

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞÜK KAYIP FAKTÖRLÜ STEATİT
SERAMİĞİNİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNE
B₂O₃ KATKISININ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEHRA ERDEM

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdoğan ŞENTÜRK

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

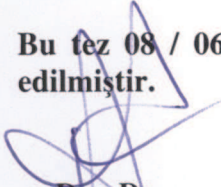
**DÜŞÜK KAYIP FAKTÖRLÜ STEATİT
SERAMİĞİNİN DIELEKTRİK ÖZELLİKLERİNE
B₂O₃ KATKISININ ETKİSİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

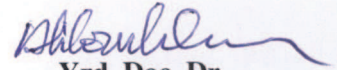
ZEHRA ERDEM

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Bu tez 08 / 06 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Ahmet TUTAR
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr.
Erdoğan ŞENTÜRK
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Ali ÇORUH
Üye

TEŞEKKÜR

Öğrenimim ve tez çalışmam süresince bilgisini, tecrübesini, ilgi ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen ve her konuda bana yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Erdoğan ŞENTÜRK'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca deneysel malzemeyi bize sağlayan Dr. Ziya ASLANOĞLU ve Dr. Hüseyin SOYKAN'a deneylerin yapılmasında yardımlarını aldığımız Araş. Gör. Mustafa OKUTAN'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında benden maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz saygı, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Zehra ERDEM

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Bor ve Özellikleri.....	3
2.2. Bor Oksit ve Özellikleri.....	5
2.3. Talk.....	6
BÖLÜM 3.	
TEORİK TEMELLER.....	7
3.1. Dielektrik Spektroskopiye Bakış.....	7
3.2. Polarizasyon Mekanizmaları.....	9
3.2.1. Elektronik polarizasyon.....	10
3.2.2. İyonik polarizasyon.....	12
3.2.3. Dipolar polarizasyon.....	14
3.3. Dielektrik Spektroskopinin Temelleri.....	16

BÖLÜM 4.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	22
4.1. Numunenin Hazırlanması ve Deney Basamakları.....	22
4.2. B ₂ O ₃ Katkılı Seramiğin Reel Kısım Ölçümler.....	23
4.3. B ₂ O ₃ Katkılı Seramiğin Kayıp Faktörü Ölçümleri.....	27
4.4. B ₂ O ₃ Katkılı Seramiğin İletkenlik Ölçümleri.....	30
4.5. B ₂ O ₃ Katkılı Seramiğin Sıfır Potansiyeldeki Elektriksel Ölçümleri	33

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	43

SİMGELER LİSTESİ

A	: Elektrot alanı
AC	: Alternatif akım
B	: Bor elementi
C	: Kapasitans
C_c	: Malzemenin kapasitansı
d	: Elektrotlar arası mesafe
f	: Frekans
H	: Hamiltoniyen
I_r	: Sızıntı akımı
I_c	: Kapasitif akım
M	: Modül fonksiyonu
N	: Birim hacimdeki molekül sayısı
\bar{P}	: Polarizasyon
P_i	: Maddenin parçacıklarının temel elektriksel dipol momentleri
s	: Üstel iletkenlik parametresi
T	: Sıcaklık
U, V	: Potansiyel
V_i	: İyon çiftine karşılık gelen hacim
Y	: Admittans fonksiyonu
Z'	: Empedansın reel kısmı
Z''	: Empedansın imajiner kısmı
ϵ	: Dielektrik sabitin yüksek frekans değeri
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ'	: Dielektrik sabitin reel kısmı
ϵ''	: Dielektrik sabitin imajiner kısmı
$\tan\delta$: Kayıp faktörü
μ	: Manyetik geçirgenlik

σ	: İletkenlik
σ_0	: DC iletkenlik
γ	: Sönüm katsayısı
Al_2O_3	: Alüminyum oksit
$BaCO_3$: Baryum karbonat
HCl	: Hidrojen klorür
H_2S	: Hidrojen sülfür
MgO	: Magnezyum oksit
$MgSiO_3$: Magnezyum silikat
Na_2O	: Sodyum oksit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bor'un kristal yapısı.....	4
Şekil 2.2.	Sıvı ve camsı Bor Oksit'in yapısal modelleri.....	5
Şekil 3.1.	Elektronik Polarizasyon.....	12
Şekil 3.2.	İki Atomlu Kristal Yapı.....	14
Şekil 3.3.	Z empedansının dik polar koordinatlar kullanılarak gösterimi.....	18
Şekil 3.4.	Metal-Elektrot sisteminin ölçümleri ve karakterizasyonunda takip edilen yol.....	21
Şekil 4.1.	0 serisinin dielektrik sabitinin reel kısmının farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	25
Şekil 4.2.	5 serisinin dielektrik sabitinin reel kısmının farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	26
Şekil 4.3.	10 serisinin dielektrik sabitinin reel kısmının farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	26
Şekil 4.4.	20 serisinin dielektrik sabitinin reel kısmının farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	27
Şekil 4.5.	0 serisinin kayıp faktörünün farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	28
Şekil 4.6.	5 serisinin kayıp faktörünün farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	29
Şekil 4.7.	10 serisinin kayıp faktörünün farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	29
Şekil 4.8.	20 serisinin kayıp faktörünün farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	30
Şekil 4.9.	0 serisinin iletkenliğinin farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	31

Şekil 4.10.	5 serisinin iletkenliğinin farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	31
Şekil 4.11.	10 serisinin iletkenliğinin farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	32
Şekil 4.12.	20 serisinin iletkenliğinin farklı potansiyeller altında frekansla değişimi.....	32
Şekil 4.13.	Sıfır potansiyel altında tüm serilerin dielektrik sabitinin reel kısmının frekansla değişimi.....	33
Şekil 4.14.	Sıfır potansiyel altında tüm serilerin kayıp faktörünün frekansla değişimi.....	34
Şekil 4.15.	Sıfır potansiyel altında tüm serilerin iletkenliğinin frekansla değişimi.....	35
Şekil 4.16.	Sıfır potansiyelde 0 serisinin iletkenliğinin deneysel verileri ile teorik ifadenin fit grafiği.....	36
Şekil 4.17.	Sıfır potansiyelde 5 serisinin iletkenliğinin deneysel verileri ile teorik ifadenin fit grafiği.....	36
Şekil 4.18.	Sıfır potansiyelde 10 serisinin iletkenliğinin deneysel verileri ile teorik ifadenin fit grafiği.....	37
Şekil 4.19.	Sıfır potansiyelde 20 serisinin iletkenliğinin deneysel verileri ile teorik ifadenin fit grafiği.....	37
Şekil 4.20.	B ₂ O ₃ katkısına göre fiziksel parametlerin değişimi.....	38

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Dört temel imitans fonksiyonu arasındaki bağıntılar.....	20
Tablo 4.1. Deney sonuçlarının teorik ifadeye fit edilmesi ve elde edilen değerler tablosu.....	38

ÖZET

Anahtar kelimeler: Bor oksit, dielektrik sabit, kayıp faktörü, iletkenlik

Bu çalışma, düşük kayıp faktörlü steatit seramiğe farklı miktarlarda B₂O₃ (bor oksit) katkılanması ile elde edilen numunelerin elektriksel özelliklerini incelenmesini kapsamaktadır.

B₂O₃ katkılanmış steatit seramiğinin dielektrik sabitinin reel ve imajiner kısımlarının ve iletkenliğinin frekansa ve uygulanan bir dış alana bağılılığı incelenmiştir. Ölçümler 0-20V potansiyel aralığında ve 100 Hz-40 MHz frekans aralığında dielektrik spektroskopisi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, dış alan yok iken numunelerin elektriksel özellikleri incelenmiştir.

Son olarak, dış alan etkisi yok iken numunelerin iletkenliği ile ilgili deneysel verileri teorik formülasyonlara fit edilmiş ve bu fit işlemleri sonucunda DC iletkenlik (σ_0), sabit değer (A) ve üstel iletkenlik parametresi (s) değerleri hesaplanmıştır.

THE EFFECT OF B₂O₃ ADDING ON THE DIELEKTRIC PROPERTIES OF THE STEATITE CERAMIC HAVING THE LOSS FACTOR

SUMMARY

Keywords: Boron oxide, dielectric constant, loss factor, conductivity

This study covers the research on applications of different amounts of B₂O₃ on steatite ceramic with low loss factor and examination of electrical features of acquired samples.

Real and imaginary parts dielectric constant of steatite ceramic dopped with, and conductivity according to frequency and dependence to an applied external voltage have been researched. Measurements were carried out between 0-20 V potential gap and 100 Hz – 40 Hz frequency range and using dielectric spectroscopy method. Furthermore, electrical features of the samples were checked without an external voltage.

Finally, experimental data of conductivity of the samples taken when there is no external voltage effect has been adapted to the orctical formulation. After adaptation process DC conductivity (σ_0), fixed value (A) and exponential conductivity parameter (s) values have been calculated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Seramik, insanların kullandığı en eski malzemelerden biridir. Tarih boyunca, özellikle kap-kacak yapımında seramiğin üstün niteliğinden yararlanılmıştır. Hammadde bolluğu, kolay işlenebilme, basit imalat, nispeten düşük maliyet, kullanma rahatlığı vb. nedenler ile sertliği, sıcaklığa dayanıklılığı kullanım alanlarını önemli kılmaktadır [1].

Seramikler, metal ve metal olmayan elementlerin birbirine birinci derece iyonik, kovalent ve/ya da ortaklaşım bağıyla bağlandığı inorganik, metal dışı malzemelerdir. Kimyasal bileşimi, basit bileşiklerden karmaşık fazlara kadar geniş bir aralıkta değişir. Bileşimlerinde doğada bol olarak bulunan metal oksitler, silikatlar, karbürler, nitrürler, borürler, camlar vb. bulunur. Bu nedenle kristal yapıları çok karmaşıktır. Amorf yapıda ya da amorf/kristalin karma yapılarında ortaya çıkabilirler [1].

Malzeme özellikleri bağ yapıları ile ilgilidir. Genel olarak, düşük tokluk ve süneklikte, sert ve kırılındırlar. İletim elektronları içermediğinden, elektrik ve ısıyı iyi yalıtırlar. Atomik bağ yapıları nedeniyle kimyasal olarak kararlıdırlar ve erime sıcaklıkları yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle kullanımları birçok halde vazgeçilmez olur [1].

Seramik ürünler; geleneksel seramikler ve ileri teknolojik seramikler olarak iki temel gruba ayrılmaktadır [2].

Geleneksel seramikler; cam, çimento, porselen, seramik sağlık gereçleri, fayans, tuğla-kiremit, çanak, çömlek, çini gibi seramiklerden oluşmaktadır. Geleneksel seramikler yapılış amacına göre kaba, ince ve teknik seramikler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Esas kütlesi renkli olan seramiklere kaba seramik denir. İnşaat tuğlaları, kiremit drenaj boruları, ateş tuğlaları, çömlekçilik ürünleri bu gruba girer.

Genellikle kütlesi beyaz olan ürünlere ise ince seramik denir. Fayans, karo seramik, porselen eşya, seramik sağlık gereçleri, elektroporselen ve çinicilik bu gruba girmektedir. Kütlesi renkli veya beyaz olabilen daha çok teknikte kullanılmak üzere geliştirilmiş ürünler steatit, kordiyerit vb. malzemeler teknik seramiklerdir [2].

İleri teknoloji seramikleri; tek kristaller, sentetik kristaller, ferroelektrikler, saf oksitler ve nükleer malzemeler (UO₂) bu gruptadır [2].

Ayrıca bu çalışmada kullanılan Bor, doğada serbest olarak bulunmayan bir elementtir. Bor elementi, doğada değişik oranlarda bor oksit (B₂O₃) ile 200'den fazla mineralin yapısı içinde yer almaktadır.

Bu çalışma, seramik endüstrisinin birçok diğer endüstrinin temelinde yer alması ve ülkemizde çok miktarda bor rezervi bulunması nedeniyle düşük kayıp faktörlü steatit seramiğine B₂O₃ katkılanmasıyla malzemenin elektriksel özelliklerinin uygulanan bir dış alan altında nasıl değiştiğini incelemek ve analiz etmek üzerine kurulmuştur.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

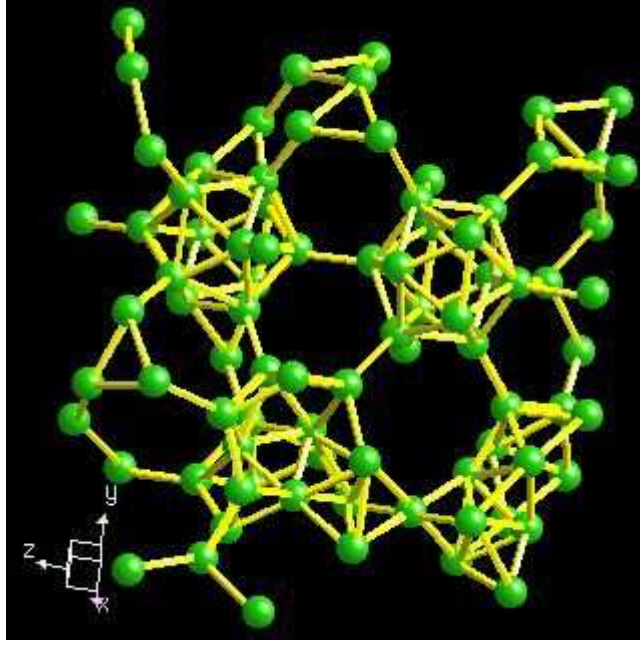
2.1. Bor ve Özellikleri

Bor, metal olmayan elementler sınıfında, sembolü B olan bir kimyasal elementtir. Bor ilk defa 1808 yılında Gay-Lussac, Louis Jacques Thenard ve Sir Davy tarafından bor oksidin potasyum ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir. Daha saf bor, ancak bromit veya klorit formalarının tantalum flamenti vasıtasıyla hidrojen ile reaksiyona sokulmasıyla elde edilmektedir. Bor ismi borun tuzu olan borakstan türetilmiştir.

