilir. Katı yalıtkanlarda kanal oluşumunu tetikleyen pek çok mekanizma vardır. Bunlar yalıtıkanda noktasal ısınmalar, termal bozulma, elektrik alana bağlı olarak sürekli değişen polariteler nedeni ile bağların kopması, yalıtıkanda habbeciklerin yer alması, elektrik alana bağlı olarak gözlenen mekanik stresler olabilmektedir. Bu etkiler kendi başlarına ya da birlikte etkiyerek yalıtıkanda iletken kanalların oluşmasına neden

olurlar [35,37]. Oluşan kanallar elektrik alanın da etkisi ile hızla büyüyerek yalıtkanın delinmesine ve kullanım dışı kalmasına neden olurlar. ADSS kablonun enerji iletim hattında kullanımı sırasında yüzeyde oluşan elektriksel atlamaların sonucu kablo yalıtkanında meydana gelen kanal oluşumu Şekil 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.8: ADSS kabloda kanal oluşumu ve delinme

2.4.4. Termik Delinme

Enerji İletim hatlarında haberleşme amacı ile kullanılan kabloların yalıtkan yüzeylerinde; enerji hattından doğan elektrik alan etkisi, ıslak yüzeyler ve kirlilik gibi etmenlerden dolayı ark oluşumu gerçekleşmekte ve bu arkların oluşturduğu ısı etkisi ile termal bozulma görülmektedir. Yüzeyde elektriksel ark oluşumu veya ortam sıcaklığının artması nedeniyle kablo dış kılıfı yaşlanmakta ve zamanla delinerek bozulmaktadır. Termik delinme etkisi sonucu kablo yüzeyinde oluşan değişim Şekil 2.8’de verilmiştir. Her yalıtkan için belirli sıcaklık düzeyinin üzerine çıkıldığı zaman kimyasal ve fiziksel bozulma hızlanır [24,38].

2.4.5. Elektromekanik Delinme

ADSS kablolar farklı iklim özellikleri gösteren bölgelerde enerji iletim hatlarında haberleşme ağı olarak kullanılmakta ve çevresel faktörlerden; nem, yağmur, çığ, kırağı, sıcaklık, rüzgar, titreşim gibi etkilere maruz kalmaktadır. Katı yalıtkanların kimyasal birleşimi, üretim tekniği, çevresel etkiler ve kullanıldığı noktadaki gerilim değerleri zamanla yalıtkanın fiziksel olarak etkilenmesine neden olur. Fiziksel özellikleri değişen yalıtkan, uygulanan gerilimle birlikte elektromekanik olarak bozulur [31,36].

2.4.6. Erozyon

ADSS kablolarında dış kılıf üzerinde gerçekleşen yüzeysel boşalmalar termal ve elektronik olarak yalıtkanın moleküler ve atomik yapısını zorlar ve değişmesine neden olur. Bazı durumlarda bu değişim polimerin zincir yapısını değiştirir ve yalıtkanın geride karbon kalıntısı kalmayacak şekilde bozulmasına ve yalıtkanın erozyonuna neden olur [36,39].

2.4.7. Yüzey Aşınımı

Kablo dış yüzeyinde oluşan sızıntı akımları, yüzeyin bozulmasına ve bir karbonize yolun oluşmasına neden olmaktadır. Yüzey aşınımı daha çok polimerik yalıtkanlarda gözlemlenen bir bozulma biçimidir. Yüzey aşınımı sonucunda, yalıtkanın yüzeyi yanmaya bağlı olarak karbonlaşır ve o bölgede bir iz meydana gelir [27,32,36]. Yüzeyde oluşan iz ve oluşum süresi, yalıtkanında kullanılan polimerin moleküler yapısına, uygulanan gerilime, elektrot tipine, deney sırasında yüzeydeki su miktarına bağlıdır. Yapılan çalışmalar, yüzey aşınım deneyinde çeşitli faktörlerin polimerik yalıtkanın yüzey aşınım süresini etkilediğini göstermiştir. Bu faktörler nem, yüzeydeki sıvı miktarı, uygulanan gerilimi, yalıtkan örneğin yapısı ve yüzey durumu olarak sıralanabilir [40].

ADSS kablolarının kullanım ömrüne etki eden süreçler ve kabloların servis ömürleri kuru yüzeyde elektriksel ark test yöntemi ile incelenmektedir [41]. Yapılan çalışmalar enerji hatlarında kullanılan, yalıtkan dış kılıfa sahip ADSS kabloların, yüksek elektrik alanda, yüzeyde ıslak-kuru bölgeler olması durumunda kuru bölgelerde elektriksel arklar oluştuğu ve bu arkların ısı etkisi ile kablo yüzeyinde yaşlanmanın hızlandığı ve zamanla kablo yalıtkanın bozulduğu görülmüştür.

3.MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada enerji iletim hatlarında kullanılan haberleşme kablolarında çevresel etkilerin kablo yalıtkanlarının servis ömürlerine etkisi Kuru Yüzeyde Elektriksel Ark (Dry Band Arcing) deney yöntemi ile incelenmiştir. Enerji iletim hatlarında haberleşme alt yapısı olarak en yaygın kullanılan tamamen yalıtkan malzeme içeren hava hattı fiber optik kablolarından ADSS kablolar test örneği olarak kullanılmıştır.

Kabloların servis hizmeti sırasında maruz kaldıkları çevresel etkenler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş ve testler yapılmıştır. Testler İstanbul Üniversitesi Yüksek Gerilim Laboratuvarında Kuru Yüzey Elektriksel Ark Test düzeneği kurularak gerçekleştirilmiştir[42].

Test edilen örneklerde farklı yapıdaki hava hattı fiber optik kablolar kullanılarak, kablo geometrisinin değişiminin kablo kullanım ömrüne etkisi incelenmiş, bunun için askı halatlı ve askı halatsız fiber optik kablolar test edilerek ömür süreleri bulunmuştur. Kullanım süreleri arasındaki farklar ve oluşum nedenleri araştırılmıştır.

ADSS kablolar kullanıldıkları bölgelere göre, o bölgenin iklim özelliklerinin etkisine maruz kalmaktadır [42]. Kullanıldıkları coğrafi bölgede kablo yalıtkanlarının yaşlanmasına neden olan yüzeydeki ıslaklık değişimi farklı modellerde gerçekleştirilerek, farklı ıslak yüzey modelleri için testler yapılmıştır.

Kablolar üzerinde, farklı bölgelerde yağmur, nem, kırağı, çiğ gibi etkenlerle değişik ıslaklık yüzeyleri oluşmaktadır. Deney düzeneğinde yağmurlama sisteminin kontrolü ile gerçek hayatta kablonun arazideki kullanımında maruz kaldığı farklı ıslak yüzey modelleri ve bu ıslak yüzey modellerinin kablo yaşlanmasına etki eden süreçteki farklılıkları belirlenmiştir [42].

Kablo yalıtkanının yaşlanmasına neden olan elektriksel arkların yapısı ıslak yüzey değişimi ile ark işaretlerinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve ıslak yüzey

modelleri için elektriksel ark işaretlerinin frekans görüngesinde, bileşenlerin dağılımı ve güç analizi yapılmıştır.

Çevresel etkenler, laboratuvar ortamında oluşturularak, deney düzeneğinde gerekli değişiklikler gerçekleştirilmek suretiyle yağmur, rüzgar ve titreşim parametrelerinin incelenmesi için yeni deney düzenekleri oluşturulmuş ve bu etkiler analiz edilmiştir.

Kablo yalıtkanında meydana gelen bozulmaların fiziksel ve kimyasal değişimleri, diferansiyel taramalı kalorimetre (Differential Scanning Calorimeter, DSC) analizi ile gerçekleştirilmiştir. DSC analizi yapılan çalışma sonucu kablo dış kılıfının camsı geçiş sıcaklığı elde edilmiştir. Test periyodunda zamanla ark oluşumunun ısıl etkileri ve kablo yüzeyinde meydana gelen ısınmanın test sırasında meydana geldiği zaman ve sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

Kuru Yüzeyde Elektriksel Ark oluşumu deneyleri sonrası test örneği yüzeyindeki morfolojik değişimler taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi ile gerçekleştirilmiş ve kablo dış kılıfında gerçekleşen bozulmanın moleküler yapısı belirlenmiştir.

Kablo örneklerinde test öncesi ve test sonrası kimyasal değişim FT-IR analizi ile incelenmiş. Kablo dış kılıfının malzeme yapısında meydana gelen kimyasal değişimler görülmüştür.

Deneyle farklı bir test yöntemi olan eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deney düzeneği kullanılarak da yapılmış ve iki deney yöntemi arasındaki farklılıklar belirlenerek, test sonuçlarının güvenilirlik analizi Weibull istatistiksel incelemesi ile gerçekleştirilmiştir.

3.1. KURU YÜZEYDE ELEKTRİKSEL ARK OLUŞUMU DENEY DÜZENEĞİ

Enerji iletim hattında kullanılan dış yüzeyi yalıtkanlı haberleşme kabloları, işletme ömürleri boyunca çeşitli yaşlanma etkenleriyle karşı karşıya kalırlar. Birçok etken yapının yalıtkan özelliğine zarar vermekte ve sonucunda da bozulma meydana gelmektedir. Bozulma, zaman içinde çeşitli dış etkilere bağlı olduğundan yalıtkanın kullanım ömrü hakkında bir kestirimde bulunmak zordur. Bu tür problemleri çözmek

ve bir kestirimde bulunabilmek için laboratuvar koşullarında hızlandırılmış yaşlanma deney yöntemleri geliştirilmiştir [18,43].

Kuru yüzeyde elektriksel arkların incelendiği bu deney düzeneği kablo yüzeyinde oluşan ıslak-kuru bölgelerde gerçekleşen elektriksel arkların kablo yalıtkanında oluşturduğu bozulmayı incelemek amacı ile geliştirilmiştir. Laboratuvarda yapılan testler gerçek hayatta maruz kalınan etkilerin laboratuvar ortamında hızlandırılmış modelleri kullanılarak gerçekleştirilir.

Hızlandırılmış olarak malzemelerin servis ömürlerini belirlemede kullanılan başlıca deney yöntemleri:

- Kuru Yüzeyde Elektriksel Ark (Dry Band Arcing) Deneyi
- Eğik Düzlem Deneyi (Inclined Plane Test)
- Karşılaştırmalı İz Oluşum İndisi Deneyi (Comparative Tracking Index Test)
- Tozlu – Sis Deneyi (Dust Fog Test)
- Tuzlu – Sis Deneyi (Salt Fog Test)
- Farksal Yaşta İz Oluşumu (Differential Wet Tracking) Deneyi
- İz oluşumuna Dayanım Çarkı (Tracking Endurance Wheel) Deneyi

olarak sıralanabilir.

Test edilecek malzemenin yapısı ve kullanıldığı ortamdaki etkileri oluşturmak için tercih edilecek deney düzeneği de farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada, kablo testlerinde, kullanıldıkları bölgelerde maruz kaldıkları etkileri oluşturacak ve kablo yapısına uygun olarak gerçekleştirilebilecek en uygun test yöntemi olan Kuru Yüzeyde Elektriksel Ark (Dry Band Arcing Test) yöntemi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Kuru Yüzeyde Elektriksel Ark testinin ana yaklaşımı, enerjilendirilmiş kablo üzerine birkaç dakika tuzlu suyun püskürtülmesi sonucu oluşan boşalmaların kablo üzerinde meydana getirdiği bozulmanın incelenmesidir. Bu testte kablo yüzeyinin ıslak olması

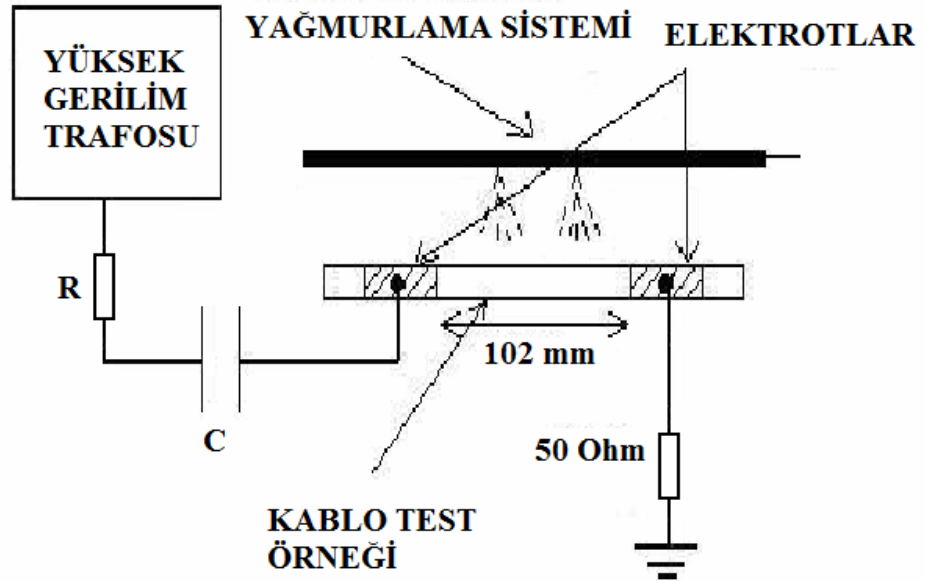
sızıntı akımının oluşmasına neden olmaktadır. Yüzeyde oluşan bu sızıntı akımları, akım sınırlayıcı devre ile birkaç mA seviyesinde sınırlandırılmaktadır. Sızıntı akımları ve çevresel ısı değişimi yüzeyin kurumasına neden olmaktadır ve kuruyan yüzeyde kuru yüzey elektriksel atlamalar (Dry band arcing) oluşmaktadır [44].

Kuru Yüzeyde Elektriksel Ark deney düzeneği kablonun gerçek hayatta kullanımı sırasında maruz kaldığı etkileri ve yaşlanma sürecini incelemek için simule edilmiştir. Kablo üzerinde yağmur sonucu oluşan ıslaklığı gerçeklemek için spreyleme sistemi, kablo yüzeyinde oluşan arkı gerçekleştirmek için gerilim kaynağı ve elektrotlar, kabloları direklerdeki konumunda test edebilmek için ise askı halatları kullanılmıştır.

Kuru Yüzeyde Elektriksel Ark deney yönteminde testler IEEE Std 1222 (IEEE Standard for All-Dielectric Self-Supporting Fiber Optic Cable.) standardında belirtilen kriterler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Deney Düzeneğinin Kurulumu

Kabloların kullanım sürelerini belirlemek için kullanılacak kuru yüzeyde elektriksel ark deney düzeneği IEEE 1222 ADSS Fiber Optik Kabloların Test Standardına uygun olarak hazırlanmıştır [45]. Deney düzeneğinin oluşturulmasında kullanılan alt birimler aşağıda açıklanmıştır. Deney düzeneğinin blok gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir.

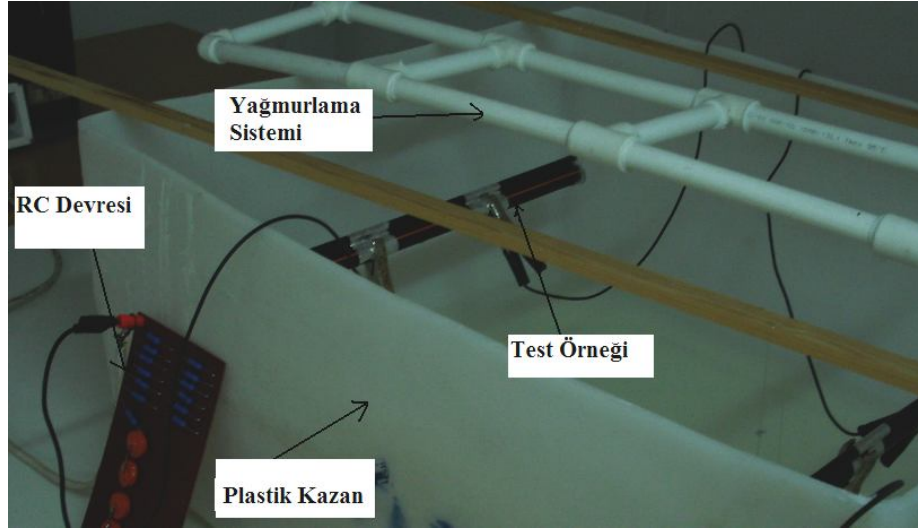


Şekil 3.1: Kuru yüzeyde elektriksel ark test yöntemi blok gösterimi

Deney düzeneği aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

3.1.1.1. Plastik Kazan

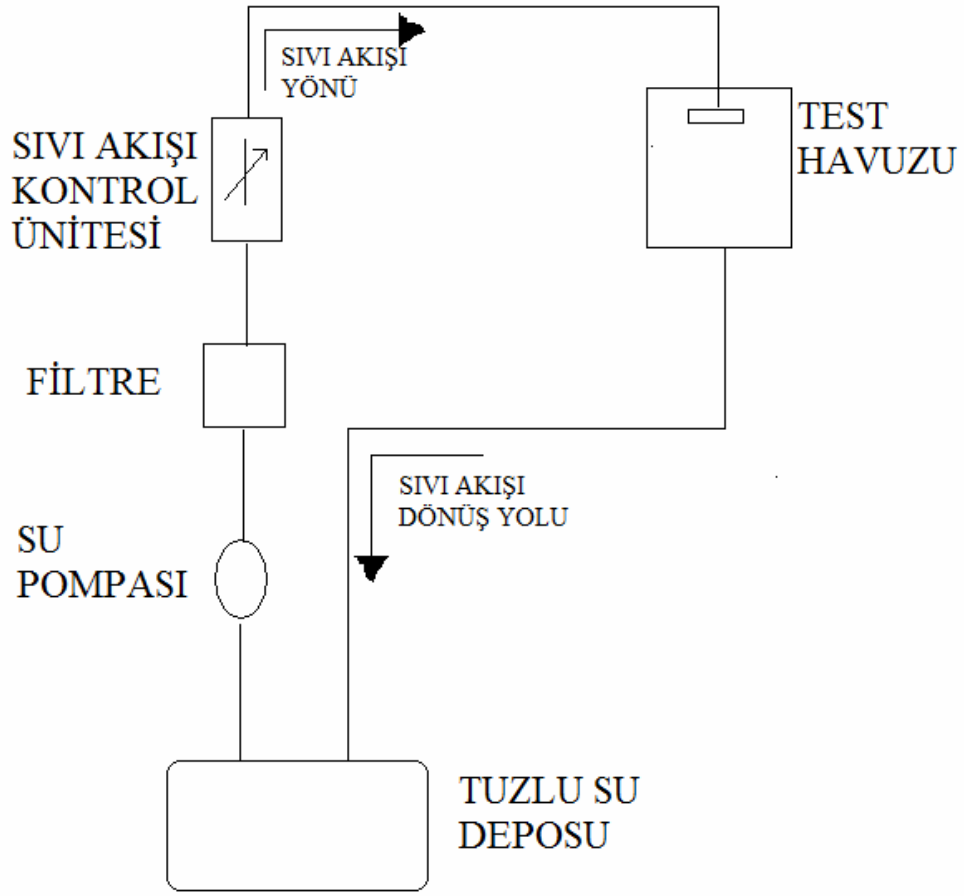
Deney düzeneğinde kablo deneylerinin gerçekleştirildiği sistemin ana gövdesini plastik kazan oluşturmaktadır. Test örnekleri bu kazan üzerine konulmuş, birbirine paralel iki askı kanalı ile havada tutulmaktadır ve düzenekte kabloların işletme koşullarında direklerdeki konumu modellenmiştir. Kazan aynı zamanda yağmurlama sırasında ortama gönderilen suyun toplanıp tekrar pompalanmasını sağlamaktadır. Kablonun gerçek hayatta kullanımı bu şekilde laboratuvar ortamında modellenmiştir. Plastik Kazan yapısı Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2: Plastik kazan

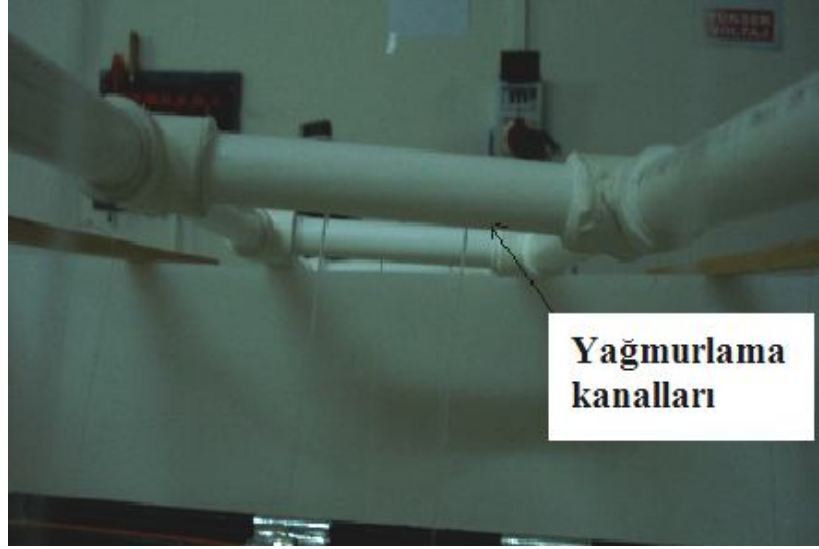
3.1.1.2. Yağmurlama Sistemi

Yağmurlama sistemi, kablolar üzerinde ıslak yüzey oluşturmak amacı ile test örneklerinin yağmurlama yapılarak ıslanması için kurulmuştur. Kabloların enerji iletim hattında kullanımı sırasında maruz kaldıkları yağmur, çığ, kırağı, nem gibi hava şartlarından kaynaklanan kablo yüzeyinde oluşan ıslak yüzeylerin laboratuvar ortamında oluşturulması hedeflenmiştir. Sulama kanalına, tuzlu su pompalanması ile kanal deliklerinden test örneği üzerine tuzlu su akmakta ve kablo üzerinde ıslak yüzey oluşturulmaktadır. Yağmurlama sistemi; tuzlu su havuzu, pompa, filtre, akış kontrol ünitesi, yağmurlama delikleri ve plastik kazan oluşmaktadır. Yağmurlama sisteminde sıvı akışı blok gösterimi Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3: Sıvı akışı blok gösterimi

Tuzlu su çözeltisi bir havuz içinde hazırlanmış ve pompa yardımı ile paralel örnekler üzerinde bulunan kanallardaki yağmurlama deliklerinden örneklerin üzerine yağmurlandı. Laboratuvar koşullarında 25 °C de hazırlanan çözelti, %1 tuzluluk oranında ve iletkenliği 17.2 mS olarak ölçülmüştür. Sıvı akış hızı 1 mm çapında her iki yağmurlama deliği için 375 ml/dakika olarak ölçülmüştür. Yağmurlama sistemi Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4: Yağmurlama sistemi

Yağmurlama sisteminde kullanılan tuzlu su çözeltisi, homojen olması için test başlamadan 24 saat önce hazırlanmıştır. Hazırlanan tuzlu su örneği ve iletkenlik değerinin belirlenmesi Şekil 3.5'te görülmektedir. Havuzda hazırlanan tuzlu su, pompa yardımı ile yağmurlama kanallarına gönderilmekte oradan da yağmurlama deliklerinden test örneği üzerine püskürtülmektedir.



Şekil 3.5: Tuzlu su çözeltisi ve iletkenlik ölçümü

3.1.1.3. Sıvı Akışı Kontrol Cihazı

Test örnekleri üzerine yağmurlamanın kontrollü bir şekilde standartlarda belirtilen ölçütler doğrultusunda gerçekleşmesi için zaman ayarlı sıvı akışı oluşturulmuştur. 30 dakikalık bir çevrimde ilk iki dakika yağmurlama gerçekleşir ve test örneğinin yüzeyi ıslanır, geri kalan 28 dakika su akışı gerçekleşmez, yüzey kurumaya bırakılır. Ortam etkisi ve arklarda oluşan ısı etkisi ile yüzey kurumaya başlar ve kuru yüzeyde elektriksel atlamalar gözlenir [46]. Yüzeyde ıslaklık oluşumu, arkların gerçekleşmesi ve yüzeyin kuruması süreci periyodik olarak otuz dakikalık çevrimler halinde test örneğinin bozulmasına kadar tekrarlanır. Kontrol cihazı, aynı sürecin aralıksız diğer çevrimler için de gerçekleşmesini ve yağmurlama pompasının iki dakika çalışmasını yirmi sekiz dakika beklemesini sağlar. Sıvı akışı kontrol cihazı Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6: Sıvı akışı kontrol cihazı

Testlerin gerçekleşmesi sırasında 09:00 ile 16:00 saatleri arasında test örneği üzerine gerçekleştirilen yağmurlama zamanları sıvı akışı kontrol cihazı ile sağlanmıştır.

3.1.1.4. Elektrotlar

Kablo yüzeyinde elektriksel ark oluşumu için, uygulanan gerilimin kablo yüzeyine aktarılmasında elektrotlara ihtiyaç vardır. Test düzeneğinde alüminyum elektrotlar kullanılmıştır. Aralarında 102 mm uzaklık olacak şekilde iki adet elektrot test örneğinin

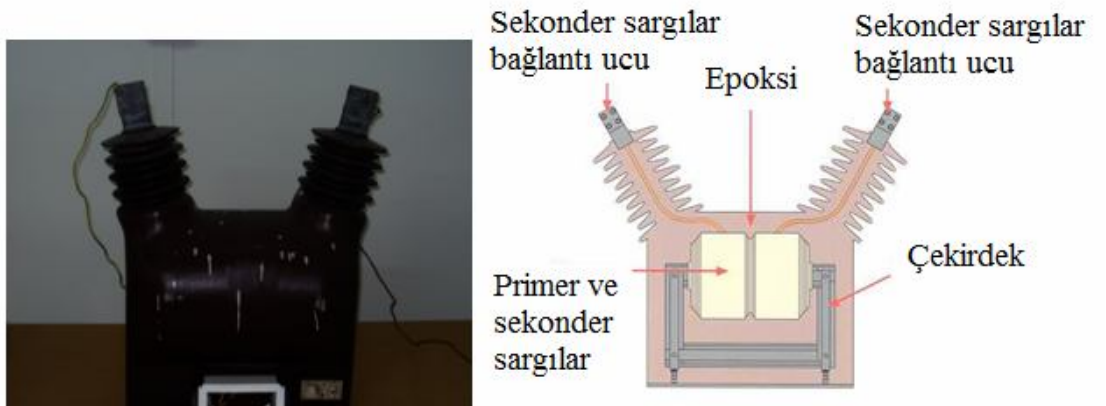
orta bölgesinde kullanılır. Elektrotlar, test standartlarında belirtilen şartlar doğrultusunda test örneklerine yerleştirilir [47]. Alüminyum şerit bant, elektrotlar arasındaki potansiyel farkı ve yüzeydeki iletken sıvı sayesinde test örneği üzerinde kuru bölgelerde elektriksel ark oluşumu gerçekleştirilmektedir. Testlerde kullanılan elektrotlar Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Elektrotlar 5 cm genişliğinde 0.5 mm kalınlığında alüminyum şeritten üretilmiş silindirik yapıdadır.



Şekil 3.7: Elektrotlar

3.1.1.5. Transformatör

Test örnekleri üzerine 25 kV gerilim uygulayabilmek amacı ile 220 V/ 36 kV çevrim oranına sahip kuru tip gerilim trafosu kullanılmıştır. Deneylede kullanılan transformatör Şekil 3.8’de görülmektedir. Trafonun sekonder uçları arasında 25 kV gerilim oluşturulup test örneği üzerinde yerleştirilmiş elektrotlara uygulanmaktadır.



Şekil 3.8: 220 V / 36 kV gerilim transformatörü

3.1.1.6. Varyak

Test örnekleri üzerine uygulanan gerilimi kontrol edebilmek amacı ile bir adet ototransformatör (varyak) kullanılmıştır. Varyak %70 kademesinde iken gerilim transformatörünün çıkışı 25 kV ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan ototransformatör Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9: Varyak (ototransformatör)

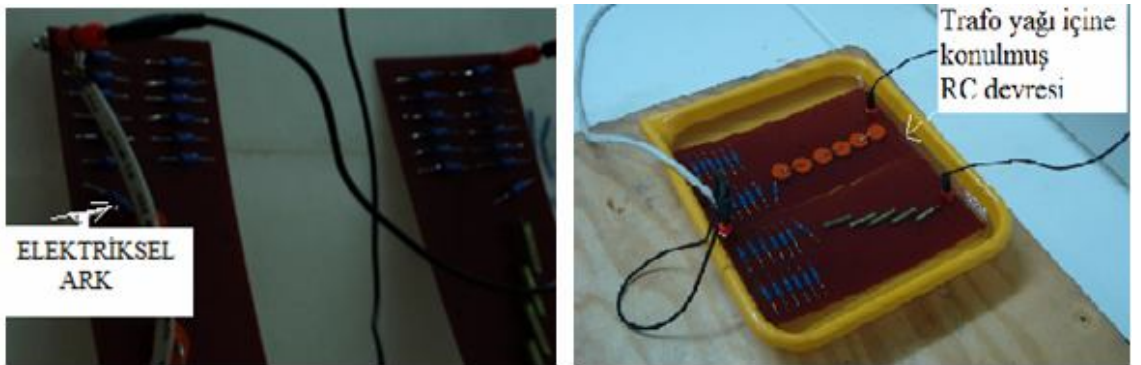
3.1.1.7. Akım Sınırlayıcı Devre (RC devresi)

Deneylerde test örneklerine yüksek gerilim uygulandığından, devrede akımı sınırlamak amacı ile RC devresi kullanılmaktadır. RC devresi aynı zamanda kablo üzerinde oluşan kirlilik seviyesinde göstermektedir. 1 M Ω ve 1 nF devre elemanları ile 13.1 M Ω ve 200 pF eşdeğer devre oluşturulmuştur. Eşdeğer devrenin empedansı 20,62 M Ω olarak hesaplanmıştır. Bu RC devresi ile akım 1.2 mA seviyesinde tutulur, kablo yüzeyindeki elektriksel arklar kirlilik seviyesine göre değişmekte ve arklar sırasında oluşan akım ve ısı değerleri farklılık göstermektedir. RC devresi kirlilik etkisini belirlemektedir. RC devresini oluşturan R ve C elemanları %5 toleransa sahip devre elemanlarıdır. Deneylerimizde endüstriyel bölgelerdeki kirlilik durumunu modelleyen 13.1 M Ω ve 200 pF devre elemanları ile gerçekleştirilen orta seviye kirlilik değerleri kullanılmıştır [48]. Kırsal kesimlerde kullanılan kabloları etki eden kirlilik seviyesi (pollution level) düşük seviye, deniz kıyılarındaki bölgelerde kullanılan kabloları etki eden kirlilik seviyesi yüksek seviye olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.10’da deneylerde kullanılan RC devresi görülmektedir.



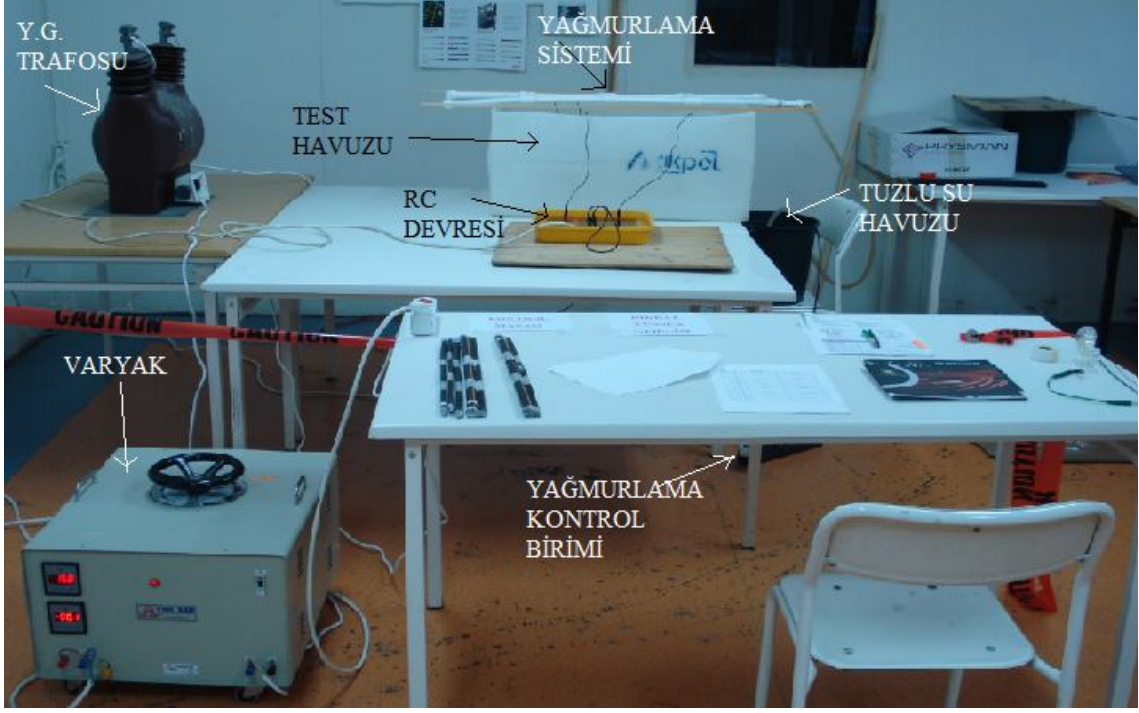
Şekil 3.10: RC devresi

Deneyler sırasında RC devre elemanlarına 25 kV gerilim uygulandığında her bir elemandan sonra gerilim düşümü gerçekleşmesi sonucu farklı potansiyel noktaları oluştuğu gözlemlendi. Direnç üzerinden geçen akım değeri ile çarpılınca elde edilen gerilim değeri kadar gerilim düşümü oluşmaktadır. Bunun sonucu RC devresi üzerinde birbirine yakın farklı potansiyel noktaları elektriksel atlamalara neden oldu. Devre elemanlarının zarar görmesini engellemek amacı ve elektriksel boşalmaların deney sonuçlarını etkilememesi için RC devreleri Şekil 3.11’de görüldüğü gibi trafo yağı içine konularak yalıtım sağlandı [49]. Deneyler sırasında RC devresinde gerçekleşen elektriksel atlamalar ve bu sorunu gidermek için trafo yağı içinde RC devre kullanımı Şekil 3.11’de görülmektedir.



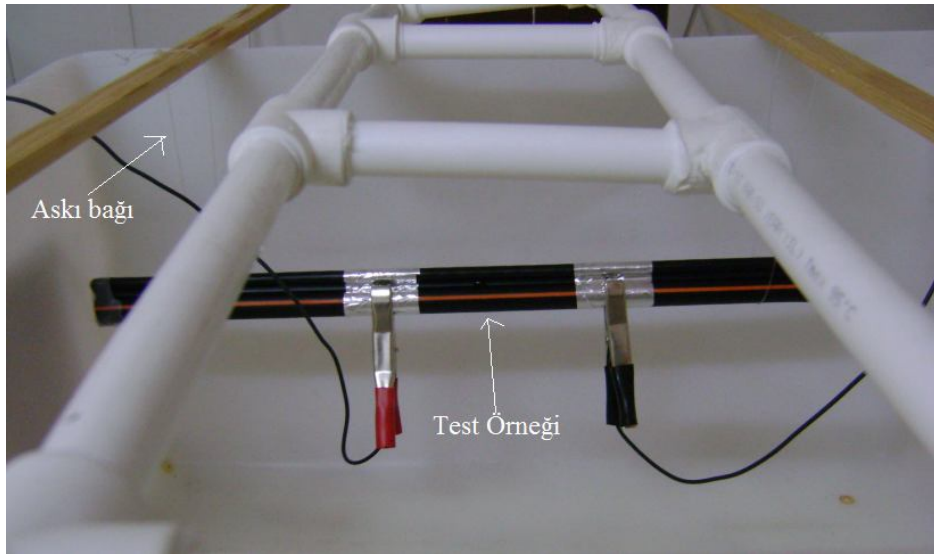
Şekil 3.11: RC devresinde ark oluşumu ve trafo yağı içinde kullanımı

Deney düzeneğinin tüm elemanları ile birlikte gösterimi Şekil 3.12’de görülmektedir. Her bir eleman şekil üzerinde açıklanmıştır.



Şekil 3.12: Deney düzeneğinin tüm elemanları ile görünümü

Test örneğinin elektrotlara bağlanmış ve test havuzu içinde deney sırasındaki görünümü Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.13: Test örneğinin deney havuzundaki görünümü

3.1.2. Deney Prosedürü ve Deneyin Yapılışı

Deneyle IEEE 1222 ADSS electrical test standartlarında belirtilen kıstaslara göre yapılır. Kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumu testinin ana kavramı, gerilim altındaki kablo üzerine bir kaç dakika tuzlu suyun püskürtülmesi sonucu ıslak yüzeyde oluşan boşalmaların kablo üzerinde meydana getirdiği bozulmanın incelenmesidir [50]. Bu testte kablo dış kılıfında meydana gelen aşınma gözlemlenmekte ve bu sürece etki eden faktörler incelenmektedir.

