T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OKSİT YAPILI NANOKOMPOZİT SERAMİKLERİN SENTEZİ VE DİELEKTRİK KARAKTERİZASYONU

Alper KAYA

YÜKSEK LİSANS

Fizik Anabilim Dalı

Mart-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

OKSİT YAPILI NANOKOMPOZİT SERAMİKLERİN SENTEZİ VE DİELEKTRİK KARAKTERİZASYONU

Alper KAYA

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Doç. Dr. Mustafa KOYUNCU
2018, 54 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Mustafa KOYUNCU
Dr. Öğretim Üyesi Haziret DURMUŞ
Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Okan ERDAL

Bu çalışmada, oksit yapılı madde olarak bilinen baryum titanyum oksit ($BaTiO_3$) ve onun çinko (Zn) ve bor (B) katkılı türevleri elektro-eğirme metoduyla üretilerek yapısal ve dielektrik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan 3 farklı polimer çözelti elektro-eğirme yöntemi ile nanolif haline dönüştürülmüştür. Üretilen numuneler kalsinasyon işlemine tabi tutularak toz halinde oksit yapılı nanokompozit seramik malzemeler elde edilmiştir. Numunelerin yapısal analizi XRD ile karakterize edilmiştir. Elde edilen piklerin tamamının standart kübik BT perovskit yapıya karşılık geldiği bulunmuştur. Daha sonra, toz halindeki numuneler soğuk presleme yöntemiyle pelet haline getirilmiş ve 1100 °C sıcaklıkta sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme sonrası katkılı ve katkısız bütün numunelerin dielektrik sabitinin reel ve sanal kısımları ile birlikte kayıp tanjantın frekansa bağlı değişimleri 700 Hz-1 MHz frekans aralığında ölçülmüştür. Katkısız numuneye ait ε' değerlerinin hemen hemen frekanstan bağımsız olduğu bulunmuştur. Katkısız numune ile karşılaştırıldığı zaman, Zn katkılı numuneye ait ε' değerleri için düşük frekans bölgesinde daha yüksek, yüksek frekans bölgesinde ise daha düşük değerler bulunmuştur. B katkılı numune için ise tüm frekans aralığındaki değerler katkısız numune değerlerinin altında kalmıştır. Katkısız numuneye ait ε'' değerleri de yine hemen hemen frekanstan bağımsızdır. Düşük frekanslarda katkılama ile birlikte ε'' değerlerinin yaklaşık olarak 8-10 kat arttığı görülmekte iken artan frekansla hızlı bir şekilde azalarak katkısız numune değerine yaklaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Baryum titanat, dielektrik özellikler, elektroeğirme, nonokompozit, perovskit.

ABSTRACT

MS THESIS

SYNTHESIS AND DIELECTRIC CHARACTERIZATION OF OXIDE-BASED NANOCOMPOSITE CERAMICS

Alper KAYA

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF SELCUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN DEPERTMENT OF PHYSICS

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa KOYUNCU

2018, 54 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Mustafa KOYUNCU
Assist. Prof. Dr. Haziret DURMUŞ
Assist. Prof. Dr. Mehmet Okan ERDAL

In this work, barium titanium oxide ($BaTiO_3$), which is known as oxide-structured material, and its zinc (Zn) and boron (B) doped derivatives are produced by electrospinning method and its structural and dielectric properties are investigated. Three different polymer solutions prepared for this purpose were converted into nanofibers by electrospinning. The produced samples were subjected to calcination process to obtain nanocomposite ceramic materials with powdered oxide structure. Structural analysis of the samples were characterized by XRD. It has been found that all of the resulting peaks correspond to the standard cubic BT perovskite structure. Subsequently, powder samples were pelletized by cold pressing and sintered at 1100 °C. The frequency-dependent changes of the lost tangent as well as the real and imaginary parts of the dielectric constant of all samples after sintering were measured in the 700 Hz-1 MHz frequency range. The ε′ values of the undoped sample were almost frequency independent. The ε′ values for the Zn doped sample were higher in the low frequency region while it was lower in the high frequency region when compared to undoped sample. For the B-doped sample, the ε′ values in the whole frequency range were below that of the undoped sample. The ε′′ values of the undoped sample were also almost frequency independent. It was seen that ε′′ values increased about 8-10 times with the doping at addition at low frequencies, but rapidly decreased with increasing frequency, approaching to the value of undoped sample.

Keywords: Barium titanate, dielectric properties, electrospinning, nonocomposite, perovskite.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan, çalışmamda varlığını sürekli yanımda hissettiğim, fikir ve önerileriyle desteğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. Mustafa KOYUNCU'ya, göstermiş oldukları büyük sabırları ve anlayışlarıyla beni asla yalnız bırakmayan aileme ve deneylerin birçok aşamasında desteğini aldığım Necmettin Erbakan Üniversitesinde görevli değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Okan ERDAL'a ve gerek deneysel çalışma gerekse de sonuçların yorumlanması aşamasındaki destekleri için Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde görevli Dr. Öğretim Üyesi Haziret DURMUŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Alper KAYA
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

ÖNSÖZ ..... **iii**

İÇİNDEKİLER ..... **iv**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **vi**

1. GİRİŞ ..... **vi**

2. LİTERATÜR ÖZETİ **3**

3. KONDANSATÖRLER, SIĞA VE DİELEKTRİKLER **6**

3.1. $BaTiO_3$ (BT) 15

4. NANOKOMPOZİT SERAMİKLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ **18**

4.1. Sol – Jel Yöntemi 19
4.2. Elektro - Eğirme Üretim Yöntemi 22

5. DENEYSEL ÇALIŞMA **24**

5.1. Deneylerde Kullanılan Araçlar 25
5.1.1 Yüksek Gerilim Güç Kaynağı 25
5.1.2 Besleme Ünitesi 25
5.1.3 Toplayıcı plaka 26
5.2. Deneylerde Kullanılan Kimyasal Tozlar 27
5.2.1 Baryum asetat *($Ba(OOCCH_3)_2$)* 27
5.2.2 Çinko asetat dihidrat *($Zn(OOCCH_3)_2 . 2H_2O$)* 27
5.2.3 Titanyum (IV) iso- propoxide *($Ti[OCH(CH_3)_2]_4$)* 27
5.2.4 Borik asit *(BH_3O_3)* 27
5.2.5 Polyvinylpyrrolidone *(PVP)* 27
5.2.6 Asetik asit (*CH_3COOH)* 27
5.2.7 Aseton *(CH_3COCH_3)* 28
5.2.8 Etanol *(CH_3CH_2OH)* 28
5.2.9 Polyvinylalcohol *(PVA)* 28
5.3. Stok PVP Çözeltisinin Hazırlanışı 28
5.4. Katkılı Çözeltilerin Hazırlanışı 28
5.5. Elektro Eğirme İşlemi 29
5.6. Kalsinasyon 30
5.7. Presleme 31
5.8. Sinterleme 31
5.9. Kaplama 31
5.10. Dielektrik Ölçümler 32

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 33

6.1. XRD Ölçüm Sonuçları 33
6.2. Dielektrik Ölçüm Sonuçları 35
6.3. Öneriler 38

KAYNAKLAR ……..….40

ÖZGEÇMİŞ 44

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Kg : Kilogram
W : İş
hz : Hertz
$°C$: Santigrat derece
MHz : Mega hertz
ε_r : Bağıl geçirgenlik
δ : Dielektrik kayıp
K : Kelvin
nm : Nanometre
Mn : Mangan
Fe : Demir
Ce : Seryum
kHz : Kilo hertz
ε : Dielektrik sabit
Nb : Niobyum
Cr : Krom
Sb : Antimon
Ta : Tantal
Ho : Holmiyum
C : Sığa
q : elektrik yükü
V : Potansiyel fark (voltaj)
A : Yüzey Alanı
G : Malzeme Kondüktansı
B : Malzeme Suseptansı
D : Kristalite Boyutu
ε_0 : Boş Uzay Geçirgenliği
$\vec{E}$: Elektrik Alan Vektörü
$\vec{P}$: Kutuplanma Vektörü
χ : Dielektrik Alınganlık
s : Saniye
Π : Peltier etkisi
ω : Açısal Frekans
f : Alternatif akım frekansı
I : Akım
dk : Dakika
g : Gram
ml : Mililitre
cm : Santimetre
kV : Kilovolt
λ : X ışını dalgaboyu
β : Pikin yarı yüksekliğindeki genişliği

Kısaltmalar

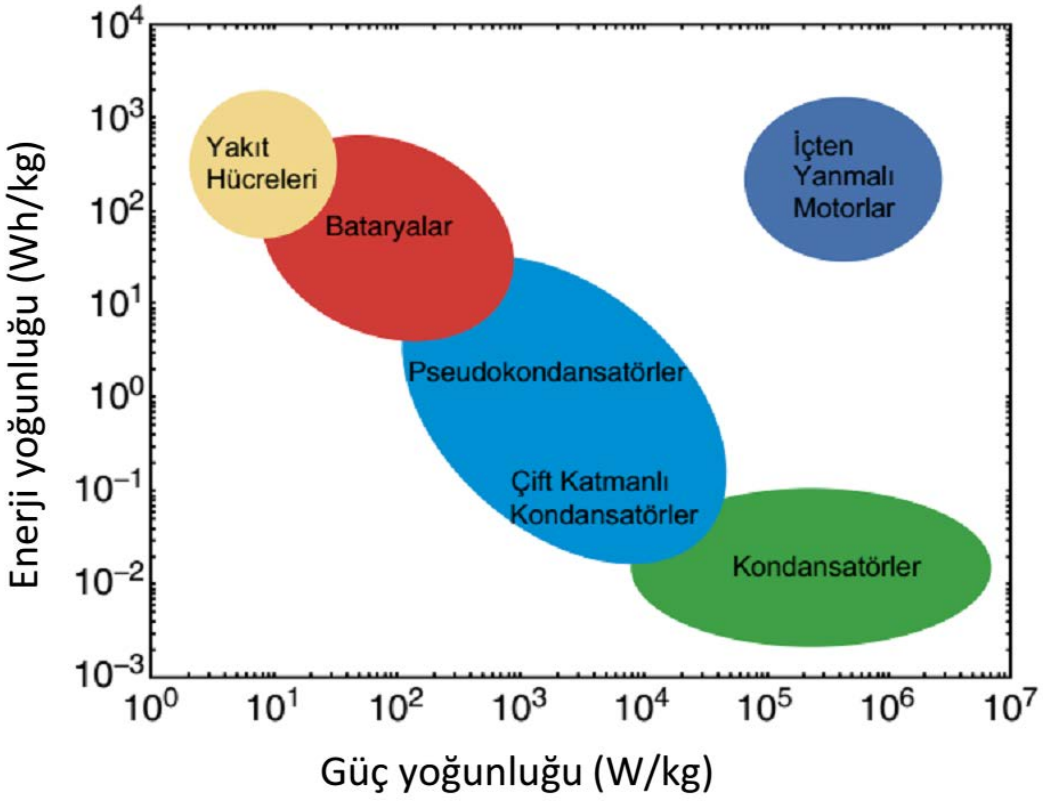
BT	: Baryum Titanat
MLCC	: Çok katmanlı seramik kondansatör
DC	: Doğru Akım Kaynağı
AC	: Alternatif Akım Kaynağı
PVP	: Polyvinylpyrrolidone
PVA	: Polivinil alkol
XRD	: X ışını kırınımı (X-Ray Diffraction)

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi dünyadaki ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel girdilerinden birisi olan enerji ihtiyacı nüfus artışına, şehirleşmeye, sanayileşmeye, teknolojinin yaygınlaşmasına bağlı olarak her geçen gün hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Gerek bu artışın gerekse de fosil tabanlı enerji kaynaklarının çevresel etkileri ve yakın bir gelecekte tükenecek olması yönündeki öngörüler dikkate alındığında, sürdürülebilir ve yenilenebilir çevre dostu enerji kaynaklarının araştırılması ve aynı zamanda enerji kullanım verimliliğinin arttırılması yönündeki araştırılmalar kaçınılmaz olarak hız kazanmıştır. Enerjinin yalnızca üretilmesi değil aynı zamanda ihtiyaç duyulduğu zaman kullanılabilecek şekilde depolanması da oldukça önemlidir. Güneş, rüzgâr, termal vb. teknolojiler yoluyla yenilenebilir enerji üretimlerinde oldukça önemli gelişmeler sağlanmasına rağmen bu tür üretim ve tüketim ihtiyaçlarının kesintili olması nedeniyle piller, yakıt hücreleri, elektro-kimyasal kondansatörler ve dielektrik tabanlı kondansatörler gibi düşük maliyetli ve çevre dostu enerji dönüştürme ve depolama sistemlerinin geliştirilmesi de gün geçtikçe daha önemli hale gelmektedir (Dang ve ark., 2013; Chauhan ve ark., 2015).

Son yıllarda, teknolojik gelişmelere bağlı olarak elektrik enerjisinin depolanmasına yönelik talepler hem taşınabilir hem de statik uygulamalar için hızla artmaktadır. Sadece cep telefonları, bilgisayarlar gibi taşınabilir elektronik cihazlar için değil aynı zamanda taşıma sistemleri, güneş ve rüzgâr enerjisi gibi kaynakların etkin bir şekilde ticarileştirilmesi için de elektrik enerjisinin depolanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut enerji depolama aygıtları arasında yer alan piller, yakıt hücreleri, kondansatörler ve süper kondansatörler farklı enerji depolama ve dönüştürme mekanizmalarına sahip olsalar da aralarında elektrokimyasal benzerlikler vardır (Whittingham, 2008; Hao, 2013). Farklı güç ve enerji yoğunluklarına sahip olan bu sistemlere ilişkin temsili bir çizim Şekil 1.1 de verilmiştir.

Şekle göre, yakıt hücreleri yüksek enerjili sistemler olarak kabul edilebilirken süper kondansatörler (pseudokondansatörler ve çift katmanlı kondansatörler) yüksek güçlü sistemler olarak düşünülür. Piller orta güç ve enerji düzeylerine sahiptir. Şekle göre tek bir elektrokimyasal güç kaynağının içten yanmalı motorların özelliklerini karşılamadığı görülmektedir. Bu nedenle mevcut elektrokimyasal güç sistemlerinin birleştirilmesi ile elde edilecek hibrit sistemlerin içten yanmalı motorlar ile karşılaştırılabilir özelliklere sahip olması ihtimal dahilindedir.



Şekil 1.1. Bataryaların, yakıt hücrelerinin, kondansatörlerin ve içten yanmalı motorların güç yoğunluğu ve enerji yoğunluğunun karşılaştırması (Whittingham, 2008).

Pillerle karşılatırıldığı zaman yüksek güç yoğunluğu ve hızlı şarj / deşarj süresine sahip olan kondansatörler günümüzde, elektrikli araçlar, dijital iletişim cihazları, cep telefonları gibi pek çok alanda enerji depolama aygıtları olarak kullanılmaktadırlar. Her ne kadar geçmiş dönemlerde disk ve silindirik şekilli tek katmanlı seramik kondansatörler yaygın olarak kullanılmış olsalar da son yıllarda sahip olduğu küçük boyut, yüksek güvenilirlik, yüksek sığa gibi özelliklerinden dolayı çok katmanlı seramik kondansatörlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Kishi ve ark., 2003). Bilindiği üzere kondansatörler, elektrik enerjisini uygulanan dış elektrik alan etkisi altında dielektrik malzemenin kutuplanması neticesinde depolarlar. Dolayısıyla yüksek enerji depolama yoğunluğu, dielektrik malzemenin yüksek kutuplanma değerine (yüksek dielektrik sabit) sahip olmasının yanısıra yüksek dielektrik bozulma şiddeti de gerektirir (Su, 2015).

Yüksek dielektrik sabitli seramik malzemeler kondansatörler, termistörler, sensörler, aktüatörler, güç iletim cihazları, yüksek enerji depolama aygıtları gibi geniş uygulamaları nedeniyle elektronik ve elektro-optik endüstrileri için oldukça önemlidir.