Bor Elementinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Atom Ağırlığı	:	10.811 ± 0.005 g/mol
Kaynama Noktası	:	2500 °C
Yoğunluğu	:	2.34 g/mol
Oksidasyon sayısı	:	3
Elektronegatifliği	:	2.0
İyonlaşma Enerjisi	:	191 k cal/g atom
Sertliği	:	9.3 Mohs
Atom Yarıçapı	:	0.98
Fusion Isısı	:	5.3 k cal/g atom
Buharlaşma Isısı	:	128 k cal/g atom
Kristal Yapısı	:	Hexagonal

Bor'un erime noktası belirsizdir, fakat en iyi tahmini erime noktası 2200 °C dir.



Şekil 2.1. Bor'un kristal yapısı

Kristal bor, önemli ölçüde hafiftir, serttir, çizilmeye karşı dayanıklıdır ve ısıya karşı kararlıdır. Bor kırmızı ötesi ışığın bazı dalga boylarına karşı saydamdır ve oda sıcaklığında zayıf elektrik iletkenliğine sahiptir. Yüksek sıcaklıkta iyi bir iletkenidir. Bor hidroklorik ve hidroflorik asitlerle kaynatıldığında bozulmaz. Sadece çok ince öğütülmüş bor, konsantre nitrat asidi ile yavaş oksitlenir.

Bor'u saf olarak elde etmek zordur. % 95-98 safsızlıkta bor, borik asidin magnezyum ile indirgenmesinden amorf halde elde edilir ve safsızlığı baz ve asit ile yıkanarak filtre edilir. Elde edilen bor, oksit ve bor bulunduran bileşikleri ihtiva eder ve küçük kristaller halinde koyu kahve renklidir. Bor, tungsten yüzeyinde bor oksidin hidrolizi ile elde edilir.

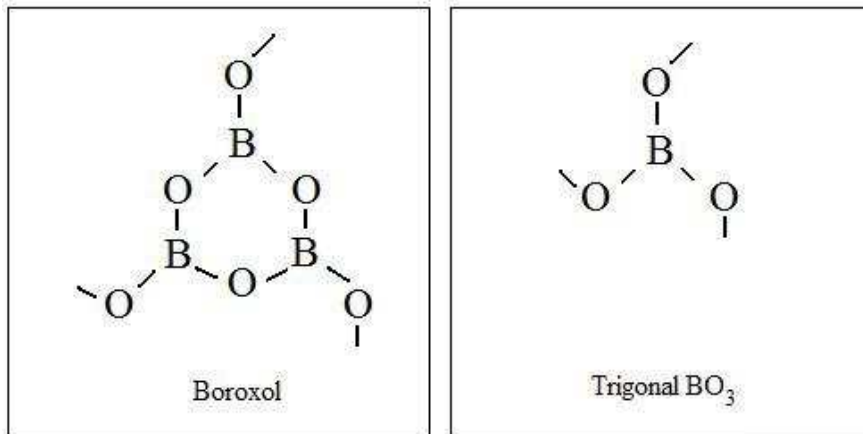
Doğada yaklaşık 230 çeşit doğal bor minerali bulunmasına rağmen ekonomik değer sağlayanları; tinkal, kolemanit, üleksit, probertit, borasit, pandemit, szyabelit, hidroborasit ve kernit'tir [3].

Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanıldığı sanayi dalları ile kullanım alanlarını, cam sanayi, seramik sanayi, temizleme ve beyazlatma sanayi, yanmayı önleyici

(geciktirici) maddeler, ilaç ve kimya sanayii, tarım, metalurji, enerji depolama, arabalarda (hava yastıkları, hidrolik fren vb), atık sulardan ağır metallerin temizleme işlemleri, pigment ve kurutucu olarak, nükleer uygulamalar ve diğer kullanım alanları şeklinde sıralamak mümkündür [3].

2.2. Bor Oksit ve Özellikleri

Bor oksit (B_2O_3) iki kristal formda bulunur. Camsı form renksiz, sert, kaba cam benzer bir katıdır. Genellikle borik asidin dehidrasyonu ile oluşur. B_2O_3 'ün yaygın kristal seklihekzagonal veya alfa-formudur. Uygun basınçta ve 200-250 °C kristalize olur. Daha az görülen monoklinik beta-formu ise 4000 MPa da ve 600 °C kristalleşir. Tarih boyunca sıvı ve camsı B_2O_3 'ün moleküller yapılarında bir tartışma mevcuttur. Yapının üçgensel BO_3 ve boroksol halkalarının gelişi güzel dağılması ile oluştuğuna inanılır [4].



Şekil 2.2. Sıvı ve camsı Bor Oksit'in yapısal modelleri

Ergimiş B_2O_3 1000 °C 'yi aştığında birçok metal ve alaşım için koroziftir. Bu, B_2O_3 'ün ergime sıcaklığını azaltma özelliğindedir ve Bor elementin metal yüzeyini temiz ve oksijen saldırılarına karşı hassas yapmasından dolayıdır. B_2O_3 'ün yüksek sıcaklıklarda Mg, Al ve alkali metallerle indirgenmesi $B_{12}O_3$ gibi su boksit oluşturur [4].

Yüksek saflıkta B_2O_3 (% 99) rafine Borik Asit'in eritilmesi ile oluşturulur. Borik oksit aynı zamanda amonyum pentaboratin ($NH_4B_5O_8 \cdot 4H_2O$) termal bozunması (500-900 °C) ile de oluşur [4].

2.3. Talk

Talk, doğada bulunan en yumuşak minerallerden biri olup, teorik formülü $3 MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ dur. İdeal bileşiminde % 63.5 SiO_2 , % 31.7 MgO ve % 4.8 H_2O ihtiva eder. Beyaz, yeşilimsi, gri renklerde bulunabilir. kaygan, masif görümlü ve yumuşaktır. Sertliği Mohs cetveline göre 1 - 1.5 arasında değişir. Yoğunluğu 2.6 - 2.8 gr/cm^3 arasındadır. Kristal şekli monoklinikdir. Talkın ısı ve elektrik iletkenliği zayıftır fakat ateşe dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında sertleşir, katılaşır. Asitlerle bozulmaz. Steatit, yüksek saflıkta masif talklar için kullanılan bir terimdir. [5,6].

Talk ince kesitte renksizdir. Kayaçlarda öz şekilli kristallerine hiçbir zaman rastlanmaz. Atmosferik koşullar altında oldukça duyarlıdır [7,8,9].

Talk, seramikte, boya yapımında, çatı kaplamada, haşarat ilacı üretiminde, kauçuk ve kağıt sanayinde, kozmetik ve farmakolojide, asfalt dolgu maddesi yapımında, hayvan yemi ve gübre üretiminde kullanılır. Talkın kullanım alanları, rengine, saflığına ve diğer yapısal özelliklerine göre çok farklılık göstermektedir. Seramik sektöründe talk ısı ve genleşme özelliğinin çok az olması nedeniyle banyo ve mutfak seramiklerinde ve elektrik sobalarının plakalarında kullanılması sağlanmıştır. Seramik sanayinde kullanılacak talkta fiziksel ve kimyasal yapı bakımından homojenlik istenir. Ayrıca, tane iriliği ve dağılımı ile pişirme rengi de önemlidir. Bileşiminde manganez ve demir istenmeyen impuriterlerdir. CaO % 0.5, FeO % 1.5 ve Al_2O_3 % 4'ten fazla olmamalıdır. Elektroseramik ve sırlamada kullanılan talk saf magnezyum silikattır. [5,6].

BÖLÜM 3. TEORİK TEMELLER

3.1. Dielektrik Spektroskopiye Bakış

Numuneye, dışarıdan bir elektrik alan uygulandığı zaman enerji depolama yeteneğine sahipse “dielektrik” olarak sınıflandırılır. Dielektrik sabit, bir alanın etkisi altında dış elektrik bölgede ne kadar enerji depolandığını ve malzeme içerisinde ne kadar enerji kaybolduğunu gösterir. Numunenin dielektrik sabiti, iki elektrik yük arasındaki elektrostatik kuvveti azaltan bir miktardır [10,11].

Bir yalıtkanın dielektrik sabiti, frekansa (f), sıcaklığa (T) ve voltaja (V) bağlı olarak değişmektedir [12].

$$\varepsilon = \varepsilon(f,T,V) \quad (3.1)$$

Yalıtkanların kapasitesini belirleyen unsurlardan biri tanesi dielektrik sabit, diğer bir tanesi ise kayıp faktörüdür. İdeal bir yalıtkanında kayıp faktörü sıfırdır fakat ideal bir yalıtkanın olması mümkün olmadığı için yalıtkanlarda bir sızıntı akımı (I_r) geçmektedir. Bu sızıntı akımı yüksek frekans ve voltajda ısı bir kaynak gibi davranmaktadır. Bu durum, işletim sürecinde istenmeyen bir durum olması nedeniyle işletimde kullanılacak yalıtkan malzeme seçilirken kayıp faktörünün mümkün olduğu kadar küçük olması istenmektedir.

Kayıp faktörü $\tan\delta$ ile gösterilir ve aşağıda belirtildiği gibi sızıntı akımının (I_r), kapasitif akıma (I_c) oranı olarak formüle edilmektedir.

$$\tan\delta = \frac{I_r}{I_c} \quad (3.2)$$

Burada kapasitif akım frekansa bağılı olarak değişmektedir. Dielektrik kaybı ise,

$$W_d = 2\pi f C U^2 \tan \delta \quad (3.3)$$

şeklinde [12].

Burada; f frekans (Hz), C kapasitans (F) ve U uygulanan gerilimi (V) göstermektedir. Literatürde yalıtkanların dielektrik özelliklerini inceleyen çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalarda dielektrik verilerinin analizi, Monte Carlo ve Havrillia-Negami modelleri gibi yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Bununla birlikte dielektrik özelliklerinin çeşitli işletme koşulları altında değişimleri halen araştırma konusudur. Bu çalışmalar, farklı yalıtkan malzemeler için değişik koşullar altında yapıldığı için karşılaştırılabilir bir değerlendirme yapmak oldukça güçtür. Ancak yapılan bu ölçümlerin geçerliliğini sağlamak üzere standartlar geliştirilmiştir. Standartlara uygun ölçüm yapmak gelişmiş cihazlar gerektirmekte ve oldukça zaman almaktadır. Kullanılan dielektrik malzemenin işletmede maruz kalabileceği çeşitli koşulların laboratuvar ortamında sağlanması ve dielektrik özelliklerinin ölçülmesi de her zaman mümkün olmayabilir [12].

Ortamları belirleyen özellikler manyetik geçirgenlik (μ), elektriksel geçirgenlik (ϵ) ve iletkenlik (σ) şeklinde sıralanabilir. Yüksek frekanslarda malzemelerin magnetik özellikleri serbest uzaydan çok az farklılık gösterirler. Diğer yandan elektriksel özelliklerin, çalışılan frekans aralığına göre çok geniş bir değişim alanı vardır [10].

Dielektrik malzemeler elektriği iletmezler, ancak uygulanan elektrik alandan etkilenirler. Elektrik alan etkisinde, elektron ve atomlar yer değiştirir. Bunun sonucunda elektrik yük merkezleri kayar ve elektriksel kutuplanma oluşur. Oluşan elektriksel dipoller, dielektrik malzeme yüzeyinde elektriksel yük birikimi sağlar. Bunun için kondansatör yapımında kullanılırlar. Yalıtkan olarak kullanılmalarının nedeni, elektrik devresinde yük transferini engellemeleridir [10,13].

Polarizasyon, elektrik izolasyon malzemelerinin bir özelliğidir ve onların yapısından kaynaklanır. Bir malzemede, polarizasyon olayının derecesini, dielektrik sabiti

göstermektedir. Polarizasyon derecesi, malzemede oluşan ve dış elektrik alanın etkisi ile yönlenen dipollerin yoğunluğuna ve büyüklüğüne bağlıdır [10].

Her polarizasyon etkisi, rezonans frekansı veya relaksasyon frekansı karakteristiğine sahiptir. Rezonans etkisi, genelde elektronik veya atomik polarizasyonda görülmektedir. Dielektrik relaksasyon, moleküllerin iç yapılarına ve dielektriğin moleküllerinin yapısına veya moleküler düzenine bağlı olarak yönelme polarizasyonu ile ilişkilidir. Relaksasyon zamanı, dielektrik bulunan moleküllerin hareketinin ölçüsüdür [10,14].

Relaksasyon zamanı, elektrik alanın bir periyot içinde değişim yapması sonucunda, o periyot içinde dipolün yönelme yapması için geçen süre olarak da tanımlanabilir. Relaksasyon frekansı, malzemenin rezonans frekansına karşılık gelir. Elektrik alanın frekansı, relaksasyon frekansından küçük olduğu zaman kutuplanma kolaylıkla oluşur ve elektrik alanı izler. Bu durumda dielektrik kayıplar, ihmal edilecek kadar azdır. Frekans artarak relaksasyon bölgesine ulaşıncaya, kutuplanma alana uymakta zorlanır ve faz farkı artar. Bu durumda kayıplarda maksimum olur. Frekans artmaya devam ederse, kutuplanma oluşmaz ve dielektrik sabiti hızla azalır. Kutuplanma oluşmadığı anda ise, dielektrik kayıp olmayacaktır [10,14,15].

Şimdi bu polarizasyon mekanizmalarını inceleyelim.

3.2. Polarizasyon Mekanizmaları

Yeterince düşük sıcaklıklarda ve zayıf alanlarda, metal olmayan katılar yalıtkan veya dielektrik özellik gösterirler. Burada sözü edilen zayıf alan, katının en düşük elektriksel karşı koyma gücüne göre zayıf kabul edilebilecek alandır. Bu tür katılar bir elektriksel alana maruz kaldıklarında, bir akım oluşmaz ancak, elektriksel alan, atomik ve elektriksel yapıları ile elektriksel durumlarında bir takım değişikliklere sebep olur. Bu değişiklikler elektriksel polarizasyon olarak tanımlanır. Polarizasyon \vec{P} , birim hacimdeki elektriksel dipol momentlerin toplamı olarak ifade edilir;

$$\bar{P} = \sum p_i \quad (3.4)$$

burada p_i , maddenin parçacıklarının temel elektriksel dipol momentleridir [16].