IEEE 1222 ADSS test standardı uyarınca deney süreci 3 aşamadan oluşmaktadır:

- Kablo yüzeyinin belirli aralıklarla ıslatılması,
- Yüzeyin zamanla kuruması,
- Yüzey boyunca elektrotlar arasında elektriksel ark oluşumu.

Bu testlerde kablo yüzeyinin ıslak olması sızıntı akımının oluşmasına neden olmaktadır. Yüzeyde oluşan bu sızıntı akımları devreye seri bağlanan dirençler vasıtasıyla birkaç mA seviyesinde sınırlandırılır. Sızıntı akımları yüzeyin kısmen kurumasına neden olmakta ve kuruyan bölgelerde elektriksel atlamalar başlamaktadır. Test 30 dakikalık zaman dilimleri halinde tekrarlanmakta ve her bir 30 dakikalık süreç bir çevrim olarak adlandırılmaktadır. 30 dakikalık zaman diliminin ilk iki dakikası tuzlu su kablo üzerine püskürtülmekte ve kalan 28 dakika boyunca ark oluşumu için beklenmekte; çevrim sonunda ise kablo incelenmektedir [51].

Deneylelerin yapılışı sırasında test düzeneği ve test örneği ile ilgili yapılan işlemler aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir.

- a) Tuzlu su çözeltisi homojen bir yapıda olması için test başlamadan 24 saat önce hazırlanır ve tuzun tamamen çözülmesi ve homojen bir karışım elde edilmesi sağlanır. Çözeltide tuzluluk oranı %1 ve iletkenlik değeri 17,2 mS olarak ayarlanır.
- b) Test örnekleri 457 mm uzunluğunda kesilir, uçları parafilm ile sarılarak izole edilir ve etiketlenerek test numarası belirlenir.

- c) Örneklerin üzerine aralarındaki mesafe 102 mm olmak üzere iki adet, 0.5 mm kalınlığında ve 5 cm genişliğinde alüminyum elektrot yerleştirilir.
- d) Test örnekleri deney düzeneğindeki test kanallarına yerleştirilir ve test örneği üzerindeki elektrotlara trafodan elektriksel bağlantılar yapılır.
- e) Sıvı akış hızı 375 ml /dak olacak şekilde ayarlanır.
- f) Kablo'lara 50 Hz ve 25 kV etkin değerde gerilim uygulanır.
- g) Her çevrim için yağmurlama süresi olarak 2 dak, ark oluşma süresi olarak 28 dak olacak şekilde sıvı akışı-zaman kontrolü gerçekleştirilir.
- h) Periyodik olarak her çevrimde kabloların yaşlanma durumu incelenir.
- i) Çevrim sonunda kablo yalıtkanı delinmiş ve fiber damarlarda yer alan parçalar görünür duruma geldi ise kablo delindi olarak değerlendirilir, deneyden çıkarılır ve geriye kalan kablolar ile deneye devam edilir.
- j) Bozulan kabloya ait bilgiler (hangi kanalda test olduğu, kaç çevrim dayanım gösterebildiği, v.s.) not alınır.
- k) Her bir set için kabloların yerleri değiştirilerek deneyin güvenilirliği artırılır. Birinci sette kablo birinci kanalda test edilirken, sonraki sette aynı kablo çeşidi ikinci kanalda test edilir.
- l) Testler her bir kablo için beş kez tekrarlanır ve ortalaması ve standart sapmaları alınarak değerlendirilir.

Deneylelerde kullanılan çevrim kavramı, kablonun işletme koşullarında maruz kaldığı etkileri hızlandırılmış test standartlarında laboratuvar ortamında oluşturmak amacı ile tanımlanmıştır. Bir çevrimde kablonun işletme şartlarında maruz kaldığı etkiler ıslak yüzey oluşumu ve kuru bölgelerde elektriksel atlamalar otuz dakikalık periyotlar ve bu sürecin tekrarları halinde oluşturulup kablonun hızlandırılmış yaşlanam testleri yapılmaktadır.

Testler sırasında kullanılan devre parametreleri Tablo 3.1'de yer almaktadır. Voc gerilimi test edilen örneğe uygulanan gerilimi, Isc test örneği kısa devre edildiğinde elektrotlar arası akan kısa devre akımını, R ve C değerleri test örneğinin gerçek hayatta

kullanılacağı çevre şartlarında maruz kalacağı kirlilik etkisini belirleyen parametrelerdir.

Tablo 3.1: Kuru Yüzey Ark Deneyi Devre parametreleri

Parametreler	Değer	Birim
Voc	25	kV
Isc	1.363	mA
R	13.1	MΩ
C	200	pF

Çalışmalarımızda endüstriyel bölgelerde kullanılacak olan kablolar için orta seviye kirlilik değerleri kullanılmıştır [52]. Kirlilik seviyeleri ile bunların karşılığı olan R ve C değerleri, çevresel etkileri oluşturan ortam hakkındaki bilgiler Tablo 3.2’te görülmektedir.

Tablo 3.2: Kirlilik seviyelerini belirleyen R ve C değerleri

Kirlilik Seviyesi	Kirlilik Direnci (Ω/m)	R (M Ω)	C (pF)	Kirlilik Bölgesi
Yüksek	10 ⁵	5	600	Deniz Kıyıları
Orta	10 ⁶	13.1	200	Endüstriyel bölgeler
Düşük	10 ⁷	43	66.7	Kırsal alan

Kablo testleri sırasında kuru yüzey elektrik ark oluşumu deney düzeneğinde her bir otuz dakikalık çevrim için uygulanan teknik değerler Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3: Bir çevrim için teknik değerler

Büyüklik	Değer
Suyun tuzluluk oranı	1% (17.2 mS)
Toplam süre	30 dak
Yağmurlama süresi	2 dak
Ark için beklenen süre	28 dak
Sıvı akış oranı	375 ml/dak

3.2. EĞİK DÜZLEM YÜZEY AŞINIM DENEY DÜZENEGİ

ADSS kabloların yaşlanma süreçlerini incelerken ve çevresel etkilerin kablo ömründe meydana getirdiği değişimleri belirlerken Kuru Yüzey Elektriksel Ark deney düzeneği tercih edilmiş ve testler bu deney sisteminde gerçekleştirilmiştir. Farklı bir deney düzeneği ile aynı kabloların test edilmesi ve kablo ömürlerinin belirlenip iki deney düzeneği arasındaki farklılıkların ve test güvenilirliğinin belirlenmesi amacı ile çalışmalarımızda testler eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deney düzeneği kullanılarak ta ADSS kabloların ömürleri incelenmiştir. Bu amaçla kullanılan deney düzeneği ve kablo örneklerinin sistemde kullanımını aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

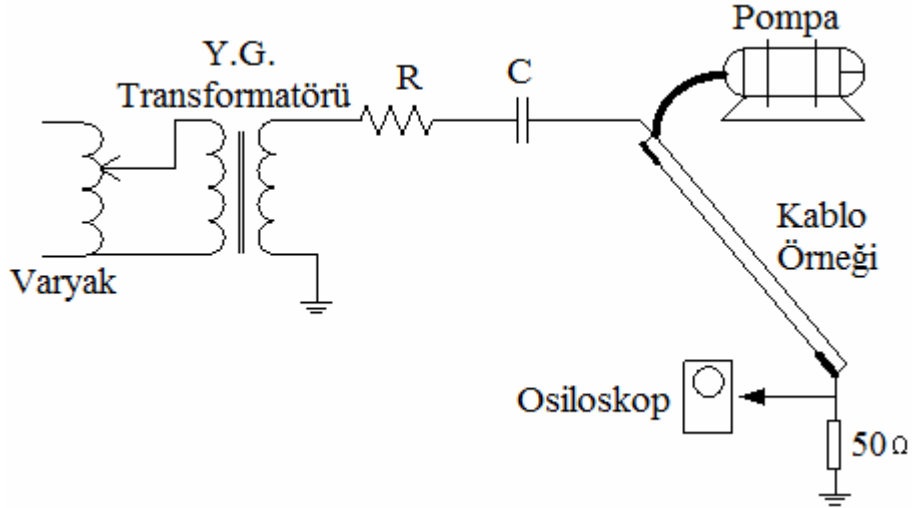
Eğik Düzlem Deneyi (Inclined Plane Test) ilk olarak 1961 yılında gerçekleştirilmiş ve 1964 yılında Amerika’da ASTM D2303 standardı olarak kabul edilmiştir. Bu test ile ilgili olarak ilerleyen yıllarda IEC 587 standardı olarak yeni bir standart geliştirilmiştir. ASTM ve IEC testleri arasında küçük farklılıklar olmakla birlikte temelde aynı teoriye dayanmaktadırlar [40,53,54]. Eğik düzlem testlerinde deney;

- i) Örnek üzerinden akan kaçak akım değerinin 60 mA’i 2 saniye süre ile geçmesi,

- ii) Örnek üzerindeki iz oluşumu boyunun topraklanmış elektrottan itibaren 25 mm'yi geçmesi veya
- iii) Örnek yüzeyinde erozyon oluşması, durumlarında tamamlanır.

3.2.1. DeneY Düzeneyinin Hazırlanışı

Kablo testlerinde ömür süresini belirlemek amacıyla eğik düzlem deney düzeneyi kullanılarak test örneklerinin yaşlanma süreleri belirlenmiştir. Test Düzeneyi IEEE 1222 ve ASTM D2303 standardına uygun olarak Eğik düzlem deney düzeneyi sistemi kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir [54,56]. DeneY düzeneyinin şematik gösterimi Şekil 3.14' te verilmiştir.

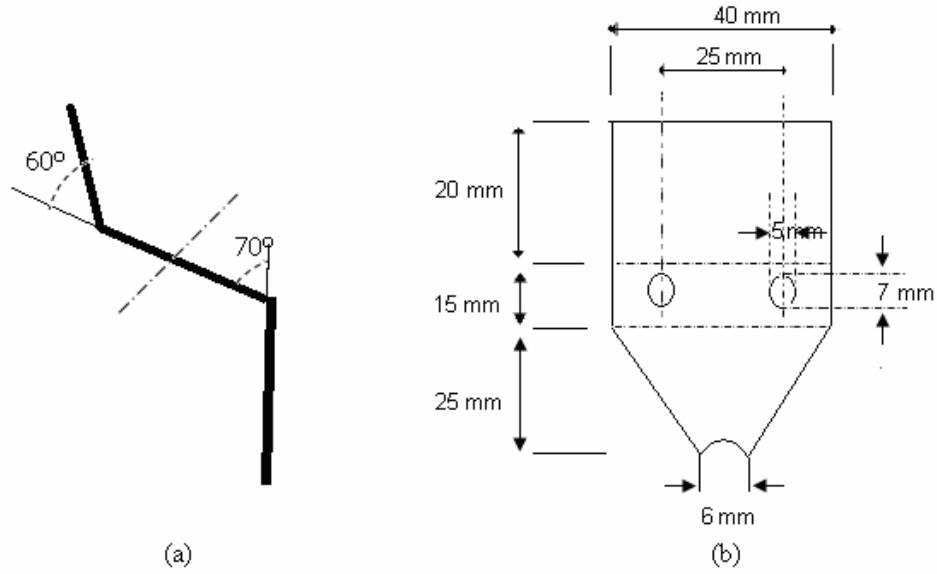


Şekil 3.14: Kablo testleri için eğik düzlem test düzeneyi şematik gösterimi

DeneYler sırasında tüm örneklere 25 kV gerilim uygulanmıştır. Bu amaçla şebeke gerilimi varyak ve transformator yardımcıyla 25 kV'luk değere ulaştırılmıştır. Test sisteminde R ve C değeri olarak orta kirlilik modeli kullanılmıştır. Test örneğinin üzerine yerleştirilen yüksek gerilim elektroduna uygulanan gerilim, RC devresi üzerinden uygulanmıştır. İz oluşumu deneY düzeneyinde 25 kV gerilim değeri için öngörülen elektrolit akış hızı, cihaz üzerindeki sıvı akışı kontrol ayarından 36 ml/saat olarak peristaltik bir pompa yardımcı ile uygulanmıştır [54].

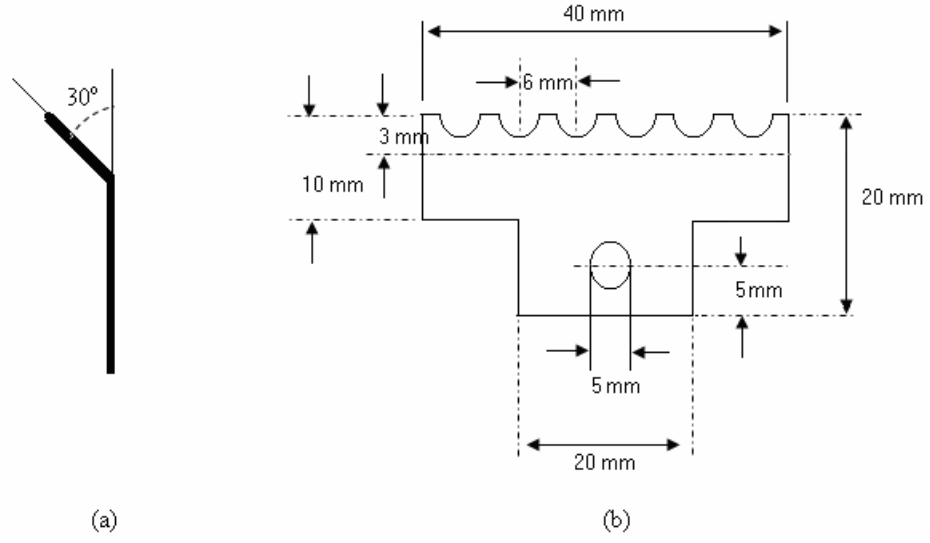
Örnek yüzeyindeki bozulmanın takip edilebilmesi için test örneğinin üzerinden akan kaçak akım osiloskop yardımcıyla gözlenmiştir. Kaçak akım sinyali örneğe bağlı toprak elektrottan alınmıştır.

Deneyde kullanılan elektrotların tamamı paslanmaz çelik olup korozyona karşı dayanıklıdır. Eğik durumdaki deney örneği üzerinde yüksek gerilim elektrodu üstte ve toprak elektrodu altta yer almaktadır. Şekil 3.15'te yüksek gerilim elektrodunun önden ve yandan ölçülendirilmiş şekli gösterilmiştir. Bu çalışmada farklı test sistemlerinin denenmesindeki amacımız, eğik düzlem test sonuçları ile Kuru Yüzey Elektriksel Ark deney yöntemi test sonuçlarını karşılaştırmak aynı test örnekleri için deney düzeneklerinin verdiği sonuçları yorumlamaktır.



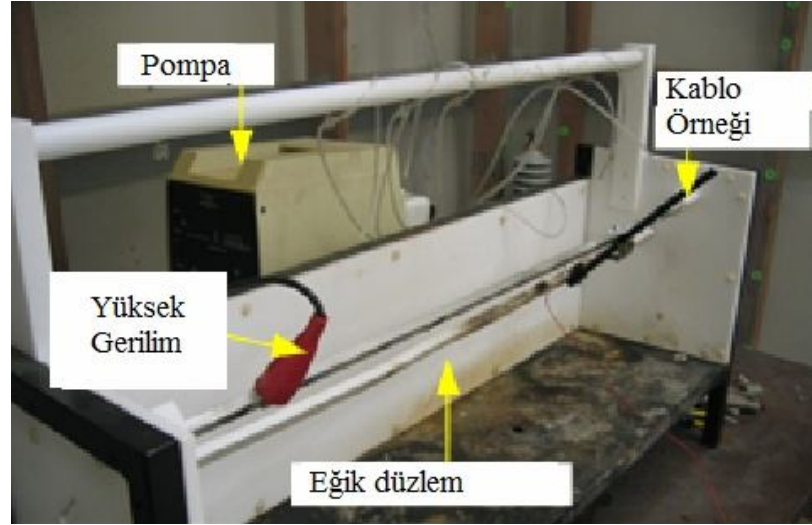
Şekil 3.15: Yüksek gerilim elektrodunun yandan (a) ve önden (b) görünüşü

Eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deneyi için kullanılan toprak elektrodunun deney örneğine temas ettiği yüzeyinde, çapı 5 mm olan yarım daireler açılarak toprak elektrodunun örneğe temas etmesi sağlanmıştır. Kablo test örneğinin yüzey inceleme testlerinde kullanılan örneklere kıyasla, elektrot ile temas eden yüzey miktarı daha azdır. Kablo silindirik yapıda olduğundan elektrotlar ile test örneğinin temas eden yüzey alanı 6 mm genişliğinde kablo yüzeyidir. Şekil 3.16'da toprak elektrodunun ölçülendirilmiş şekli yandan ve önden gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Toprak elektrodunun yandan (a) ve önden (b) görünüşü

Kablo test örneklerinin, geliştirilmiş eğik düzlem deney düzeneğindeki görünüşleri Şekil 3.17’de verilmiştir [55].



Şekil 3.17: Kablo örneğinin eğik düzlem deney düzeneğindeki kurulumu

Test örneğinin üzerindeki elektrot bağlantıları ve görünümünü Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18: Eğik düzlem testinde, elektrotların test örneği üzerindeki bağlantısı

3.2.2. Eğik Düzlem Deney Düzeneginde Deneyin Yapılışı

Kablo testleri için uyarlanan eğik düzlem deney düzeneginde yalıtkan üzerinden akan sıvı ASTM D2303'de tanımlanan elektrolit bir çözelti olup, saf suyun içine % 0.1 oranında NH_4Cl (Amonyum Klorür) ve % 0.2 oranında da Triton-X100 eklenerek hazırlanır [54,57]. Bu çözeltilde amonyum klorür sıvının elektrik iletkenliğini artırmak, Triton-X ise sıvının yalıtkan yüzeyinde daha uzun süre kalmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Eğik düzlem yönteminde sıvı akışı belirlenen hız için sürekli gerçekleşirken, kuru yüzeyde elektriksel ark deney düzeneginde standartta belirtilen aralıklarda yağmurlama gerçekleştirilip kuruma anında yaşlanma oluşmaktadır. Kablo testleri sırasında eğik düzlem deney düzeneginde sıvı akış hızı standartta belirtildiği üzere 36 ml/saat olarak uygulanmıştır. Sıvı akış hızını kontrol etmek için peristaltik pompa kullanılmıştır.

Elektrolit sıvı, test gerçekleşmeden yirmi dört saat önce hazırlanıp homojen bir yapıda oluşması sağlanmaktadır.

Kabloların kullanıldıkları ortam ve diğer test yöntemleri gözönüne alındığında uygulanan gerilim eğik düzlem deney düzenegi için de 25 kV seçilmiştir. Aynı gerilim seviyesi altında farklı yöntemlerle ıslak yüzey oluşumu, farklı elektrot yapıları ile aynı kablolar test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Test örnekleri elektrotlar ile birlikte deney düzenegine yatayla 45 derece açı yapacak şekilde yerleştirilir. Elektrotlara yüksek gerilim ve toprak bağlantıları gerçekleştirilir. Sıvı akışı yüksek gerilim elektrodu ile test örneği arasından kablo yüzeyine gönderilir ve deney örneğinin bozulması gerçekleşene kadar sürdürülür [58].

3.3. FARKLI YAPIDAKİ FİBER OPTİK KABLULARIN DENEYLERİ

Bu çalışmada enerji iletim hattında kullanılan farklı geometrik yapıda bulunan fiber optik kabloların testleri için askı halatlı F/O kablo ve askı halatsız F/O kablo örneklerinin testleri gerçekleştirilmiştir.

Bunun için aynı kuru yüzey elektriksel ark deney düzenegi kullanılarak farklı kabloların testleri yapıldı. Kabloların şekil yapısı değişiminin kablo ömrü üzerine avantaj ve dezavantajları belirlendi.

Test örneklerinden askı halatlı kablolar mekanik dayanımı arttırmak amacı ile F/O kabloya ek olarak askı halatı monte edilerek üretilmekte, askı halatsız kablolar mekanik dayanıklılığını kablonun merkezinde bulunan sert yalıtkan malzemedен sağlamaktadır.

Askı halatsız kabloların kesiti daire biçiminde olup kablo koordinat sisteminde silindirik yapıdadır. Askı halatlı kablolar da dış görünüş silindirik yapıdaki F/O kabloya askı halatı eklenmesi sonucu kablo kesiti dairesel yapıdan değişmekte bir büyük ve bir küçük dairenin teğet durumundaki görünümü oluşmaktadır [59,60].

Yapılan çalışmalarda kablodaki askı halatı bağlantı noktalarının, kablonun elektriksel yaşlanma sürecine etkileri incelenmiştir. Kablo geometrik yapısının değişiminin kablonun yaşlanma süreci ile ilişkisi belirlenmiştir.

3.4. ISLAK YÜZEY MODELLERİ İÇİN YAŞLANMA DENEYLERİ

Kablo dış yüzeyini oluşturan çeşitli polietilen malzemeler enerji iletim hattında kullanımları sırasında elektrik alan etkisine maruz kalmakta, rüzgar, sıcaklık, nem, titreşim, kirlilik v.b. dış etkenler altında kullanılmaktadır. Bu şartlar altında kullanılan kabloda elektrik alan etkisi altında kablo yüzeyinin ıslak olması sonucu elektriksel atlamalar gerçekleşmekte ve oluşan boşalmalar kablo yalıtkanında bozulmaya neden olmaktadır. Kablonun yaşlanma süreci çevresel etkilerin değişimi ile değişmekte ve kablolar kullandıkları bölgedeki etkiler altında farklı servis ömürleri göstermektedirler [61].

Bu çalışmada ADSS kabloların kullanılacakları bölgelerde farklı iklim çeşitlerinin etkileri altında, yağmur, nem, kırağı gibi etkiler ile kablo yüzeyinde ıslak yüzeylerin oluşması kablonun kullanım süresini nasıl etkilediği, laboratuvar ortamında farklı yağış seviyeleri oluşturulup test edilerek incelenmiştir. Yağış şeklinin yoğunluğuna göre kablo yüzeyinde oluşan ıslak yüzeyin nasıl değiştiği ve bu değişimin kablo yaşlanma sürecini nasıl etkilediği incelenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için ‘Kuru Yüzey Elektriksel Ark’ deney düzeneğinin yağmurlama sisteminde bazı değişiklikler yapılmıştır.

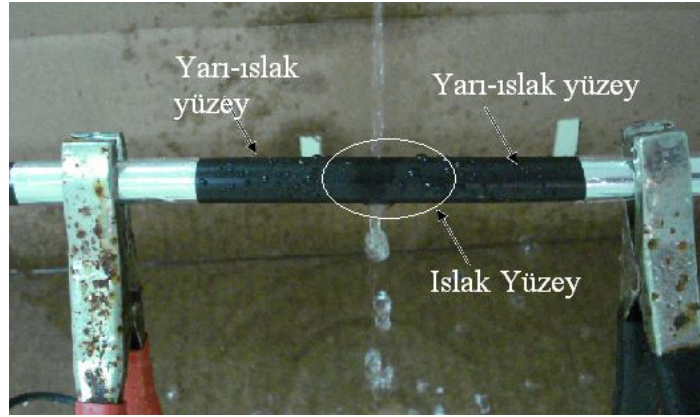
Test örneği üzerinde farklı ıslak yüzey modelleri oluşturabilmek için yağmurlama sisteminde 1 nolu test kanalında test edilen örnek üzerine bir yağmurlama kanalından su

akışı gerçekleştirilmiş, 2 nolu test kanalında yer alan örnek üzerine daha geniş ıslak yüzey oluşturmak amacı ile iki yağmurlama kanalından su akışı gerçekleştirilmiş ve 3 nolu test kanalında test edilen kablo için daha fazla geniş bir alanda ıslak yüzey oluşumu gerçekleştirmek amacı ile üç kanaldan yağmurlama yapılmıştır [61]. Bu çalışma için test sisteminde yapılan değişiklik ve yağmurlama sistemleri Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de görülmektedir.

Farklı ıslak yüzey modelleri ile testler gerçekleştirilmiş ve ıslak yüzey modeline göre test örneğinin yaşlanma sürecinin nasıl değiştiği incelenmiştir.

3.4.1. Bir Delikten Yağmurlama Sistemi

Birinci kanalda test edilen kablo yüzeyine yağmurlama sistemindeki sadece bir yağmurlama deliğinden su akışı gerçekleştirildi. Su akışı, kablonun elektrotlar arasındaki bölgesinin orta noktasına elektrotlardan 51 mm uzaklıkta gerçekleştirildi. Su akışının gerçekleştiği bölgede toplam 3 cm uzunluğunda tamamen ıslak bölge ve elektrotlar arası geri kalan kısımda su damlalarının sıçraması sonucu yarı ıslak bölge oluştuğu gözlemlendi. Bir kanaldan yapılan yağmurlama sonucu test örneği üzerinde oluşan ıslak yüzey Şekil 3.19’da görülmektedir.

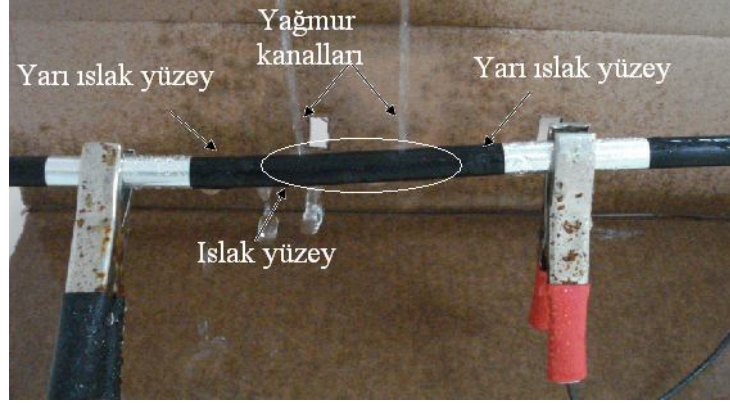


Şekil 3.19: Test örneği üzerinde bir yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması

3.4.2. İki Delikten Yağmurlama Sistemi

İkinci kanalda yer alan test örneği için, kablo üzerinde bulunan yağmurlama sisteminden iki yağmurlama deliğinden su akışı gerçekleştirilerek kablo üzerinde ıslak yüzey oluşturuldu. İki yağmurlama deliğinden akan suyun düşme noktaları kablo

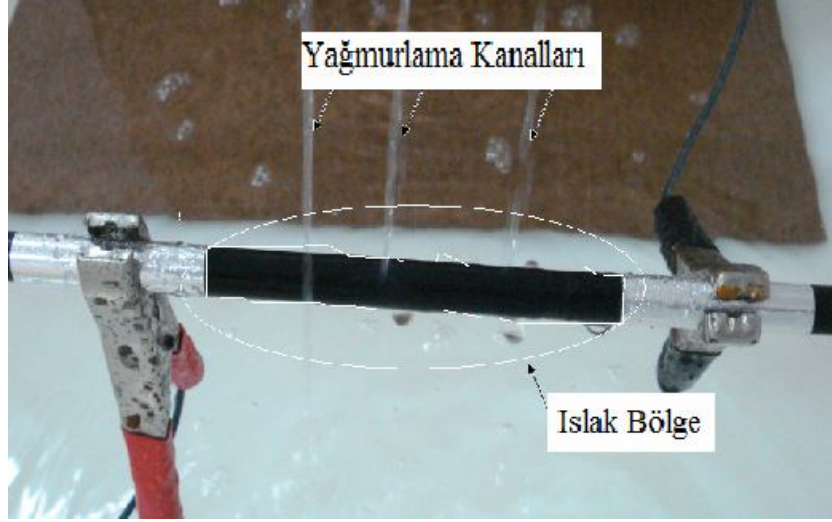
yüzeyinde elektrotlar arası alanı üç eşit parçaya ayıracak şekilde belirlendi. Yağmurlama deliklerinden su akışı sonucu kablo yüzeyinde elektrotlara uzaklığı 1.3 cm-1.6 cm arasında değişen 3 cm genişliğinde iki adet tamamen ıslak yüzey oluştuğu ve elektrotlar arası geri kalan yüzeyde de yarı ıslak alan oluştuğu gözlemlendi. İki kanaldan yağmurlama ile test örneği üzerinde oluşan ıslak yüzey ve yarı ıslak yüzey görüntüleri Şekil 3.20’de görülmektedir.



Şekil 3.20: Test örneği üzerinde iki yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması

3.4.3. Üç Delikten Yağmurlama Sistemi

Üçüncü kanalda yer alan test örneği üzerine üç adet yağmurlama deliği ile sulama yapıldı, yağmurlama delikleri arası mesafe 30 mm olarak ayarlandı ve kablo yüzeyinin tamamen ıslanması sağlandı. 2 dakika yağmurlama sonucu kablo yüzeyi tamamen ıslak yüzey olup zamanla kısa devre akımının etkisi ve çevresel ısı etkileri ile yüzeyde kuru bölgeler oluştu. Kuru bölgelerde elektriksel atlamalar gözlemlendi. Üç kanaldan yağmurlama sonucu test örneği üzerinde oluşan ıslak bölgeler Şekil 3.21’de görülmektedir.

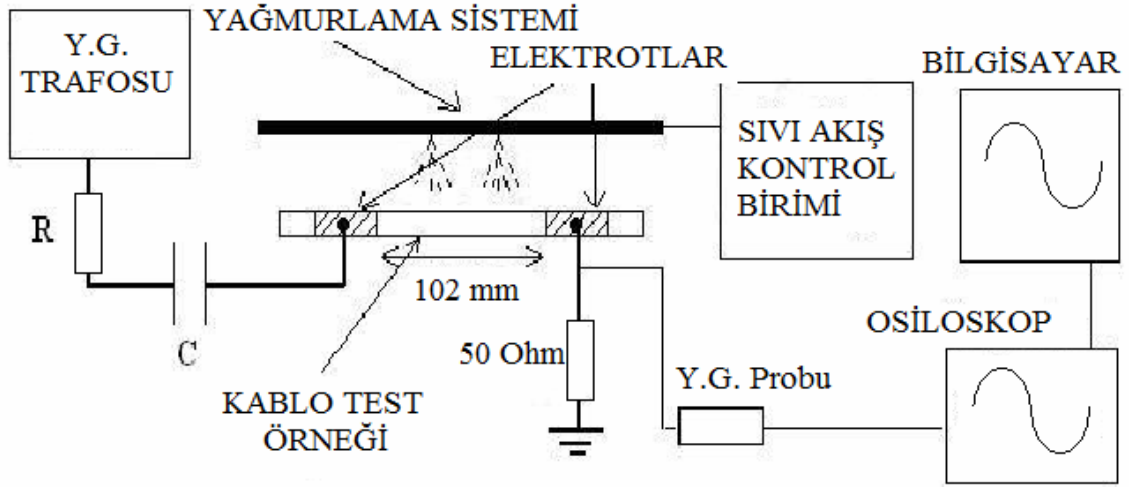


Şekil 3.21: Test örneği üzerinde üç yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması

3.5. ISLAK YÜZEY MODELLERİ İÇİN ELEKTRİKSEL ARK İŞARET ANALİZİ DENEY YÖNTEMİ

Bu çalışmada, yağış şeklinin yoğunluğuna göre kablo yüzeyinde oluşan ıslak yüzeyin nasıl değiştiği ve bu değişimin kablo yaşlanma sürecini nasıl etkilediği, yaşlanma sürecini belirleyen elektriksel arkların nasıl oluştuğu incelenmiştir. Testler sırasında kablo yüzeyindeki bozulmayı gerçekleştiren elektriksel ark işaretleri incelenmiş ve test örnekleri üzerinde ıslaklık seviyesinin değişimi ile oluşan ark işaretlerinin genlik ve güç görüngesi (ark işaretinin FFT dönüşümü alınarak) değişimlerine bakılmıştır.

Islak-kuru yüzeyde ark işaretlerini incelemek amacı ile deney düzeneğinde Şekil 3.22’de görülen değişiklikler yapılmıştır. Sinyal analizi için test örneği üzerinde oluşan kuru yüzey elektrik atlamaları elektrota seri olarak bağlanan 50 Ω direnç üzerinden yüksek gerilim probu ve osiloskop kullanılarak incelendi. Osiloskop olarak Fluke 199 CS modeli kullanılmıştır. Elektriksel ark işaretlerinin incelendiği test düzeneğinin blok gösterimi Şekil 3.22’de verilmiştir. Bu çalışmada yağmurlama sisteminde meydana gelen değişikliklere karşın oluşan elektriksel arklardaki değişimler incelenmiş ve yaşlanma süreci analiz edilmiştir.



Şekil 3.22: Elektriksel ark işaret analizi yapılan deney düzeneğinin blok gösterimi

İşaret incelemesi sırasında, üç farklı yağmurlama sistemi için, yağmurlama sistemindeki değişimlere karşın aşağıdaki durumlarda işaret analizi yapılmıştır.

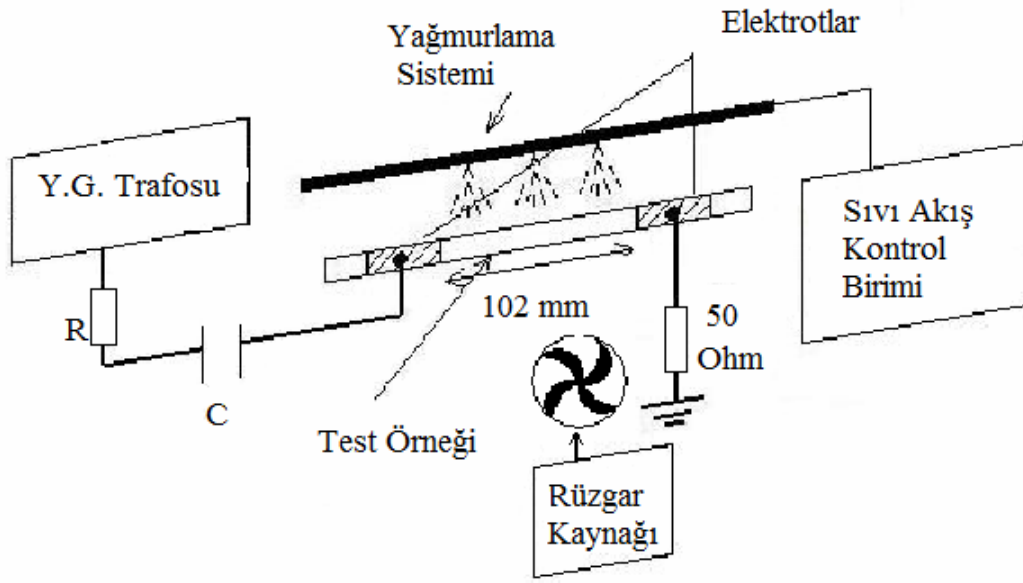
- i) Yağmurlama anındaki elektriksel ark işaretleri
- ii) Yağmurlama durumundan kuru duruma geçiş anındaki işaretler
- iii) Yağmurlama sisteminin kapanması ile test periyodunun bitimi arasındaki işaretler

Her bir yağmurlama seviyesi için yukarıda belirtilen üç durumda test örneği üzerinde oluşan elektriksel arkların işaret yapısı ve frekans bileşenlerinin dağılımı incelenerek yaşlanma süreci değerlendirilmiştir.

3.6. ADSS KABLolarIN YAŞLANMA DENEYLERİNDE RÜZGAR ETKİSİ

ADSS kabloların hava hattı yüksek gerilim enerji iletim hattında kullanımı sırasında, kablo üzerine, mevsim şartlarına göre değişen, rüzgar etkisinden kaynaklanan bir kuvvet etkimektedir. Bu etkiyi laboratuvar şartlarında gerçekleştirmek amacı ile Kuru Bant Elektrik Atlamaları deney düzeneğinde rüzgar kaynağı kullanıldı. ADSS kabloların işletme ömürlerinin incelendiği test sisteminde test edilen kablo örneklerine dik olarak yerleştirilen rüzgar kaynağı, test sırasında kablo üzerine kuvvet uygulamakta, yağış

sistemini etkilemekte ve test örneği üzerinde ıslak yüzey oluşumunu değiştirmektedir. Rüzgar kaynağının test örneğine olan uzaklığının değişimi ile farklı değerlerde rüzgar hızları oluşturuldu. Farklı rüzgar esme hızlarına göre kablolar test edilerek, rüzgar etkisi altındaki test sonuçları ile rüzgar etkisinin olmadığı durumda elde edilen test sonuçları karşılaştırıldı. Rüzgar değişiminin kablonun servis ömrüne etkisi belirlendi. Rüzgar etkisinin incelenmesi amacı ile geliştirilen test düzeneğinin blok gösterimi Şekil 3.23'te görülmektedir [62,63,64].

