



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Yüksek Lisans Tezi

ASFALT MATERYALLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Tuğçe KARA

Fizik Anabilim Dalı

Genel Fizik Programı

**DANIŞMAN
Doç. Dr. H. Kemal ULUTAŞ**

Haziran, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 14.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Genel Fizik Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

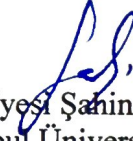
Tez Jürisi



Doç. Dr. Kemal ULUTAŞ(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Merih SERİN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Şahin YAKUT
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 22104 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Ders ve tez çalışmalarım boyunca desteğini ve yardımlarını esirgemeyen başta çok değerli danışman hocam Doç. Dr. H. Kemal ULUTAŞ' a ve çok değerli hocalarım Prof. Dr. Deniz Değer ULUTAŞ' a, Dr. Öğretim Üyesi Şahin YAKUT' a ve çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Deniz BOZOĞLU PARTO başta olmak üzere diğer çalışma arkadaşlarıma, çalışmamı destekleyen İstanbul Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim. Dr. Öğr. Üyesi M. Sinan YARDIM' a, Prof. Dr. Hüseyin DELİGÖZ' e ve Arş. Gör. Betül Değer ŞİTİLBAY' a malzeme destekleri için teşekkür ederim.

Sevgilerini, güvenlerini ve desteklerini esirgemeyen ve hep hissettiren üzerimde büyük emekleri olan aileme ve tüm dostlarıma sonsuz teşekkürler.

Tez çalışmam boyunca yardımcı olan, destek veren ismini atladığım herkese son olarak teşekkür ederim.

Haziran 2019

Tuğçe KARA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	5
2.1. KAPASİTÖRLER	5
2.1.1. Sabit Elektrik Alanda Kapasitör.....	5
2.1.2. Dielektrik Malzemenin Mikroskopik İncelemesi.....	7
2.1.3. Değişken Alanda Kapasitör	13
2.2. POLARİZASYON MEKANİZMALARI	17
2.2.1. Elektronik Polarizasyon.....	18
2.2.2. İyonik Polarizasyon	18
2.2.3. Dipolar Polarizasyon	19
2.2.4. Yüzeyler arası Polarizasyon.....	19
2.3. CLASIUS-MOSOTTI DENKLEMİ.....	20
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	23
3.1. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	23
3.1.1. Bitüm Modifikasyonları.....	23
3.2. ALT VE ÜST ELEKTROTUN HAZIRLANIŞI.....	24
3.3. MALZEMENİN ÖLÇÜME HAZIRLANMASI	25
3.3.1. Ölçüm aşaması	25
4. BULGULAR.....	27
4.1. SAF BİTÜM'İN FARKLI KALINLIKLARDA κ' DEĞERLERİNİN FREKANSA VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI.....	27
4.2. SAF BİTÜM'İN FARKLI KALINLIKLARDA κ'' DEĞERLERİNİN FREKANSA VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI.....	31

4.3. SAF BİTÜM' İN FARKLI KALINLIKLARDA $\ln \sigma'$ DEĞERLERİNİN FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI	34
4.4. ODA SICAKLIĞINDA FARKLI KALINLIKLARDA, SAF BİTÜM'İN κ' , κ'' VE σ_{AC}' DEĞERLERİNİN FREKANS BAĞLI DEĞİŞİMLERİ	37
4.5. SAF BİTÜM'İN FARKLI FREKANSLARDA κ' , κ'' VE σ_{AC}' DEĞERLERİNİN KALINLIKLA DEĞİŞİMLERİ	39
4.6. KATKILI BİTÜM' İN κ' DEĞERLERİNİN FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI	41
4.7. KATKILI BİTÜM' İN κ'' DEĞERLERİNİN FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI	44
4.8. KATKILI BİTÜM' İN σ_{AC}' DEĞERLERİNİN FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI	46
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	49
KAYNAKLAR	53
EKLER	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ	56

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Boşluk kondansatöründe, plakalar arasında oluşan elektrik alan çizgileri.	5
Şekil 2.2: Aynı geometrik özelliğe sahip dielektrik ve boşluk kapasitörünün aynı bataryaya bağlanması durumunda yüklenme miktarları.	6
Şekil 2.3: Elektrik dipol momenti.	7
Şekil 2.4: Dış elektrik alan olmadığında ve dış elektrik alan olduğu durumda sürekli dipol momentine sahip ideal bir dielektrik malzemedeki dipol dağılımı.	8
Şekil 2.5: Düzgün elektrik alan altında pozitif ve negatif yüke etkileyen tork.	8
Şekil 2.6: Dipol momenti ve elektrik alana göre tork yönünün belirlenmesi.	9
Şekil 2.7: Boşluk kapasitörde belirlenen Gauss yüzeyi.	11
Şekil 2.8: Dielektrik kapasitörde belirlenen Gauss yüzeyi.	11
Şekil 2.9: Değişken elektrik alan altında boşluk kapasitörüne ait yükleme akımı ile voltaj arasındaki faz farkını gösteren fazör diyagramı.	14
Şekil 2.10: Değişken elektrik alan altında dielektrik kapasitöre ait akım ve voltaj arasındaki faz farkı.	15
Şekil 2.11: Elektronik polarizasyon gösterimi.	18
Şekil 2.12: İyonik polarizasyon gösterimi.	19
Şekil 2.13: Dipolar polarizasyon gösterimi.	19
Şekil 2.14: Yüzeyler arası polarizasyon gösterimi.	20
Şekil 2.15: Paralel levhalar arasında seçilen oyuk içerisinde oluşan elektrik alanların gösterimi.	21
Şekil 3.1: Alt ve üst elektrotun görünümü.	24
Şekil 3.2: Alpha-A Empedans Analiz Cihazı.	26
Şekil 4.1: Kalınlığı 0.16 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.	27
Şekil 4.2: Kalınlığı 0.3 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.	28

Şekil 4.3: Kalınlığı 0.47 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	28
Şekil 4.4: Kalınlığı 0.7 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	29
Şekil 4.5: Kalınlığı 0.9 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	29
Şekil 4.6: Kalınlığı 2.4 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	30
Şekil 4.7: Kalınlığı 3.4 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	30
Şekil 4.8: Kalınlığı 4 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	31
Şekil 4.9: Kalınlığı 0.16 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	32
Şekil 4.10: Kalınlığı 0.3 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	32
Şekil 4.11: Kalınlığı 0.7 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	33
Şekil 4.12: Kalınlığı 0.9 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	33
Şekil 4.13: Kalınlığı 2.4 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	34
Şekil 4.14: Kalınlığı 0.16 mm olan saf bitüm' in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	35
Şekil 4.15: Kalınlığı 0.3 mm olan saf bitüm' in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	35
Şekil 4.16: Kalınlığı 0.7 mm olan saf bitüm' in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	36
Şekil 4.17: Kalınlığı 0.9 mm olan saf bitüm' in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	36
Şekil 4.18: Kalınlığı 2.4 mm olan saf bitüm' in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	37
Şekil 4.19: Dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı kalınlıklardaki durumu.....	38

Şekil 4.20: Dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı kalınlıklardaki durumu.....	38
Şekil 4.21: Değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı kalınlıklardaki durumu.	39
Şekil 4.22: Dielektrik sabitinin kalınlıkla değişiminin farklı frekanslardaki durumu.	40
Şekil 4.23: Dielektrik enerji kaybının kalınlıkla değişiminin farklı frekanslardaki durumu.....	40
Şekil 4.24: Değişken alanda iletkenliğin kalınlıkla değişiminin farklı frekanslardaki durumu.....	41
Şekil 4.25: %5 oranında polyester1 katkıli bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	42
Şekil 4.26: %5 oranında polyester2 katkıli bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	42
Şekil 4.27: %10 kauçuk katkıli bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.	43
Şekil 4.28: %20 kauçuk katkıli bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.	43
Şekil 4.29: %5 polyester1 katkıli bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	44
Şekil 4.30: %5 polyester2 katkıli bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	45
Şekil 4.31: %10 kauçuk katkıli bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	45
Şekil 4.32: %20 kauçuk katkıli bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	46
Şekil 4.33: %5 oranında polyester1 katkıli bitüm' in alternatif iletkenliğinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	47
Şekil 4.34: %5 polyester2 katkıli bitüm' in alternatif iletkenliğinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	47
Şekil 4.35: %10 kauçuk katkıli bitüm' in alternatif iletkenliğinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	48
Şekil 4.36: %20 kauçuk katkıli bitüm' in alternatif iletkenliğinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.....	48

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1: Modifiye Bitüm Numuneleri için Malzeme Karışım Oranları. 24



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
α	: Polarlanabilme katsayısı
A	: Yüzey Alanı
C_0	: Plakalar arasında boşluk bulunan kondansatöre ait kapasite
C	: Kapasite
\vec{D}	: Elektrik deplasman alanı vektörü
ϵ	: Dielektrik maddenin elektrik permitivitesi
ϵ_0	: Boşluğun elektrik permitivitesi
ϵ^*	: Kompleks permitivite
ϵ'	: Kompleks permitivitenin reel kısmı
ϵ''	: Kompleks permitivitenin sanal kısmı
\vec{E}	: Elektrik alan vektörü
E'	: Yerel elektrik alan
G	: Kondüktans
I	: Akım
I_0	: Yükleme akımının maksimum değeri
I_C	: Yükleme akımı
I_R	: Kayıp akım
J	: Akım yoğunluğu
σ	: Yük yoğunluğu
K^*	: Kompleks dielektrik sabiti
K'	: Dielektrik sabiti
K''	: Dielektrik enerji kaybı
ω	: Açısal frekans
p	: Elektrik dipol moment i
\vec{P}	: Polarizasyon vektörü
σ_{AC}	: Değişken alan iletkenliği
N	: Birim hacim başına düşen dipol moment sayısı
μ	: Ortalama dipol moment i
$\tan\delta$: Dielektriğe ait kayıp faktörü

V₀ : Uygulanan potansiyelin maksimum değeri
V : Voltaj

Kısaltmalar **Açıklama**



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ASFALT MATERYALLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Tuğçe KARA

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. H. Kemal ULUTAŞ

Yol üst kaplamalarında asfalt karışımının birbirine tutunmasını sağlayan en önemli bağlayıcı olan bitümün kıvam-elastik gibi fiziksel özelliklerinin ve içindeki mikroyapıların mekanik davranışında etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca bitümün iyileştirilmesi, dayanıklılığının artırılması, mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için çeşitli polimerlerin katkılandırıldığı çalışmalar sunulmuştur. Bu nedenle, 50/70 penetrasyonlu saf bitüme farklı oranlarda polyester ve kauçuk gibi polimerler katkılandırılarak, saf ve katkılı bitüm örneklerin kapasitesinin ve kayıp faktörünün sıcaklığa, frekansa ve kalınlığa bağlılığı ölçüldü. Bu ölçülen büyüklüklerden dielektrik sabiti, dielektrik enerji kaybı ve değişken alan iletkenliği hesaplandı. Ölçülen ve hesaplanan dielektrik cevaplar sıcaklığa, frekansa, kalınlığa, katkı cins ve oranına bağlı olarak incelenmiştir.

Haziran 2019, 67. sayfa.

Anahtar kelimeler: Bitüm, dielektrik sabiti, dielektrik enerji kaybı, alternatif iletkenlik

SUMMARY

M.Sc. THESIS

DIELECTRIC PROPERTIES OF ASPHALT MATERIALS

Tuğçe KARA

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. H. Kemal ULUTAŞ

It is seen that the bitumen, which is the most important binding that causes the asphalt mixture to adhere to the pavement, is effective on the mechanical properties of the microstructures such as consistency-elastic. In addition, studies have been submitted in which various polymers are added to improve bitumen, increase durability and improve mechanical properties. For this reason, 50/70 penetration of pure bitumen was added to different ratios of polymers such as polyester and rubber. The capacity and loss factor of pure and doped bitumen samples were measured depending on temperature, frequency, and thickness. Dielectric constant, dielectric energy loss and variable field conductivity were calculated from the measurement. Dielectric responses were examined according to temperature, frequency, thickness, additive type and ratio.

June 2019, 67. pages.

Keywords: Bitumen, dielectric constant, dielectric energy loss, AC conductivity

1. GİRİŞ

Yer altı kaynaklarından çıkarılan ve hidrokarbon karışımından oluşan petrolün damıtılması sonucu elde edilen en son maddeye bitüm adı verilmektedir. Bitüm yolların üst kaplamasında kullanılan ve çakıl, taş tozu, kum, agrega gibi malzemelerin birbirine tutunup yapışmasını sağlayan önemli bir bağlayıcı olup, katran ve asfalttan oluşmaktadır. Asfaltın n-heptanda çözülen kısmı malten, çözülmeyen kısmı ise asfalt olarak adlandırılmaktadır [1, 2]. Maltenler, doymuş hidrokarbonlar, aromatikler ve reçinelerden meydana gelmektedir. Bitümün %5-%25'ini asfaltlar oluştururken, %40-%60'ını maltenler oluşturmakla birlikte az miktarda vanadyum ve nikel gibi metallerin yanı sıra sülfür, nitrojen ve oksijen gibi farklı molekül boyutlu hidrokarbonların bir karışımını da içermektedir [2, 3]. Bu nedenle, bitümü büyük molekül boyutlu sert bileşenler olan asfalt ve reçineler ile daha küçük molekül boyutlu aromatikler ve doymuş hidrokarbonların bir karışımı olarak da tanımlanmak mümkündür [4]. Kaplama ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan bitüm ise, genellikle %85 karbon, %10 hidrojen içerirken aynı zamanda %0-%9 sülfür, %0-%2 oksijen ve %0-%2 nitrojen gibi heteroatomlar içermektedir [5, 6].

Petrol rafinerisinden elde edilen bitüm; düşük maliyetli, doğal, reolojik ve termal dayanım özelliklerinden dolayı dolgu macunları, bağlayıcılar, su geçirmez kaplamalar, kaldırım malzemelerinde yaygın olarak kullanılan termoplastik bir malzemedir. Yolların üst tabakasında kullanılan esnek kaplamalar, bitümlü bağlayıcılardan ve agregalardan oluşur. Bu tabaka, mevsimsel değişimlerden ve ağır taşıtlardan dolayı büyük bir stres ve geniş bir aralıkta sıcaklık değişimlerine maruz kalmaktadır. Düşük sıcaklıklarda çatlama eğilimi gösterirken yüksek sıcaklıklarda ise yapışma mukavemeti azalır. Deformasyonlarda ilgili problemler, çatlama ve sıyrılma oluşumu gibi sebeplerden dolayı daha da şiddetli hale gelmektedir [7-10]. Kaplamanın en üst tabakasının performans ve kararlılığının geliştirilmesi, yolların kalitesini arttıracak ve bakım maliyetlerinde önemli bir azalma gösterecektir.

Kaplamaların kalitesini belirleyen bitüm ve bitümlü bağlayıcılar, bağlayıcılık performansını arttırarak yolların korozyona dayanıklılığını geliştirmek ve maliyeti düşürmek için farklı modifikasyonlar uygulanarak denenmektedir [11]. Modifikasyonlar, bitümün visko elastikliğini geliştirmek için uygulanmaktadır. Bitüm modifikasyonunda en çok tercih edilen

katkı malzemeleri polimerlerdir. Elastomerler, plastomerler, sentetik reçineler, kauçuk parçaları, organik bileşenler, sülfür, doğal asfalt ve parafinler ve özellikle polifosforik asit bu amaçla kullanılmaktadır [1, 12]. Mousavi ve diğ. Fe_3O_4 katkılı Politiyofen ile zenginleştirilmiş bitüme farklı oranlarda katkılar yaparak reolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Katkılamanın, bitümün deformasyona karşı direncini, yumuşama noktasını ve geri dönüştürülebilmesi için önemli faktörlerden biri olduğunu vurgulamışlardır [13]. Yu ve diğ. styrene-butadiene-styrene (SBS) ile modifiye edilmiş bitüm kompozitleri, farklı oranlarda sodium-montmorillonite (Na-MMT) ve organophilic montmorillonite (OMMT) ile katkılayarak hazırlamıştır. Katkı oranına bağlı, reolojik davranış ve mekanik özellikler incelenmiştir [14]. Geckil ve diğ. günümüzde yaygın olarak kullanılan karbon siyahı katkısının, bitümün mekanik ve reolojik özelliklerine etkisini incelemiştir [15]. Lu ve diğ. bitüm içerisine farklı sekiz kaynaktan alınmış wax katkılandırılarak bitümün içerisindeki yapısal değişiklikleri incelemişlerdir [16]. Haggam ve diğ. farklı molekül ağırlıklarında PMMA (yüksek saydamlıkta termoplastik bir polimer) bitüme katkılandırılarak performans etkilerini incelemiştir [12]. Katkılamanın dışında, birbiri ile uyumlu yapıların homojen dağılımı elde edilerek oluşturulan karışımlar literatürde önemli yer tutmaktadır. Gonzalez ve diğ. farklı oranlardaki etil vinil asetat (EVA) ve bitüm karışımlarının, reolojik ve vizkozite özelliklerini inceleyerek yol kaplamalarında kullanılmak üzere performansının geliştirildiğini göstermişlerdir [17]. Literatüre bakıldığında, mikro ve nano boyutlarda polietilen dolgusu yapılar da mekanik özelliklerin incelendiği ve geliştirildiği görülmüştür [18]. Sonuç olarak, bitüme polimerlerin, nanopartiküllerin eklenmesi ve polimer karışımların oluşturulması ile asfalt performansının geliştiği gösterilmiştir [19].

Literatürde ayrıca, saf bitümün dielektrik cevaplarının, yapılan performans testlerinden büyük ölçüde akışkanlığıyla yani reolojisiyle bağlantılı olduğu görülmüştür [4]. Bitümün termoplastik yapılı olmasından dolayı, elastikliği ve kıvamlılığı gibi fiziksel özellikleri için malzemenin içerisindeki mikroyapıların mekanik davranışı önemlidir [20]. Mikromekanik davranışın anlaşılması, malzemenin performansının tahmin edilmesinde yardımcı olabilir. Daha uzun ömürlü ve daha iyi performans gösteren yol kaplamalarına katkıda bulunulabilir. Dielektrik spektroskopisi, yol alt yapı malzemelerinin çok ölçekli karakterizasyonu için yeni bir yaklaşım olabilecek performansa sahiptir. Bu açıdan dielektrik spektroskopisi ölçümleri, reolojik özellikler ve dielektrik cevaplar arasında iyi bir bağlantı kurabilir [4].