Kutuplanabilirliği üç kısma ayırmak mümkündür. Bunlar elektronik, iyonik ve dipolar kutuplanabilirliklerdir. Elektronik bileşen, elektron kabuğunun çekirdeğe göre yer değiştirmesinden oluşur. İyonik katkının sebebi, yüklü iyonun diğer iyonlara göre hareketidir. Dipolar kutuplanabilirlik ise, kalıcı elektriksel dipol momente sahip olan moleküllerin, uygulanan bir elektriksel alan ile dönmelerinden oluşur [16].

Bir malzemenin dielektrik sabitine en genel manada olmak üzere polikristal malzemeler için ilave edilen bileşenle beraber dört bileşin katkı verir [17].

$$\alpha = \alpha^e + \alpha^i + \alpha^d + \alpha^f \quad (3.5)$$

Birinci terim elektronik polarize olabilirliği ifade eder. Bu terim bir dış elektrik alan uygulandığında bir atom veya iyonun negatif yük merkezinin pozitif yük merkezine göre yer değiştirmesinden dolayı ortaya çıkan polarize olabilirlik şeklinde tanımlanır. İkinci terim iyonik polarize olabilirliktir. Titreşimsel polarizasyon veya yer değiştirme polarizasyonu olarak da bilinir. Bir dış elektrik alan altında denge konumunda iyonların yer değiştirmesinden kaynaklanır. Dipolar polarizasyon olarak da bilinen üçüncü terim kalıcı bir dipol momente sahip moleküllerden meydana gelmiş dielektriklerde görülür. Son terim ise serbest yüklere sahip polikristal malzemelerin karakteristiğidir. Bir dış elektrik alanda, polarizasyon kristal yüzeylerinde serbest yük toplanmasından dolayı meydana gelir [17].

3.2.1. Elektronik polarizasyon

Düzgün bir dış elektrik alan altında bir atomun negatif yük merkezi x kadar kayar. Böylece dipol moment $p=qx$ olur. Burada $q=-e$ dir.

Yükün hareket denklemi

$$m\ddot{x} + 2\pi m\gamma\dot{x} + kx = -eE \quad (3.6)$$

şeklindedir.

Burada k elastik sabittir ve γ sönüm katsayısıdır [17].

Periyodik bir AC elektrik alanında bulutun yer değiştirmesi de periyodik olur.

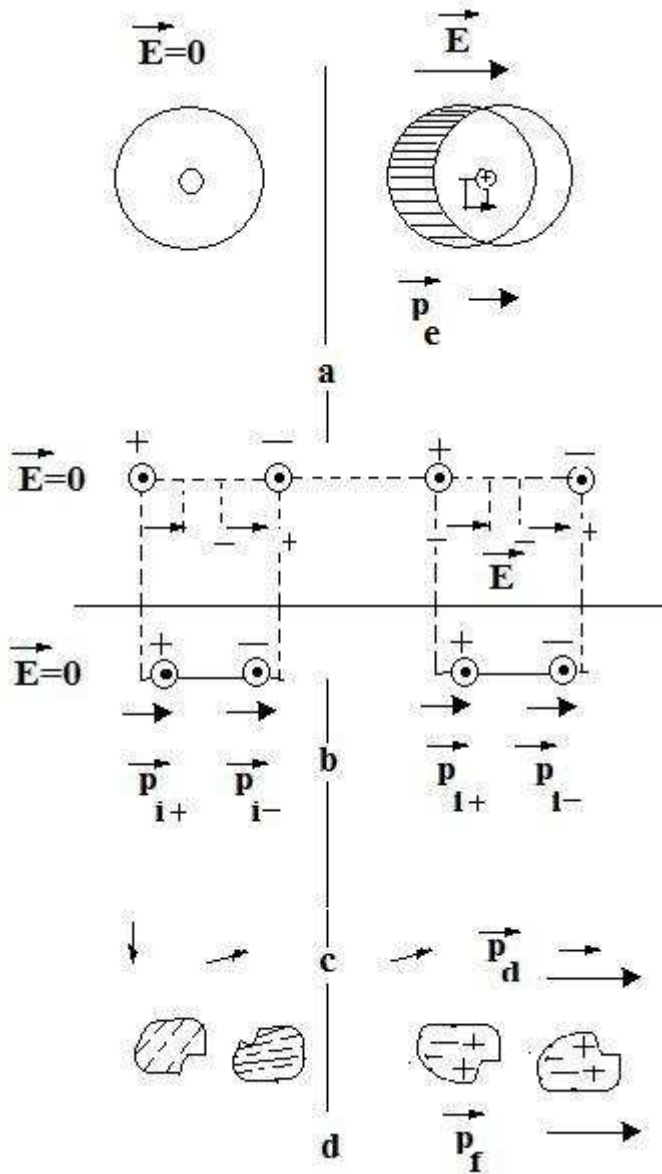
$$x = -\frac{eE_0 \exp(i\omega t)}{4\pi^2 m \left[(v_0^2 - v^2 + i\gamma v) \right]} \quad (3.7)$$

Böylece kompleks polarize olabilirlik

$$\alpha_c = \frac{Ne^2}{4\pi^2 m \left[(v_0^2 - v^2) + i\gamma v \right]} \quad (3.8)$$

olur.

Burada N osilatörlerin konsantrasyonudur [17].



Şekil 3.1. Elektronik polarizasyon

3.2.2. İyonik polarizasyon

Bir dış elektrik alanda monovalent iyon çiftleri için sodyum klorür veya sezyum klorür gibi monovalent iyon çiftlerinin hareket denklemi,

$$M_1 \ddot{u}_1 = f(\bar{u}_2 - \bar{u}_1) - e\bar{E}, \quad M_2 \ddot{u}_2 = f(\bar{u}_1 - \bar{u}_2) + e\bar{E}. \quad (3.9)$$

şeklinde verilir.

Burada,

$$\vec{u} = \vec{u}_2 - \vec{u}_1, \quad \mu_c = M_1 M_2 / (M_1 + M_2) \quad (3.10)$$

şeklinde kısaltmalar yapılırsa

$$\ddot{\vec{u}} + \omega_0^2 \vec{u} = e\vec{E}/\mu_c, \quad \text{cu} \quad \omega_0^2 = f/\mu_c \quad (3.11)$$

elde edilir.

Böyle bir sistem için polarizasyon vektörü,

$$\vec{P} = e\vec{u}/V_i \quad (3.12)$$

ile verilir.

Burada V iyon çiftine karşılık gelen hacim, periyodik alanlar için çözümde

$$\vec{u} = U_0 \exp(i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)), \quad \vec{u}, \vec{P} \quad (3.13)$$

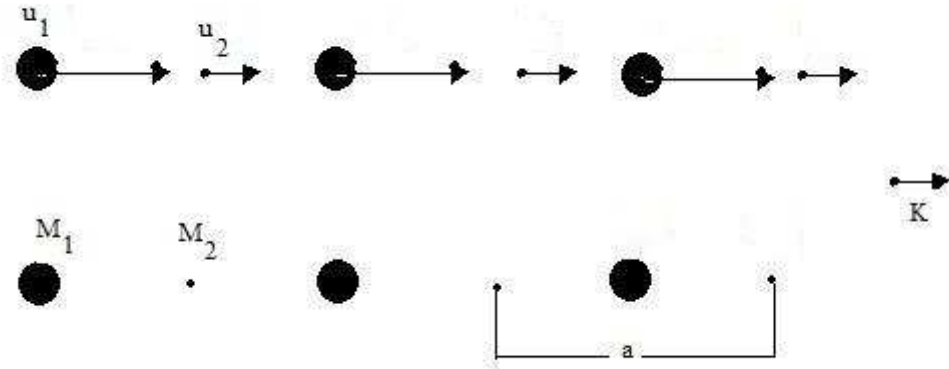
şeklinde verilir.

Böylece iyonik polarize olabilirlik

$$\vec{u} = \frac{(e/\mu_c)\vec{E}}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (3.14)$$

$$\alpha^i = \frac{e^2}{\mu_c V_i (\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (3.15)$$

ile tanımlanır [17].



Şekil 3.2. Kütleleri M_1 ve M_2 olan ve düzlemler arası kuvveti C olan iki atomlu bir kristal yapısı. M_1 ve M_2 atomlarının yer değiştirmeleri u_1 ve u_2 ile gösterilmiştir. K dalga vektörü doğrultusunda örgünün tekrarlama uzunluğu a olup atomlar denge konumlarında gösterilmiştir [18]

3.2.3. Dipolar polarizasyon

Elektronik ve iyonik polarizasyon mekanizmaları kalıcı dipol momente sahip olmayan parçacıkların oluşturduğu katılarla ilgilidir. Tüm iyonik katılarda her iki polarizasyonda mevcuttur. Diğer taraftan eğer parçacıklar kalıcı bir dipol momente sahip ise bu dielektrik malzeme bir dış elektrik alanda bu momentin yönlenmesiyle polarize olur. Bu mekanizma HCl, H₂S gibi bazı katı dielektriklerde ortaya çıkar. Bazı malzemelerde ki çok yüksek dielektrik sabit ve bunun sıcaklık bağımlılığı Debye'a bu fiziksel davranışları dipol momentin yönlenmesi ile açıklama imkanı vermiştir. Yönelime bağlı polarizasyonunu klasik teorisi Langevin tarafından teklif edilen paramagnetizmanın ki ile benzer olarak açıklanır. θ açısı \vec{E} ile \vec{p} arasındaki açıdır. N birim hacimdeki molekül sayısıdır. Böylece \vec{P} (polarizasyon)

$$P = \chi_{\text{dip}} E = \sum_i p_i \cos \theta_i = N \overline{p \cos \theta} \quad (3.16)$$

ile verilir.

Burada

$$\frac{\int \exp(-H/kT) \cos\theta dv}{\int \exp(-H/kT) dv} \quad (3.17)$$

$\cos\theta$ ortalamasıdır.

H hamiltoniyeni başka bir enerji olmadığı için sadece dipolün potansiyel enerjisinden ibarettir. Bu ($-pE = -pE \cos\theta$) terimdir.

$$\frac{\int \cos\theta [\exp(x \cos\theta) d\Omega]}{\int \exp(x \cos\theta) d\Omega} \quad (3.18)$$

$$x = pE/kT \quad (3.19)$$

$$d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi \quad (3.20)$$

$$\vec{E} = \vec{E}k \quad (3.21)$$

$$\cos\theta = \coth\left(x - \frac{1}{x}\right) = L(x) \quad (3.22)$$

$$x \ll 1 (pE \ll kT) \quad (3.23)$$

$$x = \frac{1}{x} + \frac{x}{3} - \frac{x^3}{45} + \dots \quad (3.24)$$

$$L(x) \approx \frac{x}{3} \quad (3.25)$$

böylece polarizasyon

$$P = \frac{Np^2}{3kT} E \Rightarrow \alpha^d = \frac{p^2}{3kT} \quad (3.26)$$

şeklinde elde edilir [17].

3.3. Dielektrik Spektroskopinin Temelleri

Dielektrik spektroskopi yöntemi malzemelerin elektriksel özelliklerini karakterize etmede oldukça güçlü ve yeni bir yöntemdir. Katı ve sıvı maddelerde hareketli yüklerin veya bağ dinamiklerinin incelenmesinde kullanılır. Deneysel malzeme bu yöntemde bir elektrot-malzeme sistemi gibi göz önüne alınır. Mevcut çalışmaların çoğu oda sıcaklığındadır. Düşük sıcaklıktaki çalışma sayısı ise daha azdır [19].

Dielektrik Spektroskopinde kullanılan üç farklı çeşit elektriksel sinyal vardır. Bu sinyallerden birincisi zamanla değişen bir akımın ölçüldüğü bir basamak fonksiyonu tipindeki voltajdır [19].

$$[V(t) = V_0 \quad t > 0, \quad V(t) = 0 \quad t < 0] \quad (3.27)$$

İkincisi zamanla rastgele değişen ve akımın ölçüldüğü voltajdır. En çok kullanılan ve standart olan üçüncüsü reel ve imajiner kısımları veya genlik ve faz değişiminin ölçüldüğü ve malzemeye akım veya tek frekans voltajın uygulanması ile empedansın ölçüldüğü voltajdır. 1 mHz ile 1 MHz frekans aralığında otomatik olarak frekansın bir fonksiyonu olarak empedansın ölçülmesini mümkün kılan ticari cihazlar mevcuttur. Üçüncü çeşit sinyalin kullanılmasının avantajı bu cihazların piyasada olması ve frekans bölgesinde en iyi sinyal/parazit oranının deneyciler tarafından elde edilebilir olduğu gibi kullanımının da kolay olmasıdır. Öyle ki 10^{-4} ile 10^{-6} Hz aralığında küçük genlikteki bir AC sinyalin frekansa göre cevabının analizi ve ölçülmesi için çok karışık ve otomatik deneysel cihazlar geliştirilmiştir [19].

Elektriksel empedans kavramı ilk defa 1880 lerde Oliver Heaviside tarafından ortaya atılmış ve A. E. Kennelly ve özellikle C. P. Steinmetz tarafından vektör diyagramları ve kompleks gösterimi cinsinden kısa bir süre sonra bu kavram daha da geliştirildi. Empedans dirençten çok daha genel bir kavramdır. Empedans spektroskopisi elektriksel ölçümlerin temel branşından biridir [19].

Bir kompleks sayıyı

$$Z = a + ib \quad (3.28)$$

şeklinde düşünebiliriz.

Burada a ve b reel sayıları reel ve sanal kısımlar ve,

$$i \equiv \sqrt{-1} \equiv \exp(i\pi / 2) \quad (3.29)$$

sanal birim olarak adlandırılır [20].

