



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

KATKI MALZEMELERİNİN POLYESTER YALITKANLARDAKİ
ELEKTRİKSEL ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİ

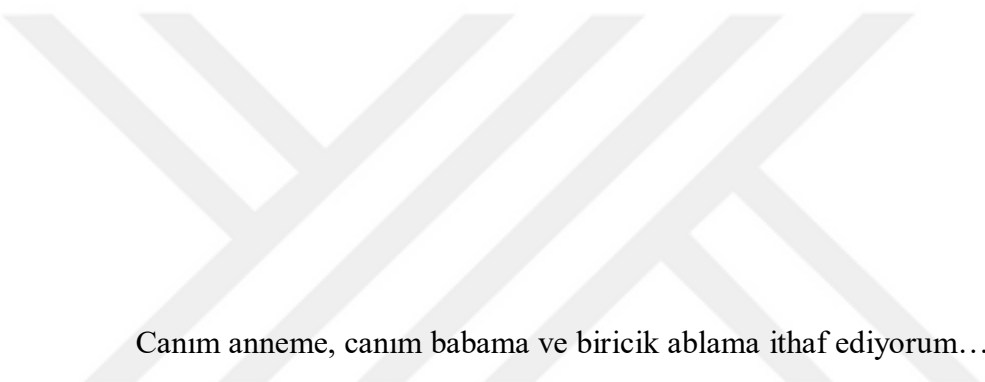
Seren ÇELİK

DANIŞMAN
Doç. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU
II. DANIŞMAN
Prof. Dr. Mukden UĞUR

Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Mart, 2024



Canım anneme, canım babama ve biricik ablama ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

KATKI MALZEMELERİNİN POLYESTER YALITKANLARDAKİ ELEKTRİKSEL ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Çocukluğumdan beri bilime katkı sağlama hayalini gerçekleştirmemde lisans eğitimimden beri tanıdığım, bilgi, deneyim ve tecrübelerini bir gün bile esirgemediğim benimle paylaşan, tezime ilgili ihtiyaç duyduğum her an yanımda olan, karşılaştığım sorunlarda bana yol gösterip çözüme kavuşmamda yardımları bir gün bile esirgemeyen, emeklerini asla ödeyemeyeceğim çok değerli danışman hocalarım Türk – Alman Üniversitesi'nden Prof. Dr. Mukden Uğur ve İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa' dan Doç. Dr. Cengiz Polat Uzunoğlu' na her ne kadar teşekkür etmek az kalsa da yine de sonsuz minnet duygumu belirtmek isterim. Bu tez çalışmasında kullanılan borlu tozları kullanmam için bana veren ve bu konudaki bilgilerini benimle paylaşan şimdilerde Almanya'da olan değerli hocam Prof. Dr. Şafak Gökhan Özkan' a, hidrofobisite testi konusunda yardımcı olan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Karhan' a, etüvü kullanma konusunda yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. Gökhan Çaylı' ya ve sıvı iletkenlik ölçümünde cihaz kullanma konusunda yardımları esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Yasin Özçelep' e son olarak çalışmamın en başlarında bana polimer üretme konusunda yardımcı olan Arş. Gör. Salih Nişancı' ya teşekkürlerimi sunarım.

Ömrümün her anında yanımda olan her zaman en büyük destekçilerim olarak tasvir ettiğim sevgili canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2024

Seren ÇELİK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN.....	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xixii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	4
2.1.ELEKTRİKSEL YALITIM MALZEMELERİ.....	4
2.2. KATI YALITKAN MALZEMELER.....	4
2.2.1. İnorganik Katı Yalıtkan Malzemeler.....	4
2.2.2. Organik Katı Yalıtkan Malzemeler.....	6
2.2.3. Polimerik Katı Yalıtkan Malzemeler.....	7
2.3. KATI YALITKANLARDA DELİNME DURUMLARI.....	9
2.3.1. Yaşlanma.....	9
2.3.2. Kısmi Boşalma (Korona).....	10
2.3.3. Kanal Oluşumu.....	10
2.3.4. Termik Delinme.....	10
2.3.4.1. Anlık Isıl Delinme.....	10
2.3.4.2. Sabit Sıcaklık Isıl Delinme.....	11
2.3.5. Elektromekanik Delinme.....	11
2.3.6. Erozyon.....	11

2.3.7. Yüzeysel İz Oluşumu (Surface Tracking).....	12
2.3.8. Elektriksel Ağaç.....	12
2.4. YÜZEY AŞINIM TEST TÜRLERİ.....	13
3. YÖNTEM	15
3.1. KULLANILAN MALZEMELER.....	15
3.1.1. Alümina (Alüminyum Oksit).....	15
3.1.2. Silisyum Karbür.....	16
3.1.3. Borik Asit.....	17
3.1.4. Bor Oksit.....	18
3.1.5. Boraks Pentahidrat.....	18
3.2. ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI.....	19
3.2.1. Eğik Düzlem Testi İçin Örnek Hazırlama Süreci.....	19
3.2.1.1. Katkılı Polyester Reçine Örnek Üretimi.....	19
3.2.2. AA (Alternatif Akım) Analizi İçin Örnek Hazırlama Süreci.....	21
3.3. EĞİK DÜZLEM TEST DÜZENEGİ.....	23
3.4. AA (ALTERNATİF AKIM) ANALİZİ TEST DÜZENEGİ.....	25
3.5. HİDROFOBİSİTE TESTİ.....	27
4. BULGULAR.....	28
4.1. EĞİK DÜZLEM TEST DÜZENEGİ SONUÇLARI.....	29
4.2. AA (ALTERNATİF AKIM) TESTİ BULGULARI.....	32
4.2.1. Kapasite Ölçümü.....	32
4.2.2. Kayıp Faktörü Ölçümü.....	36
4.2.3. Empedans Ölçümü.....	40
4.3. HİDROFOBİSİTE TESTİ SONUÇLARI.....	44
5. TARTIŞMA.....	45
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	48
EKLER.....	54
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI.....	55
ETİK KURUL İZİN YAZISI	56
KURUM İZİNİ YAZILARI.....	57



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Yüzey aşınımına uğramış polyeşter reçine örnekleri.....	12
Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan alümina	16
Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan silisyum karbür.....	17
Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan borik asit.....	18
Şekil 3.4: Çalışmada kullanılan bor oksit.....	18
Şekil 3.5: Çalışmada kullanılan boraks pentahidrat.....	19
Şekil 3.6: Çalışmada üretim için kullanılan örnek kalıp silikon.....	20
Şekil 3.7: Eğik düzlem testinde test edilmeye hazır bir numune.....	21
Şekil 3.8: AA ölçüm için kullanılan kalıp silikon.....	22
Şekil 3.9: %0.5 katkı oranındaki AA testi ölçüm numune serisi.....	22
Şekil 3.10: %1 katkı oranındaki AA testi ölçüm numune serisi.....	22
Şekil 3.11: %2 katkı oranındaki AA testi ölçüm numune serisi.....	23
Şekil 3.12: (a) yüksek gerilim elektrodu (b) toprak elektrodu.....	24
Şekil 3.13: Test düzeneği.....	24
Şekil 3.14: Eğik düzlem deney seti şematik gösterim.....	24
Şekil 3.15: Testlerde kullanılan infüzyon pompası.....	25
Şekil 3.16: AA test düzeneği.....	26
Şekil 3.17: AA analizi için test örneği yerleşimi.....	26
Şekil 3.18: Saf polyeşter numuneye ait örnek temas açısı ölçümü.....	27
Şekil 4.1: Boyut ölçümünde kullanılan dijital mikroskop.....	28
Şekil 4.2: (a) boraks pentahidrata ait bir görsel (b) borik asite ait bir görsel (c) bor oksite ait bir görsel.....	28

Şekil 4.3: %0.5 katkı oranındaki eğik düzlem numune serisi.....	30
Şekil 4.4: %1 katkı oranındaki eğik düzlem numune serisi.....	30
Şekil 4.5: %2 katkı oranındaki eğik düzlem numune serisi.....	31
Şekil 4.6: (a) Silisyum karbür katkılı numunede karbon yol iz oluşumu (b) alümina katkılı numunede karbon yol iz oluşumu.....	31
Şekil 4.7: Alümina katkılı numunelerde kapasite sonuçları.....	32
Şekil 4.8: Bor oksit katkılı numunelerde kapasite sonuçları.....	33
Şekil 4.9: Borik asit katkılı numunelerde kapasite sonuçları.....	33
Şekil 4.10: Boraks pentahidrat katkılı numunelerde kapasite sonuçları.....	34
Şekil 4.11: Silisyum karbür katkılı numunelerde kapasite sonuçları.....	35
Şekil 4.12: Tüm numunelerde en yüksek kapasite sonuçları.....	35
Şekil 4.13: Alümina katkılı numunelerde kayıp faktörü sonuçları.....	36
Şekil 4.14: Borik asit katkılı numunelerde kayıp faktörü sonuçları.....	37
Şekil 4.15: Bor oksit katkılı numunelerde kayıp faktörü sonuçları.....	37
Şekil 4.16: Boraks pentahidrat katkılı numunelerde kayıp faktörü sonuçları.....	38
Şekil 4.17: Silisyum karbür katkılı numunelerde kayıp faktörü sonuçları.....	39
Şekil 4.18: Tüm numunelerde en düşük kayıp faktörü karşılaştırması.....	39
Şekil 4.19: Alümina katkılı numunelerde empedans değerleri.....	40
Şekil 4.20: Borik asit katkılı numunelerde empedans değerleri.....	41
Şekil 4.21: Bor oksit katkılı numunelerde empedans değerleri.....	41
Şekil 4.22: Boraks pentahidrat katkılı numunelerde empedans değerleri.....	42
Şekil 4.23: Silisyum karbür katkılı numunelerde empedans değerleri.....	43
Şekil 4.24: Tüm numunelerin en yüksek empedans değerleri karşılaştırılması.....	43

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Alüminanın teknik özellikleri.....	16
Tablo 3.2: Silisyum karbürün teknik nitelikleri.....	17
Tablo 4.1: Katkı türüne ve katkı oranına bağlı olarak ortalama ömür süresi.....	29
Tablo 4.2: İncelenen numunelerde ortalama temas açısı değerleri.....	44

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler Açıklama

°	: Derece
S/m	: Siemens/metre
Rh	: Bağlı nem
F	: Farad

Kısaltmalar Açıklama

AA	: Alternatif Akım
C	: Selsiyus
cc	: Santimetre küp
cm	: Santimetre
cm ³	: Santimetre küp
DA	: Doğrusal Akım
gr	: Gram
Hz	: Hertz
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
kcal	: Kilo kalori
kHz	: Kilo Hertz
kJ	: Kilo Joule
kV	: Kilo Volt
mm	: Milimetre
µm	: Mikronmetre
PET	: Polietilen tereftalat

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KATKI MALZEMELERİNİN POLYESTER YALITKANLARDAKİ ELEKTRİKSEL ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİ

Seren ÇELİK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman : Doç. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU

II. Danışman : Prof. Dr. Mukden UĞUR

Polimerik malzemeler sahip olduğu avantajlarla günümüzde yaygın bir biçimde kullanılır. Bu malzemelerin genelde yalıtım malzemeleri olarak kullanılması ve bu doğrultuda mekanik ve elektriksel mukavemeti iyileştirmek için katkı maddelerinin kullanılması polimerlerde yaygın bir uygulamadır. Bu tez çalışmasında polimerik malzeme olarak polyester reçine ile çalışılmıştır. Çalışmada ilk olarak katkı malzemelerinin ve oranlarının, polyester reçinenin elektriksel özelliklerine etkisini incelemek için örnekler IEC 60587 eğik düzlemde yüzeyde iz oluşumu testine tabi tutulmuştur. Bu çalışmada kullanılan katkı malzemeleri borik asit, bor oksit, boraks pentahidrat, silisyum karbür ve alüminadır. Bu doğrultuda %2, %1 ve %0.5 katkı oranlarında üretilen polyester reçine örnekleri eğik düzlemde yüzeyde iz oluşumu testi uygulanarak bozulma süreleri incelenmiştir. Bu tez çalışmasının amacı malzemenin tanecik boyutu, saflık yüzdesi, katkı oranı, yoğunluğu ve üretim koşullarının dayanıklılığına etkisini incelemektir. Tüm örnekler laboratuvarında üretilmiş olup bor bileşiklerinin tanecik boyutları dijital mikroskop ile ölçülmüştür ve tablo olarak sunulmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında üretilen polyester reçine örneklerinin dielektriksel özelliklerini belirlemek amacıyla belirlenen frekans değerlerinde empedans ölçümü, kayıp faktörü ve kapasite ölçümü yapılmıştır. Çalışmada belirlenen frekans değerleri 10 Hz ile 300 kHz arasında seçilmiştir ve grafikleri verilmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında üretilen polyester reçine örnekleri hidrofobisite testine tabi tutulmuştur. Böylece üretilen örneklerin suya dayanıklılıkları incelenmiştir ve temas açısı değerleri yorumlanmıştır.

Mart 2024 , 75 sayfa.

Anahtar kelimeler: polyester reçine, polimerik malzeme, bor bileşikleri, alümina, silisyum karbür, katkı malzemesi, dielektrik nitelik, eğik düzlem testi, hidrofobisite testi, temas açısı



ABSTRACT

M.Sc. THESIS

EFFECTS OF ADDITIVES ON ELECTRICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYESTER INSULATORS

Seren ÇELİK

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronics Engineering

Programme of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU

Co-Supervisor: Prof. Dr. Mukden UĞUR

Polymeric materials are widely used due to their advantages. It is a quite common in polymers to be used as insulation materials and to use additives to improve mechanical and electrical strength. In this thesis, polyester resin is used as a polymeric material. In the study, firstly, the samples are subjected to the IEC 60587 inclined plane tracking test to examine the effect of additive materials and their ratios on the electrical properties of polyester resin. The additive materials used in this study are boric acid, boron oxide, borax pentahydrate, silicon carbide and alumina. In this regard, the deterioration times of polyester resin samples produced at 2%, 1% and 0.5% additive rates are examined by applying inclined plane tracking test . The aim of this thesis study is to examine the effect of the material's particle size, percentage of purity, additive ratio, density and production conditions on its durability. All samples are produced in the laboratory, and the particle sizes of boron compounds are measured with a digital microscope and presented as a table. In the second part of the study, impedance measurement, loss factor and capacity measurement are conducted at specific frequency values in order to determine the dielectric properties of the polyester resin samples. The frequency values determined in the study were chosen between 10 Hz and 300 kHz and their graphs are given accordingly. In the third stage of the study, the polyester resin samples are subjected to hydrophobicity tests. Thus, the water resistances of produced samples are examined and the contact angle values are interpreted. It has been tried to determine the factors on which the contact angle depends on.

March 2024, 75. pages.

Keywords: polyester resin, polymeric material, boron compounds, alumina, silicon carbide, additive material, dielectric property, inclined plane tracking test, hydrohobicity test, contact angle



1. GİRİŞ

Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan elektriksel yalıtım malzemelerin tarihi incelendiğinde Micheal Faraday'ın güta-perka nın elektriksel yalıtım özelliğini ilk fark ettiği 19. yüzyıla kadar dayandığı ve bu yüzyılda büyük bir ilerleme kaydettiği görülür [1]. O zamanlara ait kullanılan yalıtım malzemeleri arasında selülozik kâğıt, zift, kenevir ipliği ve doğal reçinelerin yer aldığı bilinmektedir [2-3]. Bu malzemeler 1930'ların başlarına kadar tercih edilenler arasında yer almıştır [1]. Bu zamandan sonra doğal kaynaklı yalıtım malzemeleri kullanımı yaygın hale gelmeye başlamıştır [1]. 1930'lardan sonra kullanımı sıklaşan bu malzemelerden bazıları arasında mika, arduvaz, asbest, manganez, seramikler, doğal ipek, pamuk, kenevir yer almaktadır [1]. Günümüzde başta elektrik sanayisinde olmak üzere hemen her sektörde karşılaşılan izolator veya diğer adıyla yalıtkanlar elektriği iletmeyen malzemeler olarak tanımlanır [1]. Literatürde yalıtım malzemelerinin çeşitli özel durumlar için tanımlandığı görülür [1]. Bu özel durumlar içinde ısıya dayanıklılık, termal kapasite ve yapısal durumlar vardır [1]. Katı yalıtkan malzemeler üretildiği malzeme kaynağına göre üç grupta incelenir [1]. Bunlar organik, inorganik ve polimerik yalıtkan malzeme şeklindedir [1]. Bu tez çalışmasında temel malzeme olarak kullanılan polyster reçine polimerik yalıtkan malzeme kategorisinde yer almaktadır. 1960'ların başından itibaren polimer kompozit malzemelerden üretilen izolatorlerin kullanımı yaygınlaşmıştır [4]. Polimerik yalıtkan malzemelerin sahip olması gereken önemli kriterler bulunur [5]. Bu kriterler arasında iyi bir yalıtkan olması ve güvenilir uzun süreli mekanik performans gösterebilmesi yer alır [5]. İlk kompozit izolatorler sahip olduğu bazı dezavantajlarla birlikte cam elyaf takviyeli epoksi reçineden üretilmiştir [4]. 1970'lerden günümüze gelindiğinde kompozit izolatorler mekanik açıdan iyileştirilmiştir. Konuyla ilgili olarak 1976'da Rosenthal şirketinin silikondan ürettiği izolatorler sayesinde polimerik izolatorlerin dış mekan yalıtım malzemelerinde kullanılmasının temeli atılmıştır [6]. 1970'lerden bugüne kadar olan zamanda yeni nesil izolatorler geliştirilmiştir [1]. Bu yeni tip izolatorler arasında polyster ve epoksi bazlı bazı malzemeler, silikon ve EPDM (Etilen Propilen Dien Monomer) yer alır [1]. Yeni nesil izolatorlerin sahip olduğu nitelikler arasında yüksek mekanik dayanıklılığına ve korozyon direncine sahip olmasının yanında bakım gerektirmemesi, üretiminin kolay olması, görsel açıdan göz estetiği bozmayan yapısı örnek verilebilir [1, 5, 7]. Literatür incelendiğinde polimerlerin bazen üç bazen de iki grupta

incelendiği görülmüştür [8, 9, 10, 21]. Polimerleri üç grupta inceleyen kaynaklarda bu üç grubun kauçuk, termosetler ve termoplastikler olduğu görülmüştür [1, 8, 9, 10]. Kauçukların moleküler yapısının güçsüz çapraz bağlardan oluşması nedeniyle geri bırakıldığında hızla geri yayılan malzemelerdir [1]. Termoplastik polimerler düşük erime sıcaklıklarına (100°-120°) sahiptir [1]. Termoplastik polimerlerin kimyasal yapısı incelendiğinde çapraz bağlı olmadığı görülür [1]. Termoplastik polimerler kendi içinde iki kategoriye ayrılırlar [1]. Bunlar soğuma üzerinde kristalleşme yapabilenler ve kristalleşme yapamayanlar şeklindedir [1]. Termoset polimerler ise ısının etkisiyle mekanik mukavemet kazanan malzemelerdir [1]. Günümüzde termosetler sahip olduğu avantajlarla termoplastiklerinin kullanımının önüne geçmiştir [11]. Bu avantajlar arasında üretiminin rahat ve üretim maliyetinin az olması bulunur [11]. Termoset ailesinin üyeleri arasında polyesterler, epoksiler, vinilester, fenolik reçineler yer alır [11]. Epoksi reçineler mekanik, aşınma direncinin ve elektriksel niteliklerin üst seviyede olması gibi avantajlara sahiptir [11]. Epoksi reçinenin maliyeti polyester reçineden yüksektir [11]. Bu da polyester reçinenin tercih sebeplerinden biridir. Polyester reçinenin sahip olduğu avantajlarla üzerinde çok fazla çalışma yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Polyester reçinenin sahip olduğu avantajlar arasında maliyetinin düşük olması, dışardan gelecek durumlarda karşılarında dayanıklılığının yüksek olması, vizkozitesinin yüksek olmaması gibi özellikler yer alır [12].