Yüksek dielektrik sabitli malzemelerin çoğu, çevre kirliliğine yol açan ve insan sağlığına zararlı olan kurşun içermektedir. Bu nedenle, bu tür uygulamalar için kurşun içerenlerle karşılaştırılabilir veya daha üstün dielektrik özelliklere sahip kurşun içermeyen bileşiklerin araştırılmasına ihtiyaç vardır. Baryum titanat ($BaTiO_3$), çok katmanlı seramik (MLCC) kondansatörlerde yaygın olarak kullanılan elektro-seramik malzemelerden biridir. Ayrıca baryum titanat tabanlı malzemeler, sahip oldukları mükemmel piezoelektrik ve ferroelektrik özellikleri nedeniyle elektronik ve elektro-optik endüstrileri için de önemli malzemeler arasında yer alırlar (Shi ve ark., 2008; Kavian ve Saidi, 2009; Joshi ve ark., 2012; Gattu ve ark., 2015).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Baryum titanat, sahip olduğu oldukça farklı özellikleri nedeniyle keşfedilliği ilk günden itibaren hem teknolojik hem de bilimsel alanda oldukça yoğun ilgi gören malzemeler arasında ön plana çıkmaktadır. Baryum titanatın teknolojideki en yaygın uygulama alanı olarak çok katmanlı seramik kondansatörlerde (MLCC) dielektrik katman olarak kullanılması gösterilebilir. Bununla birlikte baryum titanatın dielektrik özelliklerinin tane boyutu, kristal yapısı, saflık, sinterleme yoğunluğu gibi birçok fiziksel özellikten etkilendiği bilinen bir durumdur (Ying ve Hsieh, 2007). Ayrıca, düşük dielektrik sabit, zayıf dielektrik sıcaklık kararlılığı ve yüksek sinteleme sıcaklığına sahip olması nedeniyle saf baryum titanat üretimi uygulama alanı oldukça sınırlıdır (Cui ve ark., 2006). Ancak çeşitli katkı maddeleri ve üretim teknikleri aracılığı ile elektriksel ve dielektrik özellikleri modifiye edilerek çeşitli uygulamalar için oldukça ilginç özellikler elde edilebilmektedir (Cui ve ark., 2007).

Son yıllarda, özellikle cep telefonları ve kişisel bilgisayarlar gibi mobil elektronik cihazlardaki giderek artan minyatürleştirme eğilimi daha küçük boyuta ve daha yüksek kapasiteye sahip yüksek performanslı çok katmanlı seramik kondansatöre olan talebi de doğal olarak artırmaktadır. Bu yüksek performanslı çok katmanlı seramik kondansatörlerin ticarileştirilmesi ise baryum titanat nanotozlar (yaklaşık 200 nm) aracılığı ile gerçekleştirilmiştir (Ashiri, 2012).

Netice itibariyle teknolojik alanın vazgeçilmez malzemeleri arasında yer alan baryum titanatın bilimsel alanda gördüğü ilgi de artarak devam etmektedir. Çeşitli yöntemler kullanılarak nihai kullanım amacına uygun özelliklere sahip baryum titanat üretimi, karakterizasyonu, yapısal, optiksel, elektriksel ve dielektrik vb. özelliklerin

incelendiği çok sayıda çalışma mevcuttur. Son zamanlarda, gerek özelliklerinin gerekse de potansiyel uygulamalarının artırılması amacıyla nanoyapılı baryum titanat üzerinde yoğunlaşma olduğu görülmektedir. Baryum titanat nanoparçacıkların dielektrik özellikleri sentezleme yöntemine büyük ölçüde bağımlılık gösterir. Geleneksel olarak katı-hal reaksiyon yöntemiyle üretilen baryum titanatın, nanoboyutlu ve saf toz ihtiyacına cevap verememesi nedeniyle son dönemlerde solvotermal, erimiş tuz, sol-jel, hidrotermal, homojen çökeltme, polimerik prekursor gibi alternatif yöntemler geliştirilmiştir (Prado ve ark., 2016).

Park ve ark., solvotermal metod kullanarak üretmiş oldukları ortalama 20 nm parçacık boyutuna sahip kübik ve tetragonal fazdaki BT tozların dielektrik özelliklerini $10^1 - 10^6$ Hz frekans ve oda sıcaklığı ile 300 °C sıcaklık aralığında inceledikleri çalışmada baryum titanat nanoparçacıkların 60 °C civarında ferroelektrik faz geçişine uğradığını da göstermişlerdir (Park, 2006). Nanokristalli baryum titanatın modifiye edilmiş yanma prosesi aracılığıyla üretildiği çalışmada, sinterlenen peletlerin 1 MHz frekans ve oda sıcaklığında ölçülen dielektrik sabit ve kayıp faktörü için sırasıyla 1223 ve 3.5×10^{-3} değerleri elde edilmiştir (George ve ark., 2009). Yüksek enerjili toplu öğütme yöntemiyle üretilen ve hem geleneksel hem de mikrodalga sinterlemesine tabi tutulan baryum titanat nanoparçacıkların dielektrik özelliklerinin incelendiği çalışmada, mikrodalga ile sinterlenen örneğin oldukça yüksek dielektrik sabit ($\varepsilon_r = 4445$) ve düşük dielektrik kayıp ($\delta = 4445$) gösterdiği bulunmuştur (Vasudevan ve ark., 2014). Sitko ve ark., Mn ve Fe katkısının baryum titanatın mikroyapı ve dielektrik özellikleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada katı-hal yöntemini kullanmışlardır. 0.1 Hz-10 MHz frekans ve 150-600 K sıcaklık aralığında yaptıkları ölçümler neticesinde geçiş metal iyonlarının elektrik geçirgenliğin reel kısmı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Sitko ve ark., 2013). Sol-jel ve hidrotermal metotlarla nano-ölçekli baryum titanat tozların sentezlendiği çalışmada Joshi ve ark., her iki yöntemle sentezlenen tozların hemen hemen aynı kristal boyuta (34 ± 2 nm) sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Hidrotermal ve sol-jel metotları ile üretilen numunelerin dielektrik sabitlerinin sırasıyla 4000 ve 1600, dielektrik kayıp faktörünün ise her iki yöntem için yaklaşık olarak aynı olduğu rapor edilmiştir (Joshi ve ark., 2012).

Standart katı-hal reaksiyon metodu kullanılarak üretilen ve 1473 K de sinterlenen saf ve Ce katkılı baryum titanatın yapısal ve dielektrik özelliklerinin incelendiği çalışmada, dieletrik sabitin frekanstaki artışla azaldığı, katkı miktarındaki

artışla artığı gözlenmiştir (Yasmin ve ark., 2011). Saf ve stronsiyum katkılı baryum titanat nanoparçacıkların sol-jel yanma metoduyla hazırlandığı ve yine yapısal ve dielektrik özelliklerin incelendiği diğer bir çalışmada ise ortalama kristalite boyutunun $\sim 19 - 23$ nm aralığında olduğu bulunmuştur. Oda sıcaklığında 10 kHz-1 MHz frekans aralığında ölçülen dielektrik özelliğin düşük frekanslarda daha yüksek olduğu bulunmuştur. Dielektrik sabit ε' nun frekansa ve bileşime kuvvetli bağımlılık gösterdiği gözlenmiştir (Kshirsagar, 2017). Saf ve Nb katkılı baryum titanatın dielektrik özellikleri üzerinde sinterleme zamanının etkisinin incelendiği çalışmada, dielektrik sabitin Nb katkısı ve sinterleme zamanındaki artışla önemli ölçüde arttığı ve en iyi değerin 1275 °C de 5 saat sinterlenen Nb katkılı durumda elde edildiği bildirilmiştir. Dielektrik kaybın artan frekansla artığı, rezonans frekansında maksimuma ulaştığı görülmüştür. Tüm sinterleme zamanları için Nb katkılı baryum titanatın saf baryum titanattan daha yüksek kayıp gösterdiği bulunmuştur (Rahman ve ark., 2016). $BaTi_{1-2x}Cr_xSb_xO_3$ ($x = 0 - 0.2$) bileşimine göre Cr ve Sb katkılı baryum titanatın geleneksel katı-hal reaksiyon yöntemiyle üretildiği ve dielektrik karakteristiklerinin incelendiği çalışmada Li ve ark., dielektrik sabitin artan katkı ile önemli oranda azaldığını, $x \geq 0.075$ için malzemenin oda sıcaklığında 30 ve 60 aralığında geçirgenliğe sahip dielektrik yalıtkan olduğunu birdirmişlerdir (Li ve ark., 2016).

Farklı oranlarda Nb ve Ta katkılı baryum titanatın dielektrik özellikleri ve sinterleme sıcaklığı arasındaki korelasyonun incelendiği çalışmada örnekler 1250-1350 °C sıcaklık aralığında ve hava ortamında 4 saat süreyle sinterlenmiştir. Az miktarda yapılan katkının dielektrik özellikleri iyileştirdiği, Curie sıcaklığı üzerindeki tüm sıcaklıklarda dielektrik sabitin Curie-Weiss yasasına uyduğu bulunmuştur (Kim ve ark., 2009). Ağırlıkça % 0.01-1.0 aralığında değişen Ho katkılanmış baryum titanat seramiklerin mikroyapı ve dielektrik karakterizasyonunun incelendiği çalışmada örnekler geleneksel katı-hal reaksiyon yöntemiyle hazırlanmış ve 1380 °C de dört saat sinterlenmiştir. Dielektrik ölçümler farklı frekanslarda sıcaklığın fonksiyonu olarak alınmıştır. Oda sıcaklığındaki en yüksek dielektrik geçirgenliğin ($\varepsilon_r = 2160$), ağırlıkça % 0.01 Ho içeren örneklerde elde edildiği rapor edilmiştir (Marjanovic ve ark., 2014). Kuruva ve ark., mikrodalga hidrotermal yöntemle sentezledikleri nanoboyutlu baryum titanat tozların tane boyutu ve dielektrik özelliklerini incelemişlerdir (Kuruva ve ark., 2013). Sentezlenen numunelerin dielektrik sabit ve dielektrik kaybını oda sıcaklığında 100 Hz-1 MHz frekans aralığında ölçmüşlerdir. Frekans artarken dielektrik sabitin

azaldığını yüksek frekanslarda ise sabit kaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca sinterleme sıcaklığı artarken dielektrik sabitin de artarak 63 ten 90 a yükseldiğini belirtmişlerdir. Dielektrik kaybın ise düşük frekanslarda arttığı yüksek sıcaklıklarda azaldığı kaydedilmiştir. Toz boyutunun dielektrik özellikler üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, yaklaşık 40 nm büyüklüğe sahip nanotozlardan ve yaklaşık 2 μm büyüklüğe sahip mikrotozlardan üretilen baryum titanat seramikler üzerinde ölçümler yapılmıştır. Nanoboyutlu tozların dielektrik sabiti için yaklaşık 5000, mikroboyutlu tozların dielektrik sabiti için 2200 değerleri elde edilmiştir (Wu ve ark., 2009).

3. KONDANSATÖRLER, SIĞA VE DİELEKTRİKLER

Hemen hemen her elektrik ve elektronik aygıtta elektrik enerjisi depolamak için kullanılan en uygun ve en ekonomik pasif devre elemanları olan kondansatörler, hızlı elektrik enerjisi depolama ve deşarj kabiliyeti nedeniyle oldukça yüksek güç yoğunluğuna ulaşabilmektedir. En basit tanımlama ile iki iletken elektrot arasında boşluk veya dielektrik madde bulunması durumunda oluşturulan yapılara kondansatör adı verilir. Bir kondansatörün performansı elektrotları arasında bulunan dielektrik (ya da yalıtkan) maddenin karakteristikleri tarafından kontrol edilir. Elektrotlara doğru akım kaynağı (d.c) kullanılarak uygulanan potansiyel fark (voltaj) neticesinde metal elektrotlar üzerinde yük birikmesi meydana gelir. Bir kondansatörün karakteristiğini veren ve sığa olarak adlandırılan büyüklük

$$C_0 = \frac{q}{V} \tag{1}$$

ile tanımlanır. Burada C (Farad) sığa, q (Coulomb) toplam yük, V (Volt) ise voltajdır. Sığa kondansatörün geometrisine bağlı olan bir büyüklüktür. Elektrotları A yüzey alanına sahip düzlemsel plakalardan oluşan ve elektrotları arasında d kalınlığında boşluk bulunan paralel plakalı bir kondansatörün sığası

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \tag{2}$$

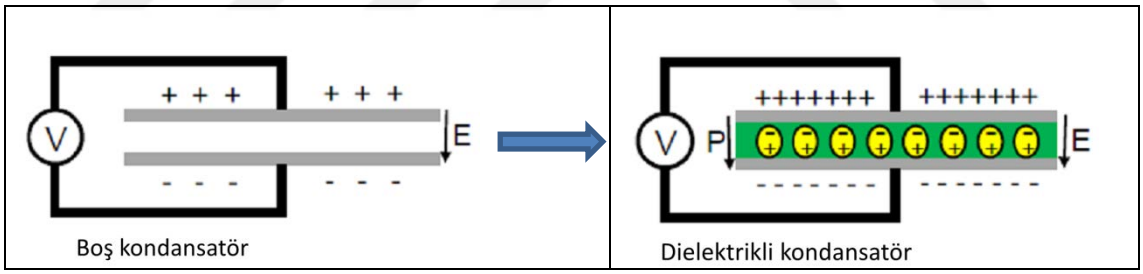
ile verilir. Burada ε_0, boş uzayın geçirgenliği olup değeri $8{,}85\text{x}\,10^{-12}$ F/m'dir. Eğer kondansatörün elektrotları arasına geçirgenliği ε olan bir dielektrik madde yerleştirilirse sığa

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \tag{3}$$

olacaktır. Dolayısıyla paralel plakalı boş ve dielektrikli kondansatörlerin sığaları arasında

$$C = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} C_0 = \varepsilon_r C_0 \tag{4}$$

ile verilen bir ilişki vardır. Buradaki ε_r, dielektrik sabit ya da bağıl geçirgenlik olarak adlandırılır ve malzemenin yük depolama ya da kutuplanabilme kabiliyetinin bir göstergesidir. Dielektrik sabit, sıcaklıktan ve uygulanan elektrik alanın frekansından ya da malzeme ile etkileşime giren diğer elektromanyetik alanların frekansından etkilenir. Düşük dielektrik sabite sahip malzemeler elektrik yalıtım uygulamalarında, yüksek dielektrik sabite sahip malzemeler ise kondansatörlerde yük depolamak amacıyla yaygın olarak kullanılırlar. Şekil 3.1 de şekil boş ve dielektrikli kondansatörlere ait temsili bir çizimi göstermektedir.



Şekil. 3.1. Temsili boş ve dielektrikli kondansatörler.

Elektrotlara uygulanan voltaj neticesinde dielektrik madde içerisinde dış elektrik alanı azaltacak yönde bir kutuplanma meydana gelir, yani indüklenmiş elektrik alan oluşur. Dielektrik maddenin her noktasındaki kutuplanma, dış alan ile dielektriğin içinde ortaya çıkan indüklenmiş alanın bileşkesi olan net elektrik alan ile aynı yönde ve doğru orantılıdır. Lineer ve homojen izotropik bir dielektrik madde için

$$\vec{P} = \varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)\vec{E} = \varepsilon_0 \chi \vec{E} \tag{5}$$

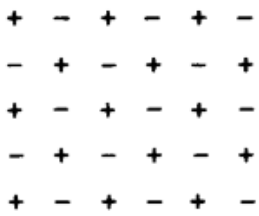
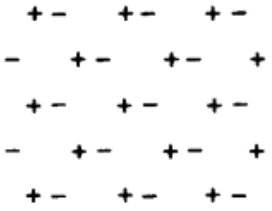
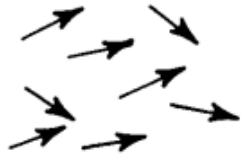
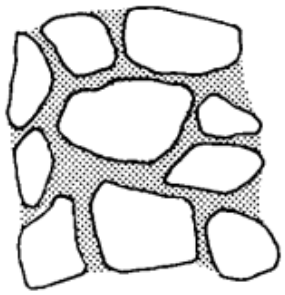
ile verilir. Burada $\vec{P}$ kutuplanma vektörü, $\vec{E}$ elektrik alan vektörü, $\chi = (\varepsilon_r - 1)$ ise dielektriğin dipol oluşturma kabiliyetini tanımlayan birimsiz bir sabit olan dielektrik alınganlıktır.