Sowa ve diğ. tarafından yapılan çalışmada, bitüm emülsiyon örneklerin oda sıcaklığında 10 Hz-10 MHz frekans aralığında polarlanma mekanizması ve içerisinde bulundurduğu su oranına bağlı olarak dielektrik özelliklerindeki değişim incelenmiş olup teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca sıcaklığa bağlı incelemede ise, 20-60 °C sıcaklık aralığında dielektrik sabitinde bir değişiklik gözlenmemiştir [21]. Chow ve diğ. Toluene içerisindeki bitüm çözeltisinin 1 kHz frekans değerinde dielektrik sabitini ve iletkenliğini belirlemiştir. Bitümün farklı konsantrasyonlarında dielektrik sabitinin davranışı açıklanabilirken asfalt içeriği ile öncelikli olarak iletkenliğin kontrol edilebildiği sonuçlarda görülmüştür [22]. Chen ve diğ. saf bitümün ve mumsu hale getirilmiş bitümün düşük frekans aralığında dielektrik cevaplarını incelemiştir. Farklı zift dereceleri arasındaki dielektrik ve reolojik cevaplar arasındaki bağlantı için iyi bir gösterge olabilen, dielektrik kaybın düzenli değişimi gözlenebilmiştir [4]. Lyne ve diğ. bitüm ve agrega ara yüzey gerilimlerinin, dielektrik spektroskopisi incelemelerine dayandırarak dielektrik sabitlerinin, kırılma indislerinin ve kayıp tanjantlarının belirlenmesini amaçlamışlardır. Bitümlü bağlayıcıların dielektrik özellikleri, oda sıcaklığında 0.01 Hz-1kHz frekans aralığında incelenmiştir [23].

Literatürde düşük frekans bölgesinde elde edilen veriler asfalta bağlı oluşacak sorunları öngörmede önemli rol oynamaktadır. Ayrıca düşük frekans ölçümleri, yüzey aktif cisimler arasındaki etkileşimlere duyarlıdır. Petrol/su ara yüzeyinin elektriksel özellikleri, yol yapımı ve petrolün geri kazanımı gibi birçok endüstriyel uygulamada önemli olduğu görülmektedir. Emülsiyonlardaki su-bitüm kararlılık mekanizmasının anlaşılması yol yapımındaki soğuk teknolojide büyük önem taşımaktadır. Literatürde bitüm ve su dağılımı, alkanların dielektrik tepkilerinden yola çıkılarak spektral yöntemler ile elde edilmiş ve teorik hesaplamalara uygunluğu gösterilmiş ve hidrofobik kuvvetlerin gözlenebilirliği incelenmiştir [24]. Bu süreçte dielektrik spektroskopinin önemli bir destek oluşturmakta olduğu görülmektedir.

Saf ve katkılı bitümün dielektrik özellikleri literatürde detaylı incelenmemiştir. Bu nedenle çalışmada dielektrik spektroskopisi ile parametrelere bağlı değerlendirme amaçlanmıştır. Literatüre katkı yapılması ve ülkemizde yol yapım çalışmalarında bitüm kullanımının dielektrik spektroskopisi sonuçları ile desteklenerek yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada saf bitüm ve modifiye bitümler kullanılmıştır. Modifiye bitümler, farklı oranlarda Kauçuk Granül ve iki farklı tipte (Polyester1(izoftalik) - Polyester2(ortaftalik)) Reçine katkılanarak farklı özellikte elde edilmiştir. Elde edilen saf ve katkılı bitümün geniş bir frekans (0.1 Hz ile 10^6 Hz)

ve sıcaklık (-40°C ile +40°C) aralığında dielektrik spektroskopi ölçümleri yapılmış, malzemelerin dielektrik sabiti ve enerji kaybının davranışı incelenerek yapıdaki mümkün polarlanma mekanizmaları belirlenmiştir.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. KAPASİTÖRLER

2.1.1. Sabit Elektrik Alanda Kapasitör

İki iletkenin arasına boşluk veya dielektrik bir malzeme konulduğunda oluşan yapılar kapasitör denir. Kapasitörü oluşturan iletken elektrotların uçlarına potansiyel uygulandığında iletkenler eşit ve zıt miktarda yüklenirler. Kapasitörün, uygulanan V_0 potansiyeli altında yüklenebilme ölçüsü kapasite olarak adlandırılır.

Boşluk kapasitörünün kapasitesi,

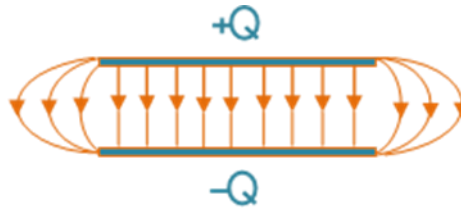
$$C_0 = \frac{Q}{V_0} \quad (2.1)$$

ifadesi ile tanımlanır. Q yük ifadesinin birimi Coloumb, uygulanan potansiyelin birimi Volt ve kapasitenin birimi ise Farad' dır.

Elektrotlar, A yüzey alanına sahip düzlem plaka olarak seçildiğinde ve plakalar arasında d kadar mesafe bulunduğunda, kapasitesi

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.2)$$

ifadesi ile verilir. Burada ϵ_0 , boşluğun permitivitesi olup; değeri $8,8541 \cdot 10^{-12}$ F/m' dir [25].



Şekil 2.1: Boşluk kondansatöründe, plakalar arasında oluşan elektrik alan çizgileri.

Kapasitör plakaları etrafında oluşan elektrik alan çizgileri pozitif yüklü plakadan çıkıp, negatif yüklü plakaya girecek şekildedir. Kapasitör plakaları arasında Şekil 2.1' deki gibi düzgün elektrik alan oluşabilmesi için, iletken plakalar arasındaki d uzaklığı, plakaların yüzey alanından çok çok küçük olmalıdır.

Plakaları arasında boşluk ve dielektrik malzeme bulunan iki kapasitör aynı bataryaya bağlanırsa, plakaları arasında dielektrik kapasitörün, boşluk kapasitörüne göre Şekil 2.2'deki gibi daha fazla yükleneceği görülecektir [26, 27].



Şekil 2.2: Aynı geometrik özelliğe sahip dielektrik ve boşluk kapasitörünün aynı bataryaya bağlanması durumunda yüklenme miktarları.

İletken plakaları arasında dielektrik malzeme bulunan kapasitörün, plakaları arasındaki toplam potansiyel bir sabit kadar azalmaktadır. Bu azalma miktarı κ , dielektrik sabiti veya rölatif permitivite olarak adlandırılmaktadır. Dielektrik sabiti, $\kappa = \epsilon/\epsilon_0$ olmak üzere bu eşitlikte ϵ ; dielektrik malzemenin permitivitesi ve ϵ_0 ; boşluğun permitivitesi olarak isimlendirilir. Buna göre potansiyeldeki azalma,

$$V = \frac{V_0}{\kappa} \quad (2.3)$$

ifadesi ile tanımlanır.

Uygulanan potansiyel ile iletken plakalar arasındaki azalan potansiyel eşitlenene kadar yük akışı devam edecektir. Bunun sonucu olarak dielektrik kapasitör, boşluk kapasitörüne göre daha fazla yüklenecektir. Dielektrik kapasitörün kapasitesi,

$$C = \kappa \frac{Q}{\Delta V_0} = \kappa C_0 \quad (2.4)$$

ile tanımlanıp, boşluk kapasitörüne göre κ kadar bir artış göstermektedir. Buna göre kapasitör plakaları arasına bir dielektrik malzeme yerleştirildiğinde, kapasitörün geometrik tanımı, ϵ ; dielektrik malzemenin permitivitesi olmak üzere,

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.5)$$

ile ifade edilir.

2.1.2. Dielektrik Malzemenin Mikroskobik İncelemesi

Aralarında d mesafesi bulunan pozitif q ile negatif q yüklerinin oluşturduğu yapı dipol olarak adlandırılmaktadır. p , elektrik dipol momentini, q yük miktarı, d ise yükler arasındaki mesafe olmak üzere

$$p = qd \quad (2.6)$$

şeklinde tanımlanır.

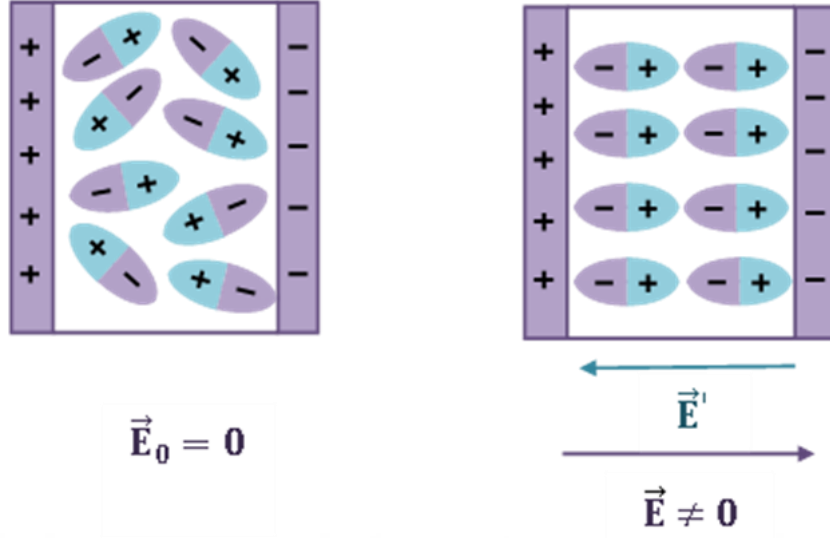


Şekil 2.3: Elektrik dipol momentini.

Kapasitör plakaları arasında dielektrik malzeme olduğunda, potansiyel farkının azalmasıyla toplam elektrik alan da

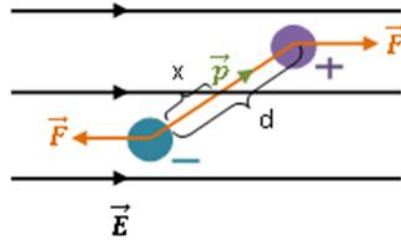
$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\kappa} \quad (2.7)$$

oranında azalmaktadır. Bu durumu açıklamak için sürekli dipol momentine sahip ideal bir dielektrik malzemeyi göz önüne alalım.



Şekil 2.4: Dış elektrik alan olmadığında ve dış elektrik alan olduğu durumda sürekli dipol momentine sahip ideal bir dielektrik malzemedeki dipol dağılımı.

Dış elektrik alan yokken ($\vec{E} = 0$), dielektrik malzeme içerisinde dipoller rastgele dağılacaktır. Ancak, dielektrik kapasitör arasına V_0 potansiyel farkı uygulandığında, dielektrik malzeme içerisindeki dipollere bir tork etki eder. Bu tork, dipollerin uygulanan elektrik alan doğrultusunda yönelmelerine neden olur. Bu süreçteki elektrik dipol moment vektörünün yönü (-) yükten (+) yüke doğrudur.



Şekil 2.5: Düzgün elektrik alan altında pozitif ve negatif yüke etkiyen tork.

Eğer dielektrik malzeme sürekli dipol momentine sahip değilse, uygulanan dış elektrik alan ($\vec{E} \neq 0$) ile dielektrik malzeme içerisinde bir indüklenme meydana gelir. Dielektrik malzemeyi oluşturan moleküllerin pozitif ve negatif yük merkezlerinin birbirinden d mesafesi kadar uzaklaşmalarına sebep olan bu indüklenme, dipollerin oluşmasına neden olur. Uygulanan dış elektrik alan etkisinde dipoller üzerine bir tork etki eder ve dönme hareketi gerçekleşir.

\vec{E} uygulanan elektrik alan, $p = qd$ elektrik dipol momenti, d pozitif ve negatif yükler arasındaki uzaklık ve $\vec{F} = q\vec{E}$ uygulanan kuvvet olmak üzere sisteme etki eden $\vec{\tau}$, tork ifadesi,

$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F} \quad (2.8)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

$$|\vec{\tau}| = \tau = |\vec{d}| |\vec{F}| \sin \theta \quad (2.9)$$

$$\tau = F x \sin \theta + F (d - x) \sin \theta \quad (2.10)$$

$$\tau = F d \sin \theta \quad (2.11)$$

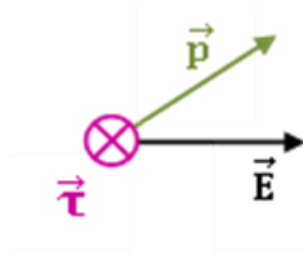
Uygulanan kuvvet $\vec{F} = q\vec{E}$ ve yük merkezleri arasındaki mesafe $d = p/q$, (2.11) denkleminde yerine yazıldığında

$$\tau = p E \sin \theta \quad (2.12)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade sisteme etki eden torkun,

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad (2.13)$$

vektörel bir büyüklük olduğunu göstermektedir ve yönü, Şekil 2.6' daki gibi sayfa düzleminden içeri doğru olmalıdır.



Şekil 2.6: Dipol momenti ve elektrik alana göre tork yönünün belirlenmesi.

Plakalar arasında dielektrik madde varken, $\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\kappa}$ ifadesinde görülen elektrik alandaki κ oranındaki azalma Gauss Yasasından yararlanarak açıklanabilir. Boşluk kapasitöründe Gauss yüzeyi seçilirse, herhangi bir kapalı yüzeyden geçen net akı;

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (2.14)$$

dır. Bu eşitlik düzenlenirse;

$$\oint |\vec{E}| |d\vec{A}| \cos \theta = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (2.15)$$

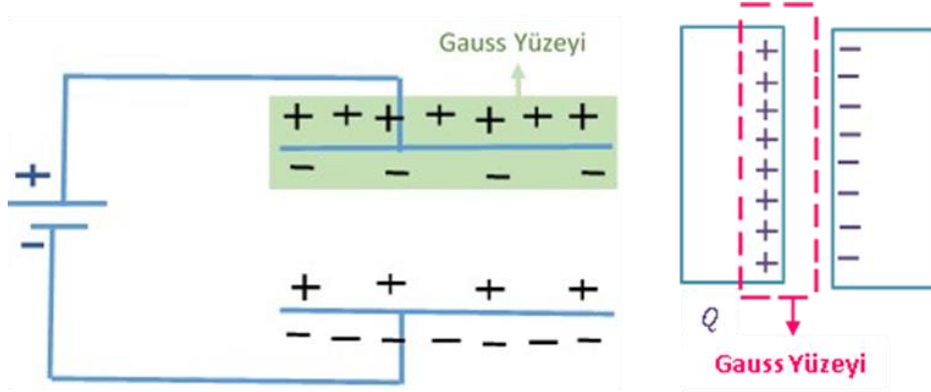
ifadeleri elde edilir. Yüzey normali ve elektrik alan aynı yönde olduğundan (2.15) ifadesinde θ açısı yerine sıfır yazılırsa,

$$E = \frac{Q}{A \epsilon_0} \quad (2.16)$$

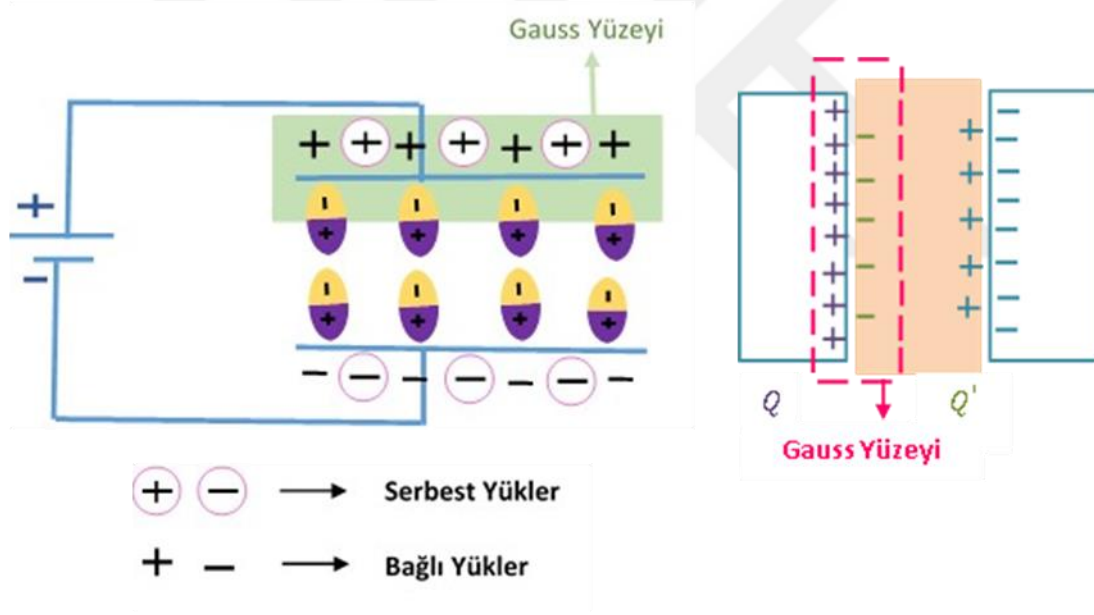
boşluk kapasitörüne ait elektrik alan ifadesi elde edilir. $\frac{Q}{A}$ ifadesi, birim alandaki yük miktarını ifade ettiğinden yerine σ yük yoğunluğu ifadesini yazmak mümkündür. Böylece elektrik alan ifadesi, yük yoğunluğuna bağlı olarak

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (2.17)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 2.7: Boşluk kapasitörde belirlenen Gauss yüzeyi.



Şekil 2.8: Dielektrik kapasitörde belirlenen Gauss yüzeyi.

Dielektrik kapasitörde yani plakaları arasında yalıtkan malzeme bulunan kapasitörde, Şekil 2.8' deki gibi bir Gauss yüzeyi seçilirse, elektrik alan ifadesi;

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon} \quad (2.18)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\kappa \epsilon_0} \quad (2.19)$$

şeklinde olacaktır.

$$\oint |\vec{E}| |d\vec{A}| \cos \theta = \frac{Q}{\kappa \epsilon_0} \quad (2.20)$$

(2.19) ifadesi düzenlendiğinde dielektrik kapasitöre ait elektrik alan ifadesi,

$$E = \frac{Q}{A \kappa \epsilon_0} \quad (2.21)$$

şeklinde elde edilmektedir. Yük yoğunluğuna bağlı olarak,

$$E = \frac{\sigma}{\kappa \epsilon_0} \quad (2.22)$$

ifade edilebilir.