Bu tez çalışmasında içinde oldukça fazla sayıda üye barındıran polimerik izolatör ailesinden polyester reçine ile çalışılmıştır. Polyester reçinenin içine eklenecek katkı malzemesi olarak silisyum karbür, alümina, bor oksit, borik asit ve boraks pentahidrat tercih edilmiştir. Çalışma için katkı malzemelerini polyester reçineye ekleme konusunda belirlenen üç farklı yüzde oranı (sırasıyla %2, %1 ve %0.5) polyester reçineye ağırlığı oranında eklenerek eğik düzlemde yüzeyde iz oluşumu testi ile elektriksel özellikleri ve eklenen malzemeye bağlı olarak dayanıklılıkları incelenmiştir. Bu çalışmada eğik düzlem deney seti uluslararası kabul görmüş standart olan IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) 60587 sayılı standardına göre kurulmuştur. IEC 60587 standardı ASTM D2303 standardına aynı özelliklere dayanmaktadır ancak arada küçük farklılıkları mevcuttur [13-14]. Bu standart ile güç şartlardaki yalıtım malzemelerine ait yüzey dirençleri belirlenir [15]. Elde edilen veriler tablo haline dönüştürülmüş ve incelenmiştir. Çalışma için kurulan deney seti ile incelenen dielektrik özellikler (empedans ölçümü, kayıp faktörü, kapasite) önceden belirlenmiş alt ve üst frekans değerleri doğrultusunda ölçülüp tablo formunda ve grafik olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın son kısmında üretilen polyester reçine örnekleri hidrofobisite testine tabi tutulmuştur. Böylece üretilen polyester reçine örneklerin suya dayanıklılıkları incelenmiştir. Bu

doğrultuda üretilen polyester reçine örneklerine ait temas açıları ölçülerek elde edilen değerler tablo olarak kaydedilmiştir. Bu çalışmada üretilen tüm örnekler laboratuvar ortamında üretilmiştir. Çalışmanın amaçları arasında önceki benzer çalışmalardan farklı olarak özellikle borlu bileşiklerde büyük boyutta (yaklaşık 700 μ m, 860 μ m çapında) çalışılması amaçlanmıştır. Eğik düzlemde iz oluşumu testinde genel olarak en dayanıklı katkı oranının %2 olduğu görülmüştür. Ayrıca eğik düzlemde iz oluşumu testinde yapılan çalışmalarda tanecik boyutunun önemi net bir şekilde gözlemlenmiştir. Özellikle bor oksit ve boraks pentahidrat katkılı polyester reçineli örneklerde tanecik boyutunun yüksek olması nedeniyle katkı oranı ile eğik düzlemde iz oluşumu test düzeneğinde dayanıklılık faktörü üzerinde orantılı bir artış veya azalış gözlemlenmediği görülmüştür. Alternatif akım analizi testinde ölçülen dielektriksel niteliklerin en yüksek değeri aldığı frekans değerinin genel olarak 0.01 kHz frekans değerinde olduğu görülmüştür. Genel olarak kapasite değerlerinin piko Farad mertebesinde, empedans değerlerinin ise Giga Ohm seviyesinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca en düşük kayıp faktörüne, en yüksek kapasite değerine ve en yüksek empedans değerine sahip olan numuneler bulunmuştur. Bu tez çalışmasının üçüncü testi olan hidrofobisite testi neticesinde polyester numunelere eklenen çalışmada kullanılan katkı türlerinin numuneleri daha hidrofilik hale getirdiği ve ayrıca tanecik boyutunun yaklaşık 0.26 mm' nin üzerinde iken elde edilen temas açısı değerleri ile tanecik boyutu arasında ters orantının olduğu görülmüştür. İlerleyen kısımlarda detaylıca bu durumlardan bahsedilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1.ELEKTRİKSEL YALITIM MALZEMELERİ

Günümüzde hemen her yerde karşılaşılan elektriksel izolatörler, elektriksel iletkenliği olmayan şekilde tasvir edildiği kaynaklarda görülür [1]. Yalıtkan malzemelerde delinme dayanımı kritik bir parametreyken tek başına belirleyici olmadığı bilinmektedir [16-17]. Bunun yanında dielektrik kaybının az, mekanik mukavemetinin güçlü, radyasyona karşı dayanıklı, ısı ve kimyasal durumlarla karşılaştığında ise dayanıklı olması beklenir [16]. Ayrıca su emiliminin az seviyede olması ve sıvı kaçağı olmaması istenir [17]. Bu doğrultuda çalışmalar yapan bilim insanlarından Curtish yüzeyin kaçak akım dayanıklılığı incelemiş bu amaç için de çeşitli faktörler doğrultusunda araştırmalar yapmıştır [17].

Yüksek gerilimde kullanılan yalıtım malzemelerini beş başlıkta kategorize etmek mümkündür [16]. Bunlar sırasıyla gaz, vakum, sıvı, kompozit ve katı şeklinde adlandırılır [16]. Bu tez çalışmasının temel malzemesi olan polyster reçine katı yalıtkan sınıfında bir malzemedir.

2.2. KATI YALITKAN MALZEMELER

Elektrik güç sistemlerinde katı yalıtkan malzemeler sıklıkla tercih edilirler [16, 21]. Katı dielektrik malzemelerin bilinen en önemli özelliği delinme dayanımlarının sıvı ve gazlara kıyasla daha üst düzeyde olmasıdır [16, 21]. İdeal olarak tasvir edilen katı yalıtkan malzemelerin dielektrik kaybının az, mekanik ve delinme dayanımının çok olması beklenir [16]. Ayrıca kullanım sırasında katı yalıtkanların yapısını muhafaza etmesi, ozona karşı mukavemet sağlaması, su emiliminin düşük düzeyde olması ve radyasyona maruz kaldığında mukavemetli olması, yapısı gereği nem tutucu esneklikte olması ve sıvı sızdırmaz nitelikte olması beklenir [16]. Katı yalıtkanlar üç grupta incelenirler [1, 16]. Bunlar organik, inorganik ve sentetik polimerlerdir [1, 16]. Bu kategoriye girmelerinde kimyasal durumları ve üretildikleri malzemenin yapısı belirleyici olmuştur [1, 16].

2.2.1. İnorganik Katı Yalıtkan Malzemeler

İnorganik katı yalıtkan malzemeler yüksek sıcaklıklarda (250 °C) dahi elektriksel ve mekanik niteliklerini muhafaza ederler [1, 16, 19, 20]. Yapılarının sıkı olması nedeniyle yağ ve verniği

absorbe etmelerini önler [16, 19, 20]. İnorganik katı yalıtkanların üretimi zordur [1, 16, 19, 20]. Yalıtım açısından ele alındığında oldukça başarılıdırlar [1, 16, 19, 20]. Literatür incelendiğinde inorganik yalıtkan malzeme sınıfının bilinen en eski ve en çok tercih edilenleri arasında seramik, porselen ve cam yer aldığı görülür [1, 16]. Bu üç malzeme arasında porselen, 1880'lerde ilk güç iletim hattı izolatörlerinin üretimi için tercih edilen malzeme olmuştur [1, 22]. Porselen bir seramik malzemedir ve porselen alüminyum silikatların ($3Al_2O_3-2SiO_2$) belli bir seviyeye gelene kadar ısıtılmasıyla elde edilen bir malzemedir [1, 23]. Mullit gözenekli olması nedeniyle kararsız yapısıyla porselenin mekanik mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [1, 23]. Özellikle mekanik mukavemet porselen yalıtkan malzemelerde çekme ve eğilme üzerinde etkilidir [1, 23]. Ayrıca porselenin meydana çıkmasında katkısı bulunan SiO_2 günümüzde elektronik piyasasında oldukça önemli bir malzemedir [24]. Özellikle tranzistör uygulamalarında sıklıkla kullanılır [24]. Porselene sır (yüksek erime noktalı cam) uygulanabilir [1]. Bu işlem sayesinde porselen çatlakları azaltılarak mekanik dayanıklılığı artırılabilir [1]. Sırlama işlemi ile diğer malzemeleri mekanik dayanıklılıkta sınırlayan erozyon, olumsuz hava koşulları gibi faktörlere karşı porselende koruyucu rol üstlenmiş olunur [1]. Ayrıca sırlama işlemi sayesinde porselenler su buharını bile geçirmez hale gelirler [1].

İnorganik yalıtkan malzeme sınıfında elektrik sanayisinde kullanılan ilk malzemeler seramik türevlidir [16, 19, 20]. Seramik inorganik yalıtkan materyaller, yüksek sıcaklıkta tek parçadan oluşan yapılara mineral eklenmesi ile meydana gelirler [16, 19, 20]. Seramik inorganik materyaller dielektrik sabitlerine göre sınıflandırılırlar [16, 19, 20]. Bunlar iki sınıfta incelenir ve sırasıyla yüksek bağıl dielektrik sabitli ve düşük bağıl dielektrik sabitli seramiklerdir [19-20]. Yüksek dielektrik sabitli seramiklerin bağıl dielektrik geçirgenliği (ϵ_r) 12 değerinden büyük iken düşük dielektrik sabitli seramiklerin bağıl dielektrik geçirgenliği 12 değerinden küçüktür [16, 19, 20]. Yüksek dielektrik sabitli seramikler kapasitelerde ve algılayıcılarda yaygın bir şekilde tercih edilirler [16, 19, 20]. Porselenler, içeriğinde gaz kabarcıkları bulundurmaz [16, 19, 23]. Bunun yanında, korozyona karşı mukavemetini oldukça fazladır ve alkalilerin hemen hepsi ve asitlerin genellikle kimyasal tepkime vermemeleri ve temiz olmayan çevre şartlarında dahi dirençli olmalarıyla tanınırlar [16, 19, 23]. Cam, tarihi geçmişi itibarıyla tanınan bir inorganik katı yalıtım malzemesidir [16, 20, 23]. İdeal yalıtkan amacıyla cam malzemesi tercih edildiği literatürde görülmüştür [1, 26]. Cam yalıtkanı katılaştırma işlemi esnasında kristalleşmez [16, 19, 20, 23]. Bir cam yalıtkanında ciddi miktarda gerilim enerjisi mevcuttur [1]. Eğer bu enerji bazı faktörlerden ötürü açığa çıkarsa parçanın tamamı kabaca

kübik parçalara bölünür [1, 26]. Camın sahip olduğu bazı elektriksel özellikler nedeniyle kullanımı yaygın hale gelmiştir. Bunlar arasında yüzey akımlarının az olması, ısıya karşı direncinin fazla olması yer alır [16]. Isıya karşı mukavemetinin fazla olması sıcaklıkların üst seviyede olduğu güneş ışığını geçirmesine dayanır [16, 19, 20, 23]. Camın bağıl dielektrik sabiti 3.7 ile 10 arasında ve yoğunluğu 2.2 ile 6 gr/cm³ arasında yer alır [16, 19, 20, 23]. Camın elektrik sektöründe kullanıldığı yerler arasında havai hat izolatörleri, transformatörler, kapasiteler ve devre kesiciler bulunur [19, 20, 23]. Bunların yanında cam, porselen kadar mekanik açıdan dayanıklı değildir [1]. Çünkü camın yüzeyinde mikroskobik çatlaklar mevcuttur [1]. Mikanın yapısı kristaldendir bu sayede ince tabakalar formuna kolaylıkla getirilmesi mümkündür [16, 19, 23]. Mikaların ince tabakalı formları üst üste getirilerek yapısı boşluksuz hale gelir [16, 19, 23]. Böylece kısmi boşalmaların önüne geçilir [16, 19, 23]. Mika malzemesinin oda sıcaklığında dielektrik mukavemeti oldukça fazladır [16, 19, 23]. Mikanın sahip olduğu elektriksel nitelikleri kullanımını avantajlı hale getirdiğinden elektrik endüstrisinde geniş bir kullanım sahası edinmiştir [16, 19, 23]. Bu elektriksel özellikler arasında dielektrik kaybının az olmasının (0.001), sıcaklıklara karşı dayanıklı yapısı (650 °C) ve mekanik mukavemet performansının başarılı olması gibi durumlar yer alır [16, 19, 23]. Mikanın kullanım yerlerine örnek olarak döner makineler stator yalıtımı, transformatör sargıları, devre kesicileri, anahtarlar, ark bariyerleri verilebilir [16, 19, 23].

2.2.2. Organik Katı Yalıtkan Malzemeler

Organik katı yalıtkan malzemelerin temel kaynağı bitkisel veya hayvansal malzemelerdir [1, 28]. Bu malzemelerin yalıtım performansları başarılıdır ve ayrıca kullanımı basittir ancak en büyük dezavantajları sıcaklığın 100 °C'yi aşması durumunda mekanik ve elektriksel özelliklerini kaybetmesidir [1]. Organik yalıtkan malzemelerin büyük bir kısmı emici katılardan oluşur [1]. Organik katı yalıtkanların en sıklıkla tercih edildiği yerler yağ emdirilmiş kâğıtlar yalıtkan ve mukavvalar kablolar, kapasiteler, transformatörler ve panellerdir [16, 19]. Organik katı yalıtkan malzemeler arasında tahta, kâğıt ve mukavva yer alır [16, 19]. Genel olarak bu kâğıtlar yoğunluklarına göre literatürde üç kategoride değerlendirilir [16, 19]. Bunlar düşük, orta ve yüksek yoğunluklu kâğıtlardır [16, 19]. Düşük yoğunluklu kâğıtlar yüksek frekans, kapasite ve kablol uygulamalarında tercih edilirken, orta yoğunluklu kâğıtlar güç kapasitelerinde tercih edilir. Yüksek yoğunluklu kâğıtlar enerji depolama kapasitelerinde ve doğru akım makinelerin yalıtımın uygulamalarında tercih edilirler [16, 19]. Kâğıdın yapısı gereği sıvı emme niteliğini bünyesinde barındırması nedeniyle kurutulmalı ve mineral yağ,

sentetik yağ veya bitkisel yağlar emdirilerek kullanılmalıdır [16, 19]. Kâğıtlar mekanik açıdan üretimi değerlendirildiğinde iki grupta incelenirler [16, 19]. Bunlar sert kâğıtlar ve yumuşak kâğıtlardır [16, 19]. Sert kâğıtlar, kâğıdın epoksi ve fenolik reçinelerle kompres uygulamasıyla üretilirler [16, 19].

2.2.3. Polimerik Katı Yalıtkan Malzemeler

Yüksek gerilim tekniğinde sıklıkla tercih edilen polimerler, tekrarlanan birimlere sahip uzun zincirli makro moleküllerden meydana gelir [1]. Genellikle türetildikleri monomerin adının önüne ‘poli’ ön eki alarak adlandırılırlar [1]. Buradan anlaşılacağı üzere polimerler, monomerlerin birleşiminden, moleküllerin kimyasal bağlarla belli bir düzende bağlanmasıyla meydana gelir [9, 16, 19]. Literatürde “Poli” Latince kökenli bir kelime olarak geçer ve birden fazla manasını taşır [9, 16, 19]. Polimerlerin molekül kütleleri o üst seviyededir [9, 16, 19]. Polimerler genelde üç grup altında incelenirler [1]. Bunlar kauçuk, termoplastikler ve termosetlerdir [1, 28, 29, 30]. Bazen bazı kaynaklar kauçuğu özel bir sınıf olarak değerlendirmeyip termoset ve termoplastığı kategorize etmede belirleyici bir sınıf olarak kullanır [9, 16, 19]. Kauçukların moleküler yapısının güçsüz çapraz bağlardan meydana gelir [1]. Bu sebeple kauçuklar, geri bırakıldığında hızla geri yayılan malzemelerdir [1]. Termoplastik polimer malzemeler düşük erime sıcaklığına (100°C –120°C) sahiptir [1]. Ancak termoplastik polimer malzemeler, esnek olmalarından kaynaklanan kabiliyetleri sayesinde erime sıcaklıklarının altındaki sıcaklıklarda dahi kolayca şekle sokulabilirler [1]. Sahip olduğu bu özellik sayesinde termoplastik polimerler yüksek gerilim kablolarının yalıtımında sıklıkla kullanılırlar [1]. Termoplastik polimer malzemeler kimyasal yapısı detaylı bakılıp incelendiğinde çapraz bağlı olmadığı görülür [1]. Termoplastik polimerler kendi içinde iki kategoriye ayrılırlar [1]. Bunlar soğuma üzerinde kristalleşme yapabilenler ve kristalleşme yapamayanlar şeklinde olmak üzeredir [1]. Termoset polimerler ise ısının etkisi altındayken mekanik dayanıklılık kazanan malzemelerdir [1]. Termoset polimer materyaller ısının etkisiyle aldıkları şekli bir daha kaybetmezler [9, 16, 19]. Buradan anlaşılacağı üzere termoset polimer malzemelerde ısı önemli bir faktördür. Termoset polimer malzemelerin mekanik özellikleri termoplastiklere göre daha öndedir [9, 16, 19]. Bu özelliklere dayanıklılık ve sertlik örnek olarak verilebilir [9, 16, 19]. Tarihi gelişimi incelendiğinde termosetler sahip olduğu avantajlarla ve gelişen ürün özellikleri ile termoplastiklerinin kullanımının önüne geçmiştir [9, 11, 16, 19]. Bu avantajlar arasında üretiminin rahat ve üretim maliyetinin az olması bulunur [11]. Termoset ailesinin üyeleri arasında polyesterler, epoksiler, vinilester, fenolik reçineler

yer alır [11]. Epoksi reçineler mekanik, aşınma direncinin ve elektriksel niteliklerin üst seviyede olması gibi avantajlara sahiptir [11]. Termoset ailesinde yer alan epoksi reçinenin sağladığı avantajların yanında maliyeti polyester reçineden yüksektir [11]. Bu da polyester reçinenin tercih sebeplerinden belki de en önemlilerinden biridir. Polyester reçinenin sahip olduğu avantajlar arasında maliyetinin düşük olması, dışardan gelecek durumlara karşısında dayanıklılığının yüksek olması, vizkozitesinin yüksek olmaması, ıslatma yeteneğinin yüksek olması bulunur [12]. Az önce bahsi geçen tarihi gelişimin önemli adımları 20.yüzyıla dayanır ve özellikle de 1960'lerden sonra polimer yalıtkan malzemelerin özelliklerinin iyice geliştiği görülür [4]. Konuyla ilgili olarak epoksi reçine yalıtkan malzeme olarak kullanılması 1947 yılına dayanır [9, 16, 19]. Fenoliklerle yapılan karışımları epoksi reçineleri daha çok seçilen yalıtkan malzeme türüne çevirmiştir [9, 16, 19]. 1950 yılında polikarbonat gözde yalıtkan malzemeler arasındaydı [9, 16, 19]. Üretilen bu malzeme elektriksel özellikleri ile yılın gözde yalıtkanlarından [9, 16, 19]. 1973 yılında polietersülfon reçineler yaklaşık 180°C ye kadar olan alanlarda yalıtkan materyal olarak kullanılmıştır [9, 16, 19]. 1976'da Rosenthal şirketinin silikondan ürettiği izolatörler ile polimerik izolatörlerin dış mekân yalıtım malzemelerinde çalışılmasının temeli atılmıştır [6]. 1980 yılına gelindiğinde içerisinde poliakrilat ve polietereterketon (PEEK) barındıran özel reçineler sağladığı avantajlarla birlikte gündelik hayatta kullanılan yalıtkan malzemeler olarak dahil olmuştur [9, 16, 19]. Bu özelliklerden bazıları arasında polietersülfondan daha yüksek sıcaklıkta (200°C) kullanılabilmesi ve su geçirgenliği konusundaki mukavemetleri yer alır [9, 16, 19]. Polimerik yalıtkan malzemeler, günümüzde elektrik endüstrisinde en çok da orta ve alçak gerilimin olduğu çalışmalarda ve trafolarda sıklıkla tercih edilirler [32]. Polimerik yalıtkan malzemelerin dezavantajları kaynaklarda elde edilen formuyla kısaca [1, 33];

- Yaşlanmanın etkisiyle kompozit yüzeyin bozulması ve yaşlanmanın elektrik arızasına yol açan iletken yolların oluşmasına neden olması,
- Cam elyaf takviyelerinin ve uç bağlantı parçalarında mekanik arızaların olması,
- Kayda değer ölçüde daha yüksek üretim maliyeti oluşması olarak sıralanabilir.

2.3. KATI YALITKANLARDA DELİNME DURUMLARI

Katı yalıtkan malzemelerde delinme işlemi üç çeşittir. Bunlar; elektronik delinme, ısı delime ve elektromekanik delinme şeklindedir. Gaz yalıtkanlar, delinme işleminin ardından ilk durumuna geçebilirler. Sıvı yalıtkanlarda ise bu durum malzemenin tümünde değil bir bölümünde gerçekleşir. Katı yalıtkanlarda ise malzemenin tümü ilk durumuna geçemez. Bu yönüyle katı yalıtkanlarda delinme işlemi sıvı ve gaz yalıtkanlara kıyasla daha bozucudur. Katı yalıtkan malzemelerde delinme durumu malzemenin maruz kaldığı elektrik alandan etkilenir. Katı yalıtkanlar malzemelerde delinme işlemi, malzemenin kimyasal yapısına ve çevresel etmenlere göre değişir [16, 19, 23].

2.3.1. Yaşlanma

Yalıtkan malzemelerin tamamı, servis süresi boyunca farklı türden güçlüklerle mücadele eder [16]. Bu güçlükler; elektriksel faktörler, ısı faktörler, mekanik faktörler, çevresel faktörler, yüksek akım ve gerilimler şeklindedir. Tüm bu güçlükler malzemenin yaşlanmasını hızlandırır. Ayrıca yalıtkanlar üzerinde oluşan titreşimler de bu süreci destekler [16, 35, 36]. Yalıtkan malzemelerde yaşlanmaya oluşunca kanal oluşumu, kısmi boşalmalar ve ısınma görülür [16]. Yaşlanma işlemi laboratuvar koşullarında dört farklı şekilde test edilir.

Bu testler; gerilim, frekans, termal ve çok faktörlü zorlanma yaşlanmasıdır [9, 16, 19].

- Gerilim Yaşlanması: Bu testler orta ve alçak gerilim kablolarının servis ömrünü belirlemek için kullanılırlar. Bu testte gerilim düzeyi ve bu gerilime ne kadar maruz kaldığını esas belirleyicidir.
- Frekans Yaşlanması: Bu test türünde yalıtkanın maruz bırakıldığı gerilim genliğini değiştirilmeden gerilimin frekansı üzerinden yapılan yaşlanma testidir.
- Termal yaşlanma: Bu test tipinde yalıtkan kararlaştırılan gerilim düzeyinde tutulurken ortamın sıcaklığının farklılaştırılması sağlanır. Sıcaklık durumundaki her adım için servis süresi belirlenir.
- Çok faktörlü zorlanma yaşlandırması: Bu test tipinde yalıtkan malzeme elektriksel, termal, mekanik ve kimyasal baskıların tümüyle eş zamanda mücadele eder. Bu test süresince tüm bu etkilerle mücadele eden yalıtkanın farklılaştırılan şartlara karşı tutumu incelenir.

2.3.2. Kısmi Boşalma (Korona)

Kısmi boşalma olarak da geçen korona, bütününe kapsamayan kendi kendini besleyen boşalma olarak da tasvir edilir [16]. Korona, üç şekilde meydana gelir. Bunlar; elektriksel alanın meydana getirdiği bozulmalar, yalıtım düzeneğini oluşturan elemanlardan birine bağlı oluşan bozulmalar ve son olarak yüksek alana bağlı bozulmalar şeklindedir. İlâveten bazen de yalıtkan malzemenin içyapısında bulunan hava açıklıkları da bu duruma sebep olduğu görülmüştür. Polimerik yalıtkan malzemelerin yapısında mutlaka hava açıklıkları bulunur. Polyesterin imalatında meydana gelen hava habbecikleri çeşitli etkilerle elektriksel baskıya maruz kalırlar. Bu baskılar sonucu delinmeler ve boşalmalar meydana gelebilir [16]. Yalıtkan malzeme boşalma esnasında anında bozulabilir veya kullanım süresini azalabilir [16, 22, 26].