Böylece a Z 'nin reel kısmı olan empedansın reel eksen üzerindeki bileşeni ve b de imajiner eksen üzerindeki bileşeni olur. Böyle bir vektör gösterim için empedans,

$$Z(\omega) = Z' + iZ'' \quad (3.30)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada iki dik koordinat değerleri açık olarak

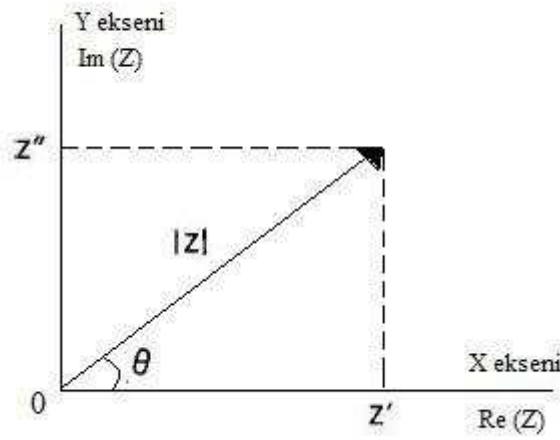
$$\text{Re}(Z) \equiv Z' = |Z| \cos(\theta) \quad (3.31)$$

$$\text{Im}(Z) \equiv Z'' = |Z| \sin(\theta) \quad (3.32)$$

$$\theta = \tan^{-1}(Z'' / Z') \quad (3.33)$$

$$|Z| = \left[(Z')^2 + (Z'')^2 \right]^{1/2} \quad (3.34)$$

şeklinde ifade edilir [19].



Şekil 3.3. Z empedansının dik polar koordinatlar kullanılarak gösterimi

Polar (kutuplu) bir gösterimde empedans,

$$Z(\omega) = |Z| \exp(i\theta) \quad (3.35)$$

Burada,

$$\exp(i\theta) = \cos(\theta) + i \sin(\theta) \quad (3.36)$$

olarak ifade edilir.

Böylece empedans frekansın bir fonksiyonundan ibaret olur. Empedansın kompleks bir nicelik oluşu $\theta = 0$ olduğu durumda bozulur ve $Z(\omega) = Z'(\omega)$ böylece malzeme tamamıyla bir direnç özelliği ortaya koyar ve empedans frekanstan bağımsız olur.

Z' frekansa bağımlı olduğunda Kronig - Kramers bağıntıları yardımı ile empedansın imajiner kısmı da türetilir.

$$Z' = R \quad (3.37)$$

olur.

Empedans spektroskopisinde önemli rol oynayan ve empedansla alakalı türetilmiş nicelikler veya farklı çeşit ölçümlerde vardır. Bunların tümü genel bir isimle imitans olarak adlandırılır. Bunların ilki admitans dır.

$$Y \equiv \frac{1}{Z} \equiv Y' + iY'' \quad (3.38)$$

Bir diğeri ise modül fonksiyonu olarak tanımlanır ve

$$M = i\omega C_c Z = M' + iM'' \quad (3.39)$$

şeklinde dir. Sonuncusu ise dielektrik sabittir.

$$\epsilon = \frac{1}{M} \equiv \frac{Y}{(i\omega C_c)} \equiv \epsilon' - i\epsilon'' \quad (3.40)$$

Bu ifadelerde

$$C_c \equiv \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (3.41)$$

dir.

Burada A elektrot alanı, d eletrotlar arası mesafedir.

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \frac{F}{m} \quad (3.42)$$

olup vakumun dielektrik sabitidir.

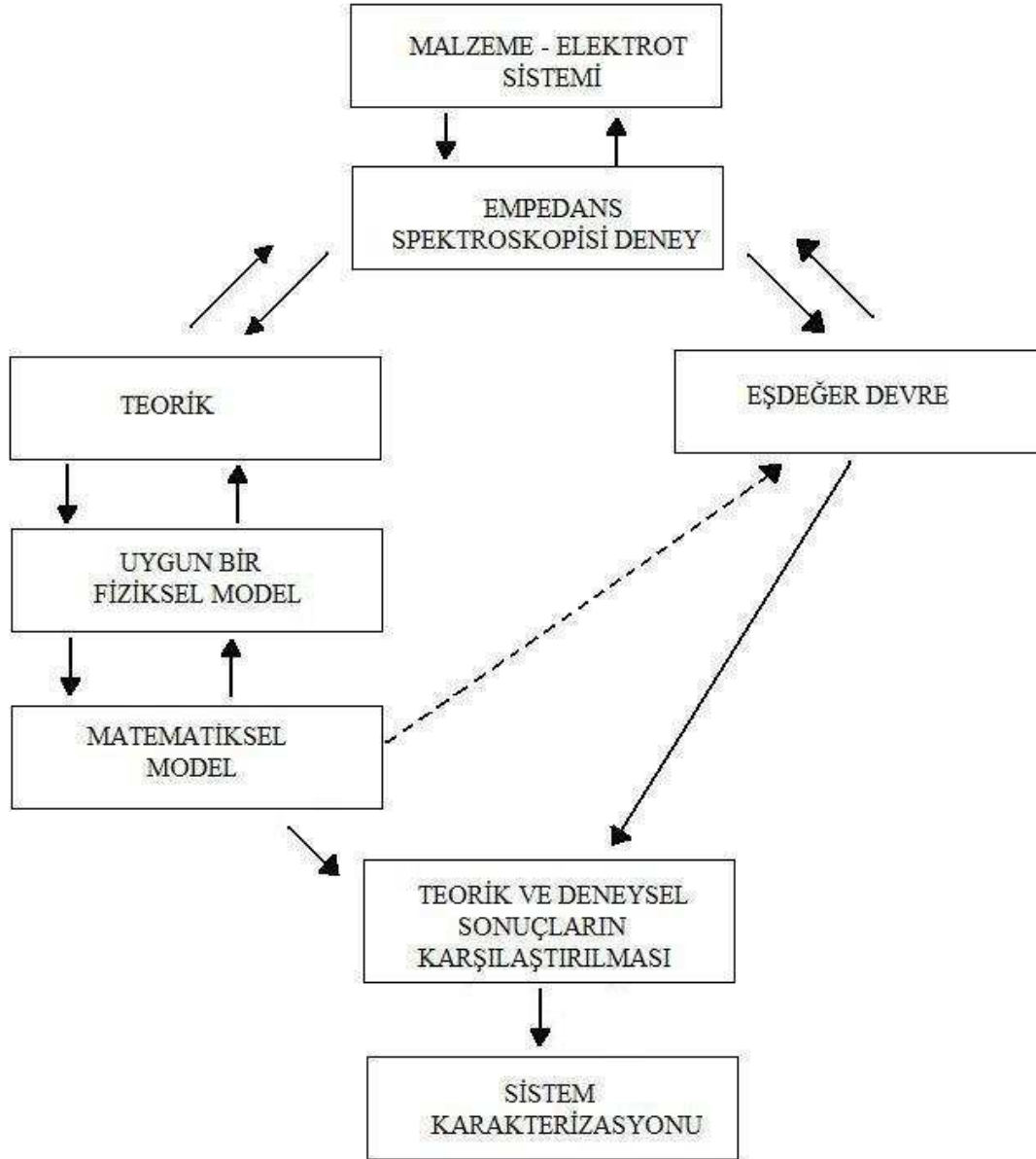
Burada $\mu = i\omega C_c$ ve C_c malzemenin kapasitansdır.

Tüm bu imitans ifadeleri ve birbirleri arasındaki geçişler aşağıdaki tabloda verilmiştir [19].

Tablo 3.1. Dört temel imitans fonksiyonu arasındaki bağıntılar

	M	Z	Y	ϵ
M	M	μZ	μY^{-1}	ϵ^{-1}
Z	$\mu^{-1} M$	Z	Y^{-1}	$\mu^{-1} \epsilon^1$
Y	μM^{-1}	Z^{-1}	Y	$\mu \epsilon$
ϵ	M^{-1}	$\mu^{-1} Z^{-1}$	$\mu^{-1} Y$	ϵ

Bir elektrotla kaplanmış malzemenin fiziksel özelliklerinin incelenerek malzemenin karakterize edilmesi empedans spektroskopisinde aşağıdaki akış diyagramına göre çalışır [19].



Şekil 3.4. Metal-Elektrot sisteminin ölçümlerinde ve karakterizasyonunda takip edilen yol

BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Numunenin Hazırlanması ve Deney Basamakları

Steatitler dielektriklerin bilinen bir sınıfını oluşturur. İçerisinde daha etkin olarak magnezyum silikat ($MgSiO_3$) bulunan organik maddelerden yapılır. Böylece elde edilecek katkılanmış malzemenin de yüzde olarak büyük miktarını oluşturur. Başlangıç materyali olarak talk, kil ve baryum karbonat ($BaCO_3$) kullanır ve sonra karışıma yüzde olarak ağırlıkça belli olanlarda bor oksit (B_2O_3) katkılanırılır.

Klasik bir steatit seramiği % 58-65 SiO_2 , % 26-32 MgO , % 3-6 Al_2O_3 , % 1.3 Na_2O içerir. Tipik olarak düşük kayıplı olması için % 7-10 BaO ilave edilir. Yapısında temel olarak % 25-45 civarında kristal olarak magnezyum silikat ihtiva eder. Kalıptan çekme, kuru presleme vb. gibi üretim yöntemleri vardır.

İncelenen steatit seramiği için talk, kil ve baryum karbonat (% 99.5) başlangıç maddeleri olarak kullanıldı. Talk (ağırlıkça % 84), kil (ağırlıkça % 8) ve baryum karbonat (ağırlıkça % 8) den hazırlanan karışıma ağırlıkça sırayla % 0.25, 0.75, ve 1.5 B_2O_3 katıldı ve 5, 10 ve 20 serisi hazırlandı. 0 serisi için katkı yapılmadı. Oda sıcaklığında bir süre elde edilen karışım kurumaya bırakıldı. Karışım 75 MPa basınç altında pellet haline getirildi. Hazırlanan örnekler 2 saat süre ile 1000-1200°C sıcaklığında sinterlendi.

Deneyin yapılmasından evvel tüm seramik malzemeler bir dizi işleminden geçirildi. Önce örneklerin hepsi ebat itibariyle ölçüme uygun hale getirilmek üzere daha ince olacak şekilde kesildi. Daha sonra, ölçüm sonuçlarının daha güvenilir olması açısından her bir örnek ayrı ayrı çok ince zımparalarla zımparalandı ve yüzey pürüzleri mümkün olduğunca giderildi. Örneklerimizin şekilleri bir çocuk serçe parmağı büyüklüğünde veya daha küçük idi. Deneyler yapıldıktan sonra kullanılmak

üzere her örneğin uzunluk, genişlik ve kalınlık değerleri hassas bir digital kumpas kullanılarak önceden ölçüldü. Sonrasında kalınlığı çok ince olacak şekilde hazırlanan tüm örneklerin alt ve üst yüzeyleri belirlenerek bu yüzeyler iletken sıvı sürülerek kaplandı. Örnekler bu işlemten sonra iletken sıvıların kuruması için bekletildi.

Her ölçümden evvel ölçümü gerçekleştirecek olan elektronik cihazın kendi üzerinden kalibrasyonu yapıldı. Ölçümler, HP 4194A Impadance-Gain/Phase analizörü ile gerçekleştirildi. Cihazın çalıştığı frekans aralığı 100 Hz- 40 MHz olduğundan dolayı bu frekans aralığının tamamı ölçümlerde kullanılmıştır. İncelenen frekans aralığında ölçümler seramiklerin sahip oldukları yük kapasitesi (sığa) ve iletkenlikleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. İncelenen frekans aralığı logaritmik olarak bölünmüş 70 ayrı frekans aralığında ölçümler gerek yük kapasitesi, gerekse iletkenlik için eş zamanlı olarak alınmıştır. HP 4194A Impadance-Gain/Phase analizörü ayrıca frekansa bağlı ölçüm yaparken incelenen örneğe bir dış elektrik voltaj uygulama kabiliyetine de sahiptir. Bu sebeple incelenen örneklerin elektriksel parametreleri sıfır voltajdan başlamak üzere 70 ayrı noktada ve bu genel ölçümde 20 Volta kadar 15 ayrı voltaj altında gerçekleştirilmiştir. Her farklı voltaj altındaki bu 70 ayrı noktada ki ölçüm birkaç saniye kadar sürmüştür. Ancak incelenen frekans aralığındaki deneysel sonuçların her potansiyel artışında çok fazla değişim göstermediğinden sadece 0, 5, 10 ve 20 V için olan ölçümler kullanıldı. Ölçümler için örnekler analizörün kendisine ait küçük bir test ünitesine yerleştirilerek gerçekleştirildi ve bu test ünitesinin kuaksiyel çıkışları ölçümlerden evvel analizöre bağlandı. Ölçümler anlık olarak analizörün kendi üzerinde yer alan renkli monitöründen izlendi. Deneyin hangi şartlar altında gerçekleştirileceği analizörün bağlı olduğu bir bilgisayardan uygulanan komutlarla sağlandı. Bilgisayar ve analizör arasındaki data alışverişi bir data kart soketi kullanılarak gerçekleştirildi. Ölçüm sonucunda elde edilen datalar analizöre bağlı olan bir bilgisayar da toplandı. Aynı zamanda sonuçlar bilgisayar ekranında analizörle beraber eş zamanlı olarak gözlendi.

4.2. B₂O₃ Katkılı Steatit Seramiğin Reel Kısım Ölçümleri

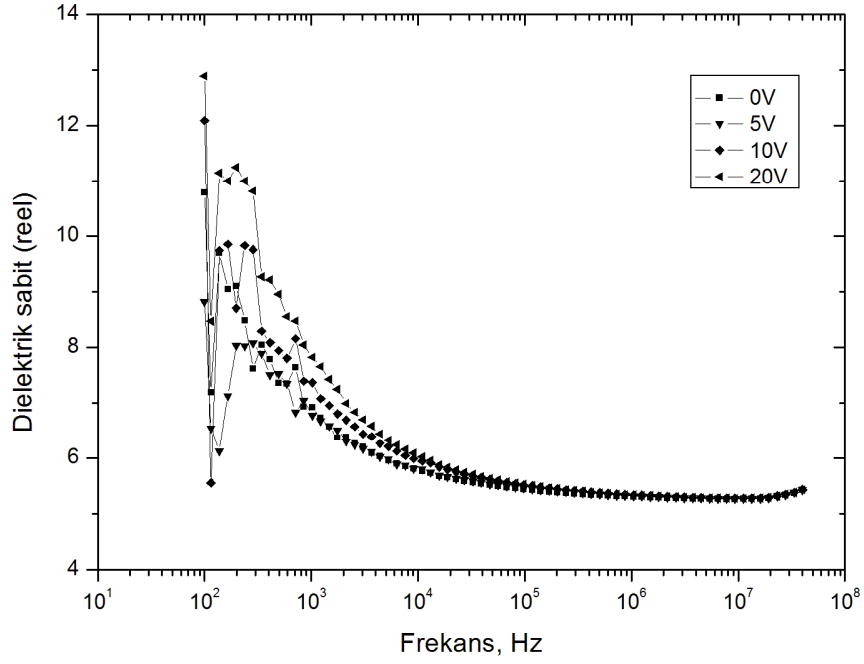
Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de incelenen seramik örneklerinin dielektrik sabitlerinin reel kısımlarının frekansla değişimleri görülmektedir.

