

**ALUMİNA ESASLI ELEKTROPORSELEN  
BÜNYELERİN GELİŞTİRİLMESİ**

Tuna AYDIN  
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü  
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Ağustos – 2006

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

**Tuna Aydın'ın Alumina Esaslı Elektroporselen Bünyelerin Geliştirilmesi** başlıklı **Seramik Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 28/07/2006 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	<b>Adı-Soyadı</b>	<b>İmza</b>
<b>Üye (Tez Danışmanı)</b>	<b>: Doç. Dr. ALPAGUT KARA</b>	.....
<b>Üye</b>	<b>: Doç. Dr. CEMAL AKSEL</b>	.....
<b>Üye</b>	<b>: Yard. Doç. Dr. VELİ UZ</b>	.....

**Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun**  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ALUMİNA ESASLI ELEKTROPORSELEN BÜNYELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Tuna AYDIN**

**Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Alpagut KARA  
2006, 95 sayfa**

Ülkemizdeki porselen izolator fabrikalarında üretilmekte olan mevcut elektroporselen bünyelerin teknolojik özelliklerinin (mekanik dayanım ve elektrik dayanımı) farklı hammaddeler yardımı ile geliştirilmesi ve aynı zamanda ülkemizde var olan alternatif hammadde rezervlerinin değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması amacıyla hem endüstriyel koşullarda hem de laboratuvar şartlarında yapılan bu tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır.

Birinci aşamada mevcut porselen izolator bünyelerinde bulunan kuvarsın yerine belirli oranlarda (maksimum % 40 ) alumina katılarak sinterleme ve ayrıca elektrik ve mekanik mukavemet üzerine etkileri incelenmiş, ikinci aşamada ise borik asit ilavesinin (maksimum % 2) bünyeler üzerinde ki sinterleme ve mikroyapısal etkileri araştırılmıştır.

Bu araştırma sonucunda, porselen izolator üretiminde kuvarsın yerine alüminanın kullanılmasının malzemenin işletme koşullarında üretilebilecek şekilde elektrik dayanımını ve mekanik mukavemetini yükselttiği gözlenmiştir. Borik asit ilavesinin ile sinterleme sıcaklığını düşüğü ve sinterlemenin daha hızlı gerçekleştiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alumina, kuvars, elektroporselen, izolator, alumina porselen

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **IMPROVMENT OF ELECTROPORCELAIN BODIES BASED ON ALUMİNA**

**Tuna AYDIN**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Ceramic Engineering Program**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Alpagut KARA  
2006, 95 pages**

This thesis was carried out in order to improve the technological properties (electrical and mechanical strength) of electroporcelain bodies produced locally under both industrial and laboratory conditions and at the same time it was performed to provide a contribution to our country's economy by using alternative raw materials in our country.

This thesis consists of two parts. In the first part, quartz in standard insulator body was replaced by alumina in a certain ratio (maximum 40 %) and the effect of alumina on sintering behaviour also electrical strength and mechanical strength was investigated. The second stage of this study included the investigation of the effect of boric acid addition on sinter processes and microstructure (maximum 2 %).

To sum up, it was concluded that quartz substitution by alumina in a commercial standard electrical porcelain body was found to improve mechanical and electrical strength and the new formulation was suitable for commercial producing and also was concluded that the addition of boric acid decreased firing temperature and provide that sinter process was more rapidly than other electro porcelain bodies

**Keywords:** Alumina, kuvars, electrical porcelain, insulator, alumina porcelain

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. İzolatörlerin Tarihsel Gelişimi.....	2
1.2. Türkiye ‘de Elektroporselen Üretimi.....	3
1.3. İzolatörlerin Bünyesine Göre Çeşitleri.....	3
1.3.1. Feldispat Porselen.....	3
1.3.2. Alumina Porselen .....	4
1.3.3. Kristobalit Porselen.....	4
1.3.4. Alumina Kristobalit Porselen.....	4
1.4. Kullanım Alanlarına Göre Çeşitleri.....	5
1.4.1. Alçak Gerilim İzolatörleri.....	5
1.4.2. Yüksek Gerilim İzolatörleri.....	5
1.4.2.1. Kullanım Amacına Göre.....	5
1.4.2.2. Kapalı ve Açık Yerlerde Kullanımlarına Göre.....	6
1.4.2.3. Elektriksel Yapılarına Göre.....	6
1.5. İzolatörlerin Teknik Özellikleri.....	7
1.5.1. İzolatörlerin Elektrik Özellikleri.....	7
1.5.2. Mekanik Özellikleri.....	9
<b>2. İZOLATÖR ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER</b> .....	<b>11</b>
2.1. İzolatör Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	11

2.1.1. Kil ve Kaolinler.....	11
2.1.1.1. Tek Tabaka Grubu Kil Mineralleri.....	12
2.1.1.2. Çift Tabaka Grubu Kil Mineralleri.....	13
2.1.1.3. Karışık Tabakalı Kil Mineralleri.....	14
2.1.1.4. Amorf Kil Mineralleri.....	14
2.1.1.5. Tabakalı Latis Mineral Gruplarının Sentezi.....	14
2.1.1.6. Tabakalı Kafes Mineral Grubu Arasındaki Geçişler.....	15
2.1.2. Kuvars.....	16
2.1.3. Feldspatlar.....	16
2.1.4. Alumina.....	16
2.2. Porselen İzolatörlerin Üretim Teknolojisi.....	17
2.2.1. Öğütme.....	17
2.2.2. Filtre Pres.....	18
2.2.3. Şineke Pres.....	19
2.2.4. Vakum Pres.....	20
2.2.5. İzolatörlerin Şekillendirilmesi.....	21
2.2.6. İzolatörlerin Kurutulması.....	21
2.2.7. İzolatörlerin Sırlanması.....	22
2.2.8. İzolatörlerin Pişirilmesi.....	23
2.2.8.1. Elektroporselen Pişirimi Boyunca Olan Değişimler.....	25

### **3. ALUMİNA PORSELEN ÜRETİMİ HAKKINDA YAPILMIŞ TEKNOLOJİK ÇALIŞMALAR.....29**

### **4. MATERYAL VE YÖNTEM .....32**

4.1. Hammaddeler.....	32
4.2. Reçete Hazırlama.....	33
4.3. İzolatör Çamuru ve Bünyesine Uygulanan Deneyler.....	33
4.3.1. Elek Analizi ( Elek Bakiye).....	33
4.3.2. Yoğrulma Suyu Tespiti.....	34
4.3.3. Kuru, Pişme, Toplu Küçülme Deneyleri.....	34

4.3.4. Su Emme ve Gözeneklilik.....	35
4.3.5. Tane Boyut Dağılımı Tespiti.....	35
4.3.6. Termal Şok Testi.....	35
4.3.7. Eğilme Mukavemeti Testi.....	36
4.3.8. Elastik Modül.....	36
4.3.9. Çekme Testi.....	37
4.3.10. Boya Nüfuz (Fuksin) Deneyi.....	37
4.3.11. SEM ile Mikroyapısal Analiz.....	38
4.3.12. Ortalama Doğrusal Termal Genleşme Katsayısı.....	39
4.3.13. Termal İletkenlik.....	40
4.3.14. Termal Analizler .....	41
4.3.15. Piroplastik Deformasyon Testi.....	42
4.4. Elektroporselenlere Uygulanan Elektrik Testleri.....	43
4.4.1. Elektrik Mukavemeti.....	43
4.4.2. Bağlı Geçirgenlik Testi.....	44
4.5. Renk Analizi.....	45
<b>5. BULGULAR.....</b>	<b>47</b>
5.1. Hammadde X- Işınları Difraksiyonu Analizi.....	47
5.2. Alumina ve Kuvars Masse Karakterizasyonu.....	50
5.2.1. X- Işınları Difraksiyonu Analizi.....	50
5.2.2. Kimyasal Analiz.....	52
5.3. Elek Analizi ( Elek Bakiye).....	52
5.4. Tane Boyut Dağılımı Tespiti.....	53
5.5. Yoğrulma Suyu Tespiti.....	55
5.6. Kuru, Pişme, Toplu Küçülme Deneyleri.....	55
5.7. Su Emme ve Gözeneklilik.....	57
5.8. Termal Şok Testi.....	57
5.9. Ortalama Doğrusal Termal Genleşme Katsayısı Ölçümü.....	58
5.10. Eğilme Mukavemeti Testi.....	59

5.11. Elastik Modül .....	60
5.12. Çekme Testi.....	61
5.13. Boya Nüfuz Testi Sonuçlar .....	62
5.14. Termal Geçirgenlik Ölçüm Sonuçları.....	62
5.15. Termal Analizler .....	63
5.16. Temassız Dilatometre İle Sinterleme Davranışının İncelenmesi.....	65
5.17. Piroplastik Deformasyon Testi.....	66
5.18. Elektrik Mukavemeti.....	68
5.19. Bağlı Geçirgenlik Testi.....	69
5.20. Renk Analizi.....	70
5.21. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Mikroyapı Karakterizasyonu.....	70
<b>6. ALUMİNA VE KUVARS ESASLI BÜNYELERE BORİK ASİT İLAVESİNİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI.....</b>	<b>77</b>
6.1. Porselen Bünyeye Borik Asit İlavesi.....	77
6.2. Borik Asit İlaveli Alumina Masse Karakterizasyonu.....	78
6.2.1. X Işınları Difraksiyon Analizi.....	78
6.3. Termal Analizler.....	81
6.4. Piroplastik Deformasyon Testi.....	84
6.5. Elastik Modül.....	85
6.6. Ortalama Doğrusal Termal Genleşme Katsayısı.....	86
6.7. Bağlı Geçirgenlik.....	87
6.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Mikroyapı Karakterizasyonu.....	88
<b>7. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>91</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>94</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. Silika - Lusit – Mullit üçlü faz diyagramında elektro porselen bileşen alanı.....	2
1.2.a. Harici tip izolatörler.....	6
1.2.b. Dahili tip izolatörler.....	6
2.1. Tetrahedral yapı ve ağları.....	12
2.2. Oktahedral yapı ve ağları.....	13
2.3. Filterpres.....	19
2.4. Vakum pres.....	20
2.5. SEM altında bir alumina porselenin mikro yapısı .....	27
2.6. 1200 °C’de K <sub>2</sub> O – Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – SiO <sub>2</sub> diyagramında izotermal kesim.....	28
4.1. Eğilme dayanımı test ünitesi.....	36
4.2. Metal kapta bulunan boya çözeltisine yüksek basınç uygulama cihazı.....	38
4.3. Elektrik mukavemeti ve dayanma gerilimi deneyleri için deney parçaları.....	44
5.1. Hammadde x-ışınları difraksiyon paterni.....	48
5.2. Kil x-ışınları difraksiyon paterni.....	49
5.3. Potasyum feldispat x-ışınları difraksiyon paterni.....	49
5.4. Aluminanın x-ışınları difraksiyon paterni.....	50
5.5. A.M.5-K. M. bünyelere ait temsili XRD paternleri .....	51
5.6. K.M. tane boyut dağılımı eğrisi.....	53
5.7. A.M.5 tane boyut dağılımı eğrisi.....	54
5.8. Alumina tane boyut dağılımı.....	54
5.9. Kuvars tane boyut dağılımı.....	54
5.10. Kuru, pişme, toplu küçülmesi testi sonuçları.....	56
5.11. A.M.5 ve K.M. ortalama doğrusal genleşme eğrileri.....	59

5.12. A.M.5 ve K.M bünyelerin eğilme dayanımları ( ortalama ).....	60
5.13. Alumina Masse sırlı – sırsız çekme dayanımı değerleri.....	62
5.14. A.M.5 ve K.M. elektroporselen bünyelerin sıcaklığa bağlı termal geçirgenlik değerleri.....	63
5.15. Sinterleme sıcaklığı 1320°C olan K.M. ham bünyesinin TG-DTA grafiği.....	64
5.16. Sinterleme sıcaklığı 1320°C olan A.M.5 ham bünyenin TG-DTA grafiği.....	65
5.17. Sinterleme sıcaklığı 1320°C olan KM. ve A.M.5 bünye denemelerinin temassız dilatometre testi.....	66
5.18. A.M.5 bünyesinin 1320 °C de sıcaklığa bağlı piroplastik deformasyon davranışı eğrisi.....	67
5.19. K.M. bünyesinin 1320 °C de sıcaklığa bağlı piroplastik deformasyon davranışı eğrisi.....	68
5.20.a 1320 ° C de sinterlenmiş A.M.2 denemesinin temsili ikincil elektron görüntüleri.....	71
5.20.b 1320 ° C de sinterlenmiş A.M.2 denemesinin temsili ikincil elektron görüntüleri.....	72
5.21.a 1320 ° C de sinterlenmiş A.M.3 denemesinin temsili ikincil elektron görüntüleri.....	72
5.21.b 1320 ° C de sinterlenmiş A.M.3 denemesinin temsili ikincil elektron görüntüleri.....	73
5.22.a 1320 ° C de sinterlenmiş A.M.4 denemesinin temsili ikincil elektron görüntüleri.....	73
5.22.b 1320 ° C de sinterlenmiş A.M.4 denemesinin temsili ikincil elektron görüntüleri.....	74
5.23.a 1320 ° C de sinterlenmiş A.M.5 denemesinin temsili ikincil elektron görüntüleri.....	74
5.23.b 1320 ° C de sinterlenmiş A.M.5 denemesinin temsili ikincil elektron görüntüleri.....	75

5.24.a	1320 ° C de sinterlenmiş K.M denemesinin geri saçınımlı görüntüleri.....	75
5.24.b	1320 ° C de sinterlenmiş K.M. denemesinin temsili geri saçınımlı görüntüleri.....	76
6.1.	Borik asit ilaveli alumina porselen bünyelere ait temsili XRD paternleri.....	79
6.2.	Borik asit ilaveli K.M bünyelere ait temsili XRD paternleri.....	80
6.3.	%2 borik asit ilaveli A.M.5 bünye DTA –TG grafiği.....	82
6.4.	%2 borik asit ilaveli K.M. bünye DTA –TG grafiği.....	82
6.5.	%2 borik asit ilaveli A.M.5 + % 2 ve AM.% bünyelere yapılan temassız dilatometre grafiği.....	83
6.6.	%2 borik asit ilaveli K.M.+ % 2 ve K.M. bünyelere yapılan temassız dilatometre grafiği.....	83
6.7.	K.M. bünye ile K.M.+ % 2 bünyenin karşılaştırmalı piropplastik deformasyon eğrisi.....	84
6.8.	A.M. bünye ile A.M.+ % 2 bünyenin karşılaştırmalı piropplastik deformasyon eğrisi.....	85
6.9.	%2 Borik asit ilaveli A.M. ve K.M bünyelerin sıcaklığa bağlı ortalama termal genleşme grafiği.....	87
6.10.a.	A.M.5 + % 2 elektroporselen bünyenin ikincil elektron görüntüleri.....	89
6.10.b.	A.M.5 + % 2 elektroporselen bünyenin ikincil elektron görüntüleri.....	89
6.11.a.	K.M. + % 2 elektro porselen bünyenin ikincil elektron görüntüleri.....	90
6.11. b.	K.M. + % 2 elektro porselen bünyenin ikincil elektron görüntüleri.....	90

## TABLÖLAR DİZİNİ

1.1. Porselen izolatörlerin bünye özellikleri.....	5
2.1. Pirofillit ve talk yapılarındaki yük dengeleri.....	13
3.1. Kuvars, mullit ve korundum tanelerinin mekanik karakteristikleri.....	30
3.2. Silika ve Alumina Porselende Mullit, Cam Fazı, Kuvars, Alumina İçeriği.....	31
4.1. Hammadde kimyasal analizleri.....	32
4.2. Alumina fiziksel özellikleri.....	32
4.3. Alumina masse reçeteleri.....	33
4.4. Deney parçaları kalınlıklarının değişik değerler İçin “k” değerleri.....	44
5.1. Alumina masse denemeleri kimyasal analiz sonuçları.....	52
5.2. Elek analizi sonuçları.....	53
5.3. Alumina, kuvars, A.M.5 ve K.M. tane boyut dağılımı değerleri.....	54
5.4. Yoğrulma suyu test sonuçları.....	54
5.5. Kuru, pişme, toplu küçülme deneyleri sonuçları.....	56
5.6. Su emme ve gözeneklik testi sonuçları.....	57
5.7. Termal şok testi sonuçları.....	57
5.7. Termal şok testi sonuçları(devam).....	58
5.8. A.M.5 ve K.M. bünye ortalama doğrusal ..... genleşme katsayıları.....	59
5.9. A.M.5 ve K.M bünye sırlı ve sırsız ortalama eğilme dayanımı test sonuçları.....	60

5.10. A.M.5 bünye ve K.M elektroporselen bünyelerin elastik modül tespiti .....	61
5.11. Alumina masse çekme dayanımları.....	61
5.12. K.M. elektroporselen bünyenin termal geçirgenlik değerleri.....	62
5.13. A.M.5 elektroporselen bünyenin termal geçirgenlik değerleri.....	63
5.14. A.M.5 ve K.M. bünyelerin piroplastik deformasyon indeksleri.....	68
5.15. A.M.5 ve K.M elektroporselen bünyelerin elektrik mukavemet değerleri .....	69
5.16. A..M. 5 ve K.M bağıl geçirgenlik testi.....	70
5.17. A.M. 5 ve K.M. bünyelerin renk analizi.....	70
6.1. %2 borik asit ilaveli A.M.5 ve K.M. bünyelerin piroplastik deformasyon indeksleri.....	85
6.2. %1, %2, borik asit içeren A.M.5 ve K.M. bünyelerin elastik modülleri.....	86
6.3. %2 Borik asit ilaveli A.M.5 ve K.M. bünyelerin ortalama doğrusal genleşme katsayıları.....	87
6.4. % 2 Borik asit ilaveli A.M.5 ve K.M. bünyelerin bağıl geçirgenlik testi.....	88

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>A.M.1</b>	: % 24 alumina içeren elektroporselen bünye
<b>A.M.2</b>	: % 25 alumina içeren elektroporselen bünye
<b>A.M.3</b>	: % 25 alumina içeren elektroporselen bünye
<b>A.M.4</b>	: % 30 alumina içeren elektroporselen bünye
<b>A.M.5</b>	: % 40 alumina içeren elektroporselen bünye
<b>K.M.</b>	: standart kuvars esaslı elektroporselen bünye
<b>A.M.5 +%1</b>	: %1 Borik asit ilaveli alumina esaslı elektroporselen bünye
<b>A.M.5 +%2</b>	: %2 Borik asit ilaveli alumina esaslı elektroporselen bünye
<b>K.M. +%1</b>	: %1 Borik asit ilaveli kuvars esaslı elektroporselen bünye
<b>K.M. +%2</b>	: %1 Borik asit ilaveli kuvars esaslı elektroporselen bünye

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin üretiminden başlayarak varabileceği her alanda yalıtım amacı ile kullanılan porselen malzemelere elektroporselen denilmektedir. Toprağa karşı yalıtım amaçlı kullanılan elektroporselen malzemelere izolator adı verilmektedir [1]. İzolatörler her türlü doğa şartlarında mekanik dayanım ve elektrik dayanımı gösterirler. Bu özelliklere sahip en iyi malzemeler porselen, cam ve plastiktir. Bu nedenlerden dolayı izolatorlar elektrik enerjisinin elde edilmesinde ve kullanımında dengeli, sabit ve güvenilir olmalı ve ayrıca yüksek kalitede ve uzun vadede bir performans göstermelidir.

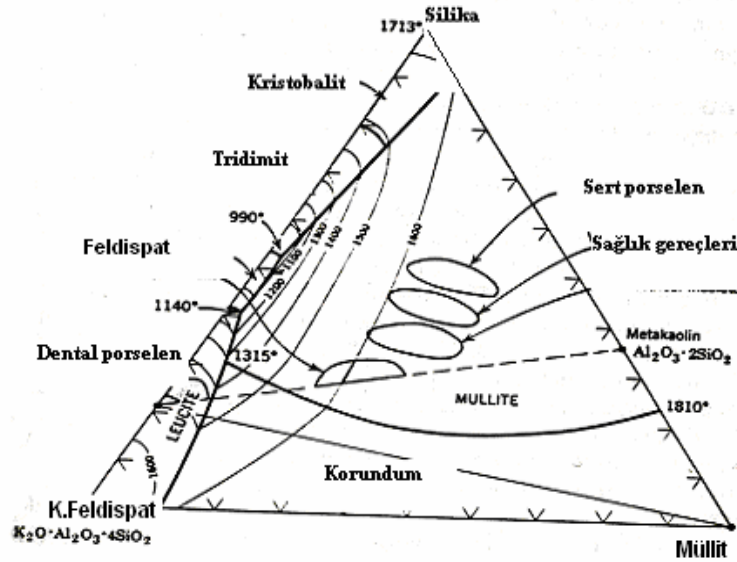
En çok kullanılan iki tip izolator vardır. Bunlar silika ve alumina porselen izolatorlardır. Silika porselenlerde yüksek sıcaklıklar ve uzun pişirim sıcaklıkları seramik yapı içerisinde kuvars tanelerinin erimesinden dolayı katı kuvars içeriğinde azalmaya neden olur. Bu düşüş porselenin mekanik dayanımında azaltır. Çünkü kuvars taneleri ile onu saran sıvı faz arasındaki termal genişleme farklılıkları porselende mikro çatlakları oluşturabilen mekanik gerilimlere neden olmaktadır. Parça sıcaklığının yoğun şekilde değişmesi yük altında mekanik dayanımın azalmasına sebeptir ki buda zaten varolan mikro çatlakların artmasına neden olur. Alumina porselenlerde, kuvarsın yerini alumina almaktadır. Bu, mekanik dayanımın artmasını sağlar (daha az mikro çatlakla ilişkili olarak). Pişirim prosesi boyunca mullit fazı içeren ve bunun yanında erimemiş alumina (korundum) taneleri içeren porozitesiz yüksek cam fazı içerikli porselen elde edilir. Alumina porselenler sıcaklık değişimlerine duyarsızdır ve mekanik dayanımları çoğunlukla korundum miktarı ile kontrol edilir. ( silika porselenlerdeki gibi mullit miktarı ile değil ) [2].

İki bölümden oluşan bu çalışmada; birinci bölümde porselen izolator üretiminde kullanılan hammaddelerden biri olan kuvarsın yerine alumina kullanarak elde edilen malzemenin mekanik ve elektrik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanırken, ikinci bölümde ise elde edilen bünyenin sinterleme ve mikroyapısal özelliklerinin borik asit ilavesi ile geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## 1.1. İzolatörlerin Tarihsel Gelişimi

1849 yılında W.Von Siemens, Frankfurt ve Berlin arasında ilk kez telgraf hatlarının izolasyonunda porselen izolatörleri kullanmıştır. Porselen elektrik yalıtımında kullanılan en eski malzemedir. Porselen izolatörler, taleplerin artması, elektrik mühendisliğinin gelişimi ve sanayinin hızlı büyümesi ile daha yüksek standartlara ulaşmıştır [3].

Elektrik enerjisine artan talep ve buna bağlı olarak daha büyük üretim kapasitelerini yaratmak için doğan ihtiyaçlar, enerjinin zorunlu olarak daha uzak mesafelere taşınmasını gerektirmiştir. Bunun sonucunda şebeke voltajlarının artırılması zorunlu hale gelmiştir. Pin ve daha sonra yapılan topuz izolatörlerinin geliştirilmesi ile bu sorun ortadan kaldırılmıştır. Modern hayatta elektrik enerjisinin önemi izolatörlerin değerini sabit tutmuştur [3].