Dielektrik malzemeler iyi elektriksel yalıtkandırlar yani yüksek elektrik dirence sahiptirler ancak uygulanan bir elektrik alandan etkilenirler. Uygulanan alan, malzemedeki pozitif ve negatif yüklerin yeniden düzenlenmesi veya az miktarda yer değiştirmesi neticesinde her biri $\vec{p}$ momente sahip elektrik dipollerinin oluşmasına neden olur. α, dipolün kutuplanabilirliği veya birim alan başına ortalama dipol momenti temsil etmek üzere dipol moment ile dielektrik içinde meydana gelen indüklenmiş elektrik alan arasında $\vec{p} = \alpha\vec{E}_{ind}$ ilişkisi yazılabilir. Birim hacminde N adet atom/molekül bulunan dielektrik bir madde için toplam dipol moment ya da kutuplanma için $\vec{P} = N\vec{p} = N\alpha\vec{E}_{ind}$ yazılabilecektir. α, dipol momenti temsil eden bir nicelik olduğundan büyüklüğü de atomlar ve moleküller tarafından oluşturulan elektriksel dipollerin büyüklüğüne bağlı olacaktır. Dolayısıyla net kutuplanma, α nın büyüklüğüne tamamının ya da bir kısmının katkı yaptığı çeşitli kutuplanma mekanizmalarının bileşkesi olarak ortaya çıkacaktır.

Atomlar ya da moleküllerden oluşan bir dielektrik madde, elektronik-optik, iyonik-atomik, dipolar-yönelimsel ve arayüz-uzay yükü kutuplanmaları olmak üzere dört temel elektrik kutuplanma mekanizmasından bir ya da daha fazlasına sahip olabilir (Kao, 2004). Elektronik kutuplanma, uygulanan dış elektrik alan etkisi ile atom veya moleküllerin elektron bulutlarının simetrik dağılımlarının bozulmasından ve atom çekirdeğinin denge konumundan atomik ölçekte yer değiştirmesinden kaynaklanır. Mor ötesi ve görünür bölge frekanslarında ($\sim 10^{15}$ Hz) meydana gelen bu kutuplanma türü malzemenin sıcaklığından bağımsız olup tüm dielektrik maddelerde görülebilir ve elektron kütlesinin çok küçük olması nedeniyle 10^{-15} s gibi çok kısa bir sürede gerçekleşir. İyonik kutuplanma, iyonik örgüye sahip malzemelerde görülen bu kutuplanma türünde anyon ve katyonların uygulanan elektrik alan etkisinde alan doğrultusunda yapmış oldukları küçük miktardaki yer değiştirmelerden kaynaklanır. Bu ise normal örgü titreşimlerinin bozulması anlamına geldiğinden bazen titreşim kutuplanması olarak da adlandırılır. Kızılötesi ve yakın frekans bölgesinde ($\sim 10^{12} - 10^{13}$Hz) meydana gelir ve malzemenin sıcaklığından önemli ölçüde etkilenir. Ferroelektrik ve piezoelektrik etkileri ortaya çıkaran bu kutuplanma mekanizması yaklaşık $10^{-13} - 10^{-14}$ s aralığında gerçekleşir. *Dipolar kutuplanma*, su gibi kalıcı

dipol momente sahip malzemelerde uygulanan elektrik alanın dipolleri alan yönünde yönlendirmesi sonucunda ortaya çıkar. *Yönelimsel kutuplanma* olarak da adlandırılan bu kutuplanmadaki net etki atomik kutuplanmadan daha büyüktür çünkü moleküler dipoller atomik dipollerden daha büyüktür. Bu etki dielektrik sabitinin uygulanan sıcaklık ile ters orantılı olmasına neden olur. Bu kutuplanma türü radyo frekans bölgesinde meydana gelir ve $10^{-3} - 10^{-9}$ s aralığında gözlenir. *Arayüz (uzay yük) kutuplanması* ise bir arayüzde veya sınırda alan etkisiyle yük birikimi olduğunda gerçekleşir. Elektronik, atomik ve dipolar kutuplanmalar homojen maddelerde gözlenirken, uzay yükü kutuplanması hetorejen maddelerde, amorf ve polikristalli katılarda ya da kusur içeren maddelerde meydana gelir. Bu tür maddelerde serbest olarak hareket edebilen yük taşıyıcıları uygulanan düşük frekanslı elektrik alan etkisiyle malzeme içerisinde belli bir uzaklığa kadar yer değiştirebilirler. Yer değiştiren bu yüklerin hareketi engellendiği zaman ara yüz kutuplanması meydana gelir. Malzemenin ara yüzlerinde biriken bu yükler nedeniyle madde içindeki elektrik alan artacağından malzemenin sığası da artmış olur (Pandita ve ark., 2001). Arayüz kutuplanması, diğer kutuplanma türlerinden daha uzun bir sürede gerçekleştiğinden düşük ve orta frekans bölgesinde etkilidir ve genelde radyo frekans üstü bölgede görülür. Bu kutuplanma türü Maxwell-Wagner kutuplanması olarak ta adlandırılır. Şekil 3.2 de elektrik alan etkisinde meydana gelen kutuplanma mekanizmaları görülmektedir.

Dielektrik maddeler, elektriksel kutuplanma mekanizmalarına bağlı olarak polar ve polar olmayan olmak üzere genellikle iki gruba ayrılırlar. Eğer maddenin atom veya moleküllerinin pozitif ve negatif yük merkezleri çakışık değilse bir dış elektrik alanın yokluğunda bile kalıcı dipol momente sahip olabilirler. Kalıcı dipol momente sahip moleküllerden oluşan dielektrik maddelere polar dielektrikler adı verilir. İyonik kristaller, parafinler ve benzen gibi malzemeler bu grup içerisinde yer alırlar. Dış elektrik alanın yokluğunda net dipol momente sahip olmayan dielektrik maddeler yani pozitif ve negatif yük merkezleri çakışık olan atom veya moleküllerden oluşan dielektrik maddeler polar olmayan dielektrikler olarak sınıflandırılırlar. Silikon, elmas, katı, sıvı veya gaz fazdaki asal elementler bu grubun üyesidirler.

		$E \longrightarrow$
Kutuplanma süreçleri	Kutuplanmamış durum ($\boldsymbol{E} = 0$)	Kutuplanmış durum ($\boldsymbol{E} \neq 0$)
Elektronik		
İyonik (Atomik)		
Dipolar (Yönelimsel)		
Ara yüz (uzay yükü)		

Şekil 3.2. Elektrik alan etkisinde farklı kutuplanma mekanizmaları (Moulson, 2003).

Bir maddenin dielektrik sabiti

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{r,el} + \varepsilon_{r,ion} + \varepsilon_{r,dip} + \varepsilon_{r,sc} \tag{6}$$

şeklinde tüm kutuplanma mekanizmalarından gelen katkıların toplamından ibarettir. Genel olarak, sadece elektronik kutuplanmaya sahip kovalent bağlı malzemeler çok düşük ($\varepsilon_r < 10$), elektronik ve iyonik kutuplanma mekanizmalarına sahip iyonik bağlı malzemeler $10 - 40$ aralığında, dipolar veya uzay yük kutuplanması katkılarına sahip malzemeler ise oldukça yüksek ($> 10^5$) geçirgenliklere sahiptir. ε_r nin büyüklüğü aynı zamanda elektronik yapıya, örgünün sertliğine, yoğunluğa ve kusurlara bağlıdır (Aygun, 2009).

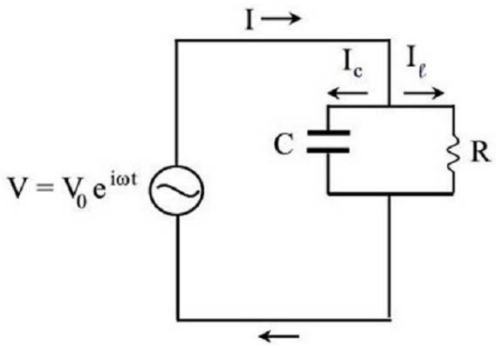
Eğer plakaları arasında boşluk bulunan paralel plakalı bir kondansatörün elektrotları Şekil 3.3 te verildiği gibi alternatif akım (AC) kaynağına bağlanacak olursa voltaj

$$V = V_0 e^{i\omega t} \tag{7}$$

ile verilecektir. Burada V_0, maksimum voltaj, $\omega = 2\pi f$ ile verilen açısal frekans, f alternatif akımın frekansıdır. Kondansatörde depo edilen yük ise

$$q = C_0 V = C_0 V_0 e^{i\omega t} \tag{8}$$

halini alacaktır.



Şekil 3.3. Kondansatör, direnç ve AC voltaj devresi (O'Neal, 2014).

Kondansatörün yüklenmesi durumuna karşılık gelen akım

$$I_c = \frac{dq}{dt} = i\omega C_0 V \tag{9}$$

şeklinde yazılabilecektir. Yükleme akımı ile uygulanan voltaj arasında 90^o faz farkı vardır.

Eğer plakalar arasında ε_r dielektrik sabitli bir malzeme yerleştirilecek olursa, kondansatörün sığasının ε_r çarpanı kadar artmasına ilave olarak kondansatörde depolanan yük ve yüklenme akımında da artış olacaktır. Dolayısıyla yük ve yüklenme akımı için

$$q = CV = \varepsilon_r C_0 V_0 e^{i\omega t} \tag{10}$$

$$I_c = \frac{dq}{dt} = i\omega\varepsilon_r C_0 V \tag{11}$$

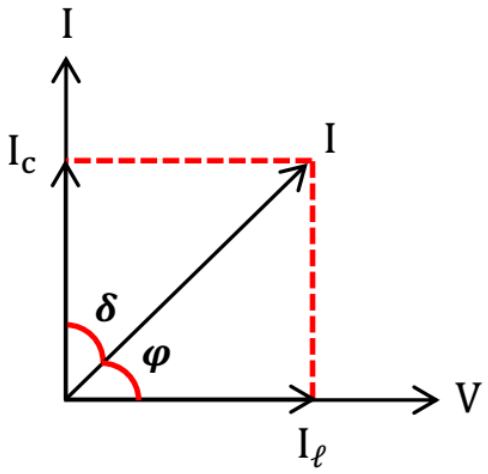
yazılabilecektir. Mükemmel yalıtkan olan bir dielektrik madde olmadığından, dielektrikte kaybedilen gücü veya enerji kaybını temsil eden ilave bir AC iletim akımı (I_ℓ, kayıp akımı olarak da adlandırılır) ortaya çıkacaktır. Dolayısıyla kondansatördeki toplam akım

$$I = I_c + I_\ell \tag{12}$$

şeklinde ifade edilebilecektir. Kayıplar nedeniyle akım ve gerilim arasında Şekil 3.4 de görüldüğü gibi bir φ faz açısı meydana gelir ve bu faz açısını 90° ye tamamlayan açıya kayıp açısı $\delta = 90° - \varphi$ veya kayıp tanjant adı verilir ve

$$\tan\delta = \frac{|I_\ell|}{|I_c|} \tag{13}$$

ile verilir. Kayıp tanjant aynı zamanda güç kaybı katsayısı olarak da adlandırılır ve çevrim başına enerji kaybını (genellikle ısı formunda) temsil eder.



Şekil 3.4. Tipik bir kondansatör için kayıp tanjant (O'Neal, 2014).

Şekil 3.3 de verilen bir direnç ve bir kondansatörün paralel bağlanması durumunda

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\frac{1}{\omega R} = \varepsilon' - i\varepsilon'' \quad (14)$$

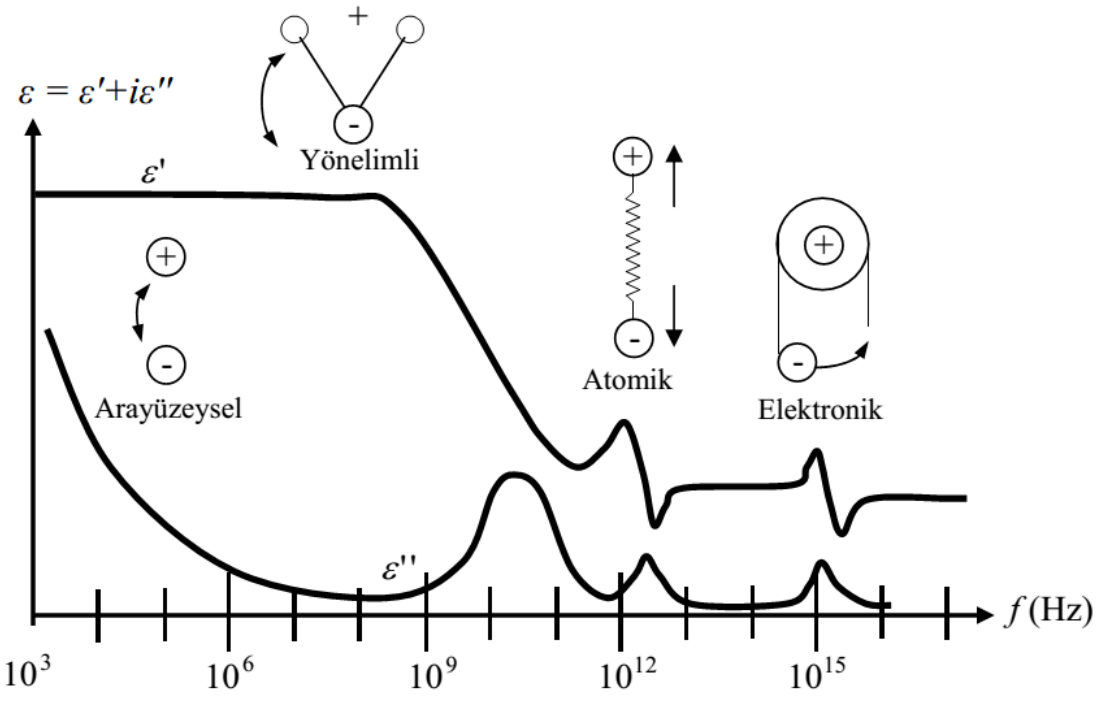
ile verilen kompleks geçirgenlik tanımlaması yapılabilir. Geçirgenliğin reel (gerçel) kısmı olan $\varepsilon_r = \varepsilon' = \varepsilon/\varepsilon_0$, malzeme içerisinde depolanan enerji ile ilişkili olup tüm katı ve sıvı maddeler için 1 den büyüktür. Geçirgenliğin sanal kısmı olan ε'' ise malzemede ısı yoluyla kaybedilen enerji ile ilişkilidir. Daima sıfırdan büyük olan ε'' genellikle ε' den daha küçüktür. Yükleme ve kayıp akımları kompleks alınganlık cinsinden ifade edilebilir.

$$I = i\omega(\varepsilon' - \varepsilon'')V = i\omega C_0\varepsilon' V + i\omega C_0\varepsilon'' V = I_c + I_\ell \quad (15)$$

Bu tanımlamaya göre kayıp tanjant reel ve sanal geçirgenlik cinsinden

$$\tan\delta = \frac{|I_\ell|}{|I_c|} = \frac{\omega C_0\varepsilon'' V}{\omega C_0\varepsilon' V} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (16)$$

Kaybedilen enerjinin kazanılan enerjiye oranı olarak ifade edilebilir. Kondansatörün bir AC alanı altında yüklenmesi ve boşalması arasındaki faz farkı (veya alınganlığın reel ve sanal bileşenleri arasındaki faz açısı) mükemmel bir yalıtkan için 90°, mükemmel bir iletken için ise 0° dir. Gerçek kondansatörler bu iki sınır değer arasındaki faz açısına sahiptirler. Sığa kondansatörde depo edilen enerjiyi tanımlarken kayıp faktörü (kayıp tanjant) kondansatörün kullanım verimliliğini tanımlar. Geçirgenlik veya dielektrik sabit, ısıdan ve uygulanan frekanstan etkilenir. Isı ve frekans malzeme içerisindeki dipolleri etkiler ve aynı zamanda yük taşıyıcıların mobilitesini artırır (Osman, 2011). Daha önce açıklanan dört kutuplanma mekanizması frekansın fonksiyonu olarak Şekil 3.5 de verilmiştir.