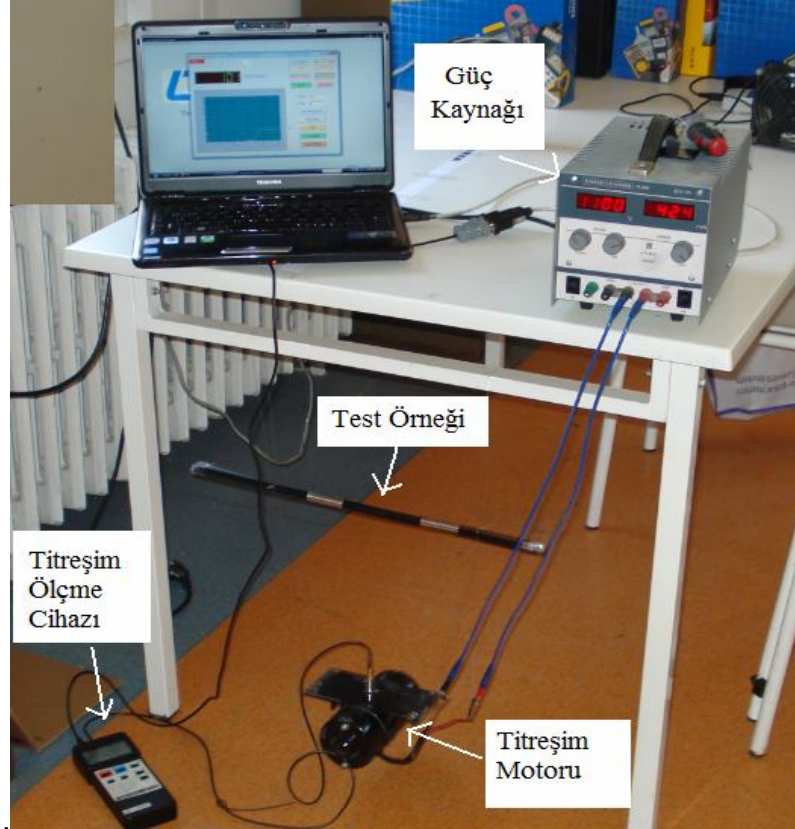


Şekil 3.23: Rüzgar etkisinin incelendiği deney düzeneği

3.7. TİTREŞİMİN ADSS KABLolarIN YAŞLANMA SÜRECİNE ETKİSİ

Titreşim etkisinin ADSS kablolar üzerine etkisini incelemek amacıyla test edilen örnekler titreşim etkisi ile yorulmaya tabi tutulmuştur. Yüksek miktarda titreşime maruz kalan alanlarda kullanılan kablonun yalıtkan kılıfının servis ömründe meydana gelebilecek değişim, laboratuvar koşullarında yorulmuş ve yorulmamış kabloların testleri ile gerçekleştirilmiştir. Günlük hayatta, transit yollarda ve köprülerde yer alan hava hattı direklerde kullanılan ADSS kablolar, taşıtlar nedeniyle, mevsim şartlarının ağır olduğu bölgelerde rüzgarın etkisi ile sürekli, maden ocakları civarında ise yapılan patlatmalar nedeni ile kısmi titreşime maruz kalmaktadır. Bu titreşim etkisi zamanla diğer faktörlerle beraber yalıtkanın yaşlanmasına etki etmektedir [65].

Hazırlanan deney sisteminde diğer dış etkenler (nem, sıcaklık, gerilim, sıvı akış hızı vb.) sabit tutularak mekanik titreşimlere maruz kalan ADSS kabloların yalıtım malzemelerinin başarımının zamanla nasıl değiştiği incelenmiştir. Titreşim etkisinin belirlenmesi amacıyla oluşturulan, test örneğinin yorulması için kullanılan düzenek Şekil 3.24’te görülmektedir.



Şekil 3.24: Titreşim etkisi ile kablo örneklerinin yorulma düzeni

Kablo yalıtkan malzemesinin ömrünün titreşime bağlı değişimini tespit etmek için laboratuvar koşullarında yapay olarak oluşturulan bu düzende, çeşitli genliklerde salınımlar oluşturularak test örnekleri farklı ivme ve hız değerleri için yorulmaya tabi tutulmuştur. Her aşamada ortamın titreşim hızı bir vibrasyon motoru yardımı ile değiştirilerek kablo yalıtkanının yaşlanma sürecine etkisi incelenmiş ve titreşimin değişmesi ile test örneğinin yaşlanma süresi arasındaki ilişki belirlenmiştir. Titreşim etkisinin incelendiği bu çalışmada kablo örnekleri 8 saat süresince yorulmaya bırakılmış, farklı ivme ve hız titreşim değerleri altında örnekler yorulmuştur. Yorulmaya maruz kalmış test örneklerinin Kuru-Band Elektriksel Atlamalar Test

Yöntemi ile servis ömürleri belirlenmiş ve yorulmaya maruz kalmamış kablo örneklerinin servis ömürleri ile karşılaştırılması yapılmıştır [66].

3.8. ADSS KABLULARIN BOZULAN YÜZEYLERİNDE FİZİKO KİMYASAL DENEYLER.

Kuru yüzey elektriksel ark deneyleri sonucunda, test örneğinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi ile camsı geçiş ve bozulma sıcaklığındaki değişimler, FTIR analizi ile test sonrası malzemenin kimyasal yapısında moleküler boyutta oluşan değişimler, TGA analizi ile malzemenin ısıl davranışı, test sırasında oluşan elektriksel arkların örneklerin yüzeylerinde meydana getirdikleri değişimler taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında incelenmiştir [67].

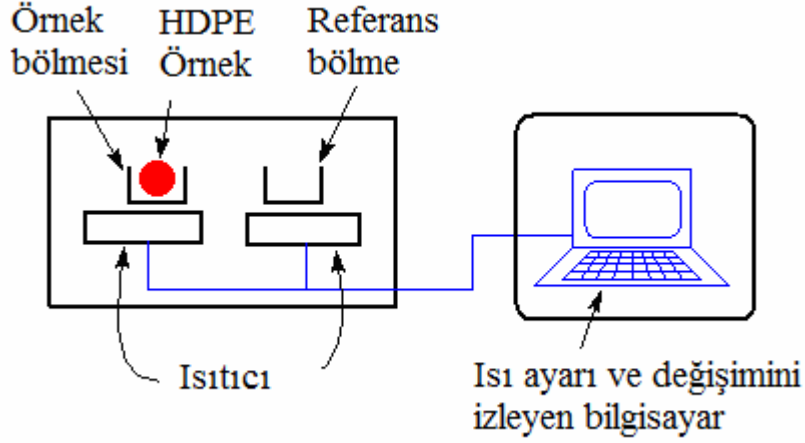
3.8.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi

ADSS kabloların test sonucu malzeme yüzeyinde meydana gelen fiziko kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla, kablo yüzeyinde oluşan arkların ısı etkisinin malzeme yüzeyini hangi sıcaklıklarda etkilediği incelenmiştir. Bunun için ADSS kablonun dış kılıf yalıtkanının DSC analizi gerçekleştirilmiştir [68].

Polimerik yalıtkanların elektriksel özellikleri sıcaklıktan etkilenir. Sıcaklık arttırıldığında polimer yalıtkan içerisindeki atom ve elektronların enerjileri artar ve kutuplaşma kolaylaşır. Sıcaklık artışı ile katı yalıtkanlardan örneğin cam ve seramikte dielektrik kayıp ve dielektrik sabiti sıcaklıkla doğru orantılı olarak artar. Polimerlerde ise diğer katı yalıtkanlardan farklı olarak dielektrik özellikler bir camsı geçiş sıcaklığı civarında değişir ve maksimum değerini alır.

Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi (Differential Scanning Calorimeter, DSC) polimerlerin ısı emilimini ya da ısı kaybını sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçer ve kaydeder. Malzemenin sıcaklığa göre verdiği tepkiler o maddenin yapısı, kalitesi, saflığı ve dayanıklılığı gibi birçok özelliği hakkında bilgi verir. DSC ile yapılan bazı uygulamalar ile polimerlerdeki camsı geçiş sıcaklığının ölçümü, erime noktası

kullanılarak malzeme karakterizasyonu ve saflık tayini yapılabilir. DSC analizi test düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 3.25'te verilmiştir [69,70].



Şekil 3.25: DSC analizi deney düzeneği

Bu düzende iki farklı bölme yer almaktadır. Bu bölmelerden birine HDPE örnek yerleştirilir. Diğer bölme referans bölme olarak kullanılır ve boş bırakılır. Örneklerin altına birbirinden bağımsız iki adet ısıtıcı yerleştirilmiştir. Isıtıcıların aynı miktarda ısı akışını bölmelere yansıtması istenen bu ölçme yönteminde, doğal olarak HDPE örneğin yer aldığı bölmeye daha fazla ısı aktarılması gerekecektir. DSC analizi referans bölmeye göre ne kadar fazla ısının örnek bölmesine aktarıldığını verir. Elde edilen bu verilerle çizdirilen eğrilerde x-ekseni kaplardaki sıcaklık değişimini ve y-ekseni ise referans bölmeye göre, örnek bölmesine aktarılan fazla ısı miktarını verir [71].

ADSS kabloların dış kılıfında oluşan bozulmaların DSC analizi Mettler Toledo marka, Model 822 DSC ile yapılmıştır.

Isıtma işlemi 20–400 °C aralığında azot ortamında 10 °C/dak. sıcaklık artışı ile gerçekleştirilmiştir.

3.8.2. FT-IR (Fourier Transform Infrared) Analizi

Matematiksel Fourier dönüşümü ile bir dizi frekanslardan oluşan kırmızı ötesi sinyalin frekanslarına ayıran ve her birini şiddeti ile gösteren işlemidir. FT-IR analizi ile organik ve inorganik malzemelerin moleküler bağ karakterizasyonu belirlenmektedir. ADSS kabloların testler sonrası yüzeylerindeki bozulmuş bölgelerden ve bozulmamış

bölgelerden örnekler olarak malzemenin kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler görülmüştür [72].

3.8.3. TGA (Termogravimetrik) Analizi

Termogravimetrik analiz, numunede sıcaklığa bağlı olarak meydana gelecek ağırlık değişikliklerini tanımlamaya yarayan bir test biçimidir. Bu analiz ağırlık, sıcaklık ve sıcaklık değişimi'nin yüksek kesinlikli ölçümlerine bağlıdır. Birçok ağırlık kayıp eğrisi birbirlerine benzediğinden ağırlık kayıp eğrisinin sonuçları yorumlanmadan önce bir dönüşüme ihtiyaç duyulabilir. Ağırlık kayıp eğrisinin türevi hangi noktalarda ağırlık kaybının daha belirgin olduğunu anlatmak için kullanılabilir.

TGA, polimer gibi materyallerin karakteristiklerinin belirlendiği araştırma ve testlerde bozulma sıcaklığı, materyal tarafından emilmiş nem, materyal içindeki inorganik ve organik komponent seviyesi, patlayıcıların ayrışma noktaları ve çözücü tortularının tanımlanması için kullanılır. Ayrıca yüksek sıcaklıklı oksidasyondaki aşınma kinetiğini tahmin için kullanılır [73].

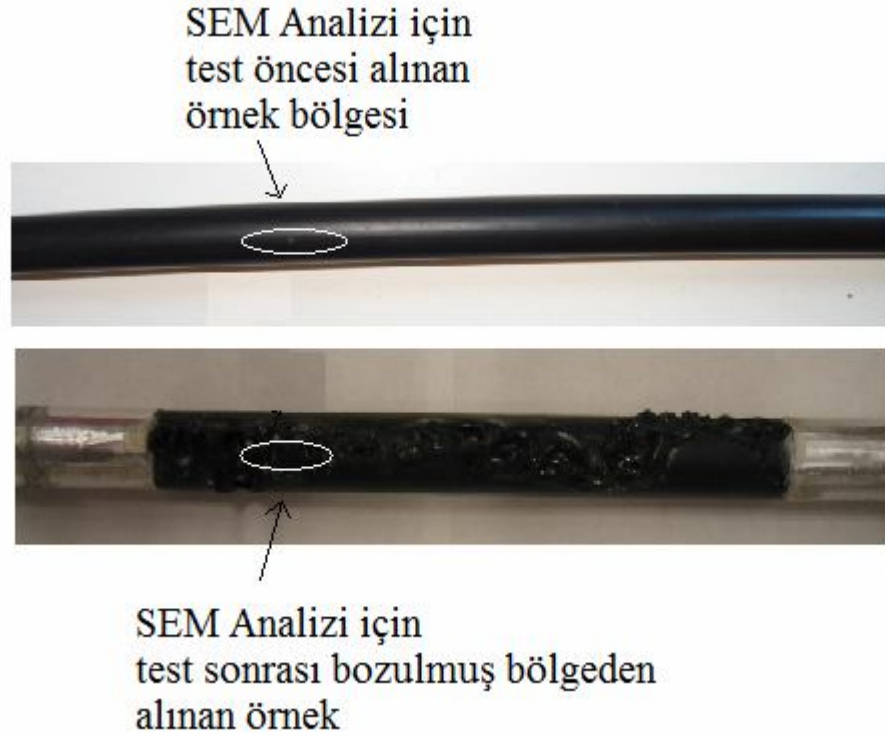
Kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumu deney düzeneğinde test edilen bozulmuş kablo örneklerinden numuneler TGA analizi ile test örneğinin deney düzeneğinde, elektriksel arklar sonucu oluşan ısı artışı ile yapısında meydana gelen bozulmaların sıcaklık-ağırlık kaybı sonuçları ile bozulma sürecinde meydana gelen kütle değişimleri incelenmiştir.

3.8.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek gerilim ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir [74].

ADSS kabloların test öncesi ve kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumu deney düzeneğinde yaşlanma testleri sonrası bozulmuş örneklerin SEM analizleri yapılmıştır. Çalışmada JSM 5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır. Yalıtkanların yüzeyleri en fazla

20 nm mertebesinde iletkenliği sağlayan altın ile kaplanmıştır. Yalıtkan örneklerin boyutları 1x1x1 mm'nin altında olacak şekilde hazırlanmıştır. Yapılan ekimlerde ölçekler μm olarak verilmiştir. SEM analizi için test örneğinden alınan malzemelerin alındıkları bölgeler şekil 3.26' da verilmiştir.



şekil 3.26: SEM Analizi için test örneğinden alınan malzemelerin bölgeleri

3.9. GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

Güvenilirlik belli koşullar altında sistemin belli bir zaman aralığında amacına uygun bir başarım gösterme olasılığı olarak tanımlanır. Bunun sonucu olarak güvenilirlik rasgele bir değişkenin uygun fonksiyonları ile ifade edilir. Dolayısıyla güvenilirlik, başarım güvencesinin ls olarak tanımlanabilir. Bir mühendislik sisteminin güvenilirliği sistemin bozulmama ya da kalıcılık olasılığı ile değerlendirilir. Güvenilirlik teorisinde bir riskin gerçekleşmesini ifade eden limit duruma ulaşılması ihtimali bozulma riski terimiyle adlandırılır. Bozulma riskinin ortadan kaldırılamaması nedeni ile olan belirsizlikler ancak istatistiksel ıkarsamayla elde edilen bilgilerin olasılık yasalarına göre değerlendirilmesiyle zmlenebilir [75,76].

Mühendislik sistemlerinin güvenilirliği, önceleri çoğunlukla deterministik kavramlara dayanan yaklaşımlarla sağlanmış, anılan fiziksel sistemlerin davranışlarına ilişkin kabuller yaparak ve uygun güvenlik katsayıları kullanılarak sistem güvence altına alınmıştır. Günümüzde mühendislik sistemlerinin güvenliği genelde olasılık kavramlarını esas alan yaklaşımlarla gerçekleştirilmektedir. Mühendislik sistemlerinin bozulma olasılıklarının, tahmin edilmesini sağlayan risk çözümleme teknikleri geliştirilmiş fakat tahmin edilen risklerin kabul edilebilirliğinin değerlendirilmesi için genel bir kural konulmamıştır. Risk düzeyleri olasılıksal risk çözümlenmeleriyle tahmin edilemiyorsa, deneysel bilgilere dayanılarak tahmin edilmeli ve tahminlerin güvenilebilirliği değerlendirilmelidir. Olasılıksal risk tahminleri, gelişen teknolojiye paralel olarak elektrik ve elektronik cihazların tasarımı sırasında başarımlı ölçümünü yapmada sıkça kullanılan bir yöntem haline gelmiştir [77-81].

Temel istatistiksel kavramlara göre;

$t = 0$ anında kullanılmaya başlayan bir cihazın bir t zamanına kadar bozulma olasılığı birikimli bozulma olasılık dağılım fonksiyonu (Cumulative Hazard Distribution Function, CDF) $F(t)$;

$$\left. \begin{aligned} F(t) &= 0 & t < 0 \\ 0 &\leq F(t) \leq F(t') & 0 \leq t \leq t' \\ F(t) &\rightarrow 1 & t \rightarrow \infty \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

t ile $t + dt$ zamanları arasında bozulma olasılığı olarak da tanımlayabileceğimiz olasılık yoğunluk fonksiyonu (Probability Density Function PDF) $f(t)$, birikimli dağılım fonksiyonunun türevi alınarak elde edilir.

$$\left. \begin{aligned} f(t) &= dF(t)/dt \quad (\text{PDF}) \\ F(t) &= \int_0^t f(x)dx \quad (\text{CDF}) \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Güvenilirlik fonksiyonu ise;

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x)dx = \int_t^{\infty} f(x)dx \quad (3.3)$$

şeklindedir.

Böylece olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(t) = -dR(t) / dt \quad (3.4)$$

bağıntısı ile de elde edilebilir.

3.9.1. Weibull Dağılımı

Bir sistemin güvenilirliği ve çalışması o sistemi oluşturan çeşitli elemanların güvenilirliğine bağlıdır. Dayanabileceğinden büyük bir gerilimin etkisinde kalan bir sistem elemanı ya da malzeme yorulabilir, yorulma kırılması ile gücünü kaybedebilir. Benzer çevre koşulları altında bulunan benzer elemanlar farklı ve önceden kestirilemeyen zamanlarda yorulma nedeniyle kırılabilir ya da bozulabilir.

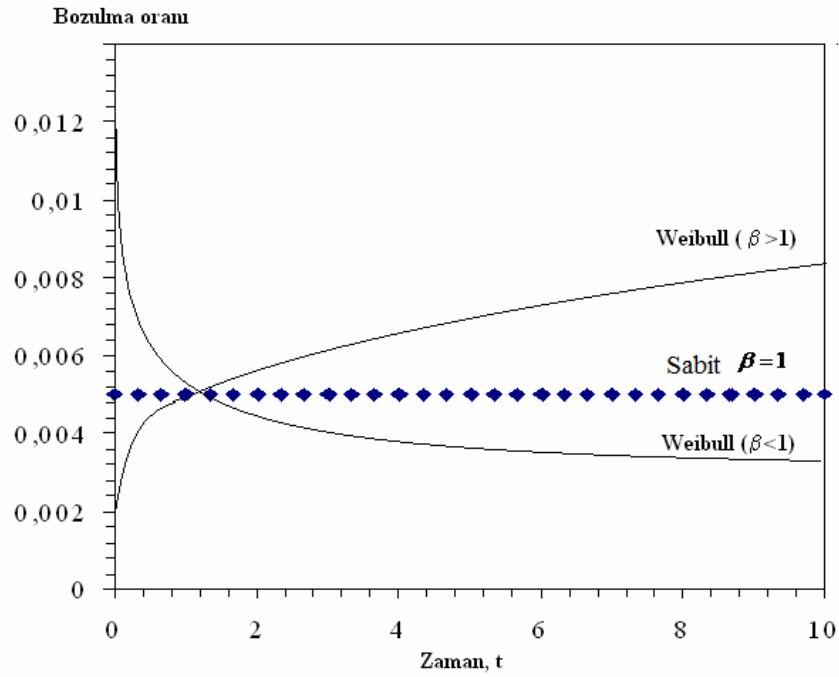
Weibull dağılımı, İsveçli bilim adamı Wallodi Weibull tarafından 1939 yılında ortaya atılmış yorulma olgusu ile ilgili olasılıksal sorunların çözümünde ömür ve bozulma zamanı hesaplarında sıkça kullanılan bir dağılımdır. Weibull dağılımı uyumlu şekli ve değişken bozulma oranlarının modellenmesine uygun olması nedeni ile ampirik bir model olarak birçok uygulamada başarı ile kullanılmaktadır [77].

Weibull dağılımı bozulma hızı fonksiyonu $\lambda(t)$;

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \quad (3.5)$$

şeklindedir. Bu formülde α ölçü parametresi (karakteristik ömür) ve β şekil parametresi, t de zamandır. β şekil parametresi bozulma oranını tanımlayan bir büyüklüktür. $\beta = 1$ için Weibull dağılımı sabit modele dönüşür. Bu durum hata, kaza gibi tesadüfi bozulma olaylarını ve kuvvet eğrisindeki sabit bozulma oranını modeller.

$\beta < 1$ için bozulma oranı azalmakta, $\beta > 1$ için bozulma artmaktadır. $\beta < 1$ durumu başlangıçta oluşan erken bozulmaları, üretim hatalarından kaynaklanan bozulmaları, başarım düzelmelerini modeller. Bu durum küvet eğrisindeki ilk kısımdır. $\beta > 1$ durumu ise aşınma, yorulma, eskime gibi olayları ve yaşlanmadan kaynaklanan bozulma oranı artışını modeller ve küvet eğrisindeki son kısma denk düşer. α ve β parametrelerinin değerleri deneysel verilerden hesaplanır [81].



Şekil 3.27: Bozulma oranı fonksiyonları

Şekil 3.27’de Weibull dağılımına göre bozulma oranı fonksiyonları görülmektedir.

Belli bir etki altında bırakılan elemanlar her ne kadar aynı zamanda bozulmasalar da ölçülen zamanlar belli bir uyum gösterirler. Elde edilen zamanlardan oluşturulan Weibull dağılımına göre benzer örnekler arasından seçilen bir parçanın bir t zamanından önce bozulma olasılığı;

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (3.6)$$

formülünden bulunur. $F(t)$ birikimli olasılık dağılım fonksiyonuna ait (Cumulative Distribution Function, CDF) α ve β parametreleri, gözlem sonuçlarına maksimum olabilirlik (Maximum Likelihood), lineer regresyon, grafik ve moment (MOM) yöntemleri uygulanarak hesaplanabilir [81].

Birikimli olasılık dağılım fonksiyonunun zamana göre türevini alarak olasılık yoğunluk fonksiyonu (Probability Density Function, PDF) $f(t)$ elde edilir.

$$\frac{dF(t)}{dt} = f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (3.7)$$

Bir parçanın bozulacağı ya da sağlam kalacağı olasılığından yola çıkarak bozulma olasılığıyla bozulmama olasılığı toplamının bire eşit olacağını söyleyebiliriz. Bu durumda parçanın sağlam kalma olasılığı yani güvenilirliği;

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3.8)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (3.9)$$

formülünden hesaplanır.

Bu çalışma kapsamında ADSS kabloların ömür sürelerinin Weibull dağılımı ile güvenilirlik analizi yapılmıştır. Testler kuru yüzey elektriksel ark oluşumu deney düzeneği ve eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deney düzenekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki test yönteminde aynı test örnekleri farklı yöntemlerle test edildiğinden, test sonuçlarının Weibull dağılımı ile test sistemlerinin güvenilirlikleri bulunmuştur. Her iki test yöntemi için α ve β parametreleri hesaplanmıştır. Bu parametreler için güvenlik aralığı belirlenmiştir.

4.BULGULAR

Bu çalışmada ‘Kuru Yüzey Elektriksel Ark’ yöntemi ve IEEE 1222 test standartları kullanılarak enerji iletim hatlarında kullanılan haberleşme kablolarının yalıtkan yüzeylerinde çevresel etkilerden dolayı meydana gelen bozulmalar incelenmiştir. Çevresel etkileri incelemek amacı ile kabloların servis hizmetleri sırasında arazi şartlarında maruz kaldıkları etkiler laboratuvar ortamında oluşturularak deney düzeneği her bir etki için revize edilmiş ve testler bu etki altında gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 4.1’de kuru yüzey elektriksel ark oluşumu deney düzeneği kullanılarak Arizona State Üniversitesi Yüksek Gerilim Laboratuvarı ve İstanbul Üniversitesi Yüksek Gerilim Laboratuvarında normal şartlar altında çevresel faktörler olarak, sıcaklık, nem, rüzgar, titreşim gibi parametreler sabit iken, laboratuvar koşullarında ADSS kabloların yaşlanma süreleri IEEE 1222 standartları çerçevesinde test edilmiş ve test sonuçları verilmiştir.

Bölüm 4.2’de aynı test örnekleri ile farklı bir deney düzeneği olan eğik düzlem test yöntemi kullanılarak ADSS kabloların yaşlanma süreleri test edilmiş ve iki deney düzeneği arasındaki farklar belirlenmiştir. Eğik düzlem deney düzeneğinde ASTM D2303 ve IEEE 1222 standartları doğrultusunda kablo örneklerinin servis sırasında direklerle bağlantı noktaları ile direkler arası orta noktaya doğru kabloların sehiminden kaynaklanan eğik durumda bulunmaları benzetilmiş ve testler revize edilen eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Her iki deney düzeneği için test sonuçları elde edildikten sonra deney düzeneklerinin avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir.

Bölüm 4.3’te farklı geometrik yapıda bulunan hava hattı F/O kabloların yaşlanma testlerinin sonuçları verilmiştir. Askı halatlı hava hattı fiber optik kablolar ile askı halatsız hava hattı F/O kabloların yaşlanma testlerinde elde edilen sonuçlar ve aralarındaki farkların nedenleri açıklanmıştır.

Bölüm 4.4'te farklı ıslak yüzey modelleri için yapılan test sonuçları verilmiş. Her bir ıslak yüzey modeli için yaşlanma süreleri ve ıslaklık yüzeyinin değişimi ile test örneğinin ömür süreleri arasındaki değişim verilmiştir.

Bölüm 4.5'te ıslak yüzey modelinin değişimi ve test sırasında otuz dakikalık test periyodunun; yağmurlama anındaki, yağmurlama konumundan bekleme konumuna geçiş anındaki ve kuru yüzey ark oluşumu için bekleme modunda test örneği üzerinde oluşan elektriksel arkların işaret incelemesi ve frekans dağılımlarını gösteren frekans güç görüngeleri verilmiştir. Test örneğinin yaşlanma sürecindeki arkların test periyodundaki zaman dilimlerine göre değişimi belirlenerek, yaşlanma sürecindeki elektriksel ark etkileri aydınlatılmıştır.

Bölüm 4.6'da ADSS kabloların arazi şartlarında maruz kaldıkları rüzgar etkisi altında yaşlanma testleri gerçekleştirilmiş, farklı rüzgar etkisi altında test örneğinin bozulma süresindeki değişimi belirlenmiştir. Rüzgar etkisi altında ve rüzgarın olmadığı durum için yapılan testlerden test örnekleri incelenmiş ve rüzgar etkisinin test örneği üzerinde oluşan bozulmaya etkisi belirlenmiştir.

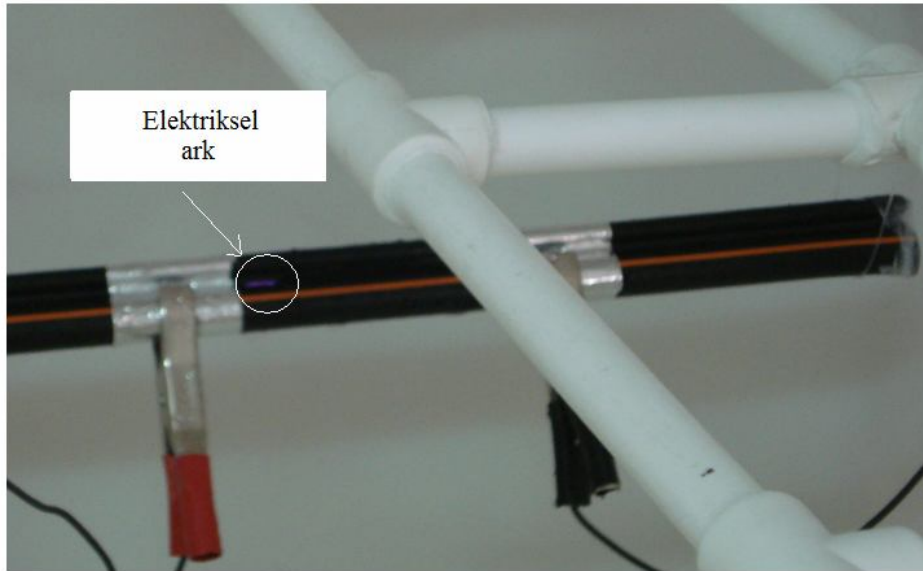
Bölüm 4.7'de kabloların servis hizmeti sırasında maruz kaldıkları titreşim etkisi incelenmiştir. Test örnekleri, laboratuvar ortamında kurulan kablo örneklerini yorma mekanizması ile yorulmuş ve yorulmuş örneklerin test sonuçları verilmiştir. Titreşim etkisinin kablo örnekleri üzerinde oluşturduğu yaşlanma sürecine etkileri belirlenmiştir.

Bölüm 4.8'de test örneklerinin fiziko kimyasal yapılarının incelenmesi sonucu, DSC, FTIR, TGA ve SEM analiz sonuçları verilmiştir. Test öncesi ve test sonrası kablo örneklerinden alınan numunelerdeki fiziksel ve kimyasal değişimler belirlenmiştir.

Bölüm 4.9'da her iki test yöntemi için yapılan deneylerden elde edilen ömür sürelerinin Weibull dağılımı çıkarılarak istatistiksel olarak ömür süreleri saptanmıştır. Her bir deney düzeneği için güvenilirlik fonksiyonları elde edilmiş ve iki test yönteminin istatistiksel karşılaştırılması yapılmıştır.

4.1. KURU YÜZEY ELEKTRİKSEL ARK OLUŞUMU DENEY SONUÇLARI

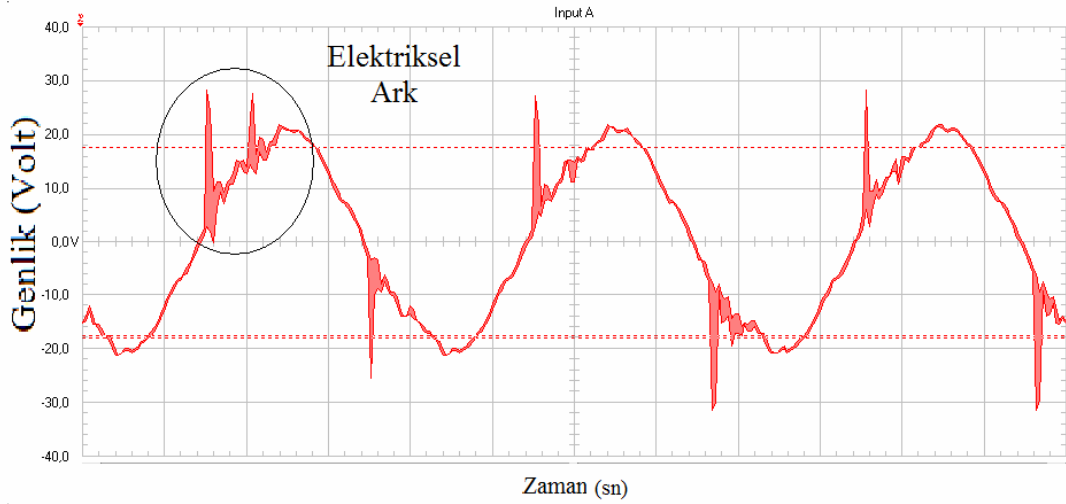
Bu çalışmada üç çeşit ADSS fiber optik kablonun kirlilik etkisi altındaki başarımları ‘Kuru Yüzey Elektriksel Ark’ (Dry Band Arcing) test yöntemi ile incelenmiştir. ADSS kablolar enerji iletim hatları ile aynı mekanik sistem üzerinde kullanıldığından elektrik alan etkisi altında kalmaktadır ve kablolar üzerinde boşalmalar gözlenmektedir, ayrıca kabloların kullanıldığı ortamdaki kirlilik etkisine göre boşalmaların etkisi değişmektedir. Testler IEEE 1222 ADSS Electrical Test standardında belirtilen kriterlere göre yapılmıştır. Kuru yüzey elektriksel ark testinin ana yaklaşımı, enerjilendirilmiş kablo üzerine birkaç dakika tuzlu suyun püskürtülmesi sonucu oluşan boşalmaların kablo üzerinde meydana getirdiği bozulmanın incelenmesidir. Testler Arizona State Üniversitesi Yüksek Gerilim Laboratuvarı ve İstanbul Üniversitesi Yüksek Gerilim Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Test ortamındaki sıcaklık 24 °C dir. Bu testte kablo yüzeyinin ıslak olması sızıntı akımının oluşmasına neden olmaktadır. Testler sırasında kablo üzerindeki kuru bölgelerde oluşan ark görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Kablo yüzeyinde oluşan elektriksel ark

Yüzeyde oluşan bu sızıntı akımları RC devresi ile birkaç mA seviyesinde sınırlandırılmıştır. Sızıntı akımları yüzeyin kurumasına neden olmaktadır ve kuruyan bölgede elektriksel atlamalar başlamaktadır. Test periyodu 30 dakikalık zaman dilimleri halinde tekrarlanmakta ve her bir 30 dakika bir çevrim (cycle) olarak

adlandırılmaktadır. Oluşan arklar her çevrimde genel olarak 3 ila 25. dakikalar arası gözlenmektedir. 30 dakikalık zaman diliminin ilk iki dakikası tuzlu su kablo üzerine püskürtülmüş ve 28 dakika ark oluşumu için beklenmiştir. Çevrim sonunda kablo incelenmiştir. İlk 3 dakika yüzeyin ıslak olması nedeniyle sızıntı akımları oluşmakta ve yüzey kurumaya başladıkça ark meydana gelmektedir. Yüzeyin kuruması anındaki kuru bölgelerde gerçekleşen ark Şekil 4.2’de verilmiştir. Deney düzeneğinde yüksek gerilim probu ile elektriksel arkların genlik değişimi ölçülmüştür.



Şekil 4.2: Kuru yüzeyde elektriksel ark işareti

Yüzey 25. dakika civarında iyice kurduğundan arklar azalmakta ve daha sonra oluşmamaktadır. Bu işlem kablo bozulmaya uğrayana kadar tekrarlanmıştır. Laboratuvar koşullarında herhangi bir etki yok iken gerçekleştirilen testlerde her bir kablo 10 kez test edildi. Her kablonun kaç çevrim sonra daimi zarar gördüğü kaydedildi. Ortalama değer ve standart sapmalar hesaplandı. Deneylerin sonlandırılması için kablo yüzeyinde elektrotlar arası alan tamamen iz oluşumuna uğrayana kadar deneylere devam edildi. İz oluşumu elektrotlar arası bölgeyi kısa devre ettiği durumda kablo örneği deneyden çıkarıldı ve geçen süre belirlendi.

Test sonuçları, farklı tip A, B ve C kablolarına ait bozulma süreleri Tablo 4.1’de ve bu sürelerin test örneklerine göre grafik gösterimi Şekil 4.3’te verilmiştir.

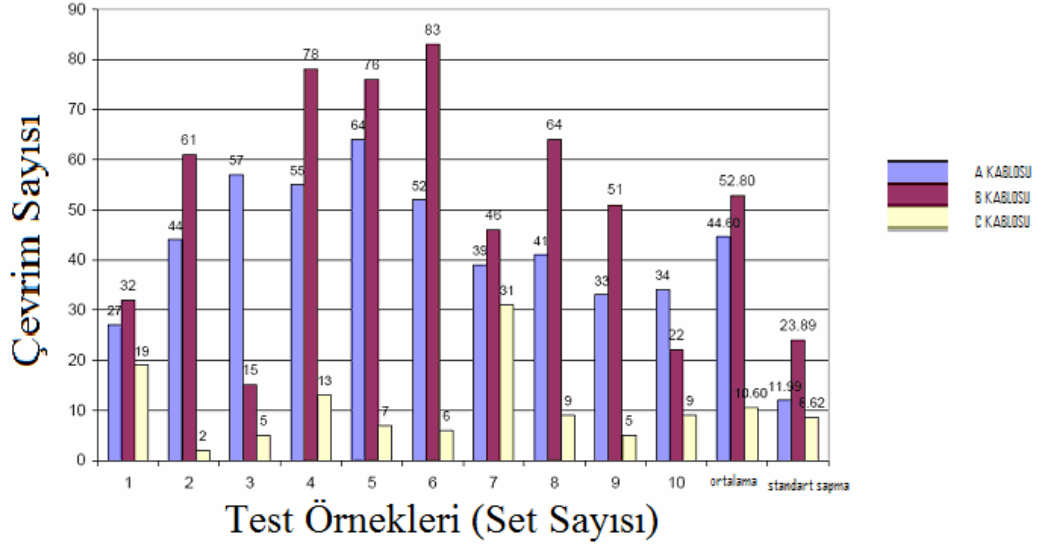
Test sonuçları çevrim adedi olarak verilmiştir. Bu değerler otuz dakika ile çarpılarak test örneğinin yaşlanma süresi dakika olarak ta hesaplanabilir. Test sonuçları Şekil 4.3’te grafik olarak çizilmiş ve her bir set için kabloların bozuldukları çevrim

belirtilmiştir. Elektriksel boşalmalar alümiyum elektrotlar çevresinde başlamakta ve elektrotlar ile kablo yüzeyi arasındaki boşalmaların elektrot yapısında değiştirdiği görülmüştür.