Şekil 1.1. Silika - Lüsit - Müllit üçlü faz diyagramında elektro porselen bileşen alanı

## **1.2. Türkiye 'de Elektroporselen Üretimi**

Porselen izolatör sanayisi öncelikle yurt içi gereksinimi tümüyle karşılayacak şekilde oluşmuştur.

Türkiye'de 1960'da Çanakkale Seramik fabrikalarındaki izolatör bölümü ile kurulan elektroporselen sanayii yılda 12000 ton üretebilir konuma gelmiştir. Günümüzde Çanakkale Seramik fabrikalarının yanı sıra 1996 yılında kurulan yıllık ortalama 5400 ton ile Ankara Seramik fabrikası da izolatör üretimi yapmaktadır. AB ülkeleri ve Japonya gibi yabancı ülkelerdeki fabrikalara göre, know-how hariç her türü yapabilecek kabiliyettedir. Ancak kapasitenin sınırlı olması çeşit avantajlarının yanında imalat sınırını da beraberinde getirir. İzolatör ihtiyacının tamamı porselen izolatörlerle karşılanmaktadır [4].

Ülkemizde yakıt ve enerji maliyetlerinin yüksekliğine karşın, işçilik, hammadde ve üretim çeşidinin fazlalığı yönünden bir miktar avantaj mevcuttur. ABD ve AB' nin ürettiği porselen izolatör tiplerinin yurdumuzda üretilen ve kullanılan tiplere uygun olmaması nedeni ile elektroporselen üretiminde bu ülkelerle rekabet söz konusu değildir [4]. Yapılan bu tez çalışmasında bu durum da göz önünde bulundurulmuş ve yabancı ülkelerle olan rekabetin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

## **1.3. İzolatörlerin Bünyesine Göre Çeşitleri**

### **1.3.1. Feldispat Porselen**

Feldispat porseleni; kuvars, kil ve feldspattan oluşmaktadır. Porselen bünye 1200-1300 °C de pişirilerek oluşturulur. Pişirim sonrası porselen yapısı % 10-20 kuvars, %10-20 mullit yüksek sıcaklıkta reaksiyona giren kil ve feldspat karışımıdır. Bu porselenin özelliği iri taneli kuvars taneleri içermesidir. Porselen bünyenin yüksek işlenebilirliği, karışık şekilde ve büyük izolatör yapımını mümkün kılar. Diğer yandan mekanik mukavemeti çok yüksek değildir, sırlı ürün üzerindeki eğilme mukavemeti 600-1000 kg/cm<sup>2</sup> dir [1].

### **1.3.2. Alumina Porselen**

Feldspat porselene mekanik mukavemetini arttırmak için alumina ilavesi yapılır (toplam reçetenin % 10-40'ı oranında). Pişme sonrası porselen yapısı, % 10-40 korundum kristalini içerir.

Korundumun yanında % 8-20 mullit fazı vardır ve % 10 daha az da kuvars bulunabilmektedir.

Feldspat porseleni ile mukayese edildiğinde alumina porselenin mekanik mukavemeti, bünyedeki korundumun yüksek young modülü nedeni ile daha yüksektir [1].

### **1.3.3. Kristobalit Porselen**

Pişirim sonrası bünyede oluşan kristobalit kristalleri ile tanınmaktadır. Kristobalit kristalleri, pişirme prosesinde kuvars tanelerinin cam fazında ergimesi ve sonra soğutma anında ani soğuması ile oluşur.

Kristobalit dışındaki diğer kristaller müllit ( % 20-25) ve kuvars (% 3-15)'dir. Sırlı kristobalit porselenin eğilme mukavemeti 1000-1500 kg/cm<sup>2</sup> olarak ölçülmektedir.

Bu tip porselenin oldukça yüksek islenebilirliği ve geniş bir pişirme intervali vardır. Kristobalit porselen bünyeden solidkar tipi izolatorler yapılmaktadır [1].

### **1.3.4. Alumina-Kristobalit Porseleni**

Alumina-kristobalit tipi porselen yeni tip porselen olup, kristobalit porselende bulunan islenebilirlik, homojenlik, basınç; mukavemeti gibi özelliklere ve alumina porselendeki yüksek mukavemet özelliğine sahiptir.

Bu porselen, kristobalit porselenin temelinde alumina Sırlı alumina-kristobalit porseleninde eğilme mukavemeti yüksektir. 1800-1900 kg/cm<sup>2</sup>) Bu değer kristobalit porselen değerinin 1/5 katıdır [1].

Porselen izolatorlerin bünye özellikleri Tablo 1.1 'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.1.** Porselen izolatörlerin bünye özellikleri [1]

<b>Özellikleri</b>	<b>Klasik porselen</b>	<b>Alumina porselen</b>	<b>Kristobalit porselen</b>	<b>Alumina Kristobalit porselen</b>
<b>Mineralojik kompozisyon</b>	Silika Feldspat Kaolin	Feldspat Kaolin Alumina	Silika Feldspat Kaolin	Silika Feldspat Kaolin Alumina
<b>Kristal faz</b>	Kuars Mullit	Mullit Korundum	Kuars Mullit Kristobalit	Kuars Mullit Kristobalit Korundum
<b>Tane boyutu</b>	Kısmen iri	Çok ince	Çok ince	Çok ince

## **1.4. Kullanım Alanına Göre İzolatör Çeşitleri**

### **1.4.1. Alçak Gerilim izolatörleri:**

1 volttan 1000 volta kadar gerilim altındaki yerlerde kullanılan izolatör çeşididir. Priz ve fiş iç kısımları, klemensler (bağlantı yerleri), yalıtım plakası, sigorta gövdeleri, rezistans taşıyıcıları, duy ve globlar, gergi, taşıyıcı ve telgraf izolatörleri, bobin taşıyıcıları olarak kullanılırlar [1].

### **1.4.2. Yüksek Gerilim izolatörleri**

1kV'dan büyük gerilim altındaki yerlerde kullanılan Elektrik yalıtımı dışında mekanik ve termik dayanım görevleri de vardır. Yüksek gerilim izolatörlerinin 65 °C ile 1600 °C arasında kullanılabilir olması elektroteknikte büyük önem taşımaktadır. Çok ağır çevre koşullarında bile yüksek bir dayanım gücüne sahiptir. Yüksek gerilim izolatörleri amacına, çevre koşullarına, elektriksel yapı özelliğine göre sınıflandırılabilirler [1].

#### **1.4.2.1. Kullanım Amacına Göre**

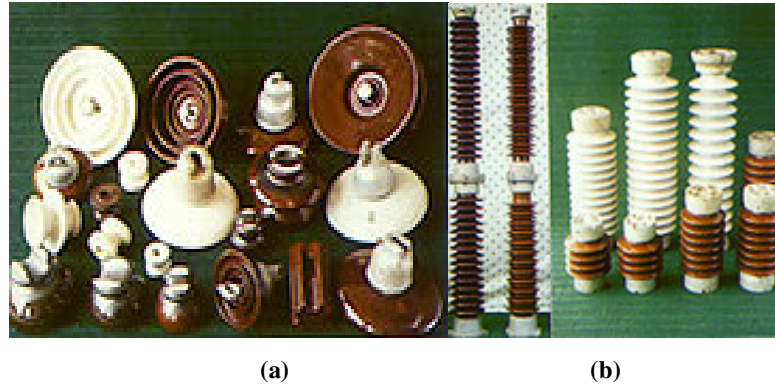
- İletim sistemlerindeki hava hat izolatörleri (mesnet tipi/ askı tipi)
- Dağıtım sistemlerinde kullanılan izolatörler (Demiryolu izolatörleri vb)

- Bağlama cihazlarında kullanılan cihaz tipi izolatörler ve muhafaza izolatörler (buşing izolatörler vb.)
- Transformatörlerde kullanılan geçit ve duvar geçit izolatörleri, Bu izolatörler farklı tur ve tiplerde (pin/ dolu) imal edilebilir [1].

#### 1.4.2.2. Kapalı ve Açık Yerlerde Kullanımlarına Göre

- Harici Tip İzolatör: Elektrik iletiminde dış hatlarda ve tesislerde kullanılan her türlü hava şartına dayanabilen izolatör tipidir.

- Dahili Tip İzolatör: Hava şartlarına maruz kalmayan tüm elektrik tesislerinin iç mekanlarında ve elektriğin meskenlere ve ayrıca sanayiye dağıtımında kullanılan izolatör tipidir [1].



Şekil 1.2. (a) Harici Tip İzolatörler. (b) Dahili Tip İzolatörler

#### 1.4.2.3. Elektriksel Yapılarına Göre

- A Tipi: İzolatörlerde katı dielektrik içindeki delinme mesafesi izolatör dışında ve hava içindeki en kısa atlama mesafesinin en az yarısına eşit olan izolatörler,

- B Tipi: Delinme mesafesi, atlama mesafesinin yarısından küçük olan izolatörler [1].

## 1.5. İzolatörlerin Teknik Özellikleri

### 1.5.1. İzolatörlerin Elektrik Özellikleri

Elektrik alanı altında elektronlar ve iyonlar seramik malzeme boyunca hareket edebilirler. Özellikle malzemelerin elektron enerji seviyeleri doldurulmadığında veya aşıldığında elektronlar hareket edebilirler. Kristal yapıda nokta kusurları olduğunda veya geniş yapısal kanallarda yapı zayıf bağlı iyonlar içeriyorsa iyonlar hareket edebilir. Birçok seramik malzeme hareketli elektron ve iyonlara sahip değildir ve elektrik alanı altında elektrik akımının geçişine izin vermezler. Bu iletken olmayan seramik malzemelere elektrik izolatörleri denir. Bu malzemelerin yüksek elektrik direncine sahip olmalarının nedeni atomik bağ boyunca elektronların sıkışmış olmasıdır. Böyle bir durumda valans elektronları ya kovalent olarak paylaşılır ya da iyonik olarak transfer edilirler. Bunun sonucunda elektrik iletimine neden olan aşımış elektron seviyelerine ve düşük enerji mekanizmalarını oluşturmazlar [5].

Elektriksel yalıtkanlığa sahip olan seramik malzemeler dielektrik malzemeler olarak tanımlanırlar. Bu malzemeler, elektrik alanı altında elektrik akımını iletmemelerine rağmen elektrik alanında inert değildirler. Alan, malzeme içindeki yük dengesinde elektrik dipollerini oluşturan çok küçük oynamalara neden olur. Sonuçta buradan dielektrik ifadesi çıkmıştır [5].

**Dielektrik Güç:** Bir malzemenin dielektrik gücü elektriksel bozulmalara karşı direncini ve yüksek voltaja dayanma kabiliyetini belirleyen bir özelliktir.

Bu değer numunenin kalınlığına ve voltaj kaynağının frekansına bağlıdır. Delinebilir izolatörlerde numunenin kalınlığı azaldıkça bu değer artar [1]. Delinebilirlik, izolatörlerin yapı prensibinde önemli bir yer ayırma karakteristiğidir. Atlamalar büyük oranda bitişik boşluklarda veya izolatör ile onu saran havanın arasındaki sınır bölgesinde oluşurlar. Kısa ark süresinde izolatöre zarar vermezler. Ama delinebilir (içi boş) izolatörlerde voltaj, izolatör boyunca içerden gider, izolatörü kullanılamaz hale getirir. Delinebilir izolatörlerde atlama yolu delinme yolundan çok büyüktür. Burada atlama voltajı ile delinme voltajı çakışır.

Atlama ve delinme yolu aynı olan izolatörlerde delinme meydana gelmez, çünkü çevredeki havanın elektrik mukavemeti porselene göre çok daha azdır ve bu yüzden atlama, delinme voltajlarının çok daha alındaki değerlerde meydana gelir. Böyle bir davranış, dolu izolatörlerin her tipinde görülür. Doğru akım uygulandığı zaman, porselenin dielektrik gücü, alternatif akımın uygulandığı durumdan % 23-30 daha yüksektir. Frekans arttırıldığında sıcaklığın yükselmesiyle dielektrik gücü düşer. Dielektrik kayıplar bir kaç sebepten meydana gelebilir. Belki de en çok bilinen sebep yüzeylerdeki arktır. Kirlilik, sis, çığ ve yağmur serpintisi ile izolatörlerin yüzey alanında oluşan yabancı tabakalar dielektrik bozulmalara sebep olur. Ayrıca porselen izolatörlerde porozite içeriğine bağlı olarak dielektrik kayıplar olmaktadır. Plastik şekillendirme yöntemleriyle şekillendirilmiş seramik ürünler, normal olarak aynı malzeme bileşimindeki kuru preslemeyle şekillenmiş ürünlerden daha yüksek dielektrik güç gösterirler. Bu muhtemelen kuru preslenmiş malzemelerde porozite sayısının fazla olmasından kaynaklanmaktadır [1].

Camsı faz, çok hafif bir iletkenlik gösterir. Fakat porselen kompozisyonuna ilave edilen metal oksitler (  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ , v.b.) kısmi olarak camsı fazda çözünürler ve bir miktar elektrik iletkenliğini artırır. Kuvars ve kristobalit düşük kayıplı fazlardır. Fakat mullit de ise yüksek kayıplı fazdır ve akım kaybı mullitin yapısal karakteristikleri boyunca çeşitlilik gösterir. Kuvars ve kristobalit hatasız bir yapıya sahipken mullit yapısı içindeki farklı oksitlerin katı eriyikleri daha fazla kusur merkezleri yaratır ve bu merkezler boyunca akım yayılır [6].

Mullit yapısı içindeki  $Al^{+3}$  iyonu ile geçiş metal iyonlarının yer değiştirmesi mullit taneleri içinde yarı iletken bir özeliğe neden olur [6].

Porselen yapısının faz kombinasyonu ve mikro yapısı uygulama sıcaklığının değişmesi ile değişir. Sonuçta porselen yapısının dielektrik özellikleri bu şartlar altında çabuk etkilenir. Çünkü yapıdaki değişimlere duyarlıdır [6].

### 1.5.2. Mekanik Özellikleri

İzolatörlerden en iyi şekilde faydalanabilmek için izolatörlere etki eden kuvvetlerin şekli, büyüklüğü ve zamana göre değişiminin bilinmesi gereklidir. Seramik malzemeler kırılma değerinin üzerindeki bölgesel mekanik gerilimleri, elastik bölgeleri olmadığından dolayı çelikteki gibi dengeleyemezler. Bu yüzden hesaplamalarda oluşan maksimum değerleri porselen izolatörlerde kuvvet taşıyan bölümleri dikkate alarak şekillendirmek gerekir [1].

Yüksek gerilim kablolarının zor şartlar altında (Kuvvetli rüzgar, buz yüklü ve şiddetli sıcaklık farkına maruz kalan bölgeler) garanti altına alınabilmesi için izolatörlerin uygun montaj ve mekanik boyutlarının doğru ölçümlendirilmesi lazımdır

Mukavemet Kavramları; Metallerde çekme, eğme dayanımı gibi spesifik (belirli, özel) değerler, sabit değer olarak verilebilir, fakat seramik ürünlerde fazla sayıda etki faktörü olduğundan metallere göre önemli farklılıklar gösterirler. Bu farkları matematik olarak nitelemek mümkün değildir. Etki faktörleri aşağıdaki gibi verilebilir.

- Enine kesiti (silindirik, boru şeklinde, köşeli, oyuk v.b)
- Ölçümler (uzunluk, yarıçap)
- Şekli (Kaygan yüzey alanı, izolatör etekleri veya pervazlı bölgeler)
- Hammadde
- Şekil verme
- Sinterleme

Sır Etkisi; mekanik mukavemet için izolatör sır özellikleri önemlidir. Eğer sır genişleme katsayısı, hammadde seçimi ve pişirim prosesinin uygulandığında bünyenin genişleme katsayısından küçük tutulursa, 0.2 mm kalınlığındaki sır kaplamasında basma gerilimleri oluşur. Basma gerilimleri, sırn yüzeyinde oluşan çekme gerilimine karşı etki yapar.

Çekme gerilimi, çamurun genleşme katsayısının sırtın genleşme katsayısından küçük olduğu durumlarda ortaya çıkar. Sırlı yüzeylerin kırılma yükü sırsız yüzeylere nazaran % 20 daha fazladır Sırt rengi normal olarak kahverengidir. Fakat daha beyaz ve bej rengi de sağlanabilir. Sırtın sertliği Mohs skalasına göre 7 civarındadır [1].

Porselen izolatörlerde yüksek mekanik mukavemet sağlanırken, aynı zamanda armatür (metal kısımlar) ve yapıştırma kısımlarında da yüksek mekanik mukavemete erişebilmelidir. Kuvvetlerin uygulandığı noktalardaki armatürler genelde konik şekilde yapılmaktadır.

Eğme Mukavemeti: İletkenleri asmak veya desteklemek için yerleştirilmiş armatürler izolatörlerin tepesine ve eksenine dikey etki yapan kuvvetler, izolatörlerin ayaklarında bir bükülme momenti oluştururlar ve bu momentler tabandaki altlıklara iletilmelidir. Bu yüzden porselen armatür-macun üçlü sistemin şekillendirilmesinde büküme kırılma yükünün yüksekliği izolatörlerin ayaklarıyla ilişkisinde çok önem taşırlar. Konik ayak şekillendirmeler en yüksek bükülme kırılma yükünü verirler [1].

## 2. İZOLATÖR ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

### 2.1. İzolatör Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

İzolatör üretiminde çamur bünyesini oluşturan hammaddeler dört gruba ayrılır:

- Kil ve kaolinler
- Feldispatlar
- Kuvars
- Alumina

#### 2.1.1. Kil ve Kaolinler

Kilin tanımı ilk defa 1546 yılında Agricola tarafından yapılmıştır. Plastiklik, tane boyu ve pişirilince sertleşmeyi içeren esaslar çoğunlukla sabit kalmışsa da, bu tanım o zamandan beri bir çok kez değiştirilmiştir. Kil; doğal olarak oluşmuş, başlıca ince taneli minerallerden meydana gelen, yeterli miktarda su katılınca genellikle plastikleşen ve kuruma veya pişmeyle sertleşebilen malzemedir. Her ne kadar kil genellikle tabakalı silikatları kapsarsa da, plastiklik veren ve kurutulup veya pişirildiği zaman sertleşen diğer malzemeleri de içerebilir. Kildeki ortak fazlar, plastik olmayan materyaller ve organik maddeler içerebilir [7].

Işık (1996)'a göre kil minerali; tabakalı yapıya sahip, sulu alüminyum-silikat grubu minerallere verilen genel bir isimdir. Killerin plastik özellik kazanmasını kuruma veya pişme sonucu sertleşmesini bu mineraller sağlar. Worrall (1986)' a göre her bir silis dörtyüzlüsünde üç oksijen atomu paylaşıldığında sürekli bir düzlem yapı meydana gelir. Dört oksijenden sadece bir tanesi elektrik nötr değildir ve doygunluk için diğer katyonlara bağlanmalıdır. Düzlem içindeki Si-O bağlanması iki boyutta sonsuz olarak meydana gelebilir; yani bu mineral düzlemsel bir yapıya sahiptir. Silis birimleri bir çok yapıda hegzagonal halkalar oluşturacak şekilde dizilirler. Düzlem; altı benzer halka ile çevrili simetrik halkalardan oluşur [7].

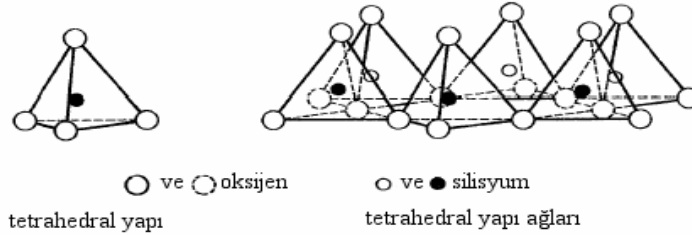
Diğer silikatların tersine, düzlem yapılar ilave katyonu kullanarak üç boyutlu ağ oluşturmazlar. Birbirinin üstüne sıralanma ile net bir tabaka oluşur ve bu

tabakaların birbirine bağlanması zayıftır. Bu tür mineraller diğerlerine göre daha kolay kesme gerilmesi ile birbirinden ayrılabilir ve kristal oluşumu tam olarak düzlemsel şekillidir. Her bir mineral tabakası bağımsız bir birimdir. Diğer bir deyişle, Pauling Kuralı sadece düzlem içinde uygulanabilir. Her bir tabaka elektriksel olarak nötr olmalıdır ve katyonlar boyut oranlarına göre anyonlarla koordinasyon kurmalıdır. Bazı durumlarda tabakalar elektriksel olarak nötr olmayabilir. Bu durumda tabaka yüzeyine başka katyonlar adsorplanarak nötrlük sağlanır. Kil mineralleri yapılarında mevcut bulunan oktahedral yapının tipine bağlı olarak sınıflandırılabilir. Ana katyonların ( $\text{Si}^{+4}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ) oksijenle yaptıkları ağdaki yer değişimine bağlı olarak oldukça geniş bir aralıkta tanımlanabilen birçok kil mineralleri mevcuttur [7].

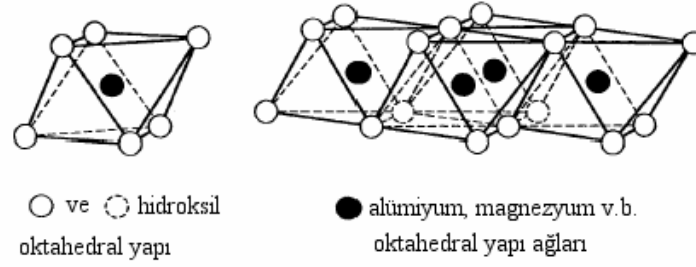
### 2. 1.1.1. Tek-Tabaka Grubu Kil Mineralleri

Grimshaw (1971)'a göre bu grupta yapı; tabakaların sıralanmasıyla oluşur. Silis tetrahedrasındaki valans oksijenleri oktahedra katyonları ile nötrlenir. Altı oksijenle simetrik bir dizilmeye sahip olabilecek katyon sayısı sınırlıdır. En yaygın olanları:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ve  $\text{Fe}^{2+}$ 'dir. Şekil 2.1'de tetrahedral ve şekil 2.2'de oktahedral yapı ve ağları şematik olarak gösterilmiştir [7].

Altı koordinasyonda dizilmiş olan trivalent katyonlar valanslarının yarısını anyonlarla paylaşır. Divalent katyonlar ise valanslarının üçte birini anyonlarla paylaşır. Buna göre divalent katyonlara sahip minerallerin kafes konfigürasyonu trivalent katyonlu minerallerden farklı olmalıdır. Yani, tek tabakalı mineraller katyon yüklerine göre iki alt gruba ayrılır [7].



Şekil 2. 1. Tetrahedral yapı ve ağları [7].



Şekil 2. 2. Oktahedral yapı ve ağları [7].