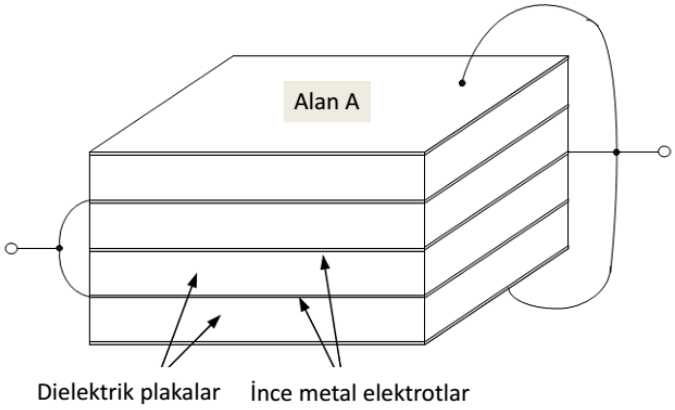


Şekil 3.5. Dielektrik geçirgenlik spektrumu. Geçirgenliğin gerçek ve sanal kısımları ile birlikte farklı süreçler de tasvir edilmiştir (Deryal, 2011).

Seramik kondansatörleri tek katmanlı ve çok katmanlı olmak üzere iki tipte ele almak mümkündür. Tek katmanlı kondansatör (paralel plakalı kondansatör) yukarıda bahsettiğimiz şekilde iki paralel plaka arasına dielektrik madde yerleştirilmesi sonucunda ortaya çıkan yapıdır. Dielektrik katmanın oldukça ince olması nedeniyle tek katmanlı kondansatörlerin sığası nispeten düşüktür. Kondansatörün fiziksel boyutu sığa değerinde büyük etkiye sahip olduğundan Şekil 3.6 da şematik gösterimi verilen çok katmanlı seramik bir kondansatörü (MLCC) oluşturmak için metal elektrotlar arasına çok sayıda dielektrik katman yerleştirilebilir. Çok katmanlı bir kondansatör, tek katmanlı bir kondansatörden daha yüksek sığaya sahiptir çünkü çok sayıda ince dielektrik katman kullanılarak üretilebilir. n kondansatördeki katman sayısını göstermek üzere çok katmanlı bir kondansatörün sığası $(n-1)$ çarpanı kadar artırılabilir ve dolayısıyla çok katmanlı bir kondansatörün sığası

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r (n-1) \frac{A}{d} \tag{17}$$

şeklinde ifade edilebilir (Osman, 2011) .



Şekil 3.6. Çok katmanlı tipik bir kondansatörün şematik gösterimi (Osman, 2011).

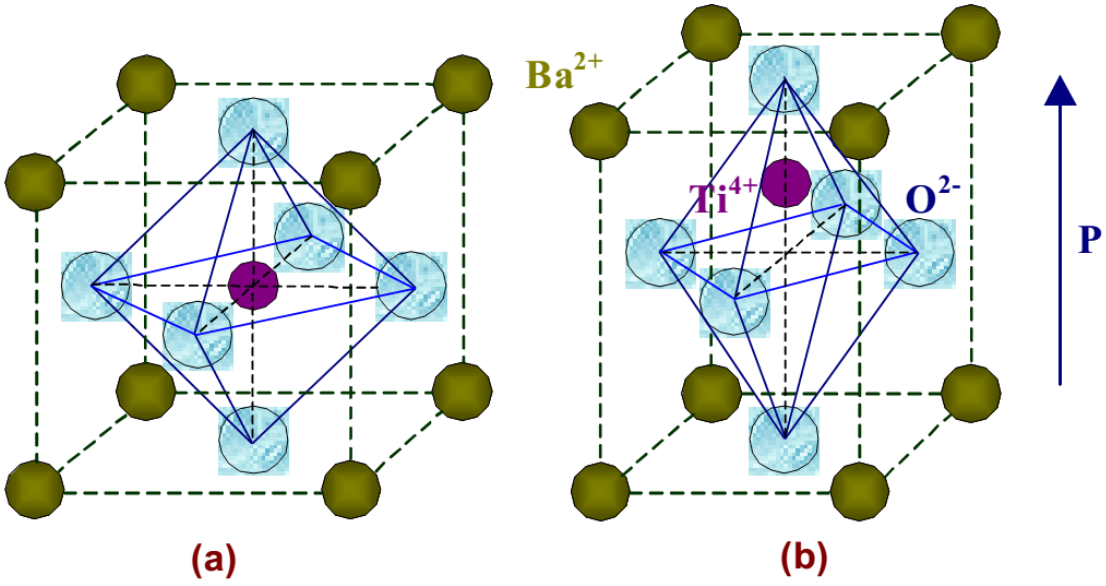
3.1. $BaTiO_3$ (BT)

Sahip olduğu oldukça ilginç özellikleri nedeniyle baryum titanat, ikinci dünya savaşı sırasındaki keşfinden beri yani yaklaşık olarak 70 yılı aşkın süredir bilimsel ve teknolojik alanlarda oldukça yoğun ilgi gören malzemelerden biridir (Fuentes ve ark., 2010; Gomes ve ark., 2016). Bu ilginin başlıca sebepleri arasında, kimyasal ve mekaniksel olarak çok kararlı olması, oda sıcaklığı ve üzerinde ferroelektrik özellik göstermesi, kolay bir şekilde üretilerek çok kristalli seramik örnek formunda kullanılabilmesi gösterilebilir (Stojanovic ve ark., 2002; Vijatovic ve ark., 2008a). Sahip olduğu yüksek dielektrik sabit ve düşük dielektrik kayıp nedeniyle, seramik kondansatörlerin, termistörlerin, transdüserlerin ve çok sayıda elektro-optik cihazın üretiminde yaygın kullanılan seramik malzemelerden biridir (Leach ve ark., 1997; Pithan ve ark., 2005; Yoon, 2006; Ertug, 2013). Piezoelektrik ve pyroelektrik özellikler gösteren BT, sonarlar, pasif infrared dedektörleri ve kemik implant malzemeleri olarak kullanılan biyokompozitler için de uygun bir malzemedir (Yoo ve ark., 1999; Vijatovic ve ark., 2008b; Ertug, 2013). Ayrıca Curie sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda direncinin sıcaklık ile artması nedeniyle sıcaklık kontrolü ve sıcaklık algılama ürünlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Stojanovic, 2002).

$BaTiO_3$, ideal olarak kristal yapısı (ABX_3) ile verilen perovskit ailesinin bir üyesidir. Adını ($CaTiO_3$) mineralinden alan genel perovskit kristal yapıdaki X çoğunlukla oksijendir fakat F^-, Cl^- gibi iyonlarda olasıdır (Pradhan, 2013). Bu aile içinde, kimyasal formülü ABO_3 ile verilen oksit perovskit grubu muhtemelen en fazla incelenen oksit grubudur. Perovskit oksidin kristal yapısı Şekil 3.7 de gösterildiği gibi, köşelerinde büyük katyon (A, genellikle tek değerlikli, iki değerlikli veya üç değerlikli

bir metal; Na^{+}, Ba^{2+}, Bi^{3+}), ortasında küçük katyon (B, genelde beş değerlikli, dört değerlikli veya üç değerlikli bir element; Ti^{4+}, Nb^{5+}) ve yüz merkezlerinde oksijenin (O^{2-}) bulunduğu basit kübik hücre olarak tasarlamak mümkündür (Pradhan, 2013; Gomes ve ark., 2016). Perovskit yapı oldukça esnek olduğundan birçok perovskit ideal kübik yapıda değildir. Perovskit yapıdaki bu ideal durumdan sapmanın üç temel nedeni vardır: *atomların boyutları, ideal bileşimden olan sapmalar ve Jahn-Teller etkisi*. Birçok durumda bu nedenlerden bir kaçı aynı anda yapı üzerinde etkiye sahip olabilir (Pradhan, 2013).

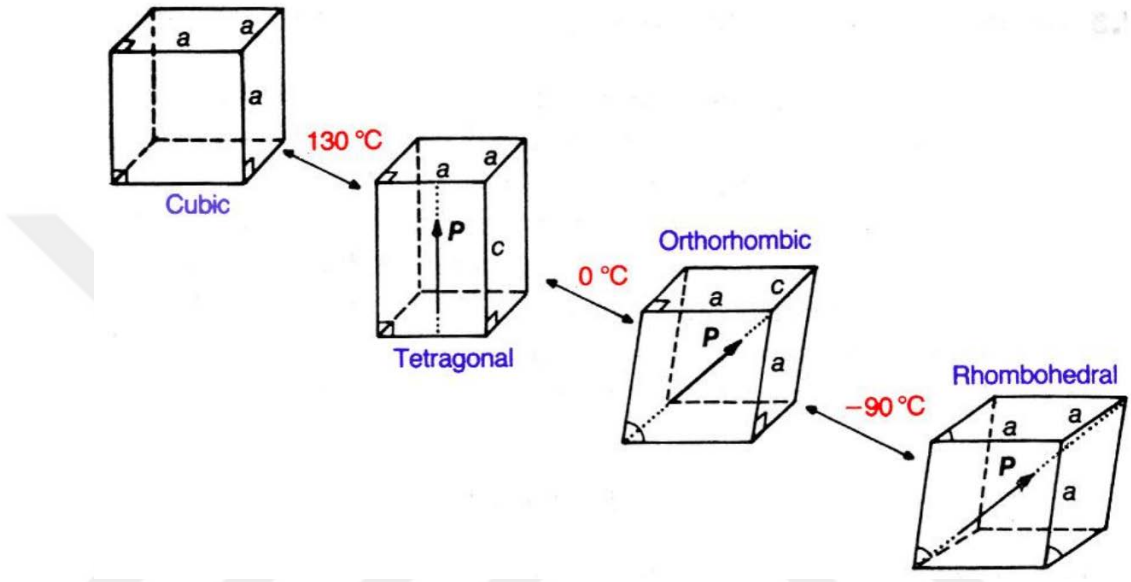
Şekil 3.8 de baryum titanatın kristal yapısı verilmiştir. Belirli bir sıcaklığın (Curie sıcaklığı ~130 °C) üzerindeki prototip kristal yapı kübiktir. Ba^{+2} iyonları küpün köşelerinde, O^{-2} iyonları yüz merkezlerinde ve Ti^{+4} iyonu ise küpün merkezinde bulunur. Curie sıcaklığının altında Ba^{+2} ve Ti^{+4} iyonları O^{-2} iyonuna göre hafifçe yerdeğiştirirler ve sonuçta bir dipol oluştururlar. Böylelikle kutuplanma ($\vec{P}$), yapıdaki her bir pozitif ve negatif iyon çiftinin oluşturduğu dipoller topluluğunun sonucu olarak ortaya çıkan etki olarak düşünülebilir (Şekil 3.7). Her bir titanyum iyonu +4 yüke sahip olduğundan kutuplanma derecesi oldukça yüksektir.



Şekil 3.7. Perovskit baryum titanatın kristal yapısı. **(a)** Curie sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda birim hücre kübik yapıdadır, **(b)** Curie sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda ise Ba^{+2} ve Ti^{+4} iyonları O^{-2} iyonuna göre yerdeğiştirmiş olup birim hücre tetragonaldir (Carazo, 2000).

Baryum titanatın kristal yapısı ve dielektrik karakteristiği sıcaklığa şiddetli bağımlılık gösterir. Yukarıda da belirtildiği üzere Curie sıcaklığının üzerinde birim hücre kübiktir. Sıcaklık Curie sıcaklığının altına düştüğü zaman kübik yapı c doğrultusu

boyunca dipol momente sahip tetragonal ferroelektrik yapıya dönüşür. Sıcaklık 0°C (± 50 °C) civarında iken tetragonal yapı yüzey köşegenine paralel kutuplanma eksenine sahip ortorombik ferroelektrik faza dönüşür. Sıcaklık -90 °C ve daha altına düşecek olursa cisim köşegeni boyunca kutuplanma eksenine sahip rombohedral yapıya dönüşür (Şekil 3.8). 1429 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda baryum titanat perovskit olmayan hekzagonal faza dönüşür (Moulson, 2003; Jamal, 2008).



Şekil 3.8. Baryum titanatın faz yapıları, kutuplanma ve geçiş sıcaklıkları. a ve c birim hücrenin parametre uzunlukları, P ise kutuplanma yönüdür (Moulson, 2003).

Bir dielektrik malzemenin enerji depolama kabiliyeti, parçacık boyutuna güçlü bağımlılık gösteren dielektrik sabitine ve dielektrik bozulma şiddetine bağlıdır. Parçacık boyutunun küçültülmesi neticesinde gerek kutuplanmanın doğrusallığında gerekse de dielektrik bozulma şiddetinde görülen artışlar, nanoyapılı baryum titanatın yüksek enerji depolama yoğunluğuna ulaşma potansiyeline sahip olduğunun bir göstergesidir (Su, 2015) .

İleri teknoloji seramikleri arasında oldukça önemli ve geniş bir yere sahip olan baryum titanat esaslı seramikler, özellikle günümüz seramik kondansatörlerin çoğunda kullanılan ferroelektrik bir malzemedir. Oldukça yüksek yalıtkanlık gösteren saf veya katkısız baryum titanatın geçirgenlik ve dielektrik sertlik (direnç) gibi önemli dielektrik parametreleri özellikle Curie sıcaklığı yakınında belirgin değişiklikler gösterir. Bu ise termal olarak kararlı kondansatör malzemesi olarak kullanımda arzu edilmeyen bir

durumdur (Parkash ve ark., 2007). Saf baryum titanat, atmosferik indirgeme (oksijen boşluklarının oluşumu) veya değişik katkıların eklenmesiyle yarıiletken hale getirilebilir ve farklı uygulamalar için çok ilginç karakteristikler elde edilebilir (Stojanovic, 2002; Cui ve ark., 2007).

4. NANOKOMPOZİT SERAMİKLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Birden fazla aynı veya farklı tür malzemenin bir araya getirilmesiyle elde edilen, bileşenlerin önceden sahip olmadığı yeni ve üstün (fiziksel, mekanik, termal ve elektriksel) özellikler taşıyan malzemelere "kompozit malzeme" adı verilir. Oluşturulan yeni yapıdaki bileşenlerden en az bir tanesi nano boyutta ise oluşan kompozit yapı “nanokompozit malzeme” olarak adlandırılır.

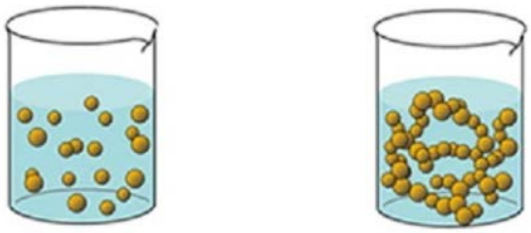
Günümüz malzeme biliminin başlıca uğraş alanlarından birisi, bulk malzemelerinkilerden farklı oldukça ilginç özellikler gösteren nanomalzemelerin sentezlenmesidir. Örneğin, optiksel, magnetik ve elektriksel özellikler boyut etkilerine oldukça duyarlıdır. Bu nedenle, gerek, morfolojisini, yapısını ve kimyasal bileşimini kontrol etmeyi amaçlayan nanomalzeme sentez yöntemleri gerekse de nanoparçacık üretimi ile alakalı yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Genellikle 100 nm'nin altında boyutlara sahip (örneğin tane boyutu, tabaka kalınlığı vb.) malzemeler nanoyapılı malzemeler olarak adlandırılır. Bir nanomalzemenin boyutlardan en az biri nano büyüklükte ve bazı özellikleri nano boyuta özgü olmalıdır (Khalaf, 2012). Nanoyapılar elde edilmesinde aşağıdan yukarıya (bottom up) ve yukarıdan aşağıya (top down) olmak üzere iki ana yöntem kullanılmaktadır. Yukarıdan aşağıya yani büyükten küçüğe yöntemi, malzemenin çeşitli kimyasal ve mekaniksel etkilere maruz bırakılarak nano boyuta inebilecek kadar küçük parçalara ayrılması esasına dayalıdır. Mekanik öğütme ve aşındırma yukarıdan aşağıya yönteminin tipik örnekleridir. Aşağıdan yukarıya yöntemi ise atomik veya moleküler boyuttaki yapıların kimyasal reaksiyonlar ile büyütülerek parçacık oluşturma esasına dayalıdır. Kimyasal buhar yoğunlaştırma ve sol-jel yöntemleri aşağıdan yukarıya yaklaşıma örnek olarak gösterilebilir.