Yük yoğunluğu ifadesini elde etmek için (2.22) ifadesi düzenlenecek olursa

$$\sigma = \kappa \epsilon_0 |\vec{E}| = \epsilon |\vec{E}| \quad (2.23)$$

elde edilir.

Q' , dielektrik maddenin plakalara bakan yüzeylerinde indüklenme ile oluşan yükleri temsil etmektedir. $Q - Q'$ ifadesi ise Gauss yüzeyi üzerindeki net yükü temsil etmektedir.

Plakalar arasında dielektrik madde olması durumunda, toplam elektrik alan azalır. Bu azalmanın sebebi, plakalar arasında oluşan elektrik alan ile polarizasyon sonucu oluşan elektrik alanın ters yönde oluşmasıdır. Bu durumu ifade eden eşitlik

$$\frac{Q}{\epsilon_0 A \kappa} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} - \frac{Q'}{\epsilon_0 A} \quad (2.24)$$

dir. Eşitlik düzenlendiğinde;

$$Q' = Q \left(1 - \frac{1}{\kappa}\right) \quad (2.25)$$

elde edilir. (2.24) bağıntısındaki ilk terim, $\frac{Q}{\epsilon_0 A \kappa}$ deplasman alanına, ikinci terim; $\frac{Q}{\epsilon_0 A}$ plakalar arası uygulanan elektrik alana, son terim $\frac{Q'}{\epsilon_0 A}$ polarizasyon sebebiyle oluşan alana karşılık gelmektedir.

Plakalar arasındaki toplam elektrik alan,

$$|\vec{D}| = \epsilon_0 |\vec{E}| + |\vec{P}| \quad (2.26)$$

olarak tanımlanan \vec{D} elektrik deplasman vektörü ile gösterilmektedir [26, 28]. Toplam elektrik alan

$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ ifadesine eşit olduğundan (2.26) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (2.27)$$

elde edilir. Buradan polarizasyon vektörünün,

$$\vec{P} = (\epsilon_0 - \epsilon) \vec{E} = (\kappa - 1) \epsilon_0 \vec{E} \quad (2.28)$$

şeklinde ifade edilebileceği görülmektedir.

2.1.3. Değişken Alanda Kapasitör

Kapasitörün plakaları arasına ω açısal frekanslı potansiyel fark yani değişken elektrik alan uygulandığında, uygulanan potansiyel fark ifadesi

$$V = V_0 e^{i\omega t} \quad (2.29)$$

şeklinde tanımlanır. Uygulanan bu potansiyel farka karşılık kapasitörün plaka yüzeyleri,

$$Q = C_0 V = C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.30)$$

yükü ile yüklenir. Bu yüklenmeye neden olan yükleme akımı,

$$I_c = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} (C_0 V_0 e^{i\omega t}) = i\omega C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.31)$$

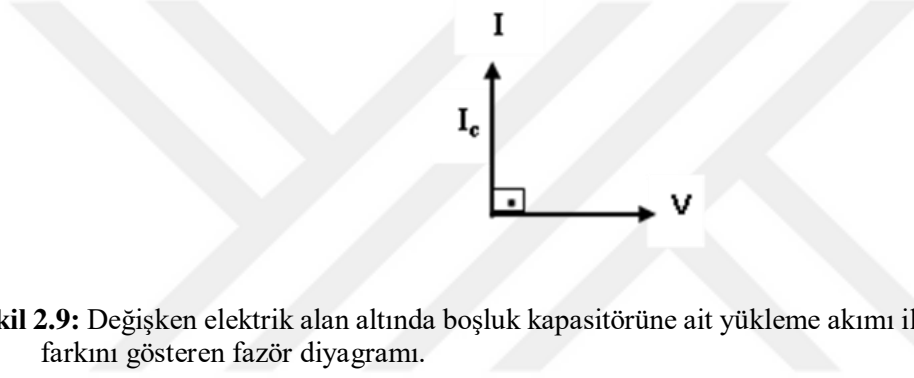
şeklinde dir. Bu denklemi düzenlemek istersek; $\cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} = i$ olduğu bilindiğinden $i = e^{i\pi/2}$ yerine yazılırsa;

$$I_c = e^{i\pi/2} \omega C_0 V_0 e^{i\omega t} = \omega C_0 V_0 e^{i(\omega t + \pi/2)} \quad (2.32)$$

ifadesi elde edilir. Bu eşitlikte $\omega C_0 V_0 = I_0$ olacağından,

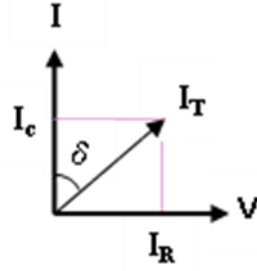
$$I_c = I_0 e^{i(\omega t + \pi/2)} \quad (2.33)$$

elde edilir. (2.29) ve (2.33) formüllerinde görüldüğü gibi uygulanan potansiyel ile yüklem akımı arasında 90° faz farkı vardır. Bu akımın, uygulanan voltajdan 90° ilerde olduğunu göstermektedir. Bu durum, Şekil 2.9' daki fazör diyagramıyla açıklanabilir.



Şekil 2.9: Değişken elektrik alan altında boşluk kapasitörüne ait yüklem akımı ile voltaj arasındaki faz farkını gösteren fazör diyagramı.

Değişken elektrik alanda plakalar arasında dielektrik madde olduğunda hem yüklem akımı hem de kayıp akımı denilen iki akım söz konusu olmaktadır. Yüklem akımı ile voltaj arasında 90° faz farkı varken, kayıp akımıyla voltaj aynı fazdadır. Bu nedenle toplam akım ile voltaj arasındaki faz farkı 90° ' den daha az olacaktır. Faz farkı, $90^\circ - \delta$ ile ifade edilir [29, 30]. Bu durum, Şekil 2.10' daki gibi fazör diyagramı ile açıklanabilir. Dielektrik malzemedeki enerji kaybı sebebiyle meydana gelen ve uygulanan potansiyelle aynı fazdaki akım bileşeni kayıp akımı olarak adlandırılır ve I_R ile gösterilir.



Şekil 2.10: Değişken elektrik alan altında dielektrik kapasitöre ait akım ve voltaj arasındaki faz farkı.

Kayıp akımı ifadesi; G , kondüktans olmak üzere

$$I_R = G V \quad (2.34)$$

şeklinde tanımlanır. Kondüktans, $G = \frac{1}{R}$

şeklinde ifade edilir.

Kondansatördeki toplam akım,

$$I = I_C + I_R = (i\omega C_0 + G)V \quad (2.35)$$

ifade edilir. Yükleme akımı ile toplam akım arasındaki açının tanjantı

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega RC} \quad (2.36)$$

kayıp faktörü olarak adlandırılır. Toplam akım ifadesi ise,

$$I = (i\omega\epsilon' + \omega\epsilon'') \frac{C_0}{\epsilon_0} V = i\omega C_0 \frac{\epsilon' - i\epsilon''}{\epsilon_0} V \quad (2.37)$$

şeklindedir.

Kompleks dielektrik permitivite ifadesi,

$$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon'' \quad (2.38)$$

şeklinde olup, ϵ' , dielektrik permitivite ve ϵ'' , dielektrik kayıp permitivitesi olarak adlandırılır.

κ^* , kompleks dielektrik sabiti ifadesi

$$\kappa^* = \frac{\epsilon^*}{\epsilon_0} \quad (2.39)$$

şeklinde tanımlanır ve kompleks ifade $\kappa^* = \kappa' - i\kappa''$ şeklinde yazılır [26]. Burada κ' dielektrik sabiti, κ'' ise dielektrik enerji kaybı olarak tanımlanır.

Dielektrik kapasitör için toplam akım ifadesi,

$$I = \frac{dQ}{dt} = i\omega\kappa C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.40)$$

$$I = i\omega(\kappa' - i\kappa'')C_0 V_0 e^{i\omega t} = i\omega\kappa' C_0 V_0 e^{i\omega t} + \omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.41)$$

şeklinindedir. Toplam akım ifadesi I_C yükleme akımı ve I_R kayıp akımının toplamı olarak yazılacak olursa, yükleme akımı ifadesi;

$$I_C = i\omega\kappa' C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.42)$$

ve kayıp akımı ifadesi,

$$I_R = \omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.43)$$

olarak ifade edilir.

Kayıp faktörünün ise,

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t}}{i\omega\kappa' C_0 V_0 e^{i\omega t}} = \frac{\kappa''}{\kappa'} \quad (2.44)$$

ifadesinden, dielektrik enerji kaybının dielektrik sabitine oranı olduğu görülmektedir.

Akım yoğunluğu,

$$J = \frac{I_R}{A} \quad (2.45)$$

şeklinde ifade edilmektedir [26]. Bu ifadede, kayıp akımı terimi yerine yazıldığında, akım yoğunluğu;

$$J = \frac{\omega\kappa'' C_0 V_0 e^{i\omega t}}{A} \quad (2.46)$$

şeklinde ifade edilir. Elektrik alan ifadesi $E = V/d$ olmak üzere bu iletkenliğe ait akım yoğunluğu ifadesi,

$$J = \frac{A \varepsilon_0 \kappa'' E d e^{i\omega t}}{A} \quad (2.47)$$

$$J = \omega \kappa'' E = \sigma E \quad (2.48)$$

şeklindedir. Bu denklemler sonucunda dielektrik ortamın değişken alan iletkenliği olarak tanımlanan,

$$\sigma_{AC} = \omega \kappa'' \quad (2.49)$$

ifadesi elde edilir. Dielektrik materyale değişken alan uygulandığında, dielektrik içerisindeki polarlanma sonucunda meydana gelen ısı enerjisinin değeri, kayıp akımı terimidir. Buna karşılık gelen terim de alternatif iletkenlik olarak adlandırılır.

Jonsher' in iletkenlik denklemi,

$$\sigma_{\text{toplam}} = \sigma_{DC} + \sigma_{AC} \rightarrow \sigma_{\text{toplam}} = \sigma_{DC} + A\omega^s \quad (2.50)$$

dir. Burada toplam iletkenlik, frekanstan bağımsız davranış gösteren DC iletkenlik ve frekansa bağlı davranış gösteren AC iletkenlik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. AC iletkenlik ifadesinde, A sıcaklığa bağlı parametre ve s hakim iletkenlik mekanizmasının belirlenmesi için kullanılan frekansa bağlı katsayıdır [31].

2.2. POLARİZASYON MEKANİZMALARI

Polarizasyon, dielektrik malzeme içerisindeki yük taşıyıcılarının; uygulanan dış elektrik alanın gerektirdiği şekilde yönelmeleridir.

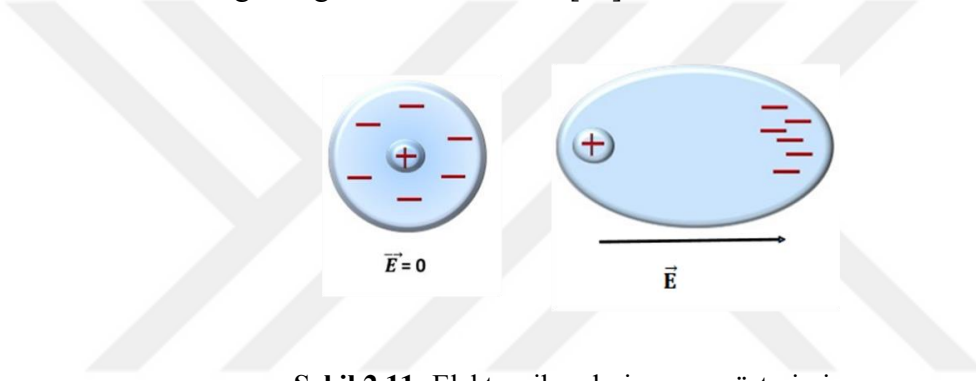
Eşitlik (2.26)'da polarizasyon sebebiyle oluşan alana karşılık gelen $\frac{Q'}{\varepsilon_0 A}$ terimi, d plakalar arası uzaklıkla çarpılıp bölünürse; polarizasyon

$$|\vec{P}| = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{Q' d}{A d} = \frac{p}{\varepsilon_0 A d} \quad (2.51)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradaki $Q'd$ ifadesinin dipol momentini ifade etmektedir. O halde polarizasyon, birim hacim başına düşen dipol momentini olarak tanımlanabilir.

2.2.1. Elektronik Polarizasyon

Pozitif yüklü çekirdeğin etrafındaki negatif yüklü elektron bulutunun uygulanan elektrik alan altında yer değiştirmesi sonucunda kayma meydana gelmektedir. Dielektrik malzemeye bir dış elektrik alan uygulandığında, elektron bulutunun kütle merkezi çekirdeğe oranla bir miktar yer değiştirmeye uğramaktadır ve bunun sonucunda dipol momentleri meydana gelir. Bu durum maddenin elektronik polarizasyonu olarak tanımlanır. Elektronik polarizasyon, yaklaşık olarak 10^{15} Hz frekans aralığında gözlemlenmektedir [33].



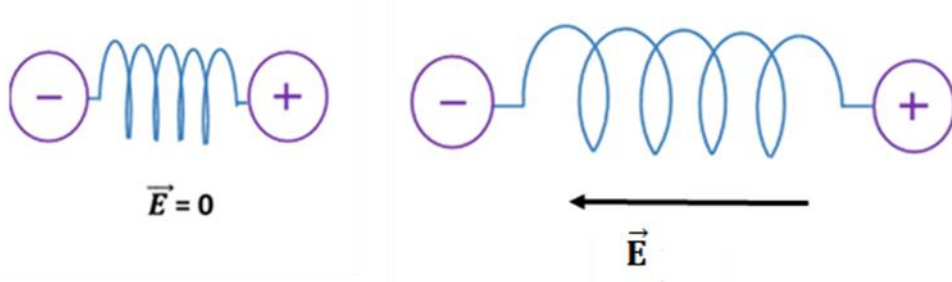
Şekil 2.11: Elektronik polarizasyon gösterimi.

Atomik polarizasyon, elektronik boyutta yer değiştirmenin sonucu olarak ortaya çıkan elektronik polarizasyonun aksine çok atomlu bir molekülün dış elektrik alan altında, o molekülü oluşturan atom merkezlerinin birbirlerine göre çok küçük miktarda yer değiştirmesi sonucu meydana gelmektedir. Elektronik polarizasyona benzemektedir, atomik polarizasyonda dielektrik kayıp az olduğundan toplam ısınmaya katkısı azdır [32].

2.2.2. İyonik Polarizasyon

Malzeme içerisindeki kristal yapıyı meydana getiren iyonların uygulanan dış elektrik alan nedeniyle, alanın gerektirdiği şekilde yönelmeleri sonucunda dipoller meydana gelmektedir. Bu durum iyonik polarizasyon olarak adlandırılır.

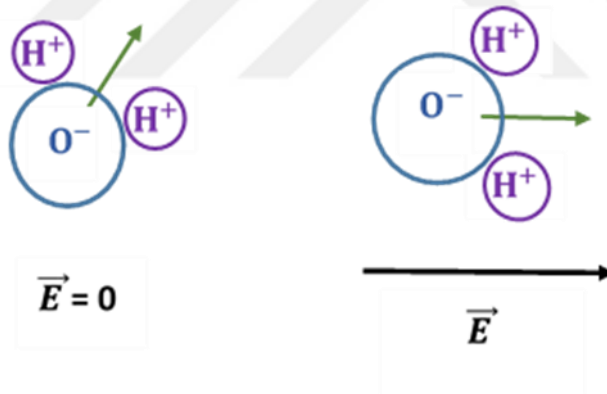
Kristal örgüyü oluşturan iyonlar, elektronlara göre kütle bakımından daha ağır oldukları için elektronik polarizasyon ile karşılaştırıldığında elektrik alana cevap verme süreleri daha uzundur. Bu yüzden iyonik polarizasyon, elektronik polarizasyona göre daha düşük frekanslarda gözlenmektedir [30, 31].



Şekil 2.12: İyonik polarizasyon gösterimi.

2.2.3. Dipolar Polarizasyon

Bazı moleküller kendiliğinden dipol momentine sahiptir ve bu moleküllere bir dış elektrik alan uygulandığında, yapısında bulunan dipol momentleri üzerine bir tork etki eder. Bunun sonucunda moleküller uygulanan elektrik alanın gerektirdiği yönde yönelirler. Bu durum dipolar polarizasyon olarak tanımlanır. Su molekülü buna örnek olarak verilebilir. Dipolar polarizasyon 10^3 ile 10^6 Hz frekans aralığında gözlemlenmektedir [33].

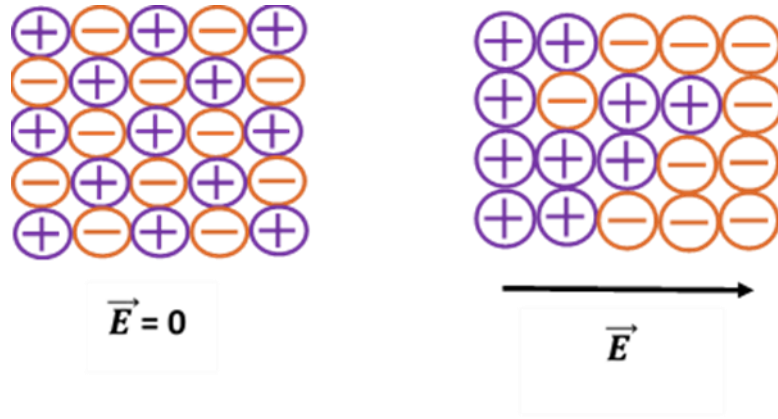


Şekil 2.13: Dipolar polarizasyon gösterimi.

2.2.4. Yüzeyler arası Polarizasyon

Yüzeyler arası polarizasyon, dielektrik malzemeyi meydana getiren örgü ve tabaka yüzeylerinin arasındaki kırık ve çatlaklara yüzey yüklerinin birikmesi sonucunda meydana gelmektedir.