2.3.3. Kanal Oluşumu

Katı yalıtkan malzemelerde meydana gelen bu durum elektriksel boşalmanın önden gerçekleşmesi ile ifade edilir [16, 37]. Testlerle katı yalıtkan örnek üzerinden yerleştirilen elektrotlar yardımıyla bir adet çığın meydana gelmesiyle delinme işlemi sonlanır. Katottan anoda yol almak için yalıtıkanda çarpışarak elde ettiği enerjiyi harcayan elektron ve meydana gelen başka bağımsız elektronlarla bu sürecin devam etmesi sonucunda elektron çığı ortaya çıkar. Bu elektron çığı eşik boy değerini geçerse delinme meydana gelir [16, 37].

2.3.4. Termik Delinme

Termik delinme, yalıtkan malzemenin maruz kaldığı akım ve çevre sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak meydana gelir. Tüm malzeme çeşitlerinde sıcaklık artışına bağlı olarak kimyasal ve mekanik yaşlanma da artar. Oda sıcaklığının üzerindeki değerlerdeki ısı yükselmesine bağlı olarak yalıtkan iletkenliği artar. Bu işlem esnasında ısının bir parçası çevreye iletilirken bir parçası yalıtkan malzemede kalır. Yalıtıkanda kalan ısı, yalıtkan malzemenin sıcaklığını yükseltmiş olur. Yalıtıkanda kalan ısı eşik değerin üzerine çıkınca kararlı hal ortadan kalkar. Meydana gelen bu yeni hal ile birlikte termik delinme ile malzemenin yaşlanması gerçekleşmiş olur. Yalıtkan mataryelin yapısında yer alan hava habbecikleri yalıtkan mataryelde ısı artışına sebep olur. Bu hava habbeciklerinde meydana gelen boşalmalar neticesinde iç sıcaklık yükselir. Termal delinme, yalıtkan malzemenin maruz kaldığı gerilimin vaktiyle de ilişkilidir [16].

2.3.4.1. Anlık Isıl Delinme

Bu koşul altında gerçekleşen delinme türünde ısı aniden yükselir [16]. Bu nedenle yüzey kaplamadaki ısı kaçağı görmezden gelinebilir. Anlık ısıl delinmenin, hassas bir bölgede gerçekleştiğinde süre arttıkça azaldığı görülmektedir.

2.3.4.2. Sabit Sıcaklık Isıl Delinme

Bu delinme türünde yüzeyi büyük elektrotların birbiri arasındaki mesafede kalın yalıtkan plaka bulunur [16]. Metal elektrotlar, ısıyı absorbe etme konusunda oldukça başarılıdır. Bu doğrultuda plakada ısının meydana getirdiği ısı elektrotlara aktarılır. Sabit sıcaklık ısı delinme hali mevcutken kalın dielektrik plakada delinme geriliminin plakanın kalınlığı ile ilişkisi yoktur. Yüksek termal iletkenlik katsayısı, istenmeyen ısının ortadan kaldırılmasını hızlandıran bir etmendir.

2.3.5. Elektromekanik Delinme

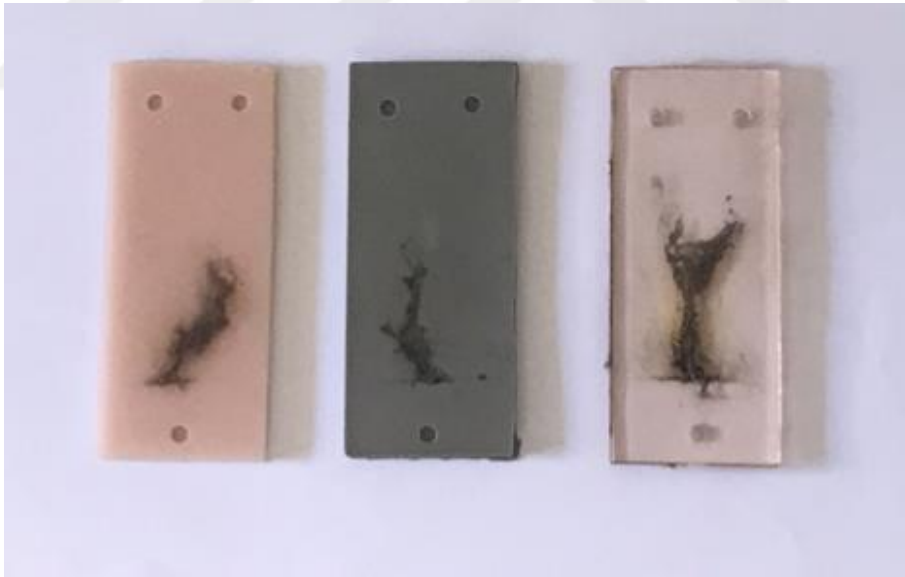
Yalıtkan malzemenin çeşitli sebeplere maruz kalmasıyla oluşan bozulma çeşididir [16]. Bu sebepler arasında yalıtkan malzemenin kimyasal birleşim düzeni, imalat metotları, merkezkaç kuvvetleri, titreşim, oksidasyon, ozon, radyasyon, nem ve kimyasallar yer alır. Tüm bu gerekçeler malzemeyi mekanik yönden yaşlandırır. Yalıtım malzemelerinin çeşitli kimyasal malzemelere maruz kaldığında dayanıklılıklarının yükseltmesi amaç edinilmiştir. Ayrıca yalıtım materyalinin yapısındaki habbecikler ve temiz olmama durumu, materyalin mekanik bozulmasının sebeplerindedir.

2.3.6. Erozyon

Elektrik endüstrisinde, özellikle yüksek gerilim kablolarında bozulma gerekçeleri arasında erozyon yer alır [16]. Yalıtkan materyal imalatı esnasında materyalin bünyesinde bulunan habbeciğin olduğu kısımda elektrik alan miktarı artar neticesinde de yalıtkan malzemede erozyon meydana gelir [16, 37, 40]. Havanın bağıl dielektrik sabiti 1 kabul edilirken çoğu katı yalıtkan malzeme için bu değer 2 ile 3 arasındadır [16]. Yalıtkan malzemedeki boşalma durumu boşluktaki alan miktarı ve havanın delinme düzeyi ile ilişkilidir. Bu durum (boşalma) alternatif akımın sıfırdan her geçişi sırasında yinelenir. Yinelenen boşalmalar neticesinde malzemenin yüzeyinde erozyon ve kimyasal bozulma meydana gelir. Bazen de erozyonun oluşumunda çeşitli gazların asit ortaya çıkarmasının da neden olduğu kaynaklarda geçer [41]. Boşluk temelli problemler çoğunlukla katı yalıtkanlı kabloların en önemli sorunudur. Polimerik yalıtkan malzemelerin imalatı esnasında bu habbecikler önlenemediğinden ticari polimerik kablo yalıtkanları 138 kV ile kısıtlanmıştır [9, 16]. Bu değer yağ emdirilmiş polimer katkılı kablo yalıtkanlarında 400 kV şeklindedir.

2.3.7. Yüzeysel İz Oluşumu (Surface Tracking)

Yüzeysel iz oluşumunun (surface tracking) diğer adı yüzey aşındırmadır. Yüzeysel iz oluşumu genelde polimerik yalıtkan malzemelerde görülür. Yüzeysel iz oluşumu neticesinde, yalıtkanın yüzeyindeki yanma gerekçesiyle karbonlaşma durumu meydana gelir. Karbonlaşma durumunun meydana gelmesiyle o alanda bir iz oluşur. Yüzeyde oluşan iz ve meydana gelme süresi, izolatorde tercih edilen polimerin içyapısı, maruz bırakılan gerilim, elektrot türü, test esnasında yüzeyden akan suyun akış hızı parametrelerine bağlıdır [16]. Yüzey aşınımı fazlaca karmaşık bir yapıdadır. Katı yalıtkan malzemelerde görülen yüzeysel iz oluşumuna etki eden etmenler, yüzeyde meydana gelen kaçak akım, yüzeydeki nem ve kirlilik şeklinde sıralanır. Yüzeysel iz oluşumu, yüzeyin bozulmasına sebep olur ve karbonize yolu meydana getirir. Karbonize yolun ilerleme yönü toprak elektrottan başlayarak yüksek gerilim elektrotuna doğru devam eder. Bu yolun ilerlemesinin son bulmasıyla bozulma tümüyle meydana gelmiş olur. Şiddeti küçük boşalmaların meydana gelmesi yüzey aşınımının ortaya çıktığının göstergesidir. Şiddeti küçük bu boşalmalar yüzeyden akan suyun iyonize bir tabaka meydana getirmesiyle oluşur [1, 16, 22, 26, 36, 37, 40, 42].



Şekil 2.1: Yüzey aşınımına uğramış polyeşter reçine örnekleri.

2.3.8. Elektriksel Ağaç

Katı izolatorlerde, elektriksel ağacın meydana gelmesi elektriksel bozulmanın hemen öncesinde oldukça yaygın bir durumdur [1, 10, 43, 44].

Elektrik ağaçların oluşması DA uygulamalardaki dielektrik malzemelerde DA gerilimin altında başlaması, dielektriğin kritik kırılma mukavemetinin üstesinden gelen bölgesel alan yoğunluğu ile ilişkilendirilebilir [45]. AA gerilimde ise biriken yüklerin bir sonucu olarak elektriksel ağaç oluşur [1]. AA gerilimde ağaçlar daha küçük gerilimlerde başlar ve elektriksel ağaçların ortaya çıkmasından önce bir kuluçka evresi olduğu bilinmektedir [1]. Elektriksel ağaç olayının meydana gelmesi üç aşamada gerçekleşmektedir [1, 46]:

- Ağaç gelişme, oluşma aşaması, dielektrikte tercih edilen bölgelerde enerjinin biriktiği aşamadır.
- Ağaç başlatma aşaması; gaz fazındaki iyon konsantrasyonlarının, yüksek alan konsantrasyonlarının ve enerji birikiminin olduğu yerlerde oluşan aşamadır.
- Ağacın büyüme aşaması; gazlara doğru enerji sağlanan ve daha sonra katının daha fazla aşındıran aşamadır.

Elektriksel ağaç oluşumunda etkili olan faktörlerden biri de oksijendir. Oksijen molekülü, elektriksel ağacın başlangıcını güçlü bir şekilde etkilediği görülür [47].

2.4.YÜZEY AŞINIM TEST TÜRLERİ

Polimerik yalıtkanlar tercih edildiği alanlarda servis süresi boyunca fayda sağlama görevini muhafaza etmelidir [48-49]. Yalıtkan malzemelerin servis ömrü hakkında fikir edinmek epey zor bir iştir [50]. Ancak dielektrik malzemeler faaliyet gösterdikleri müddetçe yaşlanma beklenen bir durum olduğundan türlü türlü polimerik yalıtkan malzemelerin üretilmesindeki nihai amaç, verimi yüksek malzeme elde etmektir [51-52]. Tam da bu gerekçe doğrultusunda yıllar içerisinde laboratuvar koşullarında uluslararası kabul gören testler geliştirilmiştir. Bu testler arasında; Eğik Düzlem Testi (Inclined Plane Test), Karşılaştırmalı İz Oluşum Testi CTI Testi (Comparative Tracking Index Test), Tozlu – Sis Testi (Dust Fog Test), Tuzlu – Sis Testi (Salt Fog Test), Kuru Ark Testi (Dry Arc Test), Ayrık Nem Aşınım (Differential Wet Tracking) Testi, Aşınmaya Dayanım Çarkı (Tracking Endurance Wheel) testi yer alır [1, 6, 21, 53, 41, 54, 55, 56].

Bu testler, polimerik yalıtkan malzemeye uygulanan yüzey aşınım test metotlarıdır ve malzemenin dayanıklılığı hakkında fikir sahibi olmayı sağlarlar. Bu tez çalışması kapsamında eğik düzlem test metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada da eğik düzlem testinde kullanılan katkı

malzemelerinden alümina ve silisyum karbür katkılı polyester reçineli literatürde pek çok çalışma olduğu görülmüştür [57-60]. Srinivasan ve arkadaşlarının yapmış olduğu cam elyaf takviyeli polyester reçineli örnekler farklı katkı oranlarında (katkı oranları sırasıyla %1, %2 ve %3 şeklindedir.) nano boyutta alümina (Al_2O_3) eklemiş ve hazırladığı bu alümina katkılı örnekleri değişik hız ve yük uygulanırken aşınma durumlarını gözlemlemiştir [57]. Elde edilen bulgularda en yüksek katkı oranının aşınma konusunda en yüksek mukavemeti gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır [57]. Bir başka çalışmada ise alümina katkılı cam elyaf tipi polyester reçinelerdeki eroziv nitelikler incelenmiştir [58]. Elde edilen sonuçlarda alümina katkılı polyester reçine örneklerinde daha iyi eroziv aşınma direnci gözlemlenmiştir [58]. Bu tez çalışmasında alümina katkılı örneklerden elde edilen sonuçlar bu çalışmalarını destekler yöndedir. Katkı oranı eklemenin olumlu sonuç verdiği görülmüştür. Bu çalışmalardan birinde farklı yüzdesel oranlarda (bu oranlar sırasıyla %0, %10 ve %20 şeklindedir.) eklenen silisyum karbürü polyester reçineli örneklerde eroziv etkinin, darbeye karşı direncin ve ayrıca sertlik bakımından olumlu etki etki sağladığı görülmüştür. Silisyum karbür kullanılan polyester reçineli örneklerde malzemenin fiziksel niteliklerinde geliştirici yönü keşfedilmiştir [59]. Bir başka çalışmada ise nano büyüklükteki silisyum karbür katkılı cam elyaf takviyeli polyester reçineli çalışmada darbe ve visko esneklik durumu araştırılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında silisyum karbürün artan katkı oranıyla birlikte fiziksel özelliklerinin de olumlu etkilendiği görülmüştür [60].

3. YÖNTEM

Polimerik yalıtım malzemeleri, fayda sağladıkları süre zarfında çeşitli yaşlanma mekanizmalarına maruz kalırlar. Bu faktörler dielektrik özelliklerine ciddi şekilde zarar verebilir ve yalıtkanın tamamen bozulmasına neden olabilir. Bununla birlikte, çoğu durumda bu işlem (yaşlanma) oldukça uzun zaman alır ve yalıtımın kalitesi hakkında sonuç çıkarmayı zorlaştırır. Bu sorunu çözmek için polimerik yalıtım malzemelerini göreceli izlemek için ve erozyon direncini laboratuvar koşullarında nispeten kısa sürede değerlendirmek için çeşitli testler geliştirilmiştir [1].

Bu tez kapsamında polimerik yalıtkan malzemelere uygulanan yüzey aşınım test metodlarından eğik düzlem testi ile çalışılmıştır. Eğik düzlem testi, saf polyster reçine örnekleri ve katkı malzemeleri sırasıyla; bor oksit, boraks pentahidrat, borik asit, silisyum karbür ve alümina olan polyster reçine örnekleri için gerçekleştirilmiştir. Önceden belirlenen katkı yüzdeleri (%2, %1 ve %0.5 olacak şekilde) doğrultusunda hazırlanan örneklerin gerekli laboratuvar ve test koşullarında incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

3.1. KULLANILAN MALZEMELER

Bu tez çalışmasında eğik düzlem testinde, AA analizi testinde ve hidrofobisite testinde test edilmek için üretilen polyster reçine numune üretimlerinde polyster reçineye beş farklı katkı malzemesi eklenmiştir. Bu katkı malzemeleri sırasıyla; alümina, silisyum karbür, borik asit, bor oksit ve boraks pentahidrattır. Bu tez çalışmasında kullanılan tüm katkı malzemeleri yüzde 0.5, 1 ve 2 katkı oranı belirlenerek cam elyaf tipi polyster reçineye eklenmiştir. Bu katkı malzemelerine ait genel ve teknik bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

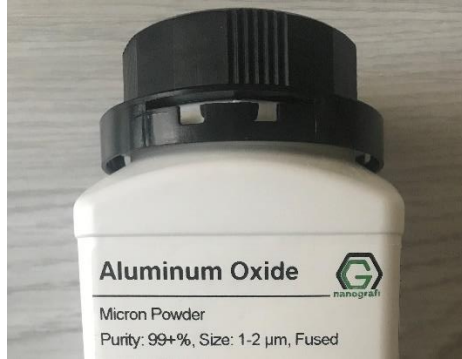
3.1.1. Alümina (Aluminyum Oksit)

Alüminanın kimyasal formülü Al_2O_3 dür. Aluminyum oksit kaynaklarda bilinen adıyla kısaca alümina; elektriksel açıdan yalıtkan bir malzemedir [11]. Günümüzde endüstri başta olmak üzere yaygın bir şekilde farklı amaçlarla kullanılan alümina Avusturyalı bilim insanı Bayer tarafından üretilmiştir. Kaynaklarda Bayer prosesi olarak da geçen bir işlemle üretilir [11]. Farklı hallerdeki alümina aşındırıcı malzeme olarak da tercih edilir. Aşındırıcı olarak kullanılan

alümina yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Elektrik elektronik piyasasında kapasite ve rezistansların malzeme yapısında alümina bulunur. Alüminalar Bayer sürecine göre imal edildiğinden üretim maliyeti düşüktür [61-62]. Bu tez çalışmasında kullanılan alüminanın teknik özellikleri Tablo 3.1’ de verilmiştir [63]. Ayrıca kullanılan alümina Şekil 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1: Alüminanın teknik özellikleri.

Teknik Nitelik Adı	
Saflık	+%99.5
Parçacık Boyutu	1-2 μm
CAS Numarası	1344-28-1
Erime Noktası	2072 °C
Kaynama Noktası	2980 °C
Yoğunluk	3.965 G/Cm ³
Biçim	Toz
Kristal Yapı	Altıgen
MOHS Sertliği	9
Elektrik Direnci	1 x 10 ²² Mikrohm-Cm
Uygulamalar	Lepleme, Parlatma
Renk	Beyaz



Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan alümina.

3.1.2.Silisyum Karbür

Silisyum karbürün kimyasal formülü SiC’ dir. Kimyasal formülünde de görüldüğü üzere oksit barındırmayan seramik temelli bir bileşiktir [11]. Silisyum karbür kovalent bağlı bir bileşiktir. Silisyum karbür maliyeti düşük olmakla birlikte sahip olduğu avantajları sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu avantajların başında mekanik dayanıklılığının yüksek olması, sertliği, çok iyi seviyede oksidasyon direncine sahip olması, termal açıdan net bir duruş sergilemesi, yüksek iletkenlik, ısıl genleşme katsayısının düşük olması, aşınmaya karşı güçlü olması ve termal şok direncine sahip olması gelir [64-65]. Bu tez çalışmasında kullanılan

silisyum karbürün teknik özellikleri Tablo 3.2’ de verilmiştir [66]. Tezde kullanılan silisyum karbür Şekil 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3.2: Silisyum karbürün teknik nitelikleri.

Teknik Özellik Adı	
SiC	%99
Serbest Karbon	%0.05
Al	%0.018
Fe	%0.057
Ca	%0.050
Isıtma Gücü (KJ/mol)	30.343
Sertlik	9.5 Mohs
Yoğunluk (288k)	3.216 g/cm ³
Sıkıştırılabilirlik Katsayısı	0.21 x 10 ⁻⁶
Termal Genleşme Katsayısı	2.98 x 10 ⁻⁶ (1173 K)
Parçacık Boyutu	1 µm



Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan silisyum karbür.

3.1.3. Borik Asit

Borik asidin literatürde kimyasal formülü H_3BO_3 olarak geçer. Bor malzemesinin molekül kütlesi 61.83 gr/mol dür. Erime noktası 169 derecedir. Öz ağırlığı ise 1,44 dür. Oluşum entalpisi -1089 kJ/mol dür. Çözündüğü ısı değeri 22.2 kJ/mol dür. Molekül görünümü kristal yapıdadır. Sıcaklık artışından sudaki çözünme seviyesi olumlu etkilenir. Bu sebebe dayanarak endüstri de borik asit kristallendirme amacıyla kullanılırken sıcaklığı düşürülür. Borik asit günlük hayatta çok yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Temel kullanıldığı yerler arasında cam ve seramik endüstrisi gelir. Borik asit; bor ürünlerinin sülfirik asit ile asitlenmesinin sağlanması sonucu meydana gelir. Türkiye’de bor konusunda önde gelen kuruluşlardan biri de ETİBOR A.Ş. Boraks ve Asit Fabrikaları İşletmeleridir [67] .

Bu tez çalışmasında kullanılan borik asidin yarıçapı dijital mikroskop yardımıyla ölçülmüş ve yaklaşık 0.26 mm olduğu görülmüştür. Tezde kullanılan borik asit Şekil 3.3’ te verilmiştir.



Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan borik asit.

3.1.4. Bor Oksit

Literatürde bor oksitin kimyasal formülü B_2O_3 olarak geçer. Diğer adı susuz borik asittir. Bünyesinde yaklaşık %1 oranında su bulunur. Bor oksidin meydana gelmesi için borik asitten optimum sıcaklık değerindeyken su azaltılması gerekir. Görünümü renksiz cam şeklindedir. Oda şartlarında nemçeken bir özelliği vardır. En yaygın olarak kullanıldığı alan cam endüstrisidir. Bunun yanında porselen sırlama işlemlerinde, eritme süreçlerinde, seramik kaplama alanları da bulunur. İlâveten; birçok organik tepkimenin hızlandırıcısı görevini üstlenir. Son olarak çok fazla sayıda bor bileşiğinin giriş malzemesidir [67].

Bu tez çalışmasında kullanılan bor oksidin yarıçapı dijital mikroskop yardımıyla ölçülmüş ve yaklaşık 0.86 mm olduğu görülmüştür. Tezde kullanılan bor oksit Şekil 3.4' te verilmiştir.



Şekil 3.4: Çalışmada kullanılan bor oksit.

3.1.5. Boraks Pentahidrat

Kaynaklarda adı boraks pentahidratın adı disodyum tetraborat olarak da geçer. Kimyasal formülü $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ dur. Molekül öz ağırlığı 291.35 gr/mol dür. Özağırlığı ise 1.88 gr/mol'dür. Isınma ısısı 0.316 kcal/gr °C dir. Oluşum entalpisi 1143,5 kcal/mol'dür. Doymuş

boraks çözeltisinin eşik sıcaklık değeri olan 60°C'yi geçtikten sonra kristallenmesi sonucu meydana gelir [67].