Şekillerin tamamında frekansa göre olan değişim aynı biçimdedir. Frekans arttıkça dielektrik sabit azalmaktadır. Bu davranış bilinen bilinmeyen tüm malzemeler için benzer şekildedir. Zira dielektrik sabite katkı veren bileşenler literatürden elektronik, atomik ve iyonik olarak bilinmektedir. Bu davranışları da bu bilgi ışığında açıklayabiliriz. Öncelikle elektronun kütlesi atom veya iyon kütlesinden çok çok küçük olduğundan dolayı hangi frekans uygulanırsa uygulansın bu katkının olacağı açıktır. Ancak frekans arttıkça tüm sistemlerde önce iyonik katkı sonra da atomik katkı etkisini kaybeder. Çünkü iyon kütlesi atomik kütleyle göre atomik kütlede elektron kütlesine göre daha büyüktür. Böylece artan frekansla dielektrik sabit önce iyonik sonrada atomik katkının değişime cevap verememesinden dolayı devre dışı kalır. Şekillerin hepsinde birden görülen bu azalman bu nokta göz önüne alınarak açıklanır. (Burada polimerlerde çok uzun ve ağır zincir halkalarından bahsedilmeyecektir)

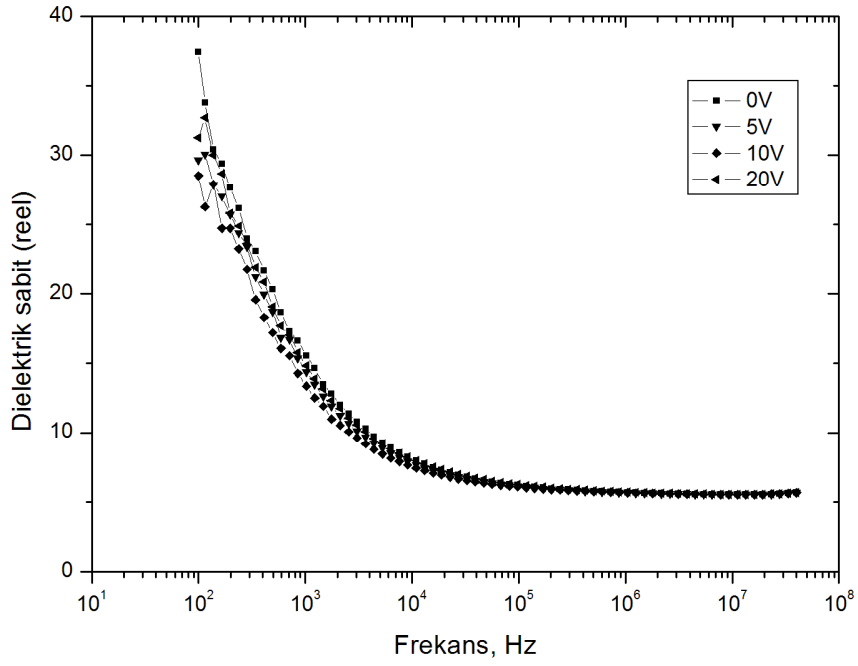
Frekans arttıkça tüm şekillerde özellikler Şekil 4.1, Şekil 4.2. ve Şekil 4.3'de 100 kHz den sonra hemen hemen dielektrik sabit uygulanan frekanstan bağımsız olmak üzere sabit kalır. Tüm şekillerde bu değer (sabit kalma) 6 civarında olmaktadır. Böylece tüm örneklerde 100 kHz sonra değişmeyen dielektrik sabit için sadece elektronik katkının varlığından söz etmek mantıklıdır. Hemen hemen tüm katkıların olduğu frekans bölgesi ise bu frekanstan daha düşük frekans bölgesi olduğu söylenebilir.

Ayrıca bu şekillerde dielektrik sabitin değişimi bir dış alan (5, 10, 20 Volt) altında gösterilmiştir. Artan voltajlarda dielektrik sabitin frekansla genel davranışının değişmediği gözlenmiştir. Ancak her bir örnek için artan voltaj yine 100 kHz e kadar dielektrik sabitte hemen hemen bir merdiven artışı ortaya koymuştur. Bazı örnek ve bazı voltajlarda bu basamak sırası değişiklik göstermektedir ancak genel tavır basamakların arttığı şeklindedir. 100 kHz sonra ise potansiyeldeki her türlü değişime rağmen dielektrik sabitin basamak davranışı göstermemektedir. Düşük frekanslardaki bazı örneklerdeki parazit fazla oluşu bu frekanslar civarındaki ölçümlerin daha uzun süre gerektirmesinden dolayıdır. Parazitin diğer bir sebebi de örnekler hazırlanırken örneklerin geometrik şekillerindeki ve kenarlarındaki bozukluklardır. Bu sebeple her örneğin farklı miktarlardaki parazit davranışı örneklerin hazırlanması esnasındaki bu etkilerin farklılığından kaynaklanır.

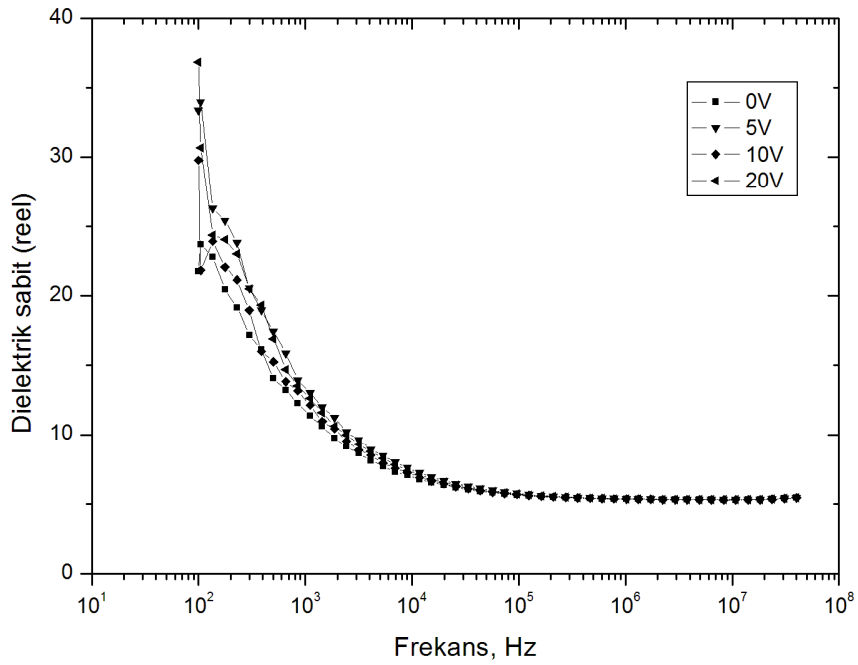
Tüm örneklerin dielektrik sabitleri 6 ila 30 aralığında seyrettiği görülmektedir. Ayrıca hiçbir örnek hiçbir voltaj altında incelenen frekans aralığında relaksasyon davranışı göstermemektedir. Bu sonuç incelenen örnekler için muhtemel relaksasyonun çok daha düşük frekanslarda olabileceğini belirtisidir.



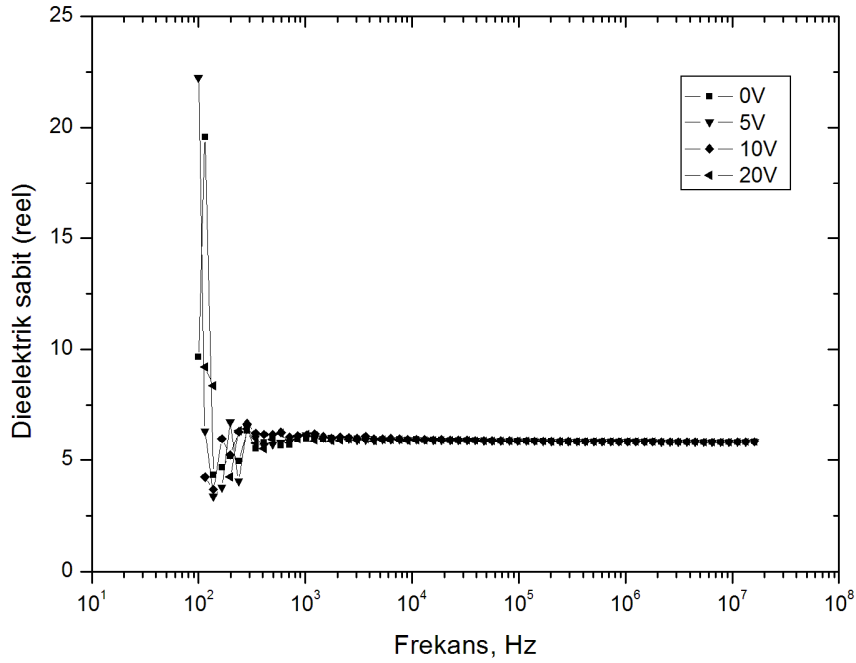
Şekil 4.1. 0 serisinin dielektrik sabitin reel kısmının farklı potansiyeller altında frekansla değişimi



Şekil 4.2. 5 serisinin dielektrik sabitin reel kısmının farklı potansiyeller altında frekansla değişimi



Şekil 4.3. 10 serisinin dielektrik sabitin reel kısmının farklı potansiyeller altında frekansla değişimi



Şekil 4.4. 20 serisinin dielektrik sabitinin reel kısmının farklı potansiyeller altında frekansla değişimi

4.3. B₂O₃ Katkılı Steatit Seramiğin Kayıp Faktörü Ölçümleri

Bir dielektrik malzemenin kayıp faktörü

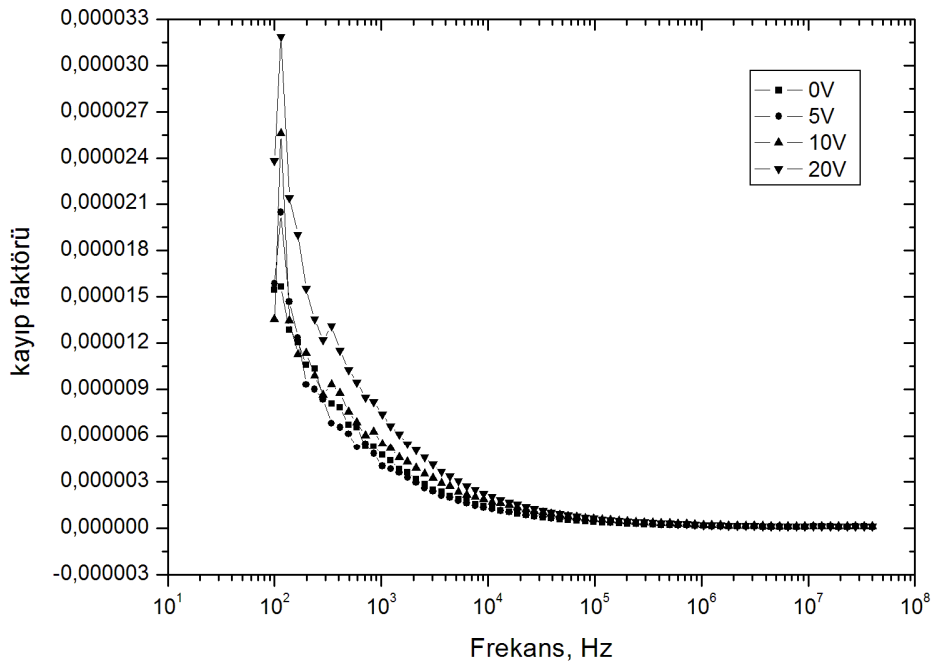
$$\tan\delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (41)$$

olarak ifade edilir.

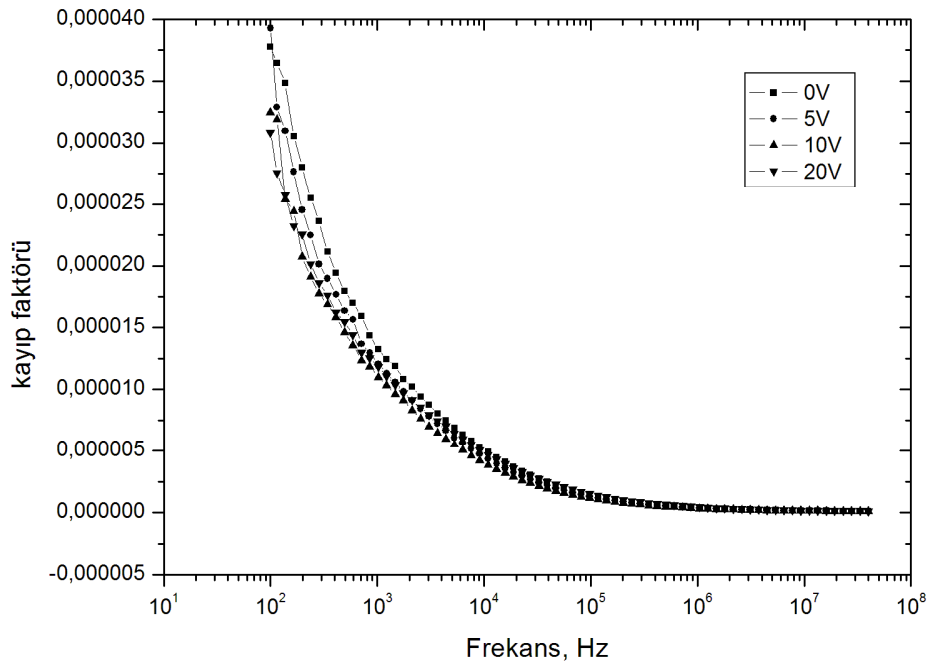
ϵ' bilindiği gibi bir malzemenin dielektrik sabitindeki kayıplar şeklinde tanımlanır. $\tan\delta$ da böylece kaybın bir nevi nisbi bir ölçüsüdür. Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 incelendiğinde artan frekansla tüm örneklerin kayıp faktörlerinin azaldığı görülmektedir. Tüm kayıp faktörü grafiklerinde dielektrik sabitin reel kısmında olduğu gibi 100 kHz sonra hangi örnek ve hangi voltaj altında olursa olsun herhangi bir değişim görülmemektedir ve her bir örneğin farklı voltajlardaki kayıp faktörünün frekansla değişimleri bir basamak tarzı davranış sergiler. 0 ve 20 serisinin düşük frekanslarda basamakları ciddi miktarlarda değişim gösterirken 5 ve 10 serisinde ise

tüm voltajlarda ciddi bir basamak formu gözlenmemiştir. Tüm örneklerin incelenen frekans aralığı ve voltaj altındaki kayıp faktörleri 10^{-5} - 10^{-6} aralığındadır. Yani tüm örneklerin kayıp faktörleri oldukça düşüktür. Buna göre, örneklere gönderilen elektromanyetik dalganın örnekle yapmış olduğu etkileşim sonucunda enerjisindeki kaybın az olduğu söylenebilir.