4.1. Sol – Jel Yöntemi

Sol-jel yöntemi genellikle ince ve reaktif toz üretiminde, kaplama yapımında, seramik ve cam gibi kimyasal maddelerin sentezlenmesinde ve üretiminde ve ayrıca fiberlerin oluşturulmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu metot, seramik malzeme üretiminde eleme ve sınıflandırmadan kurtulmak için oluşturulmuş bir metottur. Sol-gel yönteminde sistem sıvı fazdan (sol) katı faza (jel) geçiş yapar. Süreç sonunda ortaya çıkan ürün, oldukça saf ve küresel yapılı tozlar, ince film kaplamalar, seramik fiberler, çok küçük gözenekli inorganik zarlar, monolitik yapıya sahip seramik ve camlar ya da çok gözeneğe sahip aerojel malzemelerin üretiminde kullanılabilir.

Sol için başlangıç malzemesi olarak genellikle metal alkoksit çözeltileri, metal tuzları, nitratlar, hidroksitler ve oksitler gibi inorganik metal tuzları ve bileşenleri kullanılır. Sol-jel yönteminde kullanılan başlangıç malzemesi, uygun bir çözücü içinde çözülerek bir dizi hidroliz ve polimerizasyon tepkimeleri sonucunda kloidal yapılı ‘sol’’e dönüşür. Kolloidal yapı, heterojen ve homojen arası bir özelliktedir ve çözülen taneciklerde çökme ve çözücüden ayrılma olayı gözlenmez. Yapı içerisinde yer alan ve kolloid olarak adlandırılan bu tanecikler, genellikle optik mikroskopla görülemeyecek kadar küçük boyutlara (yaklaşık 500 nm daha küçük) sahiptirler. Üretilen sol üzerinde yapılan bir seri işlem sonunda seramik malzeme üretilebilir (Erdal, 2013).

Kolloidal taneciklerin çökelmesiyle oluşan katı-sıvı arası bir fazda bulunan ve fazla miktarda su içeren yapıya “jel” adı verilir. Jeller kararlı durumdayken akışkanlık göstermeyen, çoğunlukla seyreltilmiş çapraz bağlı bir yapıya sahiptir. Kısacası sol-jel numunesinde kolloidal parçacıkların asılı olduğu çözelti sol olarak adlandırılırken bu parçacıkların bir araya gelerek sürekli bir ağ oluşturmasıda jel olarak adlandırılır (Şekil 4.1). Jel kaplama malzemesi olarak kullanılıp kurutulduktan sonra dış yüzeyi seramik görünümlü sert ve cama benzeyen bir görünüm alır.



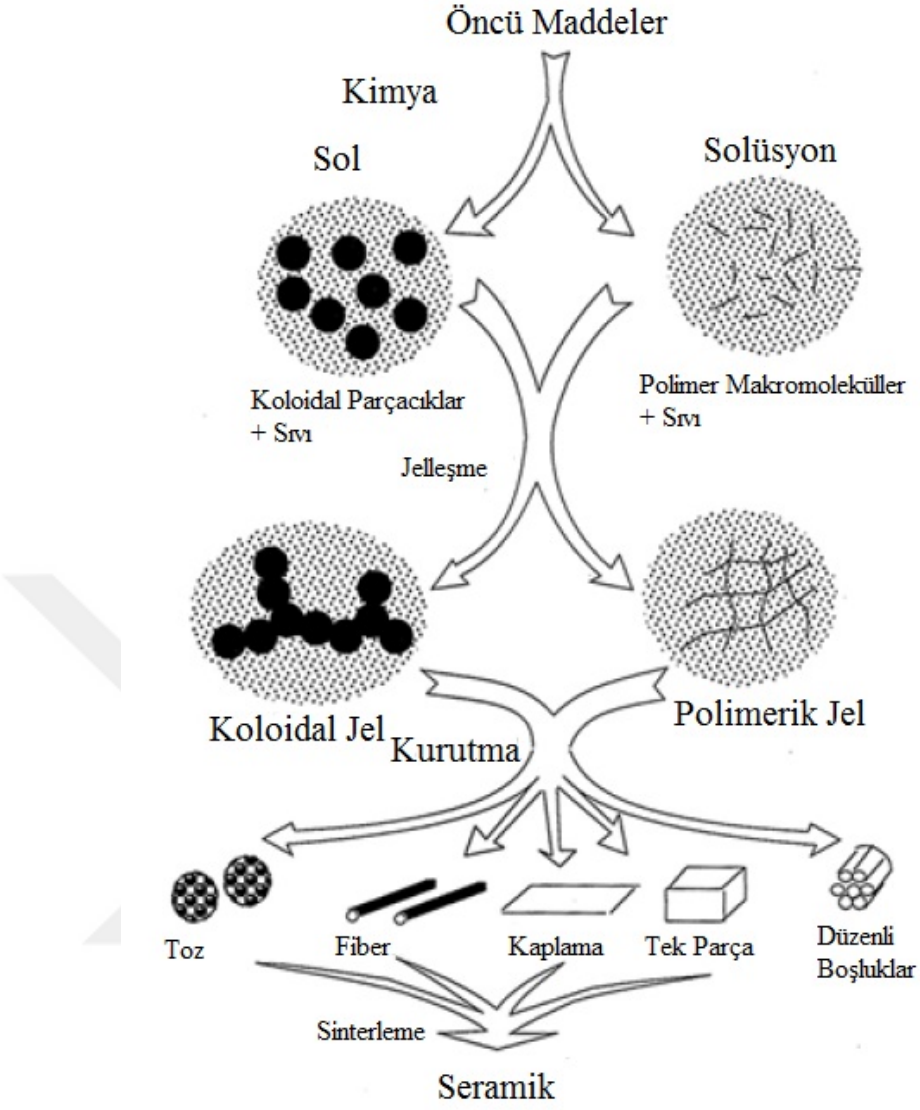
Şekil 4.1. Sol-jel sentez, (**a**) sol, (**b**) jel (Erdal, 2013)

Sol-jel teknolojisi ile elde edilen kaplamalar çoğunlukla seramik ile aynı özellikleri gösterirler fakat bu özellikler seramiklerdeki kadar belirgin değildir.

Sol-jel yöntemindeki çalışma basamakları şu şekildedir (Şekil 4.2).

- Öncelikle saf başlangıç maddelerinin homojen çözeltileri hazırlanır,
- Homojen çözeltileri sol durumuna getirmek için gerekli maddeler eklenir,
- Sol numunesinde reaksiyonlar oluşturularak karışım jel haline getirilir,
- Jel işlemlerden geçirilerek tasarlanan malzeme üretilir.

Yöntemin aşağıda verildiği şekilde avantajları olduğu kadar dezavantajları da vardır (Erdal, 2013).



Şekil 4.2. Sol – jel üretim yöntemi (Erdal, 2013).

SOL-JEL YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI:

- Hammadelere kıyasla daha homojen ve kimyasal yönü kontrol edilebilir numuneler üretilebilir.
- Tozlar çok küçük, mikron altı büyüklükte elde edilir.
- Üretimde düşük sıcaklıkların yeterli olmasından dolayı enerji tasarrufu sağlar.
- Uçmadan kaynaklı kayıpları en aza indirir.
- Bulunduğu kapla reaksiyon sorunu olmaz.
- Yeni özelliklere sahip özel numuneler elde etmek mümkündür.
- Çevreye duyarlıdır hava kirliliğine neden olmaz.

SOL JEL YÖNTEMİNİN DEZAVANTAJLARI:

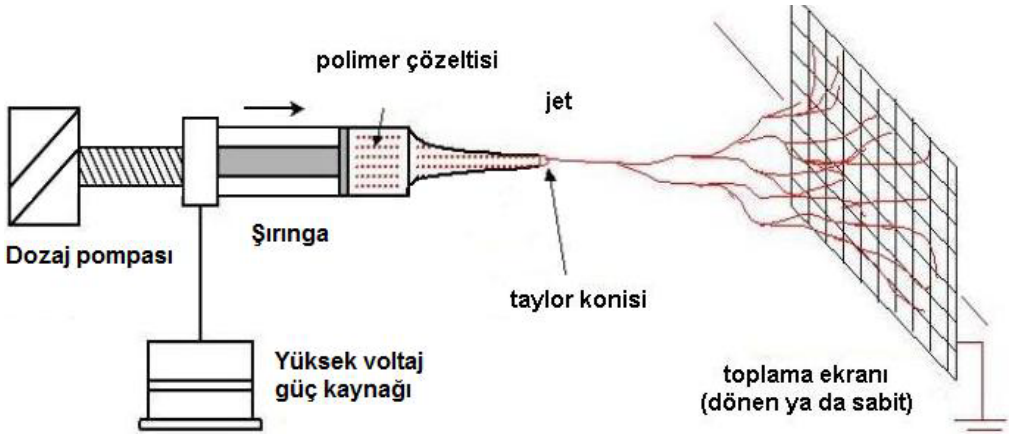
- Üretilen tozlar yüksek maliyetlidir.
- Numune hazırlık aşamasında büzülme miktarı yüksektir.
- Yapıda ince gözenek, kalıntı hidroksit ve karbon yer alabilir.
- Organik çözeltileri sağlığa zararlıdır.
- Süreç oldukça uzundur.

4.2. Elektro - Eğirme Üretim Yöntemi

Elektroeğirme, çeşitli aşağıdan yukarıya yaklaşımları arasında bir boyutlu nanoyapılar (nanofiberler, nanotüpler) üretmek için oldukça basit ve çok yönlü bir yöntemdir. Geleneksel sol-jel işlemi ile birleştirildiğinde, katı, gözenekli veya oyuk bir yapıya sahip seramik nanofiberlerin üretilmesi için çok yönlü bir teknik sağlar. Elektroeğirmenin geleneksel sol-jel işlemi ile birleştirilmesi, yalnızca nano ölçekli inorganik fiberler üretilmesini mümkün kılmaz aynı zamanda nanoyapılı sistemlerin oluşturulmasına da imkân sağlar (Li ve ark., 2006).

Elektroeğirme düzeneği Şekil 4.3 de gösterildiği gibi yüksek voltaj güç kaynağı, şırınga pompası, şırınga ve metal toplayıcı levha olmak üzere dört temel bileşenden ibarettir. Bu yöntemde ilk olarak, polimerin uygun bir çözücüde çözülmesi ile elde edilen çözelti şırıngalara alınır ve şırınga pompasına yerleştirilir. Şırınga (dozaj) pompası istenilen hıza ayarlanır ve çalıştırılır. Metal toplayıcı levha ile şırınga arasına yüksek voltaj kaynağı aracılığı ile 50 kV'a kadar yüksek voltaj uygulanır, şırınganın ucundaki çözelti, hızlı bir şekilde yüklenmiş toplayıcı levhaya doğru hareket eder.

Voltaj uygulanmadan önce şırınganın ucunda bulunan damlacık "Taylor konisi" adı verilen bir şekil oluşturur. Elektrik alanın artması ile şırınga ucundaki çözeltinin yüzey gerilimi elektrostatik kuvvete karşı koyamaz ve damlacık toplayıcıya doğru jet şeklinde hareket eder. Şırınganın ucundan çıkan çözelti kuvvetin etkisi ile kıvrılma hareketi yaparak buharlaşmanında etkisi ile metal toplayıcı levhaya lifler halinde yapışır (Uslu, 2009).



Şekil 4.3. Elektro-eğirme yöntemi ile nanofiber üretiminin şematik gösterimi (Uslu, 2009).

Elektro eğirme yönteminde elde edilen nano elyafların yapısını etkileyen faktörler kullanılan çözeltiye, deney düzeneğine ve çevresel değişkenlere bağlıdır.

- Çözelti değişkenleri: Kullanılan polimerin cinsi, molekül ağırlığı, çözeltinin viskozitesi, konsantrasyonu, iletkenliği, yüzey gerilimi.
- İşlem değişkenleri: Deney düzeneğinin geometrisi, uygulanan voltaj değeri, şırınga pompasının akış hızı, toplaç ile şırınga arasındaki mesafe, toplaç cinsi ve hareketi.
- Çevresel değişkenler: Sıcaklık, nem, vakum gibi değişkenler.

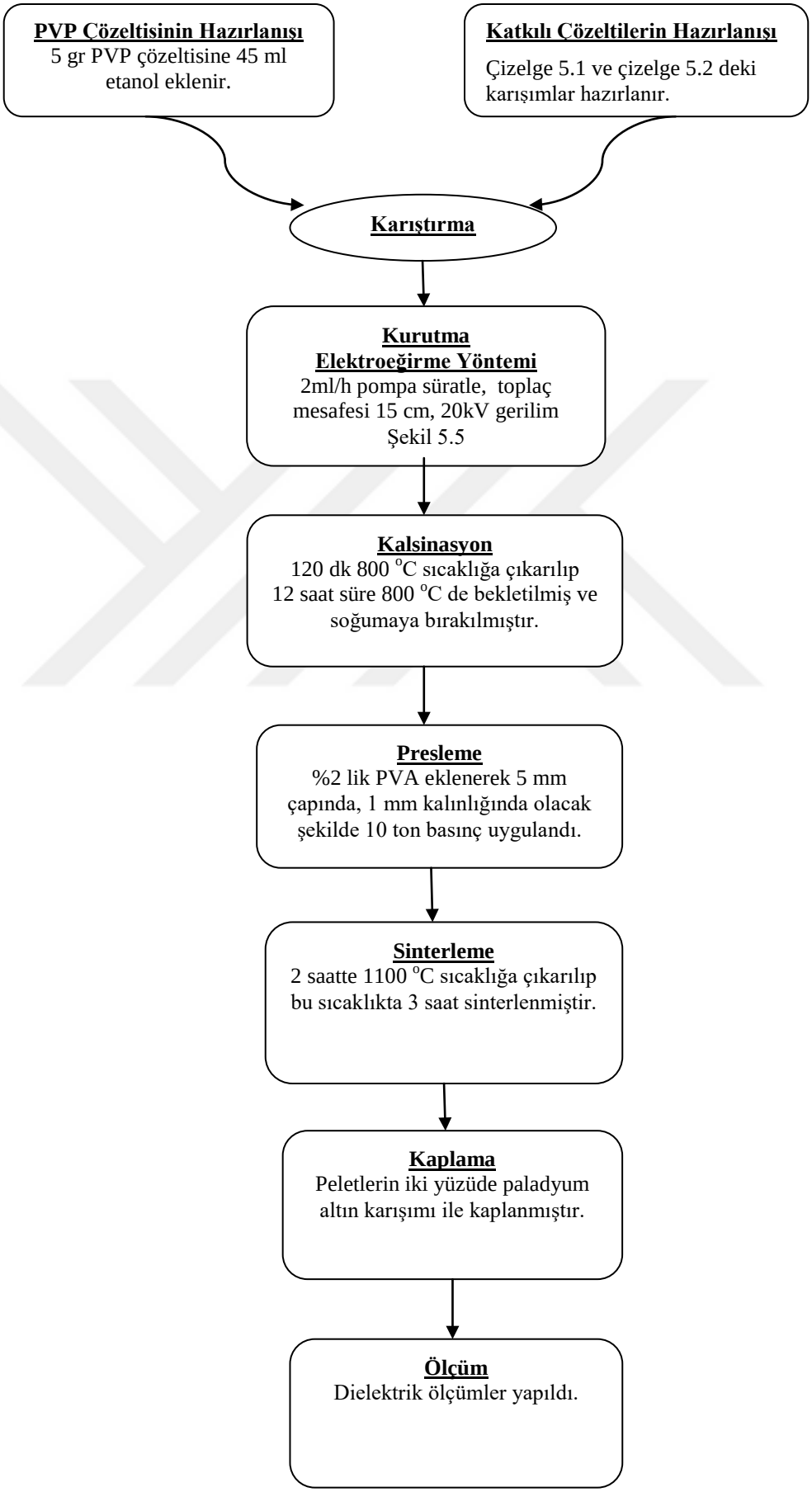
Çözelti viskozitesi oluşan elyaf fiberlerin çapını etkilemektedir. Çözelti viskozitesi çözeltinin cinsine, moleküler ağırlığına, çözeltiye eklenen maddelere, ortam sıcaklığına ve çözücünün cinsine bağlıdır. Çözelti viskozitesi yüksek olduğunda şırıngadan polimer akışı zorlaşarak fiber oluşumu zorlaşır veya gerçekleşmez. Çözelti viskozitesinin düşük olması halinde ise fiber üzerinde gerekli yüzey gerilimi oluşmadığından boncuk oluşumu gözlenir.