Bu tez çalışmasında kullanılan boraks pentahidratın yarıçapı dijital mikroskop yardımıyla ölçülmüş ve yaklaşık 0.70 mm olduğu görülmüştür. Tezde kullanılan boraks pentahidrat Şekil 3.5' te verilmiştir.



Şekil 3.5: Çalışmada kullanılan boraks pentahidrat.

3.2.ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Bu tez çalışmasında, örnek hazırlama süreci iki adımda gerçekleştirilmiştir. Bunlar sırasıyla; eğik düzlem testi için örnek hazırlama süreci ve AA analizi için örnek hazırlama süreci şeklindedir.

3.2.1. Eğik Düzlem Testi İçin Örnek Hazırlama Süreci

Bu çalışmada genel amaçlı cam elyaf takviyeli polyester reçine ile çalışılmıştır. Üretim esnasında özen gösterilmesi gereken husus polyester reçine üzerine eklenecek kobalt ve MEKP (metil etil keton peroksit) malzemelerinin doğru ve istenen yüzdelik oranda olmasıdır. Kullanılan polyesterin marka ve niteliklerine bağlı olarak üzerine eklenecek MEKP ve kobalt oran miktarı ve aynı zamanda etüvde kalma süresinin, etüvde kalırken uygun görülen sıcaklık derecesinin değiştiği başka çalışmalarda görülmüştür [1, 16, 21, 68].

3.2.1.1. Katkılı Polyester Reçine Örnek Üretimi

Çalışmada kullanılan tüm örnekler için aynı üretim prosedürü uygulanmış olup kısaca katkı malzemeli bir polyester reçine örneği için aşağıda anlatılmıştır. Bu çalışmada polyester miktarı kalıp silikonun hacmi ve polyester reçinenin yoğunluğuna bakılarak uygun miktar olan 50 gr

değerine karar verilmiştir. Bir kap içine 50 gr genel amaçlı cam elyaf takviyeli polyester reçine eklenip üzerine belirlenen katkı malzemesinin yüzdelik oranında eklenip homojen görüntü elde edene kadar yavaş bir şekilde karıştırılmıştır [69]. Karıştırma esnasında dikkatli davranılması gerekir aksi halde üretilen polyesterin yapısında çok fazla miktarda hava kabarcığı meydana gelir ve bu durum elektrik endüstrisinde istenilmez. Bu çalışmada karıştırma aparatı olarak 3 ml kapasitedeki pastör pipet tercih edilmiştir. Homojen görüntü elde edildikten sonra üzerine polyester ağırlığının binde 2'si kadar kobalt (Co) eklenmelidir [69]. Bu çalışmada kullanılan kobalt ve MEKP sıvı malzeme olduklarından ekleme işleminde 5cc'lik enjektörden yararlanmıştır. Kobaltın buradaki görevi hem hızlandırıcı olması hem de polyestere renk vermesidir. Özellikle etüv işleminin ardından bu renk verme işlevi daha net gözlemlenir hale gelir. Üretimde kullanılan MEKP'in görevi ise polyesteri sertleştirmektir. Kobalt eklenip yeniden homojen görüntü elde ettikten sonra polyester ağırlığının yüzde biri kadar MEKP eklenir tekrar dikkatli bir şekilde karıştırıldıktan sonra kalıp silikona dökülür [69]. Burada kullanılan PET (polietilen tereftalat) filmin bilinen görevi üretilen örneklerin yüzeyinin pürüzsüz olması [1,69]. Ayrıca PET film yüzey oksidasyonunu da önler [1]. Kalıp silikonda kalma süresi de yine markaya bağlı olarak değişse de bu çalışmada kullanılan polyester için 24 saattir [69]. Bu süre içinde kürlenme işlemi devam etmektedir. Üretilen polyester reçineli malzeme örneğinin kimyasal açıdan çapraz bağ yaparak mukavemetini arttırması için örnekler PET filmli haliyle etüve atılır. Bu tez çalışmasında örnekler etüvde 80°C de 5 saat sürekli bir biçimde bekletilmiştir. Şekil 3.6' da çalışmada kullanılan kalıp silikon verilmiştir. Bu kalıp silikon IEC 60587 standardındaki ölçülere uygundur [70].



Şekil 3.6: Çalışmada üretim için kullanılan örnek kalıp silikon.

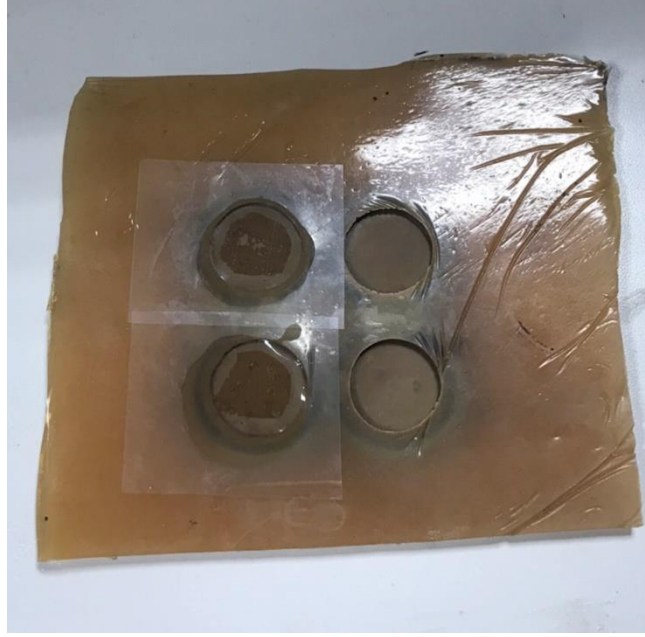


Şekil 3.7: Eğik düzlem testinde test edilmeye hazır bir numune.

Şekil 3.7’ de gösterilen numuneye IEC 60587 standardında belirtilen ölçülere uygun bir şekilde delik açılmıştır [70]. Şekil 3.7’ de verilen örnek numune %1 bor oksit katkılı polyester reçine numunesine aittir. Bu numune matkap ile delinirken IEC 60587 standardına uygun olması açısından 5 mm lik matkap ucu kullanılarak delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Katkısız polyester üretimi ile katkılı polyester üretiminde aynı esaslar doğrultusunda üretim yapılmaktadır. Katkılı üretim ile aynı adımlarda üretim gerçekleştirildiğinden yeniden ele alınmamıştır.

3.2.2. AA (Alternatif Akım) Analizi İçin Örnek Hazırlama Süreci

Bu çalışmada üretilen polyester miktarı kalıp silikonun hacmi ve polyesterin yoğunluğuna bakılarak uygun miktar belirlendikten sonra takip edilen işlem basamaklarındaki adımlar eğik düzlem için testi için yapılan örnek üretimi ile aynı şekilde devam eder. İşlemler aynı proses ve materyallerle (enjektör, pastör pipet ..vs.) gerçekleştirilmiştir. Eğik düzlem testi için numune üretiminde kullanılan polyester reçine ile çalışıldığından eklenen MEKP ve kobalt (Co) yüzde oranları da aynıdır. Test edilen tüm örnekler aynı kalıpta üretilmiş olup çapı yaklaşık 2.89 cm, kalınlığı (yüksekliği) yaklaşık 3mm’dir. Bu değerlere göre her bir örneğin üretildiği silikon kalıbın hacmi sabit olup yaklaşık 1.97 cm³ dir.



Şekil 3.8: AA ölçüm için kullanılan kalıp silikon.

Şekil 3.8’de gösterilen kalıp silikonun içindeki iki numune saf polyester reçine üretimine aittir, 24 saat oda şartlarında kürlenmesi için bekletilmiştir. Saf polyester reçineli numunelerin yanında katkılı polyester reçineli üretimlerde yapılmıştır. Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’ de her bir katkı oranında beş katkı malzemesine ait üretimlerinden birer örnek verilmiştir. Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilen örneklerde kullanılan katkı malzemeleri soldan sağa sırasıyla; boraks pentahidrat, alümina, borik asit, silisyum karbür ve bor oksittir. Şekil 3.9’ da %0.5 katkı oranındaki numuneler verilmiştir.



Şekil 3.9: %0.5 katkı oranındaki AA testi ölçüm numune serisi.

%1 katkı oranındaki numuneler Şekil 3.10’ da verilmiştir.



Şekil 3.10: %1 katkı oranındaki AA testi ölçüm numune serisi.

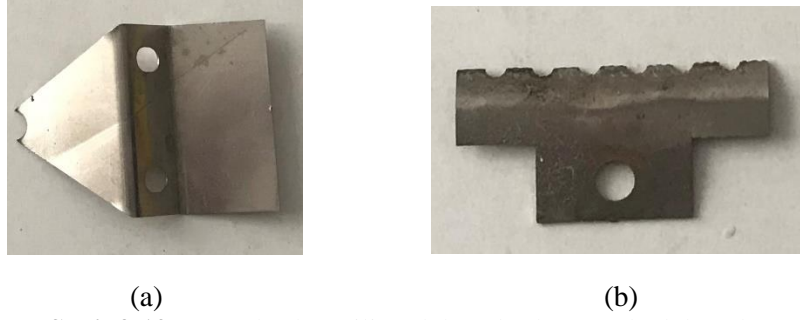
%2 katkı oranındaki numuneler Şekil 3.11’ de verilmiştir.



Şekil 3.11: %2 katkı oranındaki AA testi ölçüm numune serisi.

3.3.EĞİK DÜZLEM TEST DÜZENEĞİ

Bu çalışmada kapsamında hazırlanan tüm polyester reçine örnekler laboratuvar şartlarında IEC 60587 test standardı doğrultusunda düzenlenen deney düzeneğinde test edilmiştir [50,70]. Öncelikle standartta belirtilen 4kV AA çıkış gerilimi yüksek gerilim probu ile ölçülmüştür. Bu çıkış gerilimin değeri deney setindeki transformatör ve varyak aracılığıyla ayarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan kapasitif yüksek gerilim probunun çevirme oranı 1/1000 dir. Ayrıca çalışmalarda kullanılan multimetrenin markası; UNI-T UT33A serisidir. Sonra standartta belirtilen 36 ml/s sıvı akış hızı değeri infüzyon pompasında ayarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan infüzyon pompası B.BRAUN markadır. Daha sonraki adımlarda tüm test düzeneğindeki mataryeller IEC 60587 standartı doğrultusunda test edilip örneklerin bozulma süreleri gözlemlenmiştir. Sağlıklı neticeler elde etmek için bu testlerdeki her serinin belirli sayılarda üretimi yapılmıştır [50]. Bu çalışmada kullanılan tüm örnekler 80 °C sıcaklıktaki bir etüvde 5 saat süre ile fırınlanmıştır [69]. Tüm örneklerin ebatları (en, boy, kalınlık) standartta istenildiği gibidir. Eğik düzlem test düzeneğinin 45° lik açı yapması gerekir [50]. Elektrolit çözelti olarak standartta belirtilen yüzdellik oranlarda saf suyun içine amonyum klorür (NH₄Cl) ve Triton-X 100 kullanılmıştır [70]. Ayrıca bu tez çalışmasında hazırlanan sıvı formdaki çözeltinin deneye başlamadan önce sıvı iletken ölçer aracılığıyla iletkenlik seviyesi ölçülmüş ve yaklaşık olarak 0.2615 S/m değeri görülmüştür. Çalışmada kullanılan sıvı iletkenlik ölçer; Xiaomi marka olup ölçtüğü değerler ppm cinsinden elde edilerek çevrilmiştir. Ayrıca sıvıölçer yardımıyla yapılan ölçümler beşer kere tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır. Deneyde filtre kâğıdı olarak Whatman tipi filtre kâğıdı istenen ölçülerde kesilerek kullanılmıştır [70]. Eğik düzlem testinde kullanılan yüksek gerilim ve toprak elektrotları standartta belirtilen ölçülerde olup aynı zamanda standartta belirtildiği gibi çelikten üretilmiş ve Şekil 3.12’ de verilmiştir [70].

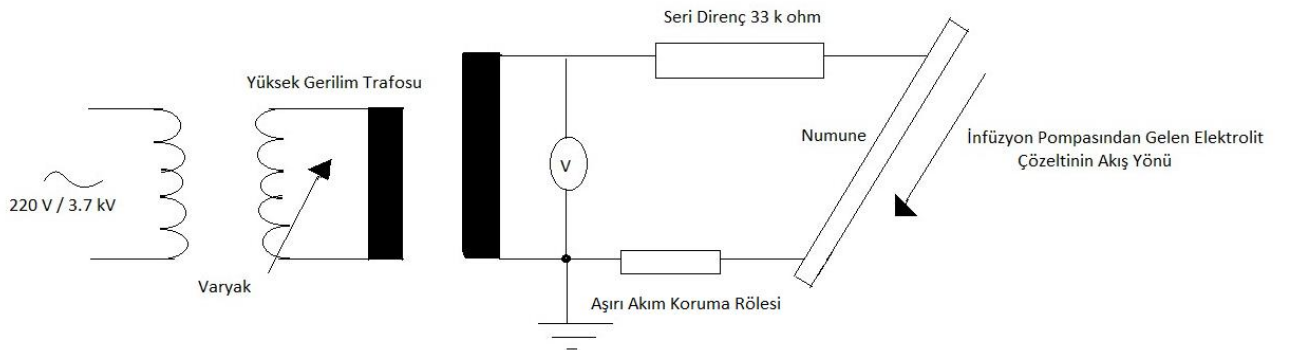


Şekil 3.12:(a) Yüksek gerilim elektrodu (b) toprak elektrodu.



Şekil 3.13: Test düzeneği.

Şekil 3.13'te eğik düzlem test düzeneği ve Şekil 3.14' te düzeneğin şematik gösterimi verilmiştir. Testlerde kullanılan infüzyon pompası Şekil 3.15' te verilmiştir.



Şekil 3.14: Eğik düzlem deney seti şematik gösterimi.



Şekil 3.15: Testlerde kullanılan infüzyon pompası.

Eğik düzlem testinde elektrotları numune ile temasını sağlamak, deney setinde sabit bir şekilde tutmak ve deney setinde oturtturmak için vida ve somon kullanılır.

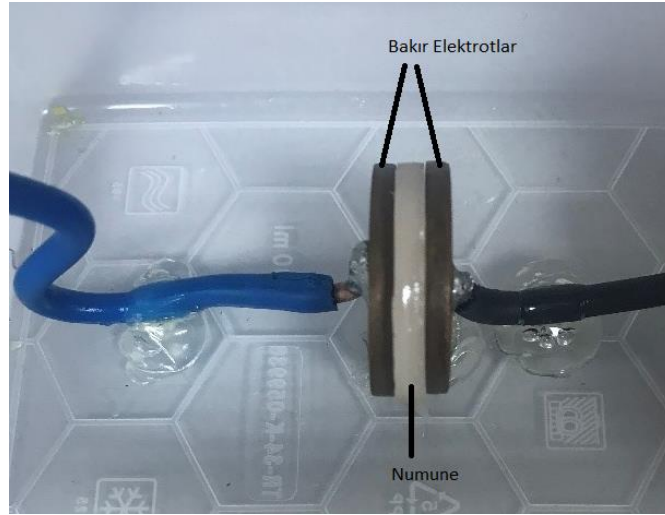
3.4.AA (ALTERNATİF AKIM) ANALİZİ TEST DÜZENEĞİ

Bu çalışma kapsamında hazırlanan tüm örnek polyesterler düzgün bir alan oluşturmak için aynı alana sahip dairesel iki bakır levhanın arasına yerleştirilir; bu esnada bakır levhanın polyester reçine örneğiyle temasının sağlanmasından emin olunmalıdır. Bu çalışmada kullanılan dairesel bakır elektrotların çapı 2.89 cm olarak seçilmiştir [71]. Bakır levhaların kalınlığı yaklaşık 3 mm değerindedir. Üretim kısmında örneklerin kalınlığı da 3 mm olarak seçilmiştir. Sonra deney setinin üzeri manyetik girişimleri engellemek için alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Şekil 3.16'daki deney seti incelendiğinde kullanılan topraklı alüminyum folyonun görevi manyetik ekranlamadır. Böylece manyetik parazitlerden deney seti korunmuş olur. Deney setinde kullanılan test cihazı GWINSTEK marka olup LCR-6300 serisidir. Test için belirlenen frekans değerleri on adettir ve bu frekans değerleri 10 Hz ile 300 kHz arasındadır. Belirlenen bu değerlerle farklı örneklerin farklı yüzde oranlarıyla kayıp faktörleri, empedansları ve kapasiteleri ölçülmüştür. Bilgisayar ortamında incelenen veriler Microsoft Excel programında analiz edilmiştir. Ayrıca üretilen her bir örnek için testler en az 10 kere tekrar yapılarak ortalama alınmıştır Şekil 3.16' da AA analiz için kullanılan test düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.16: AA test düzeneği.

Şekil 3.17' de AA analizi için bakır elektrotlar ve test örneği yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.17: AA analizi için test örneği yerleşimi.

3.5.HİDROFOBİSİTE TESTİ

Bu tez çalışmasının son kısmında bariz farkın görüldüğü katkı oranı %2 olan numuneler ile saf polyester numuneler hidrofobisite testine tabii tutulmuştur. Hidrofobisite testi için yeni bir kalıp çeşidi kullanılmamış eğik düzlemde yüzeyde iz oluşumu testi için kullanılan kalıp silikon ile üretilen örnekler kullanılmıştır. Polimerik yalıtkan malzemelerde yüzey özelliklerinin belirlenmesinde hidrofobisite testi önemli sonuçlar veren bir metottur [28,72,73]. Hazırlanan numunelerin ıslanabilirlik niteliklerini (hidrofobisite ve hidrofilisite) değerlendirme amacıyla temas açısı ölçülmüştür. Bu tez çalışmasında temas açısı ölçümlerinde Mustafa Karhan tarafından geliştirilen MATLAB yazılım programında geliştirilen kullanıcı ara yüzünden yararlanılmıştır [74]. Bu programda temas açısı ölçümünde yarım açı metodu uygulanmıştır. Test edilen numunelerin yüzeyine 20 μ L hacmindeki saf su akıtılarak damlacık biçimi ve temas açıları değerlerine erişilmiştir. Ölçümler esnasında testin yapıldığı ortamın sıcaklığı $24^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve ortamın nem değeri de RH %35 \pm 3 olarak kaydedilmiştir. Tüm numunelerde aynı işlem uygulanmış, uygulanan işlemlerde güvenilir sonuçlar elde etmek işlemler en az 5 kere tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır. Şekil 3.18' de saf polyester numuneye ait temas açısı ölçümünden bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.18: Saf polyester numuneye ait örnek temas açısı ölçümü.

4. BULGULAR

Bu bölümde incelenen test örneklerinin eğik düzlem test sonuçları, alternatif akım analizi testi sonuçları ve hidrofobisite test sonuçları verilmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerden borlu bileşiklere ait boyut bilgileri elde mevcut olmadığından dijital mikroskoptan yararlanılmıştır. Her bir malzeme çeşidi için yapılan ölçümlerin güvenilir ve sağlıklı olması bakımından siyah zemin üzerine konulan malzeme çeşidinden her defasında farklı tanecik seçilerek ölçümler tekrarlanmıştır. Ölçümlerde boyutlar ölçülmüş olup tanecik yarıçapları saptanmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.1: Boyut ölçümünde kullanılan dijital mikroskop.



(a)

(b)

(c)

Şekil 4.2: (a) Boraks pentahidrata ait bir görsel (b) borik asite ait bir görsel (c) bor oksite ait bir görsel.

Dijital mikroskop ile ölçüm yapılırken borlu bileşiklerden; boraks pentahidratın tanecik yapısının en düzgün, bor oksidin ise tanecik yapısının en girintili çıkıntılı (dağınık) olduğu

tespit edilmiştir. Ölçümlerde borik asitin ortalama yarıçap değerinin 0.26 mm, bor oksitin ortalama yarıçap değerinin 0.86 mm olduğu ve boraks pentahidratın ortalama yarıçap değerinin 0.70 mm olduğu gözlenmiştir. Bu değerlere göre en büyük boyuttaki borlu bileşiğin bor oksit olduğu tespit edilmiştir.

4.1.EĞİK DÜZLEM TEST DÜZENEGİ SONUÇLARI

Eğik düzlem testinde literatür çalışmaları çıkış gerilimi için eşik değerin 3.5 kV olduğunu göstermiştir [75]. Akış hızının tüm gerilim seviyelerinde sabit (36 ml/s) iken gerilim değerinin iz oluşumunun başladığı sürenin kısılmasına etkisi olduğunu göstermiştir [1].

Bu çalışmada ilk olarak saf (katkısız) polyster örneklerine ait ortalama test süreleri incelenmiş ardından katkılı örnekler test edilmiştir. Böylece eklenen katkı malzemesinin polyster reçine üzerindeki elektriksel ömür değerine etkisi daha net kıyaslanabilmiştir. Bu çalışmada saf (katkısız) polyster reçineli örneklerin ortalama ömrü 18 dakika 36 saniyedir. Bu tez çalışmasında eğik düzlemde iz oluşumuna tabi tutulan katkılı örneklerle ait sayısal bilgiler Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1: Katkı türüne ve katkı oranına bağlı olarak ortalama ömür süresi.