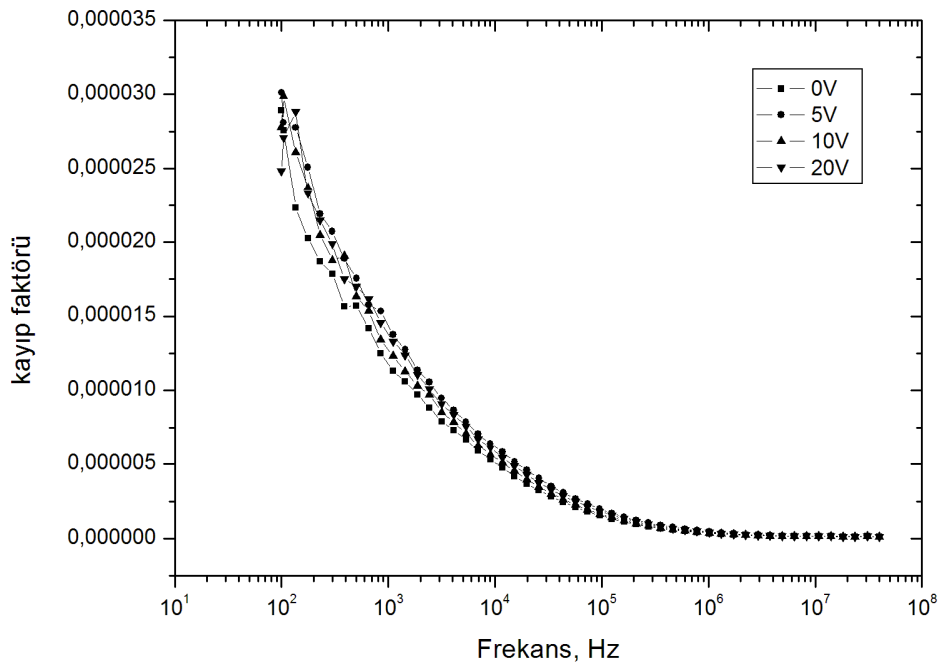
İncelenen frekans aralığında dielektrik sabitin reel kısmında görülmeyen relaksasyon kayıp faktöründe de görülmemektedir.



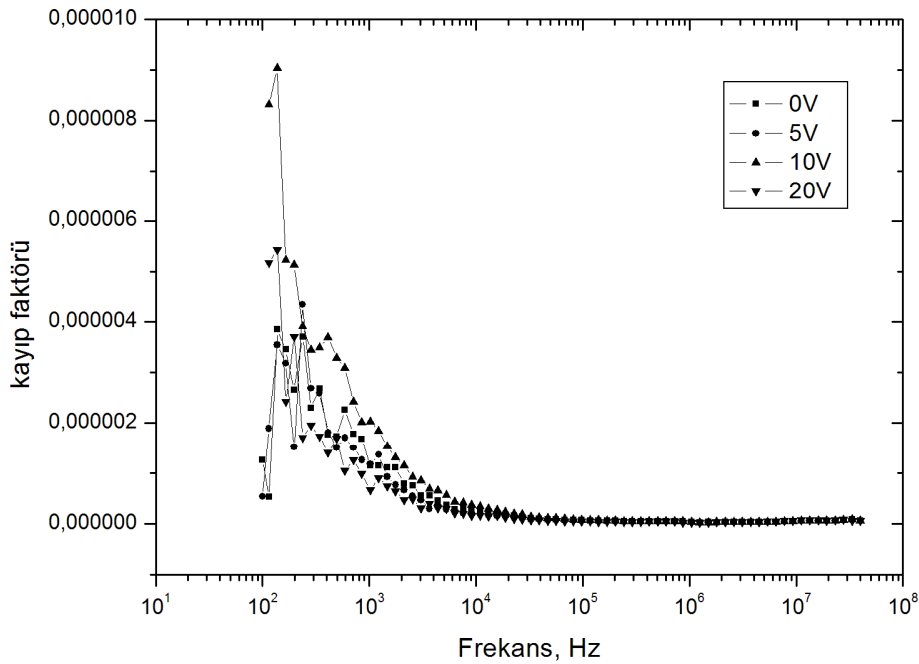
Şekil 4.5. 0 serisinin kayıp faktörünün farklı potansiyeller altında frekansla değişimi



Şekil 4.6. 5 serisinin kayıp faktörünün farklı potansiyel altında frekansla değişimi



Şekil 4.7. 10 serisinin kayıp faktörünün farklı potansiyel altında frekansla değişimi.

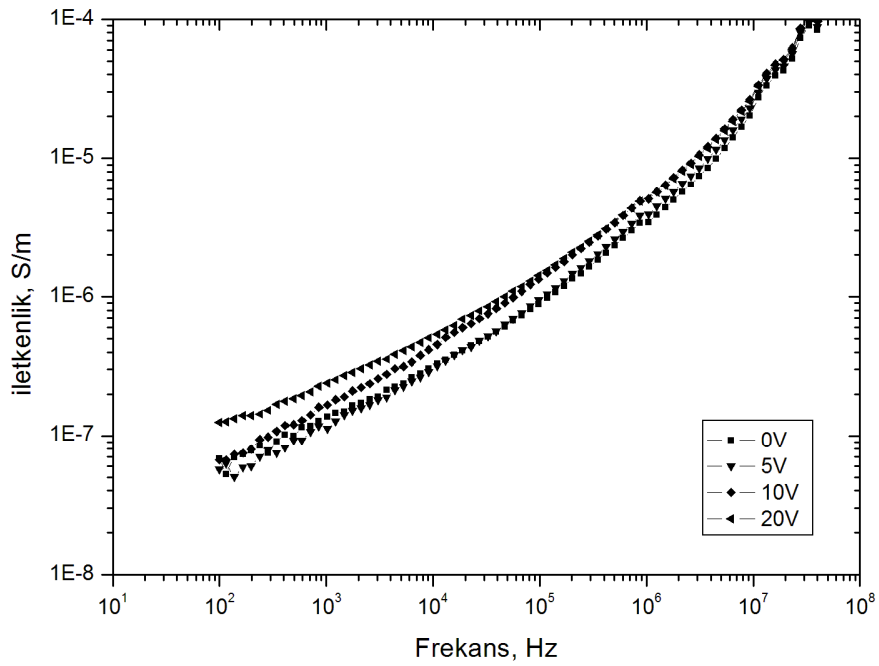


Şekil 4.8. 20 serisinin kayıp faktörünün farklı potansiyel altında frekansla değişimi

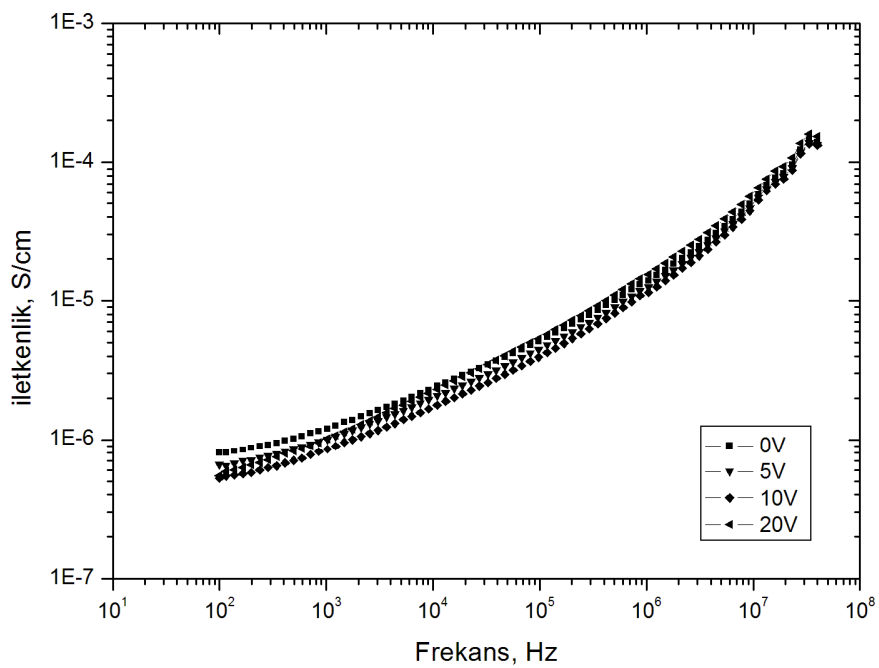
4.4. B₂O₃ Katkılı Steatit Seramiğin İletkenlik Ölçümleri

Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 de örneklerin incelenen frekans aralığında ve farklı voltajlar altında iletkenlikleri gösterilmiştir. Frekans arttıkça her örneğin iletkenliği artma eğilimi sergiler. Özellikle bu artış her örnek için belli bir yerden sonra daha hızlı olmaktadır. Bu o frekanstan daha büyük frekanslarda örneklerin iletkenliklerine daha fazla bir katkı olduğunu göstermektedir. Bu da çok klasik bir yaklaşımla uygulanan frekans doğrultusunda elektronların aldığı enerji ile iletkenliğe katkı vermeleri şeklinde yorumlanabilir.

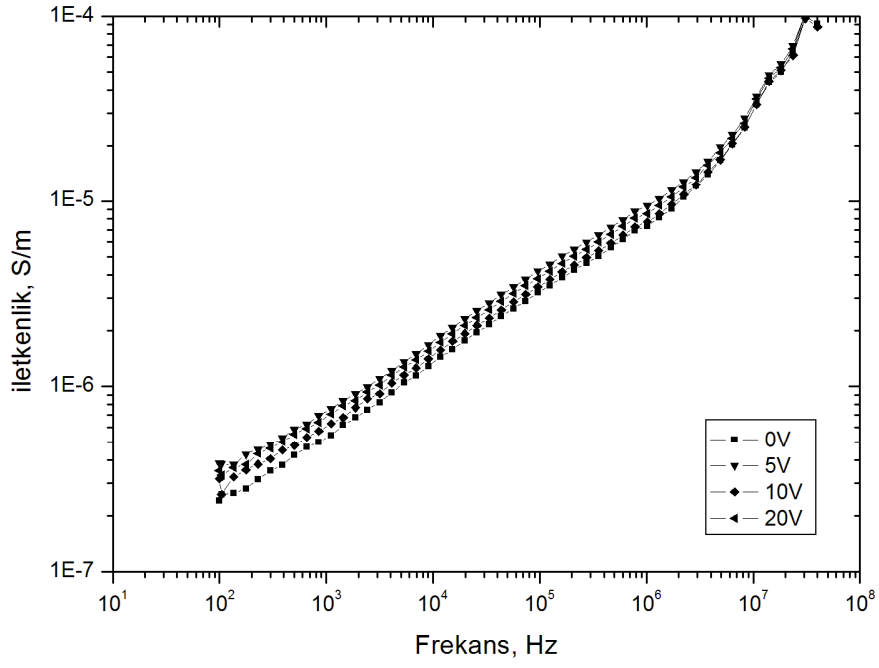
Benzer basamak davranışı iletkenlikte de göze çarpmaktadır. Tüm örnekler için bu durum düşük frekanslarda daha baskındır. Basamak davranışları artan voltajlara paralel olacak şekilde düzgün değişmektedir. Artan voltajla iletkenliğin artması artan frekansla iletkenliğin artması aynı tavidir. Zira artan voltajla örneğe verilen enerjide artmaktadır. Böylece, iletkenliğe olandan daha çok katkı gelmektedir.