Yük taşıyıcılarının yavaş hareket etmesi sebebiyle yüzeyler arası polarizasyonun meydana gelmesi de yavaş bir süreçtir. Bu yüzden yüzeyler arası yük polarizasyonu 10^{-2} Hz frekans civarında meydana gelmektedir [30, 31, 34].



Şekil 2.14: Yüzeyler arası polarizasyon gösterimi.

2.3. CLASIUS-MOSOTTI DENKLEMİ

Polarizasyon, N birim hacim başına düşen dipol moment sayısı, $\vec{\mu}$, ortalama dipol momenti olmak üzere

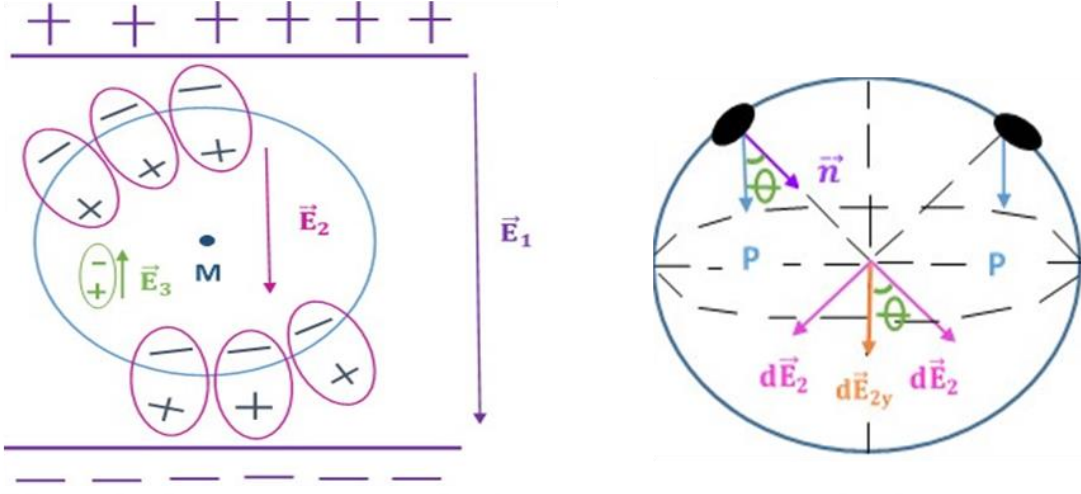
$$\vec{P} = N\vec{\mu} \quad (2.52)$$

şeklinde ifade edilir.

Ortalama dipol momentini, $\vec{\mu} = \alpha \vec{E}'$ olmak üzere, α , polarizasyon katsayısı ve $\vec{E}'(\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3)$ lokal elektrik alan olmak üzere, polarizasyon

$$\vec{P} = N\alpha \vec{E}' \quad (2.53)$$

şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 2.15: Paralel levhalar arasında seçilen oyuk içerisinde oluşan elektrik alanların gösterimi.

Paralel levhalar arasında bir oyuk seçelim. \vec{E}_1 , plakalar arasında oluşan elektrik alanı, \vec{E}_2 , dipoller arasında oluşan elektrik alan ve \vec{E}_3 , civardaki dipollerden kaynaklanan elektrik alanı ifade etmektedir. Ancak buradaki \vec{E}_3 elektrik alanı \vec{E}_1 ve \vec{E}_2 'ye göre çok çok küçük olduğundan ihmal edilebilir.

Oyuk içerisinde bir $d\vec{A}$ yüzey alanı seçersek, her alana karşılık gelen bir elektrik alan olacaktır. Oldukça küçük \vec{E}_2 elektrik alanı,

$$d\vec{E}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \quad (2.54)$$

$$dE_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} P \cos \theta dA \quad (2.55)$$

şeklinde ifade edilebilir.

\vec{E}_2 elektrik alanının y bileşeni, \vec{E}_2 elektrik alanının $\cos \theta$ bileşeni olduğundan,

$$dE_{2y} = d\vec{E}_2 \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{P \cos^2 \theta}{r^2} dr \quad (2.56)$$

ifade edilir. Bütün yükler yarıçap kadar uzaklıkta olduğundan dr ifadesi kaldırılabilir, böylece ifade düzenlenirse,

$$dE_{2y} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{P \cos^2 \theta}{r^2} r^2 \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (2.57)$$

elde edilir. Buradan E_{2y} , Lorentz alanı

$$E_{2y} = \frac{P}{3\epsilon_0} \quad (2.58)$$

bulunur. \vec{E}' lokal elektrik alanı, \vec{E}_1 , \vec{E}_2 ve \vec{E}_3 alanlarının toplamı olduğuna göre;

$$E' = E + \frac{P}{3\epsilon_0} + 0 \quad (2.59)$$

olarak ifade edilir. Buradan da (2.51) eşitliğindeki polarizasyon ifadesi yerine yazılırsa,

$$E' = \frac{(\kappa' + 2)E}{3} \quad (2.60)$$

elde edilir. (2.29) ile (2.53) eşitliklerindeki polarizasyon ifadeleri birbirine eşitlenirse

$$(\kappa' - 1)\epsilon_0 E = N\alpha E' \quad (2.61)$$

$$(\kappa' - 1)\epsilon_0 E = N\alpha \frac{(\kappa' + 2)E}{3} \quad (2.62)$$

bulunur. Eşitlik düzenlendiğinde

$$\frac{(\kappa' - 1)}{(\kappa' + 2)} = \frac{N\alpha}{3\epsilon_0} \quad (2.63)$$

elde edilir ve bu eşitlik Classius-Mossotti eşitliği olarak adlandırılır [28]. Elde edilen bu eşitlikle makroskopik κ' ile mikroskopik α ilişkilendirilmektedir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1.1. Bitüm Modifikasyonları

Çalışmada kullanılmak üzere, Tüpraş Rafinerisi' nden elde edilen 50/70 penetrasyonlu bitüm temin edilmiştir. Bitüm modifiye edici katkı olarak iki tip polyester reçinesi ve kauçuk granül katkıları temin edilmiştir. Bu malzemeler kullanılarak, farklı modifiye bitüm malzemeleri elde edilmesi planlanmaktadır.

Polyester Reçineler (PR), Tip 1 ve Tip 2 olarak ayrılmıştır. Her iki polyester reçine de doymamış durumdadır (Stiren içerisinde). Kullanılan Polyester Reçine malzemeleri arasındaki temel fark ise, birinin ortoftalik (PR Tip 1) yapılı, diğerinin ise izoftalik (PR Tip 2) yapılı başlangıç malzemesinden hazırlanmış olmasıdır.

Çalışma kapsamında hazırlanması planlanan modifiye bitümlere ait malzeme içerikleri ve kullanım oranları;

Saf (Katkısız) bitüm (50/70 penetrasyonlu)

1- Bitüm + %5 Polyester Reçine Tip 1

2- Bitüm + %5 Polyester Reçine Tip 2

3- Bitüm + %10 Kauçuk

4- Bitüm + %20 Kauçuk

şeklinde sıralanabilir.

Farklı Modifiye bitüm örneklerinde kullanılan malzeme miktarları ise Tablo 2'de yer almaktadır.

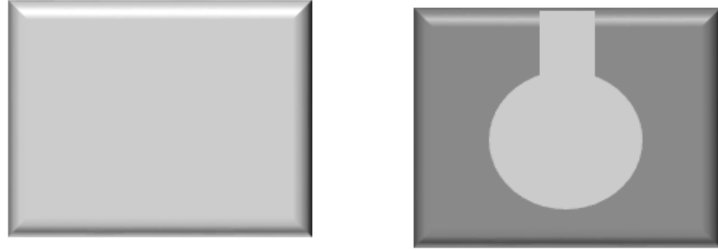
Tablo 1: Modifiye Bitüm Numuneleri için Malzeme Karışım Oranları.

	Bitüm Miktarı (gr)	Polyester Reçine Tip1 Miktarı (gr)	Polyester Reçine Tip 2 Miktarı (gr)	Kauçuk Miktarı (gr)	Toplam (gr)
Saf Bitüm	2000	-	-	-	2000
Karışım 1	2000	100 (%5)	-	-	2100
Karışım 2	2000	-	100 (%5)	-	2100
Karışım 3	2000	-	-	200 (%10)	2200
Karışım 4	2000	-	-	400 (%20)	2400

Bitüm kalınlıkları 0.16 mm, 0.3 mm, 0.47 mm, 0.7 mm, 0.9 mm, 2.4 mm, 3.4 mm ve 4 mm'dir.

3.2. ALT VE ÜST ELEKTROTUN HAZIRLANIŞI

Alt ve üst elektrotlar kare şeklinde kesilmiş teflon malzeme üzerine, 20 mm çapında alüminyum bant kaplayarak elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı teflon malzeme üzerine alüminyum bant kaplanması nedeni, ölçümlerin sıcaklık uygulanarak alınması ve malzemenin elektrotlar üzerinden kolaylıkla çıkarılmasıdır.



Şekil 3.1: Alt ve üst elektrotun görünümü.

3.3. MALZEMENİN ÖLÇÜME HAZIRLANMASI

50/70 penetrasyonlu saf bitüm on dokuz litrelik tenekeler halinde İsfalt' tan temin edildi. Oda sıcaklığında yarı katı halde olan tenekedeki bitüm 140 derecede eritilip yağlı kağıt üzerine döküldü. Bitüm örnekler eldiven ile elektrotlar arasına konularak yeterli kalınlık elde etmek için alt ve üst elektrotlar mengene yardımıyla sıkıştırıldı.

3.3.1. Ölçüm aşaması

Kalınlığı farklı örnekler alüminyum elektrotlar arasına sıkıştırıldıktan sonra ölçüme hazır hale getirildi. Dielektrik spektroskopi ölçümlerinde tekrarlanabilir şartları belirleyebilmek için, aşağıdaki ölçüm sırası gerçekleştirildi.

- 1- Öncelikle oda sıcaklığında ilk ölçüm yapıldı.
- 2- Daha sonra 10°C'lik sıcaklık artışıyla -40 °C den +40 °C ye kadar çıkarıldı.
- 3- Sonrasında +40 °C de yarım saat bekletildi. Ardından sıcaklık +40 °C den -40 °C ye düşürülerek ölçümler gerçekleştirildi.

Tüm ölçümler vakum ortamında gerçekleştirildi.

Alpha-A Empedans Analiz Cihazı kullanılarak, 10^{-1} Hz ile 10^6 Hz frekans aralığında ve belirlenen sıcaklık değerlerinde bitümlerin kapasite ve kayıp değerleri ölçüldü.



Şekil 3.2: Alpha-A Empedans Analiz Cihazı.

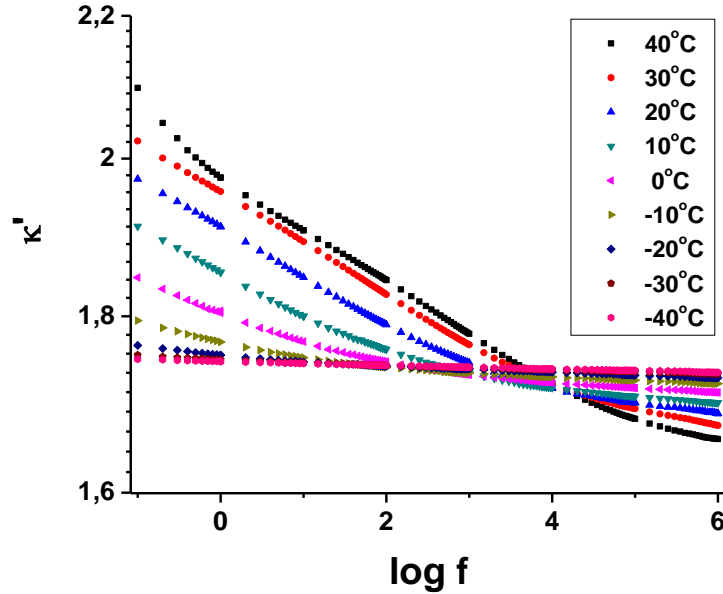
Bitümlerin kapasite ve kayıp değerlerinden yararlanılarak, dielektrik sabiti ve alternatif iletkenlik değerleri hesaplandı. Ölçülen ve hesaplanan tüm ifadelerin grafikleri Origin programında çizildi.

4. BULGULAR

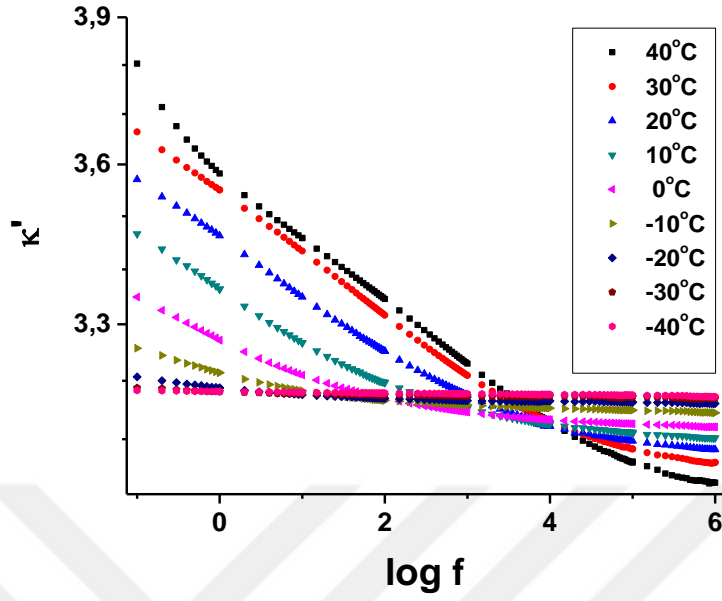
Bitümlerin kapasite ve kayıp değerlerinden yararlanılarak, dielektrik sabiti ve alternatif iletkenlik değerleri hesaplandı. Ölçülen ve hesaplanan tüm ifadelerin grafikleri Origin programında çizildi.

4.1. SAF BİTÜM'İN FARKLI KALINLIKLARDA κ' DEĞERLERİNİN FREKANSA VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

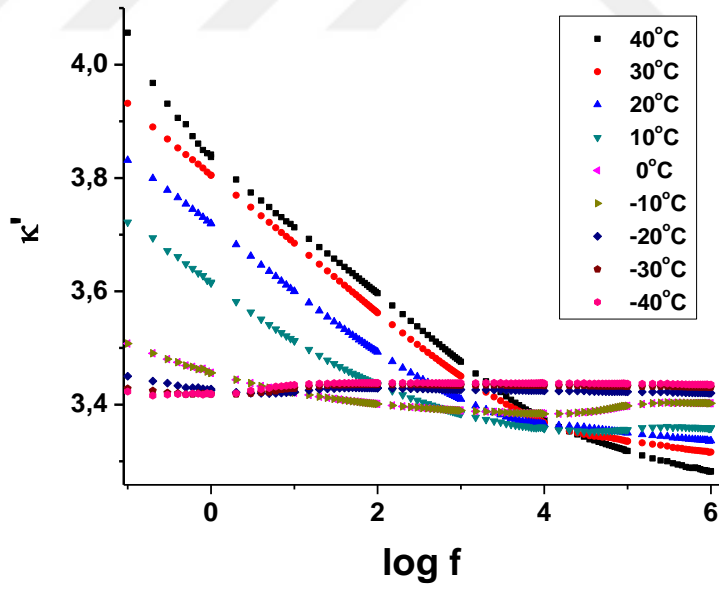
- 1- Saf bitümün κ' frekansa ve sıcaklığa bağlı davranışı Şekil 4.1 ile Şekil 4.8 arasında verilmiştir.
- a- Çalışılan kalınlık bölgesinde tüm örneklerde, frekans arttıkça dielektrik sabitinin azaldığı gözlenmiştir. Bu değişim 0°C - $+40^{\circ}\text{C}$ aralığında belirgin olmasına karşın - 10°C ile -40°C aralığında, azalma devam etmesine karşın daha dar bir aralıkta gerçekleşmektedir.
- b- 0°C tan $+40^{\circ}\text{C}$ a kadar olan her bir sıcaklık değerinde, sıcaklıkla arttıkça dielektrik sabitinin arttığı gözlemlenmiştir.