Her sette üç farklı kablo test edilmiştir. Set kavramı aynı anda test edilmeye başlayan üçlü kablo grubunu ifade etmektedir. Bir sette bulunan tüm kablolar bozulana kadar deneye devam edilmiş ve bozulan kablo deneyden çıkartılarak diğer kablolarla deneye devam edilmiştir. Bir setteki kablolardan her bir çeşit kablonun yaşlanma süresi tespit edildikten sonra diğer set için deneylere başlanmıştır.

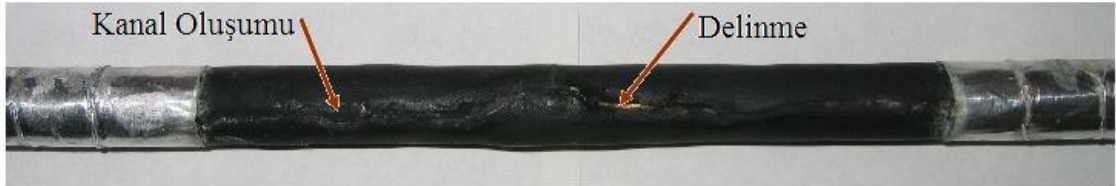
Tablo 4.1: Kuru yüzey elektriksel ark deney sonuçları (Çevrim sayıları)

	A Kablosu	B Kablosu	C Kablosu
Set 1	27	32	19
Set 2	44	61	2
Set 3	57	15	5
Set 4	55	78	13
Set 5	64	76	7
Set 6	52	83	6
Set 7	39	46	31
Set 8	41	64	9
Set 9	33	51	5
Set 10	34	22	9
Ortalama	44.6	52.8	10.6
Standart Sapma	11.89	23.89	8.62



Şekil 4.3: Test sonuçlarının grafik olarak gösterimi

Kabloların delinme ve bozulma biçimlerini incelediğimizde A kablosunun diğer çeşitlerden farklı bozulmaya uğradığı gözlemlendi. Kablo delinme esnasında yavaş ve duman çıkararak bozuldu ve kanal oluştu. Şekil 4.4'te A kablosuna ait bozulma şekli görülmektedir. Kablo yalıtkanında kanal oluşumu ve delinme gözlenmektedir.



Şekil 4.4: Deney sonrası A kablosu örneğinde bozulma

B kablosunun test sonrası görüntüsü Şekil 4.5'te görülmektedir. B kablosu test koşullarına en dayanıklı kablo olduğundan bozulma işlemi çok yavaş olmuştur ve bozulma şeklinde de farklılık görülmüştür. Test sırasında tuzlu su çözeltisinin su buharı ve sıvı olarak yalıtkan çepere nüfuz etmiş ve kablunun yalıtım kısmında şişme meydana gelmiştir.



Şekil 4.5: B kablosunun deney sonrası görüntüsü

C kablosu en kısa sürede bozulmaya uğrayan kablodur ve yanarak (alev alarak) bozulmuştur. Şekil 4.6'da C kablosunun görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.6: C kablosunun deney sonrası görünümü

Kuru yüzeyde oluşan arklar malzemenin delinmesine neden olmaktadır. Bir kablonun ömrünün uzun olması dış çeperinde kullanılan yalıtım maddesinin özellikleri ile belirlenir. Elektrik alan altında kullanılan yalıtkan malzemelerin yüzeyinde çevresel şartlar etkisi ile ark oluşmaktadır ve bu arklar malzemenin delinmesine yol açmaktadır. Bu çalışmada enerji iletim hatlarının 3 m aşağısında aynı mekanik sistem üzerinde kullanılan ADSS kabloların yüzeyinde ark oluşması sonucu başarımları incelenmiştir.

Deneyle elde edilen hızlandırılmış ömür süreleri ADSS kabloların işletme koşullarında yaklaşık 15 yıllık kullanım sürelerine karşılık gelmektedir. Laboratuvar ortamında hızlandırılmış olarak yapılan çalışmalarda bu süreye etki eden faktörlerin dereceleri belirlenip işletme ömrüne etkisi araştırılmaktadır.

4.2. EĞİK DÜZLEM DENEY YÖNTEMİ DENEY SONUÇLARI

Çalışmanın bu bölümünde ADSS kabloların Bölüm 4.1'deki deney yöntemi test sonuçları ile karşılaştırmak amacıyla farklı bir test yöntemi olan eğik düzlem yüzeyde yaşlanma test yöntemi kullanılarak ADSS kabloların yaşlanma süreleri belirlenmiştir. Eğik düzlem yüzey, kabloların direklere bağlantı noktalarından itibaren sehim nedeni ile ADSS kablonun tesiste kullanımını modellemektedir. Eğik düzlem test düzeneğinde kablo örneği yatayla 45 °C açı yapacak şekilde yerleştirilmektedir. Mevsimlere göre ADSS kablonun sehim değerleri değişmekte ve sıcak havalarda yaz mevsiminde sehim maksimum olmaktadır. Bu durum için ADSS kablonun hava hattındaki konumu eğik düzlem yüzey deney düzeneğindeki durumuna benzemektedir.

Bölüm 4.1'de gerçekleştirilen testlerde test örneği üzerine yağmurlama sistemi zaman kontrollü olarak gerçekleştirilirken, eğik düzlem test yönteminde sıvı akışı 36 ml/saat

hızda ve sürekli. Yüzeyin sürekli ıslak olması elektriksel arkların sürekli olarak kuru bölgelerde oluşumuna neden olmaktadır. Yüzeydeki arkların sürekliliği malzemenin kuru yüzey ark oluşumu test prosedürüne göre daha erken bozulmasına neden olmuştur.

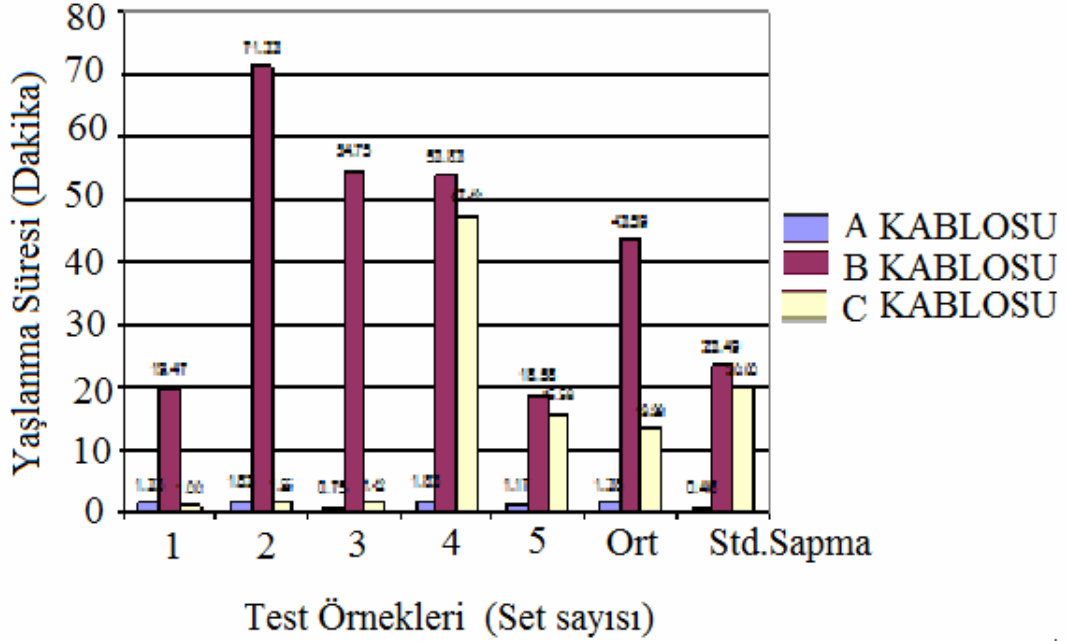
Eğik düzlem testinde kullanılan test örnekleri 10 cm uzunluğunda hazırlanmış, uçları sıvı girişini engellemek amacıyla yalıtılmış ve elektrotlar aracılığıyla deney düzeneğine yerleştirilmiştir.

Eğik düzlem yönteminde, kuru yüzey ark oluşumu deney düzeneğine kıyasla elektrotların bir birine daha yakın oluşu, aynı gerilim uygulanması ve yüzeyde sürekli ıslak kuru bölgeler bulunması sonucunda eğik düzlem deney düzeneği ile test edilen ADSS kabloların çeşitlerine göre yaşlanma süreçlerinin belirlenmesi daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Eğik düzlem yöntemi ile gerçekleştirilen testlerde kabloların yaşlanma süreleri dakika olarak belirlenmiştir. A, B ve C kablolarının eğik düzlem yöntemi ile test sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deney sonuçları (Dakika)

	A Kablosu	B Kablosu	C Kablosu
Set 1	1.33	19.47	1.00
Set 2	1.83	71.33	1.55
Set 3	0.75	54.75	1.42
Set 4	1.83	53.83	47.42
Set 5	1.17	18.58	15.58
Ortalama	1.38	43.59	13.39
Standart Sapma	0.46	23.49	20.00

Bu sonuçların grafik gösterimi Şekil 4.7’de görülmektedir. Her bir set için yaşlanma süreleri dakika olarak ve test örneklerinin bozulma zamanları ortalama olarak bulunmuştur.



Şekil 4.7: Test örneklerinin bozulma zamanları grafiği

ADSS kabloların yaşlanma süreleri, kuru yüzey elektriksel atlamalar test sistemi ve eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deney düzeneklerine göre karşılaştırıldığında;

Kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumu deney düzeneği ile test edilen A, B ve C kablolarının bozulma süreleri ortalama değer olarak sırası ile 44.6, 52.8 ve 10.6 çevrim bulunmuştur. Aynı test sonuçları dakika olarak 1338, 1584 ve 318 dakika olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan, kuru yüzey elektriksel ark test yöntemiyle belirlenen en dayanıklı kablo B kablosu, ikinci A kablosu ve en zayıf kablonun C kablosu olduğu görülmektedir.

Eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deney düzeneği ile yapılan testler sonucu A, B ve C kablolarının bozulma süreleri sırasıyla 0.46, 23.49 ve 20.00 dakika olarak bulunmuştur.

Bu test sonuçlarından eğik düzlem test sistemi ile belirlenen en dayanıklı kablo B kablosu, ikinci olarak C kablosu ve en zayıf kablonun A kablosu olduğu anlaşılmaktadır.

Her iki test yöntemi ile elde edilen sonuçlardan B kablosunun en dayanıklı kablo olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlar göstermiştir ki; test prosedürünün toplam süresi değerlendirildiğinde eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu test yöntemi referans alınarak önerdiğimiz deney düzeneği, kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumu deney düzeneğine göre daha kısa sürede aynı sonuca ulaşmamızı sağlamaktadır.

IEEE 1222 standart test yöntemi, kuru yüzeyde elektriksel atlamaları ve elektrik alan koşullarını başarılı bir şekilde modellerken, eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu deney düzeneğinde kuru yüzey elektrik ark oluşumu yüzeyin sürekli ıslak kalması sonucu gerçek hayatta gözlenen ark oluşumundan daha fazla ark meydana gelmesine neden olmaktadır.

ASTM D2303 standartları ve eğik düzlem test yöntemi kabloların bozulma sürelerini belirlemede başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak kullanılan elektrot yapıları elektrik alanın gerçek koşullardakinden farklı bir yapıda oluşmasına neden olmakta ve ADSS kablunun enerji iletim hattında kullanımı sırasındaki elektrik alan koşullarını sağlamamaktadır. Her iki test yöntemi de en dayanıklı kabloyu belirlemede aynı sonucu vermiştir.

4.3. ASKI HALATLI VE ASKI HALATSIZ F/O KABLULARIN DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada askı halatlı fiber optik kablolar ile askı halatsız fiber optik kablolar test edilmiş ve yüzeyin aşınmasında oluşan farklılıkların nedenleri incelenmiştir. Şekil 4.8'de askı halatlı kablo, Şekil 4.9'da askı halatsız F/O kablo örneklerinin kesit görüntüleri verilmiştir.

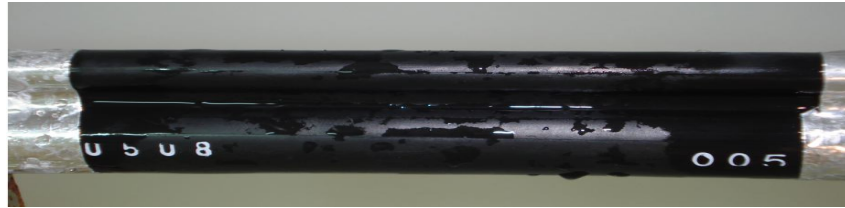


Şekil 4.8: Askı halatlı F/O kablo



Şekil 4.9: Askı halatsız ADSS hava hattı F/O kablo

IEEE 1222 standartları test örneklerine uygulandığında, kablo yüzeylerinde su tutma özelliklerinin farklı olduğu görülmüştür. Askı halatlı F/O kablolar üzerine iki dakika su püskürtülmesi sonucu yüzeyde bulunan su damlalarının, kablunun askı halat ile bağlantı noktası etrafında ıslak yüzey oluşturduğu ve su damlalarının bu bağlantı ekseninde tutunma özelliği gösterdiği görüldü. Askı halatsız ADSS F/O kablolarda ise bağlantı ek noktası olmadığı ve kablo şekil açısından tam bir silindirik yapıda bulunduğu için su damlalarının kablo yüzeyinde yan yüzlerde ve üstte tutunamadığı, kablunun alt kısmında dizildiği ve dolayısıyla ıslak yüzeyin bu bölgede oluşması olasılığının daha yüksek oranda olduğu görüldü. Deneylerde kullanılan bu iki tip kabloya ait ıslak yüzey oluşumları Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.10: Askı halatlı F/O kablo ıslak yüzey görüntüsü



Şekil 4.11: Askı halatsız F/O ıslak yüzey görüntüsü

Test örneklerine deney standartlarına göre deneyler gerçekleştirildiğinde, kablo yüzeylerinde oluşan izler incelenmiş ve askı halatlı F/O kablolarda aşınımın ıslak bölgelerin yoğun olduğu kablo ile halatın eklem noktası etrafında, askı halatsız ADSS F/O kablolarda ise aşınımın kablonun deney düzeneğinde duruş konumu itibari ile alt kısmında olduğu görülmüştür. Deney sonrası test örnekleri üzerinde oluşan izler Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4.12: Askı halatlı F/O kablonun deney sonrası görünümü



Şekil 4.13: Askı halatsız F/O kabloların deney sonrası görüntüleri

Bu çalışmada 5 adet askı halatlı ve 5 adet askı halatsız ADSS fiber optik kablo test edilmiş, test edilen kabloların bozulma işlemi gerçekleşene kadar kaç çevrim teste tabi tutuldukları Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.3: Askı halatlı F/O kabloların bozulma zamanları

Örnek No	Çevrim sayısı
1	17
2	21
3	20
4	21
5	19

Tablo 4.4: Askı halatsız F/O kabloların bozulma zamanları

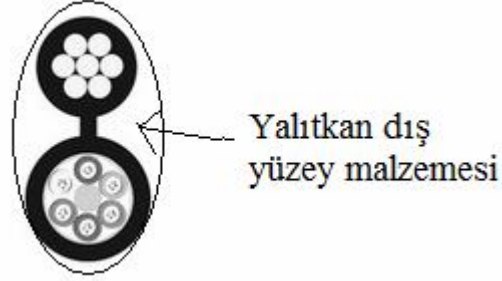
Örnek No	Çevrim sayısı
1	24
2	27
3	27
4	25
5	31

Testler sonrasında kablo örnekleri üzerinde oluşan bozulmalar incelendiğinde, askı halatlı F/O kablolarında oluşan karbonize aşınım bölgelerinin kablo ile askı halat bağlantı noktası etrafında olduğu görüldü. Bunun nedeni kablo yüzeyine püskürtülen suyun eklenti noktası etrafında tutunması sonucunda elektriksel atlamaların yoğunlukla bu bölgede gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Bu tip kablolarında test örneği üzerine konulan elektrot da kablonun şeklini aldığından, elektrotun geometrik yapısı incelendiğinde ek noktasında elektrik alan dağılımının da silindirik kabloya oranla daha düzensiz ve yoğun olduğu görülmektedir.

ADSS F/O kablolarda test sonucu oluşan izin, kablonun alt yüzeyinde olduğu görülmüştür. Bu tip kablolarda askı halatı bulunmadığından ek noktası yoktur ve test örneği tam bir silindirik yapıdadır. Dolayısıyla yüzeyde su damlalarının tutunabileceği bir alan yoktur; su damlaları ve ıslak yüzey çoğunlukla kablonun alt yüzeyindedir ve bu yüzey üzerinde oluşan elektriksel atlamalar kablonun bu kısmının hızla aşınmasına neden olmuştur.

Mekanik olarak askı halatı kullanılması gerektiği durumlarda, kablo yüzeyinin ek noktasının daha yoğun yalıtkan tabaka ile kuvvetlendirilmesi ve kablo geometrisinin askı halat ile birlikte silindirik yapıya kavuşturulmasının bu kablonun aşınımındaki dezavantajları azaltacağı beklenmektedir.

Askı halatlı F/O kablolarda şekil yapısından dolayı kablo ömrüne etki eden olumsuz durumun önlenmesi amacı ile Şekil 4.14'te yer alan model önerilmektedir. Bu model ile kablo yüzeyinde su tutulması zorlaştırılır ve sonucunda elektriksel arkların zararının azaltılacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.14: Askı Halatlı F/O kablolar için önerilen dış kılıf

Şekil 4.14'teki askı halatlı F/O kablonun dış kılıfının tekrar yalıtkan bir kılıfla kaplanması direkler arası kablo ağırlığının artmasına neden olacak ve kablo maliyetini yükseltecektir ancak elektriksel dayanımını arttıracaktır. Çok yağış alan bölgelerde kullanımı sırasında kabloların yüzeyinde hızlı yaşlanma olması nedeni ile bu bölgelerde elektriksel yaşlanmaya karşı korunmak amacı ile askı halatlı kabloların dış yüzeyinin yalıtkan malzeme (HDPE) ile kaplanması sonucu oluşan kabloların kullanımı elektriksel yaşlanmaya karşı kablo ömrünü daha uzun yapacaktır.

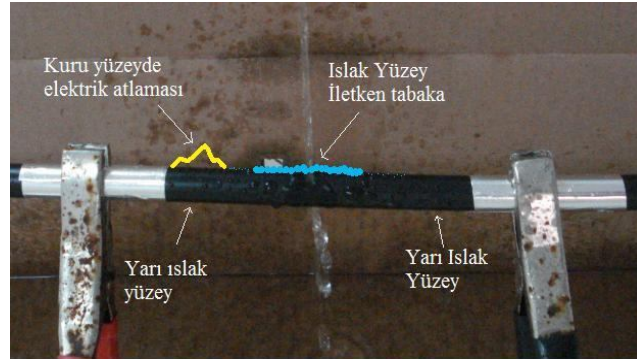
4.4. ISLAK YÜZEY MODELLERİ İÇİN KABLO YAŞLANMALARI DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada ADSS kabloların kullanıldıkları bölgelerde farklı iklim koşullarının etkileri altında, yağmur, nem, kırağı gibi etkenler ile kablo yüzeyinde ıslak yüzeylerin oluşmasının kablonun kullanım süresini nasıl etkilediği, laboratuvar ortamında farklı yağış seviyeleri oluşturulup test edilerek incelenmiştir.

Kabloların kullanıldığı bölgenin iklim özelliklerine göre gün içinde veya farklı mevsimlerde kablo yüzeyinde değişik miktarlarda ıslak bölgeler oluşmakta, yağmur, nem, kırağı v.s. etkisi ile kablo yüzeyi ıslanmaktadır. Enerji iletim hattında kullanılan yalıtkan dış kılıflı kablolar da elektrik alan etkisi ile kablo yüzeyinde boşalmalar gerçekleşmekte ve malzemede bozulmalar oluşmaktadır. Bu çalışmada enerji iletim hatlarında kullanılan ADSS (All dielectric self supporting) kabloların yaşlanma testleri farklı ıslak yüzey modelleri için gerçekleştirilmiştir. Yağış şeklinin yoğunluğuna göre kablo yüzeyinde oluşan ıslak yüzeyin değişimi ve bu değişimin kablo yaşlanma sürecini nasıl etkilediği incelenmiştir.

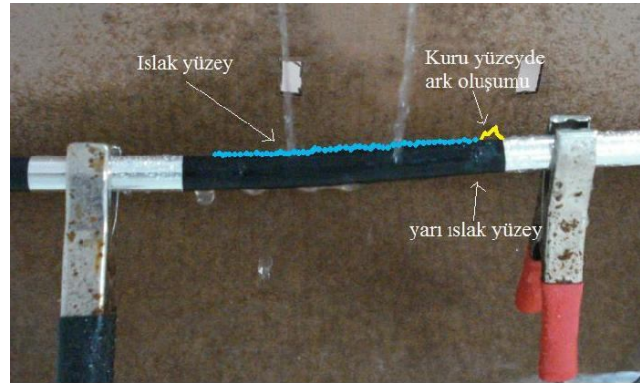
Test örneği üzerinde bulunan elektrotlar arasına yağmurlama yapılarak ıslak yüzey oluşturuldu. Yağmurlama sırasında farklı sayıda kanaldan su akışı gerçekleştirilerek elektrotlar arasında kalan kablo yüzeyinde farklı ıslaklık seviyelerinde ıslak yüzeyler elde edildi.

Test örnekleri üzerinde üç farklı kanalda farklı yağmurlama miktarları ile ıslak yüzey oluşturuldu. Birinci kanalda test edilen kablo yüzeyine yağmurlama sistemindeki sadece bir yağmurlama deliğinden su akışı gerçekleştirildi. Su akışı, kablonun elektrotlar arasındaki bölgesinin orta noktasına elektrotlardan 51 mm uzaklıkta gerçekleşti. Su akışının gerçekleştiği bölgede toplam 3 cm uzunluğunda tamamen ıslak bölge ve elektrotlar arası geri kalan kısımda su damlalarının sıçraması sonucu yarı ıslak bölge oluştuğu gözlemlendi. Bir kanaldan yapılan yağmurlama sonucu test örneği üzerinde oluşan ıslak yüzey Şekil 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.15: Test örneği üzerinde bir yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması

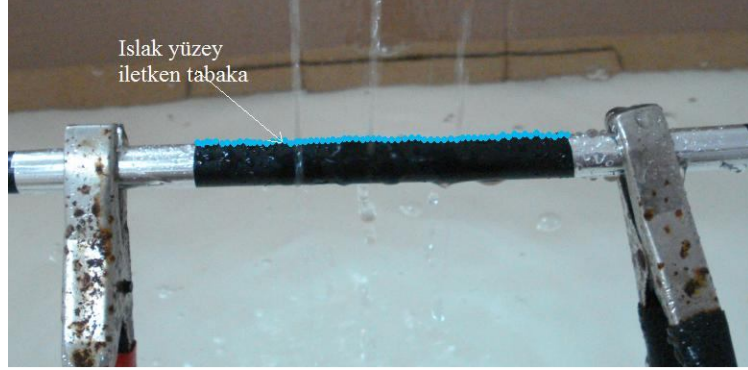
İkinci kanalda yer alan test örneği için, kablo üzerinde bulunan yağmurlama sistemindeki iki yağmurlama deliğinden su akışı gerçekleştirilerek kablo üzerinde ıslak yüzey oluşturulmuştur. İki yağmurlama deliğinden akan suyun düşme noktaları kablo yüzeyinde elektrotlar arası alanı üç eşit parçaya ayıracak şekilde belirlenmiştir. Yağmurlama deliklerinden su akışı sonucu kablo yüzeyinde elektrotlara uzaklığı 1.3 cm - 1.6 cm arasında değişen 3 cm genişliğinde iki adet tamamen ıslak yüzey oluştuğu ve elektrotlar arası geri kalan yüzeyde de yarı ıslak alan oluştuğu gözlemlendi. İki kanaldan yağmurlama ile test örneği üzerinde oluşan ıslak yüzey ve yarı ıslak yüzey görüntüleri Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.16: Test örneği üzerinde iki yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması

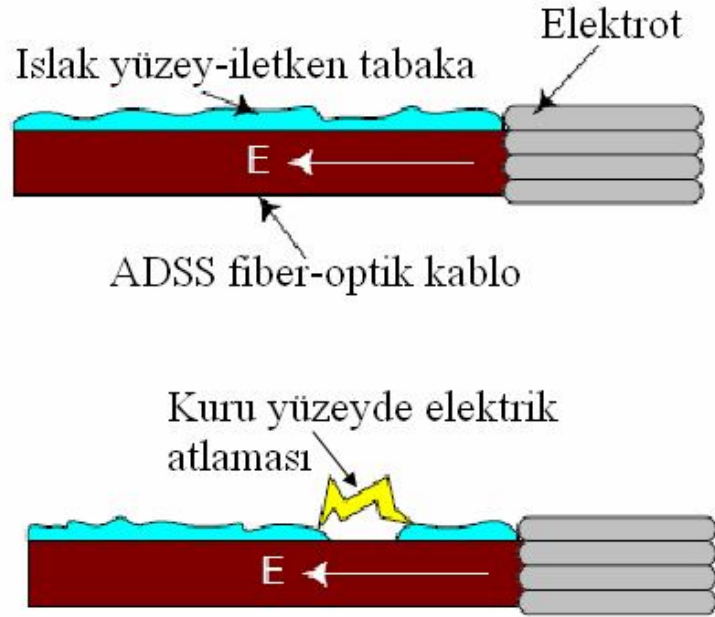
Üçüncü kanalda yer alan test örneği üzerine üç adet yağmurlama deliği ile sulama yapıldı. Yağmurlama delikleri arası mesafe 30 mm olarak ayarlandı ve kablo yüzeyinin tamamen ıslanması sağlandı. İki dakika yağmurlama sonucu kablo yüzeyi tamamen ıslak yüzey olup zamanla kısa devre akımının etkisi ve çevresel ısı etkileri ile yüzeyde kuru bölgeler oluştu, kuru bölgelerde elektriksel atlamalar gözlemlendi. Üç kanaldan

yağmurlama sonucu test örneği üzerinde oluşan ıslak bölgeler Şekil 4.17’de görülmektedir.



Şekil 4.17: Test örneği üzerinde üç yağmurlama kanalı ile ıslak yüzey oluşturulması

Deneyleerde, ıslak yüzeyin bazı bölgelerde kuruması sonucu bu bölgelerde oluşan elektriksel atlamalar ve bu elektriksel atlamaların kablo yalıtkanına verdiği zarar incelenmektedir. Kuru bölgelerde elektriksel atlamaların nasıl gerçekleştiğini gösteren model anlatım Şekil 4.18’de görülmektedir.



Şekil 4.18: Kuru bölgelerde elektriksel atlama model anlatımı

Farklı yağmurlama seviyeleri için beşer adet kablo örneği test edilmiştir. Bir kanaldan yağmurlama yapılması sonucu test örneği üzerinde oluşan ıslak yüzey 3 cm aralığında ve diğer kısımlar (tam ıslak bölge ile elektrotlar arası alan) yarı ıslak durumda olduğu görülmüştür. Kablo üzerinde elektriksel atlamaların diğer yağmurlama sistemleri altında

test edilen kablolarla oranla daha az olduğu görüldü. Kuru bant elektrik atlamalarının azlığı kablonun yaşlanmasını geciktirdi.

İki kanaldan yağmurlama yapılması sonucu test örneğinin yüzeyinde bir önceki yağmurlama sistemine oranla daha geniş bir ıslak yüzey oluştu. Islak yüzeyin yarı ıslak yüzeyle birleşmesi sonucu kısa devre olan elektrotlar arasında yer alan kablo, akım etkisi ve çevresel etkiler nedeniyle yüzeyinde kuru bölgeler ve bu bölgelerde boşalmalar görüldü. Oluşan boşalmaların bir önceki sistemde test edilen kablolarla oluşan boşalmalardan sayıca daha fazla olduğu görüldü.

Üç kanaldan yağmurlama yapılması sonucu kablo yüzeyinin tamamen ıslandığı ve elektrotlar arası kısa devre olduğu görüldü. Test prosedüründeki ilk iki dakika yağmurlamadan sonra yüzeyde kuru bölgeler olduğu ve bu bölgelerde boşalmaların gerçekleştiği, oluşan elektriksel atlamaların kablo yalıtkanına ikinci çevrimden itibaren zarar verdiği ve kablo yüzeyinde aşınmalar oluşturduğu görüldü. Deney sonrası test örneklerinin görünümü Şekil 4.19'da yer almaktadır.



Şekil 4.19: Test örneklerinin deney sonrası görünümü

Bir, iki ve üç kanaldan yağmurlama sonucu test örneği üzerinde ıslak yüzey oluşumu ve kuru bölgelerdeki elektriksel atlamaların kablo yüzeyini aşındırması sonucu kabloların

bozulması ile sonuçlanan test sürecinin her bir kablo için test sonuçları Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.5: Bir kanaldan yağmurlama yapılması sonucu ADSS kabloların bozulma zamanları

Örnek No	Çevrim sayısı
1	37
2	29
3	35
4	32
5	35
Ortalama	33.6

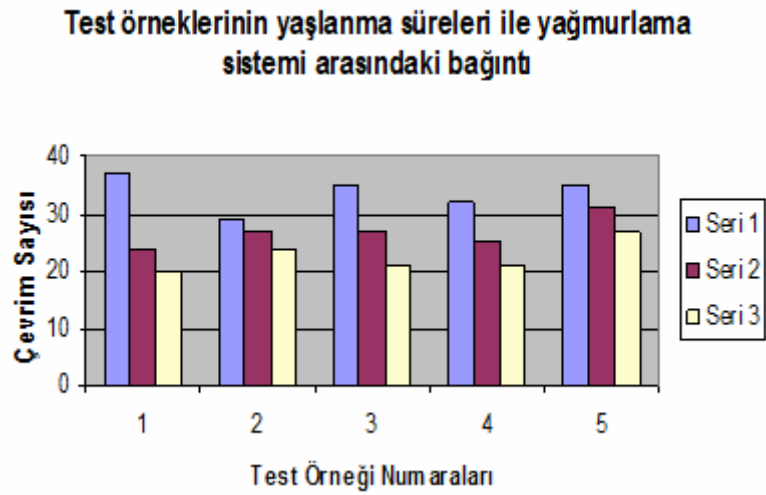
Tablo 4.6: İki kanaldan yağmurlama yapılması sonucu ADSS kabloların bozulma zamanları

Örnek No	Çevrim sayısı
1	24
2	27
3	27
4	25
5	31
Ortalama	26.8

Tablo 4.7: Üç kanaldan yağmurlama yapılması sonucu ADSS kabloların bozulma zamanları

Örnek No	Çevrim sayısı
1	20
2	24
3	21
4	21
5	27
Ortalama	22.6

Üç farklı şekilde gerçekleştirilen yağmurlama biçimine göre kabloların yaşlanma sürelerini gösteren grafik Şekil 4.20’de görülmektedir.



Seri 1: Bir kanaldan yağmurlama yapılması sonucu ADSS kabloların bozulma zamanları

Seri 2: İki kanaldan yağmurlama yapılması sonucu ADSS kabloların bozulma zamanları

Seri 3: Üç kanaldan yağmurlama yapılması sonucu ADSS kabloların bozulma zamanları

Şekil 4.20: Test örneklerinin yaşlanma süreleri ile yağmurlama sistemi arasındaki ilişki

Kabloların yüzeyleri tamamen ıslanınca, zamanla ıslak bölgede oluşan kuru bölgeler elektrik atlamasına neden olmaktadır, test sonuçlarında ortalama değerler

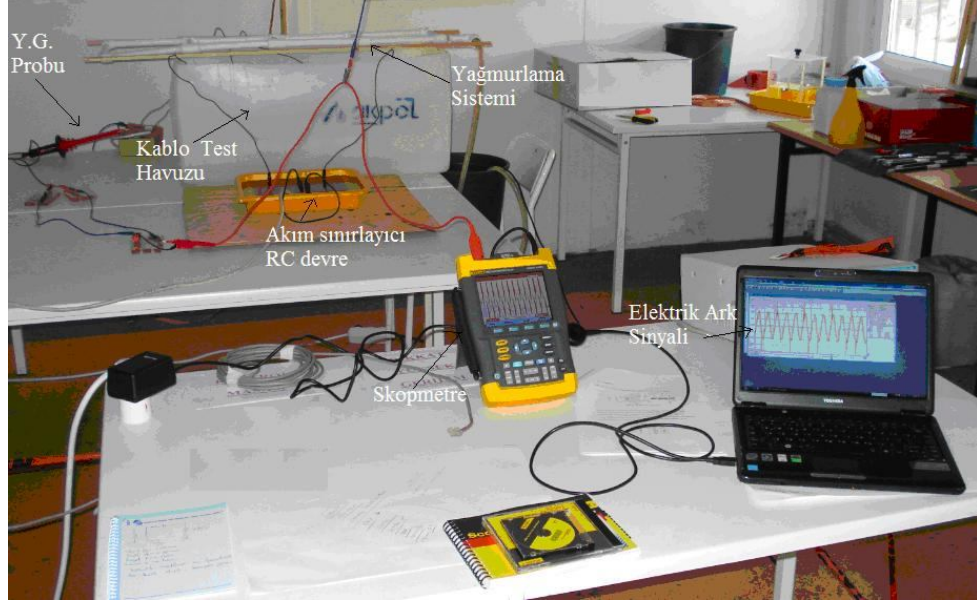
incelendiğinde, bir kanaldan yapılan yağmurlama sonucu test örneği üzerinde elektrotlar arası ıslak bölge küçük çapta oluştu ve yarı ıslak bölgedeki su damlacıkları nedeni ile oluşan boşalmalar sonucu kablonun ortalama yaşlanma süresi 33.6 çevrim (33.6x30 dak) olarak belirlendi. Kablo yüzeyinde oluşan ıslak bölgenin büyümesi ile boşalmalar arttı ve kablo ömrünün azaldığı görüldü. İki kanal ile yağmurlama sonucu elde edilen test sonuçlarına göre kablonun ortalama yaşlanma süresi 26.8 çevrim (26.8x30 dak) olarak belirlendi. Üç kanal ile yapılan yağmurlamada test örneğinin tamamı ıslak yüzey halini alıp, zamanla kuru bölgeler oluşması sonucu kablonun daha geniş bir yüzeyinde ve daha sıklıkla boşalmalar gerçekleşti. Bunun sonucu test örneklerinin ortalama yaşlanma süresi 22.6 çevrim (22.6x30dak) olarak belirlendi. Kablo yüzeyinin ıslaklık seviyesi arttıkça kablo üzerinde boşalmaların artması sonucu test örneklerinin daha kısa sürede bozuldukları belirlendi. İklim koşullarına göre fazla yağış alan bölgeler ve kablo yüzeyinde ıslak yüzey oluşmasına neden olacak çığ, kırağı, yağmur, kar v.b doğa olaylarının sık görüldüğü bölgelerde ADSS kabloların kullanım ömürlerinin daha az olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

4.5. ISLAK YÜZEY MODELLERİ İÇİN ELEKTRİKSEL ARK İŞARET ANALİZİ

Bu çalışmada, Bölüm 4.4'te elde edilen yaşlanma sürelerini belirleyen, Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de verilen test sonuçları için, kablo yüzeyinde oluşan elektriksel ark işaretlerinin ıslak yüzey modeline göre değişimi incelenmiştir. Kablolar üzerinde sırası ile bir kanal, iki kanal ve üç kanaldan yağmurlama yapılarak oluşturulan ıslak yüzey modelleri Bölüm 4.4'te Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de görülmektedir.

Bu modeller kullanılarak gerçekleştirilen yaşlandırma testlerinde, elektriksel ark işaretleri incelenirken, her üç ıslak yüzey modeli için üç farklı duruma bakılmıştır. Bunlar yağmurlama sırasında gerçekleşen elektriksel ark işaretleri, yağmurlama durumundan bekleme durumuna geçişteki ark işaretleri ve bekleme durumunda zamanla yüzeyde meydana gelen ıslak – kuru yüzey değişimleri ile oluşan işaretlerdir. Bu işaretlerin frekans görüngeleri ve genlik bilgileri dahilinde yaşlandırma sürecine etkileri belirlenmiş ve yorumlanmıştır. Farklı ıslak yüzey modelleri için kuru yüzey elektriksel ark oluşumu deneyleri Şekil 4.21'de yer alan deney düzeneği kullanılarak

incelenmiştir. Elektriksel işaretler kablo örneği üzerindeki toprak elektroda seri bağlı 50 ohm direnç üzerinden yüksek gerilim probu ve osiloskop kullanılarak alınmıştır.