Katkı Türü	Ortalama Ömür Süresi		
	%2 Katkı Oranı	%1 Katkı Oranı	%0.5 Katkı Oranı
Silisyum Karbür (SiC)	30 dk 46 sn	13 dk 47 sn	10 dk 48 sn
Alümina (Al ₂ O ₃)	35 dk 43 sn	14 dk 19 sn	10 dk 3 sn
Borik Asit (H ₃ BO ₃)	68 dk 15 sn	25 dk 50 sn	14 dk 22 sn
Bor Oksit (B ₂ O ₃)	58 dk 11 sn	13 dk 51 sn	40 dk 41 sn
Boraks Pentahidrat (Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O)	18 dk 34 sn	35 dk 49 sn	26 dk 48 sn

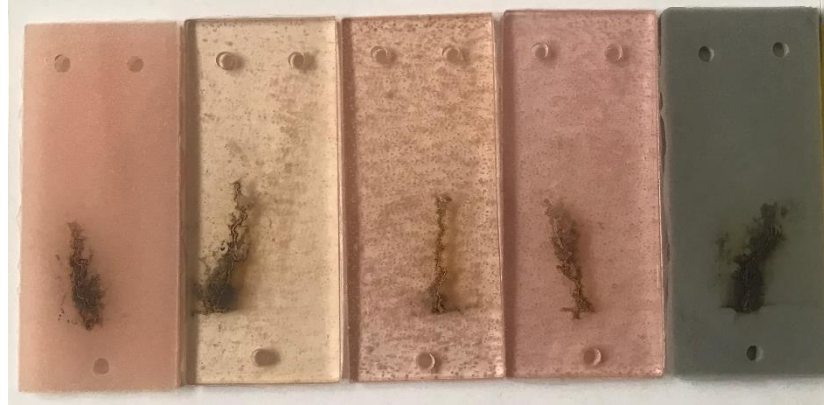
Bu tez çalışmasında silisyum karbürü örneklerin sonuçları literatürdeki çalışmaları destekler nitelikte olduğu görülmüştür. Başka bir ifadeyle katkı oranı eklemenin olumlu sonuç vermiştir. Boraks pentahidrat hariç yapılan test neticesinde katkı türlerinde en dayanıklı katkı oranının %2' de sağlandığı görülmüştür. Ayrıca Tablo 4.1 incelendiğinde en dayanıklı malzemenin %2 katkı oranıyla hazırlanan borik asitli polyster olduğu görülmüştür.

Eđik d¼zlemde test edilen ¼rneklerden her seriden birer adet olacak Őekilde ilgili g¼rseller aŐađıda verilmiŐtir. Őekil 4.3, Őekil 4.4 ve Őekil 4.5 teki ¼rneklerde kullanılan katkı malzemeleri soldan sađa sırasıyla; al¼mina, boraks pentahidrat, bor oksit, borik asit ve silisyum karb¼rd¼r. Eđik d¼zlem testi neticesinde y¼zey aŐımına uđramıŐ %0.5 katkı oranındaki polyester rećineli numuneler Őekil 4.3' te verilmiŐtir.



Şekil 4.3: %0.5 katkı oranındaki eğik d¼zlem numune serisi.

Eđik d¼zlem testi neticesinde y¼zey aŐımına uđramıŐ %1 katkı oranındaki polyester rećineli numuneler Őekil 4.4' te verilmiŐtir.



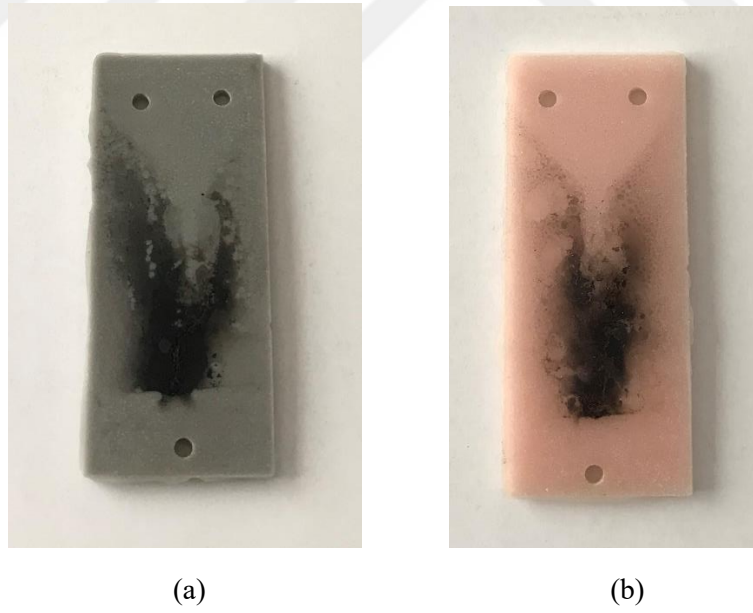
Şekil 4.4: %1 katkı oranındaki eğik d¼zlem numune serisi.

Eđik d¼zlem testi neticesinde y¼zey aŐımına uđramıŐ %2 katkı oranındaki polyester rećineli numuneler Őekil 4.5' te verilmiŐtir.



Şekil 4.5: %2 katkı oranındaki eğik düzlem numune serisi.

Üç katkı oranına ait serilerden oluşan polyester reçineli karışımlar Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 incelendiğinde katkılı polyester reçine içinde kendisini en net bir şekilde görselde belli eden borlu bileşik taneciğinin bor oksit olduğu görülmüştür. Katkılı numunelerde her zaman başarılı bir saf polyester numunenin eğik düzlemde test edilirken olduğu gibi tam da ortadan ağaçlanma yaparak yanmadığı görülmüştür. Ayrıca numuneler test edilirken karbon yol iz oluşumunu da gözlemlenmiştir [68]. Şekil 4.6' da karbon yol iz oluşumu ile ilgili örnekler verilmiştir.



(a)

(b)

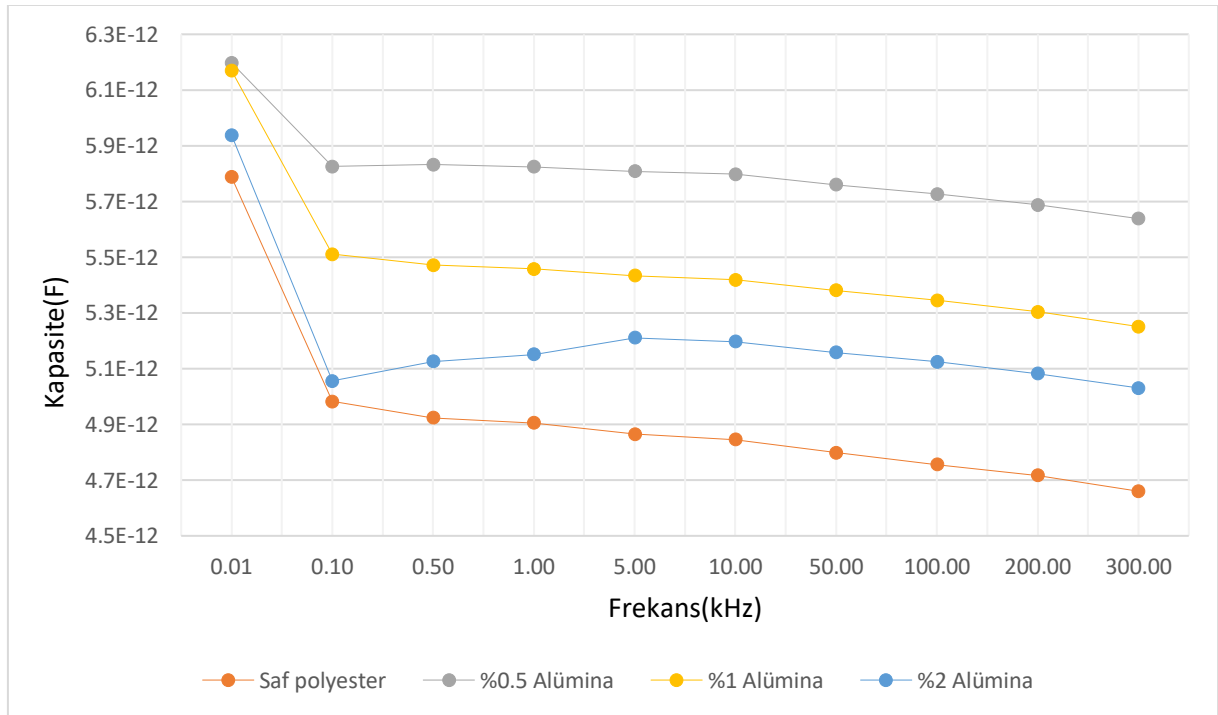
Şekil 4.6: (a) Silisyum karbür katkıli numunede karbon yol iz oluşumu (b) alümina katkıli numunede karbon yol iz oluşumu.

4.2. AA (ALTERNATİF AKIM) ANALİZİ TESTİ BULGULARI

Bu tez çalışmasında AA analizi testi neticesinde elde edilen bulguların EXCEL programında grafikleri çizdirilmiştir. Bu tez çalışmasında test edilen örneklere ait dielektrik özellikler kapasite, kayıp faktörü ve empedans olarak seçilmiştir.

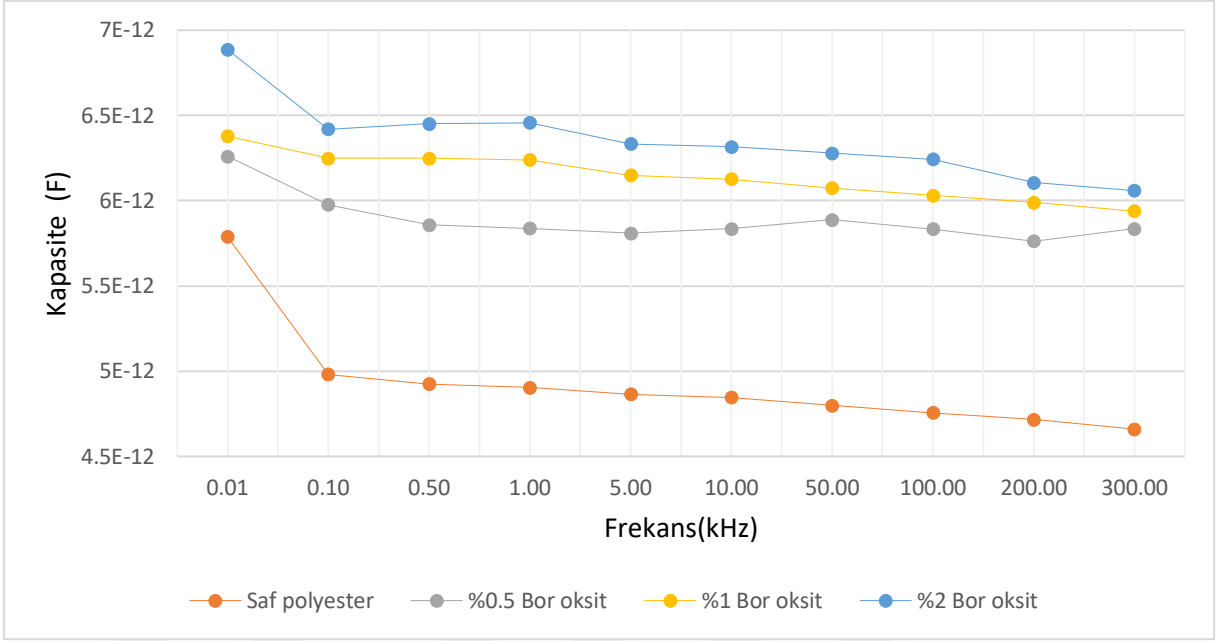
4.2.1.Kapasite Ölçümü

Saf polyester ile kapasite değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki alümina katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.7' de verilmiştir.



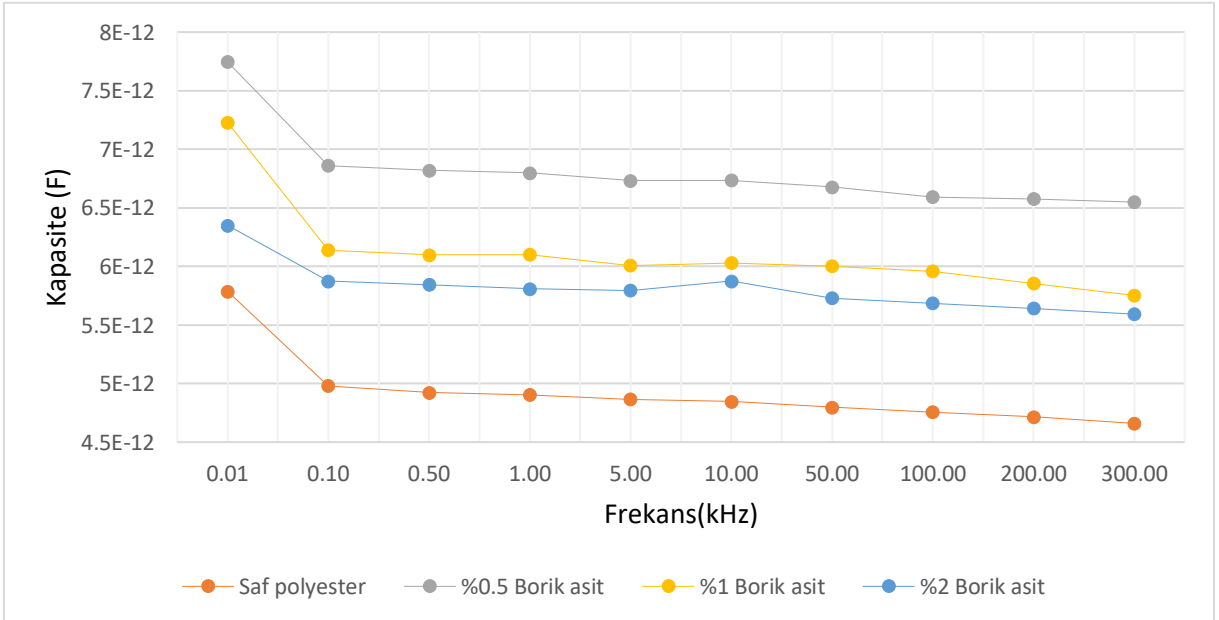
Şekil 4.7: Alümina katkılı numunelerde kapasite sonuçları.

Alümina katkılı polyester numunelerde katkı oranı küçüldükçe kapasite değerinin arttığı görülmüştür. Tüm katkı oranları dikkate alındığında en yüksek kapasite değeri 0.01 kHz frekans değerinde %0.5 katkılı örnekte yaklaşık $6,2 \times 10^{-12}$ F olarak görülmüştür. Saf polyester ile kapasite değerleri karşılaştırılan farklı katkı yüzdelesindeki bor oksit katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.8' de verilmiştir.



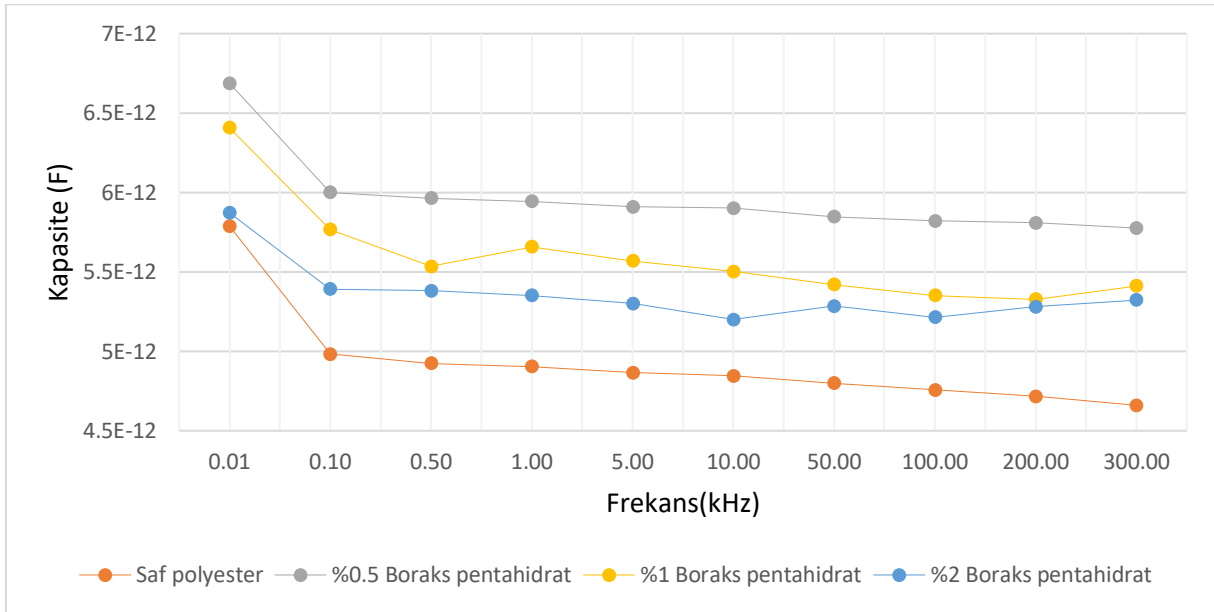
Şekil 4.8: Bor oksit katkılı numunelerde kapasite sonuçları.

Bor oksit katkılı polyester numunelerde katkı oranı arttıkça kapasite değerinin arttığı görülmüştür. Tüm katkı oranları en yüksek kapasite değerini 0.01 kHz frekans değerinde %0.5 katkılı örnekte yaklaşık $6,89 \times 10^{-12}$ F olarak tespit edilmiştir. Saf polyester ile kapasite değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki borik asit katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.9: Borik asit katkılı numunelerde kapasite sonuçları.

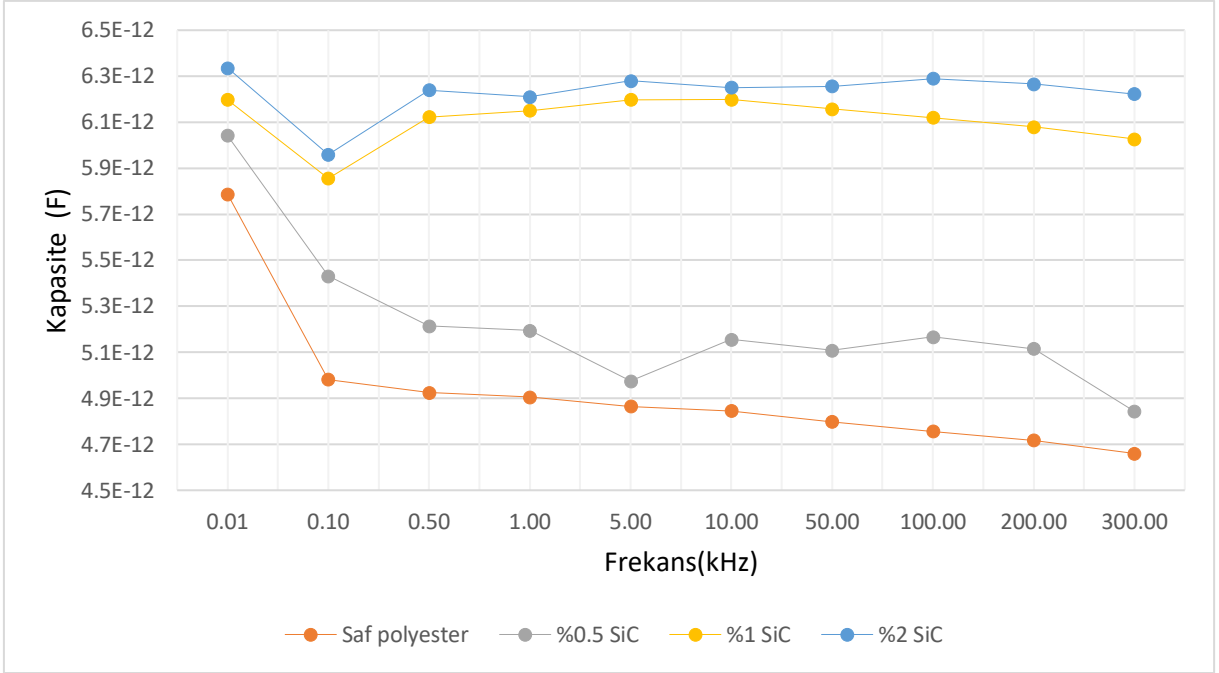
Borik asit katkılı polyester numunelerde katkı oranı küçüldükçe kapasite değerinin arttığı görülmüştür. Tüm katkı oranları en yüksek kapasite değerini 0.01 kHz frekans değerinde %0.5 katkılı örnekte yaklaşık 7.75×10^{-12} F olarak görülmüştür. Saf polyester ile kapasite değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki boraks pentahidrat katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.10' da verilmiştir.



Şekil 4.10: Boraks pentahidrat katkılı numunelerde kapasite sonuçları.

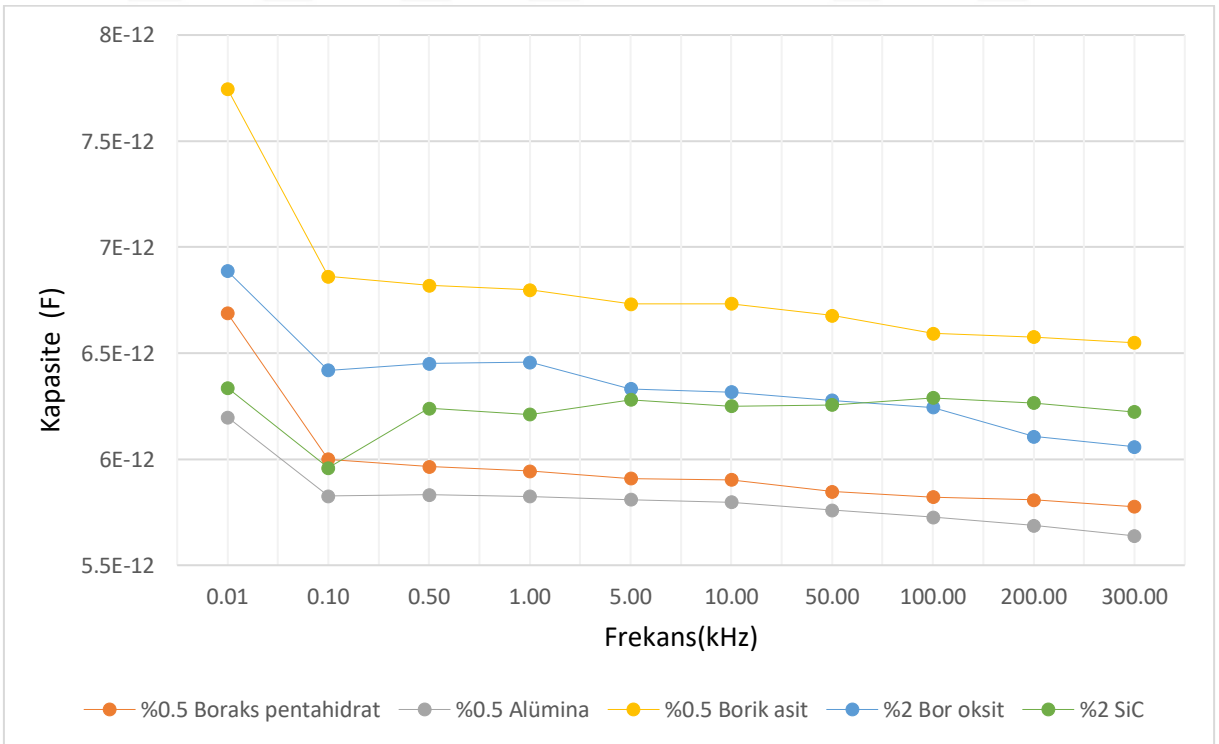
Boraks pentahidrat katkılı polyester numunelerde katkı oranı küçüldükçe kapasite değerinin arttığı görülmüştür. Tüm katkı oranları en yüksek kapasite değerini 0.01 kHz frekans değerinde %0.5 katkılı örnekte yaklaşık $6,69 \times 10^{-12}$ F olarak görülmüştür. Saf polyester ile kapasite değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki silisyum karbür katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.11' de verilmiştir.