### 2. 1.1..2. Çift Tabaka Grubu Kil Mineralleri

Jibsit gibi bir hidroksil tabakasının hem altında hem de üstünde hegzagonal silis ağa bağlanarak bir sandviç yapısı oluşturur. Yapı iyonik/kovalent bağlanmalarla iki boyutta sonsuz genişleme kapasitesine sahiptir. Alüminyum iyonu bulunduğu zaman oktahedraldaki üç pozisyondan sadece iki tanesi işgal edilir. Bunun sonucunda oktahedral çift-tabaka yapısı oluşur ve bu temel yapıya pirofillit tabakası denir. Bu birimin ideal kimyasal formülü  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$  veya yapısal formülü  $Al_2(Si_2O_5)_2(OH)_2$  olarak gösterilebilir [7].

Oktahedral tabakada alüminyum yerine Mg, Fe veya başka bir divalent katyon yer alabilir. Bu tabakaya talk tabakası denir ve  $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$  kimyasal veya  $Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2$  yapısal formülüne sahiptir. Hem pirofillit hem de talk tabakaları elektriksel olarak nötrdür (Tablo 2. 1).

Tablo 2.1. Pirofillit ve talk yapılarındaki yük dengeleri [7].

	Pirofillit		Talk	
Kation	$Al_2^{3+}$	+6	$Mg_3^{2+}$	+6
	$Si_4^{4+}$	+16	$Si_4^{4+}$	+16
	<b>Toplam</b>	<b>+22</b>	<b>Toplam</b>	<b>+22</b>
Anyon	$O_{10}^{2-}$	-20	$O_{10}^{2-}$	-20
	$(OH)_2^-$	-2	$(OH)_2^-$	-2
	<b>Toplam</b>	<b>-22</b>	<b>Toplam</b>	<b>-22</b>

Seramik malzemelerin ham veya pişmiş durumlarında minerallerin çoğu bu temel yapıya dayanmaktadır. Montmorillonit, mika, illit, klorit ve vermikülit bu temel yapıdan sadece küçük sapmalar nedeniyle farklıdır. Pyrophyllite,  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ . Bu mineral çini ve elektrik porselen (yalıtkan) endüstrisinde kullanılmaktadır. Pyrophyllite'in birim tabakası yukarıda anlatılmıştır. Mineral kristalleri bu tabakaların üst üste dizilmeleri sonucu oluşur. Tabakaları bir arada tutan kuvvetlerin Van der Waals kuvvetleri olduğu düşünülür.

Tabakalar rastgele olarak dizilir ve c-boyutu  $9.3 \text{ \AA}$ 'tür. Talk tabakası pyrophyllite yapısına benzer. Tabakalar Van der Waals kuvvetleriyle bir arada tutulur ve dizilme rastgeledir. Tabakalar arası mesafe yaklaşık  $9.6 \text{ \AA}$ 'tür [7].

Pyrophyllite :  $Al_2(Si_2O_5)_2 \cdot (OH)_2$

Talk :  $Mg_3(Si_2O_5)_2 \cdot (OH)_2$  her ikisi de monokliniklidir.

### 2.1.1.3. Karışık Tabakalı Kil Mineralleri

Tabakalı silikat minerallerinin çoğu doğada birden fazla tipte karışık tabakalardan meydana gelir. Karışık-tabakalı yapıların X-ray difraktometre analizleri çok zordur (özellikle tabaka düzenlenmesi karışık olduğu zaman). Farklı tetrahedral ve oktahedral yapılar arasındaki yakın benzerlikler, tabakaların düzenli ve düzensiz olarak karıştıkları karışık tabakalı minerallerin oluşumuna neden olmaktadır. Bu yapıya sahip mineraller  $Mg_8(OH)_4Si_{12}O_{30}$  kimyasal formülüne sahip sepiyolit ve  $(Mg,Al)_5(OH)_2Si_8O_{20} \cdot 4H_2O + 4H_2O$  kimyasal formülüne sahip poligorskittir. Poligorskite formülündeki son dört su molekülü kafesin boşluklu olması durumunda serbest sudur [7].

### 2.1.1.4. Amorf Kil Mineralleri

En çok bilinen amorf kil minerali  $Al_{2-4}SiO_{5-8}nH_2O$  kimyasal formülüne sahip allofandır [7].

### 2.1.1.5. Tabakalı Latis Mineral Gruplarının Sentezi

Farklı sıcaklık ve basınçlarda kil mineralleri arasında geçişler veya kil minerali sentezi elde edilebilir.  $Al_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$  sisteminde yüksek sıcaklık ve basınçta ( $400^\circ C$  ve  $300 \text{ atm}$ ) genellikle pirofillit oluşmaktadır (alümina ve alüminyum-hidroksitle birlikte). Farklı  $Al_2O_3 : SiO_2$  oranları için dahi bu sonuç

geçerlidir. Daha düşük sıcaklık ve basınçlarda ise genellikle kaolen belki halloysit oluşur [7].

Reaksiyon sistemine alkali veya toprak alkali ilave edildiğinde şaşırtıcı sonuçlar elde edilir. Yüksek sıcaklık ve basınçta sisteme alkali ilave edilirse genellikle montmorillonit minerali oluşur. Ancak asit ortamda olursa kaolen mineralleri veya pirofillit oluşur. Bununla birlikte, değişik katyon ilavesi şartlarında, farklı alümina : silis oranlarında ve değişik sıcaklık-basınç şartlarında feldspat, talk, mikalar, kloritler ve vermikulitler oluşabilir.

Yüksek sıcaklık ve basınç şartlarının haricinde, normal şartlar altında dahi sentezleme yapılabilir. Ancak bunun için reaktant konsantrasyonu çok yüksek olmalıdır ve denge durumuna çok yavaş gelinir. Bu tür sentezlemede oluşan ürünler karmaşıktır. Ancak genellikle yüksek sıcaklık- basınç şartlarındaki modeli izler; asit veya nötr şartlarda kaolenit veya pirofillit, alkali şartlarda ise montmorillonit oluşur. Ancak zeolit'te oluşabilir [7].

#### **2.1.1.6. Tabakalı Kafes Mineral Grubu Arasındaki Geçişler**

Kil minerali grupları arasında geçişler meydana gelebilir. Ancak geçişler doğrudan olabileceği gibi, bir çözelti veya jel fazı oluştuktan sonra da meydana gelebilir. Caillere, Henin ve Meriaux'un yaptığı çalışmalara göre; montmorillonitler 110°C'de potasyum-içeren çözeltilere tabi tutulduğunda fix olur ve mika-benzeri bir form gelişir. Aynı mineral magnezyum veya alüminyumla tabi tutulduğunda ise klorit oluşur. Asit şartları altında ise kil minerallerinin çoğu kaolen formuna dönüşür (yeterli zaman olmalıdır) [7].

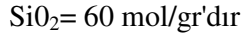
Kil minerallerinin hangi şartlar altında oluştuğu bilinmektedir ve değişik şartlar altında ne tür değişikliklerin meydana gelebileceği tahmin edilebilir. Örneğin muskovit; hidrate-mika veya illit fazlarından geçerek kaolen tipi minerale dönüşür (genellikle livesite). Ancak bu mekanizmanın son basamağı tam olarak anlaşılamamıştır. Alkali iyonlarının sistemden ayrılması açıklanabilir ancak iki-tabakalı silikattan tek tabakalı silikata geçiş ve dış silika network'undaki yük eksikliklerinin giderilmesi çok daha karmaşıktır.

Sülfat veya klorit iyonlarının zengin olduğu mineral yataklarında kaolinit ; halloysit'e dönüşür. Çok sayıda tabakalı silikat bulunmasına rağmen bu gruplar çeşitli parametrelere göre sınıflandırılabilir. Tek-tabakalı minerallerin tümü dioktahedral (kaolinit) veya trioktahedral (antigorit veya amesit) olmasına rağmen yaklaşık 7 Å'luk bazal boşluğa sahiptir [7].

### **2.1.2. Kuvars**

Silisyumun bir bileşimi olan kuvars, seramik çamur ve sırlarında önemli görevler yüklenerek geniş kullanım alanı bulur.

Kuvarsın kimyasal formülü:



Kuvars yapmayı yüksek sıcaklıklarda ayakta tutar ve porselenler için malzeme mukavemetinin en önemli faktörüdür. Kuvars yapının kuruma küçülmesini azaltır, plastikliği düzenlemeye yardımcı olur ve pişirme sırasında deformasyon olmaksızın gaz akısına izin verir. Saf kuvars ısıtılmaya başladığında modifikasyona uğrar. Modifikasyon, aynı maddenin çeşitli kristal yapısında bulunması demektir [1].

### **2.1.3. Feldispatlar**

Genel tanımlanması, içinde belirli sayıda alkali bulunduran alumina silikat olarak yapılabilir [1].

Kil ve kaolinlerin anaç kayası olan feldispatlar bünyesindeki alkaliler ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ) ile kil ve kaolinlere göre ergime derecesi düşük olan bir seramik hammaddesidir. Feldispat bünyesindeki alkali oranına bağlı olarak sinterleşme ve camlaşmayı sağlar [1].

### **2.1.4. Alumina**

Alumina, kuvarsın yerine en avantajlı malzeme olarak kendini ispatlamıştır. Bulunduğu yerden çıkarılırken kullanım için yüksek saflık göstermediklerinden sentetik yollarla kazanılması, tekrar ele alınması gerekir. Alumina içeren hammadde olarak boksit önemli bir hammaddedir.

Porselen çamurunda kullanılan alumina aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır [8].

- $Al_2O_3$  saflığı, mümkün olduğunca yüksek
- Çözünen alkali miktarı, mümkün olduğu kadar az
- Primer kristallerin 2- 6  $\mu m$  tane boyutlu
- Spesifik yüzey alanı 0,5-2  $m^2/g$  olmalıdır [1].

Aluminalı porselenlerin kuvars porselenlere göre teknolojik avantajı her şeyden önce geniş bir sinterleşme aralığına sahip olmasıdır. Bu sayede pişmiş porselen plakaların açık poroziteleri hemen hemen ortadan kalkmış olur. Kapalı poroziteli bir malzemede su emme görülmez. Bu izolator üretiminde önemlidir çünkü su emmenin fazla olması mekanik ve elektrik iletkenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Austin, Schofield ve Hadly 1946 yılında % 23 oranında Bayer aluminası katkılı elektrik porseleni araştırması yapmışlar ve cam fazında çözünmemiş ince partiküller gözlemlemişlerdir. Normal pişirim koşullarında, standart kuru pres kompozisyonlarında kuvarsın yerine aluminanın kullanılması belirli avantajlar sağlamıştır. Alumina miktarının artması termal genleşmeyi artırmasına (30- 1000° C) rağmen, alfa – beta kuvars dönüşüm eğrisi alumina içeriğinin artması ile azalmıştır. Aluminanın yüksek refrakterlik indeksi ve ince tane boyutundan dolayı ışık geçirgenliği beklenen şekilde düşer [8].

Kil ve feldspat içeren kuvarsla aluminanın yer değiştirdiği düşük aluminalı elektrik porselenleri ( % 20 -60  $Al_2O_3$ ) cone 12 feldispatik elektrik porselenleri gibi aynı koşullarda pişirilebilir. Alumina, elektrik porselenlerinde buşing,transformatör, ve kablo dağıtıcılar gibi birçok izolator tipinin üretiminde kullanılabilir [8].

## **2.2. Porselen İzolatörlerin Üretim Teknolojisi**

### **2.2.1. Öğütme**

Ön öğütmesi yapılmış olan hammaddeler silolardan alınarak verilen reçeteye göre tartımları yapılır ve değirmenlere doldurulurlar. Öğütme sulu şekilde yapılır.

Değirmenin dönmesi sonucu oluşan hareket, içindeki hammaddelerle birlikte bilyeleri de harekete geçirir. Böylece birbirine sürtünme yolu ile öğütme başlar.

Öğütmenin başarısını birçok faktör etkiler; hammadde değirmene belli bir ağırlıkta yüklenmeli, su oranı iyi hesaplanmalıdır.

Sulu öğütmede değirmenin içinde, iç hacminin yaklaşık 1/3'u kadar boşluk bırakılmalıdır. Değirmene öğütülecek kuru maddenin ağırlığı kadar bilya koymak gerekir. Bilye büyüklüğü seçimi, Büyük-orta-küçük boy bilyeler yaklaşık 1/3 oranlarında olarak tamamlanmalıdır [1].

Bilyeler filint taşından olup, değirmenin iç çeperi sileks taşları ile kaplanır. Her iki taşında esas yapısını  $SiO_2$  oluşturur.

Değirmenlerin dönme hızlarının saptanması iyi öğütmenin en önemli noktasıdır. Eğer değirmen yavaş dönerse hammaddeler ve bilyeler iç çeper boyunca bir süre yol alırlar ve sonra geri kayarlar. Buna Cascading Etkili Öğütme denir. Daha hızlı bir dönemde, bilyeler merkezkaç kuvveti ile çeper boyunca bir süre yükselirler. Ağırlıkları nedeniyle tekrar aşağı düşerler. Bu öğütmeye Katarak Etkili Öğütme denir. Değirmen kritik dönme sayısına ulaştığı zaman ise merkezkaç kuvveti nedeniyle değirmen bilyeleri ve öğütülecek maddeler değirmen çeperine yapışırlar, değirmen ile birlikte dönerler [1].

İşte bütün bu sorunların ortaya çıkmaması için normal yaş öğütmede değirmenin dönme hızı (n); 250 \D ile 280 \D değerleri arasında hesaplanmalıdır.

D = Değirmenin iç çapı (cm),

250: Sabit değer, n: Dönme hızı (devir/dk)

### **2.2.2. Filtre Pres**

Kaba tanelerinden uzaklaştırılmış olan sıvı çamurun suyunu uzaklaştırıp plastik çamur elde etmede filtrelerden yararlanır.

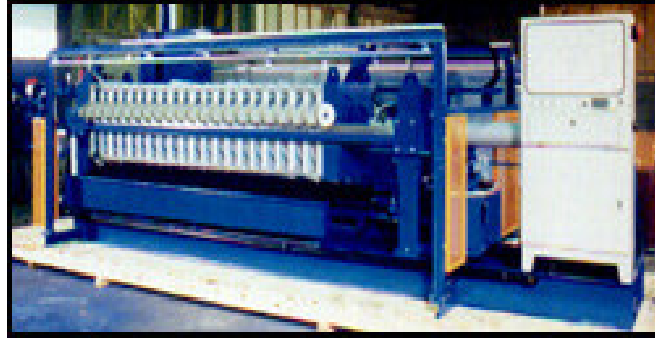
Esas yapısını, birbirine paralel çok sayıda plaka ile bunlara gerilmiş özel bezler oluşturur. Plakaların ortasından geçen merkezden sıkı sıkıya yanaştırılarak sıkılan plakalara 11 bar basınç altında sıvı çamur basılır.

Çamurun geçemeyeceği gözeneklilikteki bezden yalnızca su dışarı süzülür ve plakalar arasında plastik çamur pideleri oluşur [1].

Çamurun prese dolması aşağıda verilen parametrelere bağlıdır:

- Çamurun yoğunluğu
- Pompanın basıncı
- Bez delikleri

Havuzlardan preslere basılan çamurların ortadan kenarlara doğru suyunun süzülmesinden sonra oluşan pideler şineke prese yollanır



Şekil 2.3. Filtre pres

### 2.2.3. Şineke Pres

Filtre presten çıkan çamur pidelerinin nem oranının homojen dağılımı çamurun yarı yarıya havasının alınması ve filtre prese oranla keklerin daha ufak olup kolay taşınmasını sağlamak için şineke pres kullanılır.

Şineke presin çalışma prensibi; hazne içinde eksenleri birbirine paralel karşılıklı gelecek şekilde dönen ve üzerinde kanatçıklar bulunan, spirallerden oluşan bir sistem mevcuttur.

Çamur keklerindeki nem oranı yaklaşık olarak % 20-22 arasındadır. 24 saat dinlendirilen çamur havası alınmak üzere vakum preslere gider [1].

#### 2.2.4. Vakum Pres

Vakum prese gelen çamurlarda istenilen ürün ebadına göre kesim ve çamurların havasının alınması gerçekleşir. Vakum presinin çalışma prensibi;sonsuz dişli burgu aracılığı ile sıkıştırılan plastik çamurun, makinenin daralan ağız kısmına takılan istenen kesiti veren ağızlıklardan şekillenerek çıkması esasına dayanır [1]. Bu tur preslerde, çamur bir bant aracılığı ile üst girişten doldurulur. Bu bölmede bulunan bir sonsuz dişli burgu aracılığı ile çamurun ön karıştırması yapılarak vakum odasına ulaşması sağlanır. Burada havası alınan çamur silindirik presleme bölümünde hep aynı yöne dönen sonsuz dişli ikinci bir burgu aracılığı ile sürekli olarak sıkıştırılarak çıkışa doğru itilir. En sondaki özel kanatlar ile iyice karıştırılıp, sıkıştırılan çamur, burgunun oluşturduğu tekstürün de bozulması ile birlikte, ağızlık bölümüne itilir. Çamur buradan da, arkadan sürekli yapılan basıncın etkisiyle, ağza takılmış profilden şekillenmiş olarak ortaya çıkar. Çıkan şekillenmiş çamur, istenen boylarda kesilerek son şeklini alır.

İzolatörlerde her ürünün geometrisine göre, değişik boyutlarda kütle farklı vakum preslerde imal edilir. Dolu göbekli kütle ile oyuk kütle arasında farklılıklar vardır. Dolu göbekli kütlesi, dolu göbekli izolatörler için, oyuk kütle ise, oyuk izolatörler için gerekmektedir [1].



Şekil 2.4. Vakum Pres

### **2.2.5. İzolatörlerin Şekillendirilmesi**

Şekillendirme aşamaları iki şekilde olmaktadır.

- İçe sekil verme (İçeri doğru döndürme metodu)
- Döndürerek dışarı alma.

İçe sekil verme: Vakum presten istenilen ürün ebadına göre kesilen kütlelerinin ilk önce keskin kenarları yuvarlatılır. Daha sonra kütlelerin iç yüzeyi şekillendirilir. Ürünün cinsine göre iç ve dış delikleri delinir [1]. İç yüzeyinin yani izolatörün eteklerinin yapılması için preslerden ve alçı kalıplardan yararlanır. Alçı kalıp içine konulan kütle, presler yardımıyla ağırlık uygulanarak alçı kalıbın içine iyice yerleşmesi sağlanır. Daha sonra negatif şablonlar yardımıyla iç şekillendirilmesi yapılır. Şekillendirme bittikten sonra şekillendirilen yüzey sünger ve su ile rütüşlenir.

İç şekil vermede punch preslerden de faydalanılır. Vakum preste istenen boyutta kesilmiş kütle, presin metal kalıbına oturtulur. Daha sonra presin döner silindirler yardımıyla ürünün iç delikleri delinir, yarı yarıya şekillenmesi sağlanır. Presin silindirik dönen kısmı çamura yapışmaması için ve daha kolay şekillendirilebilmesi için yağ, gaz karışımıyla yağlanmalıdır. Yarı yarıya şekillenmesi sağlanan kütlelerin negatif şablonlar yardımıyla iç şekillendirilmesi yapılır. Bu tip şekillendirme özellikle alçak gerilim izolatörlerinin şekillendirilmesinde kullanılır.

### **2.2.6. İzolatörlerin Kurutulması**

İzolatör üretim teknolojisinde kurutma, önemli ve özel dikkat isteyen bir işlemdir. Kurutmanın amacı, şekillendirmeden çıkmış, fırına girecek olan parçaların sızılmadan önce bünyesindeki suyun uzaklaştırılmasıdır [1].

Kurutma işlemi malzemelerin ısıtılmasıyla başlar. Bu şekilde malzeme rutubetinin içten dışa doğru duraklamadan, kendiliğinden ilerlemesi sağlanır.

Yani kurutma gövdenin içinden, dışarı doğru olur. Isıtma yavaş yavaş yükselen ısı ve yüksek hava nemi ile sağlanır. Dolayısıyla bu işlemin dış satın kabuklaşması, büzülmesi, deformasyonu olmaksızın yürütmesi sağlanır. Kurutma özel kurutma odalarında veya tünel kurutucular da gerçekleşir. Tünel kurutucularda fırınların soğuma bölgesinden gelen sıcak ve kuru hava bir taraftan tünele verilirken diğer taraftan kurutma arabalarına homojen yüklenmiş ve rutubetleri % 12-16'yi geçmeyen ürünler girer. Ürün kurutmada ilerledikçe daha sıcak ve kuru hava ile temasa gelir. Böylece ürün % 1 ve altında bir nemle tünelden çıkar. Kurutmanın diğer ucundan nemli sıcak hava baca yolu ile dışarı atılır. Kurutma odalarında ise kurutma arabalarının odaya girişi ve çıkışı aynı yerden olup odadaki ısı, serpantinler yardımıyla sağlanır. Yine sıcak ve nemli havayı dışarı almak için bacalardan yararlanılır [1]. Kurutma odalarında, ürünler yavaş yavaş ısıtılarak kurutma sağlandığından zaman zaman dış kısmın da kabuklaşma, büzülme gibi deformasyonları önlemek, bunun içinde odaya belli bir miktar buhar vermek gerekir. Bu yöntem özellikle Alüminalı çamurdan yapılmış ürünlere uygulanır. Atmosfer basıncında 110 C altında kurutma tamamen olmamış sayılır. Şayet mamulleri çevreleyen nemli hava değiştirilirse kurutma prosesi daha hızlanmış olur. Hava; su buharı ile doyma noktasına gelmişse yaş mamulün kuruması oldukça zayıflar.

Kurutmaya etki eden etmenler kısaca şöyle sıralanır:

- Çamurun tane büyüklüğü ve dağılımı
- Çamurun bünyesindeki hammaddelerin mineral türleri
- Bünyede eriyen tuzların olup olmadığı
- Moleküllerin yapısal düzeni
- Çevrenin rutubet koşulları
- Ortamdaki hava sıcaklığı
- Kurutmaya giren malların boyut, şekil, su oranlarında beraberlik

### **2.2.7. İzolatörlerin Sırlaması**

Alçak gerilim izolatörlerinin sırlanması için tamamen kurumuş izolatörler işletmede sırlamanın yapıldığı bölüme getirilir. Kurutma arabalarından boşaltılan ürün gözle kontrol edilir. Hatalı izolatörler ayrılır. Daha sonra kuru

parçalar ıslak sünger ile silinir. Böylece yüzeyin hafifçe nemlendirilmesi sağlanır. Sırlamanın daha kolay ve iyi bir şekilde olması için bu işlem çok önemlidir. Sırlama destekler üzerine yerleştirilmiş, bomesi ayarlı sır tenekelerine izolatörlerin daldırılmasıyla yapılır. Sır devamlı karıştırılarak çökmesi engellenir. Daldırma, hareketli çubuklar ile yapılır. Otomatik olarak çalışan bir sistem söz konusudur. Sırlama sırasında dikkat edilecek bir nokta da, helezonik iç kısımların sırsız olması gerekir. Sırlanmış izolatörün pişme esnasında oturacağı yüzeyin süngerle sırsız alınır. Böylece sırlı parçanın fırın arabasına plakalar yapışarak zayıat olması önlenmiş olur [1].

### **2.2.8. İzolatörlerin Pişirilmesi**

Seramik endüstrisinde pişirme deyince (pişme, pişirme prosesi, pişirme tekniği), teknolojik işlem olarak pişirme işlemine bağlı yöntemsel, mekanik ve enerjisel tüm konular akla gelmelidir. Seramik parçanın pişirilmesinin nedeni, toz şeklindeki karşım yüksek sıcaklığın etkisi ile sıkılaştırmak ve yoğunlaştırmak, şekli sabitleyerek nihai mikroyapı oluşur. Bu esnada malzeme içerisinde fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar oluşur. Yüzey enerjisinin azalması ve kimyasal reaksiyonların oluşmasıyla malzeme oluşur. Pişirilen malzemenin içerisindeki yapının sıcaklık etkisi ile oluşturulmasına ise sinterleme denir.