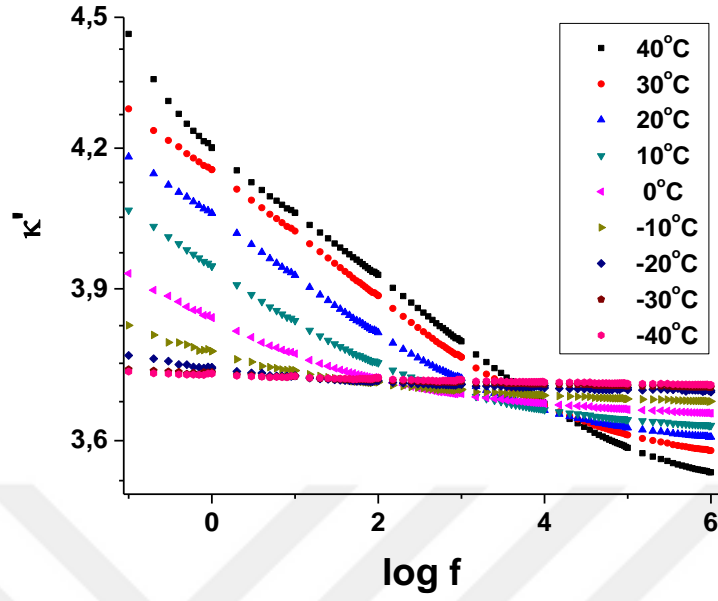
Şekil 4.1: Kalınlığı 0.16 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



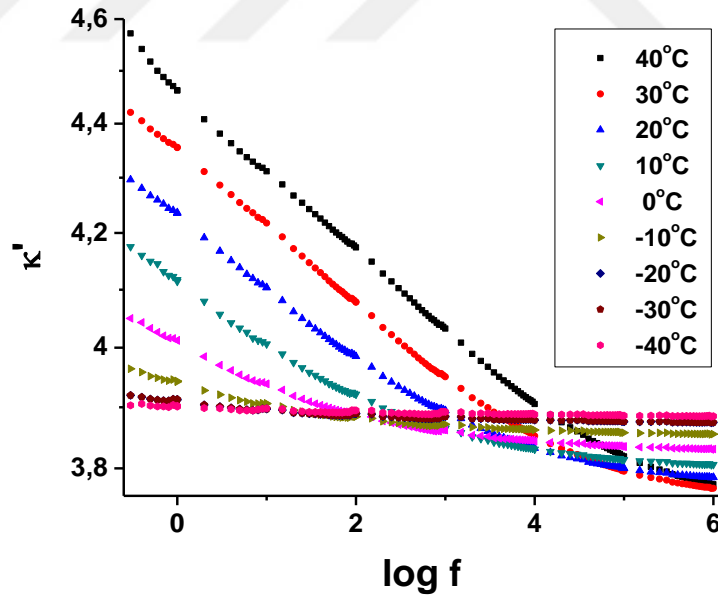
Şekil 4.2: Kalınlığı 0.3 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



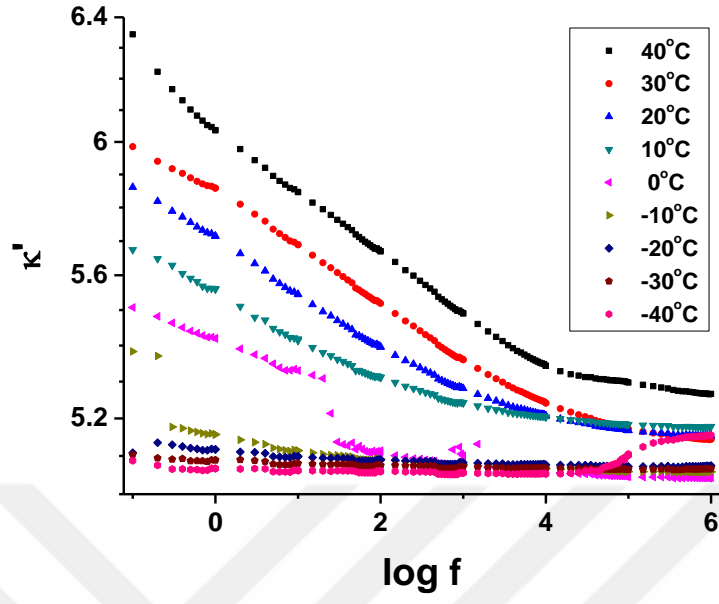
Şekil 4.3: Kalınlığı 0.47 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



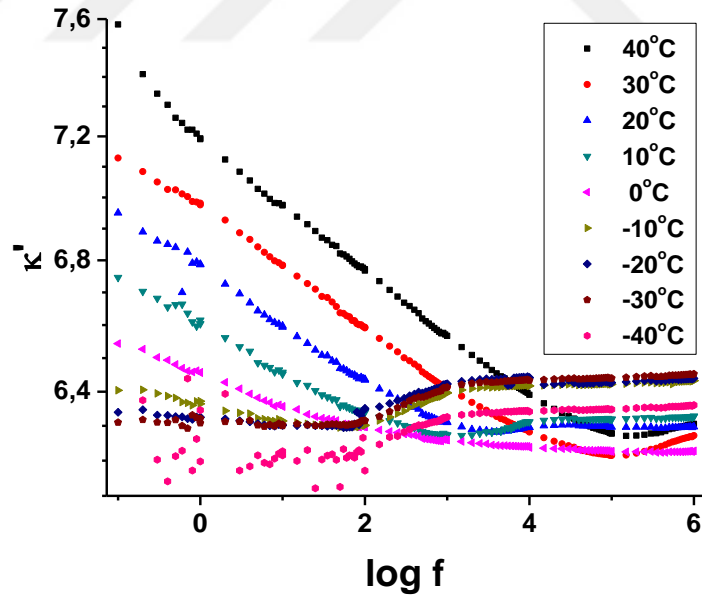
Şekil 4.4: Kalınlığı 0.7 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



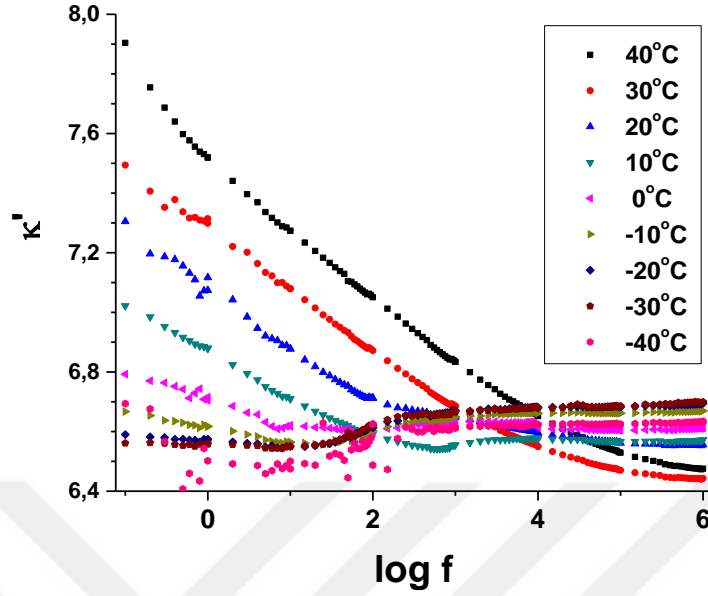
Şekil 4.5: Kalınlığı 0.9 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.6: Kalınlığı 2.4 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.7: Kalınlığı 3.4 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

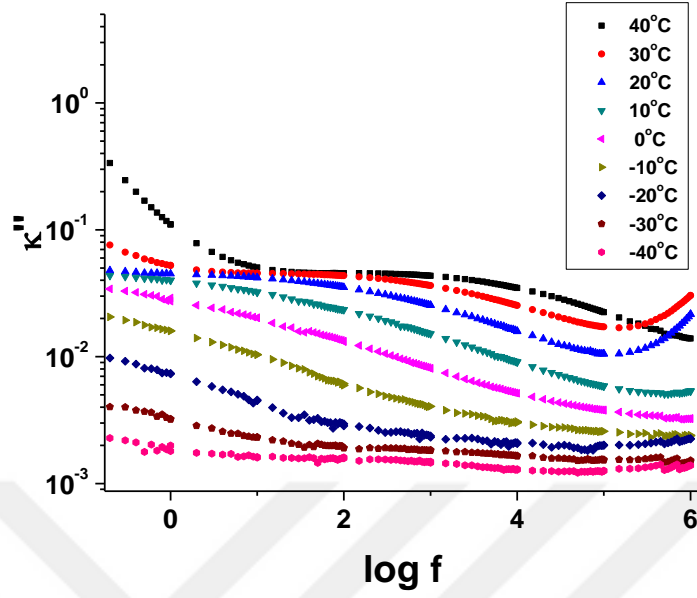


Şekil 4.8: Kalınlığı 4 mm olan saf bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

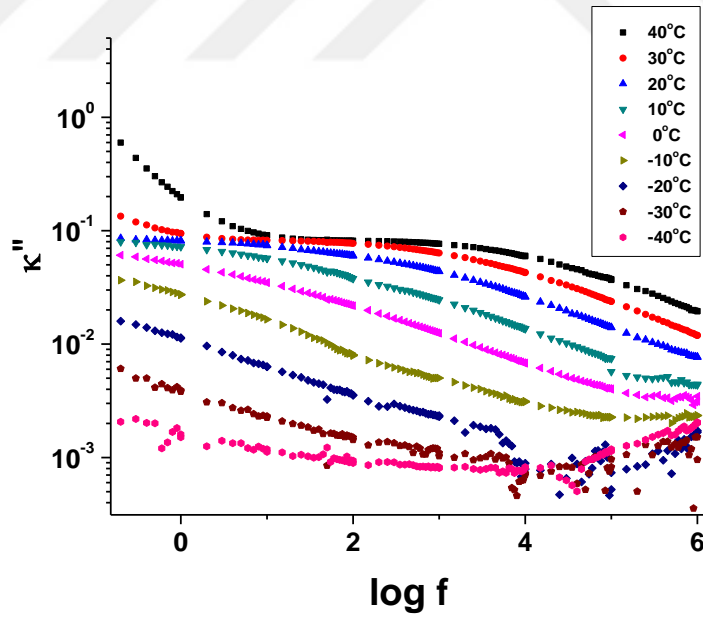
4.2. SAF BİTÜM' İN FARKLI KALINLIKLARDA κ'' DEĞERLERİNİN FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

Şekil 4.9 ile 4.13 arasında 0.16 mm, 0.3 mm, 0.47 mm, 0.7 mm, 0.9 mm, 2.4 mm, 3.4 mm ve 4 mm kalınlığındaki saf bitümler için κ'' dielektrik enerji kaybının 10^{-1} Hz ile 10^7 Hz frekans aralığında sıcaklığa bağlı grafikleri verilmiştir.

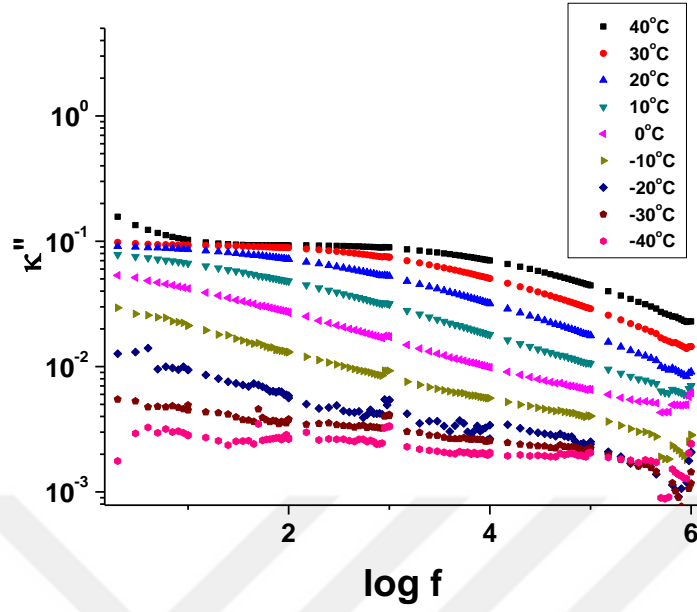
- a- Dielektrik enerji kaybı sıcaklığın artmasına bağlı olarak artış göstermektedir.
- b- Frekans arttıkça dielektrik enerji kaybı azalmaktadır.



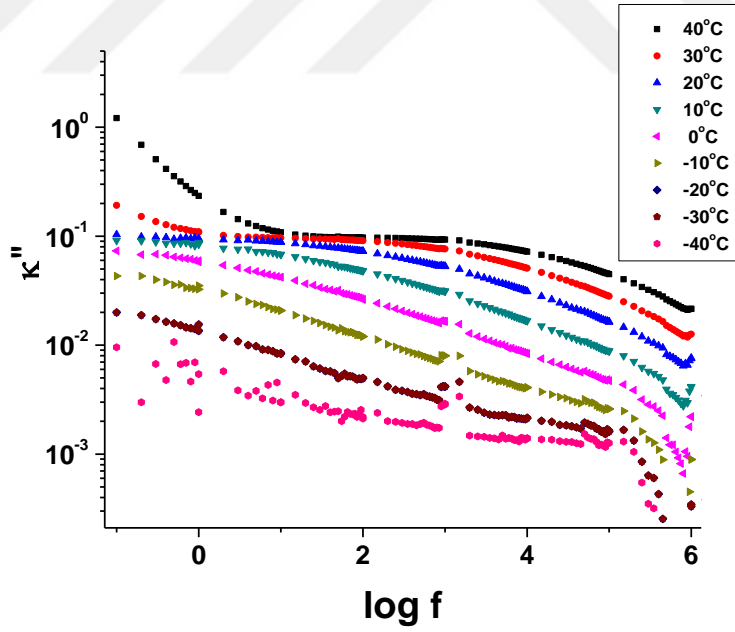
Şekil 4.9: Kalınlığı 0.16 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



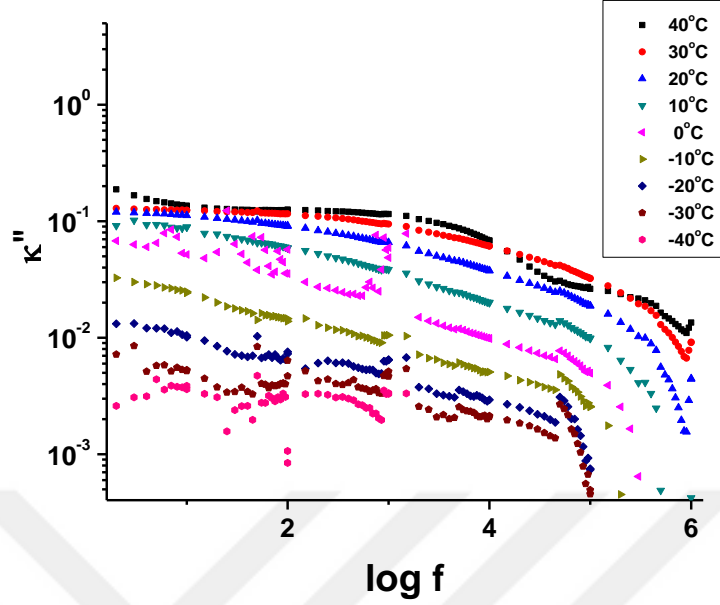
Şekil 4.10: Kalınlığı 0.3 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.11: Kalınlığı 0.7 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.12: Kalınlığı 0.9 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

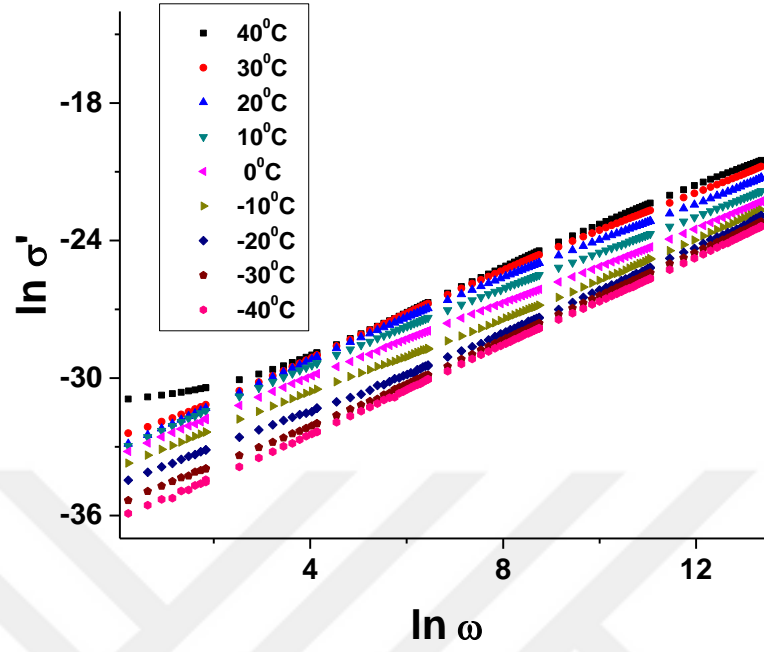


Şekil 4.13: Kalınlığı 2.4 mm olan saf bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

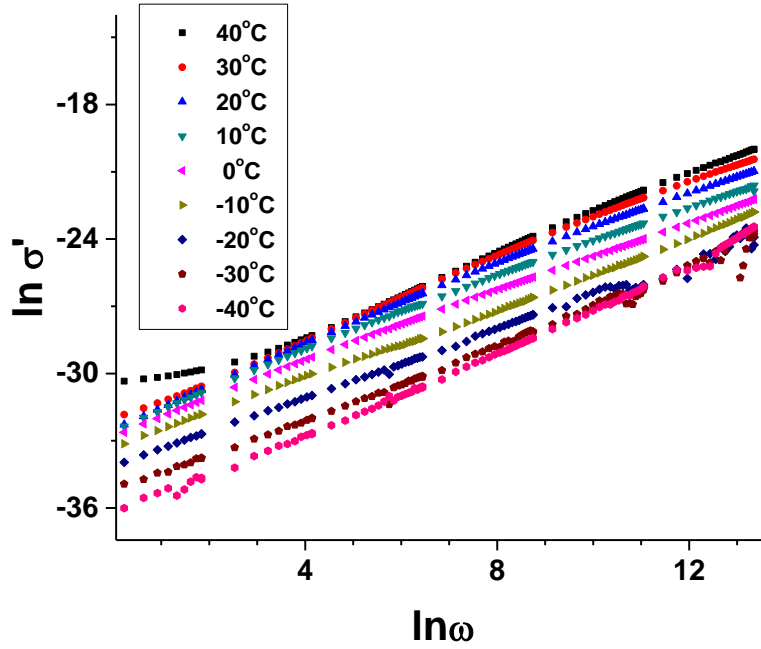
4.3. SAF BİTÜM' İN FARKLI KALINLIKLARDA $\ln \sigma'$ DEĞERLERİNİN FREKANS VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

Saf bitüm ait $\ln \sigma'$ değerlerinin frekansa ve sıcaklığa bağlı davranışı Şekil 4.14 ile 4.19 arasında verilmiştir.

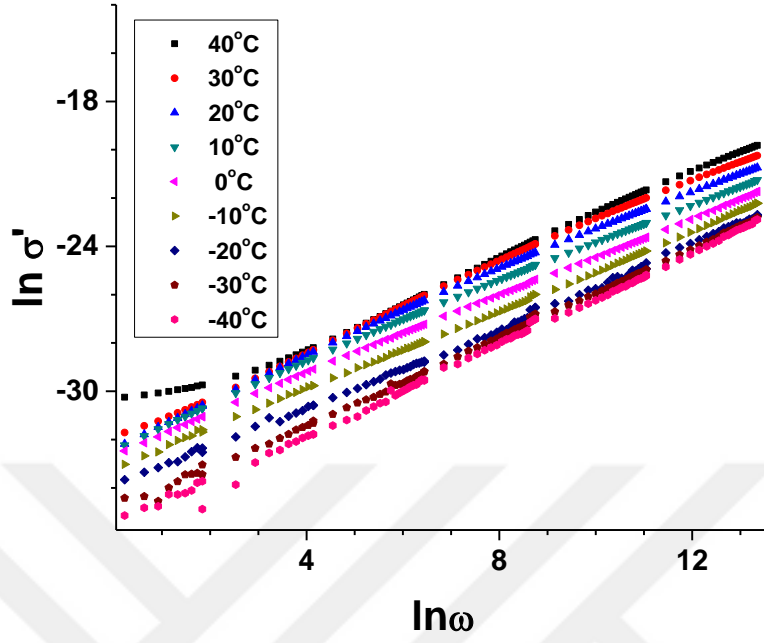
- Değişken elektrik alanda, iletkenlik; sıcaklık arttıkça artmaktadır.
- Değişken elektrik alanda iletkenliğin düşük frekanslardan yüksek frekanslara gidildikçe lineer olarak artış gösterdiği görülmektedir.