Silisyum karbür katkılı polyester numunelerde katkı oranı arttıkça kapasite değerinin arttığı görülmüştür. %1 katkı oranı hariç geri kalan tüm katkı oranlarında en yüksek kapasite değerini 0.01 kHz de almıştır. %1 katkı oranında aldığı 0.01 kHz, 5 kHz ve 10 kHz de yaklaşık olarak aynı kapasite değerlerini aldığı görülür. Silisyum karbür katkılı polyester numunelerde en yüksek kapasite değeri %2 katkı oranında sağlandığı görülmüştür elde edilen bu değer yaklaşık 6.34×10^{-12} F olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.11: Silisyum karbür katkıli numunelerde kapasite sonuçları.

Tüm katkı türlerinde en yüksek kapasite değerini veren katkı oranları kıyaslanıp elde edilen grafik Şekil 4.12’ de verilmiştir. En yüksek kapasite değeri %0.5 borik asit katkısında elde edilmiştir.

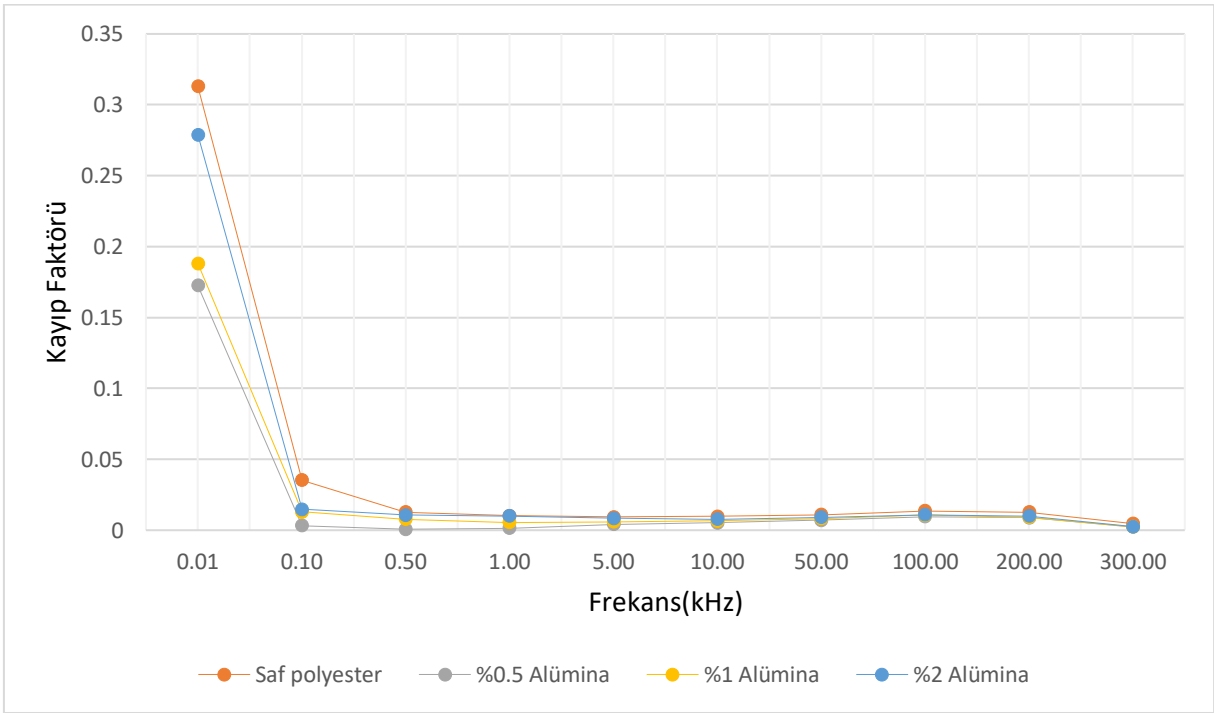


Şekil 4.12: Tüm numunelerde en yüksek kapasite sonuçları.

Genel olarak tüm katkı türlerinde frekans arttıkça kapasite değerinde küçülme olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan ölçümlerde elde edilen veriler kapasite değerinin katkı oranına bakılmaksızın her katkı türünde saf polyesterin üzerinde olduğunu göstermektedir.

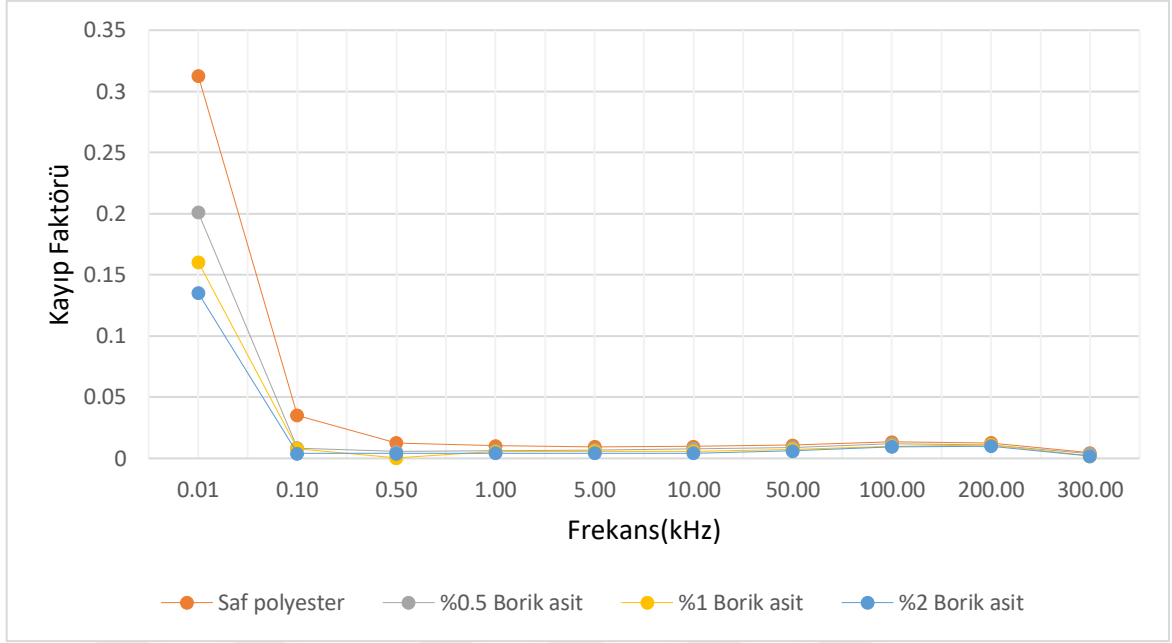
4.2.2.Kayıp Faktörü Ölçümü

Kayıp faktörü kapasitif bir örnek için eşdeğer devrede resistif etki ile kapasitif etkinin oranını verir. Yalıtım malzemelerinde bu değer yüksek olması istenmez. Saf polyester ile kayıp faktörleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki alümina katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.13' te verilmiştir.



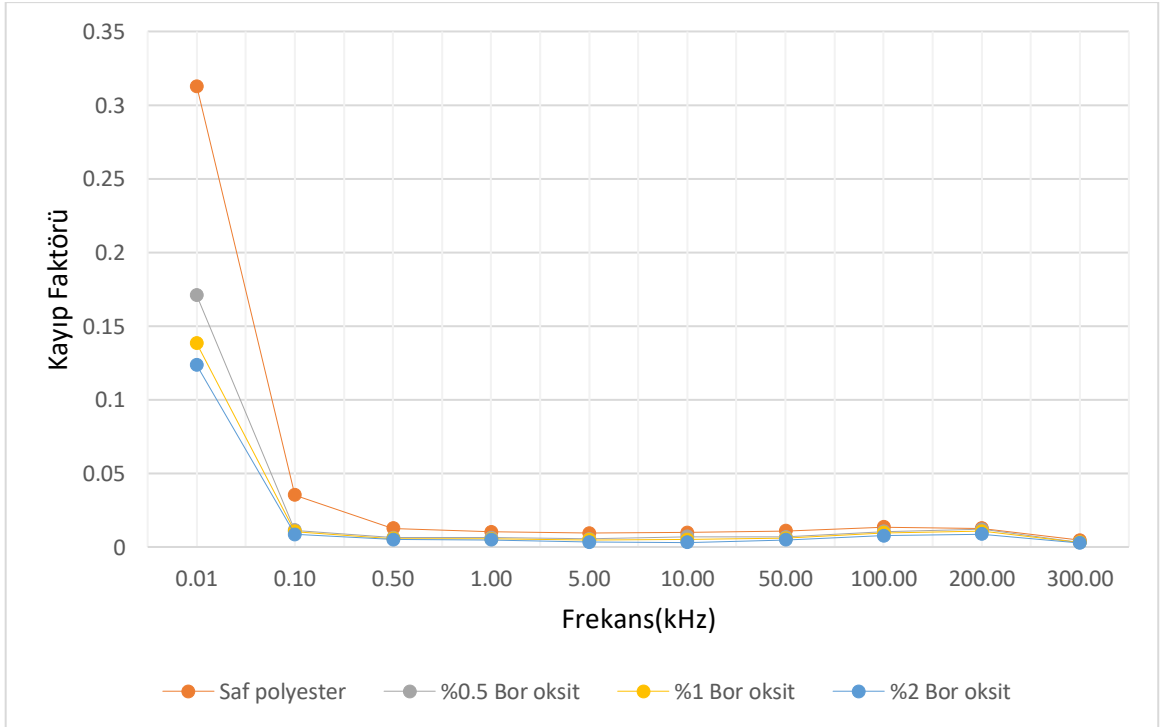
Şekil 4.13: Alümina katkılı numunelerde kayıp faktörü sonuçları.

Alümina katkılı numunelerde kayıp faktörünün en düşük olduğu katkı oranı %0.5' te sağlanmıştır. Alümina katkılı numunelerde genel olarak kayıp faktörleri saf polyesterin kayıp faktöründen azdır ve ayrıca katkı oranı düştükçe kayıp faktörü de azalmıştır. Alümina katkılı numunelerde kayıp faktörünün en yüksek olduğu frekans değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. Saf polyester ile kayıp faktörleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki borik asit katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.14' te verilmiştir.



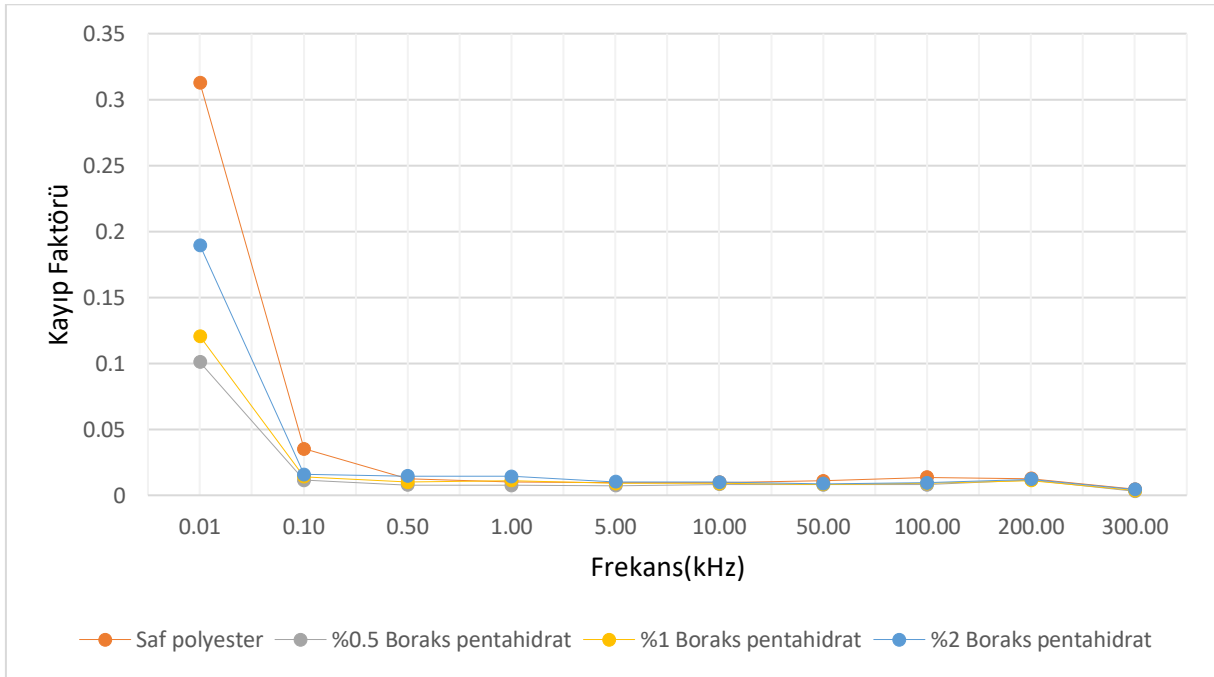
Şekil 4.14: Borik asit katkılı numunelerde kayıp faktörü sonuçları.

Borik asit katkılı numunelerde genel olarak kayıp faktörleri saf polyesterin kayıp faktöründen daha küçüktür ve ayrıca katkı oranı arttıkça kayıp faktörü de azalmıştır. Borik asit katkılı numunelerde kayıp faktörünün en yüksek olduğu frekans değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. Saf polyester ile kayıp faktörleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki bor oksit katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.15’ te verilmiştir.



Şekil 4.15: Bor oksit katkılı numunelerde kayıp faktörü sonuçları.

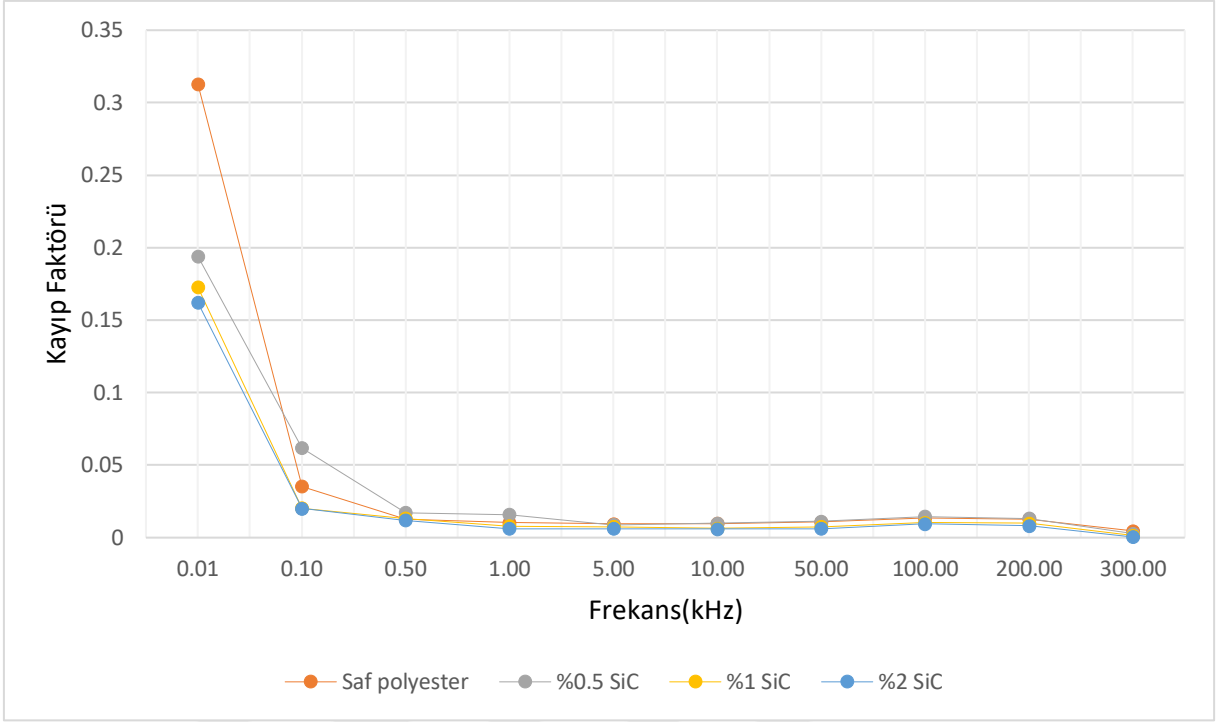
Bor oksit katkıli numunelerde genel olarak kayıp faktörleri saf polyesterin kayıp faktöründen daha küçüktür ve ayrıca katkı oranı arttıkça kayıp faktörü de azalmıştır. Bor oksit katkıli numunelerde kayıp faktörünün en yüksek olduğu frekans değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. Saf polyester ile kayıp faktörleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki boraks pentahidrat katkıli polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.16' da verilmiştir.



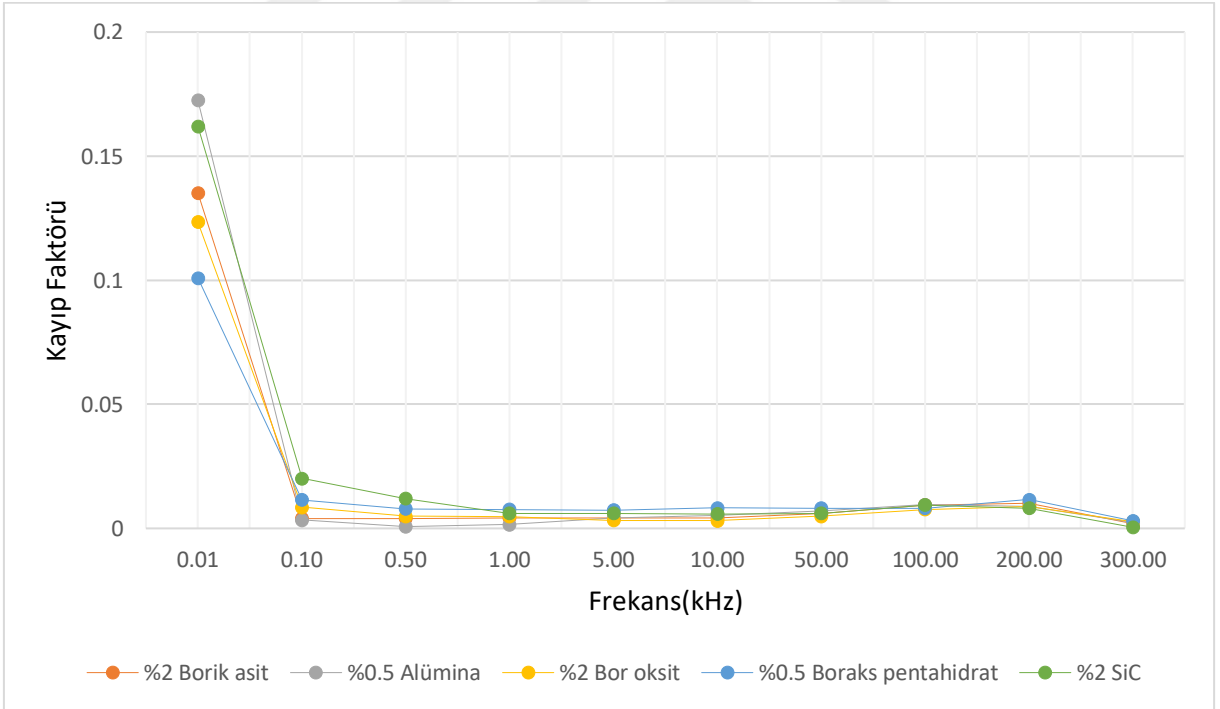
Şekil 4.16: Boraks pentahidrat katkıli numunelerde kayıp faktörü sonuçları.

Boraks pentahidrat katkıli numunelerde genel olarak kayıp faktörleri saf polyesterin kayıp faktöründen daha küçüktür ve ayrıca katkı oranı arttıkça kayıp faktörü de artmıştır. Borik asit katkıli numunelerde kayıp faktörünün en yüksek olduğu frekans değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. Saf polyester ile kayıp faktörleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki silisyum karbür katkıli polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.17' de verilmiştir.

Silisyum karbür katkıli numunelerde genel olarak kayıp faktörleri saf polyesterin kayıp faktöründen daha küçüktür ve ayrıca katkı oranı arttıkça kayıp faktörü de azalmıştır. Borik asit katkıli numunelerde kayıp faktörünün en yüksek olduğu frekans değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. Yapılan testler neticesinde tüm numunelerin kayıp faktörünün en düşük değeri aldığı katkı oranları kıyaslanmış ve elde edilen grafik Şekil 4.18' de verilmiştir.



Şekil 4.17: Silisyum karbür katkılı numunelerde kayıp faktörü sonuçları.