Fiberlerin çapı belli bir voltaja kadar azalırken voltaj daha da arttırıldığında fiberlerin çapında artma gözlenmiştir. Voltaj arttıkça polimer çıkışı artar. Polimer çıkışının çok olması halinde fiberler üzerinde boncuk oluşur.

Toplayıcı levha ile şırınga pompası arasındaki mesafenin artışıyla birlikte fiber çapının azaldığı, belirli bir değerin üzerinde ise fiber oluşumu azalırken fiber çapının arttığı rapor edilmiştir (Erdal, 2013).

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

AKIŞ ŞEMASI



5.1. Deneylerde Kullanılan Araçlar

5.1.1. Yüksek Gerilim Güç Kaynağı

Deneyler, fotoğrafı Şekil 5.1 de verilen 50 kV'a kadar voltaj üretebilen, kademeli voltaj ayarlama özelliğine sahip Glassman (series EL) marka DC güç ile yapılmıştır. Elektroeğirme üretim yönteminde güç kaynağının pozitif ucu besleme ünitesine, negatif uç ise toplayıcıya bağlanır. Bu voltaj sayesinde polimer besleyiciden toplayıcıya hareket eder. Bu hareketle lif incelir.



Şekil 5.1 Yüksek gerilim güç kaynağı

5.1.2. Besleme Ünitesi

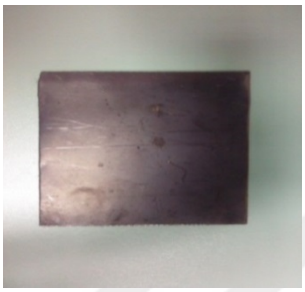
Elektroeğirme üretim yönteminde, besleme ünitesi olarak New-era NE-300 model mikro pompa kullanılmıştır. Pompanın görevi, numune haznesindeki çözeltiyi istenilen hızda ve sürekli olarak şırınga ucuna iletmektir. Bu sayede numune haznesindeki çözelti, sabit bir debiyle üretim birimine pompalanmış olur (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Besleme ünitesi (mikropompa)

5.1.3. Toplayıcı plaka

Elektroeğirme yönteminde amaca uygun olarak çeşitli şekil ve özelliklerde toplaçlar kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, alüminyum folyo (15 cm x 15 cm ölçülerinde) ile kaplanmış metal blok kullanılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Toplayıcı plaka

5.1.4. Manyetik Karıştırıcı

Üretimi yapılacak olan numuneye ait katkılı ve katkısız homojen polimer çözeltisinin elde edilmesi için wisestir MSH-20A Marka ısıtma özellikli manyetik karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Manyetik Karıştırıcı

5.2 Deneylerde Kullanılan Kimyasal Tozlar

5.2.1 Baryum asetat *($Ba(OOCCH_3)_2$)*

Numunelerinin üretimi için hammadde olarak kullanılan Baryum Asetat *($Ba(OOCCH_3)_2$)* tozu Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir ve % 99 saflığa sahiptir.

5.2.2 Çinko asetat dihidrat *($Zn(OOCCH_3)_2 . 2H_2O$)*

Numunelerinin üretimi için hammadde olarak kullanılan çinko asetat dihidrat ($Zn(OOCCH_3)_2 \cdot 2H_2O$) tozu Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir ve % 98-101 saflığa sahiptir.

5.2.3 Titanyum (IV) iso- propoxide *($Ti[OCH(CH_3)_2]_4$)*

Numunelerinin üretimi için hammadde olarak kullanılan Titanyum (IV) iso-propoxide ($Ti[OCH(CH_3)_2]_4$) tozu Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir ve % 97 saflığa sahiptir.

5.2.4 Borik asit *(BH_3O_3)*

Numunelerinin üretimi için hammadde olarak kullanılan borik asit (BH_3O_3) tozu Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir ve % 99.99 saflığa sahiptir.

5.2.5 Polyvinylpyrrolidone *(PVP)*

Polyvinylpyrrolidone *(PVP)* $(C_6H_9NO)_n$ M.W. 1.300.000 powder Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir.

5.2.6 Asetik asit (*CH_3COOH)*

Numunelerinin üretimi için hammadde olarak kullanılan Asetik asit (CH_3COOH)Tekkimfirmasından temin edilmiştir ve % 100 saflığa sahiptir.

5.2.7 Aseton *(CH_3COCH_3)*

Aseton *(CH_3COCH_3)* (Sigma-Aldrich) alkol penol içermez ve % 99,5' in üzerinde saflığa sahiptir.

5.2.8 Etanol *(CH_3CH_2OH)*

Etanol *(CH_3CH_2OH)* (Sigma-Aldrich) % 99,8 saflığa sahiptir.

5.2.9 Polyvinylalcohol *(PVA)*

Polyvinylalcohol *(PVA)* % 98-99 M.W. 130.000 powder Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir.

5.3. Stok PVP Çözeltisinin Hazırlanışı

Stok solvent çözeltisi oluşturmak için 5 gr PVP, karışmakta olan oda sıcaklığındaki 45 ml etanola yavaş yavaş eklenerek PVP çözeltisi elde edilmiştir. Elde edilen karışım oda sıcaklığında karıştırılarak PVP'nın tam olarak erimesi sağlanmıştır.

5.4. Katkılı Çözeltilerin Hazırlanışı

Çizelge 5.1. Asetat karışımları için kullanılan çözücü miktarları

	Baryum Asetat	Asetik Asit
Numune A-B-C	2 gr	6 ml

Çizelge 5.2. Asetat karışımları için kullanılan çözücü miktarları

	Katkılı Çözelti	$(Ba(OOCCH_3)_2)$ Baryum Asetat	$Ti[OCH(CH_3)_2]_4$ Titanyum (IV) iso-propoxide	$(Zn(OOCCH_3)_2 \cdot 2H_2O)$ Çinko Asetat Dihydrate	BH_3O_3 Borik Asit
A	$BaTiO_3$	2 gr	2.27 gr	-	-
B	$BaTi_{0.7}(Zn_{0.3})O_3$	2 gr	1.59 gr	0.52 gr	-
C	$BaTi(B_{0.05})O_3$	2 gr	2.27 gr	-	0.024 gr

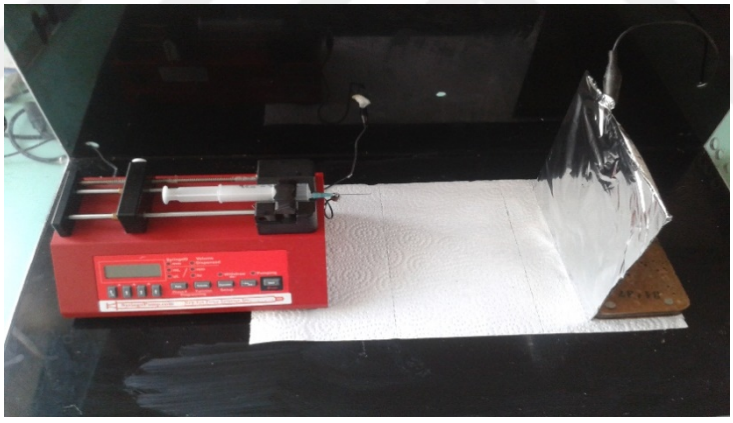
Baryum asetat'a çizelge 5.1 belirtilen oranlarda asetik asit eklenerek hazırlanan karışım oda sıcaklığında manyetik karıştırıcıda karıştırılarak baryum asetat'ın tamamının çözülmesi sağlanmıştır. Elde edilen baryum asetat çözeltisinin içine

Titanyum (IV) iso-propoxide çizelge 5.2 belirtilen oranlarda ilave edilerek oda sıcaklığında 15 dk karıştırıldı. Daha sonra elde edilen numune içerisine çizelge 5.2 belirttiğimiz oranlarda Çinko Asetat ve Borik asit ilave edilmiştir. Hazırlanan katkılı çözelti 15 dk manyetik karıştırıcıda karıştırıldı.

Önceden hazırladığımız PVP çözeltisi ile elde ettiğimiz katkılı çözelti manyetik karıştırıcıda 15 dk boyunca karıştırıldı. Bu karışıma 10 ml aseton ilave edilerek 5 dk karıştırma sonucunda son numuneler elde edilmiştir.

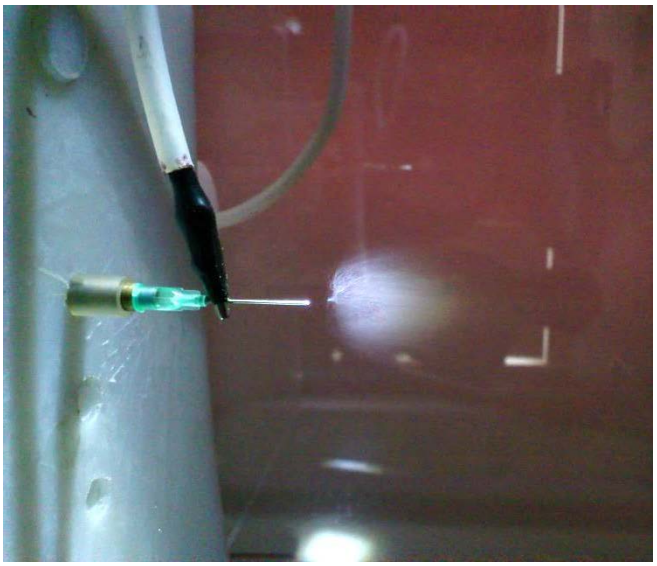
5.5. Elektro Eğirme İşlemi

Elektroeğirme deney düzeneği aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi yatay doğrultuda üretim yapmaya imkân sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Deney düzeneğinde besleme ünitesi direkt şırınga ile şekildeki gibi eklenmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Elektro-eğirme deney düzeneği

Üretilecek numuneye ait homojen çözelti şırıngaya alınmış ve pompaya yerleştirilmiştir. Yapılan ön çalışmalar neticesinde elde edilen tecrübeye istinaden, şırınga pompası saatte 2 ml çözelti pompalayacak şekilde ayarlanmış, şırınga – toplaç mesafesi 15 cm olarak seçilmiştir. Yüksek gerilim güç kaynağı 20 kV değerine ayarlanarak deneye başlanmıştır. Deneyler oda sıcaklığında yapılmıştır. Elektroeğirme işlemi sırasında oluşan polimer jeti Şekil 5.6 de gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Elektro eğirme işleminde oluşan polimer jeti

5.6. Kalsinasyon

Kalsinasyon, üretilen bir numune içerisindeki nem, karbondioksit, hidrat ve karbonatlar gibi uçucu maddelerin uzaklaştırılması maksadıyla numunenin erime noktası altındaki sıcaklıklarda tabi tutulduğu ısıl işlemdir. Üretilen fiberler, aşağıda resmi verilen tüp fırına yerleştirilerek atmosferik koşullarda önce 120 dakikada oda sıcaklığından 800 ^{o}C çıkılan daha sonra 12 saat süre 800 ^{o}C de bekletilen ve kendiliğinden oda sıcaklığına gelmesi beklenilen üç adımlı bir ısıl işleme tabi tutulmuştur.



Şekil 5.7. Proterm marka tüp fırın

5.7. Presleme

Katkılı ve katkısız BT numuneler bölüm 4.2 de ayrıntıları verilen elektroeğirme yöntemiyle nanoelyaf formunda üretilmiştir. Elyafların kalsinasyonu neticesinde elde edilen toz numuneler agat havanda inceltildi. Toz numunelerin birbirine daha iyi yapışması için 1 gr PVA çözeltisine 49 gr deiyonize su eklenerek % 2 lik karışım hazırlandı. Press uygulaması yapılacak bütün numunelerden 0,35 gr tartılarak her birine 2 damla gelecek şekilde hazırlanan % 2 lik PVA karışımı eklenerek karıştırıldı. Hazırlanan malzemeler soğuk presleme yöntemiyle 12 mm çapında, yaklaşık 1 mm kalınlığında olacak şekilde 10 (~ 866 MPa) ton basınç uygulanarak pelet haline getirildi.

5.8. Sinterleme

Presleme işleminde yapıştırıcı olarak kullanılan % 2 lik PVA çözeltisini pelet şeklindeki numunelerden uzaklaştırmak için peletler, tüp fırında 2 saatte 800 ^{o}C sıcaklığa çıkılarak bu sıcaklıkta 6 saat kalacak şekilde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Devamında ise sinterleme işlemine geçilmiştir. Fırının 2 saatte 1100 ^{o}C sıcaklığa çıkıp bu sıcaklıkta 3 saat oda atmosferinde ısıl işlem uygulanarak oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

5.9. Kaplama

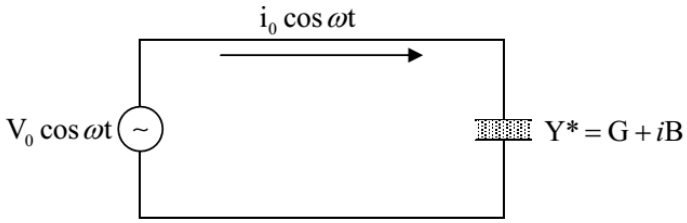
Numunelerin dielektrik ölçümlerinin yapılabilmesi için peletlerin her iki yüzü, Necmettin Erbakan Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Merkez Laboratuarında bulunan ve aşağıda resmi verilen cihazla pvd magnetron yöntemiyle ~ 200 μm kalınlığında paladyum altın karışımı ile kaplanmıştır.



Şekil 5.8. Altın kaplama için kullanılan cihaz.

5.10. Dielektrik Ölçümler

Dielektrik geçirgenlik ölçülmek istenildiğinde, malzeme aşağıdaki şekilde verilen bir kondansatör devresiyle temsil edilir. Dielektrik madde ile doldurulmuş paralel plakalı kondansatörün uygulanan AC gerilime olan tepkisi, bir malzeme ya da devrenin, akımın geçişine ne kadar kolaylık göstereceğinin bir ölçüsü olan $Y^* = G + iB$ ile verilen admitans ile karakterize edilebilir. Burada G, malzemenin kondüktansı, B ise suseptansıdır.