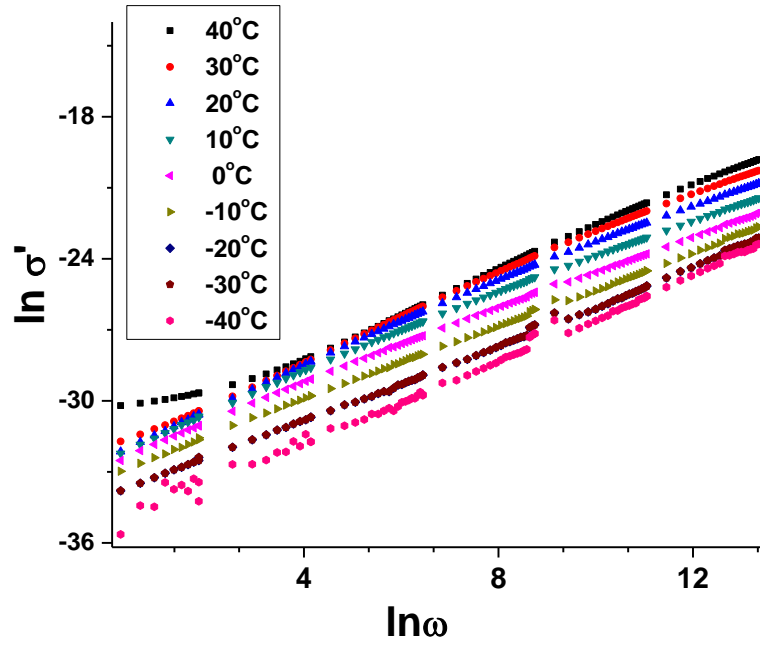
Şekil 4.14: Kalınlığı 0.16 mm olan saf bitüm 'in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



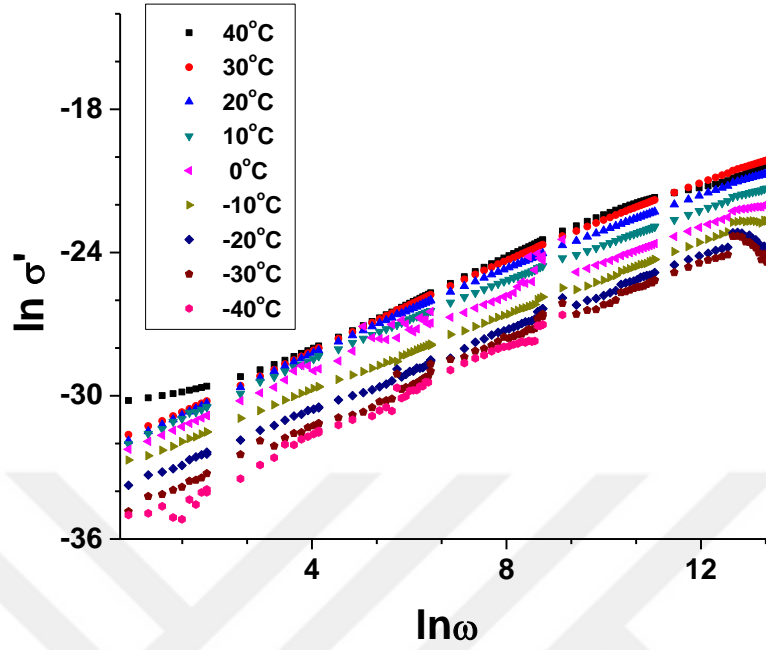
Şekil 4.15: Kalınlığı 0.3 mm olan saf bitüm' in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.16: Kalınlığı 0.7 mm olan saf bitüm' in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.17 Kalınlığı 0.9 mm olan saf bitüm' in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

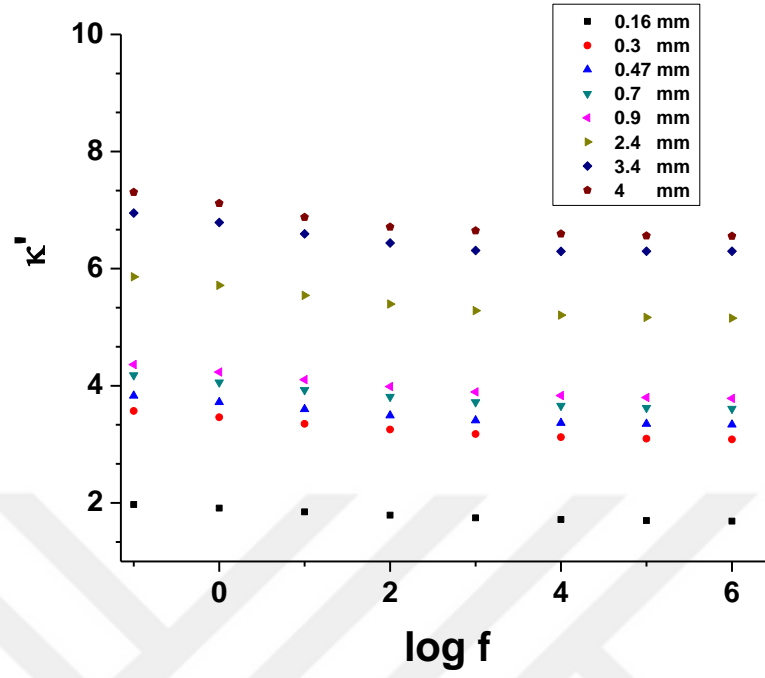


Şekil 4.18: Kalınlığı 2.4 mm olan saf bitüm' in değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

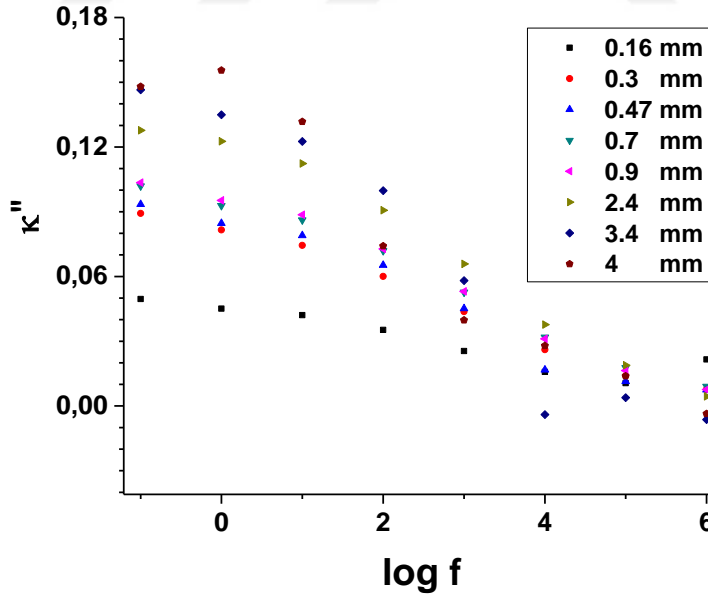
4.4. ODA SICAKLIĞINDA FARKLI KALINLIKLARDA, SAF BİTÜM'İN κ' , κ'' VE σ_{AC}' DEĞERLERİNİN FREKANS BAĞLI DEĞİŞİMLERİ

Şekil 4.19 ile 4.27 arasında oda sıcaklığında 0.16 mm, 0.3 mm, 0.47 mm, 0.7 mm, 0.9 mm, 2.4 mm, 3.4 mm ve 4 mm kalınlığındaki saf bitüm' in κ' , κ'' ve σ_{AC}' değerleri kalınlık parametre seçilerek çizilmiştir.

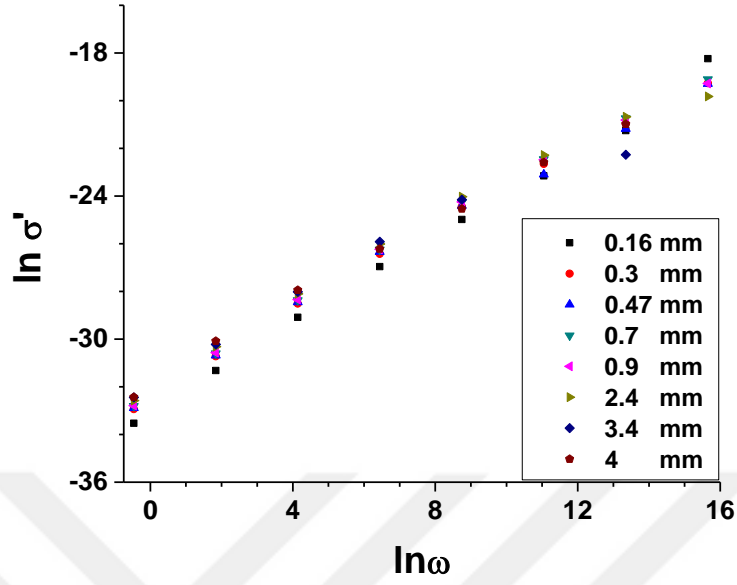
- Saf bitümün kalınlığa bağlı dielektrik sabiti değişimi incelendiğinde; 0.16 mm kalınlığındaki örnek için oda sıcaklığında dielektrik sabitinin 2 ile 1.7 arasında değer aldığı gözlenirken, 4 mm kalınlığındaki örnek için 7.2 ile 6.6 arasında değerler aldığı gözlenmiştir. Buna bağlı olarak, kalınlık arttıkça dielektrik sabitinin arttığı görülmektedir.
- Kalınlık değeri arttıkça dielektrik enerji kaybı azalmaktadır.
- Kalınlık değeri arttıkça alternatif iletkenlik artış göstermektedir.



Şekil 4.19: Dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı kalınlıklardaki durumu.



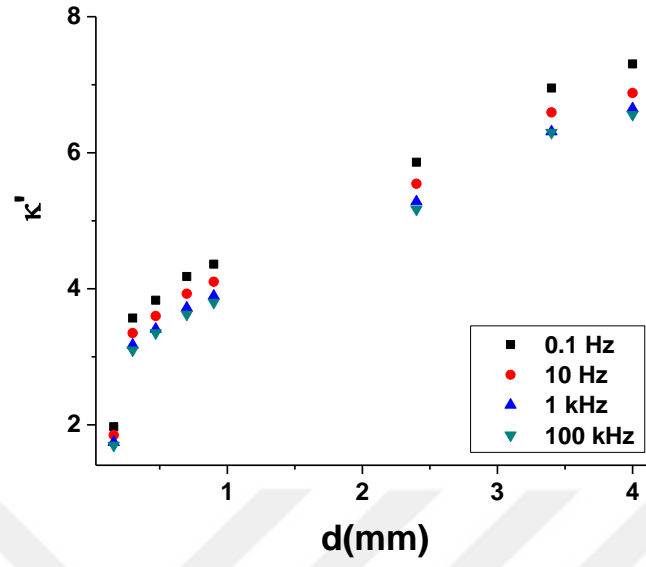
Şekil 4.20: Dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı kalınlıklardaki durumu.



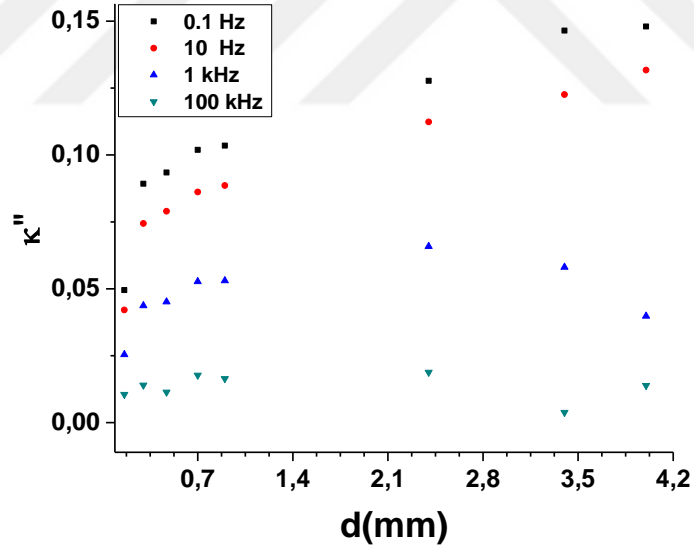
Şekil 4.21: Değişken elektrik alanda iletkenliğin frekansla değişiminin farklı kalınlıklardaki durumu.

4.5. SAF BİTÜM'İN FARKLI FREKANSLARDA κ' , κ'' VE σ_{AC}' DEĞERLERİNİN KALINLIKLA DEĞİŞİMLERİ

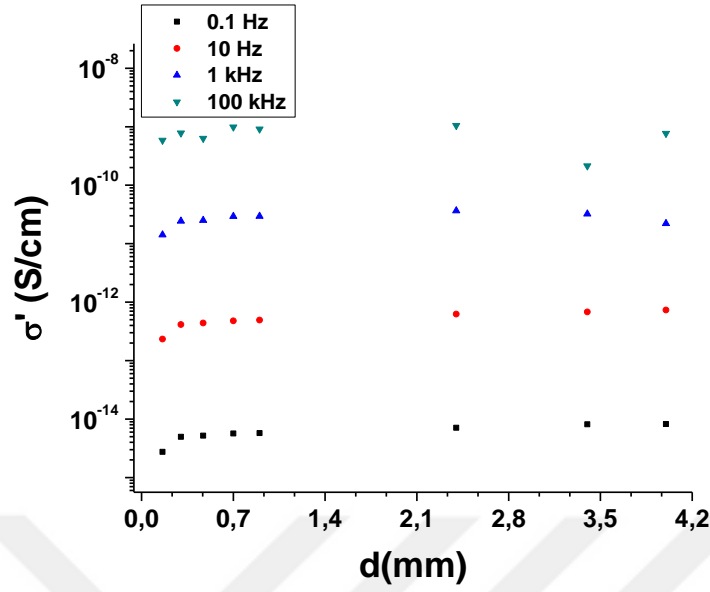
Şekil 4.22 ile 4.24 arasında κ' , κ'' ve σ_{AC}' 'nin kalınlıkla değişimi için sadece 4 farklı frekans değerindeki durumu verilmiştir. Çalışılan frekans bölgesinde, dielektrik sabiti, dielektrik enerji kaybı ve iletkenlik kalınlığının artmasıyla artmaktadır.



Şekil 4.22: Dielektrik sabitinin kalınlıkla değişiminin farklı frekanslardaki durumu.



Şekil 4.23: Dielektrik enerji kaybının kalınlıkla değişiminin farklı frekanslardaki durumu.

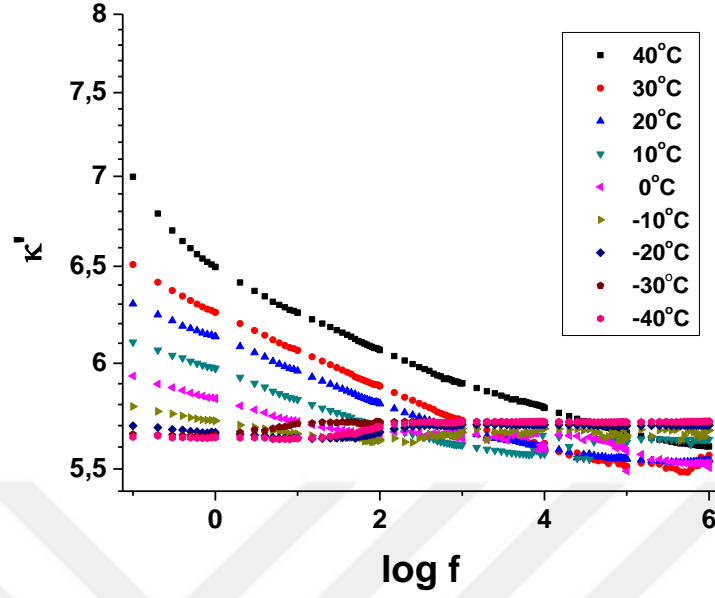


Şekil 4.24: Değişken alanda iletkenliğin kalınlıkla değişiminin farklı frekanslardaki durumu.

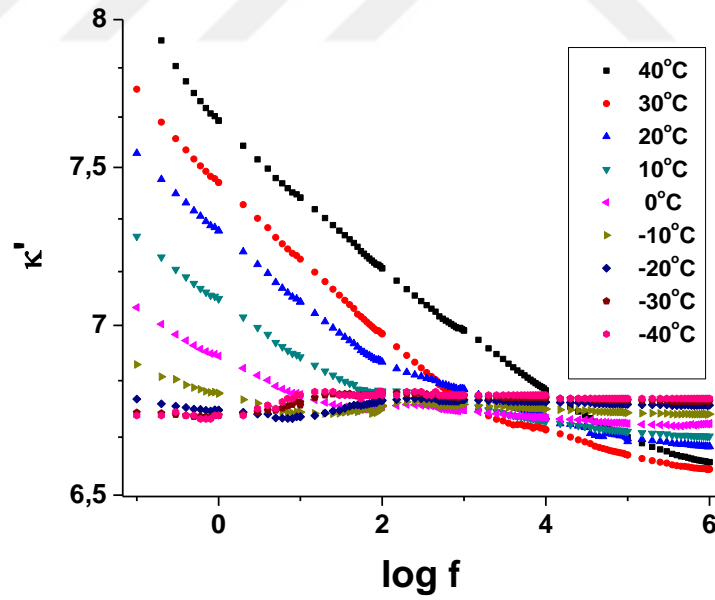
4.6. KATKILI BİTÜM' İN κ' DEĞERLERİNİN FREKANSA VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

Şekil 4.25 ile 4.28 arasında 2,47 mm kalınlığındaki bitüme %5 oranında Polyester1, %5 oranında Polyester2, %10 ve %20 oranında kauçuk katkılandırıldıktan sonra dielektrik cevapları incelendi. κ' değerleri -40°C ile 40°C sıcaklık aralığında frekansa bağlı olarak çizilmiştir.