Sinterleme prosesi üç ana bölüme ayrılır:

- Isıtma Bölümü: Malzemenin oda sıcaklığı ile sinterleşmenin yoğun olarak başladığı sıcaklık arasındaki sıcaklık bölgesini kapsar. Bu bölümde ısınma sonrası pişirme teknolojisi önlemleriyle sinterleme sıcaklığında sıcaklık dengelemesi yapmak gerekir.
- Pişirme bölümü : Sinterleşmiş malzemenin oluşturulması için gerekli reaksiyonlar ısıtma sırasında malzemenin karışımına bağlı olarak gerçekleşir.

Bu reaksiyonlar:

- a) Yapıya emilmiş suyun bünyeden atılması
- b) Hammadde içerisindeki organik maddelerin veya hamur içerisinde ilave edilmiş plastikleştirici ve bağlayıcıların yakılması.

c) Modifikasyon değişimi ( $\alpha$ - $\beta$  kuvars)  
d) Tuz ve karbonatların parçalanması  
e) Primer mineral oluşumu: Başlangıçtaki malzemelerin oksitlerinde olmadan meydana gelen reaksiyonlar yardımıyla zaman içerisinde değişmez bileşikler ortaya çıkar [1].

f) Kendi kendine difüzyon: Tek bileşimli sistemlerde toz taneciklerinin arasındaki tane sınırlarında oluşan difüzyonlar.

g) Primer ergime: Azami ergime kabiliyeti veya düşük sıcaklıklarda oluşan her bir bileşenin ergimesi

- Soğutma Bölümü: Bütün reaksiyonlar oluşmuş ise teknolojik olarak sinterleşme bitmiştir. Son bölümünde malzeme enerji taşınması olmaz ve malzeme soğur. Her ne kadar sinterleme bitmişse de malzemede soğutma fazında; 573°C'de gerçekleşen kuvarsın polimorfik dönüşümleri ve camsı fazın oluşması gibi yapıyı etkileyecek reaksiyonlar devam eder.

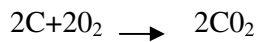
Fırında izolatörlerin pişmesi dört evrede yapılır

1. 1050 °C 'ye kadar oksidif ortam
2. 1050-1250 °C 'ye kadar redüktif ortam
3. 1250-1380 °C' ye kadar nötr ortam
4. 1380-50 °C 'ye kadar soğutma ortamı

**1. 1050 °C' ye kadar oksidasyon :** 300 °C ye kadar üründeki fiziksel bağlı su buharlaşarak sistemden uzaklaşır. Sıcaklığın artması hızlı olursa, ürünlerin çatlama tehlikesi vardır. 550-700 °C arasında kimyasal bağlı su (kristal su) kaolinitten ayrılır.



850-1050 °C devresinde serbest karbon yanar



Bu devrede yeteri kadar  $O_2$  mevcut değilse karbon daha yüksek sıcaklıkta yanar, fakat bünye hasara uğrar.

**2. 1050-1250 °C Redüksiyon :** Bu devrede Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 'un FeO haline indirgenmesi olur.

Redüksiyon yeterli olmazsa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'in bünyede değişmesi şu şekilde olur.  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → 4Fe + O<sub>2</sub>

Bu reaksiyona göre O<sub>2</sub> hacmi 6 defa genişlemiş olur. Mamullerin yüzeyinde hava kabarcıkları oluşur ve mekanik gücü düşer. Feldspatlar erimeye başlar

**3. 1250-1380 °C Nötr Atmosfer:** Bu sıcaklık aralığında atmosfer nötr olmalıdır. Oksitleyici olması kesinlikle istenmez.

Az pişirmenin veya fazla pişirmenin izolatörlerin elektro mekanik mukavemet değeri üzerindeki tesiri çok fazladır.

**4. 1380-50 °C Soğutma Bölgesi:** Yanmış gazların soğuma bölgesine geçmesine engel olunmalıdır. Aksi halde sırda renk bozunması olur. Bu bozulma beyaz rengin, kirli sarı bir renge dönüşmesi ve yüzeyin matlaşması seklindedir. 1380 °C' den 1000 °C' ye kadar olan bölgede soğuma hızlı olmalıdır. (Saatte 100-150) Bu durumda sıran parlaklığı ve mekanik dayanımı yüksek olur.

Tespit edilen pişirme rejimi ile fırının çalışma şartlarının uygunluğu termokapılar, optik pirometreler ve Seger piramitleri kullanmak suretiyle kontrol edilir. [1]Fırın Kontrolü: Fırında istenilen kapasite ve kaliteyi elde etmek için fırının devamlı olarak çalışma ve beslemenin muntazam yapılması gerekir.

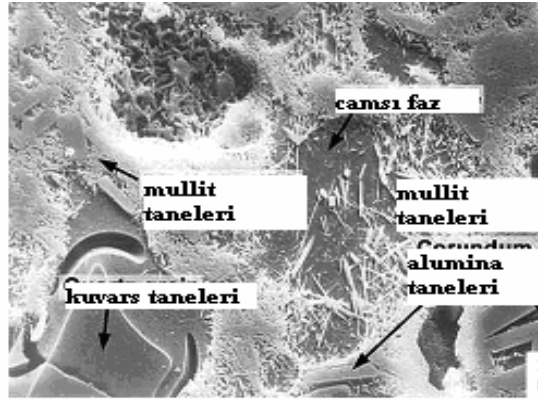
#### **2.2.8.1. Elektroporselen Pişirimi Boyunca Olan Değişimler**

Üç bileşenli (feldispat-kil-kuvars) bir porselen yapısında pişme süresince olan değişimler büyük çapta kompozisyona ve pişme koşullarına bağlıdır. Şekil 1.1 ve Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi feldispat-kil-kuvars sisteminde üçlü ötektik sıcaklığı 900°C' dir. Ama feldispat tanelerinin sıvı faz oluşturduğu sıcaklık 1140°C 'dir. Daha yüksek sıcaklıklarda denge anında katı faz olarak mullitle bağlantılı artan bir miktarda sıvı faz oluşur. Normal bir pişirmede gerçek dengeye ulaşılamaz, çünkü difüzyon oranı düşüktür ve var olan fazlar arasında serbest enerji farklılıkları küçüktür. Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi yaklaşık 1200°C'nin

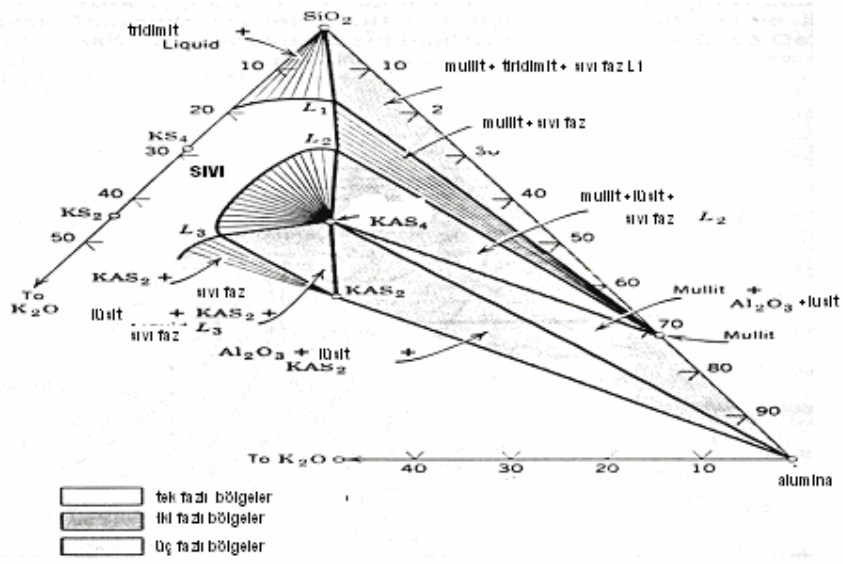
üzerindeki sıcaklıklarda genel denge koşullarında değişme olmaz yani bu sıcaklıkta uzun pişirim süreleri, daha yüksek sıcaklıkta daha kısa süredekilerle çok yakın sonuçlar verir. Ayrıca difüzyon yolunu azaltan ince öğütme; veya daha düşük sıcaklıklarda aynı sonuç verir. Başlangıç karışımı, ince taneli kil matrisi içinde çoğunlukla kuvars ve feldspat tanelerinden oluşmaktadır. Pişirim boyunca feldspat taneleri yaklaşık 1140°C de erir fakat yüksek viskoziteleri yüzünden 1200 °C ye kadar şekillerinde bir değişme olmaz. 1250 °C civarında 10 mikronun altında olan feldspat taneleri etrafındaki kil ile reaksiyona girerek kaybolur ve daha büyük taneler kil ile etkileşimdedir. Alkali, feldspat dışına difüze olur ve camsı faz içinde mullit kristalleri oluşur. Şekil 2.5. de görüldüğü gibi ince mullit iğnecikleri yaklaşık 1000 °C de görülür. Fakat en az 1250 °C sıcaklığa varana kadar optik mikroskop altında ayırt edilemez. Sıcaklığın daha da artması ile mullit kristalleri gelişmeye devam eder. 1400 °C üzerindeki sıcaklıklarda pişirimden sonra mullit, prizmatik kristaller olarak yaklaşık 0,01 mm uzunluğa kadar bulunur. Yaklaşık 1250 °C sıcaklığa kadar kuvars fazında bir değişme gözlenmez. Daha sonra sınır bölgeleri ortaya çıkar. Her bir kuvars tanesinin etrafında yüksek silika camlı eriyik sınırlar daha yüksek sıcaklıklarda daha da artar. 1350 °C ye kadar 20 mikrondan daha küçük taneler tamamen çözünür; 1400 °C üzerinde küçük kuvars taneleri kalır ve porselen hemen hemen tamamen mullit ve cam içerir. Pişirim süresince gerçekleşen değişiklikler zamana, sıcaklığa ve tane boyutuna bağlı bir oranda olur. En yavaş proses kuvars çözünümüdür. Normal pişirim koşulları altında denge pişirim sıcaklığında 1400 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda sağlanır ve yapı silika eriyiği ve mullit karışımından oluşur. Oluşan fazlar oda sıcaklığında cam, mullit ve kuvars dır ve bunlarda başlangıç kompozisyonuna ve pişirim koşullarına bağlıdır. Yüksek feldspat içerikli kompozisyonlar daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek silika eriyikleri oluşturur ve daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek kil içerikli kompozisyonlardan daha vitrifiyedir. [9]

Pişirilmemiş yapıda çeşitli kompozisyonların mikro bölgeleri vardır. Bunlar saf kil aglomerleri ve feldspatça zengin bölgeler içerir. Bu bölgelerin boyutu ve genişliği ham toz tane boyutu, aglomerasyonun seviyesi ve karışma derecesi ile kontrol edilir.

Isıtmada bu bölgeler farklı mullit tipleri ile reaksiyona girer. Saf kil aglomerlerinden türeyen mullit kristalleri kübiktir ve birincil mullit olarak tanımlanır çünkü en düşük sıcaklıkta oluşurlar. Feldspatça zengin eriyikten oluşan iğne şeklindeki mullit kristalleşmesi ikincil mullit olarak adlandırılır. Çünkü pişme prosesinde ve daha sonra oluşmaktadır. Mullitin üçüncü bir formu aluminayı dolgu olarak içeren porselenlerde gözlenir ve üçüncül mullit olarak adlandırılır. Bu, alumina dolgusunun çözümünden oluşan alumina zengin eriyikten çökelmiştir fakat yalnızca çok küçük miktarlarda gözlenir. Alumina çözünümünden ve yeniden çökmesi ile oluşan mullit kaolinit-alumina karışımında gözlenir [9].



Şekil 2.5. SEM altında bir alumina porselenin mikro yapısı



### 3. ALUMİNA PORSELEN ÜRETİMİ HAKKINDA YAPILMIŞ MEVCUT ÇALIŞMALAR

Alumina porselen üretimi yüksek voltaj izolatörleri için çok önemli bir malzemedir. Bu malzemelerin geniş boyutları üretimlerini zorlaştırmaktadır. Plastik şekillendirme metotları kurutma ve pişirme işlemleri süresince yapısal kusurlar yaratma eğilimindedir. Porselen izolatörlerde istenen dayanım, pişmiş malzemede iri mikroyapısal bileşenlerden sakınılarak elde edilir.[10]

Klasik bir elektroporselen bünyesi % 35-50 kaolin, % 20-40 kuvars ve % 20- 50 feldspat içerir. Kuvarsın en büyük dezavantajı 573 °C 'de soğuma esnasında hacimsel küçülmeye neden olan kristal modifikasyonundaki değişimdir. Bu sıcaklıkta feldspattan oluşan camı eriyik gevrekli ve artık küçülmez. Küçük kuvars taneleri cam fazdaki basınç artışı ile porselenin dayanımını artırır ama tüm etki negatiftir. İri kuvars taneleri gerilmelere dayanamaz ve porselen dayanımını azaltan mikro çatlaklar oluşur [10]. Mikro çatlaklardan sakınmak için 1950'ler de ve 60'larda çeşitli çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmalarda amaç kuvars ile diğer hammaddelerin yer değiştirmesidir. Alumina, kuvarstan daha pahalı olmasına rağmen gerekli dayanımın sağlanması için ihtiyaç duyulan alumina miktarı eklenmelidir. Alumina porselenlerde potasyum feldspat kullanılmaktadır. Genel olarak; sodyum feldspatlar, potasyumlardan daha akışkandır bu yüzden silika porselenlerde camı faz miktarı alumina porselenlerden daha fazladır.

Silika porselenlerde, yüksek sıcaklık ve uzun pişirim süresi, kuvars tanelerinin çözünmesinden dolayı seramik yapıda katı kuvars içeriğinin azalmasına neden olur. Bu azalma, açık şekilde porselenin mekanik dayanımını düşürür. Kuvars taneleri ve onu saran sıvı faz arasında termal genleşme farklılıkları mikroçatlaklara neden olan termal gerilmeler oluşturmaktadır. Sıcaklıktaki yoğun değişimler zaten var olan mikroçatlakların artmasına neden olurken beraberinde mekanik dayanımı da düşürür.

Alumina porselenlerde çoğunluktaki kuvarsın yerine alumina yer almaktadır. Buda mekanik dayanımın artmasını sağlar. Sinterleşme prosesi sırasında mullit oluşmakta ve ayrıca camı faz içerisinde gömülü olarak alumina (korundum) taneleri bulunmaktadır.. Buda erimemiş alumina (korundum) taneleri içeren porozitesiz yüksek miktarda camı faz içeren porselen yapısı demektir. Sonuçta alumina (korundum) tanelerinin yüksek sıcaklıklarda ve uzun pişirim sürelerinde kararlı kalabilmelerinden dolayı alumina porselen bünyelerde yüksek sıcaklık ve uzun pişirim süreleri mekanik dayanıma etki etmez. Alumina porselenler, sıcaklık değişimlerine duyarsızdır ve mekanik dayanım çoğunlukla silika porselenlerdeki gibi mullit miktarıyla değil de korundum miktarı ile kontrol edilmektedir [11].

Wely, kuvarşca zengin porselenlerde iç gerilimlerin büyüklüğünü hesaplamıştır. Wely' in hesabına göre kuvars tanelerinin yoğun termal farklılıkları normal yüksek gerilim izolatörlerinde en az  $4000 \text{ kg / cm}^2$  lik yapısal gerilimlere neden olmaktadır. Yapısal gerilimlerden dolayı kuvars veya kristobalit tanelerinden ortaya çıkan mikroçatlaklar izolatör üretim prosesi süresince gelişebilir. Schulle'a göre alumina porselenlerde mekanik dayanımın artışı yüksek Young modülüne sahip bileşenlerin artışı ile ilgilidir. Young modülü ile dayanım arasındaki direkt ilişkiden dolayı bu dayanımın karakteristiklerini etkilemektedir. Alumina miktarının artması ve kuvars miktarının azalması porselen dayanımının artmasını sağlar [12].

**Tablo 3.1.** Kuvars, Mullit ve Korundum Tanelerinin Mekanik Karakteristikleri [12]

<b>Karakteristik</b>	<b>Kuvars</b>	<b>Mullit</b>	<b>Korundum</b>
<b>Young modülü ( x 10 MPa)</b>	~ 90	~ 40	~ 30 – 500
<b>Basma dayanımı MPa</b>	~ 2200	~ 2200	~ 3000
<b>Çekme dayanımı MPa</b>	~ 85	80	~ 150 – 500
<b>Eğme dayanımı MPa</b>	~ 140	~ 100	~ 300 -800

Petzow'a göre bir malzemenin mikroyapısı, kendi kompozisyonunda ve içerdiği kusurlardaki tüm faz bölgelerinin bütünlüğünü tanımlamaktadır.

Mikro yapı mukavemet ve kuruma gibi bir çok özelliği etkilemektedir.

Seramik malzemeler çok kristalli bir mikroyapıya sahiptir. Aşağıda verilen bilgiler yüksek voltaj izolatörleri içindir.

- Homojen şekilde dağılmış maksimum korundum içeriği sayesinde yüksek mekanik dayanım
- Kuvarsı minimum seviyeye indirerek uzun vadeli kararlılık sağlanması.

En iyi mikro yapı yüksek korundum içeriğine ve düşük kalıntı kuvars içeriğine sahiptir.

Mikro yapının kararlılığını ve mukavemetini artırmak için öncelik sırası;

- Kuvars miktarı azaltılmalı
- Erken ötektik eriyik faz oluşumu
- Alumina içeriği artırılmalı > %60
- Düşük pişirim sıcaklığı
- 1000 °C ' nin üzerinde hızlı soğutma [12]

**Tablo 3.2.** Silika ve Alumina Porselende Mullit, Cam Fazı, Kuvars, Alumina İçeriği [13]

	<b>Müllit %</b>	<b>Cam fazı %</b>	<b>Kuvars %</b>	<b>Alümina %</b>
<b>Silika porselen</b>	19,0	70,2	10,8	-
<b>Alumina porselen</b>	27,8	40,5	Eser miktarda	31,7

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Hammaddeler

Yapılan bu tez çalışmasında massede kullanılan hammaddeler kil, kaolen, feldspat ve aluminadır. Sır hammaddeleri olarak da Ankara Seramik A.Ş. de kullanılan sır bileşimi kullanılmıştır. Kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri ve aluminanın fiziksel özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Hammadde Kimyasal Analizleri (% ağırlıkça)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K.K	Tane Boyutu
75 mikron üstü < 0.5% K Feldspat	68,98	17,30	0,145	0,035	0,22	0,04	2,60	10,35	0,03	0,30	< 15 mikron
100 mikron üstü < 0,46 Kaolen	63,77	24,31	0,39	1,18	0,71	0,15	0,50	-	-	7,87	
Kil	53	29,50	1,50	1,20	0,43	0,50	0,35	1,90	-	1,50	
Kaolen 2	53,23	31,68	0,74	2,46	0,12	0,00	0,089	0,059	-	11,60	
$\alpha$ Alumina	$\leq 0,08$	$95 \geq$	$\leq 0,04$		$\leq 0,05$						

**Tablo 4.2.**  $\alpha$  Alumina Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler	D <sub>10</sub> (µm)	d <sub>50</sub> (µm)	d <sub>90</sub> (µm)	Spesifik Yüzey Alanı m <sup>2</sup> /g	Bulk Density Kg / m <sup>3</sup>
$\alpha$ Alumina	0,8 – 2,8	4-6	9-15	0,5 – 1,2	700

## 4.2. Reçete Hazırlama

Bu çalışmada elektro porselen üretiminde hammadde olarak yaygın şekilde kullanılan kuvarsın yerine alumina kullanılmıştır. Yapılan reçetelerde artan oranlarda alumina kullanılmıştır. Kullanılan reçeteler tablo 4.3 de gösterilmiştir.

**Tablo 4.3.** Alumina Masse Reçeteleri

	<b>KİL</b> (%)	<b>KAOLEN</b> <b>1</b> (%)	<b>KAOLEN</b> <b>2</b> (%)	<b>K.FELDSPAT</b> <b>1</b> (%)	<b>KUVAR</b>	<b>ALUMİNA</b> (%)
<b>A.M.1</b>	19,5	21	10,5	25	-	24
<b>A.M.2</b>	19,5	18,5	10	27	-	25
<b>A.M.3</b>	57	-	-	18	-	25
<b>A.M.4</b>	45			25	-	30
<b>A.M.5</b>	35	-	-	25	-	40
<b>K.M</b>	20	10	20	30	20	-

## 4.3. İzolatör Çamuru ve Bünyesine Uygulanan Deneyler

### 4.3.1. Elek Analizi ( Elek Bakiye)

Elek analizi 90-63 – 45 mikronluk eleklerle yapılır. 100 gr sıvı çamur en büyük eleğe konulur ve elekler sallanarak birbirinden geçmesi sağlanır tamamen temiz su akışı görülünce eleme işlemi tamamlanır ve elek üstünde kalanlar pipet yardımı ile saat camına aktarılır. 110 ° C' lik etüvde numuneler kurutulduktan sonra her eleğin üstünde kalan kuru madde miktarı tartılarak bulunur. Elde edilen değer 100 ile çarpılıp daha önce tespit edilmiş kuru madde miktarına bölünür.

Elek bakiye (*E.B.*) (gr)

$$E.B = (E.Ü. \div K.M) \times 100 \quad (4.1)$$

formülü ile verilir.

Burada *E.Ü.*, elek üstü kuru madde miktarını (gr)

*K.M.*, kuru madde miktarını göstermektedir. (gr)

#### 4.3.2. Yoğrulma Suyu Tespiti

Killerin plastik kıvamında şekil alabilme yeteneğine gelinceye kadar verilen suya yoğrulma suyu denir. Yoğrulma suyu miktarı fazla olan killer, küçük olanlara göre daha özlüdürler.

Plastik çamur kıvamında hazırlanan numuneler tartılı değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Değişmez ağırlığa gelen çamurun yoğrulma suyu şu şekilde hesaplanır.

Yoğrulma suyu ( $Y.S.$ ) (gr)

$$Y.S. = [(P.A - K.A.) \div K.A.] \times 100 \quad (4.2)$$

formülü ile verilir.

Burada  $P.A.$ , plastik ağırlık (gr)

$K.A.$ , kuru ağırlığı (gr) göstermektedir.

#### 4.3.3. Kuru, Pişme, Toplu Küçülme Deneyleri

Seramik hamurları şekillendirildikten sonra kuruma sürecinde hazırlandıkları su oranında, pişme sürecinde de pişirildikleri dereceye bağlı olarak ayrı oranlarda küçülme gösterirler. Kuruma sürecinde meydana gelen küçülmeye kuru küçülme, pişme aşamasında meydana gelen küçülmeye pişme küçülmesi denir.

Kuru küçülme ( $K.K.$ ), Pişme küçülmesi ( $P.K.$ ) ve Toplu küçülme ( $T.K.$ )

$$K.K. = [(Y.U. - K.U.) \div Y.U.] \times 100 \quad (4.3.)$$

$$P.K. = [(K.U. - P.U.) \div K.U.] \times 100 \quad (4.4.)$$

$$T.K. = [(Y.U. - P.U.) \div Y.U.] \times 100 \quad (4.5.)$$

formülleriyle verilir.