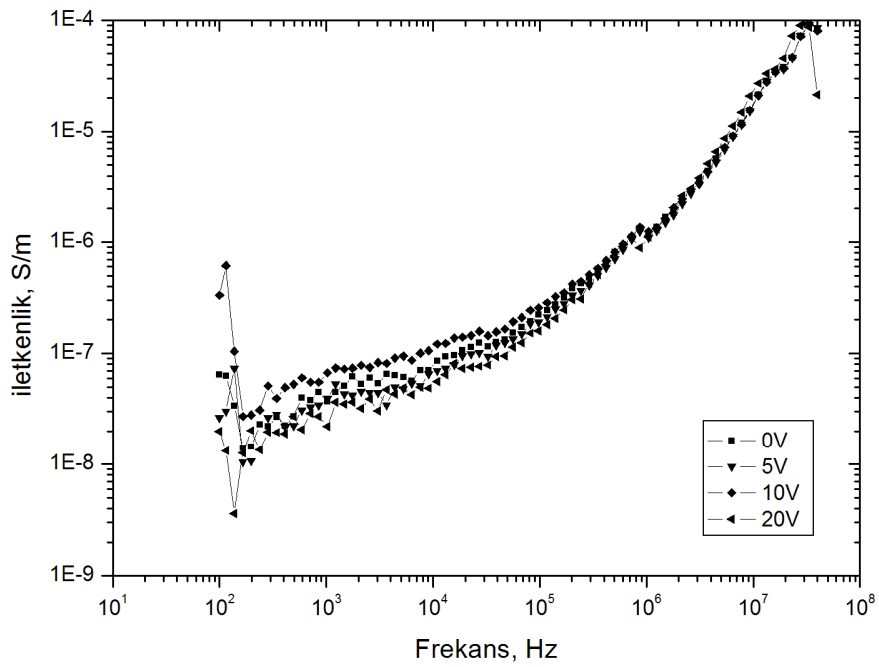
Şekil 4.9. 0 serisi iletkenliğinin farklı potansiyeller altında frekansla değişimi



Şekil 4.10. 5 serisi iletkenliğinin farklı potansiyeller altında frekansla değişimi



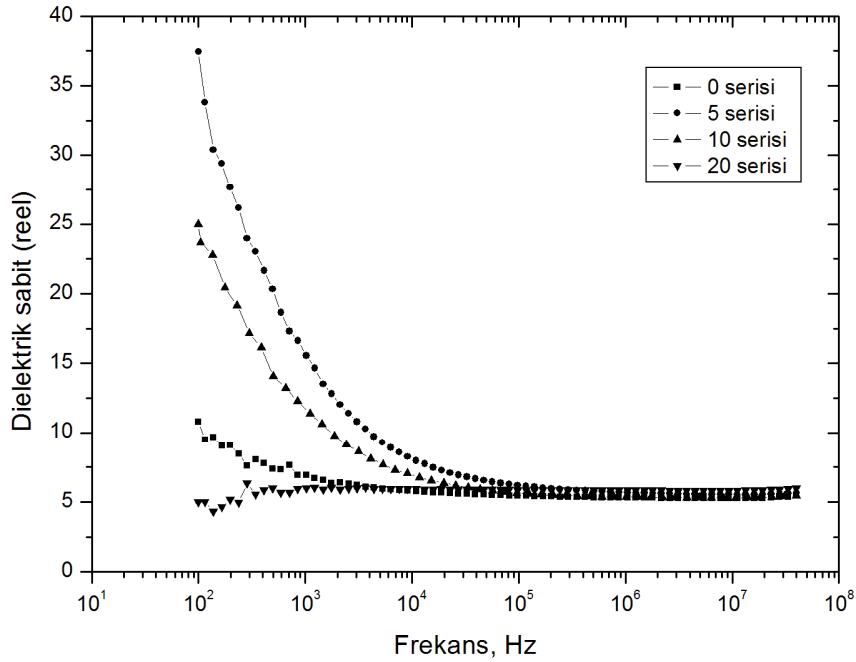
Şekil 4.11. 10 serisi iletkenliğinin farklı potansiyeller altında frekansla değişimi



Şekil 4.12. 20 serisi iletkenliğinin farklı potansiyeller altında frekansla değişimi

4.5. B₂O₃ Katkılı Steatit Seramiğin Sıfır Potansiyeldeki Elektriksel Ölçümleri

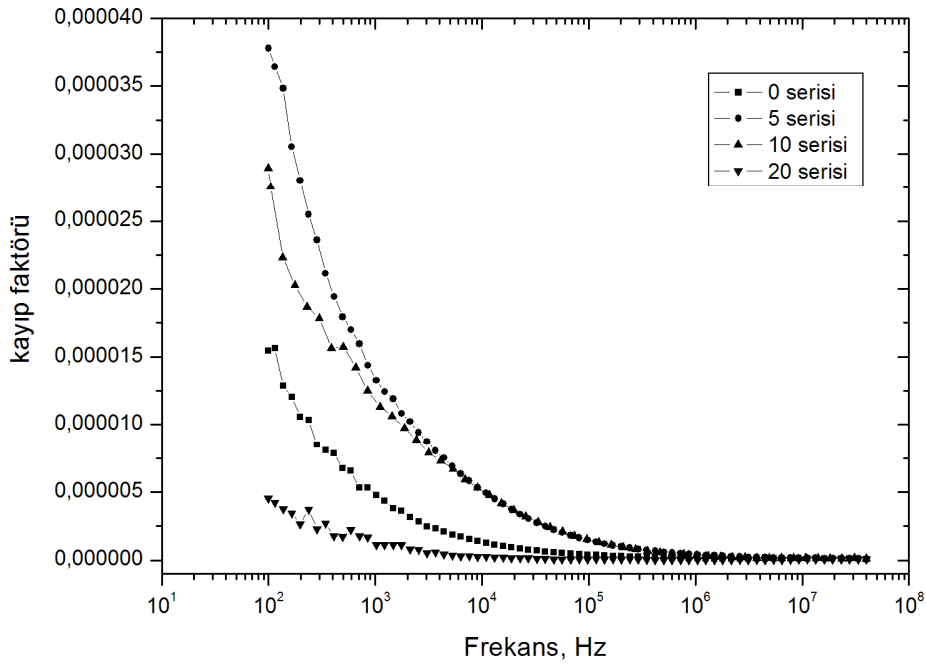
Ayrıca ölçümlere ait yine dielektrik sabitin reel kısmının dış alan yok iken frekansla değişimi incelenebilir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.13’de görülmektedir.



Şekil 4.13. Sıfır potansiyelde tüm serilerin dielektrik sabitinin reel kısmının frekansla değişimi

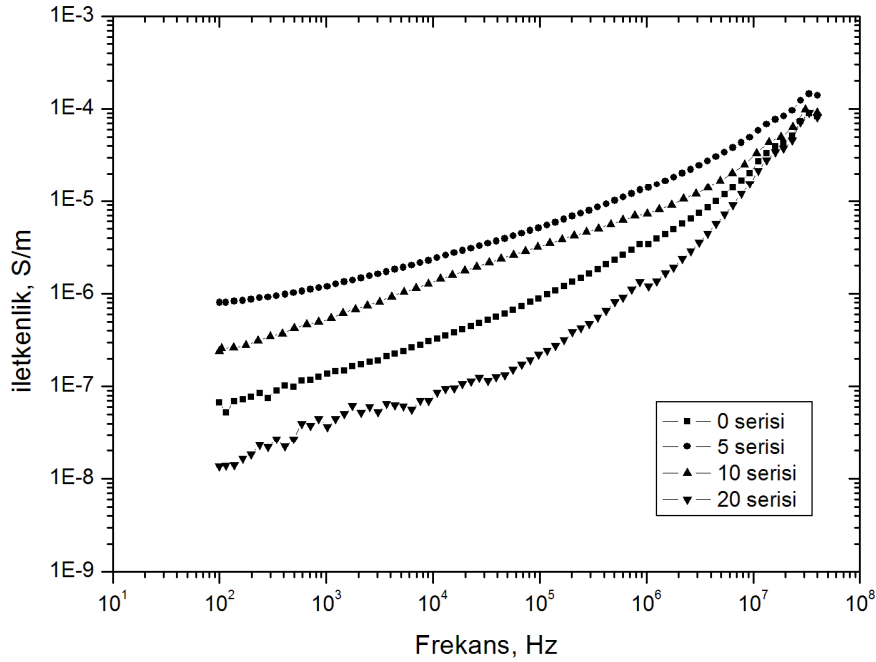
Doğal olarak yine yukarıdaki açıklandığı sebep üzere artan frekansla reel kısım yine azalmaktadır. İncelenen frekans aralığı için 20 serisinde değişim hemen hemen yok iken 0 serisinde az miktarda bir değişim görülmektedir. Diğer iki seride ise değişim oldukça fazladır. Bu noktada beklediğimiz sonuç seriye göre reel kısmında bir basamak davranışı göstermedi gerektiği şeklinde iken 0 ve 5 serileri için dielektrik sabit artarken 10 ve 20 serisi için bir azalış söz konusudur. Bu sonuç dielektrik sabit için aradaki bir değere kadar artış sonra azalışı işaret eder niteliktedir.

Yine daha önce ortaya konulan kayıp faktörü davranışının benzeri davranış dış alan olmaksızın elde edilmiş durumla Şekil 4.14’de görüldüğü gibi örtüşmektedir. Hatta reel kısım için elde edilen yukarıdaki sonucun aynısı imajiner kısım içinde söz konusudur. Hatta öyle ki 20 serisi için elde edilen sonucun seri içinde en düşük değerde oluşu bile göze çarpmaktadır.



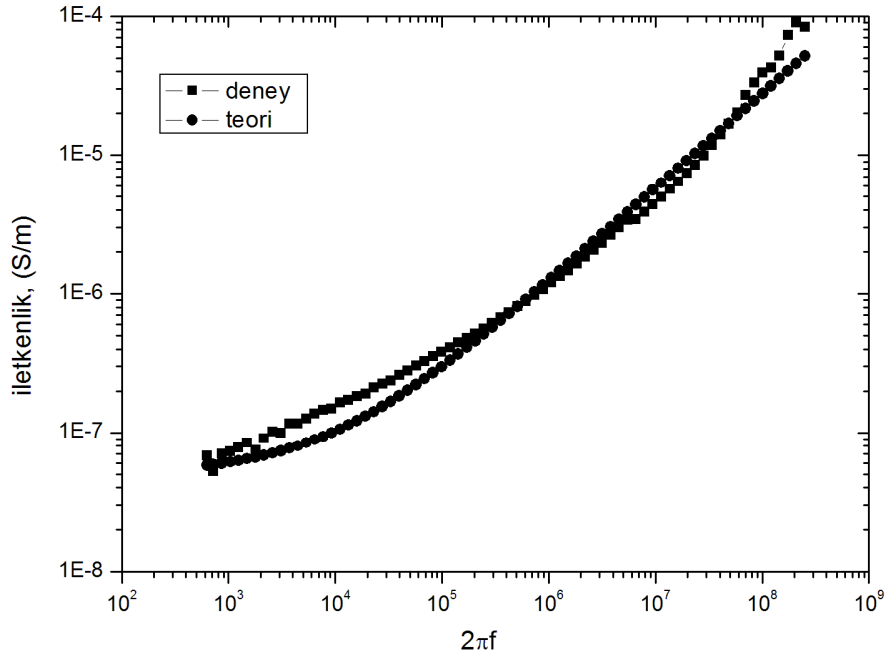
Şekil 4.14. Sıfır potansiyelde tüm serilerin kayıp faktörünün frekansla değişimi

İletkenlik için elde edilen sonuç da yukarıda elde edilen sonuçlar gibi aynen bir uyum içerisindedir (Şekil 4.15).

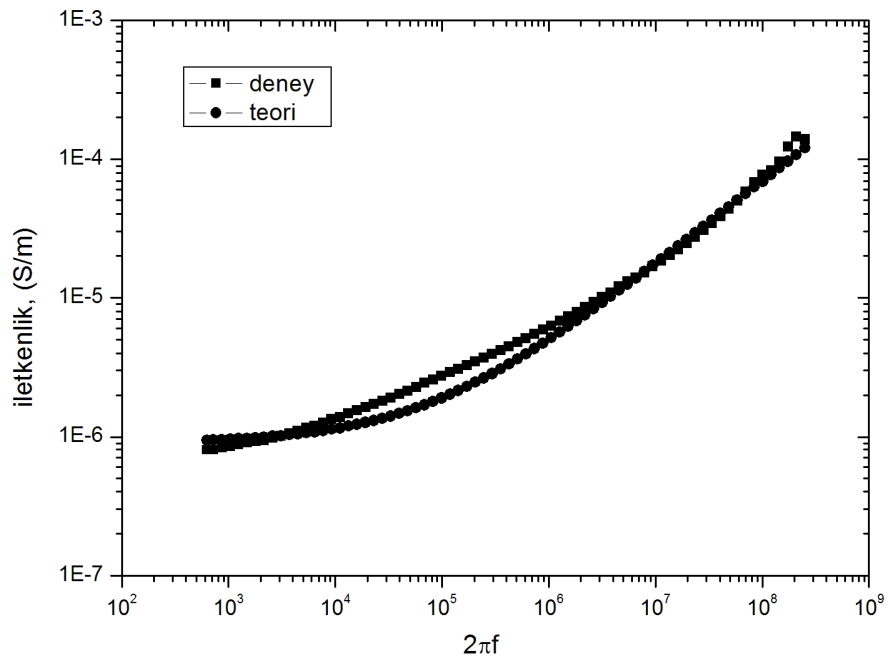


Şekil 4.15. Sıfır potansiyelde tüm serilerin iletkenliğinin frekansla değişimi

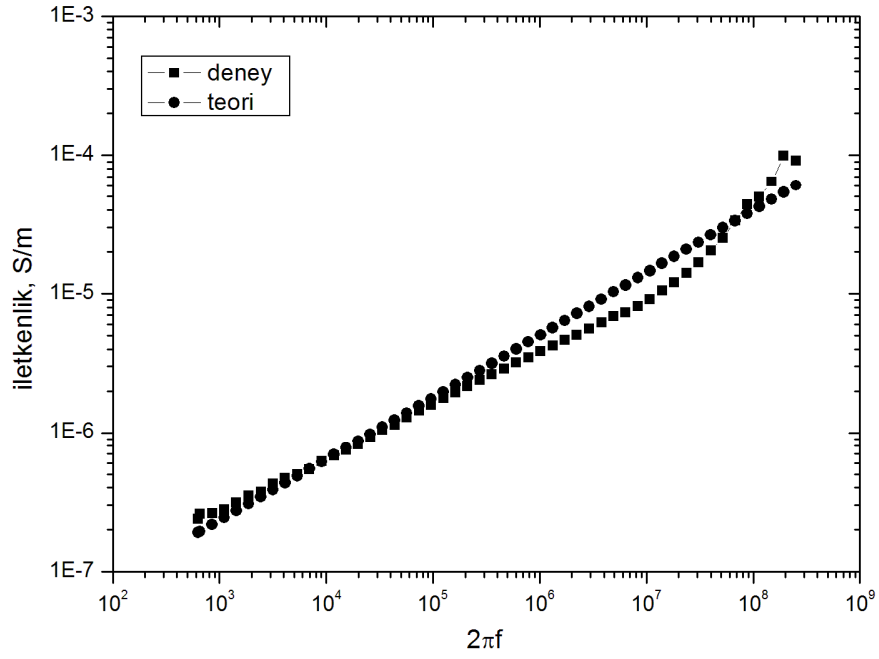
İletkenlikler için elde edilen sonuçları evrensel $\sigma(\omega) = \sigma_0 + A\omega^s$ ifadesi ile belirleyebiliriz. Burada σ_0 , DC iletkenlik adını alır ve frekanstan bağımsızdır. Ancak ölçülen örnekler için bu kısım muhtemelen daha düşük frekanslarda kaldığı için görülmemektedir. A bir sabit olmakla beraber s parametresi sıcaklığa da bağlı olan (ancak burada sıcaklığa göre değişim incelenmemiştir) bir sabittir ve 0-1 arasında değişir. Bu değer yüksek oluşuna göre iletkenliğe artan frekansla verilen katkıların ne denli etkin olduğu ve ilgili iletkenlik mekanizması hakkında tahmin yapılabilir. Deney sonuçlarının bu matematiksel ifadeye fit edilmesi ile ilgili olarak hesaplanan değerler kullanıldığında deney ve teori birbiri ile iyi bir uyum içerisinde olmaktadır. Bu durum Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 da gösterilmiştir.