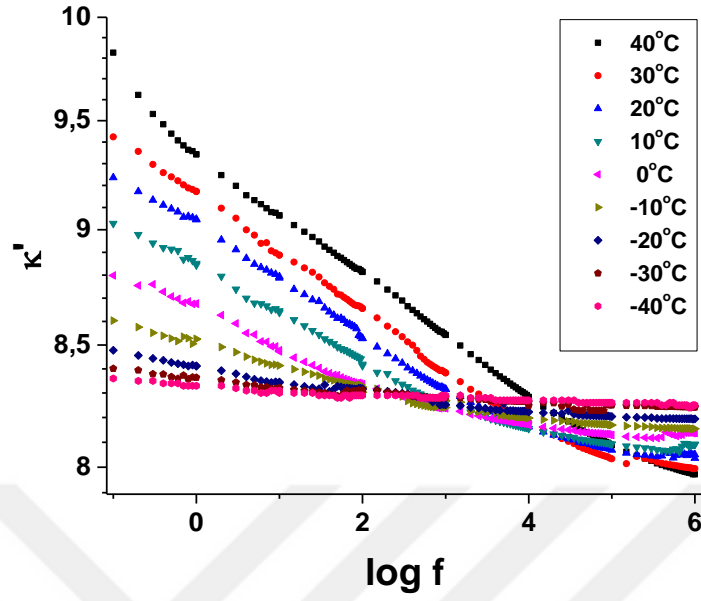
- Tüm katkılı örnekler için, dielektrik sabiti sıcaklık artışıyla artış göstermektedir.
- Tüm katkılı örnekler için, düşük frekanslardan yüksek frekanslara gidildikçe dielektrik sabiti azalmaktadır.



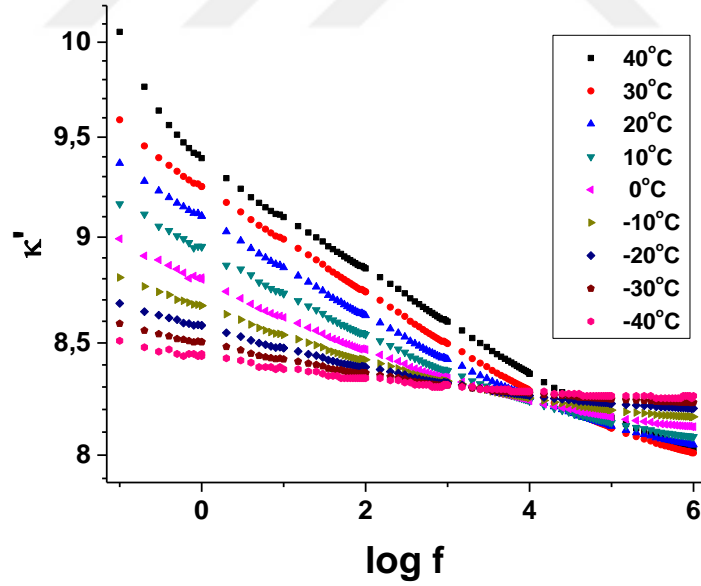
Şekil 4.25: %5 oranında polyester1 katkılı bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.26: %5 oranında polyester2 katkılı bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.27: %10 kauçuk katkıli bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

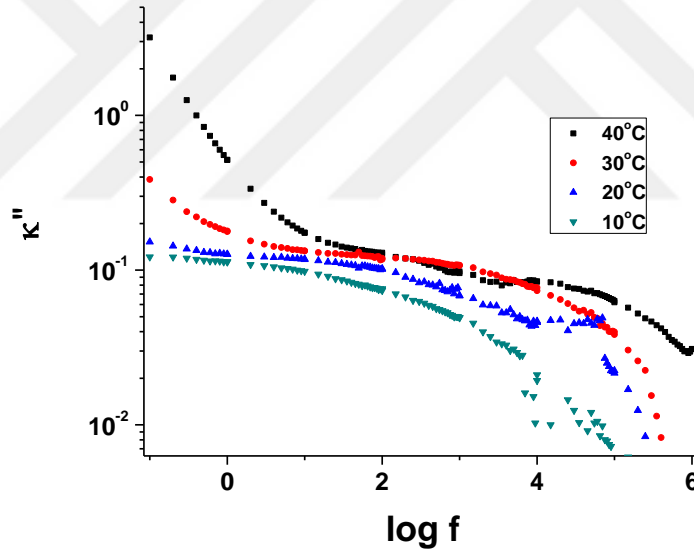


Şekil 4.28: %20 kauçuk katkıli bitüm' in dielektrik sabitinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

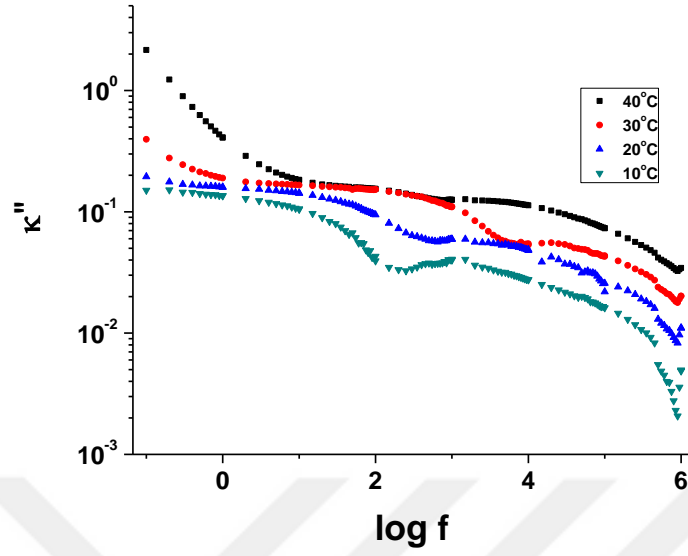
4.7. KATKILI BİTÜM' İN κ'' DEĞERLERİNİN FREKANSA VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

Şekil 4.29 ile 4.32 arasında 2.47 mm kalınlığındaki bitüm örneklerine %5 oranında Polyester1, %5 oranında Polyester2, %10 ve %20 oranında kauçuk katkılıandırdıktan sonra dielektrik enerji kayıp cevapları incelendi. κ'' değerleri 0°C ile 40°C sıcaklık aralığında frekansa ve sıcaklığa bağlı olarak çizilmiştir.

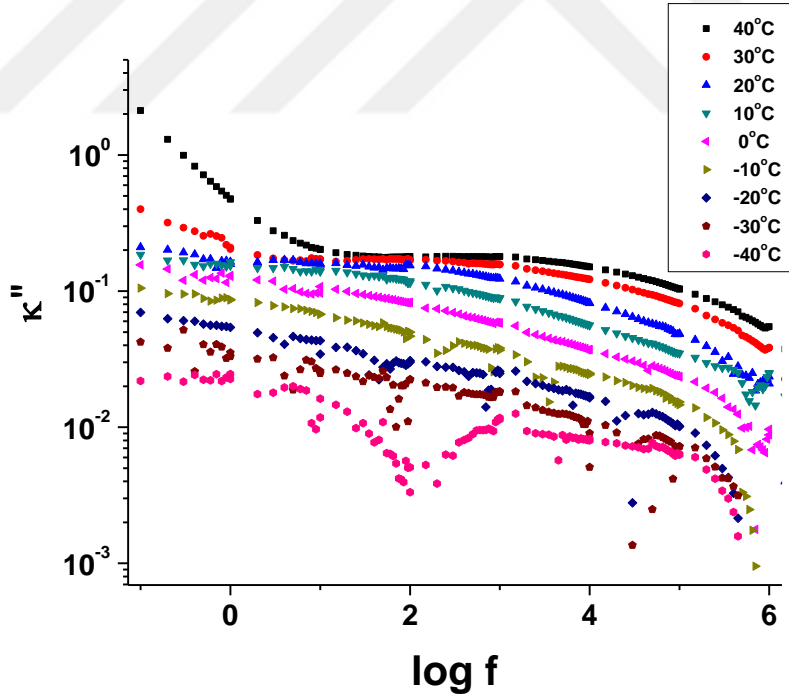
- a- Tüm katkılı örnekler için, dielektrik enerji kaybı sıcaklık artışıyla artış göstermektedir.
- b- Tüm katkılı örnekler için, düşük frekanslardan yüksek frekanslara gidildikçe dielektrik enerji kaybı azalmaktadır.



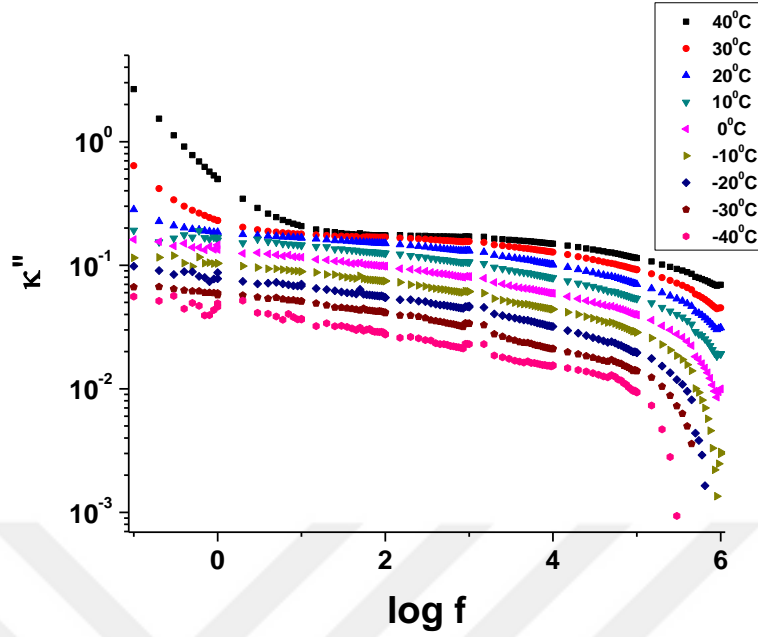
Şekil 4.29: %5 polyester1 katkılı bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.30: %5 polyester2 katkılı bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



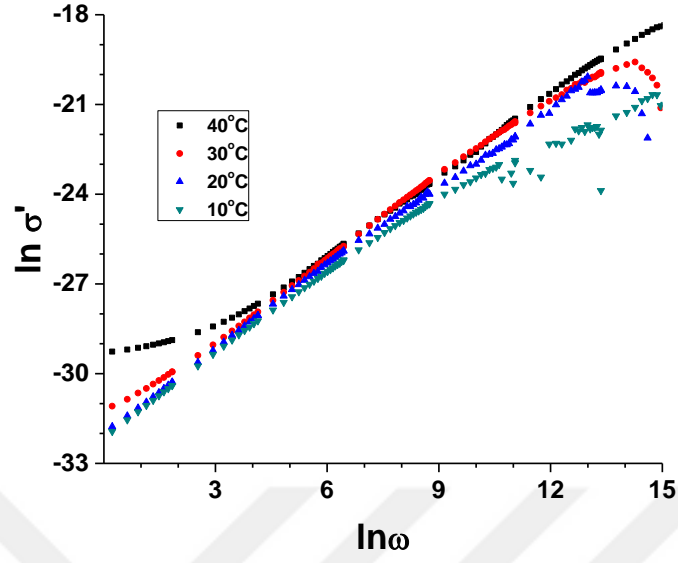
Şekil 4.31: %10 kauçuk katkılı bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



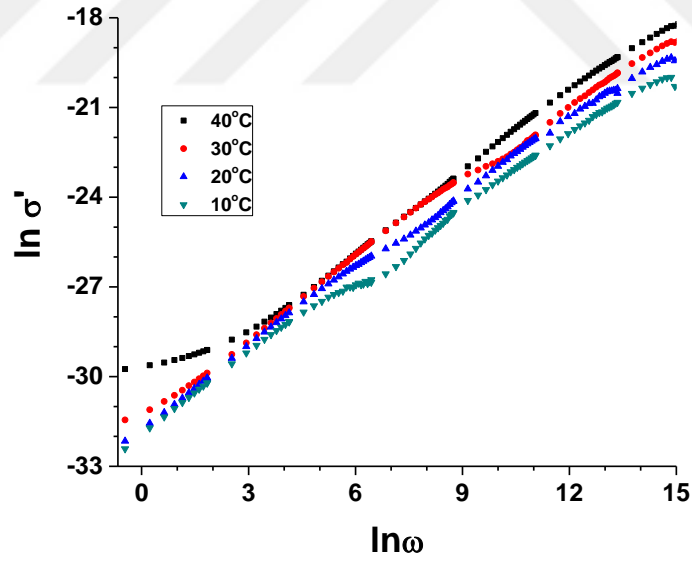
Şekil 4.32: %20 kauçuk katkılı bitüm' in dielektrik enerji kaybının frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

4.8. KATKILI BİTÜM' İN σ_{AC}' DEĞERLERİNİN FREKANSA VE SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

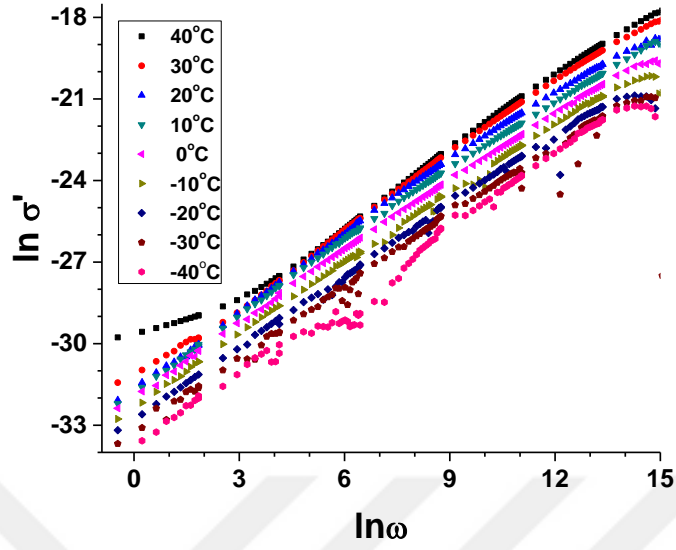
Şekil 4.33 ile 4.36 arasında 2,47 mm kalınlığındaki bitüm örneklerine %5 oranında Polyester1, %5 oranında Polyester2, %10 ve %20 oranında kauçuk katkıladıktan sonra iletkenlik cevapları incelendi.



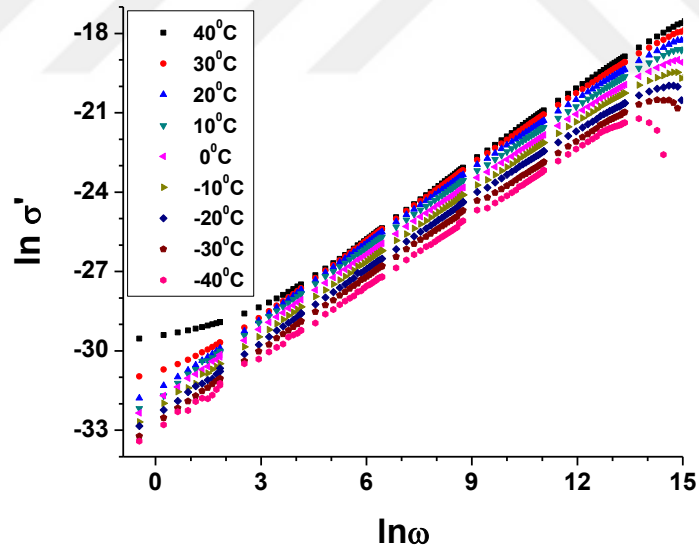
Şekil 4.33: %5 oranında polyester1 katkıli bitüm' in alternatif iletkenliğinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.34: %5 polyester2 katkıli bitüm' in alternatif iletkenliğinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.35: %10 kauçuk katkıli bitüm' in alternatif iletkenliğinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.



Şekil 4.36: %20 kauçuk katkıli bitüm' in alternatif iletkenliğinin frekansla değişiminin farklı sıcaklıklardaki durumu.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada öncelikle 0.16 mm, 0.3 mm, 0.47 mm, 0.7 mm, 0.9 mm, 2.4 mm, 3.4 mm ve 4 mm kalınlıklarındaki saf bitümlerin 0.1 Hz-10 MHz frekans aralığında ve -40°C ile 40°C sıcaklık aralığında kapasite ve kayıp ölçümleri yapılarak dielektrik sabiti ve enerji kaybı ile alternatif iletkenlik değerleri hesaplandı. Ölçülen ve hesaplanan sonuçların grafikleri çizilerek dielektrik cevapları incelendi. Bitüme %5 oranında iki çeşit polyesterin katılması ve %10 - %20 oranlarında kauçuk katılması ile elde edilen 2.4 mm kalınlık değerindeki katkılı bitümün dielektrik cevapları aynı sıcaklık ve frekans aralıkları için incelenmiş, grafikleri çizilerek sonuçları değerlendirilmiştir.

Şekil 4.1 ile 4.8 arasında her bir kalınlık değeri için, sıcaklık arttıkça bitümün dielektrik sabiti artmaktadır. 0°C ile +40°C aralığında her bir sıcaklık değerinde frekans arttıkça dielektrik sabiti azalırken -10°C ile -40°C aralığında ise frekans değişimine karşı dielektrik sabitinin sabit kaldığı gözlemlendi. Bitüm yapı itibariyle C-H bağları içeren moleküler zincirden oluşmaktadır. Düşük frekanslarda moleküler zincirin elektrik alanına karşılık dielektrik sabitine cevap verebilmesi mümkün olurken, frekans arttıkça zincirin polarize olabilmeye kabiliyeti azalacaktır. Frekansa bağlı olarak gözlenen bu azalmaya rağmen sıcaklığın etkisi ile zincirin polarlanabilmesi kolaylaşacağından, daha yüksek sıcaklıklarda daha büyük dielektrik sabiti değerleri gözlenmektedir. Artan sıcaklıkla birlikte κ' nin değeri de artış göstermektedir [4, 35]. Dielektrik sabiti değerlerinin sıcaklıkla artması, bitümün yapısında termal değişimden etkilenen bir polarizasyon mekanizması olduğunu göstermektedir [4, 34, 36]. Bulunan değerler literatürle uyum sağlamaktadır [4].