Kompleks admitans sığanın geometrisine ve plakalar arasındaki dielektriğin geçirgenliğine,

$$Y^* = i\omega\varepsilon^* C_o = i\omega(\varepsilon' - i\varepsilon'')C_o = \varepsilon''\omega C_o + i\varepsilon'\omega C_o = G + iB \quad (18)$$

ifadesi ile bağlıdır (Deryal, 2011). Dolayısıyla kompleks geçirgenliğin reel ve sanal kısımları sırasıyla

$$\varepsilon' = \frac{B}{\omega C_o} \quad (19)$$

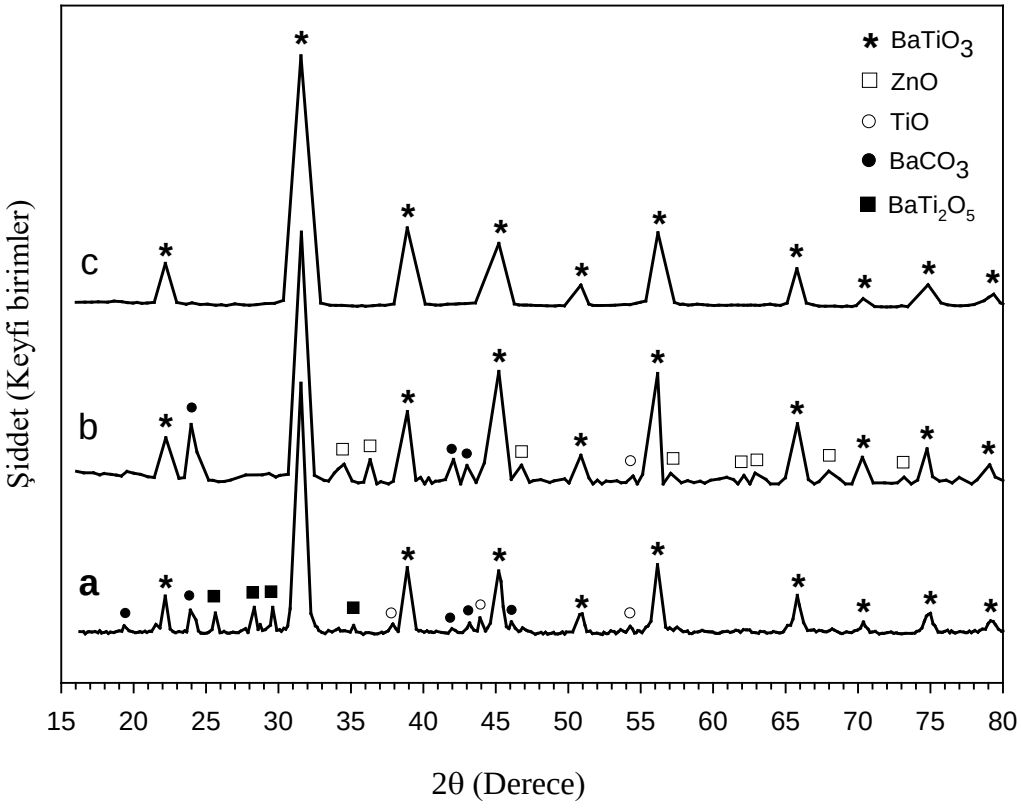
$$\varepsilon'' = \frac{G}{\omega C_o} \tag{20}$$

ifadelerine göre hesaplanabilir. C_o ise denk. (2) ile verilen geometrik sığasıdır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. XRD Ölçüm Sonuçları

1100 °C sıcaklıktaki ısıl işlem sonucunda elde edilen baryum titanat toz numuneye ait XRD kırınım deseni Şekil 6.1 de verilmiştir. Kırınım deseni GNR APD 2000 Pro X-ışını difraktometresi ile alınmıştır. Ölçüm işlemi için grafit monokromotör ve Cu-K_α (λ=1,540598 Å) kaynağı kullanılmıştır. 2θ tarama ölçümü 15-80° aralığında, 40 kV ve 30 mA de 1°/dk hızında 0,02 derecelik adımlarla alınmıştır.



Şekil 6.1. Elde edilen numunelere ait XRD deseni

Kırınım deseninde yer alan ve ∗ sembolü ile gösterilen pikler BT kristalini (JCPDS No. 31-0174) temsil ederken o, ●, □ ve ■ sembolleri ile gösterilen pikler ise sırasıyla anataz TiO_2 (JCPDS No. 21-1272) (Wei ve ark., 2013; Li ve ark., 2014), ortorombik $BaCO_3$ (JCPDS No. 71-2393) (Rashad, 2007; Sreedhar ve ark., 2012), ZnO (JCPDS No. 36-1451) (Akhtar ve ark., 2012; Azam ve Babkair, 2014) ve $BaTi_2O_5$ (JCPDS No. 85-0476) (Deng ve ark., 2010) fazlarına karşılık gelmektedir. Bu fazların kırınım deseninde görülmesi, 1100°C sıcaklıkta başlangıç malzemeleri arasındaki reaksiyonun tamamlanmadığı arzu edilen düzeyde saflığa sahip BT kristalinin elde edilebilmesi için daha yüksek sıcaklıklara çıkılması gerektiği şeklinde yorumlanabilir. Kırınım deseninde görülen ana pikler BT nanoyapılar oldukça iyi bir şekilde çözümlenmiş olan 22,15°, 31,49°, 38,79°, 45,23°, 50,79°, 56,09°, 65,85°, 70,17° ve 74,21° açı değerlerinde yer alan (1 0 0), (1 1 0), (1 1 1), (2 0 0), (2 1 0), (2 1 1), (2 2 0), (2 1 2), (3 1 0), (3 1 1) düzlemlerine karşılık gelen piklerle karakterize edilir ve bu piklerin tamamı standart kübik BT perovskit yapıya karşılık gelir (JCPDS No. 31-0174) (Guo ve ark., 2005; George ve ark., 2009; Ashiri ve ark., 2015). Şekil 6.1 deki kırınım deseni literatür ile tam bir uyum içerisindedir.

BT tozların ortalama kristalite boyutu

$$D = \frac{0.9\times\lambda}{\beta(2\theta)\times cos\theta} \tag{21}$$

ile verilen Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanmıştır (Ashiri, 2012). Burada *D*, kristalite boyutu, λ, kullanılan X-ışını dalgaboyu, β ise dikkate alınan pikin yarı yüksekliğindeki genişliği (FWHM) dir. X-ışını desenindeki (1 1 0) piki üzerinden A, B ve C numuneleri için sırasıyla elde edilen $\beta = 0{,}3398°$, $cos\theta = 15{,}7739°$, $\beta = 0{,}36°$, $cos\theta = 15{,}79°$ ve $\beta = 0{,}36°$, $cos\theta = 15{,}775°$değerleri kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda kristalite boyutları için literatür sonuçları ile oldukça uyumlu olan $D{\sim}24$

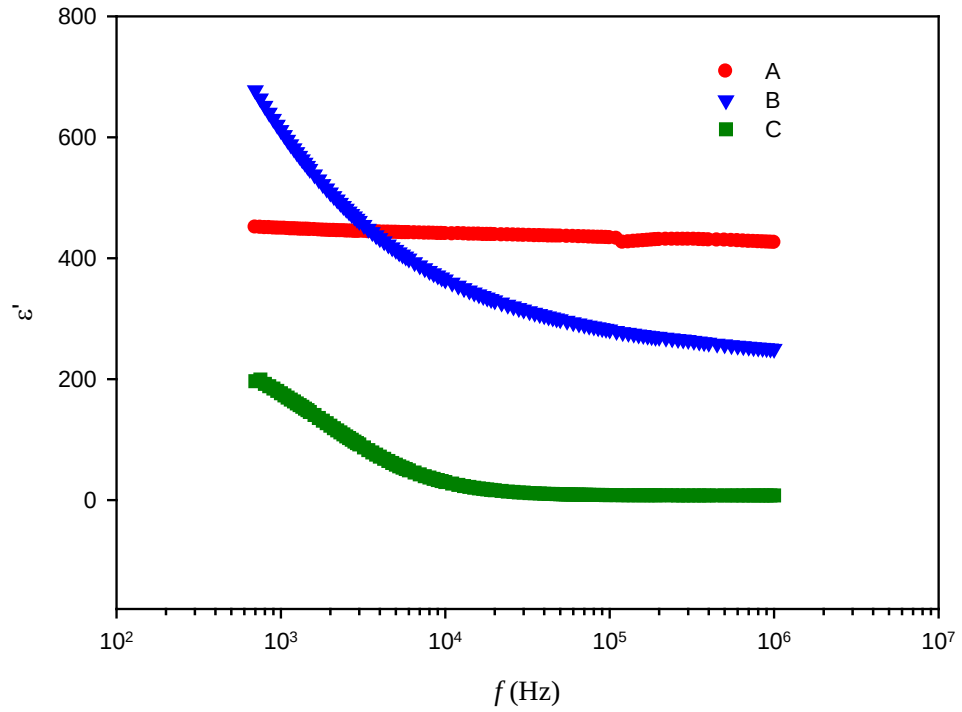
nm, $D\sim23$ nm ve $D\sim23$ nm değeri elde edilmiştir (Prado ve ark., 2016). Elde edilen bu sonuçlara göre az miktarlardaki Zn ve B katkılarının kristatile boyutu üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olmadığı açıktır. Bu sonuç, nanoparçacıkların nanokristaller tarafından oluşturulduğunun bir göstergesidir.

6.2. Dielektrik Ölçüm Sonuçları

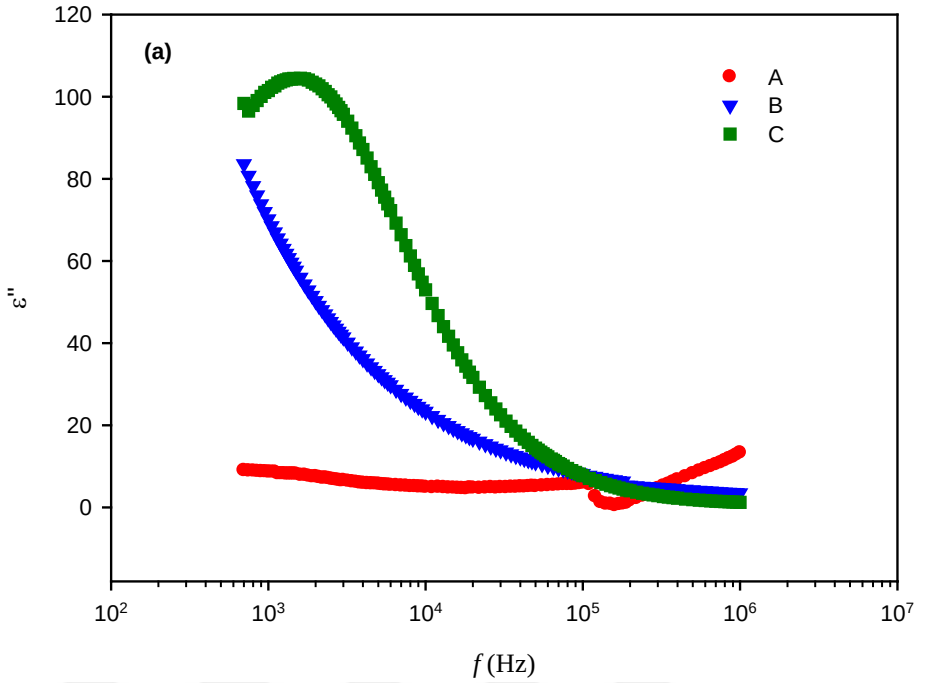
Ayrıntıları önceki bölümlerde verilen katkılı ve katkısız BT pelet şeklindeki numunelerin dilelektrik özellikleri paralel plakalı kondansatör yöntemiyle 700 Hz-1 MHz frekans aralığında HP 4192A LF Empedans Analizörü kullanılarak oda sıcaklığında ölçülmüştür. Dielektrik özelliklerin mikroskobik kökenini anlayabilmek için numunelerin reel dielektrik sabitinin (ε'), sanal dielektrik sabitinin (ε'') ve kayıp faktörünün ($\tan\delta$) oda sıcaklığında frekansa bağlı değişimleri ölçülmüştür. Fiziksel olarak ε' yüklenmeyi yani uygulanan elektrik alan etkisiyle malzeme içinde depolanan enerjiyi ve dipollerin dielektrik içindeki yönelim şiddetini tanımlar. ε'' kayıp akımı yani dielektrik içinde döngü başına harcanan enerjiyi temsil eder. Frekans arttıkça ε' ve ε'' de ki azalma, arayüzey dipollerinin değişken alan yönünde kendilerini yönlendirmek için yeterli zaman bulamadıkları gerçeği ile açıklanabilmektedir (Ertugrul ve Tataroglu, 2012).

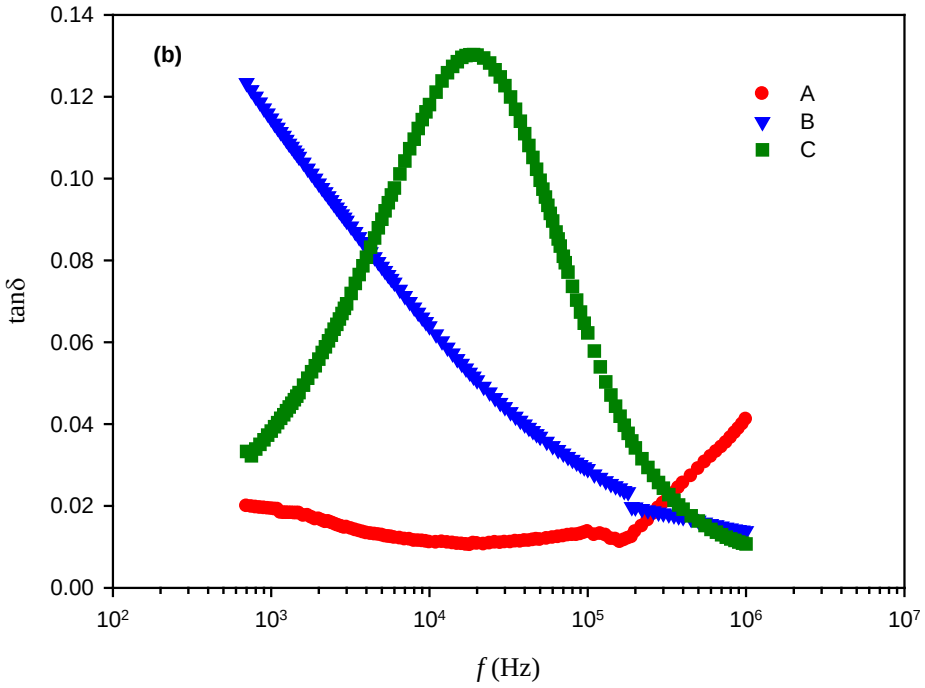
Şekil 6.2, katkılı ve katkısız numunelerin dielektrik sabitinin kısımlarının frekansa bağlı değişimleri yarı logaritmik ölçekte gösterilmiştir. Katkısız BT numunesi için ε' tüm frekans aralığında yaklaşık 450 mertebesinde iken Zn katkılı numune için 700 Hz-30 KHz aralığında yaklaşık olarak 680 değerinden 380 değerine yavaş bir azalma daha yüksek frekanslarda ise yaklaşık 250 değerinde sabit kaldığı görülmektedir. B katkılı numune için ise 700 Hz-10 KHz aralığında 200 değerinden 30 değerine azalırken bu frekans aralığının üzerinde yaklaşık sabit 10 değerine indiği

gözlenmektedir. Zn katkılı numunede katkısız numuneye göre düşük frekanslarda görülen yüksek değerler, katkılama sonucu oluşan ve dış uyarılmaya tepki verebilen farklı şiddette dipollerin varlığına atfedilebilir. Daha yüksek frekans bölgesinde ortaya çıkan düşüş, bu dipollerin uyarıcı frekansa tepki verememesinden kaynaklanıyor olabilir. B katkılı numuneye ait değerlerin tüm frekans aralığında katkısız olana göre düşük olması, katkılama ile birlikte dipol yoğunluğunun azaldığı şeklinde düşünülebilir.



Şekil 6.2. Katkılı ve katkısız numuneler için dielektrik sabitin reel kısmının frekansla değişimi: **A-** $BaTiO_3$; **B-** $BaTi_{0.7}(Zn_{0.3})O_3$; **C-** $BaTi(B_{0.05})O_3$.





Şekil 6.3. Katkılı ve katkısız numuneler için dielektrik sabitin sanal kısmının ve kayıp tanjantın frekansla değişimi. Değişimlerin daha iyi değerlendirilebilmesi için B numunesine ait ε'' ve tanδ değerleri 5 ile, C numunesine ait tanδ değerleri ise 15 ile bölünmüştür. (**A**-$BaTiO_3$; **B**-$BaTi_{0.7}(Zn_{0.3})O_3$; **C**- $BaTi(B_{0.05})O_3$).

Katkılı ve katkısız numunelerin dielektrik sabitinin sanal kısımlarının ve tanjant kayıplarının frekansa bağlı değişimleri yarı logaritmik ölçekte Şekil 6.3 de gösterilmiştir. Katkısız numuneye ait ε'' değerleri neredeyse frekanstan bağımsızdır. Düşük frekanslarda katkılama ile birlikte ε'' değerlerinin yaklaşık olarak 8-10 kat arttığı görülmekte iken artan frekansla hızlı bir şekilde azalarak katkısız numune değerine yaklaşmaktadır. Şekil 6.3(b) ye göre B katkılı numunde uygulanan frekans aralığında Zn katkılı numuneye göre daha büyük durulma zamanına (yaklaşık olarak $50\ \mu s$)sahip dipollerin oluştuğu söylenebilir.

6.3. Öneriler

Bu çalışmada, katkısız baryum titanat ile Zn ve B katkılı baryum titanat elektroeğirme yöntemiyle üretilmiş, katkılamanın dielektrik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen numunelere ait yapısal analiz kesim 6.1 de, dielektrik özellikler ise kesim 6.2 de ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Sonuçlar üzerindeki genel değerlendirmelere ilave olarak daha ayrıntılı ve sağlıklı sonuçların elde edilebilme için aşağıdaki önerilerin dikkate alınması uygun olacaktır.