Burada  $Y.U.$ , yaş uzunluk (mm)

$K.U.$ , kuru uzunluk (mm)

$P.U.$ , pişmiş uzunluğu (mm) göstermektedir.

#### 4.3.4. Su Emme ve Gözeneklilik

Seramik bünyelerde su emme ve gözeneklilik, pişme derecesine ve yapısal camsı faz oluşumuna bağlı olarak biri diğerine paralel bir ilişki oluştururlar. Su emme yüzdesi hesap yolu ile aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Su emme (*S.E.*)

$$S.E. = [(Y.A. - K.A.) \div K.A.] \times 100 \quad (4.6.)$$

formülü ile hesaplanır.

Burada *Y.A.*, yaş ağırlık (gr)

*K.A.*, kuru ağırlık (gr) olarak gösterilmiştir.

Gözeneklilik kontrolü sırlı olarak pişirilen malzemelere uygulanır. Bu deneye fuksin deneyi de denilmektedir. Pişmiş malzemeler alkol ve fuksin çözeltisinin karışımı içinde 300 atü de yaklaşık 6 saat tutulur. Daha sonra cihazdan çıkarılan malzemeler kırılır ve çözeltinin 1 mm den fazla geçip geçmediği kontrol edilir.

#### 4.3.5. Tane Boyut Dağılımı Tespiti

Kullanılan alumina masse, kuvars masse, kil ve aluminanın tane boyut dağılımlarını tespit etmek için Malvern Instruments (İngiltere) tane boyut ölçüm cihazı kullanılmıştır.

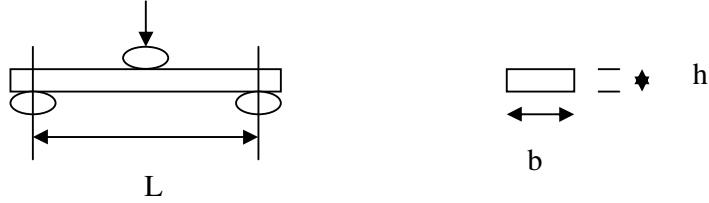
#### 4.3.6. Termal Şok Testi

Seramik ürünler oluşabilecek ani sıcaklık farklılıklarına yapılarına göre, belli bir noktaya kadar kırılmadan dayanabilirler.

Isıl şoka dayanım deneyleri eşit boya sahip numuneler üzerinde yapılır. Belli bir sıcaklığa kadar ısıtılan numune ani olarak soğutulur. Bu deneyler giderek artan sıcaklardan son dayanım noktasına kadar tekrarlanır. Bu süreç içinde bünyede oluşan değişiklikler, sıcaklık artışı göz önünde alınarak yorum yapılır [14].

#### 4.3.7. Eğilme Mukavemeti Testi

Deney düzeni ve düzeneği, üzerine deney parçasının yatırıldığı iki adet paralel deney parçasından destek çubuğundan ve destek çubukları arasındaki orta noktada bulunan ve kuvveti deney parçasına uygulanan bir yükleme çubuğundan oluşur [14].



Şekil 4.1. Eğilme Dayanımı Test Ünitesi

Eğilme dayanımı (E.D.)

$$E.D. = (3/2) \times [(F \times L) \div (b \times h^2)] \quad (4.7.)$$

formülü ile verilir.

Burada  $F$ , kırma olayında deney parçasına uygulanan toplam kuvvet (N)

$L$ , destek noktaları arası mesafe (mm)

$b$ , deney parçasının genişliği (mm)

$h$ , deney parçasının kalınlığı

#### 4.3.8. Elastik Modül

Çekme yada basmada, tek eksenli birim uzamayı sağlamak için bir malzemeye uygulanması gereken gerilme çoğunlukla esneklik modülü olarak ifade edilir. [5] Malzemedeki boyuna ve tersine ses dalgalarının geçme süresi eldesi ile Poisson oranı tespit edilir. Poisson oranı yardımı ile malzemenin elastik modülü tespit edilir. Bir malzemeye yük uygulanınca atomik boyutta hafif bir değişim olduğundan deformasyon oluşur.

Yük tipi ve miktarı malzemenin atomik bağ mukavemetine, gerilime ve sıcaklığa bağlıdır. Her bir malzeme için belirli gerilim sınırına kadar yük tersinirdir.

Yük kalktığı zaman atomik boyutta olan hafif değişim tekrar orijinal seviyesine geri döner ve yük kaybolur. Elastik modülün büyüklüğü malzemedeki atomsal bağların mukavemeti ile belirlenir. Atomal bağ ne kadar büyükse atomlar arası açıklık için o kadar büyük gerilim gerekir, ve dolayısı ile elastik modülde o kadar büyüktür [5].

#### 4.3.9. Çekme Testi

Çekme testi, malzemelerin dayanımı hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile uygulanır. Çekme standartlara göre hazırlanmış deney numunelerine tek ekseninde statik veya belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulanır. Elektroporselen bünyeler hava şartlarında rüzgar, ısı, don ve bunun gibi bünyede çekme gerilimleri yaratan zorlayıcı yüklere maruz kalırlar. Bu yükler altında elektroporselen bünyeler belirli çekme dayanımlarını sağlamaları gerekir.

Çekme mukavemeti ( $\mathcal{C}.M$ )

$$\mathcal{C}.M. = [F \times 4] \div [\pi \times R^2] \quad (4.8.)$$

formülü ile verilir.

Burada  $F$ , deney parçasına uygulanan yük (kg)

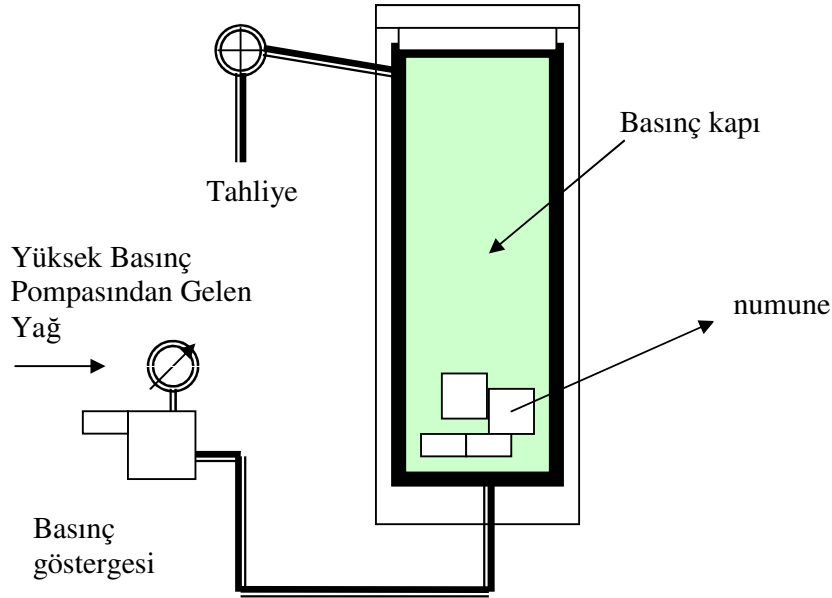
$R$ : deney parçasının kırılma çapı (cm) olarak gösterilmiştir.

#### 4.3.10. Boya Nüfuz (Fuksin) Deneyi

Bu deney, yüksek gerilimde dielektrik özelliğin kaybolması bakımından malzemeyi yetersiz kılabilen sürekli ve birbiri ile bağlantılı gözeneklerin veya mikro çatlakların varlığını tespit için yapılmaktadır [14].

Deney cihazı en az 30 MPa basınca dayanabilecek bir basınç kabı olmalıdır. Deney parçaları olarak, numune kırıkları olmalıdır. Numunelerin sırlı alanı toplam alanının % 25 inden fazla olmamalıdır. Deney parçaları, ya doğrudan basınç kabına yada metal bir kaba konularak boya çözeltisinin olduğu basınç kabına yerleştirilir.

Sisteme MPa cinsinden basınç değeri ile saat (h) cinsinden süre değerinin çarpımı 180'den küçük olmayacak şekilde formüle edilen süreyle en az 15 MPa basınç uygulanmalıdır. Uygun bir süre sonra parçalar cihazdan çıkarılmalı ve su ile yıkandıktan sonra kırılmalıdır. Kırılan bu yüzeylerde boya nüfuzunun olup olmadığı gözle muayene edilmelidir. Bu yüzeylerde hiçbir boya nüfuzu olamamalıdır [1].



Şekil 4.2. Metal kapta bulunan boya çözeltilisine yüksek basınç uygulama cihazı [14]

#### 4.3.11. SEM ile Mikroyapısal Analiz

SEM analizi için hazırlanan numuneler kesilerek polimer reçine ile kalıba alınmıştır. Kalıba alınan numuneler SiC zımparalarla kaba parlatması yapılmıştır. Parlatma işlemi sonrası numuneler % 5 lik HF asit çözeltisi ile dağlanmış ve saf su ile temizlenerek analize hazır hale getirilmiştir. SEM için hazırlanan numunelerin yüzeyleri yüzey şartlanmasını engellemek ve yüzeyi daha iletken hale getirmek için vakum ortamında altın ile kaplanmıştır. Elde edilen fazların dağılımı, tane ve kristalin fazların morfolojisi ve boyutları, yapıda oluşan ikincil fazlar ve porozite ile elde edilen yapının homojenliği SEM ile kontrol edilmiştir.

Mikroyapı analizinde Zeiss Supratam 50VP değişken basınçlı analitik FESEM elektron mikroskobu kullanılmıştır. Bu cihaz 1,5 milyon büyütme çıkabilmektedir.

#### 4.3.12. Ortalama Doğrusal Termal Genleşme Katsayısı

Bu testin uygulandığı test cihazı dilatometre olarak bilinir. Deney parçaları, deney donamına ve deney parçası için sıcaklık homojenlik özelliğine uygun uzunluktaki çubuklar olmalıdır [14]. Deney parçası en kesiti, ısıtma ve soğutma esnasındaki termal gecikmeyi en aza indirmek amacı ile tercihen 30 mm<sup>2</sup> den daha büyük olmamalıdır. Deney parçası, cihaza yerleştirilir, en büyük ısıtma ve soğutma hızı olan 2 K/min hızda en az üç termal çevrim uygulanır ve görünür termal genleşme kaydedilir. Uygulanan termal çevrimin en yüksek sıcaklığı, doğrusal genleşme tayini için gereken en yüksek sıcaklıktan en az 20°C daha fazla olmalıdır.

Doğrusal termal genleşme katsayıları; 30°C ila 300°C, 30°C ila 600°C ve 30°C ila 1000°C sıcaklık aralıklarında yapılır. Termal genleşme terimi genel olarak, sıcaklığın artması veya azalması ile boyutlarda oluşan değişimleri tanımlamakta kullanılır [5].

Ortalama doğrusal genleşme katsayısı ( $\alpha$ )

$$\alpha = (\Delta L / (L_0 \times \Delta T)) \quad (4.9.)$$

formülü ile verilir.

Burada  $L_0$ , 0 °C deki boyut (mm)

$\Delta L$ , boyut değişimi (mm)

$\Delta T$ , tayin için sıcaklık aralığı (K)

Erime sıcaklığı ve termal genleşme arasında bir ilişki vardır. Erime sıcaklığı ve genleşme katsayısı bağ mukavemeti ve termal titreşimlerin büyüklüğü ile kontrol edilir. Bağ mukavemeti arttıkça erime sıcaklığı artar, termal genleşme katsayısı düşer [4].

Ortalama genleşme katsayılarının tespitinde NETZSCH 402 PC model dilatometre cihazı kullanılmıştır.

### 4.3.13. Termal İletkenlik

Termal iletkenliğin doğrudan ölçülmesinde, ısı akışına dik iki yüzey arasında kararlı, muntazam bir termal dağılım oluşturulur. İki yüzeyin sıcaklığı ölçülür. Termal yayınının ölçülmesi için ince deney parçasının bir yüzeyine, geçici bir termal darbe uygulanır. Darbenin diğer yüzeye ulaşması kaydedilir [14].

Dielektrik katılarda ısı iletimi ya düzensiz elastik dalgaların sürekli bir dizi boyunca yayınımları ile yada fonon arasındaki etkileşim ile olduğu düşünülebilir. Bu latis dalgalarının frekansı bir değer aralığını kapsar, ve yayılma mekanizması veya dalga etkileşimi bu frekansa bağlıdır. Termal iletkenlik aşağıda belirtilen denklemlerle ifade edilir [5].

Termal iletkenlik ( $k$ )

$$k = a \times d \times C_p \quad (4.10)$$

formülü ile hesaplanır.

Burada  $a$ , termal yayınlılık katsayısı, ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

$d$ , yoğunluk ( $\text{kg m}^{-3}$ )

$C_p$ , ısıl kapasite ( $\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) olarak gösterilmiştir.

Elastik dalgalardan küçük bir termal iletkenliğe ve enerji yayınımlarına neden olan ana proses; Umklapp prosesi olarak adlandırılan fonon yayınımları ile aynı olan fonon – fonon etkileşimidir. Fonon etkileşimine ek olarak çeşitli latis kusurları düzensizliklere ve buda serbest yolu azaltan fonon yayınımlarına neden olur ve iletkenliği etkiler. Yeterince yüksek sıcaklıklarda, genellikle oda sıcaklığının üstünde kusur yayınımları sıcaklıktan ve titreşimsel frekanstan bağımsızdır. Latis kusurlarından dolayı olan farklı yayımlar mekanizmalarının bir çeşidi düşük sıcaklıklarda birçok spesifik sonuca neden olur.

Seramik malzemeler çok geniş bir termal iletkenlik aralığı gösterirler. Termal enerjisi taşıyan birincil taşıyıcılar fononlar ve radyasyondur. En yüksek termal iletkenlik; tek elementli yapılardan, benzer atom ağırlıklı elementlerden oluşan yapılardan ve katı karışımında yabancı atom içermeyen yapılardan oluşan yapılarda sağlanır [5].

Termal geçirgenlik testinde LFA 457 Mikro Flash termal geçirgenlik cihazı kullanılmıştır.

#### 4.3.14. Termal Analizler

DTA ve TG yöntemi birbiri ile kombine çalışır. Aynı cihazda hem DTA hem de TG analizleri yapılabilir. TG analiz yönteminde, sıcaklığa bağlı olarak malzemedeki ağırlık kaybının miktarına göre söz konusu malzemenin nasıl bir malzeme olduğunu ve ağırlık kaybına neden olan bileşenlerin miktarı da yaklaşık olarak tespit edilir. DTA analizi ham bünyenin yüksek sıcaklığa çıkarılana dek geçirdiği ekzotermik ve endotermik reaksiyonları açıklamakta kullanılır. Termal gravimetrik analizler ise aynı termal döngü içerisinde olan kütle kayıplarını gösterir.

Sonuç olarak, dilatometre bünyenin ısıtma ve soğutma esnasında maruz kaldığı boyutsal değişimleri anlatmaktadır. Termal analiz testlerinde STA 409 PG simultane Termal Analiz cihazı kullanılmıştır.

Porselen bünyeler kimyasal dirençli, mekanik dayanımı yüksek v.b. mükemmel teknik performanslı cam bağlı malzemelerdir.

Porselen karo gibi seramik bünyeler viskoz akışlı sinterleme prosesi geçirirler. İtici güç sıvı fazın yüzey gerilimidir ve prosesin hızı camsı fazın viskozitesi ile kontrol edilir [15].

Porselen karo bünyelerin sinterleme davranışları üç ana evrede gerçekleşmektedir [16].

- Küçük boyutsal değişimlerin olduğu başlangıç evresi, 1050 - 1200°C' ye kadar.
- Yoğunlaşmanın gerçekleştiği ara evre, genellikle 1100-1200°C aralığında
- Az veya çok genleşmelerin olduğu son evre [16].

Elektroporselen bünyelerde de sinterleme evreleri üç evrede gerçekleşmektedir.

- 1100-1150°C' ye kadar başlangıç evresi
- 1150-1300°C arası ara evre

- son evre

Elektroporselen bünyelerin sinterleme davranışlarının incelenmesinde MISURA 3.32 ODHT-HSM model optik dilatometre cihazı kullanılmıştır.

#### **4.3.15. Piroplastik Deformasyon Testi**

Pişmiş porselen yapılar % 50- 80 oranında camsı faz içerebilmektedir. Camsı faz kalıntı ve kristalin taneler arasında bağ sağlamaktadır. Aynı zamanda şeffaflık sağlar ve ayrıca elektrik porselenlerin dielektrik bozunum dayanımlarını geliştirir. Vitrifikasyon sırasında bu arzu edilen camsı fazın gelişiminde karşılaşılan ana problemlerden bir tanesi de yapının piyoplastik olarak deformasyona uğramasına neden olan yüksek sıcaklıklardaki viskozitesinin düşük olması ve/veya camsı faz miktarındaki ani artış olmasıdır [17].

Piroplastik deformasyonla “warping” birbirleri ile karıştırılmamalıdır. “Warping”e kurutma ve/veya pişme süresince olan kısmi küçülmeler neden olur. “Warping” herhangi bir yönde olabilir ama Piroplastik deformasyon daima ağırlığın altında aşağıya doğru bir yığılmaya neden olur. Ürün dizayn edilirken bu problemin çok büyük bir etkisi vardır çünkü yapının deforme olabileceği yeteneğini geliştirir veya düşürür [17].

Sıvı fazın viskozitesi ve miktarı hem çekirdeklenmeyi ve mullit büyümesini hem de piyoplastik deformasyonu etkileyen iki faktördür. Sıvı faz, yapının kendi ağırlığı altında deforme olmaksızın yoğunlaşmasına olanak sağlar. Vitrifikasyonu garantilemek ve istenilen difüzyon prosesini gerçekleştirebilmek için minimum miktarda sıvı fazın taneleri tamamen ıslatması gerekmektedir [17].

Sıvı fazın miktarı sıvı özellikleri ve taneler arası porozite ile çeşitlilik gösterir. Yapıda başlangıç porozitesi ne kadar çok ise küçülme o kadar fazla olacak ve gerekli sıvı faz miktarı da o kadar fazla olacaktır aynı zamanda vitrifikasyon ve yoğunlaşma için gerekli zamanda o kadar uzun sürecektir. Diğer yandan ekonomik nedenlerden dolayı uzun pişirim süreleri tercih edilmez. Sonuç olarak yüksek paketlenilme yeteneğine sahip yapılarla çalışmak önem arz etmektedir [17].

Yüksek viskoziteli bir sıvı faz, sistemin piroplastik olarak deforme olmasına engel olmaya yardımcı olur. Daha öncede belirtildiği gibi daha yüksek viskoziteli sıvı faz çekirdeklenmeyi ve ikincil mullit gelişim oranını artırır. Viskozite sadece sıcaklığa bağlı değil aynı zamanda kompozisyonun da güçlü bir fonksiyonudur. Piroplastik deformasyon testinde aşağıda belirtilen denklem kullanarak deformasyon indeksi (PI) hesaplanır.

$$PI : (S \times D^2) / L^4 \quad (4.11)$$

Burada PI , piroplastik indeks ( $\text{cm}^{-1}$ )

S, maksimum deformasyon (cm)

D, numune kalınlığı (cm)

L , mesnetler aası mesafe (cm)

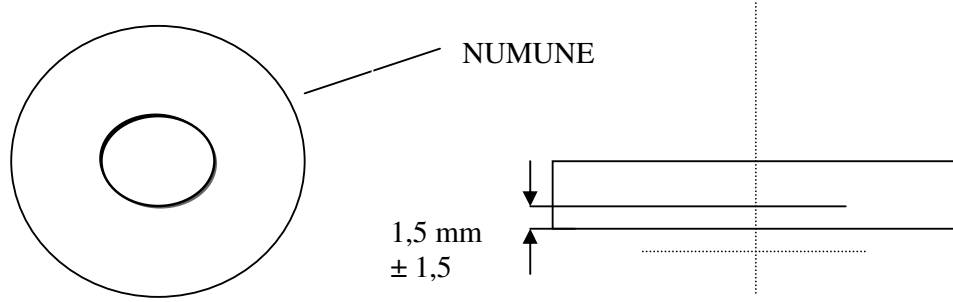
Piroplastik testinin yapılamısında EXPERT SYSTEM MİSURA cihazı kullanılmıştır.

#### **4.4. Elektroporselenlere Uygulanan Elektrik Testleri**

##### **4.4.1. Elektrik Mukavemeti**

Bir yüzünde yarım küre şeklinde oyuk (basınçla veya makine ile) oluşturulmuş bir disk, bir tarafından öbür tarafına gerilim uygulanan, oyuğa oturan bir çelik veya pirinç küre ile bir düz plaka elektrot arasına yerleştirilir. Disk şeklindeki deney parçasının karşılıklı yüzeylerine delininceye kadar artan bir güç frekans gerilimi uygulanır [14]. Uygulanan voltaj sonucunda delinen parçalar tespit edilir ve parçaların delindiği yerlerden kesit alınarak delinme mesafesi ölçülür. Delinme mesafesi değerlerine karşılık gelen “K” değerleri Tablo 4.4 de verilmiştir. Kalınlık değerleri alınan numunelerin delinme dayanımları formül 4.12 ile hesaplanır.

Deney parçaları aşağıdaki Şekil 4.3’ de verilmiştir.



**Şekil 4.3.** Elektrik mukavemeti ve dayanma gerilimi deneyleri için deney parçaları [14]

Sonuçların hesaplanması :

$$E = k \times U \quad (4.12)$$

Burada E, elektrik mukavemeti kV/mm

k, r yarıçaplı yarımkürenin düzeltilmiş kalınlığı ( $\text{mm}^{-1}$ )

U, delinme voltajı (kV)

**Tablo 4.4.** Deney Parçaları Kalınlıklarının Değişik Değerler İçin “K” Değerleri [10]

Deney Kalınlığı	Parçalarının	r yarıçaplı yarım küre için düzeltilmiş kalınlık (k) $\text{mm}^{-1}$	
		10 mm	5 mm
1,35		0,809	0,879
1,36		0,803	0874
1,37		0,798	0,868
1,38		0,793	0,863
1,39		0,787	0,858

#### 4.4.2. Bağlı Geçirgenlik Testi

Deney parçalarının kalınlığı, bir mikrometreyle  $\pm 0,01$  mm doğrulukla ölçülür ve elektrotlar yerleştirilir. Deney parçası, en az 2 saat süre ile,  $120 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  'a kadar ısıtılarak ve daha sonra bir desikatörde soğutulularak şartlandırılır. [14]

Deneye hazır hale geldiğinde deney parçası desikatörden çıkartılır ve hızlı bir biçimde, kuru hava ile doldurulmuş deney cihazına yerleştirilir.

Deney odasının sıcaklığı aşağıdaki tablodan seçilen deney sıcaklığına yükseltilir veya düşürülür. Deney parçasının sıcaklığı, gerekli deney sıcaklığında  $\pm 1^\circ\text{C}$  dan daha iyi olarak dengeye ulaştıktan sonra IEC 60250 ye uygun olarak elektrik ölçümleri yapılır. Deney için tavsiye edilen frekanslar aşağıdaki gibi olmalıdır.