Şekil 4.9 ile 4.13 arasındaki her bir kalınlık değeri için, sıcaklık arttıkça dielektrik enerji kaybı artmaktadır. Düşük frekans değerlerinden yüksek frekans değerlerine gidildikçe dielektrik enerji kaybı azalmaktadır. κ'' , bitüm içerisindeki yapının uygulanan elektrik alanına karşı direnci nedeniyle meydana gelen dielektrik enerji kaybını tanımlamaktadır. Düşük frekanslarda gözlenen molekül polarlanmasına ilave olarak daha yüksek frekanslarda ve daha düşük sıcaklıklarda daha küçük molekül grupların polarizasyonlarının gözlenmesi beklenir. Dielektrik enerji kaybının verildiği grafiklerde görüldüğü üzere, incelenen frekans ve sıcaklık aralığında yapıda mümkün olan polarizasyon mekanizmaları, molekül polarizasyonu ve daha küçük molekül grupların polarizasyonudur. Bu iki mekanizmanın net olarak gözlemlendiği sıcaklık

değerlerinde bu polarizasyon mekanizmalarının karakteristikleri hakkında bilgi vermektedir. Özellikle oda sıcaklığı ve üzerindeki sıcaklıklarda yapı yumuşak ve esnek bir fazdadır. Bu halde yapı elektriksel uyarıya rahat cevap verebilecektir ve buna ait bir polarizasyon davranışı hakimdir. Bunun aksine özellikle -40°C civarında yapı kırılğan bir formdadır. Bu durumda molekülün hareketi daha zorlaşacağından elektriksel uyarıya cevap verebilmesi daha düşük frekanslarda mümkün olur. Buna ilave olarak daha küçük molekül grupların polarlanmasına karşılık gelen polarizasyon davranışı lokal bölgelerdeki dipolar dalgalanmalara benzer bir şekilde gözlenir. Chen ve çalışma arkadaşları kayıp faktörünün ($\tan \delta$) frekansa bağlı değerlerinde frekansın artmasıyla maksimum pik değerlerinde kayma gözlemlemiştir. Çizilen grafiklerdeki piklerde gözlenen kayma literatürle de desteklenmektedir [4].

4.14 ile 4.18 arasındaki grafiklerde alternatif iletkenliğin, sıcaklık arttıkça artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Alternatif iletkenlik, (2.49) denkleminde belirtildiği gibi frekansla doğru orantılıdır. Frekansın ve sıcaklığın artmasıyla, değişken elektrik alan iletkenliği de artış göstermektedir [37]. Değişken alan iletkenliğinin frekansa ve sıcaklığa bağlılığı incelendiğinde, yüksek sıcaklıklarda ve düşük frekanslarda frekanstan bağımsız DC iletkenlik mekanizması tespit edilirken, sıcaklığın düşmesi ile birlikte incelenen frekans aralığında AC iletkenlik mekanizması tespit edilmektedir. Bu davranış dielektrik enerji kaybının frekansa ve sıcaklığa bağlı davranışında gözlenen durumla örtüşmektedir.

Şekil 4.19 ile 4.21 arasındaki grafiklerde artan kalınlıkla, dielektrik sabitinin ve enerji kaybının ve iletkenliğin frekansla değişimleri incelenmiştir. Şekil 4.19 de kalınlık değeri arttıkça dielektrik sabiti artmaktadır. Düşük frekanslardan yüksek frekanslara gidildikçe dielektrik sabiti azalmaktadır. Bu davranış bitüm içerisindeki hidrokarbon zincirlerin yüksek frekanslara çıkıldıkça uygulanan elektrik alan değişimini takip edememelerinden (polarlanamamalarından) kaynaklanmaktadır. Bu yüzden yapıdaki polarizasyonun(yönelimin) azalmasıyla orantılı olarak dielektrik sabiti de azalmaktadır [4, 36, 38, 39]. Artan frekansla dielektrik sabitinin azalması bitümün yapısında düşük frekanslarda gözlenen yüzeyler arası polarizasyon mekanizmasının olduğunu göstermektedir. Dielektrik sabitinin oda sıcaklığında örnek kalınlığına bağlı davranışı incelendiğinde, kalınlık arttıkça dielektrik sabiti 2 ile 7 arasında artış göstermektedir. 3.4 mm ile 4 mm kalınlıklarında gözlenen değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu da yapının 4 mm kalınlığında neredeyse kalınlıktan bağımsız hale geldiğini göstermektedir.

Şekil 4.20 da dielektrik enerji kaybı düşük frekanstan yüksek frekanslara gidildikçe azalma göstermektedir. Frekansın artmasıyla birlikte polarlanma azalacağından enerji kaybı da düşük frekanslara göre daha az olacaktır. Kalınlık arttıkça kaybın değeri artmaktadır. Artan kalınlıkla birlikte polarlanma artacağından dolayı yapı içerisinde ısıya dönüşen enerjide artacaktır bu sebeple enerji kaybı değerlerinde artma gözlenecektir. Şekil 4.21 de alternatif iletkenliğin kalınlığa bağlı grafiği verilmiştir. Alternatif iletkenlik düşük frekanslardan yüksek frekanslara gidildikçe lineer artış göstermektedir.

Şekil 4.22 de 0,1 Hz, 10 Hz, 1 kHz, 10 kHz ve 10 MHz sabit frekans değerleri için farklı kalınlıklardaki bitüm örneklerinin değerleri incelenmiştir. Her frekans değerinde, kalınlığın artmasına bağlı olarak dielektrik sabitinin artmakta olduğu gözlemlenmektedir. Kalınlık azaldıkça bitüm içerisindeki yapıda boşluk miktarı artmaktadır. Dolayısıyla polarizasyona katkı azalmaktadır. Böylece κ'' azalmaktadır. Kalınlığın artmasıyla bitüm içerisindeki hidrokarbon zincirleri sayısı artmaktadır. Böylelikle polarlanmaya katkı sağlanmaktadır. Literatürle de uyumlu olarak κ'' değerleri sabit frekans değerlerinin tümünde artan kalınlıkla artmaktadır [37].

Şekil 4.23 de 0,1 Hz, 10 Hz, 1 kHz, 10 kHz ve 10 MHz sabit frekans değerleri için farklı kalınlıklardaki bitüm örneklerinin değerleri incelenmiştir. Kalınlık arttıkça dielektrik enerji kaybı artmakta ve belli bir değerden sonra sabit hale gelmektedir. Kalınlık arttıkça daha çok hidrokarbon zinciri elektrik alanın değişimiyle yönelecektir. Bu sebeple yönelmek isteyen hidrokarbon zincirlerin etkileşmelerinden dolayı enerjinin bir kısmı ısıya dönüşecektir. Bu sebeple κ'' değerlerinin, kalınlığın artmasıyla artmakta olduğu gözlenmektedir [34, 37].

Şekil 4.24 da her bir sabit frekans için, kalınlığın artmasıyla alternatif iletkenliğin arttığı ve sabitlendiği gözlemlenmektedir. Bu davranış artan frekansla iletkenliği artırmakta ve benzer formda tekrarlatmaktadır. Elde edilen sonuç literatürle uyum göstermektedir [36].

Şekil 4.25 ile Şekil 4.36 arasında bitüm örneklere %5 oranında Polyester1, %5 Polyester2, %10 ve %20 oranında kauçuk katılarak 2.47 mm kalınlığındaki katkılı bitümler elde edildi ve dielektrik cevapları incelendi. Tek bir kalınlık değeri için , dielektrik sabiti, dielektrik enerji kaybı ve alternatif iletkenlik değerleri 0°C ile 40°C aralığında sıcaklığa bağlı olarak çizilmiştir. Tüm katkılı örnekler için, dielektrik sabiti sıcaklık artışıyla artış göstermektedir [4, 35]. Sıcaklığın artmasıyla yapıda hareketlilik artacağından dolayı polarlanmaya katkı sağlanacaktır.

Katkılı örneklerin dielektrik sabitinin, saf bitüme göre daha büyük değerler aldığı gözlenmiştir. Tüm katkılı örnekler için, yüksek frekanslara gidildikçe dielektrik sabiti azalmaktadır. Polyester2 katkılına Polyester1 katkılıya göre dielektrik sabiti, daha büyüktür. Oda sıcaklığında ve 1 MHz frekansta, katkıların bitümün dielektrik sabiti üzerindeki etkisi incelendiğinde, %5 oranında polyester2 katkısının %5 polyester1 katkısına kıyasla daha yüksek dielektrik sabitine sahip olduğu görülmektedir. Bu farkın polyester2 nin molekül yapısındaki farklılıktan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. %20 kauçuk katkılı bitümün %10 kauçuk katkılı bitüme göre dielektrik sabiti biraz daha büyüktür. %10 kauçuk katkısıyla yapının bir doygunluğa geldiği ve artan oranla birlikte polar grup sayısının artmasına rağmen polarizasyona ortamın daha fazla izin vermediği şeklinde yorumlanabilir.

Dielektrik enerji kaybının, katkıya bağlı grafiklerinde %5 polyester2 katkılıda ikinci bir polarizasyon bölgesi gözlenmektedir. Katkılanan polyester1(orto ftalik) reçine bağ yapısı olarak halka şeklinde kapalı bir bağ yapısına sahiptir. Polyester2(izo ftalik) reçine ise açık uçlara sahip bir bağ yapısındadır. Bu sebeple Polyester1 katkılı örnekte kapalı halka yapısının hareketi göz önüne alınırken, polyester2 katkılı örnekte açık uçların hareketi göz önüne alınır.

Polimer zincirleri bitümün daha küçük molekül grupların kıyasla daha uzun olabileceğinden dolayı daha düşük frekanslarda ve daha yüksek sıcaklıklarda polarlanma gözlenebilecektir. %10 ve %20 kauçuk katkıların varlığında ikinci bir polarizasyon bölgesi yerine büyük zincir polarizasyonunun formu gözlenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Rossi, C. O., Spadafora, A., Teltayev, B., Izmailova, G., Amerbayev, Y., Bortolotti, V. 2015, *Polymer modified bitumen: Rheological properties and structural characterization*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 480, 390-397.
- [2]. Çubuk M., 2007, *Katkı maddeleri ile bitümün reolojik özelliklerinin geliştirilmesi ve esnek kaplama malzeme oluşumunda problemlerin giderilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3]. Redelius, P. G., 2000, *Solubility parameters and bitumen*, Fuel, 79(1), 27-35.
- [4]. Chen, F., Taylor, N., Kringos, N., Birgisson, B., 2015, *A study on dielectric response of bitumen in the low-frequency range*. Road Materials and Pavement Design, 16(sup1), 153-169.
- [5]. Lu, X., Sjövall, P., Soenen, H., 2017, *Structural and chemical analysis of bitumen using time-of-flight secondary ion mass spectrometry*, (TOF-SIMS). Fuel, 199, 206-218.
- [6]. Lyne, Å. L., Krivosheeva, O., Birgisson, B., 2013, *Adhesion between bitumen and aggregate: implementation of spectroscopic ellipsometry characterisation and estimation of Hamaker's constant*, Materials and structures, 46(10), 1737-1745.
- [7]. Zhu, J., Balieu, R., Lu, X., Kringos, N., 2017, *Numerical investigation on phase separation in polymer-modified bitumen: effect of thermal condition*, Journal of Materials Science, 52(11), 6525-6541.
- [8]. Mouillet, V., Lamontagne, J., Durrieu, F., Planche, J. P., Lapalu, L., 2008, *Infrared microscopy investigation of oxidation and phase evolution in bitumen modified with polymers*, Fuel, 87(7), 1270-1280.
- [9]. Zhao, X., Wang, S., Wang, Q., & Yao, H., 2016, *Rheological and structural evolution of SBS modified asphalts under natural weathering*, Fuel, 184, 242-247.
- [10]. Polacco, G., Berlincioni, S., Biondi, D., Stastna, J., Zanzotto, L., 2005, *Asphalt modification with different polyethylene-based polymers*, European Polymer Journal, 41(12), 2831-2844.
- [11]. Cubuk, M., Gürü, M., Çubuk, M. K., 2009, *Improvement of bitumen performance with epoxy resin*, Fuel, 88(7), 1324-1328.
- [12]. Haggam, R. A., Ibrahim, I. M., Abdelatif, M. E. S., Abd El Latief, M., & El-Kholy, S. A., 2014, *Improvement of asphalt properties using polymethyl methacrylate*, Open Journal of Organic Polymer Materials, 4(2), 43.
- [13]. Mousavi, S. M., Hashemi, S. A., Babapoor, A., Medi, B., 2018, *Enhancement of Rheological and Mechanical Properties of Bitumen by Polythiophene Doped with Nano Fe₃O₄*, JOM, 1-10.

- [14]. Yu, J., Wang, L., Zeng, X., Wu, S., Li, B., 2007, *Effect of montmorillonite on properties of styrene-butadiene-styrene copolymer modified bitumen*, Polymer Engineering Science, 47(9), 1289-1295.
- [15]. Geckil, T., Ahmedzade, P., Alatas, T., 2018, *Effect of carbon black on the high and low temperature properties of bitumen*, International Journal of Civil Engineering, 16(2), 207-218.
- [16]. Lu, X., Langton, M., Olofsson, P., Redelius, P., 2005, *Wax morphology in bitumen*, Journal of Materials science, 40(8), 1893-1900.
- [17]. Gonzalez, O., Munoz, M. E., Santamaria, A., Garcia-Morales, M., Navarro, F. J., Partal, P., 2004, *Rheology and stability of bitumen/EVA blends*, European Polymer Journal, 40(10), 2365-2372.
- [18]. Roman, C., García-Morales, M., 2018, *Comparative assessment of the effect of micro-and nano-fillers on the microstructure and linear viscoelasticity of polyethylene-bitumen mastics*, Construction and Building Materials, 169, 83-92.
- [19]. Yildirim, Y., 2007, *Polymer modified asphalt binders*, Construction and Building Materials, 21(1), 66-72.
- [20]. Das, P. K., Kringos, N., Wallqvist, V., Birgisson, B., 2013, *Micromechanical investigation of phase separation in bitumen by combining atomic force microscopy with differential scanning calorimetry results*, Road Materials and Pavement Design, 14(sup1), 25-37.
- [21]. Sowa, J. M., Sheng, P., Zhou, M. Y., Chen, T., Serres, A. J., Sieben, M. C., 1995, *Electrical properties of bitumen emulsions*, Fuel, 74(8), 1176-1179.
- [22]. Chow, R. S., Tse, D. L., Takamura, K., 2004, *The conductivity and dielectric behavior of solutions of bitumen in toluene*, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 82(4), 840-845.
- [23]. Lyne, Å. L., Taylor, N., Jaeverberg, N., Edin, H., Birgisson, B., 2016, *Low frequency dielectric spectroscopy of bitumen binders as an indicator of adhesion potential to quartz aggregates using Portland cement*, Materials and Structures, 49(4), 1327-1336.
- [24]. Rodríguez-Valverde, M. A., Cabrerizo-Vilchez, M. A., Paez-Duenas, A., Hidalgo-Alvarez, R., 2003, *Stability of highly charged particles: bitumen-in-water dispersions*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 222(1-3), 233-251.
- [25]. Keller, Frederick, J., Gettys, W. Edward, Skove, Malcolm, J., 2002, *Fizik*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 975-7860-54-9.
- [26]. Çeviri Editörü: Kemal, Ç., 1996, Serway, Beichner, *Fen ve Mühendislik için Fizik2*, Palme Yayıncılık, Ankara, 975-7477-18-4.
- [27]. Hugh, D., Roger, A., 2008, *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics*, Pearson Education, 978-0-321-50130-1.

- [28]. Von, H., 1954, *Dielectrics and Waves*, New York, 54-11020.
- [29]. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., 2008, *Fundamental Physics*, New York.
- [30]. Frohlich, H., 1958, *Theory of Dielectric 2*, ClarendonPress, Oxford.
- [31]. Yakut, S., Ulutas, K., & Değer, D., 2018, *Plasma discharge power dependent AC conductivity of plasma poly (ethylene oxide) thin films*. *Thin Solid Films*, 645, 269-277.
- [32]. Elliot, R.S., 1999, *Electromagnetics: History, Theory and Applications*, Wiley Press.
- [33]. Bonin, Keith D., Vitaly V., 1997, *Electric-Dipole Polarizabilities of Atoms, Molecules and Clusters Book Description*, World Scientific Publishing Company.
- [34]. Bozoğlu D., 2014, *Aerojel Katkılı Polimer Kompozitlerin Hazırlanışı Karakterizasyon ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [35]. Thomas, P., Satapathy, S., Dwarakanath, K., Varma, K. B. R., 2013, *Dielectric properties of poly vinylidene fluoride/CaCu₃Ti₄O₁₂ nanocrystal composite thick films*, arXiv preprint arXiv:1301.4056.
- [36]. Sahin, Y., 2011, *İyonik Tuz İçeren Polimer Elektrolitlerde İyonik İletkenlik Davranışı*, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [37]. Değer, D., Ulutas, K., 2003, *Conduction and dielectric polarization in Se thin films*, *Vacuum*, 72(3), 307-312.
- [38]. Sannakki, B., 2013, *Dielectric Properties of PMMA and its Composites with ZrO₂*, *Physics Procedia*, 49, 15-26.
- [39]. Ulutas, K., *Thickness Dependent Dielectric Loss of Plasma Poly (Ethylene Oxide) Films*. *Cumhuriyet Science Journal*, 39(2), 366-374.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Tuğçe KARA
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	29.11.1989
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	tuceekara@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik
Mezuniyet Yılı	08.02.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Genel Fizik

Makale ve Bildiriler
Kara, T., Ulutaş, H. K., Yardım, M. S., Değer, B., Yakut, Ş., Değer, D., <i>Dielectric Properties of Asphalt Materials</i> , Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress, 6-9 September 2016, 95.
Kara, T., Değer ,B., Yardım, M. S., Ulutaş, H. K., Değer, D., Yakut, Ş., Bozoğlu, D., Demirtaş, Ç., <i>Dielectric Properties of bitumen materials</i> , 9th International Physics Conference of Balkan Physical Union, 24-27 August 2015.