- Dielektrik özellikler üzerine katkılama etkisinin daha açık ve belirgin bir şekilde belirlenebilmesi için katkılamanın tek bir orandan ziyade en azından 3-4 katkılama oranı seçilmelidir.

-Katkılama yapılacak olan elementin farklı katkılama oranları için alınacak olan XRD desenleri sayesinde, ortaya çıkacak olası fazların daha iyi değerlendirilmesi mümkün hale gelebilecektir.

- Katkılamanın dielektrik özellikler üzerine olan etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için ölçümlerin yalnızca oda sıcaklığı ile sınırlı tutulmayıp sıcaklığa bağlı değişimlerinde yapılması daha faydalı olacaktır.

- Dielektrik özellikler çok daha geniş bir frekans aralığında örneğin kHz-THz bölgesinde alınarak farklı kutuplanma mekanizmalarının etkilerinin daha ayrıntılı değerlendirme söz konusu olabilecektir.

KAYNAKLAR

Akhtar, M. J., Ahamed, M., Kumar, S., Khan, M. M., Ahmad, J. ve Alrokayan, S. A., 2012, Zinc oxide nanoparticles selectively induce apoptosis in human cancer cells through reactive oxygen species, *Int J Nanomedicine*, 7, 845-857.

Ashiri, R., 2012, Analysis and Characterization of Phase Evolution of Nanosized $BaTiO_3$ Powder Synthesized Through a Chemically Modified Sol-Gel Process, *Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science*, 43a (11), 4414-4426.

Ashiri, R., Moghtada, A. ve Shahrouzianfar, A., 2015, Processing and Characterization of Carbonate-Free $BaTiO_3$ Nanoscale Particles Obtained by a Rapid Ultrasound-Assisted Wet Chemical Approach, *Metallurgical and Materials Transactions B-Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 46 (4), 1912-1923.

Aygun, S. M., 2009, Processing science of barium titanate, Doctor of Philosophy, *Graduate Faculty of North Carolina State University*, North Carolina, 7.

Azam, A. ve Babkair, S. S., 2014, Low-temperature growth of well-aligned zinc oxide nanorod arrays on silicon substrate and their photocatalytic application, *Int J Nanomedicine*, 9, 2109-2115.

Carazo, A. V., 2000, Novel Piezoelectric Transducers for High Voltage Measurements, Doctoral Thesis, *Universitat politecnıca de catalunya*, Barcelona, 33.

Chauhan, A., Patel, S., Vaish, R. ve Bowen, C. R., 2015, Anti-Ferroelectric Ceramics for High Energy Density Capacitors, *Materials*, 8 (12), 8009-8031.

Cui, B., Yu, P. F., Tian, J. ve Chang, Z. G., 2006, Preparation and characterization of Co-doped $BaTiO_3$ nanosized powders and ceramics, *Materials Science and Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology*, 133 (1-3), 205-208.

Cui, B., Yu, P. F., Tian, J., Guo, H. L. ve Chang, Z. G., 2007, Preparation and characterization of niobium-doped barium titanate nanocrystalline powders and ceramics, *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 454, 667-672.

Dang, Z. M., Yuan, J. K., Yao, S. H. ve Liao, R. J., 2013, Flexible Nanodielectric Materials with High Permittivity for Power Energy Storage, *Advanced Materials*, 25 (44), 6334-6365.

Deng, Z., Dai, Y., Chen, W. ve Pei, X. M., 2010, Synthesis and Characterization of Single-Crystalline $BaTi_2O_5$ Nanowires, *Journal of Physical Chemistry C*, 114 (4), 1748-1751.

Deryal, A., 2011, Montmorillonitçe zengin bentonitlerde sıcaklık, basınç ve parçacık büyüklüğünün dielektrik özelliklere ve aktivasyon enerjilerine etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 35.

Erdal, M. O., 2013, Elektrospin yöntemiyle termoelektrik nano yapılar üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 30-44.

Ertug, B., 2013, The Overview of The Electrical Properties of Barium Titanate, *Journal of Engineering Research*, 02 (08), 01-07.

Ertugrul, R. ve Tataroglu, A., 2012, Influence of Temperature and Frequency on Dielectric Permittivity and ac Conductivity of Au/SnO2/n-Si (MOS) Structures, *Chinese Physics Letters*, 29 (7).

Fuentes, S., Zarate, R. A., Chavez, E., Munoz, P., Ayala, M., Espinoza-Gonzalez, R. ve Leyton, P., 2010, Synthesis and characterization of $BaTiO_3$ nanoparticles in oxygen atmosphere, *Journal of Alloys and Compounds*, 505 (2), 568-572.

Gattu, S., Dasari, K. S. ve Kocharlakota, V. R., 2015, Structural and Dielectric Properties of Sn Doped Barium Magnesuim Zirconium Titanate Perovskite Ceramics, *World Journal of Condensed Matter Physics*, 05 (04), 346-352.

George, C. N., Thomas, J. K., Kumar, H. P., Suresh, M. K., Kumar, V. R., Wariar, P. R. S., Jose, R. ve Koshy, J., 2009, Characterization, sintering and dielectric properties of nanocrystalline barium titanate synthesized through a modified combustion process, *Materials Characterization*, 60 (4), 322-326.

Gomes, M. A., Lima, A. S., Eguiluz, K. I. B. ve Salazar-Banda, G. R., 2016, Wet chemical synthesis of rare earth-doped barium titanate nanoparticles, *Journal of Materials Science*, 51 (10), 4709-4727.

Guo, W. P., Datye, A. K. ve Ward, T. L., 2005, Synthesis of barium titanate powders by aerosol pyrolysis of a Pechini-type precursor solution, *Journal of Materials Chemistry*, 15 (4), 470-477.

Hao, X., 2013, A review on the dielectric materials for high energy-storage application, *Journal of Advanced Dielectrics*, 03 (01), 14.

Jamal, M., 2008, Characterization of Barium Titanate Prepared via Mixed Oxide Sintering Route, *J. Pak. Mater. Soc.*, 2 (2), 91-95.

Joshi, N. J., Grewal, G. S., Shrinet, V., Govindan, T. P. ve Pratap, A., 2012, Synthesis and Dielectric Behavior of Nano-scale Barium Titanate, *Ieee Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19 (1), 83-90.

Kao, K. C., 2004, Dielectric Phenomena in Solids, *Amsterdam*, Elsevier Academic Press.

Kavian, R. ve Saidi, A., 2009, Sol-gel derived $BaTiO_3$ nanopowders, *Journal of Alloys and Compounds*, 468 (1-2), 528-532.

Khalaf, M. M., 2012, Nanostructured Materials: Importance, Synthesis and Characterization-A Review, *Chemistry Journal*, 2 (3), 118-125.

Kim, Y. J., Hyun, J. W., Kim, H. S., Lee, J. H., Yun, M. Y., Noh, S. J. ve Ahn, Y. H., 2009, Microstructural Characterization and Dielectric Properties of Barium Titanate Solid Solutions with Donor Dopants, *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 30 (6), 1267-1273.

Kishi, H., Mizuno, Y. ve Chazono, H., 2003, Base-metal electrode-multilayer ceramic capacitors: Past, present and future perspectives, *Japanese Journal of Applied Physics Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers*, 42 (1), 1-15.

Kshirsagar, P. M., Khirade, P. P., Bhoyar, D. N., Shukla, S. J. and Jadhav, K. M., 2017, Structural and Dielectrical Properties of Pure And Strontium Doped Barium Titanate Nanoparticles By Sol-Gel Auto Combustion Method, *IJISET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 4 (2), 1-4.

Kuruva, P., Rajaputra, U. M. S., Sanyadanam, S. ve Sarabu, R. M., 2013, Effect of microwave sintering on grain size and dielectric properties of barium titanate, *Turkish Journal of Physics*, 37, 312-321.

Leach, C., Russell, J. D. ve Wood, G. I., 1997, Direct observation of resistive barriers in a BaTiO3 based thermistor, *Journal of Materials Science*, 32 (17), 4641-4643.

Li, D., McCann, J. T., Xia, Y. ve Marquez, M., 2006, Electrospinning: A Simple and Versatile Technique for Producing Ceramic Nanofibers and Nanotubes, *Journal of the American Ceramic Society*, 89 (6), 1861-1869.

Li, F. Y., Zeng, M., Yu, H. T., Xu, H. ve Li, J., 2016, Dielectric characteristics of B-site-modified hexagonal-barium titanate, *Journal of Materials Science-Materials in Electronics*, 27 (3), 2836-2840.

Li, W. J., Liang, R., Hu, A. M., Huang, Z. H. ve Zhou, Y. N., 2014, Generation of oxygen vacancies in visible light activated one-dimensional iodine TiO_2 photocatalysts, *Rsc Advances*, 4 (70), 36959-36966.

Marjanovic, M., Dimitrijevic, D., Paunovic, V. ve Prijic, Z., 2014, Microstructural and dielectrical characterization of Ho doped $BaTiO_3$ ceramics, *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 11 (1), 35-46.

Moulson, A. J. a. H., J. M., 2003, Electroceramics; Materials, Properties, Applications John Wiley & Sons, Inc.

O'Neal, A. P., 2014, The Effect of Particle Size and Processing on the Properties of a Barium Titanate Polymer Composite, Doctor of Philosophy, *University of California*, Los Angeles, 5-7.

Osman, K. I., 2011, Synthesis and Characterization of $BaTiO_3$ Ferroelectric Material, Doctor of Philosophy, *Faculty of Engineering*, Cairo University, Giza, 8-32.

Pandita, S., Tickoo, R., Bamzai, K. K. ve Kotru, P. N., 2001, Dielectric characteristics of gel grown mixed rare earth (didymium) heptamolybdate crystals, *Materials Science and Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology*, 87 (2), 122-129.

Park, J.-H., Yoo, D.H., Kim, S.K., Yang, H-S., Moon, B.K., Jung, G-J., Jeong, E.D., and Hong, K.S., 2006, Synthesis, structure and dielectric propetrties of $BaTiO_3$ nanoparticles, *Journal of the Korean Phys ical So ciety*, 49, 860-863.

Parkash, O., Kumar, D., Dwivedi, R. K., Srivastava, K. K., Singh, P. ve Singh, S., 2007, Effect of simultaneous substitution of La and Mn on dielectric behavior of barium titanate ceramic, *Journal of Materials Science*, 42 (14), 5490-5496.

Pithan, C., Hennings, D. ve Waser, R., 2005, Progress in the synthesis of nanocrystalline $BaTiO_3$ powders for MLCC, *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2 (1), 1-14.

Pradhan, S. A. R., G. S., 2013, Study the Crystal Structure and Phase Transition of BaTiO_3 – A Pervoskite, *Researcher*, 5 (3), 63-67.

Prado, L. R., de Resende, N. S., Silva, R. S., Egues, S. M. S. ve Salazar-Banda, G. R., 2016, Influence of the synthesis method on the preparation of barium titanate nanoparticles, *Chemical Engineering and Processing*, 103, 12-20.

Rahman, M. K., Hossain, M. F., Shorowordi, K. M. ve Matin, M. A., 2016, Effect of Sintering Time on Dielectric Properties of Barium Titanate and Nb Doped Barium Titanate, *Applied Mechanics and Materials*, 860, 129-133.

Rashad, M. M., Mohammed, R.S., El-Midany, A.A., Kandil, A.T. and Ibrahim, I.A. , 2007, Application of Statistical Design to Optimize the Preparation of Barium Titanate Nanopowders via Oxalate Precursor Method, *Eurasian ChemTech Journal*, 9, 113-119.

Shi, A. H., Yan, W. B., Li, Y. J. ve Huang, K. L., 2008, Preparation and characterization of nanometer-sized barium titanate powder by complex-precursor method, *Journal of Central South University of Technology*, 15 (3), 334-338.

Sitko, D., Bak, W., Garbarz-Glos, B., Budziak, A., Kajtoch, C. ve Kalvane, A., 2013, Dielectric properties of $BaTiO_3$ based materials with addition of transition metal ions with variable valence, *International Conference on Functional Materials and Nanotechnologies 2013 (Fm&Nt2-13)*, 49.

Sreedhar, B., Satya Vani, C., Keerthi Devi, D., V. Basaveswara Rao, M. ve Rambabu, C., 2012, Shape Controlled Synthesis of Barium Carbonate Microclusters and Nanocrystallites using Natural Polysachharide – Gum Acacia, *American Journal of Materials Science*, 2 (1), 5-13.

Stojanovic, B. D., Zaghete, M. A., Foschini, C. R., Vieira, F. O. S. ve Varela, J. A., 2002, Structure and properties of donor doped barium titanate prepared by citrate process, *Ferroelectrics*, 270, 1201-1206.

Stojanovic, B. D., Foschini, C. R., Zaghete, M. A., Vieira1, F. O. S., Paiva-Santos, C. O., Cilense, M., Varela, J. A., 2002, Effect of Nb on Barium Titanate Prepared from Citrate Solutions, *Science of Sintering*, 34 (1), 63-71.

Su, X., 2015, New Barium Titanate/Glass Composites for High Energy Storage Capacitor Applications, Doctor of Philosophy, *Graduate Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute*, New York, 5.

Uslu, I., 2009, Elektro Eğirme Yöntemiyle Bor Katkılı Alüminyum Asetat Nanolif Malzemelerin Eldesi, *Tubav Bilim Dergisi 2*, 2 (3), 266-270.

Vasudevan, R., Karthik, T., Selvakumar, D., Ganesan, S. ve Jayavel, R., 2014, Effect of microwave sintering on the structural, optical and electrical properties of $BaTiO_3$ nanoparticles, *Journal of Materials Science-Materials in Electronics*, 25 (1), 529-537.

Vijatovic, M. M., Bobic, J. D. ve Stojanovic, B. A., 2008a, History and challenges of barium titanate: Part I, *Science of Sintering*, 40 (2), 155-165.

Vijatovic, M. M., Bobic, J. D. ve Stojanovic, B. D., 2008b, History and Challenges of Barium Titanate: Part II, *Science of Sintering*, 40 (3), 235-244.

Wei, X. Z., Zhu, G. F., Fang, J. F. ve Chen, J. Y., 2013, Synthesis, Characterization, and Photocatalysis of Well-Dispersible Phase-Pure Anatase TiO_2 Nanoparticles, *International Journal of Photoenergy*, 2013, 726872.

Whittingham, M. S., 2008, Materials challenges facing electrical energy storage, *Mrs Bulletin*, 33 (4), 411-419.

Wu, L., Chure, M. C., Wu, K. K., Chang, W. C., Yang, M. J., Liu, W. K. ve Wu, M. J., 2009, Dielectric properties of barium titanate ceramics with different materials powder size, *Ceramics International*, 35 (3), 957-960.

Yasmin, S., Choudhury, S., Hakim, M. A., Bhuiyan, A. H. ve Rahman, M. J., 2011, Structural and dielectric properties of pure and cerium doped barium titanate, *Journal of Ceramic Processing Research*, 12 (4), 387-391.

Ying, K. L. ve Hsieh, T. E., 2007, Sintering behaviors and dielectric properties of nanocrystalline barium titanate, *Materials Science and Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology*, 138 (3), 241-245.

Yoo, J. H., Gao, W. ve Yoon, K. H., 1999, Pyroelectric and dielectric bolometer properties of Sr modified $BaTiO_3$ ceramics, *Journal of Materials Science*, 34 (21), 5361-5369.

Yoon, D. H., 2006, Tetragonality of barium titanate powder for a ceramic capacitor application, *Journal of Ceramic Processing Research*, 7 (4), 343-354.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Alper KAYA
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KUŞKAYASI/SİVAS 07.06.1979
Telefon : 05057158199
Faks : -
e-mail : alper0079@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**Dinar Lisesi DİNAR/AFYONKARAHİSAR**	**1997**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi MERAM /KONYA**	**2001**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2002-…..	**Milli Eğitim Bakanlığı**	**Öğretmen**

YAYINLAR

Alper Kaya, Mustafa Koyuncu,2016, Elektroeğirme Yöntemiyle Baryum Titanat (BaTiO3) Nanofiber ve Nanotoz Üretimi ve Karakterizasyonu, *S.Ü. Fen Fak. Fen Dergisi*,42:136-143.