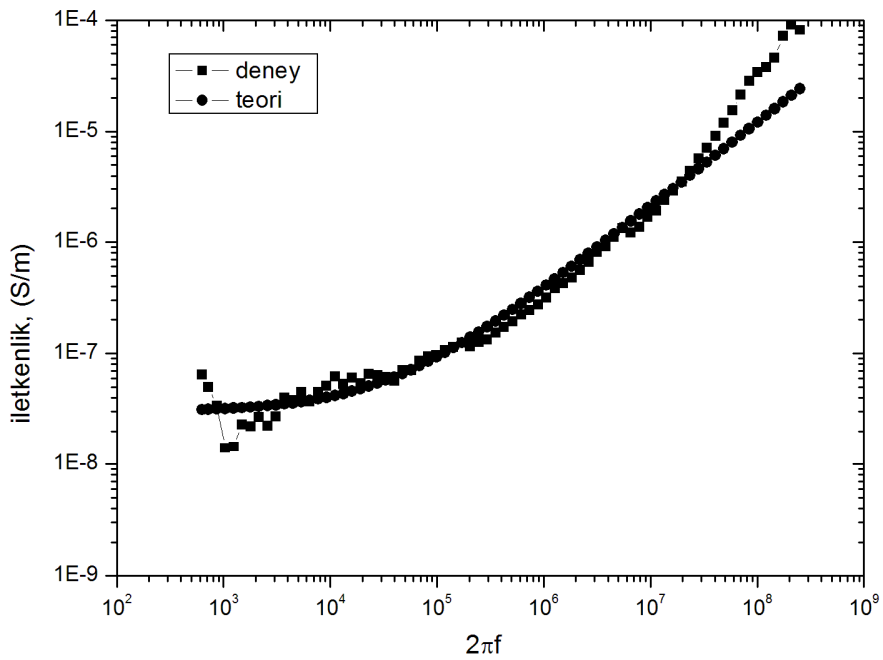
Şekil 4.16. Sıfır potansiyelde 0 serisinin iletkenliğinin deneysel verileri ile teorik ifadenin fit grafiği



Şekil 4.17. Sıfır potansiyelde 5 serisinin iletkenliğinin deneysel verileri ile teorik ifadenin fit grafiği



Şekil 4.18. Sıfır potansiyelde 10 serisinin iletkenliğinin deneysel verileri ile teorik ifadenin fit grafiği

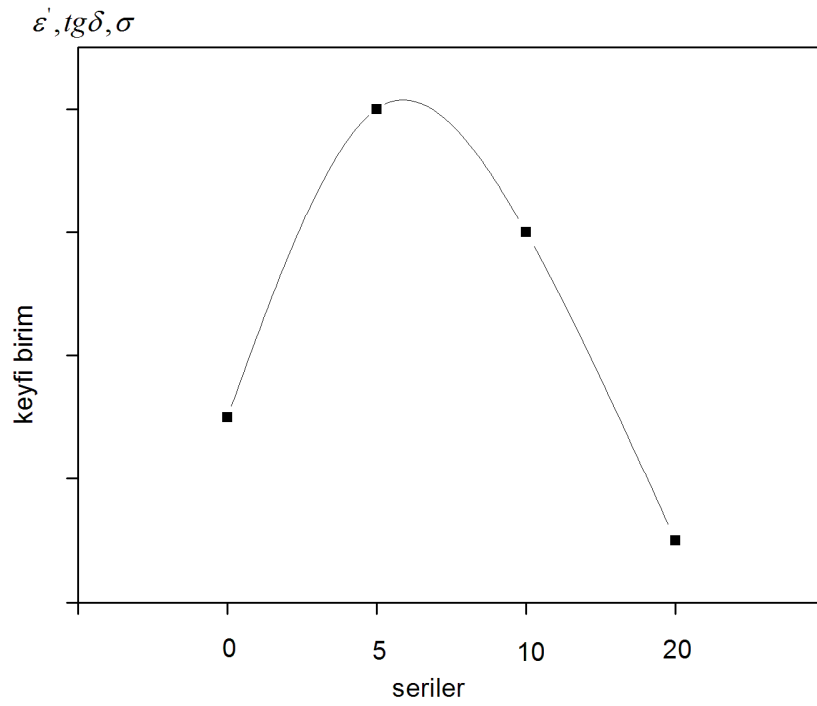


Şekil 4.19. Sıfır potansiyelde 20 serisinin iletkenliğinin deneysel verileri ile teorik ifadenin fit grafiği

Hesaplanan sayısal değerler ise aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneysel sonuçlarının teorik ifadeye fit edilmesi ve elde edilen değerler tablosu

	σ_o (S/m)	A	s
0 serisi	5×10^{-8}	10^{-10}	0.68
5 “	9×10^{-7}	9×10^{-10}	0.61
10 “	1×10^{-8}	10^{-8}	0.45
20 “	3×10^{-8}	10^{-11}	0.75



Şekil 4.20. B₂O₃ katkısına göre fiziksel parametrelerin değişimi

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dielektrik sabitin tüm seride frekansla azaldığı görüldü. Bu davranış polarizasyona katkı yapan bileşenler şeklinde ele alınıp incelendi. İncelenen frekans aralığı için bir relaksasyon mekanizmasının varlığı saptanamadı. Bu durum muhtemel relaksasyonun çok daha düşük frekanslarda olabileceği şeklinde yorumlandı. Uygulanan dış alan ile dielektrik sabitin değiştiğinin sonucuna varıldı.

Yine tüm seride artan frekansla kayıp faktörünün azaldığı görüldü. Kayıp faktörünün incelenen örnekler için çok düşük olduğu ve 10^{-5} - 10^{-6} mertebesinde olduğu görüldü. Bu durum örneklere gönderilen elektromanyetik dalganın örnekle yapmış olduğu etkileşim nedeniyle kaybın azaldığı yönünde açıklandı. Dielektrik sabitin reel kısmında olduğu gibi burada da relaksasyon mekanizmasına rastlanmadı.

İletkenliğin tüm seride frekansla birlikte arttığı saptandı. Belirli bir noktadan sonra ise bu artışın daha fazla olduğu gözlemlendi. Bu durum, o frekanstan daha büyük frekanslarda örneklerin iletkenliklerine daha fazla bir katkının var olduğu şeklinde yorumlandı. Uygulanan dış alanla düşük frekanslarda daha çok olmak üzere iletkenliğin arttığı belirlendi. Bunun nedeni olarak, artan voltajla birlikte örneğe verilen enerjinin de artması gösterildi.

Dış alan etkisi yok iken literatürde mevcut $\sigma(\omega) = \sigma_0 + A\omega^s$ formülasyonunu deneysel datalara fit ederek σ_0 , A ve s değerleri hesaplandı. Deneysel verilerle teorik sonuçlarının uyum içinde olduğu gözlemlendi.

B_2O_3 'ün değişik miktarlarda katılanmasıyla elde edilen 0, 5, 10 ve 20 serilerinin incelenen fiziksel parametrelerin keyfi değerleri ile grafiği çizildi. Çizilen grafikte, B_2O_3 'ün katkısının bir noktaya kadar artmasıyla fiziksel parametrelerde de artış

olduğu daha sonra ise B_2O_3 'ün katkısının artmasıyla fiziksel parametrelerde azalış olduğu gör÷lmektedir.

Bu tezin sonrasında serinin elektriksel özelliklerinin özellikle yüksek sıcaklıklarda olmak üzere sıcaklıkla değişimi öngör÷lebilir. Zira bu ölçümler bu örnekler için daha farklı bir çok elektriksel özelliğini, yüksek sıcaklıklarda ortaya koymasını muhtemel relaksasyon mekanizmalarını ve ilgili karakteristik parametrelerini elde etmeye imkan vereceği düşün÷lmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] EROL, M., KYM 345 20007-2008 Ders Notları BL2-Seramik Malzemeler, 2, Ankara, 2007
- [2] TOPLAN, N., Seramik Hammaddeler ve Seramik Üretim Yöntemleri, 1-2, 2007
- [3] POSLÜ, K., ÇEBİ, H., Özel Bor Kimyasalları ve Bor Dünyasındaki Gelişmeler, Madencilik Bülteni, 25-28, 2001
- [4] Anorganik Kimya Lab., Akdeniz Üniversitesi, 2005
- [5] SARIİZ, K., NUHOĞLU, İ., Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, Anadolu Üniversitesi, 636, Eskişehir, 1992
- [6] DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri I Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 2001
- [7] İYİBAKANLAR, G., OKTAY, A., Bazı Polimerlerin Dielektrik Özelliklerinin Frekansla Değişimlerinin İncelenmesi, 3, 11-19, 2007
- [8] GÖVER, K., Bazı Endüstriyel Malzemelerin Mikrodalga Dielektrik Sabitinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 1996
- [9] İNAL, M., ARAS, F., Yalıtkan Malzemelerin Dielektrik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Belirlenmesi, 20, 455-462, 2005
- [10] ERDOĞAN, M., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeler, Nobel Yayınları, Ankara, 1997
- [11] SMYTHC.P., Dielectric Behavior and Structure, Princeton University, ABD, 1955
- [12] İZCİ, E., Gördes Yöresi Doğalklinoptilolit Doğal ve İyon Değiştirmiş Formlarının Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2001
- [13] DURLU, T. N., Katıhal Fiziğine Giriş, Ankara Üniversitesi, Ankara, 229-287, 1989

- [14] BUNGET, I., POPESCU, M., Physics of Solid Dielectrics, 207-241, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 1984
- [15] KITTEL, C., Katıhal Fiziğine Giriş, Bekir Karaoğlu, Güven, 69, 1996
- [16] MACDONALD, J.R., JOHNSON, W.B., Fundamentals of Impedance Spectroscopy, 1-12, 2005

ÖZGEÇMİŞ

Zehra ERDEM, 16.05.1980'de İstanbul'da doğdu. 19 Mayıs Üniversitesi-Bafra Meslek Yüksekokulu-Bilgisayar Programını 2002 yılında başarı ile tamamladı. Yine 2003 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 2006 yılında mezun oldu. Aynı yıl içerisinde Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2007 yılında Ankara-Millî Eğitim Bakanlığı'na kamu personeli olarak atandı. Halen kamu görevine ve yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] EROL, M., KYM 345 20007-2008 Ders Notları BL2-Seramik Malzemeler, 2-3, Ankara, 2007-2008
- [2] TOPLAN, N., Seramik Hammaddeler ve Seramik Üretim Yöntemleri, 1-2, Sakarya, 2007
- [3] POSLÜ, K., ÇEBİ, H., Özel Bor Kimyasalları ve Bor Dünyasındaki Gelişmeler, Madencilik Bülteni, 25-28, 2001
- [4] Anorganik Kimya Lab., Akdeniz Üniversitesi, 2005
- [5] SARIİZ, K., NUHOĞLU, İ., Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, Anadolu Üniversitesi, 636, Eskişehir, 1992
- [6] DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri I Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 2001
- [7] ERKAN, Y., Kayaç Oluşturan Önemli Minerallerin Mikroskopta İncelenmeleri, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 1994
- [8] BOZKURT, M. R., Mineral Tayini El Kitabı, Çağlayan Kitapevi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Genel Yayın No:58, 1969
- [9] MACKENZIE, W.S., GUILFORD, C., Atlas of Rock-Forming Minerals In Thin Section, Longman Group Limited, 1980
- [10] İYİBAKANLAR, G., OKTAY, A., Bazı Polimerlerin Dielektrik Özelliklerinin Frekansla Değişimlerinin İncelenmesi, 3, 11-19, 2007
- [11] GÖVER, K., Bazı Endüstriyel Malzemelerin Mikrodalga Dielektrik Sabitinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 1996
- [12] İNAL, M., ARAS, F., Yalıtkan Malzemelerin Dielektrik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Belirlenmesi, 20, 455-462, 2005
- [13] ERDOĞAN, M., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeler, Nobel Yayınları, Ankara, 1997

- [14] SMYTHC.P., Dielectric Behavior and Structure, Princeton University, ABD, 1955
- [15] İZCİ, E., Gördes Yöresi Doğalklinoptilolitinin Doğal ve İyon Değiştirmiş Formlarının Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2001
- [16] DURLU, T. N., Katıhal Fiziğine Giriş, Ankara Üniversitesi, Ankara, 229-287, 1989
- [17] BUNGET, I., POPESCU, M., Physics of Solid Dielectrics, 207-241, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 1984
- [18] KITTEL, C., Katıhal Fiziğine Giriş, Bekir Karaoğlu, Güven, 69, 1996
- [19] MACDONALD, J.R., JOHNSON, W.B., Fundamentals of Impedance Spectroscopy, 1-12, 2005
- [20] SPIEGEL, M. R., İleri Matematik, H.Hilmi Hacısalihoğlu, Nobel, 6-7, 1997

ÖZGEÇMİŞ

Zehra ERDEM, 16.05.1980'de İstanbul'da doğdu. 19 Mayıs Üniversitesi-Bafra Meslek Yüksekokulu-Bilgisayar Programını 2002 yılında başarı ile tamamladı. Yine 2003 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 2006 yılında mezun oldu. Aynı yıl içerisinde Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2007 yılında Ankara-Millî Eğitim Bakanlığı'na kamu personeli olarak atandı. Halen kamu görevine ve yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.