48 Hz ila 62 Hz arası; 0.8 kHz ila 2 kHz arası ve 1 MHz . [14]

Kristalin izolatörlerde dielektrik katsayısı (k) elektrik alanı altında izolatörde polarizasyona neden olan elektronik, iyonik ve dipol oryantasyonların kombinasyonu ile karakterize edilir. Bir malzemenin yük depolayabilme kabiliyeti veya polarize olabilme derecesi kısmi dielektrik sabiti ile açıklanmaktadır [5].

Kısmi dielektrik katsayısı

$$\epsilon' = (\epsilon_{numune}) / (\epsilon_{vakum}) \quad (4.13)$$

formülü ile ifade edilir.

Burada  $K_{numune}$ , numunenin dielektrik katsayısı

$K_{vakum}$ , kuru havada ( $0^\circ\text{C}$ ) 1 dir [5].

Dielektrik katsayısının ölçümünde HP4194A model kazanç fazı analizörü kullanılmıştır.

#### 4.5. Renk Analizi

Pişmiş mamullerin beyazlığı büyük çapta başlangıç hammaddelerinin kompozisyonlarına bağlıdır. Standart porselen ürünlerde  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  miktarı azalması pişmiş ürünlerdeki beyazlığı artırır. Bir başka ifade ile, L değeri artar, b düşer. Zhou ve Wiessman 'a göre camsı fazdaki demir porselendeki beyazlığın kaybının ana sebebidir çünkü karışımdaki belirli miktardaki demir oksit, camsı faz da gömülü bulunan mullit taneleri gibi aynı renk değişimini gösteremez [18].

Aynı miktarda kromofor impurite içeriğinde ürünün beyazlığı pişme sırasında gelişen fazların oranı ve doğasına bağlıdır. Sanchez beyazlık (L), sarılık (b) ve kristalin faz miktarı arasında bir bağlantı varlığını doğrulamıştır. Öyle ki, toplam kristalin faz içeriği arttıkça beyazlık artar (L artar) ve sarılık azalır ( b azalır ). Mullit ve kuvars arasında ki refraktif indeks farkı küçük olmasına rağmen her iki komponentin kristallerinin camsı fazda varlığı ana opaklık mekanizmasıdır.

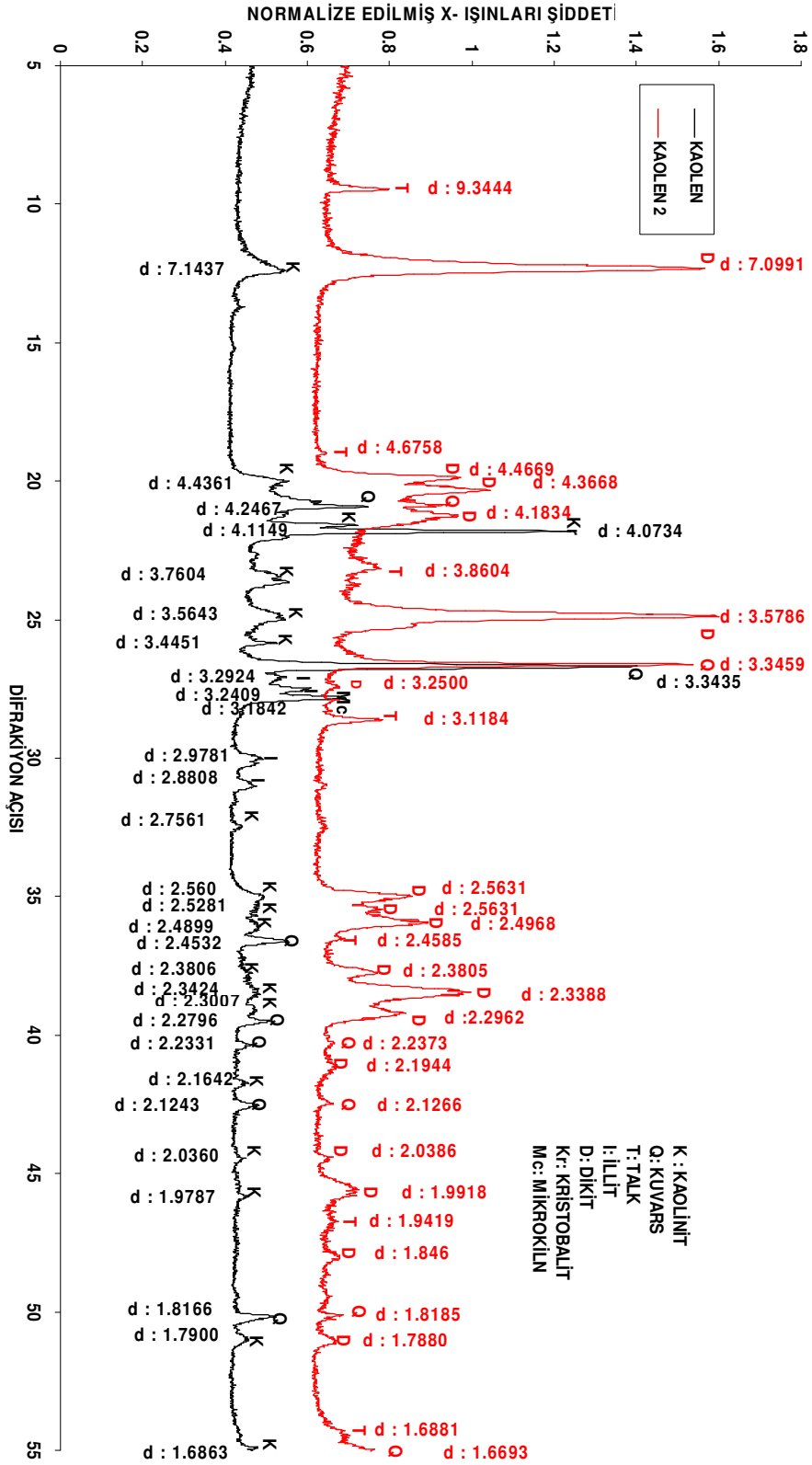
Diğer yandan kristalin fazda renk verici elementlerin içerinin az olmasından dolayı opaklaşma ürünün beyazlığını artırır ( L artar ve b azalır ). Vitrikiye olmuş mullitin opaklaşma etkisi residual kuvarstan daha büyüktür çünkü tane boyutu daha küçüktür [18].

Beyazlık gibi renkli malzemelerdeki renk gelişimi de hammaddelerdeki renk verici impuritelere bağlıdır. Mullit miktarını destekleyecek kaolin ve kuvarsın eriyikteki çözünümlü artan renk yoğunluğunu azaltır ( L artar). Bunun tersine felspat içeriğinin artması ile renkli alan artar ( L azalır) [18].

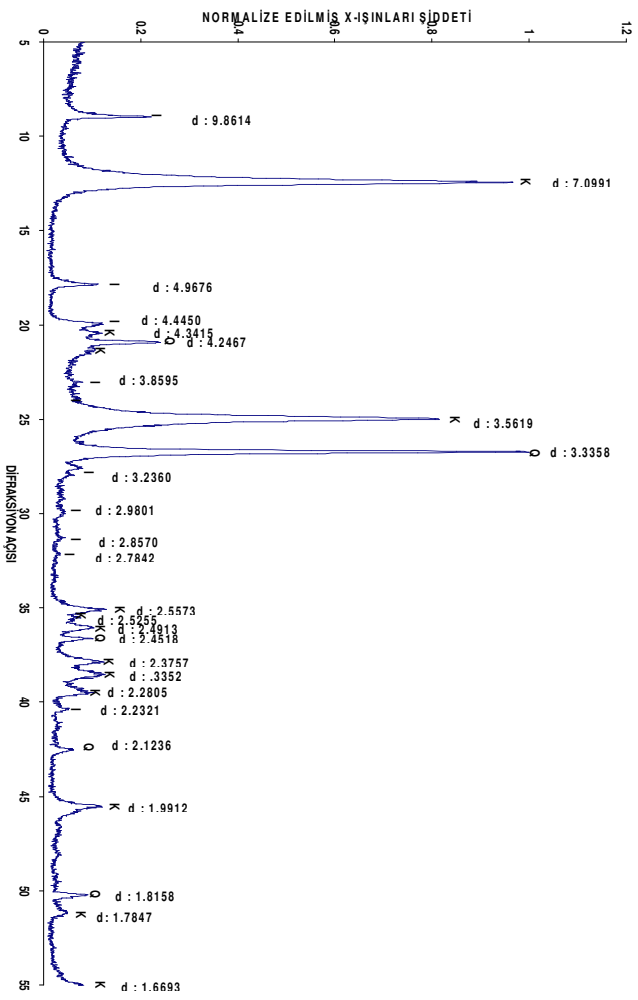
## 5. BULGULAR

### 5.1. Hammadde X- Işınları Difraksiyonu Analizleri

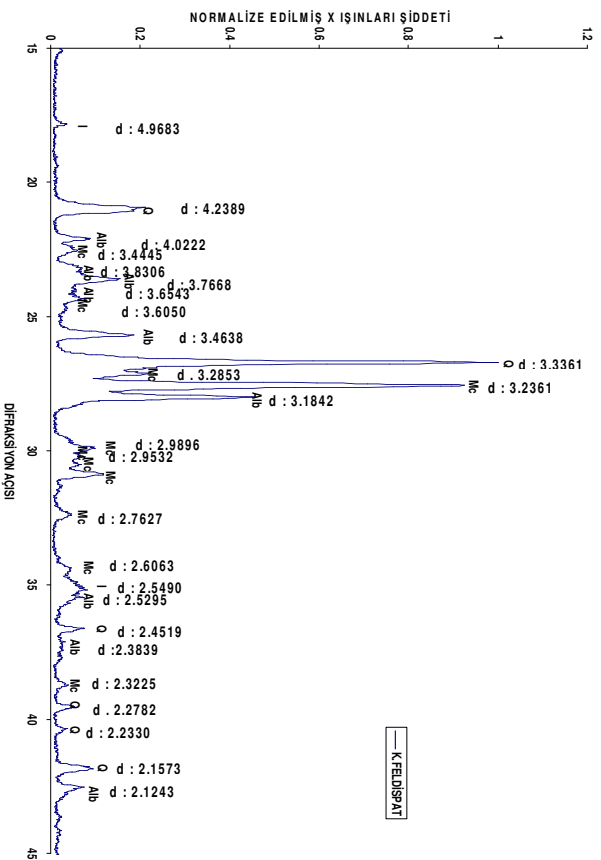
Kaolen1, kaolen 2, kil, feldispat ve alumina hammaddelerinin temsili XRD paternleri Şekil5.1, Şekil5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 de verilmiştir. Şekil 5.1 incelendiğinde kaolen 1' e ait temsili XRD paterninde kaolinit fazlarının ve illit fazlarının ve az miktarda kuvarsın olduğunu görebilmektedir. Kaolen 2'ye ait XRD paternlerine bakıldığında ise dikit, talk ve az miktarda kuvars içerdiğini görebilmekteyiz. Bu XRD analizi sonuçları kaolen 2 de bulunan talk mineralinin kaolen yatağına sonradan karışmış olabileceğini düşündürmektedir. Kil hammaddesine ait temsili XRD paternini gösteren Şekil 5.2 incelenirse kullanılan kilin illitik bir kil olduğu görülebilir. İllit mineralinin yanında kaolinit ve kuvarsta yer almaktadır. Şekil 5.3 potasyum feldispat hammaddesinin temsili XRD paternidir ve bu şekle göre kullanılan feldispat illit, mikroklin, albit ve kuvars içermektedir. Şekil 5.4 alumina hammaddesine ait temsili XRD paternini göstermektedir ve bu şekle göre çok temiz bir alumina kullanıldığı görülmektedir zaten bu da kimyasal analizle de desteklenmiştir.



Şekil 5.1. Kaolen ve Kaolen 2 hammaddelerine ait temsili XRD Paterni.

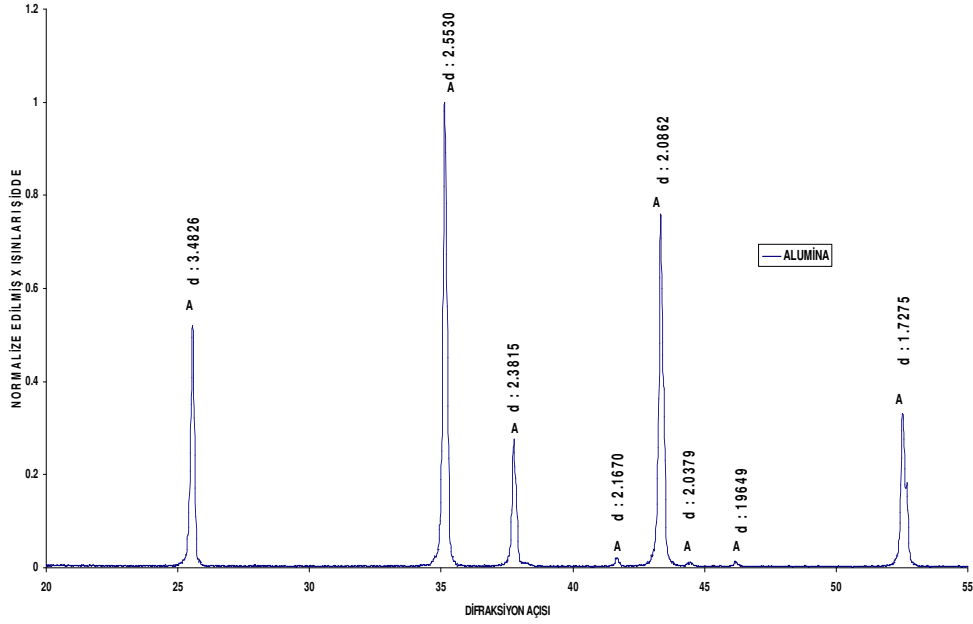


**Şekil 5.2** Kil hammaddesine ait temsili XRD Paterni; Q: kuvars, K: kaolen , I : illit



**Şekil 5.3** Potasyum feldispatın temsili XRD Paterni; Q: kuvars, Al: albit,

Mc:mikroklin, I :illit

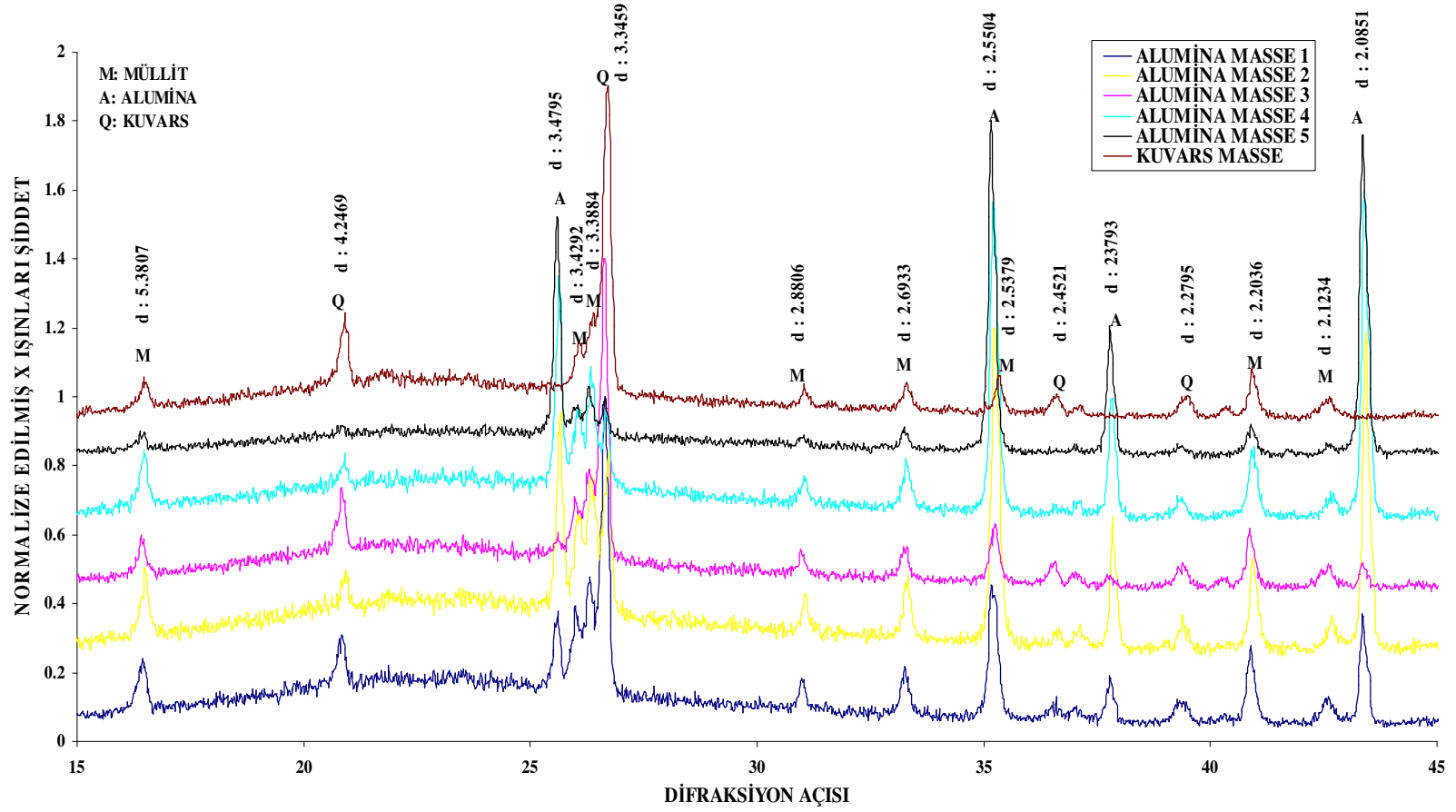


Şekil 5.4 Alumina hammaddesine ait temsili XRD Paterni; A: Alumina

## 5.2. Alumina ve Kuvars Masse Karakterizasyonu

### 5.2.1. X- Işınları Difraksiyonu Analizi

Alumina masse denemelerine yapılan XRD analizleri sonucunda mullit, kuvars ve korundum fazları görülmüştür. Ayrıca bu fazların yanında camsı fazda bulunmaktadır. Şekil 5.5.' de görülebildiği gibi alumina masse 1 den alumina masse 5 doğru gidildikçe korunduma ait piklerin şiddetleri artmış ama camsı fazın bulunduğu alan azalmıştır. Bunun sebebi; yapılan masse denemelerinde artan oranlarda alumina kullanılması korundum piklerinin şiddetini artırmış olup bunun camsı faz üzerine etkisi ise bünyelerde kuvarın yerine aluminanın yer almasıdır. Kuvarsa göre aluminanın ergime sıcaklığının yüksek olması nedeni ile alumina sıvı faz içinde ergimez, kararlı kalır ve bunun sonucunda sistemde kuvarın yerine aluminanın alması ile camsı fazda azalma görülür.



Şekil 5.5. A.M.5-K. M. bünzelere ait temsili XRD paternleri

### 5.2.2. Kimyasal Analiz ( XRF )

**Tablo 5.1.** Alumina Masse Denemeleri Kimyasal Analiz Sonuçları

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K.K
<b>K.M.</b>	49,2	44,3	0,3	0,5	0,2	-	0,1	2,3	-	3,1
<b>A.M. 1</b>	47,50	42,474	0,535	0,669	0,250	-	0,308	2,014	-	5,280
<b>A.M. 2</b>	48,987	41,535	0,621	0,529	0,426	-	0,355	2,887	-	4,660
<b>A.M. 3</b>	42,8	44,8	1,08	0,677	0,314	0,283	0,780	2,71	-	6,47
<b>A.M. 4</b>	40,3	48	0,924	0,544	0,279	0,297	1,06	3,60	-	4,97
<b>A.M. 5</b>	35,5	54,3	0,762	0,455	0,240	0,286	1,02	3,39	-	3,98

### 5.3. Elek Analizi ( Elek Bakiye)

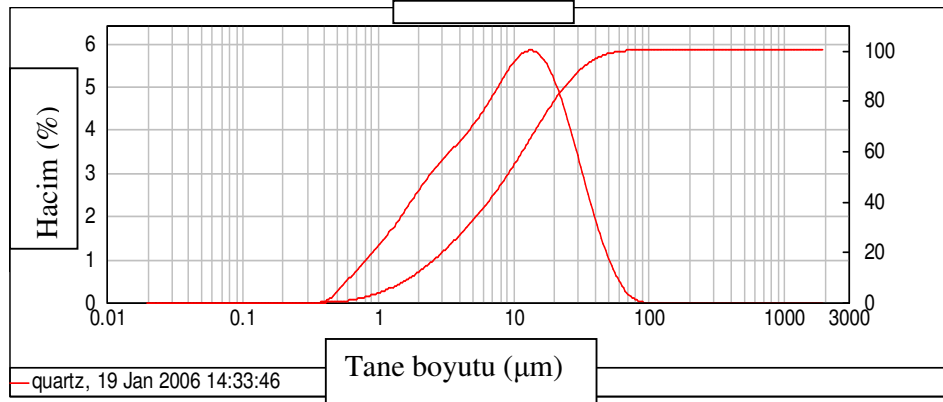
Tablo 5.2 kuvars ve alumina esaslı bünyelere yapılan elek analizi sonuçlarını göstermektedir. Tablo 5.2' ye göre alumina esaslı masselerin elek bakiye değerlerinin kuvars esaslı masselere göre daha düşük olduğu görülebilmektedir. Bu sonuç aluminanın kuvars göre tane boyutunun daha ince olmasından kaynaklanmaktadır.