Şekil 4.21: Elektrik ark sinyallerinin incelendiği deney düzeneği

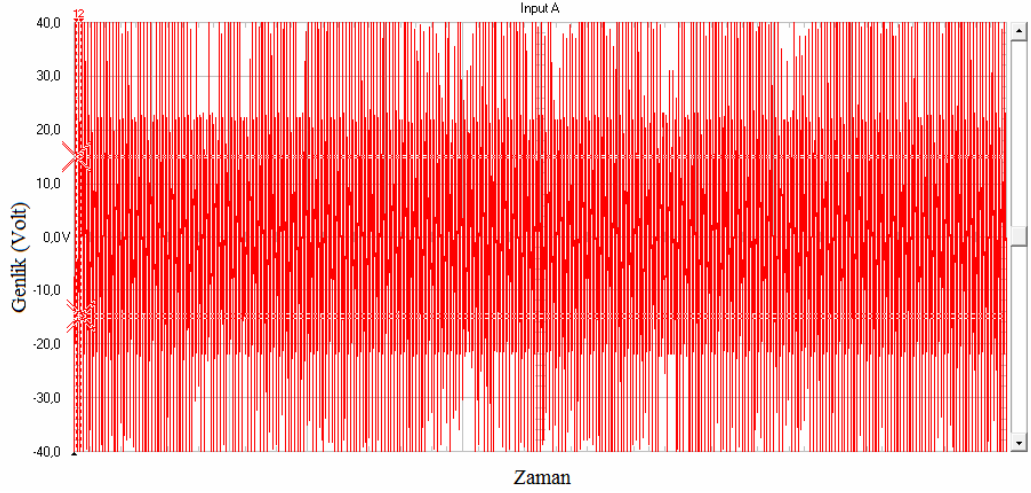
4.5.1. Bir Kanaldan Yağmurlama İle Yaşlandırma Deneyleri Sırasında İşaret Analizi

Yaşlanma testleri sırasında test örneği üzerinde Şekil 4.15'te görülen ıslak yüzey modeli oluşturularak deney prosedürü gerçekleştirilmiştir. Bu modelde test örneği üzerinde orta noktada 3-4 cm aralığında değişen ıslak yüzey ve bu bölgeye yağın suyun sıçraması ile geri kalan bölgede yarı ıslak yüzey oluşmuştur.

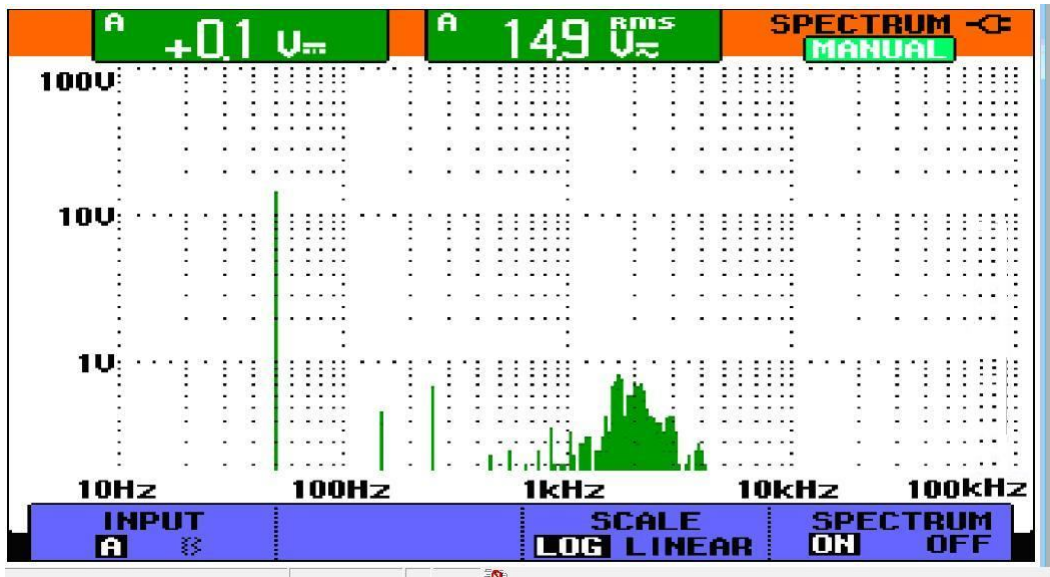
4.5.1.1. Yağmurlama anındaki elektriksel ark işaretleri

Test esnasında ilk iki dakika örnek üzerine yağmurlama gerçekleştirilmektedir. Bu model ile yaşlandırmada su akışı gerçekleşirken elde edilen işaret Şekil 4.22'de ve frekans görünüşü Şekil 4.23'te verilmiştir. Bir kanal ile yağmurlamada yüzeyin tamamı ıslanmadığından yarı ıslak yüzey oluşmaktadır. Yağış sırasında elektrotlar arasındaki potansiyel farkı ve yüzeyin ıslaklık dağılımının düzensiz oluşundan, test örneği üzerindeki kuru bölgelerde sürekli ark oluşmaktadır. Oluşan bu elektriksel arklar iki dakika yağmurlama süresi boyunca devam etmektedir. Frekans görünüşünde işaretin şebeke frekansı 50 Hz görülmektedir. Arkların oluşturduğu frekans bileşenleri 1 kHz ile

4 kHz arasında yoğunlaşmıştır. Kabloların yaşlanmasına neden olan ana etki arklar ve arkların oluşturduğu ısıdır. Bir kanaldan yağmurlama sırasında kabloların yaşlanması esas olarak yağmurlama esnasında olmaktadır.



Şekil 4.22: Bir kanaldan yağmurlama sırasında oluşan sinyal görüntüsü

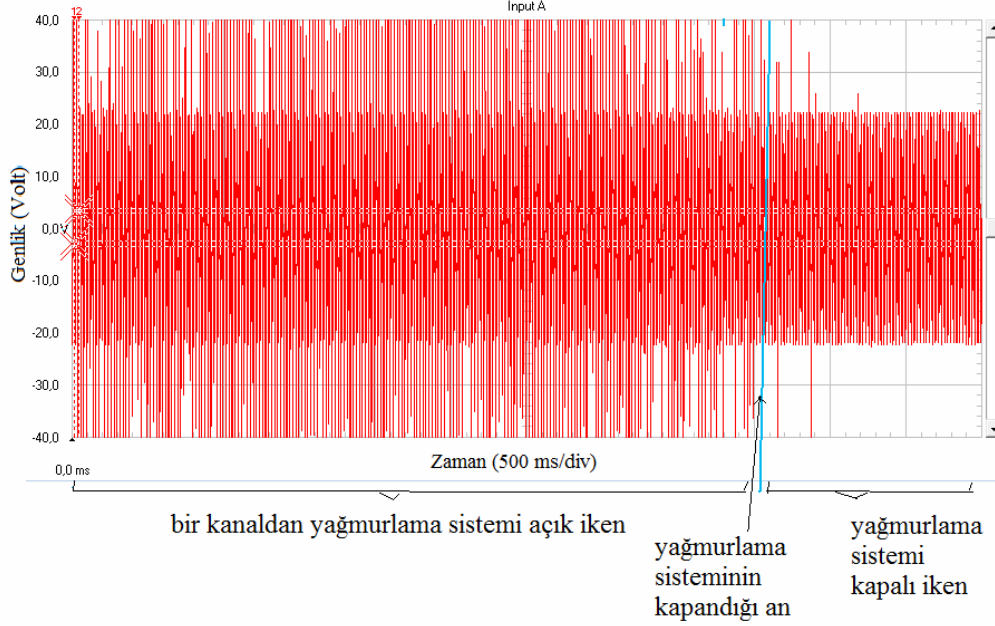


Şekil 4.23: Bir kanaldan yağmurlama sırasında oluşan sinyalin görünye değerleri

4.5.1.2. Yağmurlama durumundan kuru duruma geçiş anındaki işaretler

Deney prosedürüne göre iki dakika sonra yağmurlama sistemi durmaktadır. Yağmurlama sisteminin durmasından sonra yüzeydeki sıvının akıp gitmesi ve oluşan arklar nedeni ile yüzeyin kuruması sonucu arkların sayısı hızlı bir şekilde azalır. Arklar

kesilir ve işaret 50 Hz temel bileşenli durağan hale dönüşür. Yağmurlama sisteminin açık konumdan kapalı konuma geçişinde işaretin değişimi Şekil 4.24'te görülmektedir.



Şekil 4.24: Bir kanallı yağmurlama sisteminin kapandığı anı ve sonrasında da içeren elektriksel ark işareti

4.5.1.3. Yağmurlama sisteminin kapanması ile deney periyodunun bitimi arasındaki işaretler

Otuz dakikalık test periyodunun ilk iki dakikalık yağmurlama periyodu sonrasındaki yirmi sekiz dakika süresince, yüzeyde ark oluşumu için beklenmektedir. Bir kanaldan yağmurlama durumunda bu yirmi sekiz dakika içerisinde geçiş esnasından sonraki kısa bir süre haricinde (maksimum 1 dakika) ark oluşmamaktadır. Bu nedenle bir kanaldan yağmurlama sisteminde test örneğini yaşlandıran süreç, yağmurlama esnasında gerçekleşmektedir.

4.5.2. İki Kanaldan Yağmurlama İle Yaşlandırma Deneyleri Sırasında İşaret Analizi

Yaşlanma testleri sırasında test örneği üzerinde Şekil 4.16'da görülen ıslak yüzey modeli oluşturularak test prosedürü gerçekleştirilmiştir. Bu modelde test örneği üzerinde 6-7 cm aralığında değişen ıslak yüzey ve bu bölgeye yağın suyun sıçraması ile

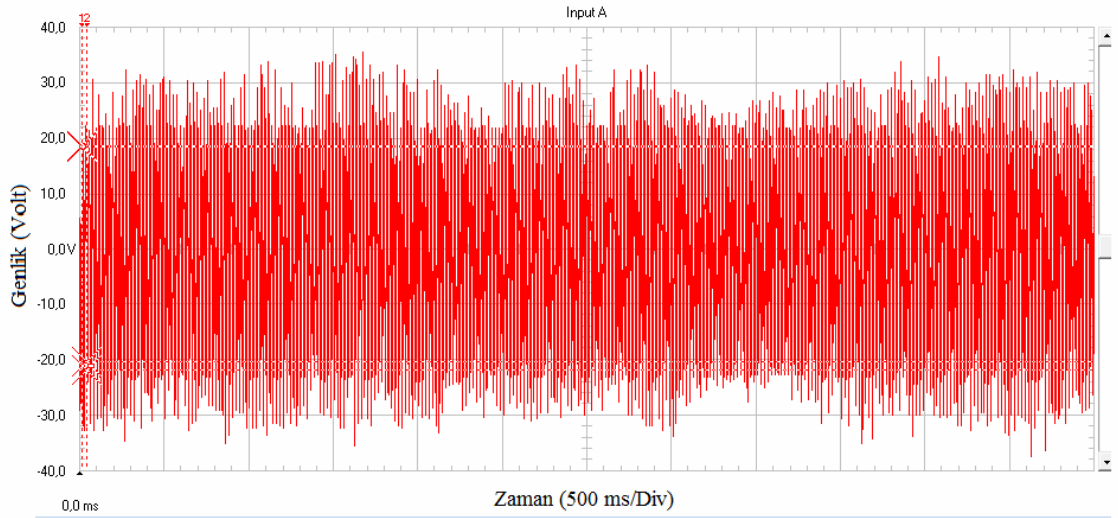
geri kalan bölgede yarı ıslak yüzey oluşmuştur. İki kanaldan yağmurlama sonucu oluşan ıslak yüzeyin elektrotlara 1.5-2 cm uzaklıkta olduğu ölçülmüştür.

4.5.2.1. Yağmurlama anındaki elektriksel ark işaretleri

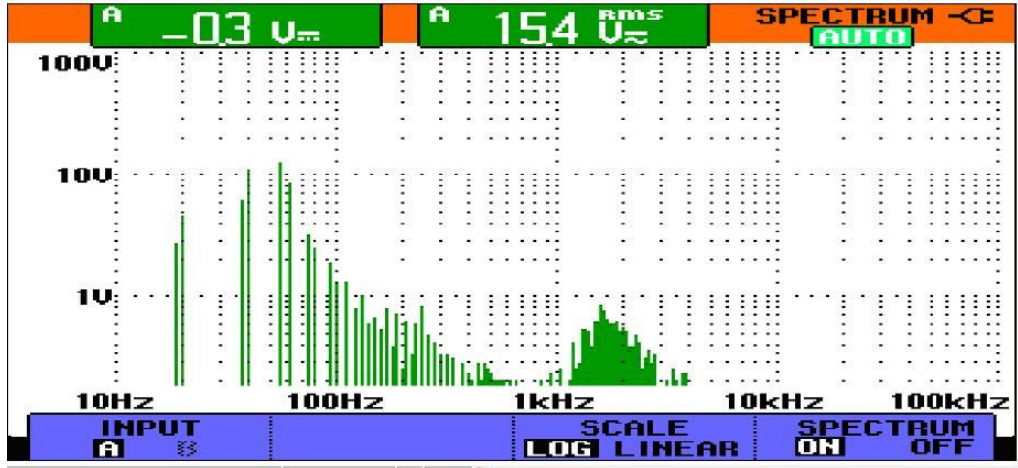
İki kanaldan yağmurlama ile yaşlandırma su akışı gerçekleşirken elde edilen işaret Şekil 4.25'te ve frekans görünüşü Şekil 4.26'da verilmiştir.

Bu modelde, bir kanaldan yağmurlamaya oranla test örneği üzerinde daha geniş bir ıslak yüzey oluşmuş ve ıslak yüzey ile elektrotlar arası mesafe kısalmıştır. İşaretin frekans görünüşüne baktığımızda bileşenlerin 1 kHz - 4 kHz arasında yoğunlaşmasına rağmen, 10 Hz ile 4 kHz arası çok geniş bir görüngede işaretin frekans bileşenlerinin olduğu görülmektedir.

İki kanaldan yağmurlamada test örneği üzerinde ıslak ve kuru bölgelerin dağılımı düzensizdir. Arklar kuru bölgede oluştuğundan, kuru bölgelerin mesafelerinin bir birinden farklılık göstermesi nedeniyle arkların oluşturduğu frekans bileşenleri çok geniş bir dağılıma sahiptir.



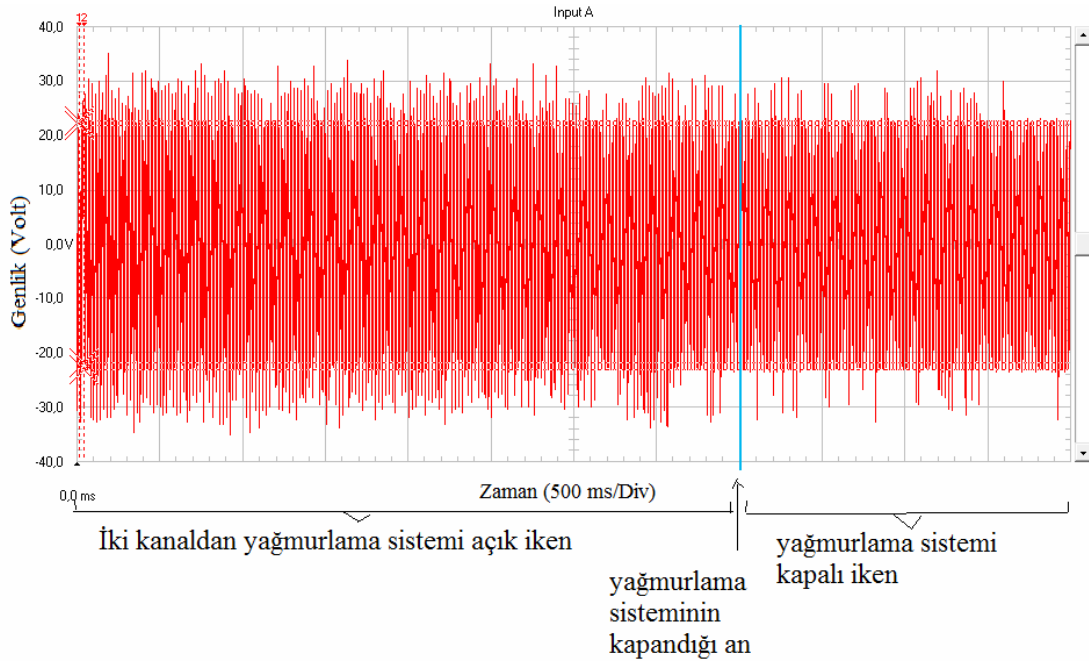
Şekil 4.25: İki kanaldan yağmurlama sırasında oluşan sinyal.



Şekil 4.26: İki kanaldan yağmurlama sırasında oluşan sinyalin frekans görünüşü

4.5.2.2. Yağmurlama durumundan kuru duruma geçiş anındaki işaretler

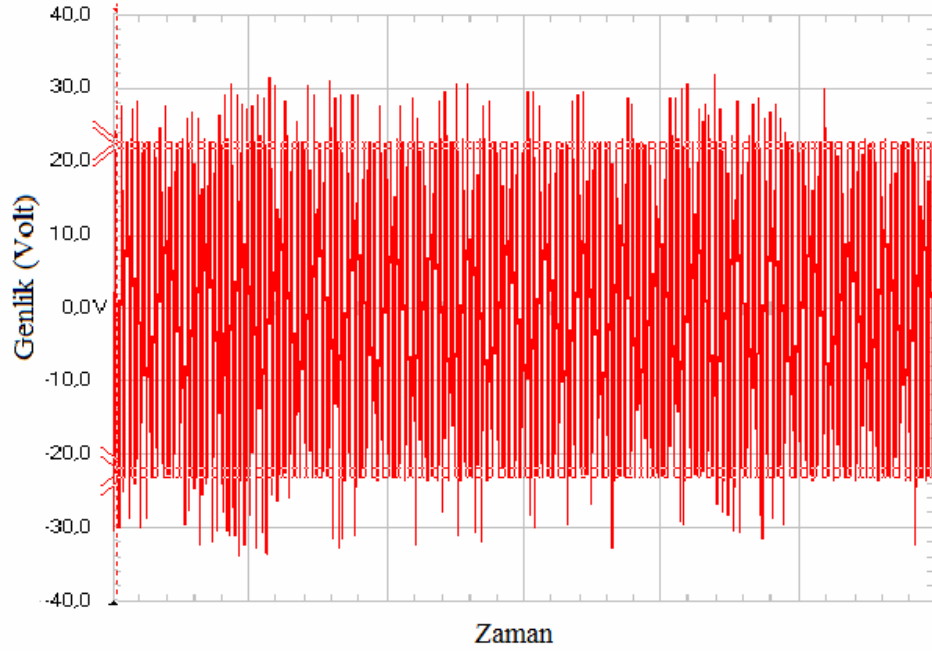
Yağmurlama sisteminin açık konumdan kapalı konuma geçişinde işaretin değişimi Şekil 4.27’de görülmektedir. Bu ıslak yüzey modelinde ıslak yüzeyin geniş ve elektrotlara yakın olması, yağmurlama sırasında ark oluşumunu gerçekleştirmiş ve yağmurlama sonrası yüzeyin kuruması aşamasında da ark oluşumları devam etmiştir. Yağmurlama sonrasındaki süreçte arklar oluşmaya devam etmiş ancak sıklığı ve gücü azalmıştır.



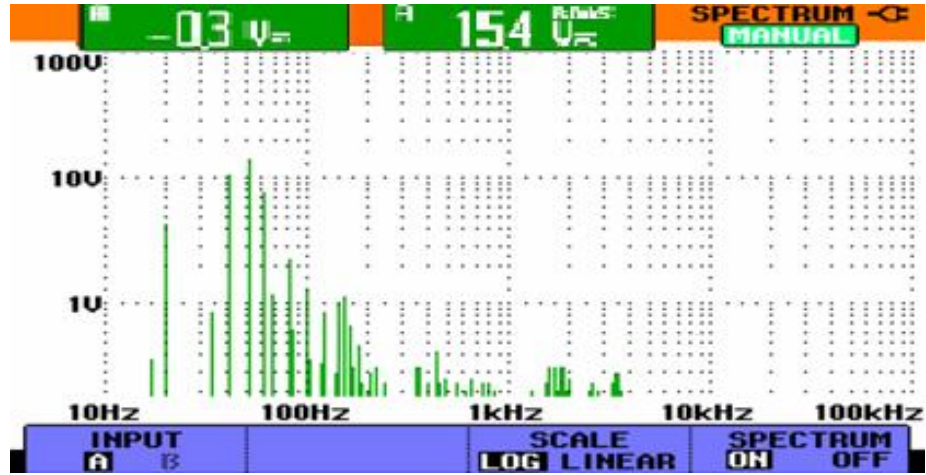
Şekil 4.27: İki kanallı yağmurlama sistemi kapandığı an ve sonrasında da içeren elektriksel ark işareti

4.5.2.3. Yağmurlama sisteminin kapanması ile deney periyodunun bitimi arasındaki işaretler

İki kanaldan yağmurlama ile oluşturulan ıslak yüzey modelinde yağmurlama sonrası yüzey ıslaklığı devam ettiğinden 30 dakikalık deney periyodunun 16. dakikasına kadar yüzeyde ark gözlenmiştir. Yağmurlama sistemi kapalı iken yüzeyde oluşan kuru yüzey elektriksel ark işareti Şekil 4.28 ve frekans görüngesi Şekil 4.29'da verilmiştir. Yağmurlama sistemi kapandıktan sonra yüzey kurumaya başlamıştır ve yüzeyde kuru bölgeler daha çok yer kaplamaya başlamıştır. Elektriksel arklar oluşmaya devam etmiş ancak sıklığı ve gücü azalmıştır. Bu durum frekans görüngesinde, frekans bileşenlerinin dağılımının ve gücünün azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.28: İki kanaldan yağmurlama modelinde kuruma anında oluşan işaret



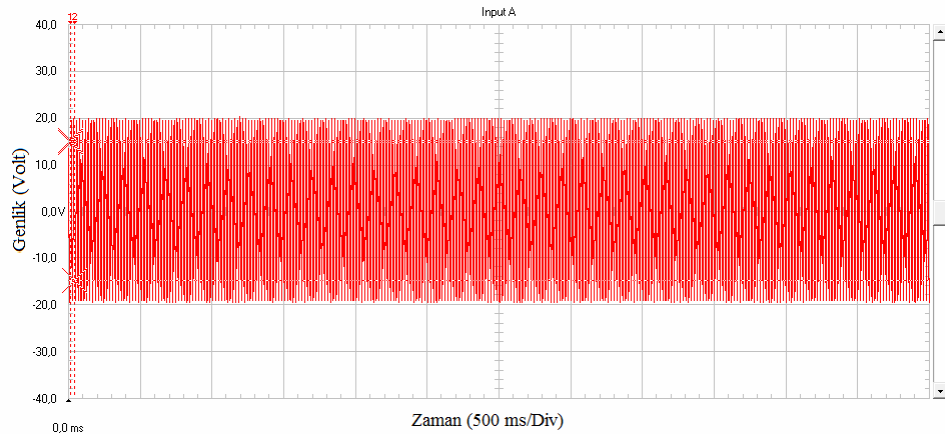
Şekil 4.29: İki kanaldan yağmurlama modelinde kuruma anında işaretin frekans görünüşü

4.5.3. Üç Kanaldan Yağmurlama İle Yaşlandırma Deneyleri Sırasında İşaret Analizi

Üç kanallı yağmurlama ile yaşlanma testleri sırasında test örneği üzerinde Şekil 4.17’de görülen ıslak yüzey modeli oluşturularak test prosedürü gerçekleştirildi. Yağmurlama sırasında üç kanaldan yağmurlama yapıldığından test örneği üzerinde elektrotlar arası her noktaya sıvı akışı sağlanmaktadır. Oluşan arkların 1 khz altında gerçekleştiği frekans görünüşünden

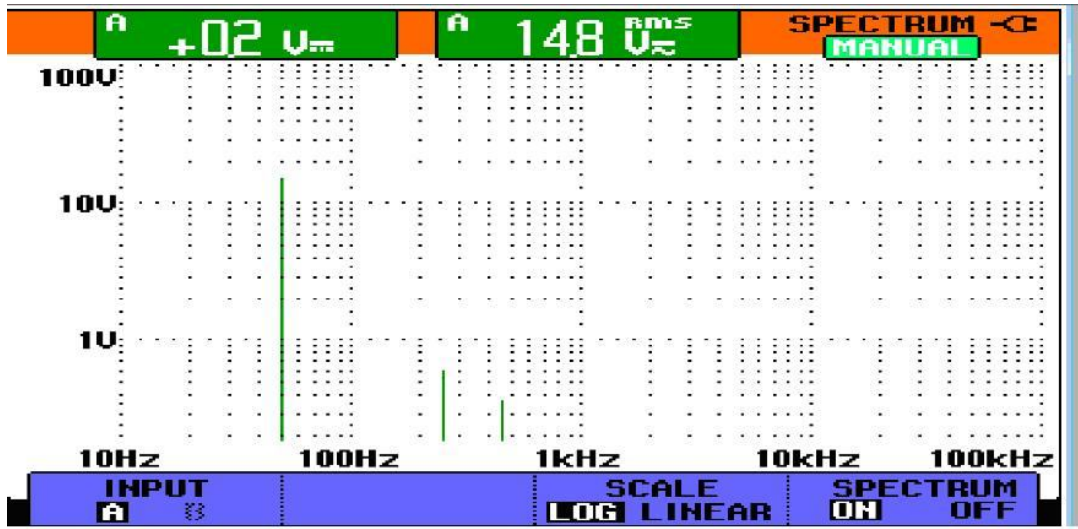
4.5.3.1. Yağmurlama anındaki elektriksel ark işaretleri

Yağmurlama sırasında test örneği üzerinde elektrotlar arası yüzey tamamen ıslak olduğundan elektrotlar arası kısa devre oluşmuştur ve yağmurlama sırasında test düzeneğinden alınan işaret Şekil 4.30’da ve frekans görünüşü Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.30: Üç kanaldan yağmurlama sırasında oluşan işaret

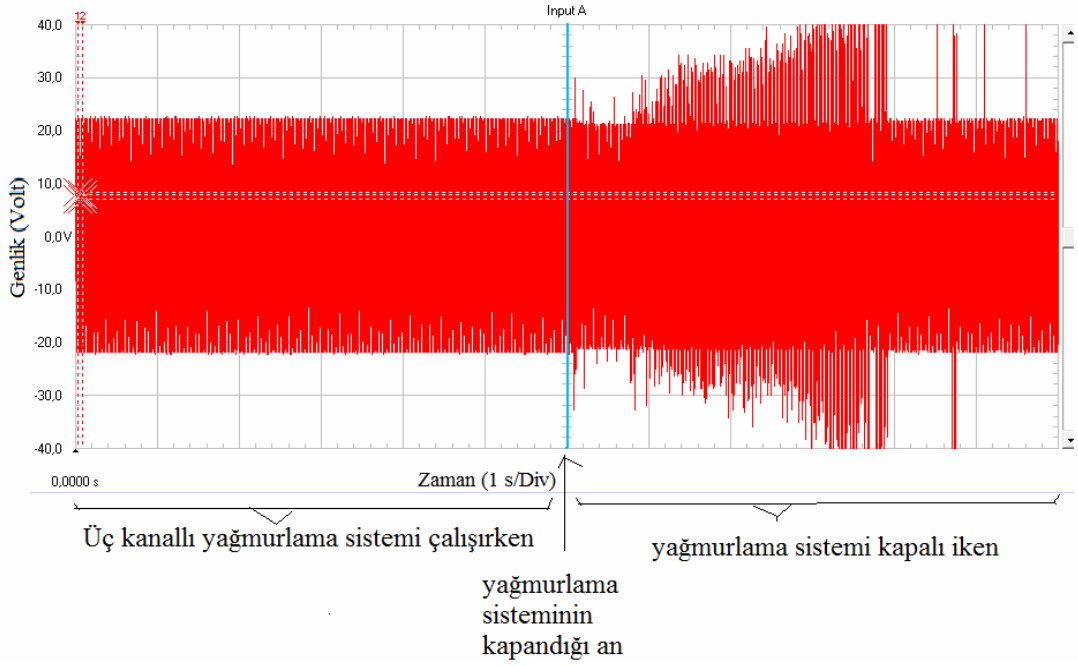
Yağış sırasında elektrotlar arası kısa devre olması ark oluşumunu yağış süresince engellemiştir. İşaretin güç görünüşünde 50 Hz temel frekans görülmektedir. Kısa devre durumunda işareten gözlemlenemeyen düşük güçlü atlamalar görüngeden gözlemlenebilmektedir. Üç kanaldan yağmurlamada yüzey tamamen ıslak olduğu için ark oluşmaz ve yaşlanma sürecine etkisi yoktur.



Şekil 4.31: Üç kanaldan yağmurlama sırasında oluşan işaret ve frekans görünüşü

4.5.3.2. Yağmurlama durumundan kuru duruma geçiş anındaki işaretler

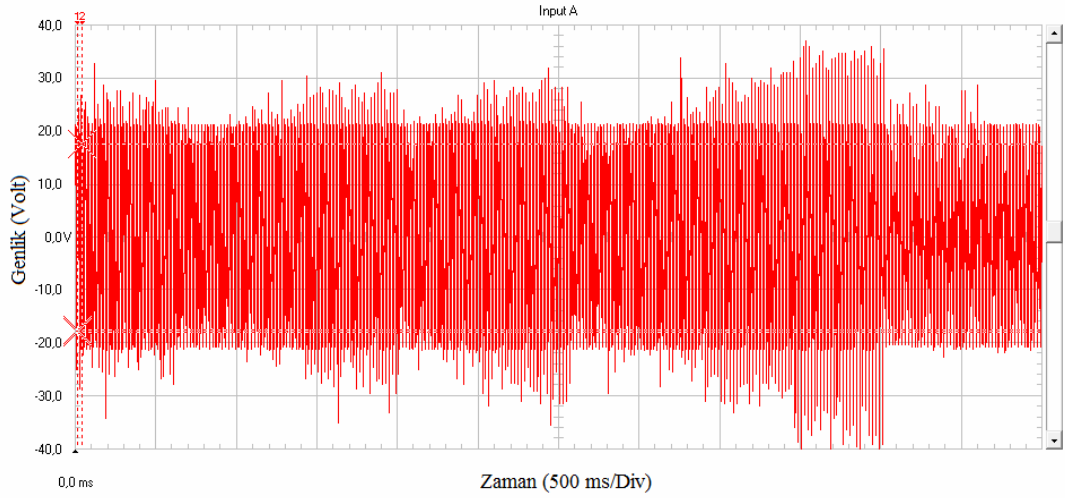
Yağmurlama sistemi açık iken yüzey tamamen ıslanmıştır ve yağmurlama sisteminin kapanması ile yüzey kuruma sürecine girer. Yağmurlama sisteminin açık konumdan kapalı konuma geçişinde işaretin değişimi Şekil 4.32’de verilmiştir. Yağmurlama sistemi kapatıldığında yüzeydeki suların bir kısmının akması sonucu oluşan kuru bölgelerde arklar meydana gelmiştir. Bu arklar neticesinde zamanla kuru bölgelerin sayısı ve ark yoğunluğu artmaktadır.



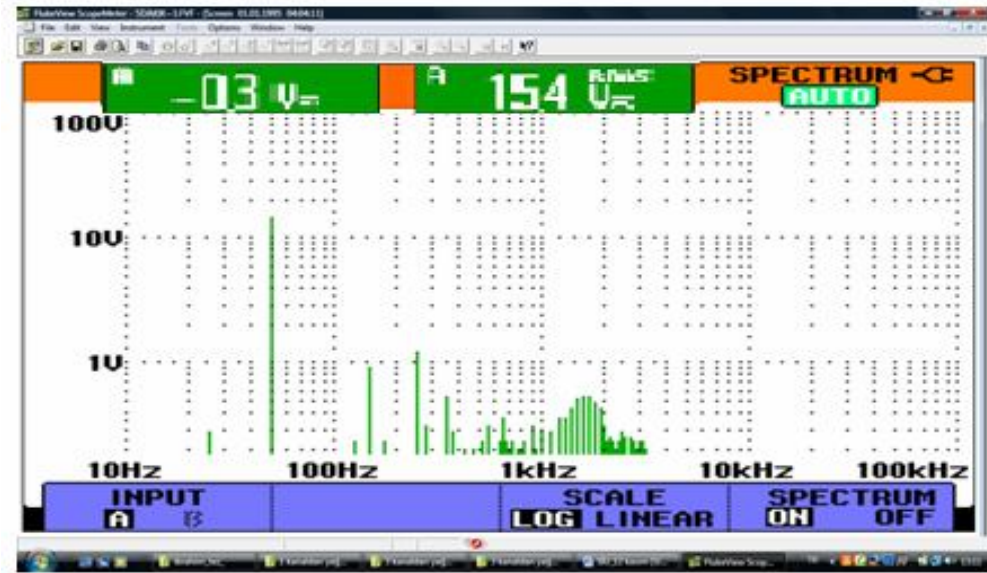
Şekil 4.32: Üç kanallı yağmurlama sistemi kapandığı an ve sonrasında da içeren elektriksel ark işareti

4.5.3.3. Yağmurlama sisteminin kapanması ile deney periyodunun bitimi arasındaki işaretler

Yağmurlama sisteminin kapanmasından sonra, diğer modellerin kuruma periyoduna oranla daha yoğun ark oluşumu gözlenmiştir. Ark oluşumu yaklaşık 25. dakikaya kadar devam etmiştir. Arkların oluşumu kendi kendini besleyen bir yapıdadır. Yağmurlama sistemi kapalı iken yüzeyde oluşan kuru band elektriksel ark işareti Şekil 4.33'te ve frekans görünüşü Şekil 4.34'te verilmiştir. Frekans görünüşünden ark yoğunluğu görülebilmektedir.



Şekil 4.33: Üç kanaldan yağmurlama modeli kuruma anında oluşan işaret



Şekil 4.34: Üç kanaldan yağmurlama modeli kuruma anında frekans görüngesi

Hava hatlarında bulunan kablo yalıtkanlarının yaşlanmasına etki eden en önemli etken, kablo yüzeyinde oluşan elektriksels arklar ve bu arklardan kaynaklanan ısılardır. Kablo yüzeyinde ark oluşumu, enerji iletim hattındaki yüksek potansiyel farkın ıslak yüzeyler vasıtasıyla taşınarak kuru bölgelerde atlamaların meydana gelmesine bağlıdır. Bu çalışmada farklı iklim şartlarında oluşan ıslak-kuru bölge modelleri için ark işaretlerinin kendisine ve frekans görüngesine bakılmıştır. Islak yüzeyin yoğunluğu bir, iki ve üç kanaldan olmak üzere yağmurlama yapılarak üç farklı seviyede sağlanmıştır.

Bir kanallı yaǒmurlama sisteminde iki dakikalık yaǒmurlama esnasında sıvının, test örneği üzerinde sınırlı bir bölgeye nüfuz etmesi nedeniyle yarı ıslak bölgeler oluşur ve yarı ıslak yüzeydeki kuru bölgelerde yağış süresince ark oluşumu yoğun bir şekilde gözlenir. Frekans görüngesinde işaret bileşenlerinin 1-4 kHz arası yoğunlaştığı gözlenmiştir. Yaǒmurlama sistemi kapandıktan sonra var olan kuru bölgelerin büyümesi sonucu ark oluşumu durmakta ve test sonuna kadar ark oluşmamaktadır. Bu nedenle bir kanaldan yaǒmurlama sisteminde kablonun yaşlanması sadece ilk iki dakikada olmaktadır.

İki kanallı yaǒmurlama sisteminde, yaǒmurlama sırasında test örneği üzerinde ıslak yüzey genişliği bir kanallı yaǒmurlama sistemine oranla daha geniş ama daha düzensiz bir yapıdadır. Bu nedenle yaǒmurlama sırasında oluşan işaretin frekans görüngesi dağımlık bir yapı gösterir. Yaǒmurlama sistemi kapandıktan sonra ıslak yüzeydeki kuru bölgeler ark oluşumunu devam ettirmektedir. Test periyodunun ortalarına kadar elektriksel arklar devam etmekte ancak yaǒmurlama durumuna göre sıklığı azalmaktadır. İşaretin frekans görüngesinde frekans bileşenlerinin gücünün ve dağılımının azaldığı görölmektedir. İki kanaldan yaǒmurlama sisteminde kablonun yaşlanması ilk iki dakikalık yaǒmurlama zamanında daha yoğun olmak üzere yaǒmurlama bittikten sonrada 16. dakikaya kadar devam etmektedir.