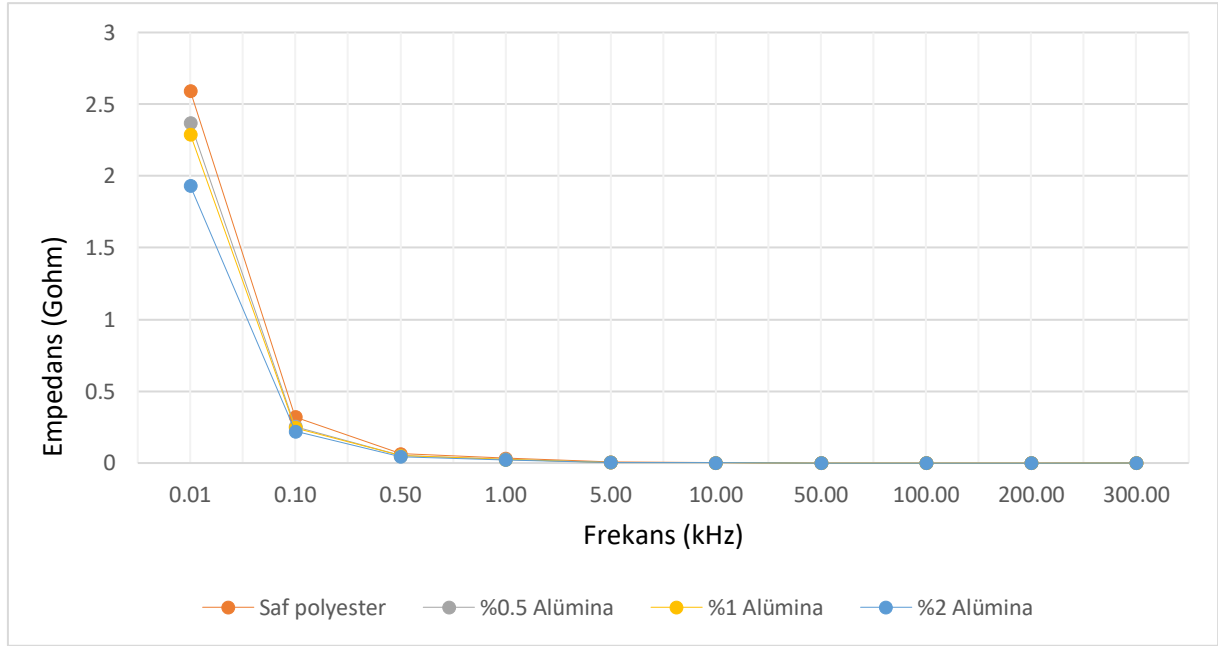


Şekil 4.18: Tüm numunelerde en düşük kayıp faktörü karşılaştırması.

Şekil 4.18 incelendiğinde kayıp faktörünün en yüksek değeri aldığı frekans değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. 0.01 kHz de en yüksek kayıp faktörü değeri %0.5 katkı oranındaki alümina iken en düşük kayıp faktörüne sahip olan numune %0.5 katkı oranındaki boraks pentahidrat olmuştur.

4.2.3. Empedans Ölçümü

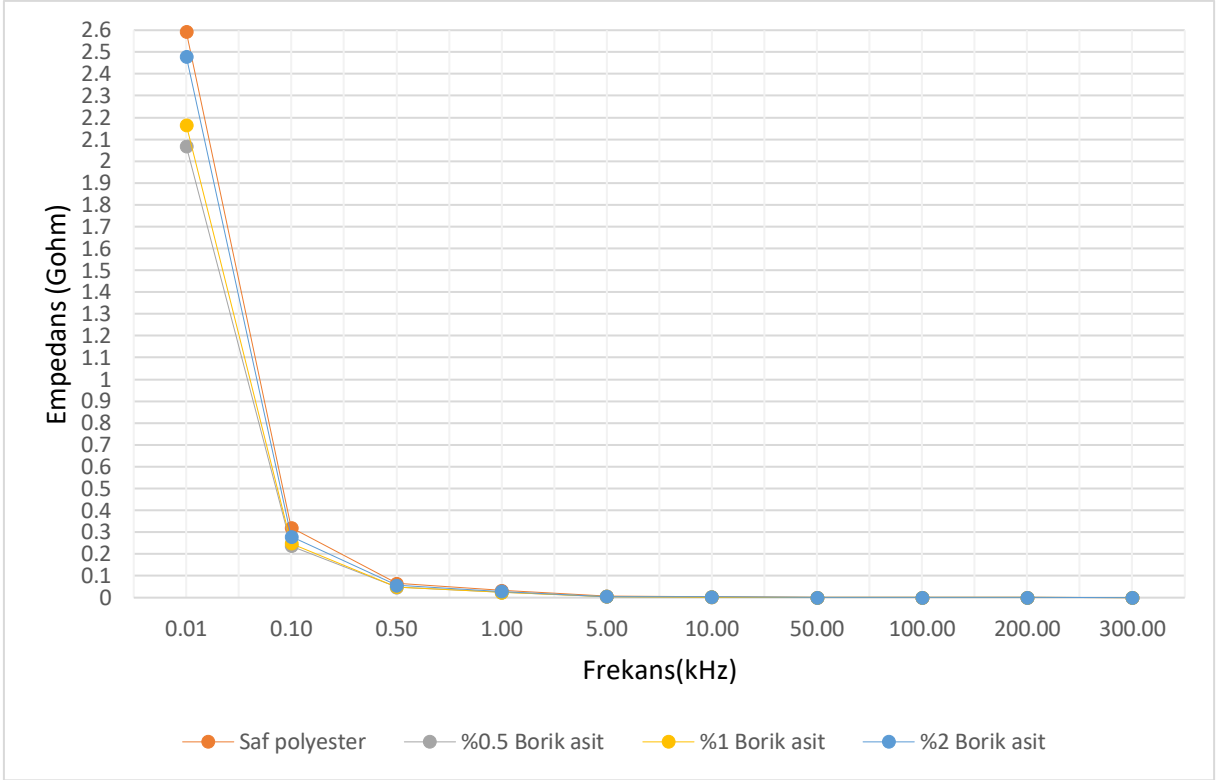
Alternatif akımda empedans değeri kapasitif ve rezistif etkilerin bütünüdür. İncelenen örnekler kapasitif özellikler gösterdiği için frekansa bağlı olarak empedans değeri değişmektedir. Bu kısımda tüm katkı türlerinde elde edilen empedans değeri giga ohm mertebesinde. Saf polyester ile empedans değeri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki alümina katkılu polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.19’ da verilmiştir.



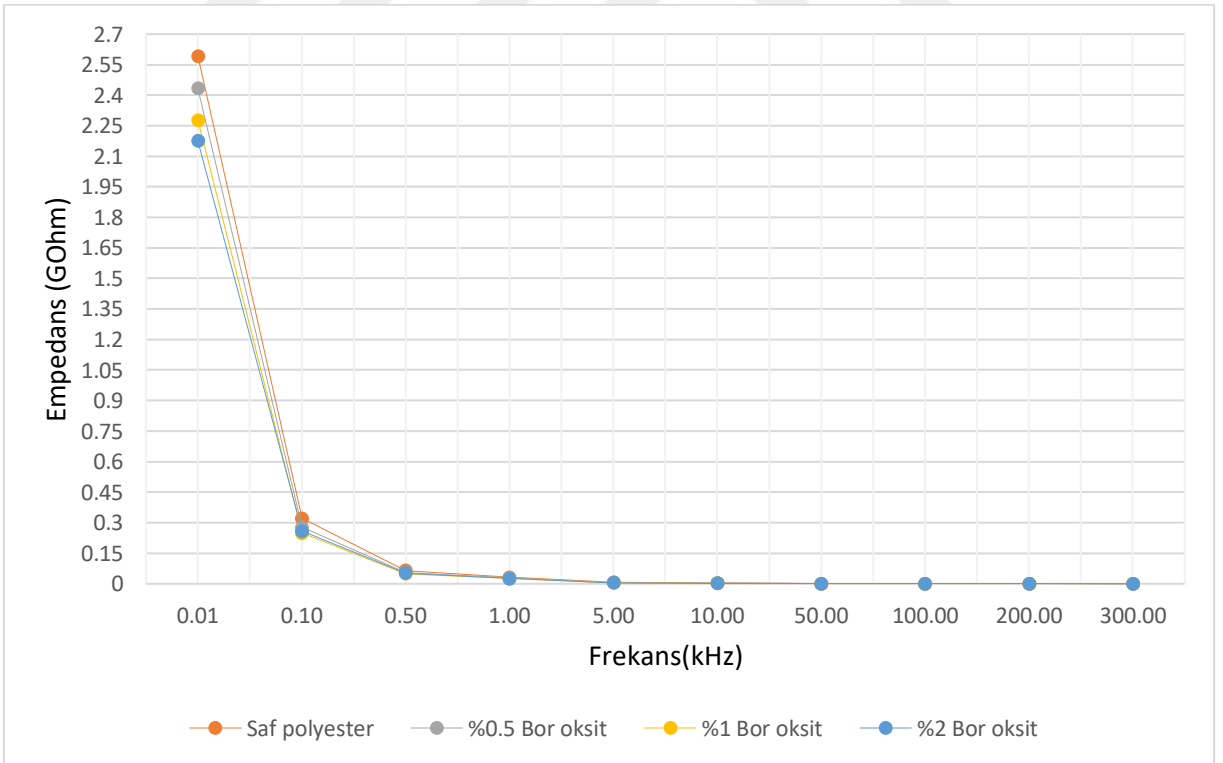
Şekil 4.19: Alümina katkılu numunelerde empedans değerleri.

Bu çalışmada alümina katkılu numunelerde empedans değeri saf polyesterin altında kalmıştır. Alümina katkılu numunelerde tüm katkı oranlarının en yüksek empedans değerini aldığı frekansın değeri 0.01 olarak tespit edilmiştir. Alümina katkılu numunelerde katkı oranı azaldıkça empedans değeri artmıştır. Saf polyester ile empedans değeri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki borik asit katkılu polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.20’ de verilmiştir.

Bu çalışmada borik asit katkılu numunelerde empedans değeri genel olarak saf polyesterin altında kalmıştır. Borik asit katkılu numunelerde tüm katkı oranlarının en yüksek empedans değerini aldığı frekansın değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. Borik asit katkılu numunelerde katkı oranı arttıkça empedans değeri artmıştır. Saf polyester ile empedans değeri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki bor oksit katkılu polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.21’ de verilmiştir.

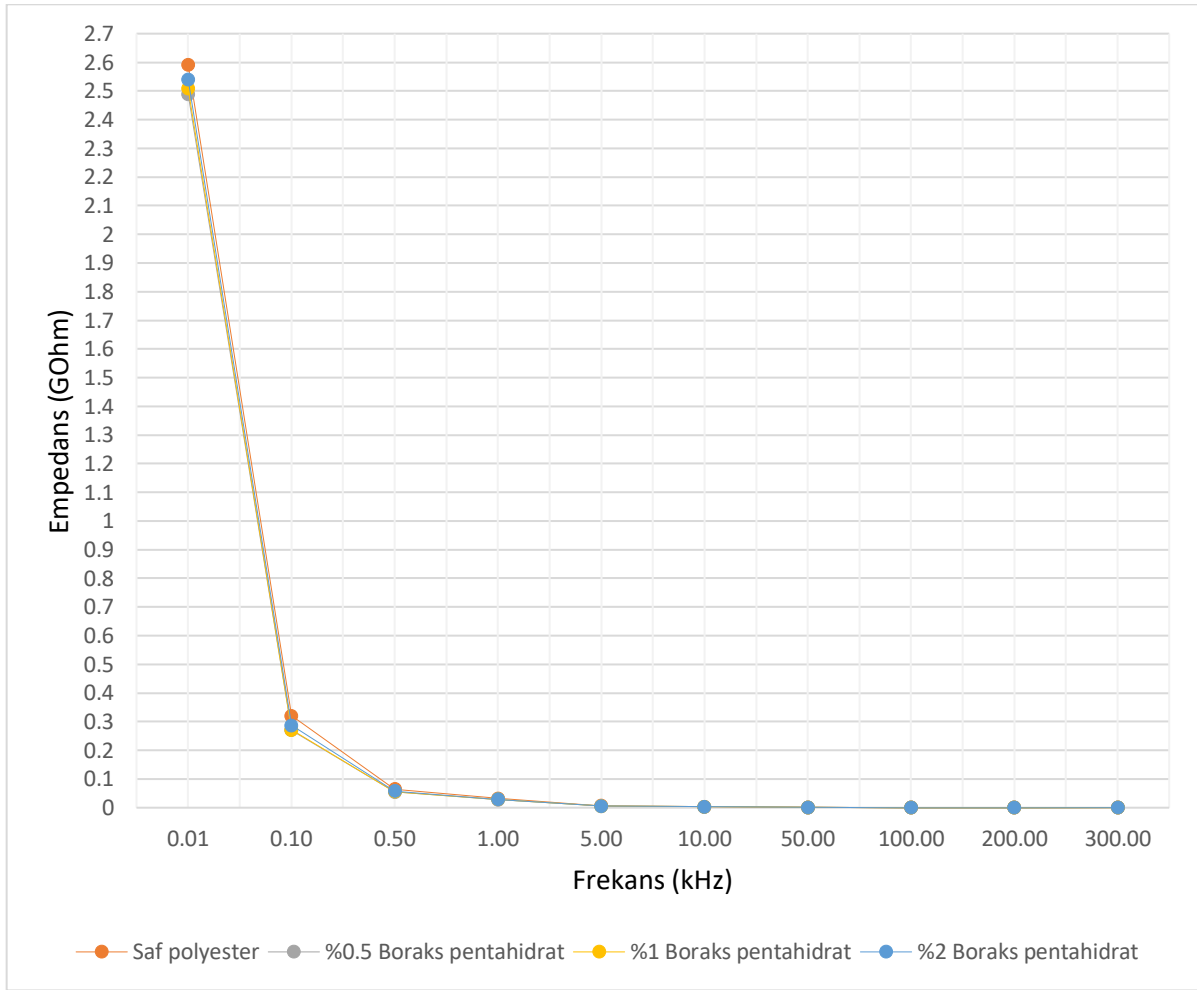


Şekil 4.20: Borik asit katkılı numunelerde empedans değerleri.



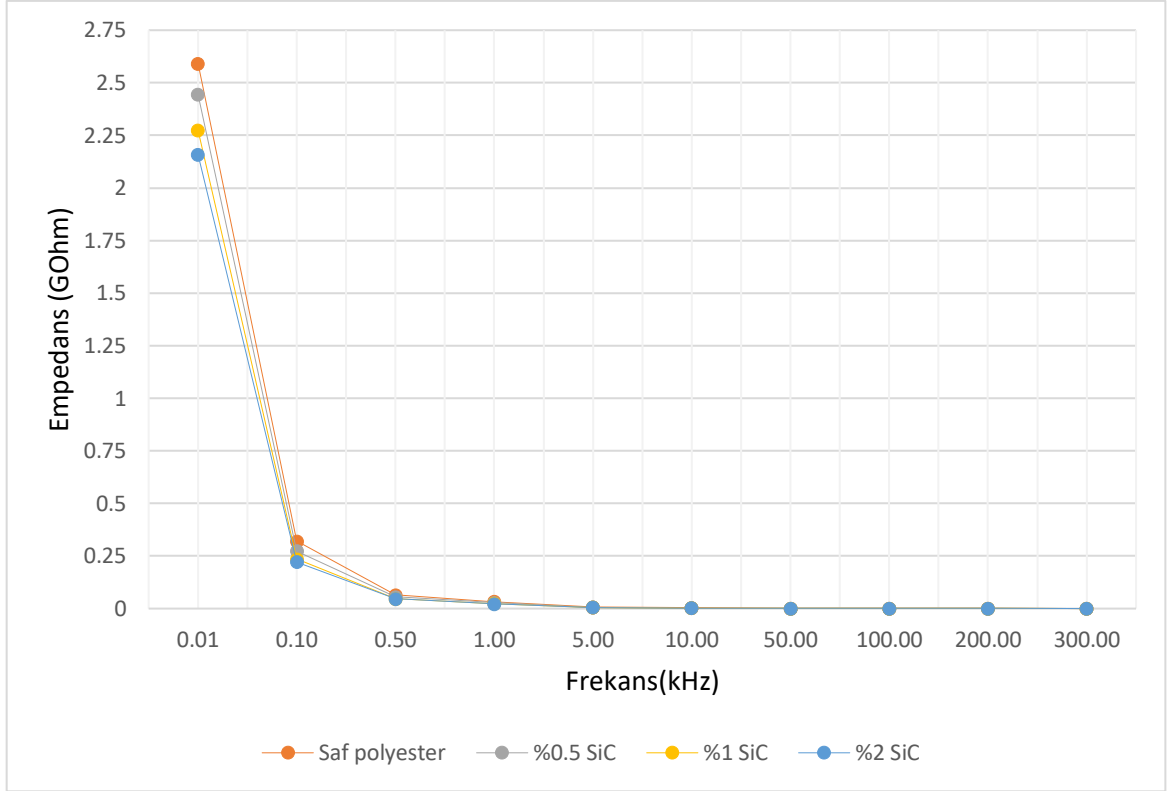
Şekil 4.21: Bor oksit katkılı numunelerde empedans değerleri.

Bor oksit katkılı numunelerde empedans değerleri genel olarak saf polyesterin altında kalmıştır. Bor oksit katkılı numunelerde tüm katkı oranlarının en yüksek empedans değerini aldığı frekansın değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. Bor oksit katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça empedans değeri azalmıştır. Saf polyester ile empedans değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki boraks pentahidrat katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.22' de verilmiştir.



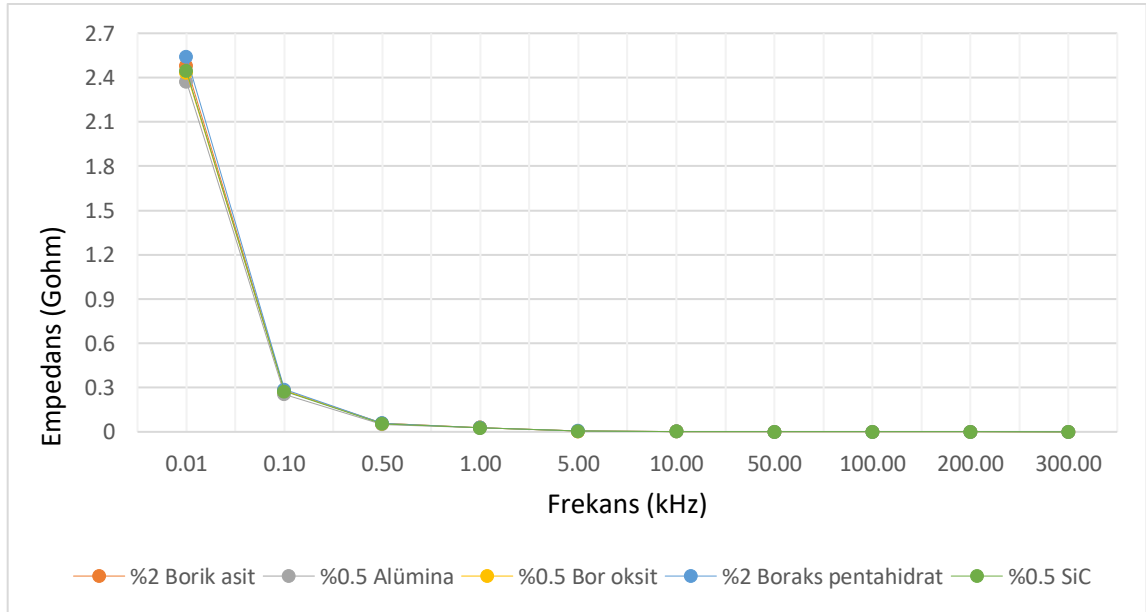
Şekil 4.22: Boraks pentahidrat katkılı numunelerde empedans değerleri.

Bu çalışmada boraks pentahidrat katkılı numunelerde empedans değerleri genel olarak saf polyesterin altında kalmıştır. Boraks pentahidrat katkılı numunelerde tüm katkı oranlarının en yüksek empedans değerini aldığı frekansın değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. Boraks pentahidrat katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça empedans değeri artmıştır. Ayrıca tüm katkı oranlarında elde edilen değerlerin birbirine en yakın olduğu katkı türüdür. Saf polyester ile empedans değerleri karşılaştırılan farklı yüzdelerdeki silisyum karbür katkılı polyester örneklerinin grafiği Şekil 4.23' de verilmiştir.



Şekil 4.23: Silisyum karbür katkılı numunelerde empedans değerleri.

Ölçümlerde silisyum karbür katkılı numunelerde empedans değerleri genel olarak saf polyesterin altında kalmıştır. Silisyum karbür katkılı numunelerde tüm katkı oranlarının en yüksek empedans değerini aldığı frekansın değeri 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir. Silisyum karbür katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça empedans değeri azalmıştır.



Şekil 4.24: Tüm numunelerin en yüksek empedans değerleri karşılaştırılması.

Tüm örnekler dikkate alındığında empedans değeri en yüksek çıkan numunelerin empedans değeri belirlenmiştir ve elde edilen karşılaştırma grafiği Şekil 4.24' te verilmiştir. En yüksek empedans değerine sahip olan numune %2 katkı oranındaki boraks pentahidrat katkıli polyester numunesi olmuştur. Ayrıca empedansın en yüksek olduğu frekans değeri tüm numunelerde katkı oranı fark etmeksizin 0.01 kHz olarak tespit edilmiştir.

4.3.HİDROFOBİSİTE TESTİ SONUÇLARI

Hidrofosite ve hidrofilik kavramları numunelerde ıslanabilirlik durumunu ifade eder [28]. Temas açısının 90° den az olması hidrofilik bir yüzeyi, 90° 'den çok olması yüzeyin hidrofobik olduğunu ifade eder [28]. Hidrofobisite testi neticesinde numunelerden elde edilen temas açısı değerlerinin ortalaması Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2: İncelenen numunelerde ortalama temas açısı değerleri.

Numune Adı	Ortalama Temas Açısı Değerleri
% 2 bor oksit katkıli polyester	76
% 2 boraks pentahidrat katkıli polyester	78
% 2 borik asit katkıli polyester	80
% 2 alümina katkıli polyester	80
% 2 silisyum karbür katkıli polyester	80
Saf polyester	89,5

Tablo 4.2 incelenildiğinde %2 katkı oranındaki en düşük temas açısı değerine sahip katkı türü bor oksit olmuştur. %2 katkı oranına sahip numunelerin temas açısı değerleri saf polyester numuneden daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Bir başka ifade ile %2 katkı oranındaki numuneler saf polyester numuneden daha hidrofildir.