**Tablo 5.2.** Elek Analizi Sonuçları

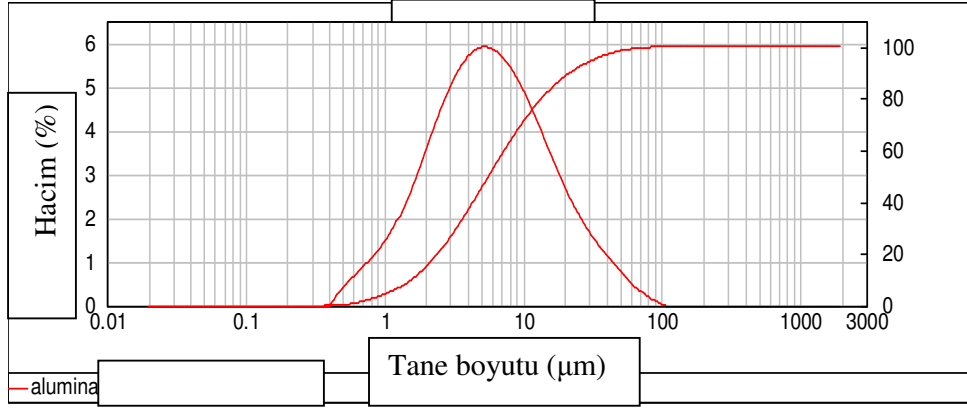
	90 mikron üstü (gr)	63 mikron üstü (gr)	90 mikron üstü (%) E.B.	63 mikron üstü (%) E.B.	Kuru Miktar (%)	% Elek Bakiye	Litre ağırlığı g/cm <sup>3</sup>
<b>K.M.</b>	0,8	1,8	1,63	3,67	49	5,30	1446
<b>A.M.1</b>	0,12	1,41	0,24	2,91	48,05	3,17	1437
<b>A.M.2</b>	0,07	0,65	0,14	1,32	48,9	1,46	1447
<b>A.M.3</b>	0,12	0,73	0,24	0,73	48,9	0,97	1462
<b>A.M.4</b>	0,13	0,51	0,27	1,08	46,8	1,35	1443
<b>A.M.5</b>	0,04	0,19	0,08	0,40	46,55	0,48	1449

#### 5.4. Tane Boyut Dağılımı Tespiti

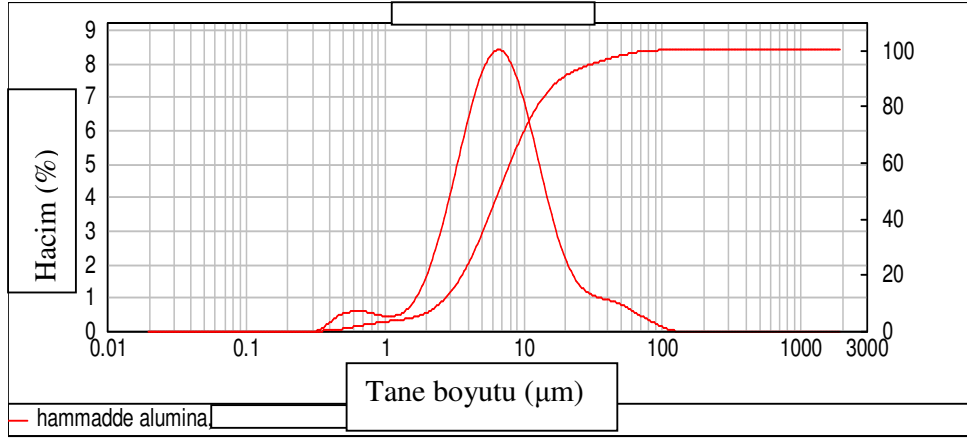
Şekil 5.6., şekil 5.7., şekil 5.8. ve şekil 5.9 de sırası ile kuvars ve alumina esaslı bünyelerle alumina ve kuvarşın tane boyut dağılımlarını gösteren grafikler verilmiştir. Tablo 5.3 incelendiğinde alumina esaslı massenin kuvars esaslı masse ye göre tane boyut dağılımı daha düşüktür. Bunun nedeni aluminanın tane boyut dağılımının kuvars göre daha düşük olmasıdır.



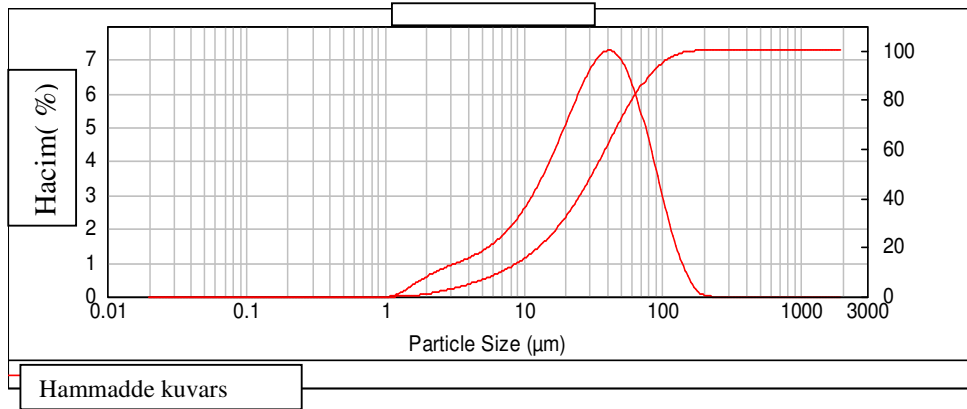
**Şekil 5.6.** K.M bünye temsili tane boyut dağılımı eğrisi



Şekil 5.7. A.M.5 bünye temsili 5 tane boyut dağılımı eğrisi



Şekil 5.8. Aluminanın temsili tane boyut dağılımı tespiti



Şekil 5.9. Kuvarsın temsili tane boyut dağılımı tespiti

**Tablo 5.3.** Alumina, kuvars, A.M 5, K.M tane boyut dağılımı değerleri

	Alumina Masse 5 ( $\mu\text{m}$ )	Kuvars Masse ( $\mu\text{m}$ )	Kuvars ( $\mu\text{m}$ )	Alumina ( $\mu\text{m}$ )
<b>d<sub>10</sub></b>	1,660	1,905	6,607	2,512
<b>d<sub>50</sub></b>	5,754	8,710	34,674	6,607
<b>d<sub>90</sub></b>	22,909	30,200	79,433	19,963

### 5.5. Yoğrulma Suyu Tespiti

**Tablo 5.4.** Yoğrulma Suyu Test Sonuçları

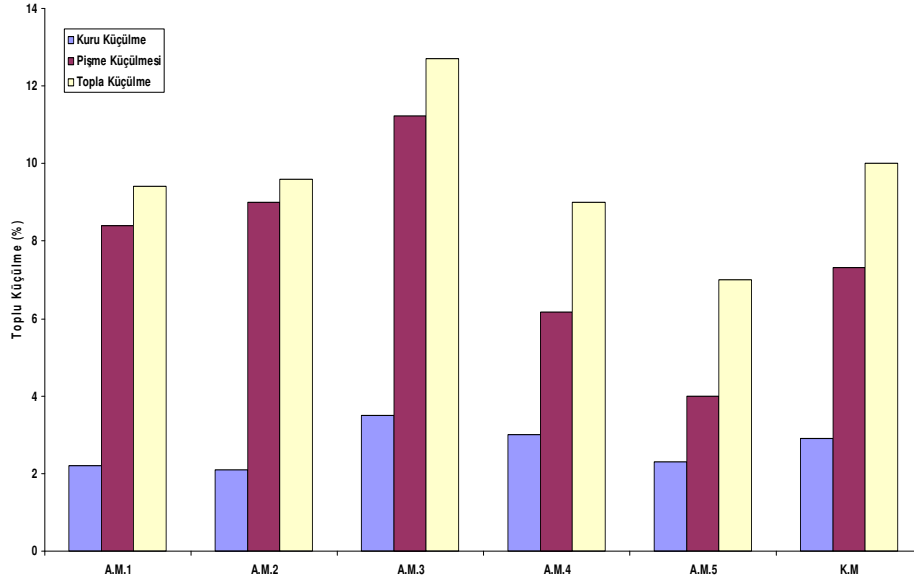
	YOĞRULMA SUYU (%)
<b>K.M.</b>	28
<b>A.M.1</b>	29,5
<b>A.M.2</b>	31,20
<b>A.M.3</b>	33,3
<b>A.M.4</b>	30,5
<b>A.M.5</b>	23

### 5.6. Kuru, Pişme, Toplu Küçülme Deneyleri

Tablo 5.5’ de A.M.1, A.M.2, A.M.3, A.M.4, A.M.5 ve K.M bünyelerinin kuru, pişme ve toplu küçülme değerleri verilmiştir. Tablodan da görülebildiği gibi A.M.1 massesinde A.M.3 massesine doğru gidildikçe küçülme değerleri artmıştır. Bunun nedeni 3 no’lu masse doğru gidildikçe kullanılan kil miktarının artmasıdır. 3 no’ lu masseden A.M.5 massesine gidildikçe de küçülme değerlerinin azalan kil miktarı ile orantılı olarak düştüğü görülmektedir. Özellikle K.M ve A.M.5 bünyelerine bakıldığında kullanılan kil miktarına bağlı olarak K.M massesinin küçülme değerinin A.M 5 ‘e göre daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Yapılan dilatometre analizlerinde de bu sonuç desteklenmiştir. Dilatometre analizleri incelendiğinde K.M massesinin 100°C ve 400-600°C verdiği kütle kayıplarının A.M.5 massesine göre daha fazla olduğu görülebilir.

**Tablo 5.5.** Kuru, Pişme, Toplu Küçülme Deneyleri Sonuçları

	<b>Kuru Küçülme %</b>	<b>Pişme Küçülmesi %</b>	<b>Toplu Küçülme %</b>
<b>K.M</b>	2,9	7,3	10
<b>A.M.1</b>	2,2	8,4	9,4
<b>A.M.2</b>	2,1	9	9,6
<b>A.M.3</b>	3,5	11,22	12,7
<b>A.M.4</b>	3	6,18	9
<b>A.M.5</b>	2,3	4	7



**Şekil 5.10.** Kuru, Pişme, Toplu Küçülmesi Testi Sonuçları

## 5.7. Su Emme ve Gözeneklilik

**Tablo 5.6.** Su emme ve Gözeneklilik Testi Sonuçları

	NUMUNE 1	NUMUNE 2	NUMUNE 3	NUMUNE 4	NUMUNE 5
K.M	0	0	0	0	0,036
A.M.1	0	0	0,037	0	0,037
A.M.2	0	0	0	0	0,044
A.M.3	0	0	0,099	0	0,052
A.M.4	0	0	0	0	0
A.M.5	0	0	0	0	0

## 5.8. Termal Şok Testi

Deney parçaları, TS 11237 EN 60672-2 de madde 11 deki metot B de belirtildiği şekilde; ani soğutmadan sonra ayırt edilebilir çatlakların görülmesi için ortam basıncında boya deneyine tabi tutulmuştur. Ani soğutma işlemi oda sıcaklığında 20°C de suyun içinde yapılmıştır. Numuneler 50-100-150-180-230-260 °C lik sıcaklık farklılıklarına maruz bırakılacak şekilde 70-120-170-200-250-280 °C ye ısıtılmış ani olarak soğutulmuşlar ve boya testine tabi tutulmuşlardır. TS11238 EN 60672 'e numunelerin dayanması gereken en düşük sıcaklık farkı  $\Delta T$  en az 150 (°C) olmalıdır.[10]

Yapılan elektrik ve mukavemet testleri sonucunda A.M.5 denemesi diğer bünyelere göre üstün görüldüğünden bundan sonra yapılan testlerde bu masse üzerinde durulmuştur. Tablo 5.7 de A.M.5 numunelerine yapılan termal şok testlerinin sonuçları gösterilmiştir.

**Tablo 5.7.** Termal Şok Testi Sonuçları

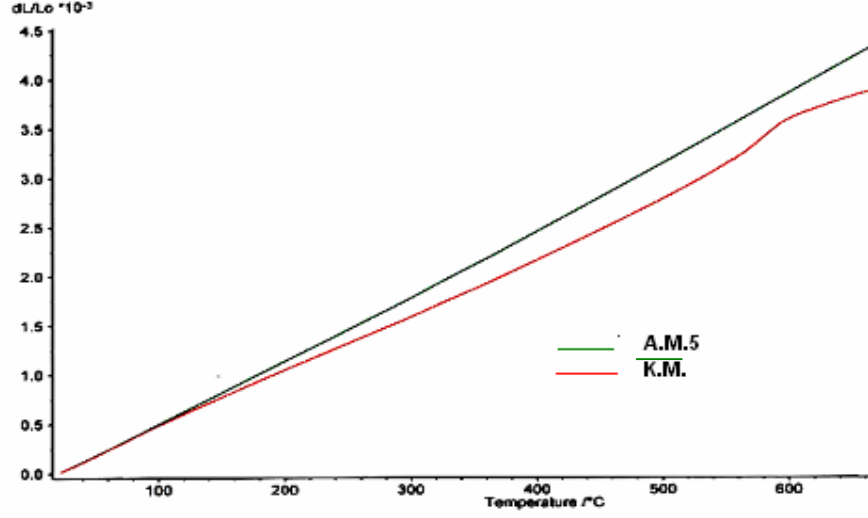
A M 5-K M.	$\Delta T$					
	50	100	150	180	230	280
A.M.5 Numune 1	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok
A.M.5 Numune 2	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok

**Tablo 5.7. (devam)** Termal Şok Testi Sonuçları

<b>A.M.5 Numune 3</b>	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok
<b>A.M.5 Numune 4</b>	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Var	Çatlak Var
<b>A.M.5 Numune 5</b>	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Var	Çatlak Var
<b>K.M. Numune 1</b>	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Var	Çatlak Var
<b>K.M. Numune 2</b>	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Var	Çatlak Var
<b>K.M. Numune 3</b>	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Var	Çatlak Var
<b>K.M. Numune 4</b>	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Var	Çatlak Var
<b>K.M. Numune 5</b>	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Var	Çatlak Var

### 5.9. Ortalama Doğrusal Termal Genleşme Katsayısı Ölçümü

Şekil 5.11. da alumina ve kuvars esaslı elektroporselen bünyelerin sıcaklığa bağlı olarak ortalama doğrusal genişmesini gösteren eğri verilmiştir. Şekilden de görülebildiği üzere alumina esaslı bünyenin boyca uzaması lineer olmakta ama kuvars esaslı bünyenin boyca uzaması lineer olarak gerçekleşmemektedir. Boyut değişimi atomlar arasındaki bağ mukavemeti ile belirlenir. Alumina bünyeli numunede bu bağ mukavemetleri daha yüksek olduğundan değişim lineer olmakta ama kuvars esaslı bünyede ise 573 °C de kuvars ( $\alpha \rightarrow \beta$ ) dönüşümünden dolayı lineer bir değişim görülmemektedir. Tablo5.8 de % 40 alumina esaslı elektroporselen bünye ve kuvars esaslı elektroporselen bünyenin sıcaklığa bağlı ortalama genişme katsayılarını göstermektedir. Şekilden de görülebildiği gibi alumina esaslı bünyenin sıcaklığa bağlı termal genişme katsayıları kuvars esaslı bünyeye göre daha yüksektir bunun sebebi kuvars esaslı bünyelerde camsı faz miktarı kuvarsın çözünmesinden dolayı alüminalı bünyelere göre yüksektir, bu da termal genişme katsayısını azaltıcı yönde etki yapmaktadır. Bir başka değişle camsı faz miktarı arttıkça termal genişme katsayısı düşer.



Şekil 5.11 A.M.5 ve K.M bünye ortalama doğrusal genişleme eğrileri

Tablo 5.8. A.M.5 ve K.M. bünye ortalama doğrusal genişleme katsayıları

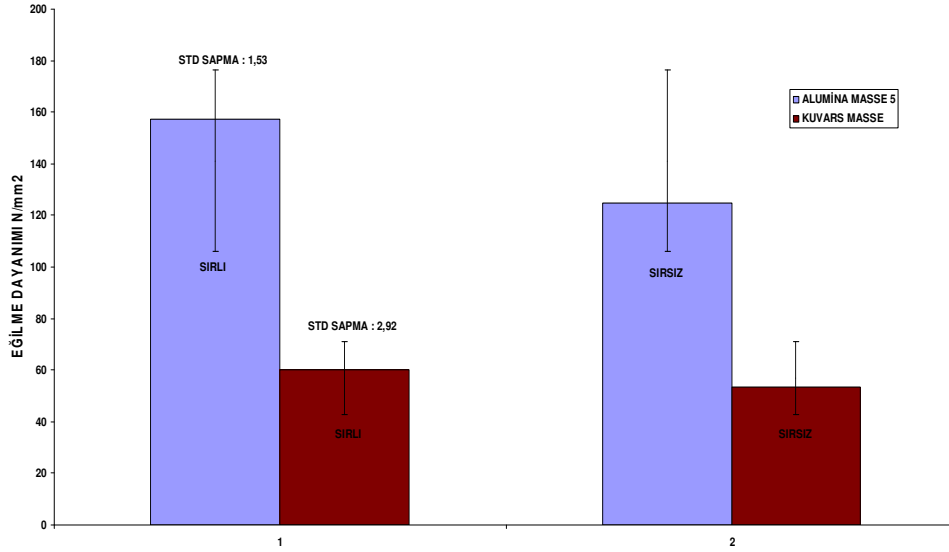
	Sıcaklık °C	dL/dL <sub>0</sub>	T.alfa (30 °C) 1/K
<b>K.M.</b>	50	0,17.10 <sup>-3</sup>	5,85.10 <sup>-6</sup>
	300	1,6.10 <sup>-3</sup>	5,66.10 <sup>-6</sup>
	600	3,6.10 <sup>-3</sup>	6,19.10 <sup>-6</sup>
<b>A.M.5</b>	50	0,17.10 <sup>-3</sup>	5,94.10 <sup>-6</sup>
	300	1,77.10 <sup>-3</sup>	6,36.10 <sup>-6</sup>
	600	3,85.10 <sup>-3</sup>	6,66.10 <sup>-6</sup>

### 5.10. Eğilme Mukavemeti Testi

Elde edilen sonuçlara göre alumina massenin eğilme mukavemet değerleri kuvars masseye göre yaklaşık olarak 2,5 kat daha fazla olduğu görülebilmektedir. Bu artışın sebebi; aluminanın young modülünün yüksek olmasından dolayı porselenin young modülünün ve yoğunluğunun artması ve bunun sonucunda porselenin dayanımı artmasıdır. [12]

**Tablo 5.9.** A. M.5 ve K. M. Bünye Sırlı ve Sırsız Ortalama Eğilme Dayanımı Testi Sonuçları

	EĞİLME DAYANIMI SIRLI (N/mm <sup>2</sup> ) ORTALAMA	EĞİLME DAYANIMI SIRSIZ (N/mm <sup>2</sup> ) ORTALAMA	TS11238 EN 60672 SIRLI [14]	TS11238 EN 60672 SIRSIZ
A.M.5 (C120)	157,3 ± 1,53	125 ± 1,53	110	90
K.M. (C110)	60 ± 2,92	53 ± 2,92	60	50



**Şekil 5.12.** A.M.5 ve K.M bünyelerin Eğilme Dayanımları ( Ortalama )

### 5.11. Elastik Modül

Alumina porselenlerde, çoğunluktaki kuvarsın yerine alumina yer almaktadır. Buda mekanik dayanımın artmasını sağlar.

Sinterleşme prosesi sırasında mullit ve camı faz oluşmaktadır. Buda erimemiş korundum taneleri içeren porozitesiz yüksek miktarda camı faz içeren porselen yapısı elde edilir. Sonuçta yüksek sıcaklık ve uzun pişirim süreleri mekanik dayanıma etki etmez.

Alumina porselenler, sıcaklık değişimlerine duyarsızdır ve mekanik dayanım çoğunlukla silika porselenlerdeki gibi mullit miktarıyla değil de korundum miktarı ile kontrol edilmektedir [2].

Tablo 5.10. A.M.5 ve K.M elektroporselen bünyelerin tespit edilen elastik modüllerini göstermektedir. A.M.5 bünyesi % 40 alumina içermektedir. Tablo incelendiğinde A.M.5 elektroporselen bünyenin elastik modülü K.M. bünyeden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi alüminanın young modülünün kuvarstan daha yüksek olmasıdır.(Tablo 3.1.).

**Tablo 5.10.** A.M.5 Bünye ve K.M. Elektroporselen Bünyelerin Elastik Modül Tespiti

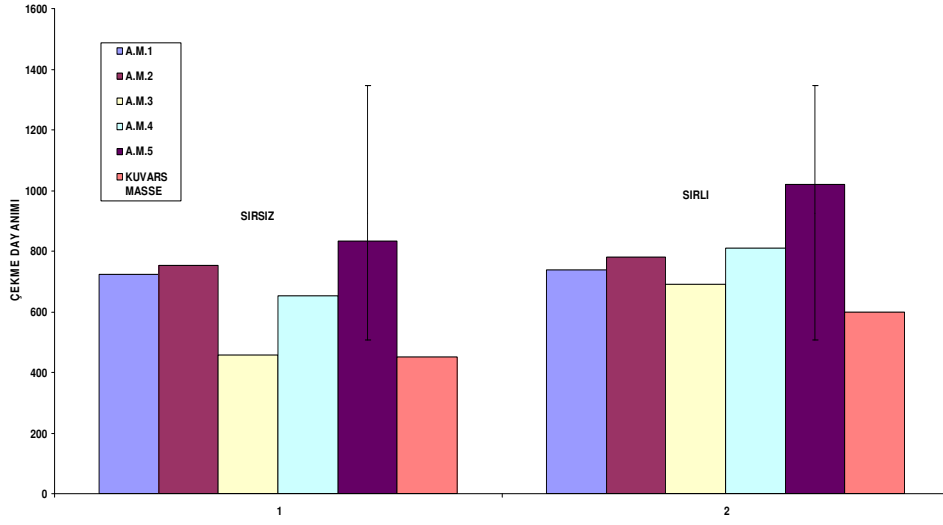
	Boyuna Ses Dalgası (nsn)	Ters Ses Dalgası (nsn)	Poisson Oranı	Elastik Modül (GPa)
A.M.5	950	1550	0,20	138
K.M.	925	1500	0,20	122

## 5.12. Çekme Testi

A.M.5 ve K.M bünyelere yapılan çekme testi sonuçları Tablo 5.11 de verilmiştir. Alumina esaslı elektroporselen bünyelerin kuvars esaslı bünyelere göre çekme mukavemeti testi sonuçları daha yüksektir. Bu sonuçların çıkmasında en önemli etken alüminanın yüksek young modülüdür.

**Tablo 5.11.** Alumina Masse Çekme Dayanımları

	ALUMİNA ve KUVARS ESASLI ELEKTROPORSELEN BÜNYELERİN ÇEKME DAYANIMLARI (kg/cm <sup>2</sup> )					
	K.M.	A.M.1	A.M 2	A.M 3	A.M 4	A.M 5
<b>SIRSIZ ORTALAMA ÇEKME DAYANIMI</b>	450 ± 2,5	723 ± 2,43	753 ± 3,30	455 ± 2,8	651 ± 4,0	833 ± 2,4
<b>SIRLI ORTALAMA ÇEKME DAYANIM</b>	600 ± 2,5	738 ± 3,38	778 ± 3,38	690 ± 2,42	810 ± 4,7	1018 ± 2,2



Şekil 5.13. Alumina Masse Sırlı – Sırsız Çekme Dayanımı Değerleri

### 5.13. Boya Nüfuz Testi Sonuçları

TS 11237 EN 60672-2 de belirtildiği şekilde yapılan deney sonucunda, 400 bar basınç altında 4 saat fuksin çözeltisi içinde tutulan deney parçaları kırılmış ve yeni oluşan yüzeyler gözle incelenmiş ve herhangi bir boya sızması görülmemiştir.