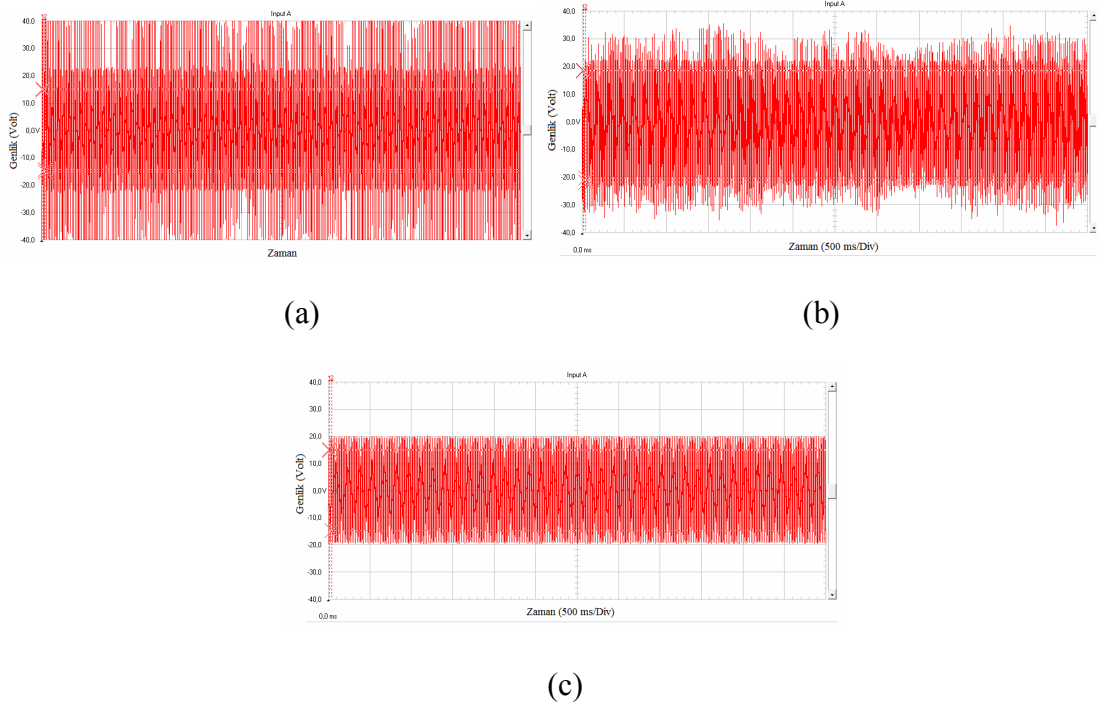
Üç kanallı yaǒmurlama sisteminde yaǒmurlama esnasında tüm yüzey ıslak olduğundan ark oluşumu gözlenmez. Yaǒmurlama sistemi kapandıktan sonra zamanla kuru bölgelerin oluşması ile arklar oluşur ve bu süreç kendini besler. Bu durum 25. dakikaya kadar devam etmekte olup frekans görüngesinden de görölmektedir. Üç kanaldan yaǒmurlama sisteminde kablonun yaşlanması yaǒmurlama sisteminin kapanması ile başlar ve test periyodunun sonlarına kadar devam eder.

Ark işaretleri ve frekans görüngelerinden de belli olacağı gibi yaşlandırma zamanları açısından en fazla yaşlandırma, sırası ile üç kanallı, iki kanallı ve bir kanallı yaǒmurlama sistemlerinde görölmüştür. Bu da bize işletme sırasında test örneğinin ne kadar ıslaklığa maruz kalırsa o kadar daha çok yaşlanacağını göstermektedir.

Bu çalışmada işaretlerin frekans ve şekil incelemesi ile elde ettiğimiz sonuçlar, Bölüm 4.4'te farklı ıslaklık seviyeleri için elde edilen kablo yaşlanma sürelerini açıklamaktadır.

4.5.4. Yağmurlama Anındaki Elektriksel Ark İşaretlerinin Karşılaştırılması

Kablo örnekleri üzerinde ıslak yüzey oluşturmak amacı ile gerçekleştirilen iki dakikalık yağmurlama anında oluşan elektriksel ark işaretleri Şekil 4.35'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

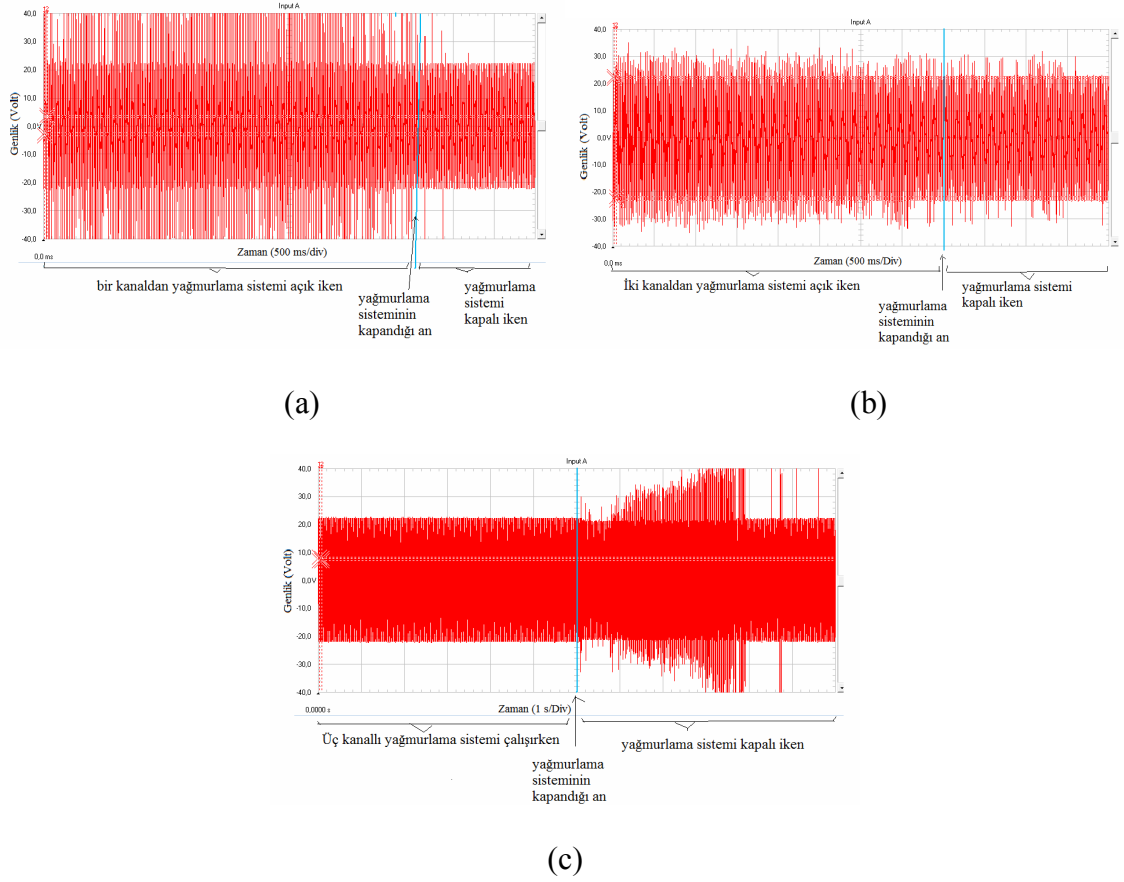


Şekil 4.35: Yağmurlama anındaki elektriksel ark işaretlerinin karşılaştırılması

Şekilde yer alan işaretler; (a) bir kanaldan yağmurlama , (b) iki kanaldan yağmurlama , (c) üç kanaldan yağmurlama durumlarında elde edilen elektriksel ark işaretlerini göstermektedir. Kablo yüzeyinde elektrotlar arası alanda ıslak yüzey artışı ark oluşumunu yağmurlama süresi için azaltmaktadır. Yüzey tamamen ıslanınca kısa devre olmakta ve ark oluşmamaktadır.

4.5.5. Yağmurlama Durumundan Kuru Duruma Geçiş Anındaki İşaretler

Yağmurlama sistemi kapandığı anda kablo yüzeyinde oluşan elektriksel arkların yağmurlama anı ve yağmurlama sisteminden kuru duruma geçiş anındaki işaret değişimleri (a) bir delikten yağmurlama (b) iki delikten yağmurlama ve (c) üç delikten yağmurlama durumları için Şekil 4.36'da verilmiştir.



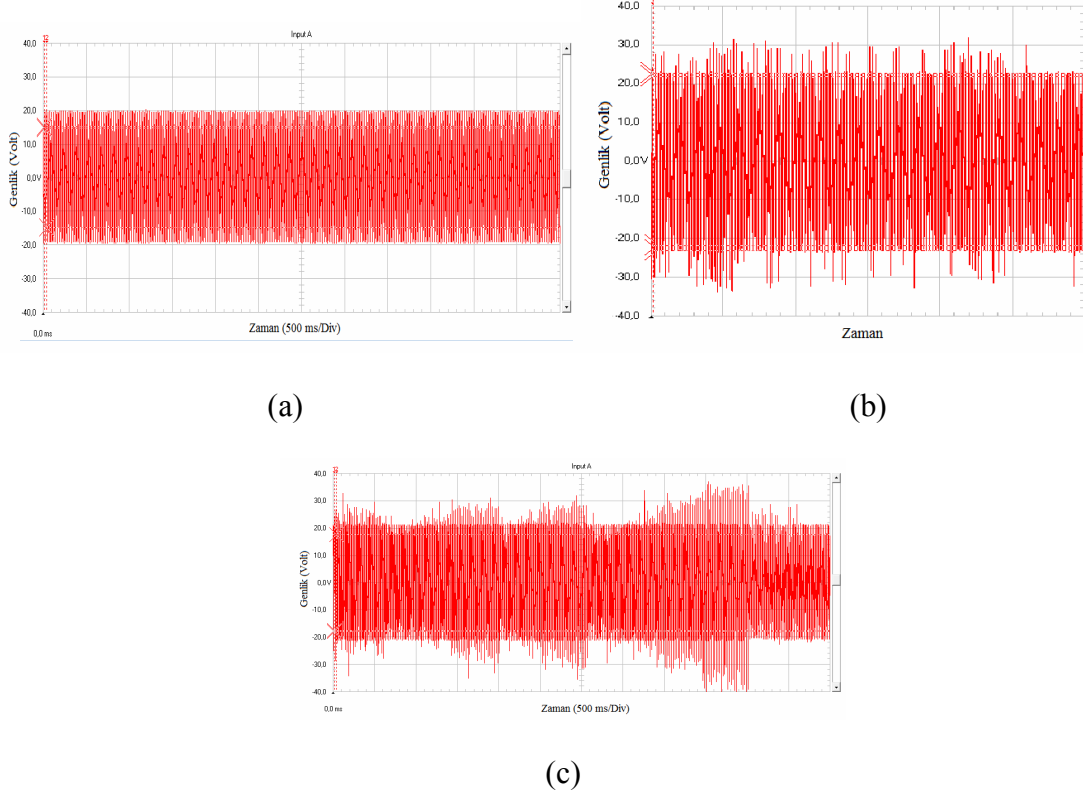
Şekil 4.36: Yağmurlama sistemlerinin kapanması durumunda değişen elektriksel ark işaretlerinin karşılaştırılması.

Geçiş anlarındaki işaret değişimleri incelendiğinde bir delikten yağmurlama ile oluşturulan ıslak yüzey miktarının yağmurlama sisteminin kapanması ile azaldığı ve tamamen kuru yüzey olduğu, bunun sonucunda da yüzeyde ark oluşmadığı, iki delikten yağmurlama sisteminin yağmurlama sonrasında da ark oluşumuna az da olsa devam ettiği, üç delikten yağmurlama sisteminde yüzeyin tamamen ıslanması sonucu kısa devre olan kablo yüzeyi zamanla kuruyarak asıl yaşlanma sürecinin yağmurlama sisteminin kapanması ile gerçekleştiği görülmüştür.

4.5.6. Yağmurlama Sisteminin Kapanması İle Deney Periyodunun Bitimi Arasındaki İşaretlerin Karşılaştırılması.

Yağmurlama sisteminin kapanması ile başlayan kuru yüzeyde ark oluşumu sürecinde kablo yüzeyinde oluşan elektriksel arkların değişimleri (a) bir delikten yağmurlama (b)

iki delikten yağmurlama ve (c) üç delikten yağmurlama ile oluşturulan kablo örneklerinde kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumları Şekil 4.37’de görülmektedir.



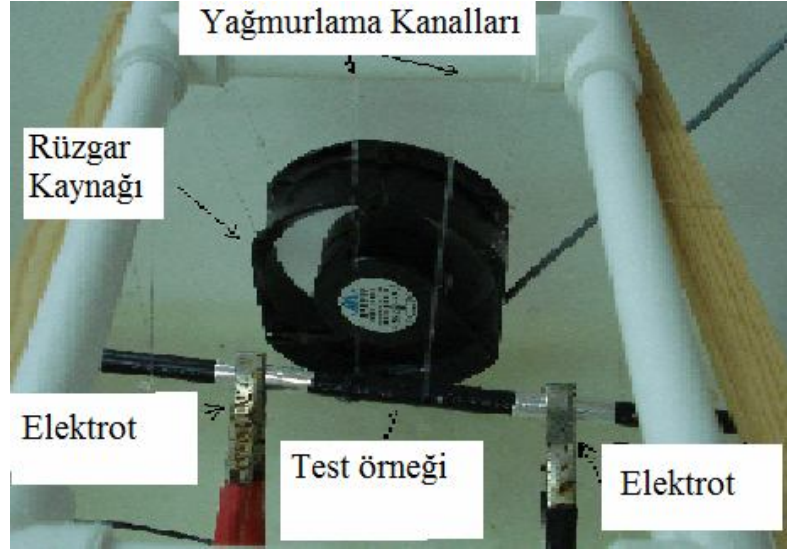
Şekil 4.37: Kuru yüzeyde elektriksel ark oluşumlarının yağmurlama deliklerinin sayısı ile değişimleri

Bir delikten yağmurlama sürecinde kablo sadece yağmurlama anında elektriksel arklara maruz kalmakta, zamanla yüzeyde arkların oluşumu bitmektedir. İki kanallı yağmurlama sisteminde yağmurlama durduğu andan itibaren test periyodunun ortalarına kadar ark oluşumu sürmekte , üç kanallı yağmurlama ile tamamen ıslak yüzey oluşan kabloda ark oluşumu yağmurlama sonrası giderek artarak kuru bölgelerde oluşan arklar kablo örneğinin yaşlanmasına ve bozulmasına neden olmaktadır.

4.6. RÜZGAR ETKİSİ ALTINDA ADSS KABLolarIN YAŞLANMA DENEYLERİ

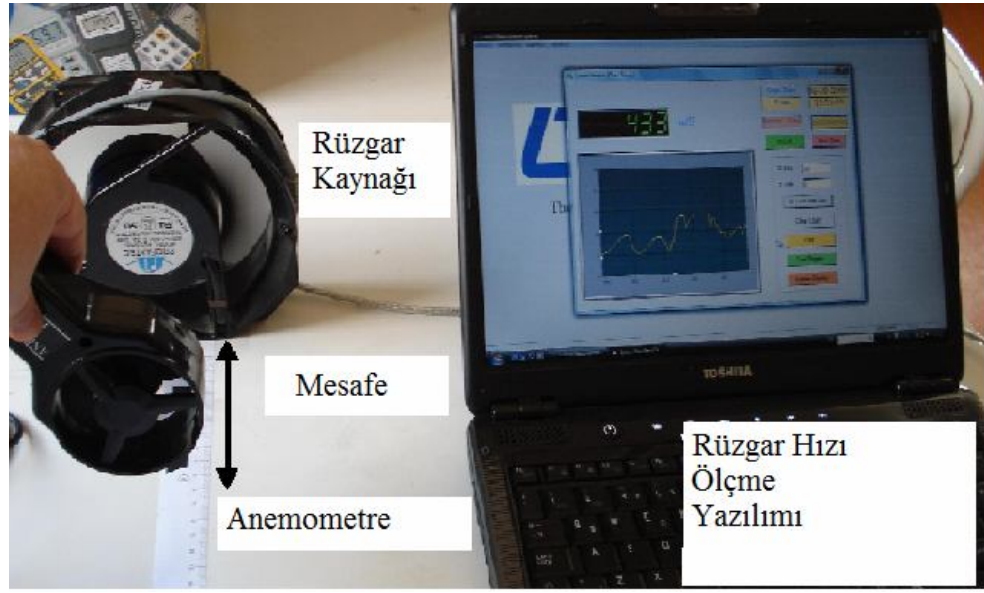
Bu çalışmada Türkiye’deki iklim koşulları ve rüzgar hızları kullanılarak laboratuvar ortamında testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ADSS kabloların Türkiye’deki kullanımında karşılaşılabilecek durumları göstermektedir. Rüzgar etkisi

testleri Şekil 4.38'teki deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında rüzgar etkisini gerçekleştirmek için 24 W gücünde rüzgar kaynağı, kuru yüzey elektriksel ark oluşumu deney düzeneğinde test örneğine dik olarak yerleştirilmiştir. Testlerde ADSS kabloya etki eden rüzgar hızları, Türkiye için 10 m yükseklikteki yıllık rüzgar aralığı olan 2.34 m/s ve 5.65 m/s rüzgar hızları arasındaki değerler alınmıştır.



Şekil 4.38: Rüzgar kaynağının eklendiği deney düzeneği

Rüzgar hızlarının yaşlanmaya etkisini belirlemek için, rüzgar kaynağının test örneğine uzaklığı değiştirilerek farklı rüzgar hızlarının etkileri test sisteminde oluşturuldu. Rüzgar hızının mesafe ile değişimi Şekil 4.39'da verilen düzenek ile ölçülmüştür. Test örneğinin rüzgar kaynağına uzaklığına göre kabloya etki eden rüzgar hızları Tablo 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.39: Rüzgar hızının ölçüldüğü deney düzeneği

Tablo 4.8: Test örneğinin rüzgar kaynağından uzaklığı ile etki eden rüzgar hızları

Test örneğinin rüzgar kaynağından uzaklığı (cm)	Rüzgar Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)
5	5.65	28
10	4.70	28
15	4.03	28
20	3.21	28
25	2.76	28
30	2.61	28
35	2.34	28

Rüzgar ölçümleri YK-80AP Lutron anemometre ile gerçekleştirilmiştir.

Rüzgar etkisi ADSS kablo üzerinde gerilme oluşturmakta ve bu gerilme kablonun işletme ömrünü etkilemektedir. Bu çalışmada rüzgar etkisi ile ADSS kablonun işletme ömründeki değişim incelenmiştir.

Yüksek gerilimde kullanılan kablo yalıtkanları dış ortam koşullarında rüzgar basıncına maruz kalırlar. Dağlık bölgede yer alan bir hava iletim hattı deniz seviyesinde yer alan bir iletim hattına oranla daha yüksek seviyede rüzgar basıncına maruz kalır. Rüzgar basıncı yüksek gerilim kulelerinin tasarımında ve bunlara yerleştirilen kabloların uzunluğunun belirlenmesinde önemli bir parametredir.

Rüzgar basıncını oluşturan parametreler havanın özgül ağırlığı (γ), yer çekimi ivmesi (g) ve rüzgarın hızı (v) dir. Deneylein yapıldığı laboratuvar şartlarında kaydedilen hava yoğunluğu $\gamma = 1.229 \text{ kg/m}^3$, yer çekimi ivmesi $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ olarak alınmıştır.

Rüzgar basıncını rüzgar hızına bağılı olarak veren ifade;

$$P_w = (\gamma * v^2) / 2g \quad (4.1)$$

Test örneği üzerine etki eden rüzgar basınçları yukarıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9: Hesaplanan rüzgar basıncı değerleri

Ölçülen Rüzgar Hızı (m/s)	Hesaplanan Rüzgar Basıncı(kg/m²)
5.65	1.99
4.70	1.38
4.03	1.01
3.21	0.65
2.76	0.47
2.61	0.42
2.34	0.34

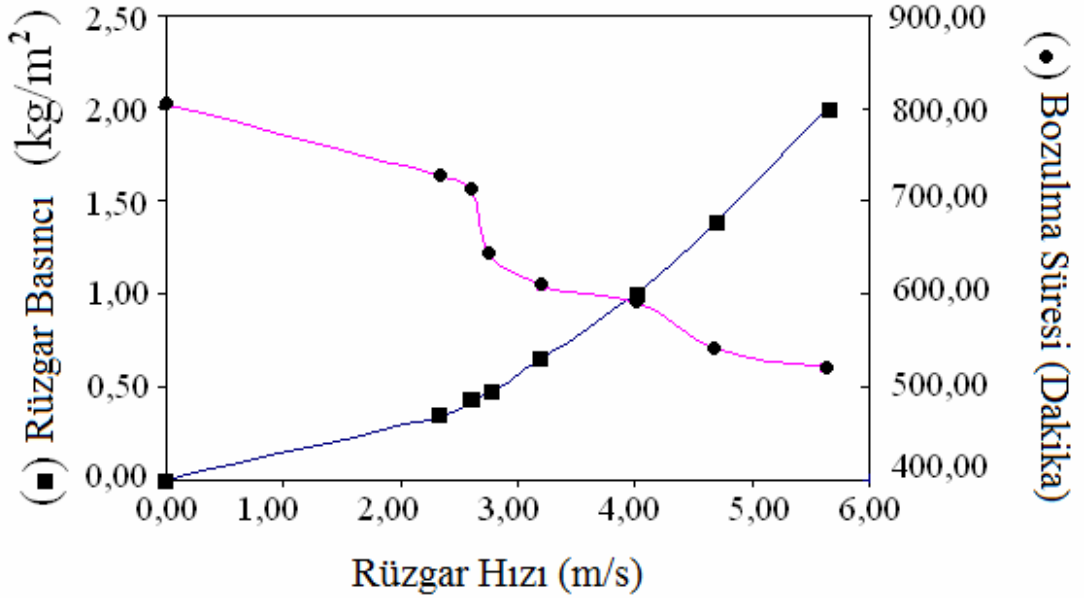
Tablo 4.9’da görüldüğü gibi rüzgar basıncı rüzgar hızının karesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Rüzgar etkisi altında ADSS kabloların yaşlanma test sonuçları Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10: Farklı rüzgar hızlarında ADSS kablo bozulma süreleri

Rüzgar Hızı (m/s)	Bozulma Süresi (Çevrim)
5.65	16.70
4.70	17.44
4.03	19.20
3.21	19.91
2.76	21.10
2.61	23.56
2.34	24.09
0	26.80

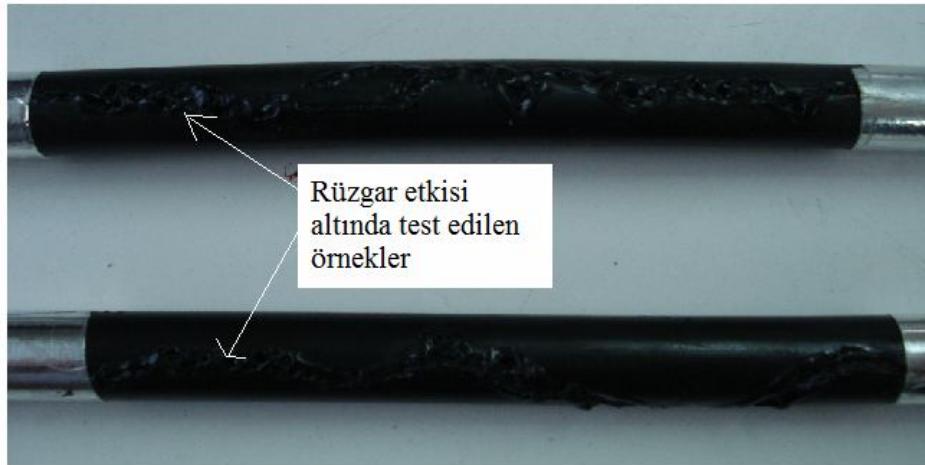
Rüzgar etkisi altında gerçekleştirilen testlerde rüzgar kuvvetinin test örneği üzerinde oluşturduğu basıncın yanı sıra, test örneği üzerine yağmurlama sırasında oluşturulan ıslak bölge, rüzgar etkisi ile kablonun rüzgar esme yönüne zıt yüzeyde oluşmaktadır. Islak bölge rüzgar etkisinden dolayı kablonun rüzgar almayan yan bölgesinde oluşmakta ve elektriksel arklar bu bölgede oluşan kuru yüzeylerde gerçekleşmekte bunun sonucunda test örneği yan yüzeyden bozulmaya uğramaktadır.

Rüzgar etkisinin değişiminin, rüzgar basıncı ve test örneklerinin bozulma süresine etkisini gösteren grafik Şekil 4.40’de verilmiştir.



Şekil 4.40: Bozulma süresinin rüzgar hızı ile değişimi

Rüzgar almayan kablolarda, ıslak bölge kablo yüzeyine dağılmakta ve kablo üzerindeki elektrik alan dağılmaktadır. Buna karşın rüzgar alan örneklerde ise rüzgar etkisi ile ıslak yüzey kablonun rüzgar almayan kısmında toplanmakta burada elektrik alan oluşmakta, sonrasında sıcaklığın diğer noktalara göre yükselmesine neden olmakta ve bunun sonucunda rüzgar etkisi altındaki kabloların daha hızlı bozulmasına neden olmaktadır. Rüzgar etkisi altında gerçekleştirilen testlerde kablo örneklerinde meydana gelen bozulmalar Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41: Rüzgar etkisi altında test edilen örneklerde bozulma

4.7. TİTREŞİM ETKİSİ ALTINDA ADSS KABLOLARIN YAŞLANMA DENEYLERİ

Kablo yalıtkan malzemesinin ömrünün, titreşime bağlı değişimini tespit etmek için laboratuvar koşullarında oluşturulan kablo örneğini yorma sisteminde çeşitli genliklerde salınımlar oluşturularak test örnekleri farklı ivme ve hız değerleri için yorulmaya tabi tutulmuştur. Test örneğini yoran titreşim hızı bir vibrasyon motoru yardımı ile değiştirilerek kablo yalıtkanının yaşlanma sürecine etkisi incelenmiş ve titreşimin değişmesi ile test örneğinin yaşlanma süresi arasındaki ilişki belirlenmiştir. Titreşim etkisinin incelendiği bu çalışmada kablo örnekleri 8 saat süresince yorulmaya bırakılmış, farklı ivme ve hız titreşim değerleri altında örnekler yorulmuştur. Yorulmaya maruz kalmış test örneklerinin Kuru-Band Elektriksel Atlamalar Test Yöntemi ile servis ömürleri belirlenmiş ve yorulmaya maruz kalmamış kablo örneklerinin servis ömürleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Hava hattı direklerde belli bir mekanik gerilim altında bulunan ADSS kablolar sürekli olarak tüm hava akımlarına maruz kalmaktadır. Hava akımlarının etkisi ile oluşan rüzgarın kablo yüzeylerine değişik yönlerden çarpması sonucu hava hattı kabloda titreşimler oluşur. Laboratuvar koşullarında bu titreşimler bir titreşim üretici tarafından üretilip kabloya uygulanmıştır. Uygulanan titreşimler malzemenin moleküler bağlarında yorulmaya ve zayıflamaya neden olmuş, titreşim etkisi altında yorulan örneklerin yaşlanma sürelerinin normal kablo örneklerinin yaşlanma sürelerine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Tablo 4.11’de titreşim motorunun ürettiği değerler, güç kaynağından titreşim motoruna uygulanan gerilimler, güç kaynağından çekilen akım değerleri, üretilen titreşimin hızı ve ivmesi verilmiştir. Testlerde 5.9, 38.7, 44.2 ve 69.8 m/s² ivme değerlerinde ve bu ivme değerlerine karşılık gelen 71.1, 93.4, 136.8 ve 187.1 mm/s titreşim hızlarında test örneklerinin sekiz saat yorulması gerçekleştirilmiş ve her bir yorulma seviyesi için beş adet kablo örneği test edilmiştir. Yorulma seviyesi için kablonun bozulma zamanı test sonuçlarının ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Yorulan örneklerin Kuru Yüzey Elektriksel Ark deney düzeneği ve IEEE 1222 test standartları doğrultusunda gerçekleştirilen yaşlanma testlerinde elde edilen sonuçları, yorulma değerlerine karşılık ADSS kablonun bozulma zamanı değerleri Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.11: ADSS kabloların yorulmasında kullanılan titreşim değerleri

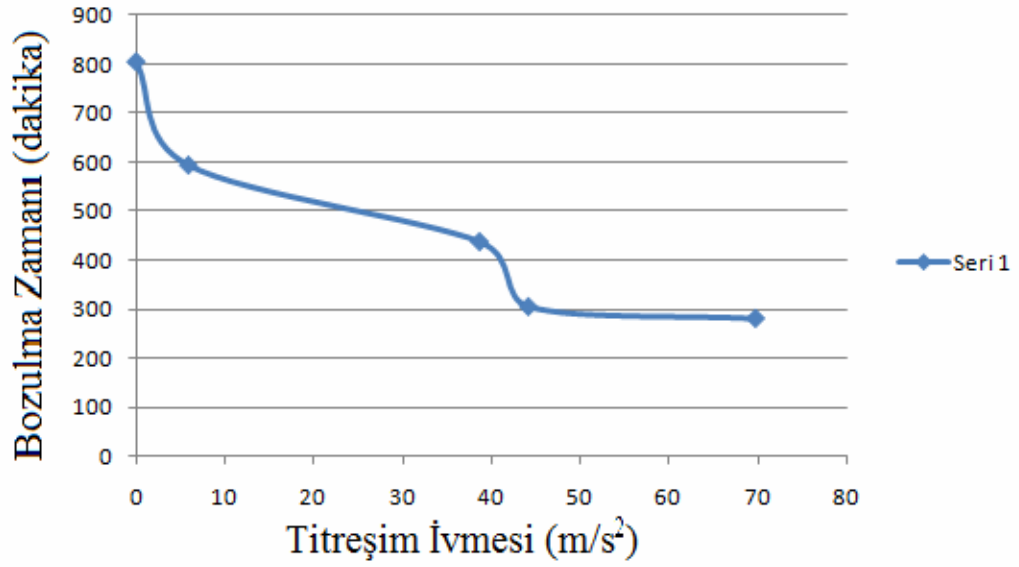
Volt (V)	Akım (mA)	ACC (m/s ²)	VEL (mm/s)
0	79	0	0
2	310	0	0
4	321	0.3	10.8
6	350	5.9	71.1
8	355	20.5	77.5
10	394	34.2	81.2
12	391	38.7	93.4
14	400	39.8	108.2
16	419	40.1	122.9
18	436	44.2	136.8
20	451	51.8	147.5
22	473	60.0	151.2
24	493	69.8	187.1

Yorma etkisini oluşturan titreşim hızının 71.1 mm/s ve ivmenin 5.9 m/s² olduğu durumda test edilen kabloların bozulma süreleri 15, 22, 22, 19, 21 çevrim, titreşim hızının 93.4 mm/s ve ivmenin 38.7 m/s² olduğu durumda test edilen kabloların bozulma süreleri 13, 19, 14, 14, 13 çevrim, titreşim hızının 136.8 mm/s ve ivmenin 44.2 m/s² olduğu durumda test edilen kabloların bozulma süreleri 12, 15, 9, 5, 10 çevrim, titreşim hızının 187.1 mm/s ve ivmenin 69.8 m/s² olduğu durumda test edilen kabloların bozulma süreleri 11, 5, 11, 11, 9 çevrim olarak bulunmuştur. Çevrim değerlerini 30 dakika ile çarparak bozulma süreleri Tablo 4.12'deki gibi dakika türünden de değerlendirilebilir.

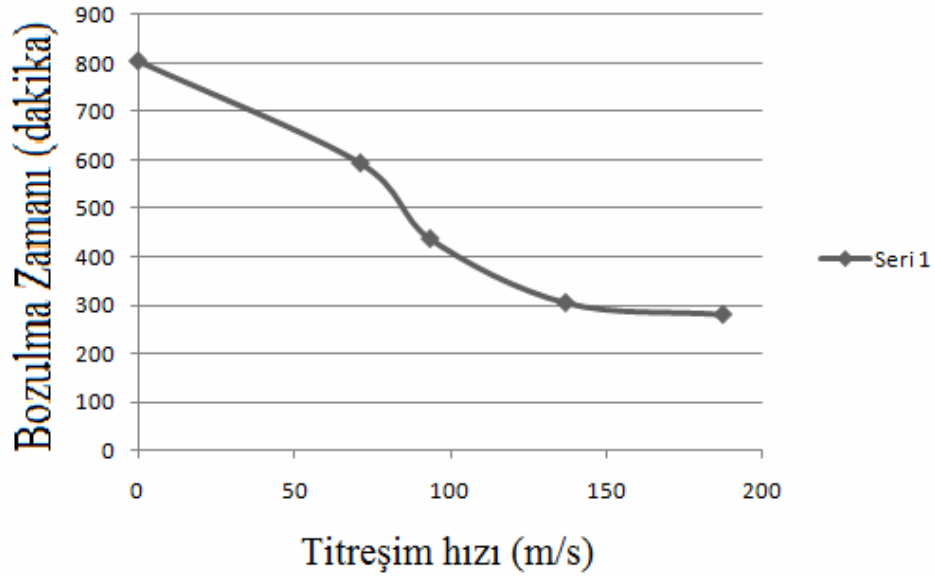
Tablo 4.12: ADSS kabloların titreşim etkisi altında bozulma zamanları

Titreşim ivmesi (m/s^2)	Titreşim Hızı (mm/s)	Bozulma süresi (dakika)
0	0	$26.80 \times 30 = 804$
5.9	71.1	$19.80 \times 30 = 594$
38.7	93.4	$14.6 \times 30 = 438$
44.2	136.8	$10.2 \times 30 = 306$
69.8	187.1	$9.4 \times 30 = 282$

Titreşim değerlerine karşılık kablo yaşlanma süresini veren grafik Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'ta görülmektedir.



Şekil 4.42: Yorulan kabloların titreşim ivmesi ile bozulma zamanı değişimi



Şekil 4.43: Yorulan kabloların titreşim hızı ile bozulma zamanı değişimi

Titreşim etkisinin incelenmesi sırasında gerçekleştirilen testlerde, otuz dakikalık periyotların sonunda yapılan kablo yüzeyindeki değişimlerin incelenmesinde, yorulan test örneklerinin üçüncü periyottan itibaren yüzeylerinde bozulmalar başladığı görülmüştür. Test sonuçlarının normal şartlarda gerçekleştirilen ADSS kablo testlerinde bulunan ömür süresinden düşük olması kablo örneklerinin titreşim etkisi ile yorulduğu ve yüzeyde oluşan elektriksel arklardan daha çabuk zarar gördüğünü göstermektedir.

Kablo yüzeyinde oluşan bozulmalar iki elektrot kenarından başlamıştır. Titreşim etkisi ile yorma sürecinde kablo örnekleri askı noktaları elektrotlar kenarından gerçekleştirilmiş ve titreşimler test örneklerinin direklere bağlantı noktaları olan bu askı bölgelerinde titreşim etkisi ile yıpranmaya neden olmaktadır. Titreşim testleri sırasında test örneği üzerinde üçüncü çevrim sonunda oluşan bozulma Şekil 4.44’de verilmiştir.



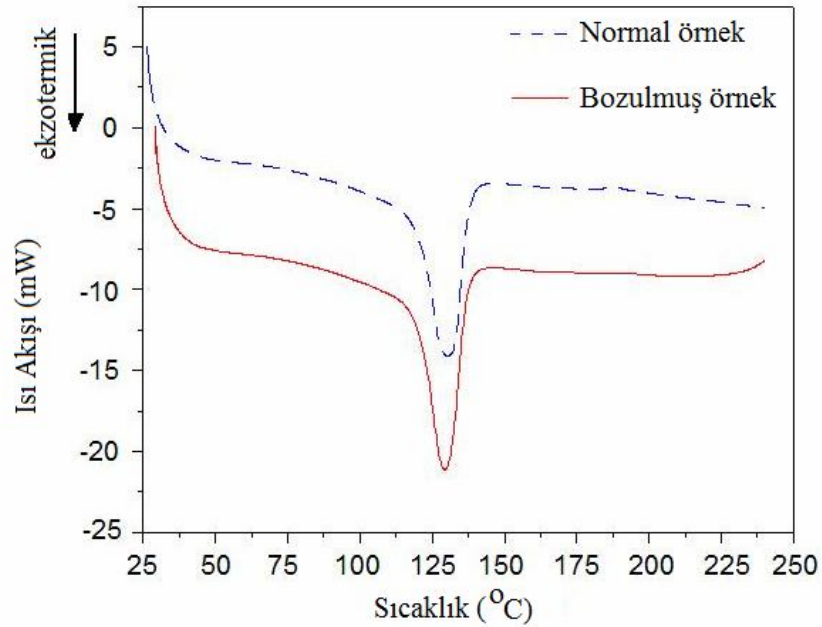
Şekil 4.44: Titreşim etkisi altında test örneğinde oluşan bozulma

4.8. FİZİKO KİMYASAL DENEYLER

Kuru yüzey elektriksel ark deneyleri sonucunda, test örneğinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla test öncesinde ve test sonrasında kablo örneği üzerinden bozulmuş ve bozulmamış bölgelerden numune alarak, diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi, FTIR analizi, TGA analizi ve SEM incelemesi gerçekleştirilmiştir.