5. TARTIŞMA

Polyester reçinelerin günlük hayatta yaygın kullanımı bu tez çalışmasına ilham olmuştur. Bu çalışma da polyester reçinelere katkı maddesi eklenerek testler yapılmıştır. Çalışmanın amacı katkı türü ve katkı oranı üzerinden üretilen numuneleri incelemek olduğundan üç adet katkı oranı belirlenmiştir. Bu katkı oranları %2, %1 ve %0.5 tir. Bu çalışmada kullanılan katkı malzemeleri beş adettir. Bunlar alümina, silisyum karbür, borik asit, bor oksit ve boraks pentahidrattır. Bu çalışmada kullanılan katkı malzemeleri belirlenirken saflık yüzdesinin yüksek olmasına ve günlük hayatta kullanımı yaygın ve önemli malzemeler olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan katkı malzemelerinin tamamı kokusuzdur. Bu çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılan alümina elektrik-elektronik sektörü başta olmak üzere pek çok alanda önemli bir yer edinmiştir. Bir diğer katkı malzemesi olan silisyum karbür de sahip olduğu üstün teknik nitelikleriyle ayrıca maliyetinin de düşük olması avantajıyla yaygın kullanılan bir malzemedir. Literatürde genelde alümina ve silisyum karbür katkılı polyester reçineli çalışmalarda kullanılan taneciklerin nano boyutta olduğu görülmüş bu tez çalışmasında ise kullanılan alümina ve silisyum karbürün tanecik boyutu ise diğer çalışmalardan farklı olarak yaklaşık 1 µm olarak tercih edilmiştir. Yine çalışmada kullanılan borik asit ve bor oksit cam ve seramik endüstrisinin olmazsa olmazlarındandır. Ayrıca bu tez çalışmasında kullanılan borlu bileşiklerin yaygın kullanımının üretimine de yansıdığını Türkiye ve dünya üzerinde görülmesi mümkündür. Tüm bu etkenler bu katkı malzemelerinin bu tez çalışmasında kullanılmasına uygun görülme sebebi olmuştur. Yapılan testler neticesinde polyester reçineye eklenen katkı malzemesinin özelliklerinin testlerdeki başarı kriterlerinde etkili olduğu görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında üç ayrı test uygulanmıştır. Bunlar ilk olarak üretimi gerçekleştirilen numunelerin elektriksel dayanımı saptamak için eğik düzlemde yüzeyde iz oluşumu testi, alternatif akım analizi testi ve hidrofobisite testidir. Alternatif akım analizi ile üretilen malzemelerin dielektrik özellikleri hakkında bilgi edinilmesi hedeflenmiştir. Hidrofobisite testinde ise üretilen numunelerin yüzey durumları incelenmiştir. Her test düzeneğinde sağlıklı ve güvenilir neticeler elde etme amacıyla işlemler tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır.

Eğik düzlemde yüzeyde iz oluşumu testi ile ilk olarak saf polyester numunelerine uygulanmış ortalama ömürlerinin 15 ila 25 dakika arası olduğu (ortalama 18 dakika 36 saniye) görülmüştür. Testlerde en yüksek ömür değerleri %2 katkı oranı olup malzeme türü olarak %2 katkı oranındaki borik asit katkı örnektir. Bu durum üzerinde çeşitli etmenlerin etkisi mevcuttur. Bu etmenler arasında katkı malzemesinin tanecik boyutu, saflık yüzdesi, yoğunluğu ve üretim koşulları yer alır. Katkı malzemesi ekleme ile ilgili literatürde pek çok çalışmanın mevcut olduğu görülür. Bu çalışmanın önceki çalışmalardan en önemli farkı tanecik boyutu oldukça büyük borlu bileşikler katkı malzemesi olarak kullanıma sunulmasıdır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada kullanılan tanecik boyutunu ölçmek için dijital mikroskop kullanılmıştır. Eğik düzlemde iz oluşumu testi neticesinde tanecik boyutu büyük katkı malzemelerinde (700 μ m, 860 μ m çap) katkı oranına bağlı olarak anlamlı bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında alternatif akım analiz testi ile üretilen numunelere ait kapasite değeri, kayıp faktörü ve empedans değeri ölçülmüştür. Kapasite ölçümü neticesinde ölçümlerin piko Farad mertebesinde olduğu görülmüş ve kapasite değeri ile ilgili grafikler çizilirken bu değerler Farad mertebesine dönüştürülmüştür. Tüm katkılı örneklerin saf polyester numunelerinin üzerinde kapasite değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada en yüksek kapasiteye sahip malzemenin % 0.5 borik asit katkılı örneğe ait olduğu ve ayrıca tüm numunelerde frekans değeri arttıkça elde edilen kapasite değerinin azaldığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda kayıp faktörünün en yüksek çıktığı frekans değerinin 0.01 kHz olduğu ve ayrıca kayıp faktörü açısından en düşük kayıp faktörüne sahip olan numunenin %0.5 katkı oranındaki boraks pentahidrat katkılı örneklerin olduğu görülmüştür. AA analizi testinin son çalışması olarak empedans değerleri incelenmiş ve tüm numunelerde Giga ohm mertebesinde

empedans değerleri elde edilmiştir. Tüm numunelerde empedans değerinin en büyük değeri aldığı frekans değeri 0.01 kHz olduğu tespit edilmiş ve ayrıca boraks pentahidratta katkı oranları değişse de elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu çalışmada üretilen numunelerden empedans değeri en büyük numune %2 katkı oranındaki boraks pentahidratlı polyester reçine olmuştur. Genel olarak alternatif akım analizi testi neticesinde ölçülen kapasite, kayıp faktörü ve empedans değerinin en büyük olduğu frekans değerinin 0.01 kHz olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışmasının son testi olan hidrofobisite testi neticesinde elde edilen temas açısı değerleri eklenen katkı türü fark etmeksizin temas açısı değerini düşürdüğü görülmüştür. Bu durumun ortaya çıkmasında numune yüzeyinin anot katot durumu, testlerde kullanılan sıvı çözeltilerin iletkenliği, katkı türünün tanecik boyutu, kullanılan katkı türünün saflık yüzdesi, ortam şartları vb. nedenler etkili olmuştur. Genelde katkılı polyester numunelerin hidrofobisite ve eğik düzlem testinin aynı neticeyi desteklemesi beklenir ancak bu çalışmada bu durum gözlenmemiştir. Bu çalışmada alümina ve silisyum karbür katkılı numunelerin eğik düzlemde yüzeyde iz oluşumu testinde de (katkı oranı değişse de) benzer srelerde dayanıklılık göstermesi ve hidrofobisite testinde de aynı temas açısı değerlerini verdiği görülmüştür. Eğik düzlemde yüzeyde iz oluşumu testinde en dayanıklı çıkan numune %2 katkı oranındaki borik asit katkılı polyester iken hidrofobisite testinde de saf polyester numuneden sonra en yüksek temas açısına sahip numune olduğu tespit edilmiştir. Hidrofobisite testinde saf polyester numuneye eklenen katkı türüne bakılmaksızın temas açısı değerinde saf polyester numunelerine kıyasla azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu tez çalışmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise kullanılan katkı türlerine ait tanecik boyutu 0.26 mm nin üzerine çıktığında temas açısı ile tanecik boyutu arasında ters orantı olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1]. Uğur, M., 1997, Modelling and analysis of surface tracking phenomena of solid insulating materials, Thesis (PhD), University of Manchester.
- [2]. Kuffel, E. and Zaengl, W. S., 1992, High Voltage Engineering, 1 st ed. Pergamon Press, Oxford.
- [3]. Sheppard, H. R., 1986, A Century of Progress in Electrical Insulation 1886-1986, in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 5(2), 20-30.
- [4]. Stocks, S., 1996, Synopsis-standardisation of test procedures for non-ceramic insulation, *IEE Colloquium on Review of Outdoor Insulation Materials*, 7/1-7/3.
- [5]. Houlgate, R., 1996, Outdoor testing of nonceramic insulators, *IEE Colloquium on Review of Outdoor Insulation Materials*, 5/1-5/4.
- [6]. Chrzan, K. L., 2009, Inclined Plane Test, Influence of Transformer Power, 24-28 August 2009 South Africa, South African Institute of Electrical Engineers .
- [7]. Cherney, E. A., 1996, Non-Ceramic insulators-a simple design that requires careful analysis, in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 12(3), 7-15.
- [8]. Dissado, L. A. and Forthergill, J. C., 1992, Electrical Degradation and Breakdown in polymers, Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, ISBN: 0 86341 196 7.
- [9]. Gallagher, T. J. and Pearmain, A. J., 1984, High Voltage, 1 st ed. John Wiley & Sons Ltd., ISBN: 0 471 90096 6.
- [10]. Cooper, J., M., 1993, Factors affecting the assessment of electrical treeing in synthetic resins, Thesis (PhD), University of Manchester.
- [11]. İlhan, R. ve Feyzullahoğlu, E., 2019, Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde Kullanılan Doğal Elyaf ve Dolgu Maddeleri, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2), 355-381.
- [12]. Baker, A., Dutton, S., and Kelly, D., 2004, Composite Materials for Aircraft Structures, 2nd Edition, AIAA Education Series, USA, ISBN 1-56347-540-5.
- [13]. Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions, IEC 60587, 1st ed. 1977 International Standard, 1977.

- [14]. Nişancı, S., İpekoğlu, M., Nişancı, M.,H., Karhan, M. ve Uğur, M., 2022, Investigation of the Effects of Additives on the Electrical and Magnetic Properties of Polyester Resin, *Electrica*, 22(3), 410-420.
- [15]. Standard test methods for liquid contaminant, inclined plane tracking and erosion of insulating materials, 2004, ASTM (D2303-97), 1-10.
- [16]. Uzunoğlu, C., P., 2005, Polimerik Yalıtkanlardaki Kaotik Yüzeysel Aşınımların Brown Hareketi İle Modellenmesi, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [17]. Curtis, H. L., 1915, Insulating properties of solid dielectrics No. 234, US Government Printing Office.
- [18]. Standart test methods for DC resistance or conductance of insulating materials, 2021, ASTM (D257-14).
- [19]. Malik, N. H., Al-Arainy, A. A. and Qureshi, M. I., 1998, Electrical insulation in power systems, Marcel Dekker, Inc, ISBN 08247-0106-2.
- [20]. Adler, A., 1971, Physics of Electronic Ceramics, Part A. L. L. Hench and D. B. Dove (Eds.), Marcel Dekker, Inc., New York.
- [21]. Güneş, İ., 2005, Polimerik Yalıtkanlarda Titreşimin Kullanım Ömrü Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22]. Liptrot, F. J., 1996, An examination of the service performance of ceramic insulators, IEE Colloquium on a review of outdoor insulation materials, 4.1-4.7.
- [23]. Dorf, R. C.,1993, The electrical engineering handbook, CRC Press.
- [24]. Kaçar, F., 2000, N-Kanallı MOS Tranzistorlarda Sıcak Taşıyıcı Etkisinin İncelenmesi Ve Tranzistorun Eşik Gerilime Etkisi, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25]. Looms, J. S. T., 1988, Insulators for High Voltages, Peter Peregrinus, London.
- [26]. Ersoy, A. ve Kuntman, A., 2008, Polimerik yalıtkanlarda yüzey özelliklerinin temas açısı ile incelenmesi, Elektrik– Elektronik–Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO2008), 107-111.
- [27]. Shugg, W.T., 1995, Handbook of Electrical and electronic insulating materials, 2.ed., IEEE Press, ISBN 0-7803-1030-6.
- [28]. Karhan, M., Çakır, M.F., Arslan, Ö., Issı, F. ve Eyüpoğlu, V., 2021, Effect of electric field on contact angle and droplet shape in XLPE dielectric materials, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(3), 1747-1759.
- [29]. Chaudhuri, S. P. ve Sarkar, P., 1995, Constitution of porcelain before and after heat-treatment. Part I: Mineralogical composition, *Journal of the European Ceramic Society*, 15(10), 1031- 1035.

- [30]. Jilani, W., Mzabi, N., Gallot-Lavallée, O., Fourati, N., Zerrouki, R., Guermazi, H., 2015, Dielectric relaxations investigation of a synthesized epoxy resin polymer, *The European Physical Journal Plus*, 130(76), 76-86.
- [31]. Wu, X., Wang, Y., Xie, L., Yu, J., Liu, F. and Jiang, P., 2012, Thermal and electrical properties of epoxy composites at high alumina loadings and various temperatures, *Iranian Polymer Journal*, 22(1), 61-73.
- [32]. *Engineering Design Handbook-Discontinuous Fiberglass Reinforced Thermoplastics:(DARCOM-P 706-314)*, U.S. Army Materiel Command, (1981).
- [33]. Akram, M., Javed, A. and Rizvi, T. Z., 2006, Dielectric properties of industrial polymer composite materials, *Turkish Journal of Physics*, 29(6), 355-362.
- [34]. Sathishkumar T.P. and Naveen J., 2014, Glass fiber-reinforced polymer composites-A review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(13), 1258-1275.
- [35]. Billings, M.J., Smith, A. and Wilkins, R., 1967, Tracking in polymeric insulation, in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 12(3), 131-137.
- [36]. Merev, A., 1999, Polimerik katı yalıtkanlarda yüzey aşınımının mekanik etkenler karşısındaki değişimi, Tez(Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [37]. Kuffel, E., Abdullah, M., (Çevirenler: ÖZKAYA, M., TÜFEKÇİ, T., ERGAN, N.), 1986 Yüksek Gerilim Tekniği, İTÜ Yayınları, 65-80.
- [38]. Ieda, M., 1980, Dielectric breakdown process of polymers, in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 15(3), 206-223.
- [39]. ALGHAMDI, ASG., AUCLAND, DW., HON, BR., VARLOW, BR., 1992, The Influence of stray capacitance on wet tracking of polyester resin, *DMMA 6*.
- [40]. BENZAOUNA, S. F., WILLIAMS, D. L., GRIFFITHS, H., ROWLANS, A. R., WATERS, R. T., 1993, Wetting action in a fog test facility, *UPEC 93*, 2, 557-560.
- [41]. Özkaya, M., 2008, Yüksek Gerilim Tekniği Statik Elektrik Alanı ve Boşalma Olayları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 978-975-511-136-0.
- [42]. WATSON, J. F., MASON, J. H., LYCH, A. C., 1979, Assessing materials for use as outdoor insulation, *ISH 3*, 1-4.
- [43]. Eichhorn, R. M., 1978, Treeing in solid extruded electrical insulation, in *Electronics and Power*, 24(2), 125-131.
- [44]. Russ, J. C., 1994, *Fractal Surfaces*, Plenum Press ,New York.
- [45]. Ziyu, L., Rongsheng, L., Huiming, W. and Wenbin, L., 1989, Space charges and initiation of electrical trees, in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 24(1), 83-89.
- [46]. O'Dwyer, J. J., 1982, Breakdown in solid dielectrics, in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 17(6), 484-487.

- [47]. Rasikawan, S. and Shimizu, N., 1992, Effect of additives on treeing initiation as a function of oxygen concentration in polyethylene, in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 27(6), 1089-1094.
- [48]. Jeon, Y., Hong, S. and Kim, M., 2019, Effect of Filler Concentration on Tracking Resistance of ATH-Filled Silicone Rubber Nanocomposites, *Energies*, 12(12).
- [49]. Verma, A. R. and Reddy, B. S., 2018, Tracking and Erosion Resistance of LSR and HTV Silicone Rubber Samples under Acid Rain Conditions, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 25(1), 46–52.
- [50]. Uğur, M., Kuntman, A., ve Ersoy, A., Geliştirilmiş Weibull İstatistiği ile Polimerik Yalıtkanların Yaşlanma Sürecinin İncelenmesi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, Türkiye*, 125-129.
- [51]. Karhan, M., 2021, Dielektrik Malzemelerin Yüzeyleri için Islanabilirlik ve Buharlaşma Hızının Analizine Yönelik Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Bir Yaklaşım, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 160-168.
- [52]. Can, M. F., 2018, BaTiO₃\Epoksi Kompozit Malzemelerin Kapasitör Uygulamaları İçin Üretimi Ve Karakterizasyonu, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1083-1088.
- [53]. Sarathi, R. and Rao, U. M., 2001, Investigation of surface modifications in ethylene Polypropylene Diene Monomer (EPDM Rubber due to tracking under AC and DC Voltage, *Bull. Matter. Sci. Indian Academy of Sciences*, 24(6), 587-593.
- [54]. Danikas, M. G., 1993, The definitions used for partial discharge phenomena, in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 28(6), 1075-1081.
- [55]. Erdoğan, M. K., 2006, Katı Yalıtkanlarda Yüzeysel Boşalmanın İncelenmesi Ve Matematiksel Modelinin Çıkarılması, *Tez (Yüksek Lisans)*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi.
- [56]. ASTM D3638-93, (Reapproved 1998). Standard Test Method for Comparative Tracking Index of Electrical Insulating Materials, American Society for Testing and Materials Standards, USA.
- [57]. Vijayaraghavan, S., Venkatesan. K., Raffi, M. and Karthikeyan, R., 2010, Charecterisitics of Al₂O₃ Nano-Particled Filled GFRP Composites Using Wear Maps'', *Journal of Reinforced and Composites*, 29(11), 3006-3015.
- [58]. Patnaik, A., Satapathy, A., Mahapatra, S. S. and Dash R. R., 2008, Parametric Optimization Erosion Wear of Polyester-GF-Alumina Hybrid Composites using the Taguchi Method, *Journal of Reinforced Plastics*, 27(10), 1039-1058.
- [59]. Kaundal, R., Patnaik, A. and Satapathy, A., 2012, Effect of SiC Particulate on Short Glass Fiber Reinforced Polyester Composite in Erosive Wear Environment, *Walailak J Sci & Tech*, 9(1), 49-64.

- [60]. Kumar, V., Lakshminarayanan, N. and Dubey, P.C., 2015, A comprehensive study on impact and dynamic mechanical properties of silicon carbide (SiC) filled glass fabric reinforced polyester (G-P) nanocomposites, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9, 299-305.
- [61]. Park, S. J. and Seo, M. K., 2011, *Interface Science and Composites*, 1st Edition, Academic Press, USA, ISBN: 978-0-12-375049-5.
- [62]. Davis, K., 2010, *Material Review: Alumina (Al₂O₃)*, School of Doctoral Studies (European Union) Journal, 109-114.
- [63]. <https://nanografi.com/microparticles/aluminum-oxide-al2o3-micron-powder-purity-99-5-size-1-2-m-fused/>, [Ziyaret tarihi: 17 Aralık 2023].
- [64]. Sohor M.H., Mustapha M., Kurnia C.J., ‘‘ silicon carbide-from synthesis to application: a review’’, MATEC Web of Conferences.
- [65]. Izhevskiy, A.V., Genova, A.L., Bressiani, C.J. ve Bressiani, A.H.A., 2000, *Silicon Carbide. Structure, Properties and Processing*, *Ceramica*, 46(297).
- [66]. <https://shop.nanografi.com.tr/silisyum-karbur-sic-mikron-tozu-safl-k-99-9-boyutu-1-m/>, [Ziyaret tarihi: 17 Aralık 2023].
- [67]. Ediz, N. ve Özdağ, H., 2001, BOR MİNERALLERİ VE EKONOMİSİ, *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University (002)*, 133-151.
- [68]. Ersoy, A., 2007, *Elektriksel Yalıtım Sistemlerinde Kullanılan Polimerik İzolatörlere Bor Katkısı ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi*, Tez (Doktora), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [69]. Nişancı, S., 2021, *Katkı Maddelerinin Polyesterin Elektriksel Özelliklerine Etkisi*, Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [70]. IEC 60587, 2007, *Electrical Insulating Materials Used Under Severe Ambient Conditions – Test Methods For Evaluating Resistance To Tracking And Erosion*.
- [71]. Uzunoğlu, C. P. ve Çaylı, G., 2023, *Electrical Properties Of Bio-Based Polyurethanes Derived From Oleic Acid*, *Electrical Engineering*, 105(6), 1-13.
- [72]. Yan, Z., Liang, X., Shen, H. and Liu Y., 2017, *Preparation and basic properties of superhydrophobic silicone rubber with micro-nano hierarchical structures formed by picosecond laser-ablated template*, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24 (3), 1743- 1750.
- [73]. Gubanski, S. M. ve Vlastos, A. E., 1990, *Wettability of naturally aged silicon and EPDM composite insulators*, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 5 (3), 1527-1535.
- [74]. Karhan, M., 2021, *Experimental investigation of wettability and evaporation for the surface of PMMA dielectric material used in high-voltage applications and outdoor electrical applications*, *Applied Physics A*, 127(6), 1-11.

[75]. Benha University Faculty of Engineering at Shoubra Electrical Engineering Department
3rd year Electrical power High Voltage Engineering (1) 2014, E. M. S.
<https://www.bu.edu.eg/portal/uploads/Engineering,%20Shoubra/Electrical%20Engineering/3103/crs-8705/Files/BREAKDOWN%20in%20SOLID%20DIELECTRICS1.pdf>



EKLER



İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Seren ÇELİK

ORJİNALLİK RAPORU

% **10**

BENZERLİK ENDEKSİ

%9

İNTERNET KAYNAKLARI

%3

YAYINLAR

%5

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%3
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%3
3	www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1
4	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	kimyadeposu.com İnternet Kaynağı	<%1
6	nanografi.com.tr İnternet Kaynağı	<%1
7	www.cygnusdvlp.in İnternet Kaynağı	<%1
8	Submitted to King's College Öğrenci Ödevi	<%1
9	nek.istanbul.edu.tr:4444 İnternet Kaynağı	<%1

KURUM İZİNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- Kurum izni gerekmektedir.
- Kurum izni gerekmemektedir.

Seren ÇELİK
(İmza)