4.8.1. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi Sonuçları

Kablo test örneklerinden alınan numunelerin DSC analizleri ile kablo ceketini oluşturan dış kılıfının bozulma sıcaklığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Test örneğinin yüzeyinde deney sırasında elektriksel arklar nedeniyle meydana gelen ısı artışı, malzemenin erimesine ve yalıtkanın bozulmasına neden olmaktadır. Bu süreçte gerçekleşen arkların kablo yüzeyinde sıcaklık artışını hangi seviyeye çıkardığı kablo yalıtkanının erime davranışından anlaşılmaktadır. Kablo örneğinden bozulmuş ve bozulmamış bölgelerden alınan numunelerin DSC analizi sonuçları Şekil 4.45’de verilmiştir.

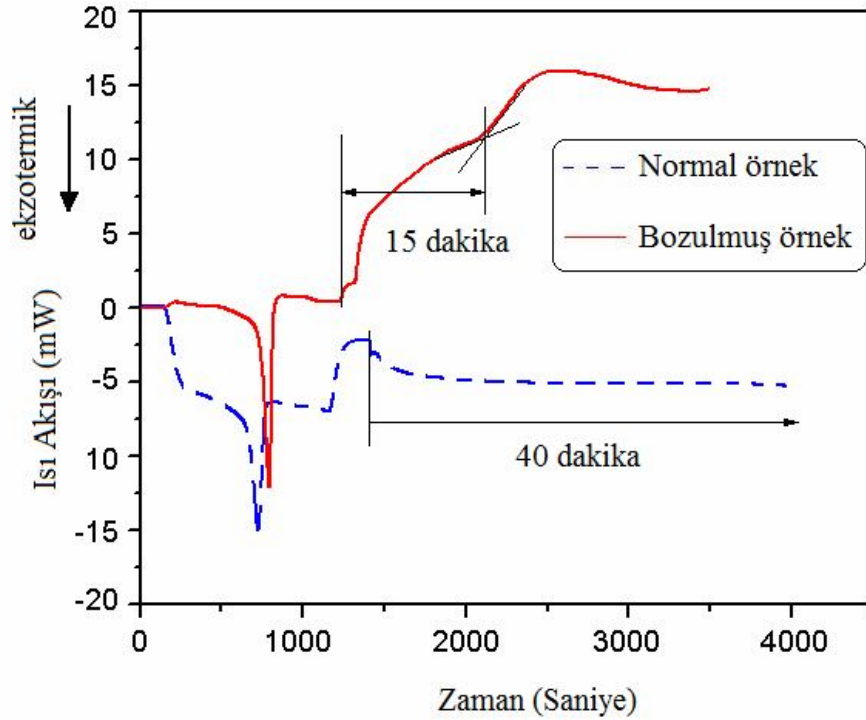


Şekil 4.45: ADSS kablo kılıfı DSC analiz sonuçları

15 mg bozulmaya uğramış bölgeden alınan test örneği, 15 mg normal yüzeyden alınan test örneği DSC analizi ile 10 °C/dakika sıcaklık artışı gerçekleştirilerek erime davranışı test edilmiş ve 20-400 °C sıcaklık aralığında malzeme incelenmiştir. ADSS kablo

ceketinin erime noktasının 130 °C olduğu Şekil 4.45'den görülmüştür. Normal ve bozulmuş kablo örnekleri için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kablo yüzeyinde elektriksel arkların oluşturduğu ısı etkisi ile test örneğinde meydana gelen değişme erime noktasını değiştirmemektedir. Bozulmuş ve bozulmamış ADSS kablo kılıflarının HDPE malzemesinin erime sıcaklığı 130 °C' dir.

OIT (Oxidative Induction Times) grafiği Şekil 4.46'te verilmiştir. Bozulmuş örnek yapısında uçucu maddeler malzemenin yapısından uzaklaştığından, bozulmaya uğramış malzemenin yanma işlemi 15 dakika daha sürmektedir. Buna karşın normal örnek yapısında yanma aşaması gerçekleşmediğinden malzemeye verilen ısı 40 dakika boyunca örneğin yanmasını sağlamaktadır.



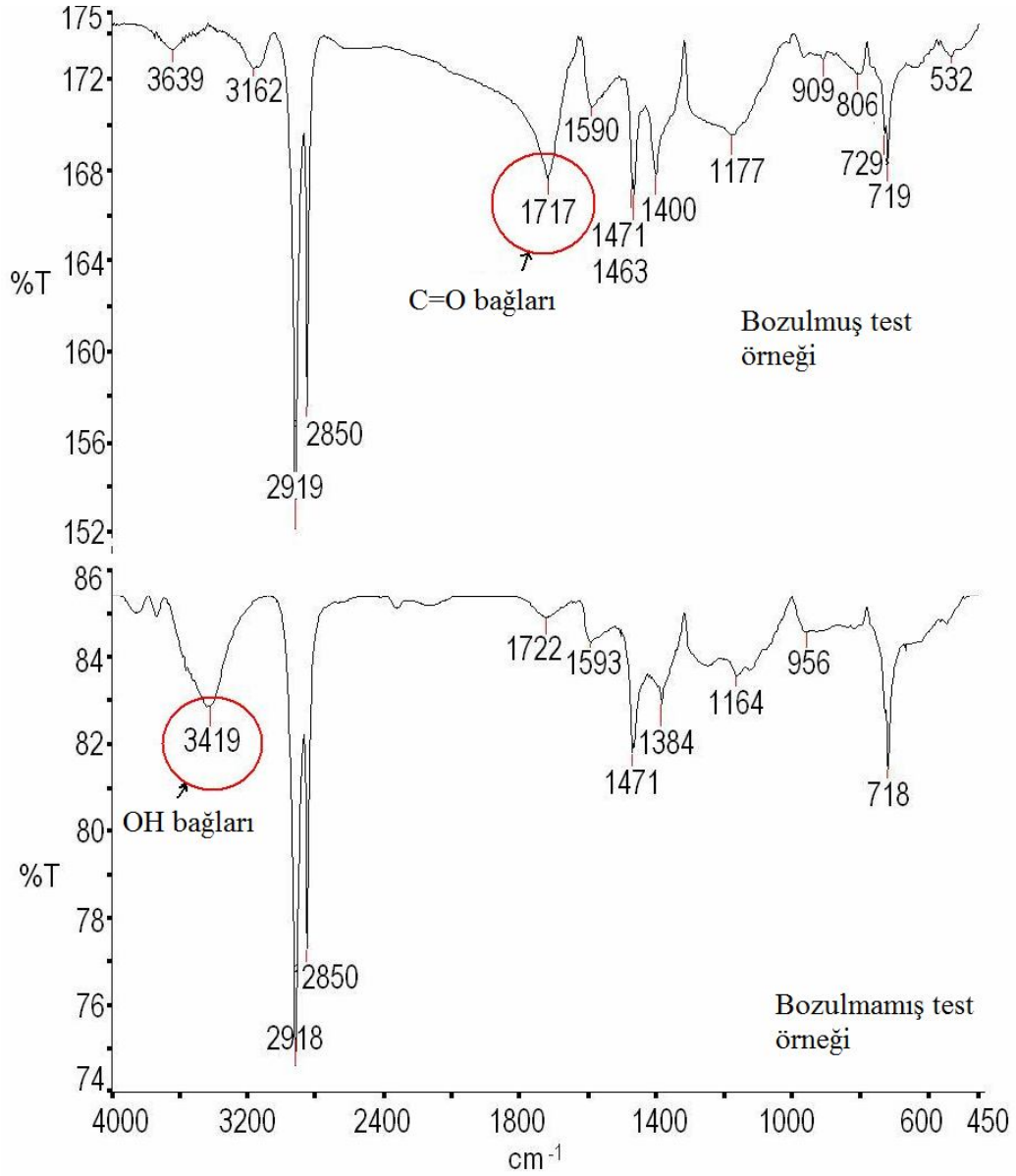
Şekil 4.46: Test örneklerine verilen ısının zamanla değişimi

4.8.2. FTIR Analizi Sonuçları

Test edilmemiş ADSS kablo numunelerinin ve elektriksel arklar sonucu değişime uğramış ADSS kablo örneklerinin FTIR (Fourier Transform Infrared Spektrometresi) Görüngesinden, test örneklerinin deney öncesi ve sonrası moleküler bağ karakterizasyonunda meydana gelen değişiklikler belirlenmiştir.

HDPE yapısındaki başlardan 4000-450 cm^{-1} arasındaki görüńge alınmıştır. FTIR analiz sonuçlarına göre deney öncesi kablo örneğinde OH başları (3500-3000 cm^{-1}) görölmektedir. Kuru Yüzey Elektriksel Ark oluşumu deneyleri sonunda değişime uğrayan test örneğinde yapılan FTIR analizinde 3500-3000 cm^{-1} aralığında bulunan OH başlarının değişime uğradığı görölmektedir.

Değişime uğrayan test örneğinden alınan numunenin FTIR analizi sonucu, elektriksel arklar ısı etkisi ile malzeme yüzeyinin moleküler bağ yapısında değişim meydana getirdiğinden OH başları yerine C=O (1720-1640 cm^{-1}) karbonil başları gözlenmiştir. Bu başlar kuru yüzey elektrik ark oluşumu test öncesi malzeme yapısında bulunmamaktadır. Kablo yüzeyinden alınan örneklerin FTIR analizi yapılarak malzeme yapısında meydana gelen kimyasal bağ değişimi Şekil 4.47' te verilmiştir.



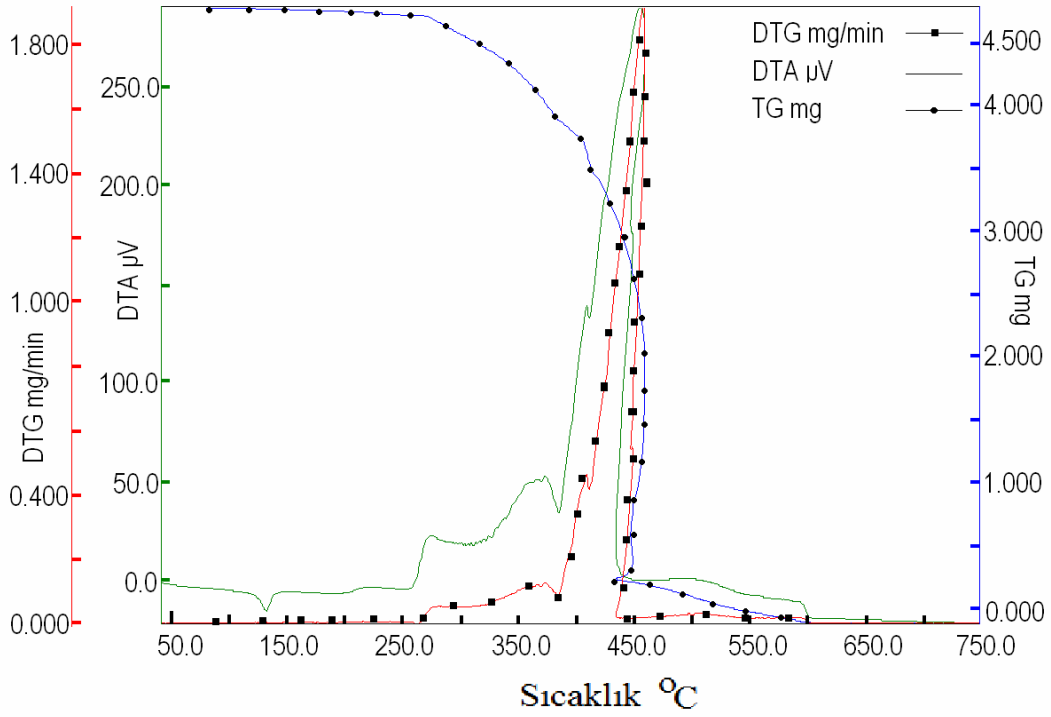
Şekil 4.47: ADSS kabloların yaşlanma deneyleri öncesi ve sonrası FTIR analizi sonuçları

4.8.3. ADSS Kabloların TGA Analiz Sonuçları

Bu çalışmada test örneği olarak kullanılan ADSS kabloların yalıtkan yüzeyinde elektriksel arklar sonucu oluşan bozulmaların termogravimetrik analiz ile, test örneğinde sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen ağırlık değişiklikleri tanımlanmıştır. ADSS kabloların yaşlanma testinden önce yapılan TGA analizleri Şekil 4.48'te verilmiştir. Burada kablo yalıtkanının ısı davranışları görülmektedir. Kablo yalıtkanında bozulma 300 °C' de başlamakta ve 450 °C' ye kadar devam etmektedir.

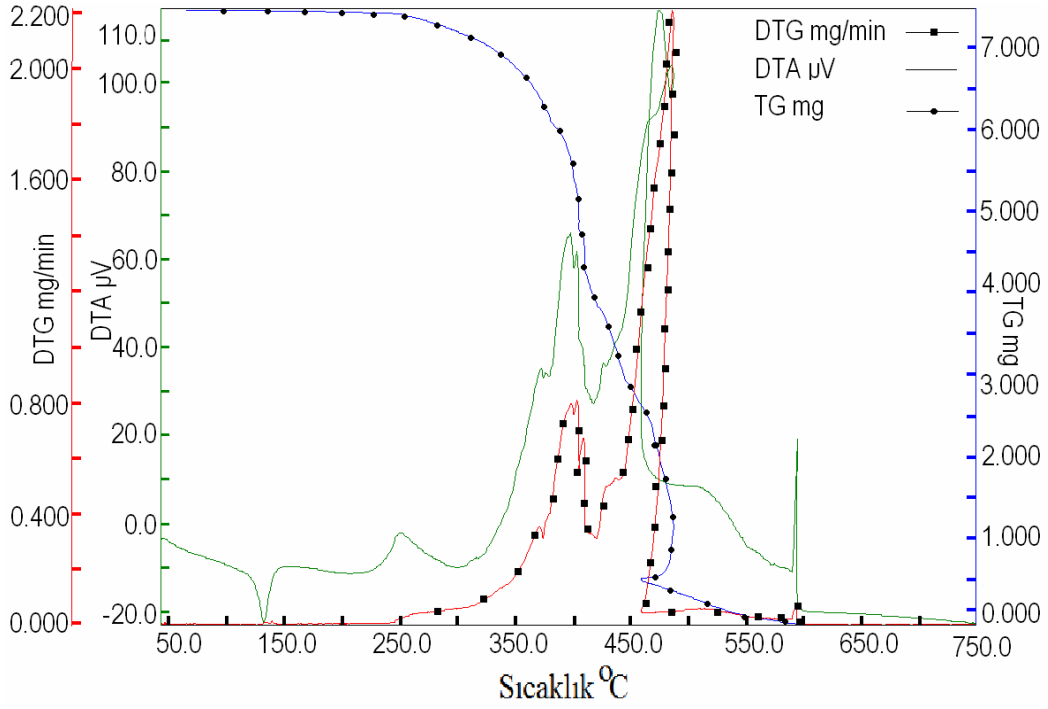
Bu sonuçlar OIT/DSC sonuçlarını desteklemektedir. Şekil 4.48’te birinci –y eksenini (DTG mg/dak) bozulmamış ADSS kablosunun sıcaklıkla kütle değişimini vermektedir.

İkinci –y eksenini (DTA) Sıcaklık-Diferansiyel Termal Analizi değişimini vermektedir. Yaşlanma testleri yapılmamış test örneğinin DTA analizi ile test örneğinin bozulmasının 400 °C’ de başladığı 450 °C’ de bittiği görülmektedir.



Şekil 4.48: ADSS kablonun yaşlanma deneyleri öncesi TGA analizi sonuçları

ADSS kabloların yaşlanma testinden sonra yapılan TGA analizleri Şekil 4.49’da verilmiştir. Yaşlanma testlerinden sonra kablo yalıtkanında bozulma 350 °C’de başlamakta ve 470 °C’ ye kadar devam etmektedir.

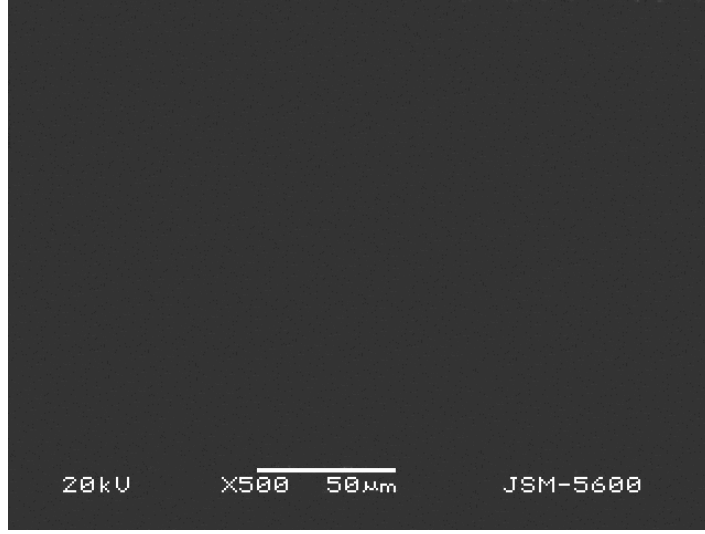


Şekil 4.49: ADSS kablonun yaşlanma deneyleri sonrası TGA analizi sonuçları

4.8.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi Sonuçları

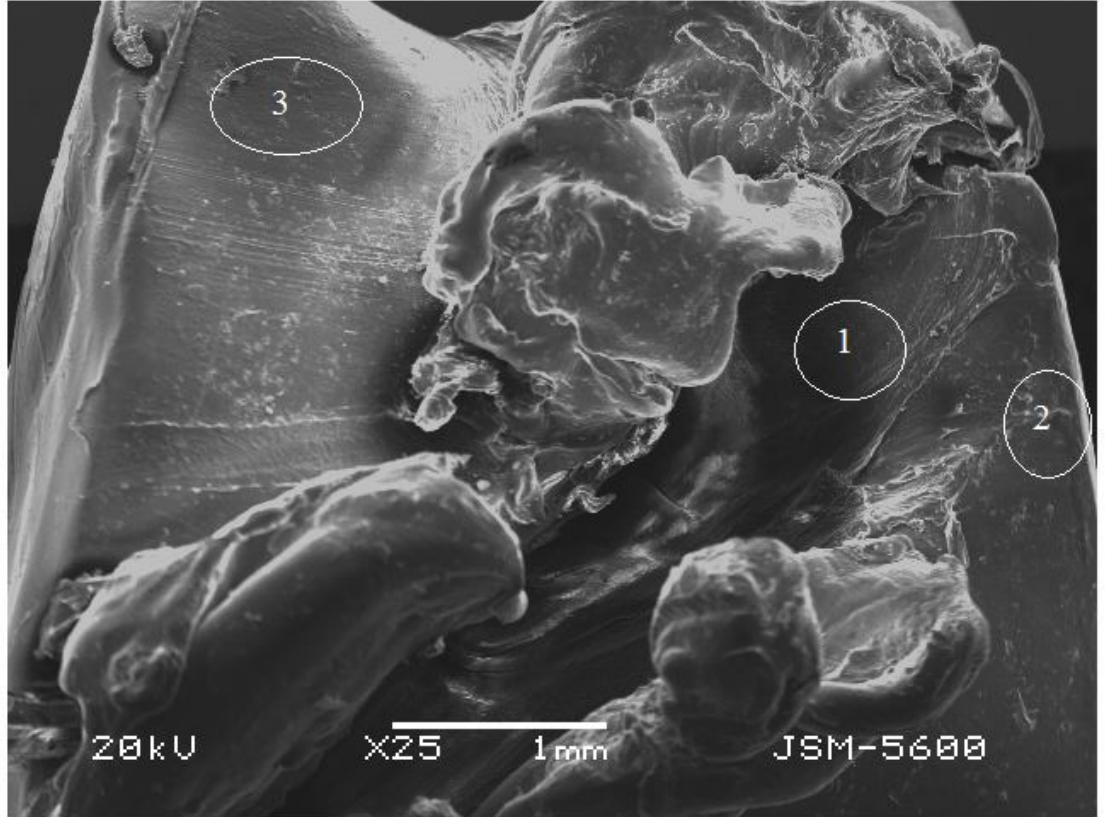
Kuru yüzeyde elektriksel ark deneyleri öncesi ve sonrası ADSS kablo yüzeyindeki bozulma davranışında oluşan değişiklikler taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Kullanılan örnek yüzeyleri bozulmayı temsil edebilecek örnek yüzeylerinden alınmıştır. Kablo yüzeyinde elektriksel arkların oluşturduğu bozulma bölgesinden ve bozulmanın hiç gerçekleşmediği kablo yüzeyinden SEM analizi için numune alınmıştır.

Taramalı elektron mikroskobunda, kullanılan ADSS kablonun deneyler gerçekleştirilmeden önce yapılan SEM görüntüsünde örnek yüzeyinin görüntüsü Şekil 4.50'de 500 kat büyütülerek verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi örnek yüzeyi pürüzsüzdür.



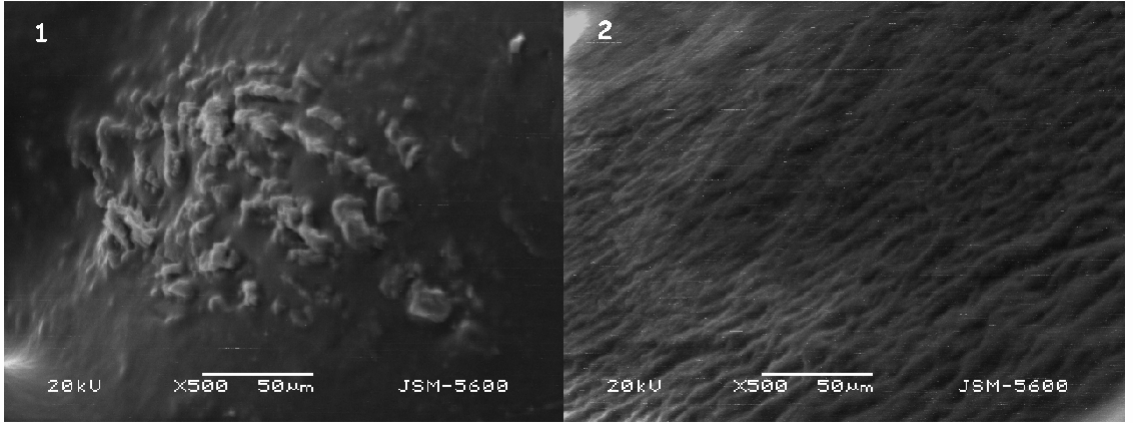
Şekil 4.50: Deneyler gerçekleştirilmeden önce ADSS kabloya ait SEM görüntüsü (Büyütme 500 kat)

Kuru yüzey elektriksel ark oluşumu işleminden sonra test örneğinde bozulmuş bölgeye ait SEM görüntüsü 25 kat büyütülmüş olarak Şekil 4.51’de verilmiştir.



Şekil 4.51: Bozulmuş örneğin SEM görünümü (Büyütme 25 kat)

Burada örnek yüzeyinde gerçekleşen ize ait bir kesit verilmiştir. Şekil 4.51’de (1) bölgesi iz oluşumunun gerçekleştiği anayolda yer almaktadır. Yol içerisindeki karbonlaşmış alan net olarak görülmektedir. (2) bölgesi, bozulma sonrası izin daha az belirgin olarak gerçekleştiği bir yolda yer almaktadır. Yol içerisindeki süngerimsi görünümlü karbonize alan burada da gözlenmiştir. (3) bölgesi çıplak gözle yapılan kontrolde iz oluşumunun gözlenmediği bir alana aittir. Bu alan 500 kat büyütüldüğünde Şekil 4.52’deki görüntü elde edilmiştir. Şekil 4.52 incelendiğinde örneğin bozulma sonrası iz oluşumu gerçekleşmemiş bölgelerinde de bozulmaya uğradığı görülmüştür. Şekil 4.52’de (1) nolu görüntü yüzeyde az da olsa elektriksel ark oluşumu gerçekleştiği ve bu arkların malzeme üzerinde bozulma gerçekleştirdiğini göstermektedir. Ark sonucu oluşan ısıl etkiler malzemenin yapısında değişiklik oluşturmaktadır.



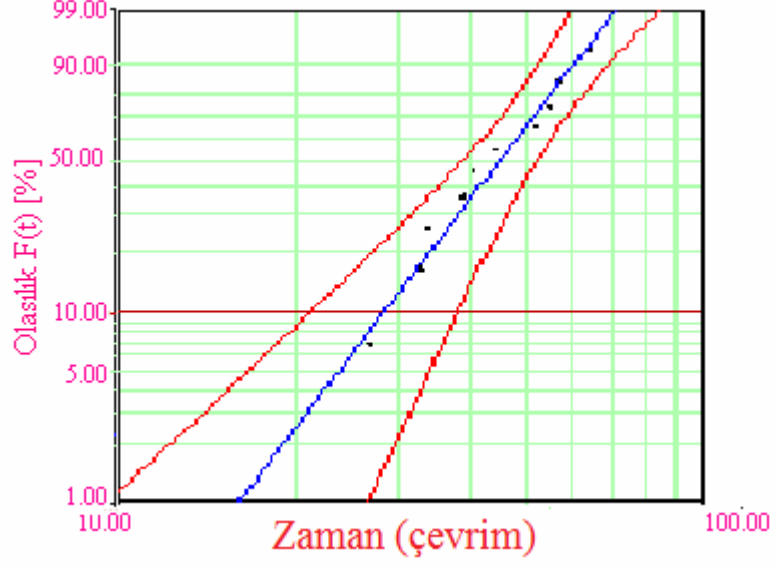
Şekil 4.52: (1) Bozulmaya uğramış yüzeyin SEM görünümü

(2) Bozulma olmamış yüzeyin SEM görünümü

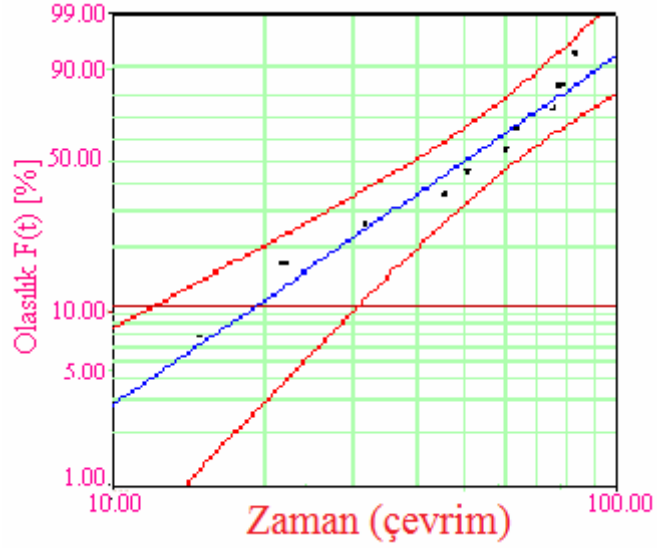
4.9. GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

Bu çalışmada kuru yüzey elektriksel ark oluşumu deney düzeneği ve eğik düzlem deney düzenekleri kullanılarak gerçekleştirilen ADSS kabloların yaşlandırma testlerinde elde edilen test örneklerinin bozulma sürelerinin güvenilirlik analizi yapılmıştır. Güvenilirlik analizi yapılırken Weibull 7++ programından yararlanılmıştır. Yapılan istatistiksel analiz her iki test yöntemi ile elde edilen ömür sürelerine uygulanmıştır. Kuru yüzey elektriksel ark oluşumu deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilen üç farklı ADSS kablo için yaşlandırma testleri sonuçları Bölüm 4.1’de yer alan Tablo 4.1’de verilmiştir.

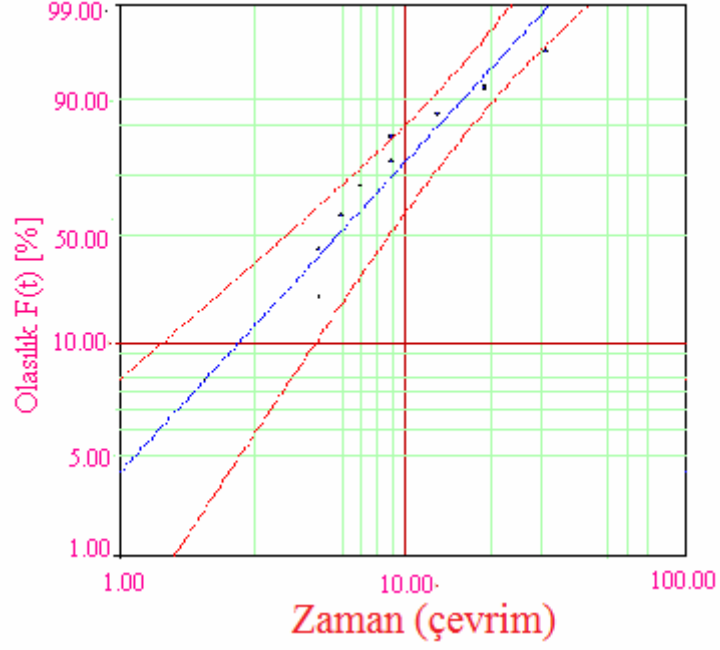
Bu test sonuçları için elde edilen ömür sürelerinin Weibull dağılımına uygunluğu Şekil 4.53, Şekil 4.54 ve Şekil 4.55’de verilmiştir.



Şekil 4.53: A kablosu için elde edilen ömür sürelerinin Weibull dağılımına uygunluğu

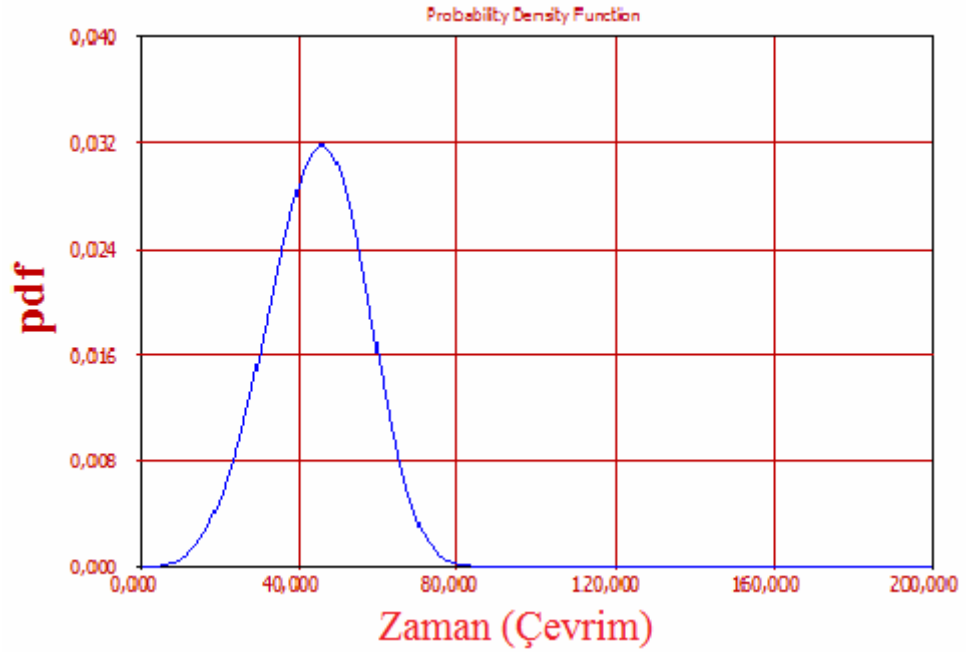


Şekil 4.54: B kablosu için elde edilen ömür sürelerinin Weibull dağılımına uygunluğu

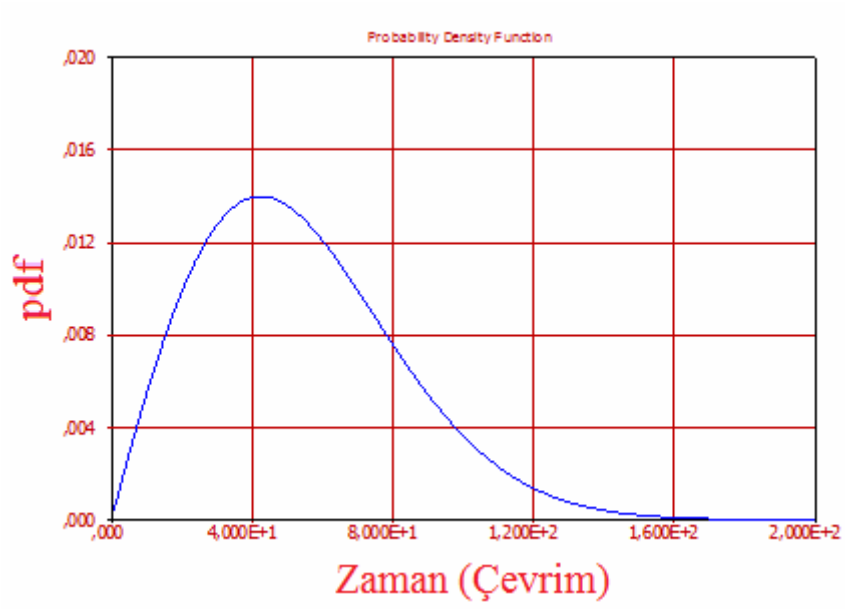


Şekil 4.55: C kablosu için elde edilen ömür sürelerinin Weibull dağılımına uygunluğu

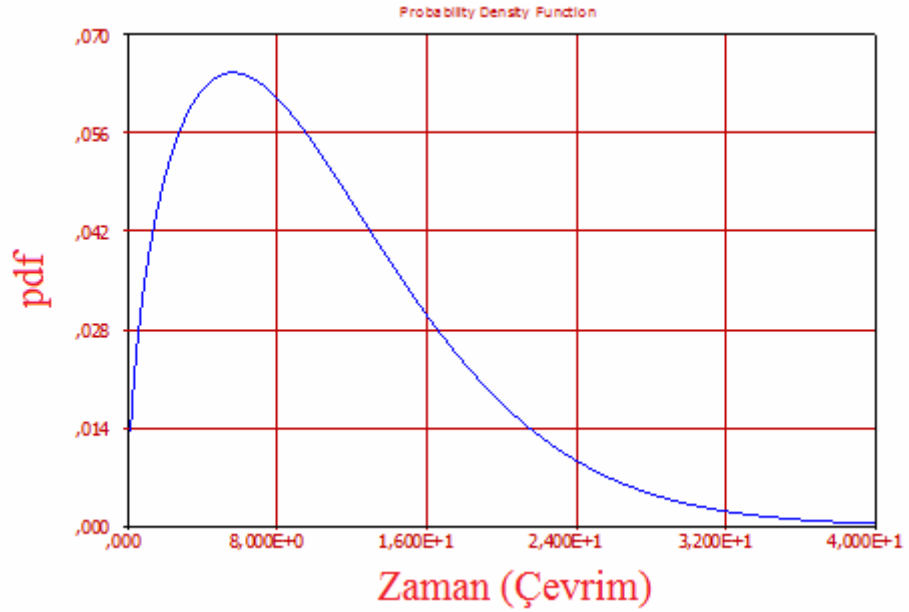
A, B ve C kablolarının ömür sürelerine ait Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (pdf) Şekil 4.56, Şekil 4.57 ve Şekil 4.58’te verilmiştir.



Şekil 4.56: A kablosunun ömür süreleri için olasılık yoğunluk fonksiyonu



Şekil 4.57: B kablosunun ömür süreleri için olasılık yoğunluk fonksiyonu



Şekil 4.58: C kablosunun ömür süreleri için olasılık yoğunluk fonksiyonu

Weibull dağılımı temel olarak iki parametreye bağlıdır. Bunlar, β 'Şekil' parametresi ve α 'Ölçek' parametreleridir. Elde edilen kablo ömür zamanlarından oluşturulan Weibull dağılımına göre benzer örnekler arasından seçilen bir parçanın bir t zamanından önce bozulma olasılığı;

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (4.2)$$

formülünden bulunur. $F(t)$ birikimli olasılık dağılım fonksiyonuna ait (Cumulative Distribution Function, CDF) α ve β parametreleri, gözlem sonuçlarına maksimum olabilirlik (Maximum Likelihood), lineer regresyon, grafik ve moment (MOM) yöntemleri uygulanarak hesaplanabilir.

Bu çalışmada Bölüm 4.1'de Tablo 4.1'de verilen kablo ömür sürelerine maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak farklı dağılım yöntemleri için elde edilen Likelihood değerleri Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13: Farklı dağılımlar için Likelihood değerleri

Dağılım	A Kablosu	B Kablosu	C Kablosu
Üstel Dağılım	-48.410	-49.852	-33.612
Normal	-38.653	-45.529	-35.209
Weibull	-38.522	-45.795	-32.722
Gamma	-38.777	-46.107	-32.461

Birikimli olasılık dağılım fonksiyonunun türevini alarak olasılık yoğunluk fonksiyonu (Probability Density Function, PDF) $f(t)$ elde edilir.

$$\frac{dF(t)}{dt} = f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (4.3)$$

Bir parçanın bozulacağı ya da sağlam kalacağı olasılığından yola çıkarak bozulma olasılığıyla bozulmama olasılığı toplamının 1'e eşit olacağını söyleyebiliriz. Bu durumda parçanın sağlam kalma olasılığı yani güvenilirliği;

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4.4)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (4.5)$$

formülünden hesaplanır.

A, B ve C kabloları için Weibull dağılım parametreleri α ve β Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14: A, B ve C kabloları için Weibull dağılım parametreleri

A Kablosu			B Kablosu			C Kablosu		
Alt	Alfa	Üst	Alt	Alfa	Üst	Alt	Alfa	Üst
44.1588	48.9948	54.3604	48.4993	60.7083	75.9906	48.4993	60.7083	75.9906
Alt	Beta	Üst	Alt	Beta	Üst	Alt	Beta	Üst
2.9747	4.1053	5.6655	1.3837	1.9706	2.8064	1.3837	1.9706	2.8064

Ortalama ömür fonksiyonu, ortalama bozulma süresi;

$$\mu = m = \int_0^{\infty} t.f(t)dt \quad (4.6)$$

bağıntısından bulunur.

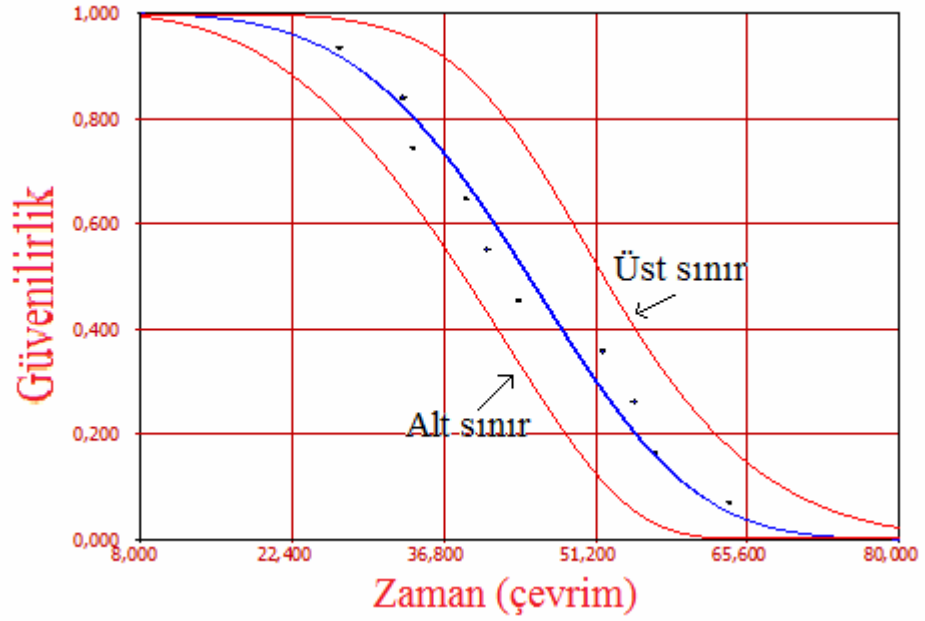
A, B ve C kabloları için ortalama deneysel ömür süreleri ve istatistiksel ömür süreleri Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15: Test örneklerinin istatistiksel ve deneysel ömür süreleri

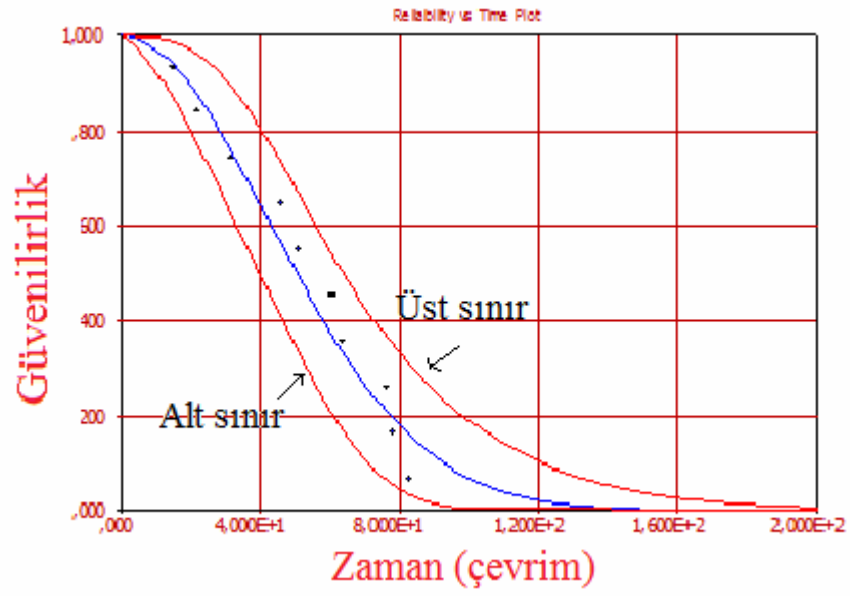
	A Kablosu	B Kablosu	C Kablosu
İstatistiksel Ömür	44.47	53.81	10.42
Deneysel Ömür	44.6	52.8	10.6

Tablo 4.15'teki sonuçlardan en dayanıklı kablonun B kablosu olduğu görülmektedir.

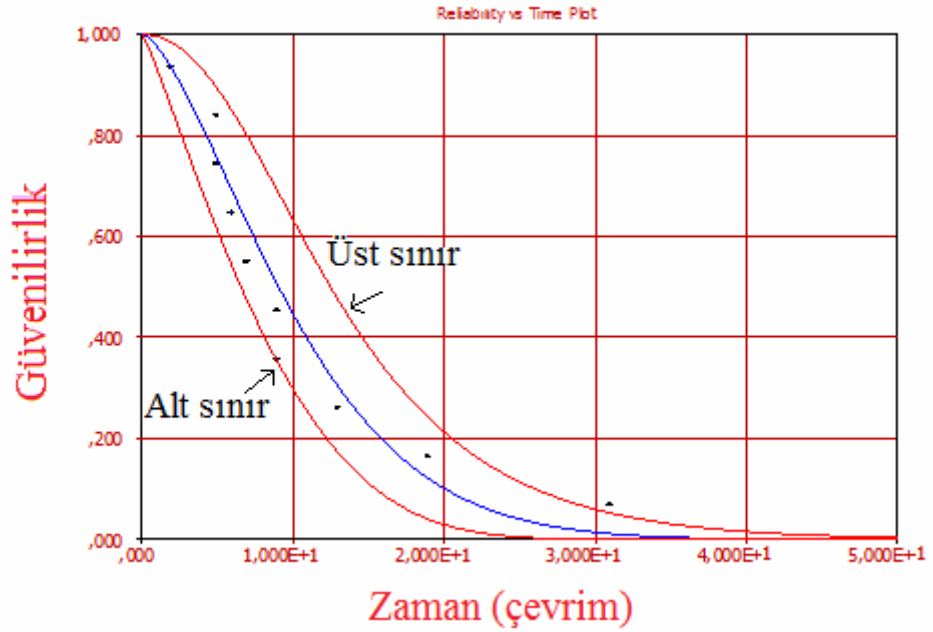
Test örneklerinin güvenilirlik eğrileri, Weibull parametrelerinin alt ve üst limitleri ile Şekil 4.59, Şekil 4.60 ve Şekil 4.61'de verilmiştir.



Şekil 4.59: A kablosunun güvenilirlik eğrisi



Şekil 4.60: B kablosunun güvenilirlik eğrisi



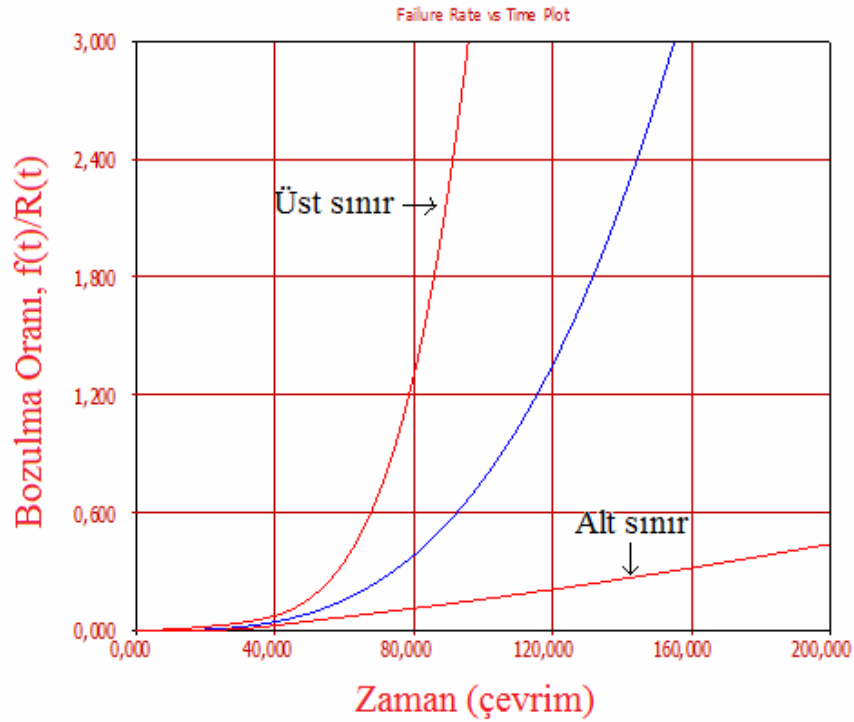
Şekil 4.61: C kablosunun güvenilirlik eğrisi

Test örneklerinin olasılık yoğunluk fonksiyonları (pdf) ve güvenilirlik eşitlikleri Tablo 4.16'da verilmiştir.

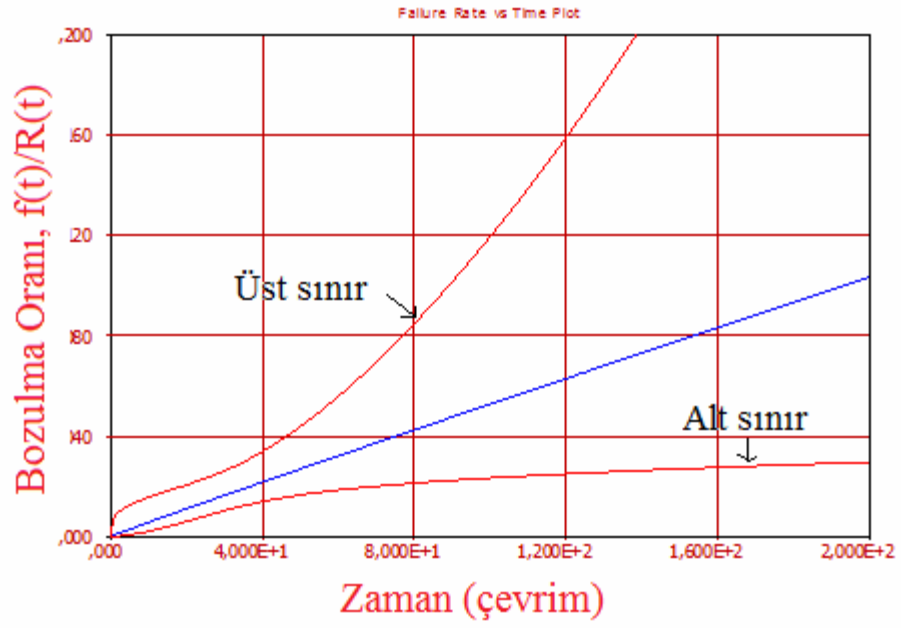
Tablo 4.16: Kablo test örneklerinin PDF ve güvenilirlik eşitlikleri

	PDF(f(t))	Güvenilirlik (R(t))
Kablo A	$0,0838 \left(\frac{t}{48,9947} \right)^{3,1053} \exp \left[- \left(\frac{t}{48,9947} \right)^{4,1053} \right]$	$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{48,9947} \right)^{4,1053} \right]$
Kablo B	$0,0324 \left(\frac{t}{60,7083} \right)^{0,9706} \exp \left[- \left(\frac{t}{60,7083} \right)^{1,9706} \right]$	$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{60,7083} \right)^{1,9706} \right]$
Kablo C	$0,1304 \left(\frac{t}{11,5495} \right)^{0,5065} \exp \left[- \left(\frac{t}{11,5495} \right)^{1,5065} \right]$	$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{11,5495} \right)^{1,5065} \right]$

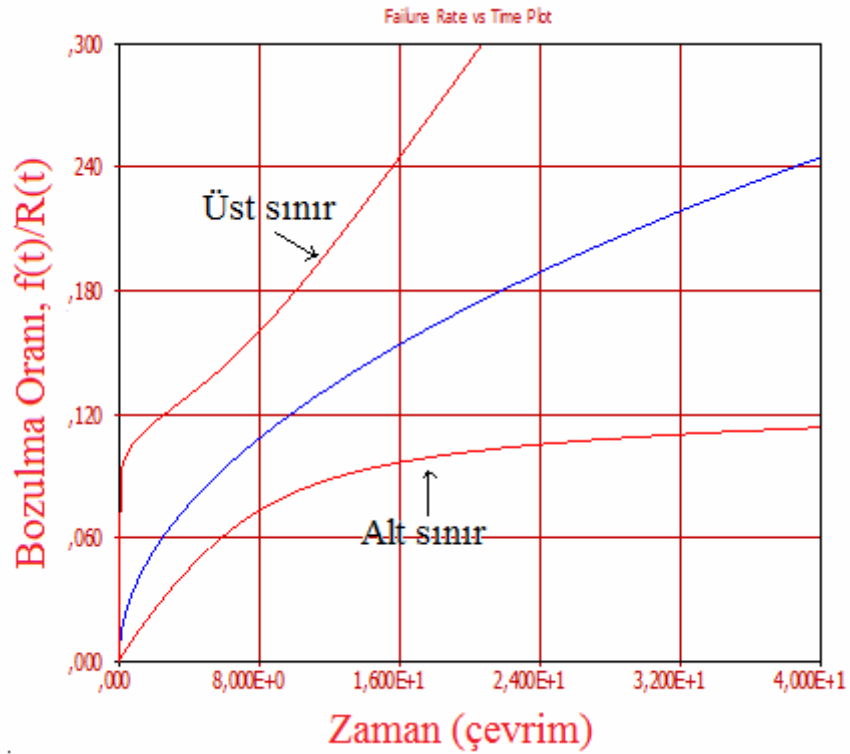
Sistemlerin kurulumu sırasında, mühendisler ve araştırmacılar genellikle bozulma oranı grafiklerini kullanmaktadır. Test örneklerine ait bozulma oranı - zaman grafikleri Şekil 4.62, Şekil 4.63 ve Şekil 4.64’de verilmiştir.



Şekil 4.62: A kablosu için bozulma oranı-zaman eğrisi



Şekil 4.63: B kablosu için bozulma oranı-zaman eğrisi



Şekil 4.64: C kablosu için bozulma oranı-zaman eğrisi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Fiber optik kabloların, sağladıkları geniş bant, elektromanyetik girişimlerden etkilenmeme, kolay yalıtım ve yüksek güvenilirlik gibi özellikleri ile elektrik enerjisi iletim sistemlerinde kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. enerji iletim hattında kullanılan yalıtkan yüzeyli haberleşme kablolarında, elektrik alan etkisi ile yaşlanma oluşmaktadır.

Bu çalışmada kabloların farklı rüzgar hızları etkisi altında ve titreşim etkisi ile yorulmaları sonucu işletme ömürlerinde meydana gelen değişme belirlenmiştir. Kablo yüzeyinde ıslak yüzey değişimi ile oluşan arkların yapısı incelenmiştir.

Çalışmalarımızda ülkemiz koşullarında haberleşme sisteminin hava hattı fiber optik kablolar ile gerçekleşmesi ve enerji iletim hattı mekanik sisteminin birleştirilmesi sonucu oluşacak etkiler ve bu etkiler altında kabloların başarımları test edilmiştir.

Enerji iletim hattında kullanılan haberleşme kablolarının yaşlanmalarına etki eden çevresel faktörlerin etki dereceleri belirlenmiştir. Test örneklerinin çevresel etkenler altındaki başarımları Kuru Yüzeyde Elektriksel Ark (Dry Band Arcing Test) oluşumu yöntemi ile incelenmiştir.

Kablo örneklerinin yaşlanma süreleri IEEE 1222 test standardına uygun olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile bulunmuştur. Deneysel çalışmalar sırasında test örneklerinin kaçak akım bileşenleri deney boyunca kaydedilmiştir. Elde edilen kaçak akım işareti ve frekans görüngeleri incelenmiş, bozulma davranışı ile arasındaki ilişki belirlenmiştir. Deney sonucunda örneklerin ömür süreleri belirlenmiş ve yaşlanma sürecinde ortam koşullarının değişimi ile test örneği yüzeyinde oluşan arkların yapısı incelenmiştir.

Kablo örneklerinin yaşlanma testlerinde daha kısa sürede sonuç alınabilecek, IEEE 1222 ve ASTM D2303 test standartları kombinasyonunda kablo testleri için yeni bir deney düzeneği önerilmiştir. Her iki deney yönteminde elde edilen test sonuçları karşılaştırılmış ve deney sistemlerinin üstünlükleri belirlenmiştir.

Kablo örneklerin yaşlanma testleri farklı deney düzenekleri ve mevcut deney düzeneklerinde çevresel etkilerin oluşturulması ile gerçekleştirilmiş, farklı deney sistemlerinde yapılan test sonuçları yorumlanmıştır.

Kabloların farklı iklim koşulları altındaki performanlarını incelemek için, hava hattı kablolarda oluşan farklı ıslak yüzey modelleri geliştirilmiş ve kablunun bu ıslak yüzey modelleri ile yaşlanma testleri gerçekleştirilmiştir.

Hava hatlarında kullanılan farklı tip F/O kablolardan askı halatlı fiber optik kablolar ile askı halatsız fiber optik kablolar test edilmiş ve yüzeyin aşınmasında oluşan farklılıkların nedenleri incelenmiştir. Askı halatlı F/O kablunun zayıf yönleri belirlenmiş ve elektriksel yaşlanmalara karşı servis ömrünü arttırıcı modeller geliştirilmiştir.

ADSS kabloların hava hattı yüksek gerilim enerji iletim hattında kullanımı sırasında, kablo üzerine, mevsim şartlarına göre değişen, rüzgar etkisinden kaynaklanan etkiler incelenmiş, farklı rüzgar esme hızlarına göre kablolar test edilerek, rüzgar etkisi altındaki test sonuçları ile rüzgar etkisinin olmadığı durumda elde edilen test sonuçları karşılaştırılmış, rüzgar değişiminin kablunun servis ömrüne etkisi belirlenmiştir.

Yüksek miktarda titreşime maruz kalan alanlarda kullanılan kablunun yalıtkan kılıfının servis ömründe meydana gelebilecek değişim, laboratuvar koşullarında mekanik olarak yorulmuş ve yorulmamış kabloların testleri ile gerçekleştirilmiştir. Kablo yalıtkan malzemesinin ömrünün titreşime bağlı değişimi belirlenmiştir.

Test örneklerinde DSC, FTIR, TGA ve SEM analizleri ile kabloda gerçekleşen bozulmalar Fiziksel ve Kimyasal boyutları ile incelenmiştir. Bozulma sırasında malzemenin ısıl davranışı, kimyasal yapısında oluşan değişimler, erime karakteristiği belirlenmiştir. Test periyodunda elektriksel arkların malzeme yüzeyinde iz oluşturma süreci aydınlatılmıştır.

Kablo örneklerinin ömür süreleri için Weibull programı kullanılarak güvenilirlik analizi yapılmıştır. Weibull dağılımına uygunluğu, güvenilirlik eğrisi ve olasılık yoğunluk fonksiyonu eğrisi verilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- 1.KARADY, G., SRINIVASAN, D., 2001, Algorithm to predict dry-band arcing in fiber-optic cables, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 16 (2), 286–291.
- 2.Türkiye Elektrik İletim A.Ş. İletişim Altyapısı Raporu, 2008, TEİAŞ.
- 3.MEGEP, 2007, *Elektrik Elektronik Teknolojisi Kuranportör Ve Ağ Sistemleri*, MEB Yayınevi, Ankara.
- 4.ÖZSOY, S., 2001, *Fiber Optik*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- 5.UÇAN, B., 1993, Bir SCADA/EMS Sistemi, TEK Milli Yük Tevzi Sistemi, *Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi*, Trabzon.
- 6.UÇAN, B., SAHSUVAROGLU, N., 1994, Ulusal Yük Tevzi Sisteminin Son Durumu ve Geleceği, *Türkiye 6. Enerji Kongresi*, İzmir.
- 7.UÇAN, B., 1996, Ulusal Yük Tevzi Sisteminin Genişletilmesi ve Yenilenmesi, *TEAS Dergisi*.
- 8.MEGEP, 2007, Elektrik Elektronik Teknolojisi Web Tabanlı Uzaktan Kontrol.
- 9.COŞKUN, B., 2003, Kablosuz Haberleşme Teknolojisi Kullanılarak Enerji Otomasyonu (Scada Projesi), EMO Raporlar.
- 10.CARLTON, B., BARTLETT, A., CARTER, C., PARKİN, T., 1995, UK power utilities, experience with optical telecommunications cabling systems, *Power Engineering Journal*, 9, 7–14.
- 11.KAIDANOV, F., MUNTEANU, R., SHEİNFAİN, G., 2000, Damages and destruction of fiber optic cables on 161 kV overhead transmission lines, *IEEE Elect. Insul. Mag.*, 16 (4), 16–23.
- 12.TS EN 60794–4, 2007, Kablolar - Fiber Optik Kablolar -Bölüm 4: Kısım Özellikleri - Elektrik güç hatlarında kullanılan hava hattı optik kablolar, Aralık.
- 13.KAIDANOV, F.G., 2002, ADSS Cables Recognizing the Problems and Solutions, *Transmission and Distribution World*, October.
- 14.KARABAY, S., TAYŞI, Y., YILMAZ, M., 2004, Enerji Nakil Hatlarında Kullanılan OPT-GW Kompozit İletkeninin Tasarımı ve İmalat Teknikleri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Sayı 529.

15. TSUJI, T., NAMAKEWA, Y., FUKASAWA, T., MOMOMOTO, S., 2001, New OPT-GW with Aluminium Covered Stainless Steel Tube, *Hitachi Cable Review*, No.18.
16. KARADY, G., BESZTERCEY, G., TUOMINEN, M.W., 1999, Corona caused deterioration of ADSS fiber-optic cables on high-voltage lines, *IEEE Transaction. Power Delivery*, 14 (4), 1438–1447.
17. CARTER, C.N., 1988, Dry band electrical activity on optical cables separately strung on overhead power lines, *Proceeding International. Wire Cable Symposium*, 117–121, Reno, Nevada, U.S.A.
18. KARADY, G., TUOMINEN, M.W., TORGERSON, D., 2000, Fast-Track Project Beats the Heat, *Transmission & Distribution World*, 1 December.
19. KARADY, G., 2000, *Utility Application of Fiber Optic Cables*, Project Report, Arizona State University.
20. KARADY, G., MADRID, J., 2002, *Assessing Deterioration of ADSS Fiber Optic Cables Due to Corona Discharge*, Arizona State University, PSERC Publication 02-17.
21. FLORKOWSKA, B., JACKOWICZ-KORCZYNSKI, A., TIMLER, M., 2004, Analysis of Electric Field Distribution around the High-Voltage Overhead Transmission Line with an ADSS Fiber Optic Cable, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19 (3).
22. SARATHI, R., CHANDRASEKAR, S., SABARI GIRI, V., VENKATASESHIAH, C. and VELMURUGAN, R., 2004, Analysis of surface degradation of high density polyethylene insulation material due to tracking, *Bull. Material Science*, 27 (3), Indian Academy of Sciences.
23. RAJU, G.G., 2003, *Dielectrics in Electric Fields*, 1st ed., Marcel Dekker, New York, 0-8247-0864-4.
24. MALIK, N.H., ALQURESHI, A. and QURESHI, M.I., 1998, *Electrical Insulation in Power Systems*, 1st ed., Marcel Dekker, New York, 0-8247-0106-2.
25. ROWLAND, S.M., ZHANG, X., KOPSIDAS, K., 2009, Ageing of an ADSS Cable Sheath on a 132 kV Overhead Transmission Line, *Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, 192-195, ISBN: 978-1-4244-2548-8.
26. US Patent 6519396, 2003, Aerial cable containing optical transmission elements and process for the manufacture of an aerial cable.
27. KREUGER, F.H., 1992, *Industrial High Voltage*, 4. Coordinating, 2. Testing, 3. Measuring, Delft University Press, The Netherlands, 90-6275-562-3.

28. GÜNEŞ, İ., ERSOY, A., UĞUR, M., KUNTMAN, A., 2005, Mekanik Olarak Yorulan Polimerik Yalıtkanların Yaşlanma Sürecinin İncelenmesi, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi*, 17-19 Kasım, İstanbul.
29. KUNTMAN, A., ERSOY, A., GÜNEŞ, İ., UĞUR, M., 2003, Polimerik Yalıtkanların Yaşlanma Sürecine Nemin Etkisinin İncelenmesi, *XVII. Ulusal Kimya Kongresi*, 8-11 Eylül, İstanbul.
30. BARSCH, R., JHON, H., LAMBRECHT, J., SCHMUCK, F., 1999, Test methods for Polymeric Insulating materials for outdoor HV insulation, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 6(5), 668-675.
31. ÖZKAYA, M., 1979, *Yüksek Gerilim Tekniğinde Deşarj Olayları*, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1152.
32. KREUGER, F.H., 1991, *Industrial High Voltage, 1. Fields, 2. Dielectrics, 3. Constructions*, 1st ed., Delft University Press, The Netherland, 90-6275-561-5.
33. SHUGG, W.T., 1995, *Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials*, 2nd ed., IEEE Press, New York, 0-7803-1030-6.
34. GALLAGHER, T.J., PEARMAIN, A.J., 1984, *High Voltage Measurement, Testing and Design*, 1st ed., John Wiley and Sons, New York, 0-471-90096-6.
35. NAIDU, M.S., KAMARAJU, V., 1996, *High Voltage Engineering*, 2nd ed., McGraw-Hill Inc., New York, 0-07-462286-2.
36. KUFFEL, E., ZAENGL, W.S., 1992, *High Voltage Engineering*, 1st ed., Pergamon Press, Oxford, 0-08-024213-8.
37. CAVALLINI, A., CONTI, M., MONTANARI, G.C., ARLOTTI, C., CONTIN, A., 2004, PD Inference for the early detection of electrical Treeing in Insulating Systems, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 11(4), 724-735.
38. MONTANARI, G.C., MAZZANTI, G. SIMONI, L., 2002, Progress in Electrothermal Life Modeling of Electrical Insulation during the Last Decades, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 9(5), 730-745.
39. BILLINGS, M.J., SMITH, A., WILKINS, R., 1967, Tracking in Polymeric Insulation, *Electrical Insulation*, 2(3), 131-137.
40. WATSON, J.F., MASON, J.H., LYNCH, A.C, 1979, Assessing Materials for Use as Outdoor Insulation, *3rd International Symposium on high Voltage Engineering*, Milan, 1-3.
41. KARADY, G., LEI, Y., SRINIVASAN, D., TUOMINEN, M. and RISCH, B., 2003, Experimental Investigation of Aging Effects of Dry-Band Arcing on ADSS Fiber-Optic Cables, *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition Technical Proceedings*, 3, 898-903

42. GÜNEŞ, İ., UĞUR, M., 2009, Farklı Su Akış Seviyelerinin ADSS Kablolarının Yaşlanma Sürecine Etkisi, 3. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 21-22 Mayıs.
43. AL-AMMAR, E., KARADY, G., TUOMINEN, M.W., VERMEERS, D.J., 2008, Experimental Correlation of the Aging Process of the ADSS Fiber Optic Cables in ASU's Environmental Chamber to Field Tests in Bandon, *IEEE Transaction on Power Delivery*, 23 (2), 1049-1054.
44. SHIKOSKI, J.D., KARADY, G., 2007, Analysis of the Experimental Results for Dry Band Arcing Deterioration of ADSS Fiber-Optic Cables in High Electric Field. Paper No: PESGM2007-000500, *IEEE-PES General Meeting*, Tampa, Florida.
45. CARTER, C.N., WALDRON, M.A., 1992, Mathematical model of dry-band arcing on self supporting, all-dielectric, optical cables strung on overhead power lines, *IEE Proceedings-C*, 139 (3), 185-196.
46. SRINIVASAN, D., KARADY, G., 2004, Development of the Dry-band Arc on in All-Dielectric Self-supporting Cables during Laboratory Test, *IEEE Transaction Power Delivery*, 19 (4), 1746-1750.
47. SHI, B., KARADY, G., HUANG, Q., TUOMINEN, M.W., 2004, Experimental Studies of the Characteristics of Dry Band Arcing on ADSS Fiber Optic Cables, *IEEE Transaction Power Delivery*, 19 (4), 1936-1940.
48. SANGKASAAD, S. 2001, Research and Experience with New Insulator Technologies in Thailand, *World congress & Exhibition Shanghai*, China. Nov.18-21.
49. ARGIN, M., KARADY, G., 2008, Characterization of Polyurethane Foam Dielectric Strength, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 15, 350-356.
50. HUANG, Q., KARADY, G., SHI, B., TUOMINEN, M., 2005, Study on the development of dry band on the ADSS fiber optical Cable, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 12 (3), 487-495.
51. CARTER, C.N., 1988, Dry band electrical activity on optical cables separately strung on overhead power lines, *Proceedings of the 37th IWCS*, Reno, 117-121.
52. KARADY, G., AL-AMMAR, E., SHI, B., TUOMINEN, M., 2006, Experimental Verification of The Proposed IEEE Performance and Testing Standard for ADSS Fiber Optic Cable for Use on Electric Utility Power Lines, *IEEE Trans. Power Del.*, 21 (1), 450-455.
53. Standard test methods for liquid contaminant, inclined plane tracking and erosion of insulating materials, 2004, *ASTM (D2303-97)*, 1-10.
54. IEC 587, 1984, *Inclined Plane Tracking Test Method*.

55. KUCUKSARI, S., GUNES, I., KARADY, G., 2009, A Novel Method to Test the Quality of ADSS Fiber Optic Cables Installed in Transmission Lines, *IEEE Powertech*, Bucharest, Romania, 28 June-2 July.
56. IEEE Standard for All Dielectric Self Supporting Fiber Optic Cable, 2004.
57. MASON, J.H., 1983, Summary of Factors which affect the results of Inclined Plane Tests, *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, 1-3.
58. MEYER, L., JAYARAM, S., CHENEY, E.A., 2004, Thermal conductivity of filled silicone rubber and its relationship to erosion in the Inclined Plane Test, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 11 (4), 620-630.
59. AL-AMMAR, E., KARADY, G., TUOMINEN, M., VERMEERS, D.J., 2007, Experimental Studies of the Aging Characteristics of ADSS Fiber Optic Cables, 2007 Annual Report Conference of Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 37-40, *IEEE Conf. Dielectric and Elect. Insulation*, Vancouver, Canada.
60. FLORKOWSKA, B., FLORKOWSKI, M., TIMLER, M., 2008, Detection of Dryband Arcing Processes on ADSS Cable Coating, *IEEE Transactions On Power Delivery*, 23 (1).
61. KARADY, G., DEVARAJAN, S., TUOMINEN, M., 1999, Novel Technique to Predict Dry-Band Arcing Failure of Fiber-optic Cables. Installed on High Voltage Lines, *Electric Power Engineering, PowerTech Budapest 99. International Conference*.
62. NASA Scientific and Technical Aerospace Report, 2004, 42 (5), March 12.
63. Applications Engineering Note, Sag and Tension, 2002, *Corning Cable Systems*, November.
64. KOSE, R., OZGUR, M.A., ERBAS, O., TUGCU, A., 2004, The Analysis of Wind Data and Wind Energy Potential in Kutahya, Turkey, *Renewable & Sustainable Energy Review*, 8 (3), 277-288.
65. KAHRIMAN, A., TUNCER, G., GORGUN, Ş., KARADOĞAN, A., 2002, Monitoring and Analysing Ground Vibration Induced by Different Blasting Excavation Activities, *7th International Symposium on Enviromental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production*, Italy.
66. GÜNEŞ, İ., ERSOY, A., UĞUR, M., KUNTMAN, A., 2005, Polimerik yalıtkanlarda yaşlanma sürecine titreşimin etkisi, *I. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 17-18 Mayıs, Kocaeli.
67. YADAV, K.L., CHOUDHARY, R.N.P., CHAKI, T.K., 1992, Structural, SEM and dielectric properties of PLZT, *Journal of Materials Science*, 27 (19).

68. ASKELAND, D.R., Çeviri, ERDOĞAN, M., 2003, *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, Nobel yayınları, Ankara.
69. KÖK, M., 2006, DSC ile Termal İletkenlik Ölçümü ve Uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
70. FLYNN, J.H., LEVIN, D.M., 1988, A method for the determination of thermal conductivity of sheet materials by DSC, *Thermochimica Acta*, 126, 93-100.
71. RIGA, A.T., PETERSON, G.H., 1997, Oxidative behavior of materials by thermal analytical techniques, *ASTM STP-1526*.
72. KIRK-OTHMER, 1980, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 8, 422-430.
73. WEIDENFELLER, B., HOFER, M., SCHILLING, F.R., 2004, Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity, and Specific Heat Capacity of Particle Filled Polypropylene, *Composites Part A*, 35, 423-429.
74. ALKAN, C., AKSOY, I., 2002, XRD, SEM Studies and Electrical Properties of Metal Complexes Including Sodium Oxalate Ligand, *Materials Letters*, 54/5-6, 352-358.
75. HERBERT, P., NEFF, J.R., 1990, *Introductory Electromagnetics*, John Wiley and Sons Ltd, New York, 0-4715-1769-0.
76. CHATFIELD, C., 1991, *Statistics for Technology*, 3rd edition, Chapman and Hall, London, 0 412 25340 2.
77. WEIBULL, W., 1961, *Fatigue Testing and Analysis of Results*, Pergamon Press, New York.
78. ERSOY, A., KUNTMAN, A., UĞUR, M., 2004, Polyester izolatörlerin güvenilirliğine Bor katkısı ve Weibull istatistiği ile incelenmesi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO2004)*, 8-12 Aralık, Bursa, 193-197.
79. ERSOY, A., GÜNEŞ, İ., UĞUR, M., KUNTMAN, A., 2005, Polimerik Yalıtkanların Yaşlanma Sürecine Titreşimin Etkisinin Weibull İstatistiği İle İncelenmesi, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi*, MBGAK, 17-19 Kasım, İstanbul.
80. UĞUR, M., 1997, *Modelling and analysis of surface tracking phenomena of solid insulating materials*, University of Manchester, Doktora tezi.
81. STONE, G.C., HEESWJIK, R.G.V., 1977, Parameter Estimation for the Weibull Distribution, *Electrical Insulation*, 12, 253-261.

7.ÖZGEÇMİŞ

İbrahim GÜNEŞ, 1977 yılında Edirne’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla; Ortakçı İlkokulu 1989, Atatürk Ortaokulu 1991, Edirne Lisesi 1994 yılında tamamladı. 1994 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 1994–1995 Akademik yılında Elektrik Elektronik Mühendisliği İngilizce hazırlık öğrenimi gördü. 1995–1999 yıllarında aynı bölümde lisans öğrenimini tamamladı ve 1999 yılında Elektrik - Elektronik Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 1999–2000 Akademik yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik - Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2000–2001 yıllarında askerlik görevini yedek subay olarak yaptı ve terhis olduktan sonra yüksek lisans öğrenimine devam etti. 2001 yılında İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Elektrik - Elektronik Mühendiliği Bölümü Elektrik Tesisleri Ana Bilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen aynı Ana Bilim Dalında çalışmalarına devam etmektedir. 2005 yılında yüksek lisans programını bitirdi ve Elektrik- Elektronik Yüksek Mühendisi ünvanını aldı. 2005 – 2006 akademik yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Programına başladı. Ağustos 2007 - Subat 2008 tarihleri arası Amerika Birleşik Devletleri Arizona State Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü’nde Doktora Tezi ile ilgili olarak ziyaretçi araştırmacı olarak çalıştı, doktora programında, yüksek gerilim tekniği, alternatif enerji kaynakları, enerji üretimi ve iletimi, elektriksel yalıtım malzemeleri konularında çalışmalarına devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.