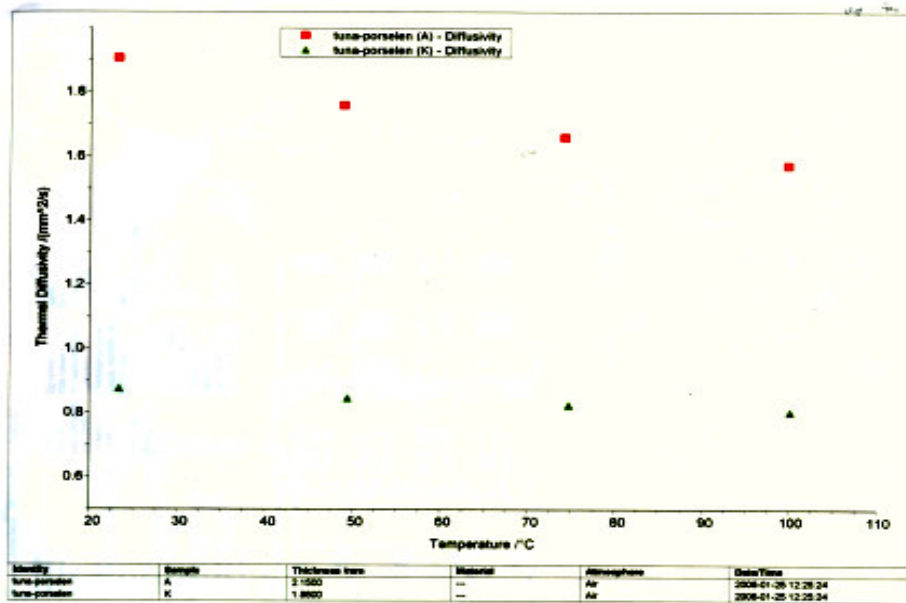
### 5.14. Termal Geçirgenlik

Tablo 5.12. K.M. Elektroporselen Bünyenin Sıcaklığa Termal Geçirgenlik Değerleri

Sıcaklık ( °C )	İletkenlik mm <sup>2</sup> /sn
23,2	0,872
23,3	0,868
23,4	0,885
49,5	0,853
49,4	0,845
49,4	0,842
75	0,824
74,7	0,824
74,5	0,829
100,4	0,801
100	0,804
99,8	0,810

**Tablo 5.13.** A.M.5 Elektroporselen Bünyenin Sıcaklığa Termal Geçirgenlik Değerleri

Sıcaklık ( °C )	İletkenlik mm <sup>2</sup> /sn
23	1,894
23,1	1,913
23,1	1,909
48,6	1,758
48,9	1,765
49,1	1,753
73,8	1,668
73,9	1,664
74,4	1,648
99,3	1,573
99,8	1,575
99,9	1,569

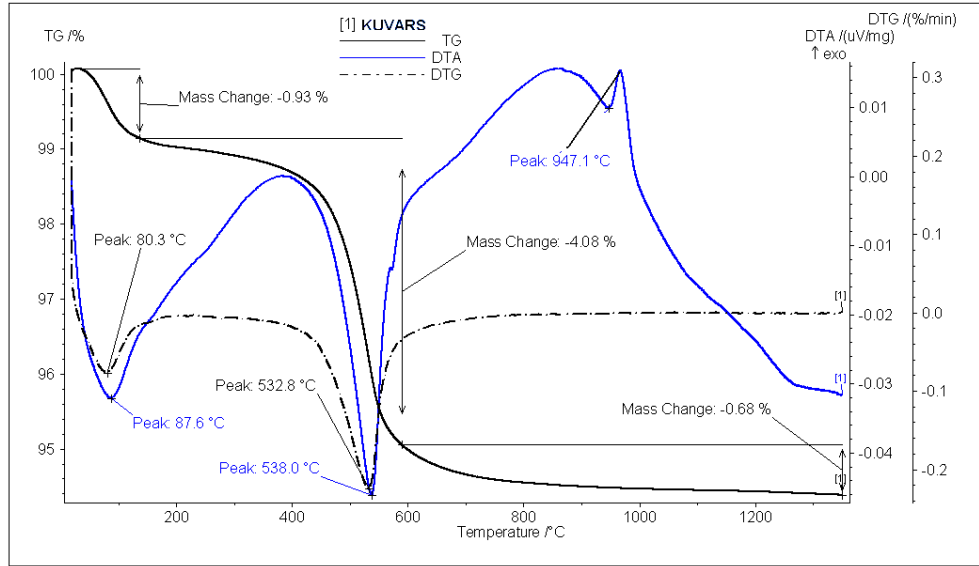


**Şekil 5.14.** A.M.5 ve K.M. elektroporselen bünyelerin sıcaklığa bağlı termal geçirgenlik değerleri

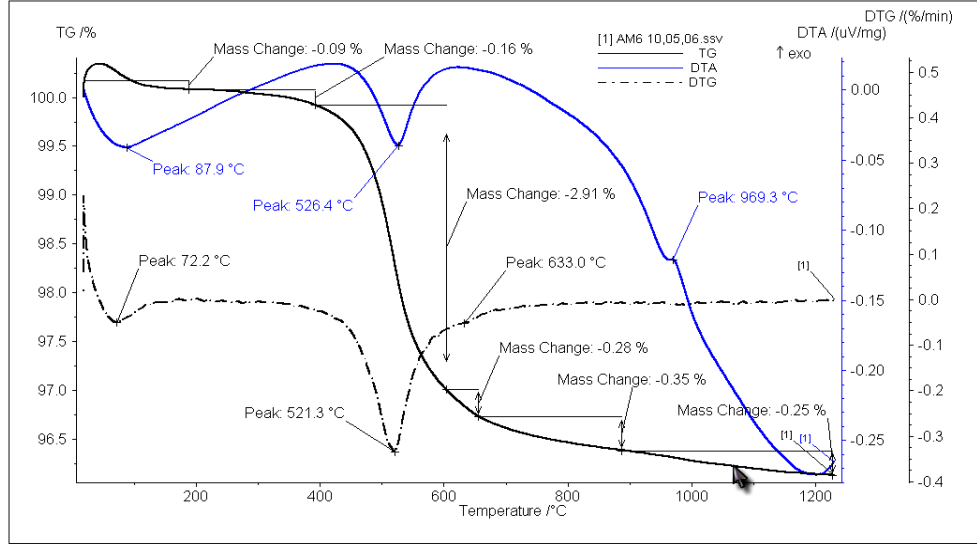
### 5.15. Termal Analizler

Şekil 5.15 ve 5.16 de görülen DTG ve DTA grafikleri incelendiğinde 100 °C civarında görülen endotermik pikler şekillendirme suyunun uzaklaştığını gösterir. 520 °C civarında görülen endotermik pikler ise kristal suyun uzaklaştığını göstermektedir.

450 °C - 500 °C aralığında su çıkışı ile metakaolin (  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  ) oluşmaktadır, 800 °C den yüksek sıcaklıklarda ise metakaolin  $\gamma$  alumina ve  $SiO_2$  vererek bozunur. 940 °C  $\gamma$  aluminanın da  $\alpha$  alumina formuna geçer. 1000 °C de alumina ve silika birleşerek amorf mullit oluşumu ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) söz konusudur. Şekil 5.15 incelendiğinde 100 °C de görülen endotermik pike göre ağırlıkça %0,93'lük bir kütle kaybı vardır buda şekillendirme suyunun uzaklaştırılmasında kaynaklanmaktadır. 526 °C de görülen endotermik pike göre % 4,08'lik bir kütle azalması söz konusudur. Bu kayıp da kristal suyun uzaklaşmasından kaynaklanır. Spinel oluşumu sonucu olan ekzotermik pik ise 947 °C de olmaktadır. Şekil 5.15 ve şekil 5.16 incelendiğinde 450-500 °C arasında K.M. bünyesinin A.M.5 bünye ye göre yaklaşık iki kat daha fazla kütle kaybına uğradığı görülebilmektedir. Bunu sebebi ise kuvars esaslı masse de kullanılan kil oranının daha fazla olmasıdır. Aynı zamanda K.M.deki kil miktarının fazla olması beraberinde A.M.5 e göre spinel oluşumunun fazla olmasına neden olmuştur.



**Şekil 5.15.** Sinterleme sıcaklığı 1320°C olan K.M. ham bünyesinin TG-DTA grafiği

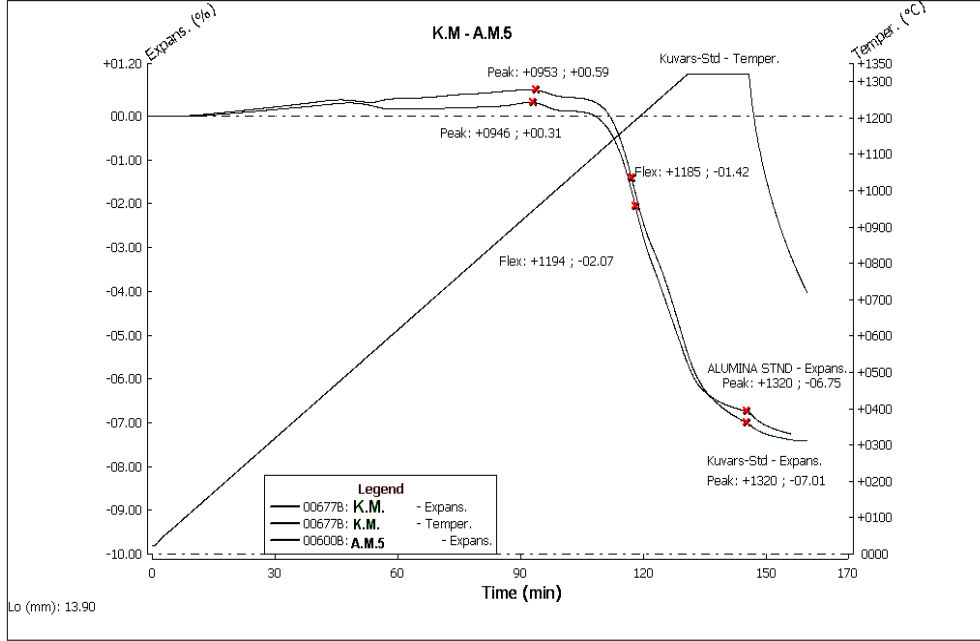


**Şekil 5.16.** Sinterleme sıcaklığı 1320°C olan A.M.5 ham bünyenin TG-DTA grafiği

### 5.16. Temassız Dilatometre İle Sinterleme Davranışının İncelenmesi

Şekil 5.17. de K.M. elektroporselen bünye ve A.M.5 elektroporselen bünyenin dilatometre testi sonuçları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Yapılan bu test de endüstriyel pişirim rejimi yerine laboratuvar şartlarında oluşturulan rejim uygulanmıştır. Test laboratuvar şartlarında yapılmasına rağmen karşılaştırma açısından önemli veriler vermiştir. Her iki bünyede dakikada 10°C ısıtma hızında ve 1320 °C tepe sıcaklığında 15 dakika beklemiştir. K.M bünyenin sinterleme başlangıç sıcaklığı 953 °C iken A.M.5 bünyesinin ise 946 °C dir. K.M. bünye için sinterlemenin en hızlı olduğu sıcaklık 1185 °C, A.M.5 bünye için ise 1194 °C 'dir. Şekilden de görülebildiği gibi A.M.5 bünyesinin sinterleme başlangıç sıcaklığı K.M bünyesinden daha düşük olmuştur. Bu bize A.M 5 bünyesinin daha erken sinterleşmeye başladığını göstermektedir. Bunu nedeni ise A.M.5 bünyesinde daha önce de belirttiğimiz gibi alumina sıcaklığa karşı kararlı kalmakta ve sıvı fazda çözünmemektedir. Bunun sonucunda da sıvı fazın viskozitesi daha düşük olmaktadır. Sıvı fazın viskozitesinin düşük olması da beraberinde sinterlemenin daha kolay ve erken olmasını sağlamaktadır.

K.M. bünyesinde ise kuvars alumina kadar kararlı olmadığından sıvı fazda çözünür ve viskozitenin artmasına neden olur. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklık artışı ve viskozitenin de düşmesi ile beraber sinterleşme her iki bünye içinde hızlanmış ve 1320 °C tepe sıcaklığında 15 dakika beklenerek sonlanmıştır.



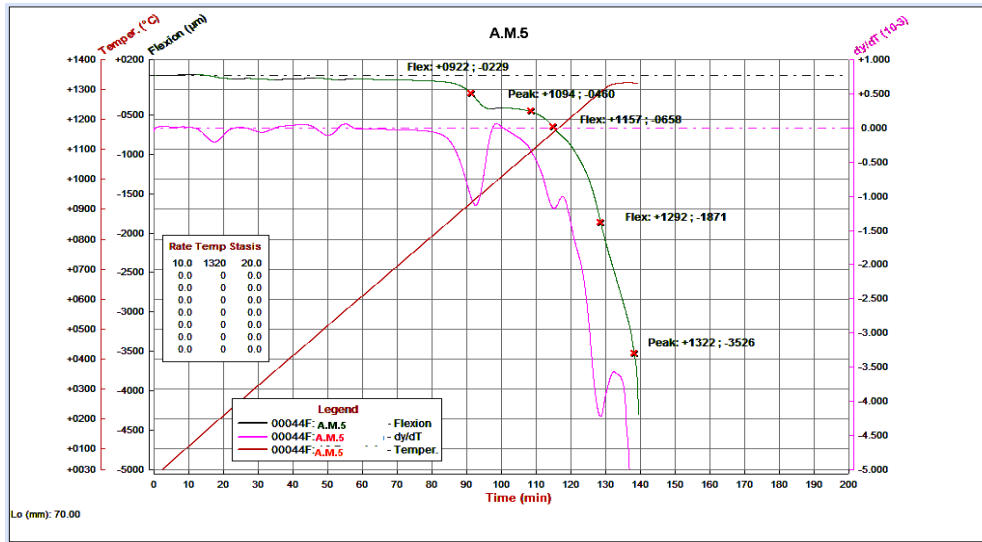
Şekil 5.17. Sinterleme sıcaklığı 1320°C olan K.M ve A.M.5 elektroporselen bünye denemelerinin temassız dilatometre grafiği

### 5.17. Piroplastik Deformasyon Testi

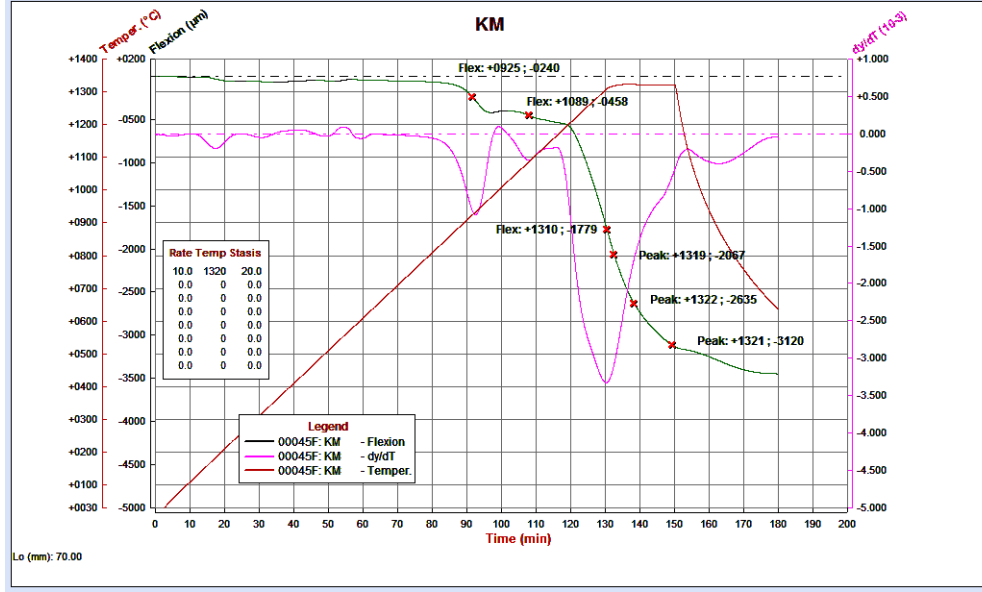
Şekil 5.18 ve şekil 5.19 A.M.5 ve K.M. bünyelerin sıcaklığa bağlı piroplastik deformasyonlarını göstermektedir. Yapılan bu test de endüstriyel pişirim rejimi yerine laboratuvar şartlarında oluşturulan rejim uygulanmıştır. Test laboratuvar şartlarında yapılmasına rağmen karşılaştırma açısından önemli veriler vermiştir. Şekil 5.18 incelendiğinde Alumina esaslı bünyenin ilk deformasyona uğradığı sıcaklık 922 °C olduğu görülmekte ve bu sıcaklıkta uğradığı deformasyon miktarı da 0,00229 cm'dir. Sıcaklığın artması ve viskozitenin düşmesi ile deformasyon değerlerinin arttığı ve 1322 °C de olan deformasyon değerinin 0,002904 olduğu görülebilmektedir.

Şekil 5.19 ise kuvars esaslı bünyenin sıcaklığa bağlı piroplastik deformasyon grafiğidir. Bu grafik incelendiğinde kuvars esaslı bünyenin ilk deformasyona uğradığı sıcaklık 925 °C olmuş ve bu sıcaklıktaki deformasyon değeri de 0,00240 cm ölçülmüştür. Yine sıcaklığın artması ve viskozitenin düşmesi ile deformasyon değerleri artmış ve 1321 °C de deformasyon değeri 0,03132 cm ölçülmüştür.

Tablo 5.14. A.M.5 ve K.M bünyelerin ölçülmüş maksimum deformasyon değerlerinin yardımı ile hesaplanmış piroplastik deformasyon indekslerini göstermektedir. Tablodan da görüldüğü gibi A.M.5 bünyesinin piroplastik deformasyon indeksleri K.M. bünyelere göre daha yüksektir. Alumina esaslı bünyelerde alüminanın sıcaklık değişimlerine kuvarsa göre duyarsız olması ve bunun neticesinde sıvı fazda çözünmemesi sıvı fazın viskozitesini kuvars esaslı bünyeye göre daha düşük olmasına neden olmuştur. Sıvı fazın viskozitesinin düşük olması neticesinde bünye kendi ağırlığının altında deformasyona uğramıştır. Ama kuvars esaslı bünyelerde kuvarsin çözünmesinden dolayı sıvı fazın viskozitesi artmış buda piroplastik indeks değerlerini alumina esaslı bünyelere göre düşürmüştür. Bu sonucu Şekil.5.17. de gösterilen karşılaştırmalı sinterleme eğrisinden de destekleyebiliriz. Şekil 5.17 de A.M.5 bünyesinin K.M. bünyesinden daha erken sinterlemeye başladığını görebilmekteyiz.



Şekil 5.18. A.M.5 bünyesinin 1320 °C de sıcaklığa bağlı piroplastik deformasyon Davranışı eğrisi



Şekil 5.19. K.M. bünyesinin 1320 °C de sıcaklığa bağlı piroplastik deformasyon davranışı eğrisi

Tablo 5.14. A.M.5 ve K.M. bünyelerin piroplastik deformasyon indeksleri

	SICAKLIK	L (cm)	D (cm)	S (cm)	PI (cm <sup>-1</sup> ) 10 <sup>-4</sup>
K.M.	1321	7	7,45	0,03132	7,24
A.M.5	1322	7	8,4	0,02904	8,53

### 5.18. Elektrik Mukavemeti

Tablo 5.15 A.M. 5 ve K.M bünyelerine yapılan elektrik mukavemeti testini göstermektedir. Bu testin sonuçlarından da görülebildiği gibi artan oranlarda alumina ilavesi ile bünyelerin elektrik dayanımları artmıştır. Malzemelerin elektriksel özelliklerinde atomsal bağ, kristal yapı, porozite ve yapıdaki kusurlar önemli rol oynamaktadır [5]. Alumina esaslı bünyelerde kuvars esaslı bünyelere göre yapısal kusurların daha az olması elektrik dayanımının daha yüksek olmasını sağlamıştır. Aynı şekilde alumina esaslı bünyelerin daha yoğun olması elektrik iletimine neden olabilecek açık porozite (özellikle açık porozitelere su girmesi neticesinde) miktarının kuvars esaslı bünyelere göre daha az olmasına neden

olmuş buda elektrik dayanımlarının alumina esaslı bünyelerde daha yüksek çıkmasında önemli rol oynamıştır. Aluminanın atomsal bağ mukavemetinin kuvars esaslı bünyelerden daha yüksek olması da elektrik dayanım değerlerinin yüksek çıkmasını sağlamıştır.

**Tablo 5.15.** A.M.5 ve K.M elektroporselen bünyelerin elektrik mukavemet değerleri

	Gerilim (ortalama) (kV)	Çap (ortalama) (mm)	Delinme dayanımı (ortalama) kV mm <sup>-1</sup>
<b>K.M.</b>	58	3,8	20,92
<b>A.M.1</b>	49,6	3,48	19,35
<b>A.M.2</b>	39,4	2,7	17,37
<b>A.M.3</b>	52,8	3,48	19,33
<b>A.M.4</b>	58,6	2,74	23,63
<b>A.M.5</b>	60,2	4,116	26,90

### 5.19. Bağlı Geçirgenlik Testi

Tablo 5.16. A.M.5 ve K.M bünyelerine yapılan dielektrik katsayısı tespiti testinin sonuçlarını göstermektedir. Tablodan da görülebildiği gibi A.M.5 bünyesinin dielektrik katsayı değeri K.M bünyesinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Formül 4.13. de kısmi dielektrik katsayısının ( $\epsilon_r'$ ), numunenin dielektrik katsayısı ( $\epsilon_{r \text{ numune}}$ ) ile doğru orantılı olduğu görülebilir dolayısı ile dielektrik katsayısı ne kadar büyükse kısmi dielektrik katsayısı da o kadar büyümektedir.

Sonuç olarak, A.M.5 bünyesinin dielektrik katsayısı ( $\epsilon_r$ ) K.M. bünyesinden daha büyük olduğundan yük depolayabilme veya polarize olabilme derecesi K.M bünyesinden daha fazladır.

**Tablo 5.16.** A.M. 5 ve K.M. bağıl geçirgenlik testi

	Kapasitans C (pF)	Kalınlık t (mm)	$\epsilon_0$	Alan A (mm)	Dielektrik katsayısı ( $\epsilon_r$ )
<b>K.M.</b>	1,7	2	$8,85 \cdot 10^{-12}$	6 x 8,21	8
<b>A.M. 5</b>	2,4	2,28	$8,85 \cdot 10^{-12}$	7,32 x 8,27	10

## 5.20. Renk Analizi

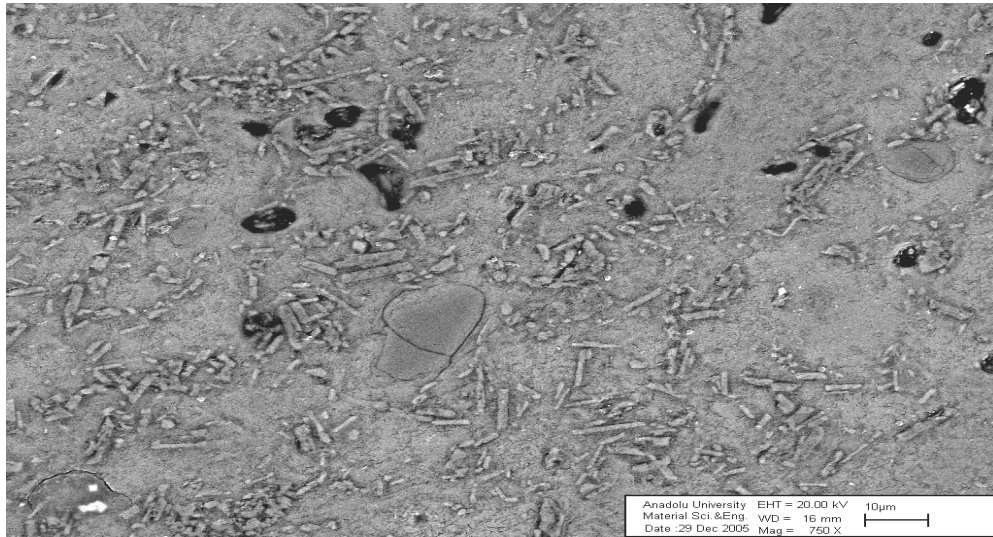
**Tablo 5.17.** A.M 5 ve K.M bünyelerin renk analizi

	L	A	b	$\Delta E$
<b>Referans</b>	98.70	-0,20	-0,50	
<b>K.M.</b>	77.84	0.01	6,38	25,28
<b>A.M.5</b>	77.51	0.82	8.77	23,18

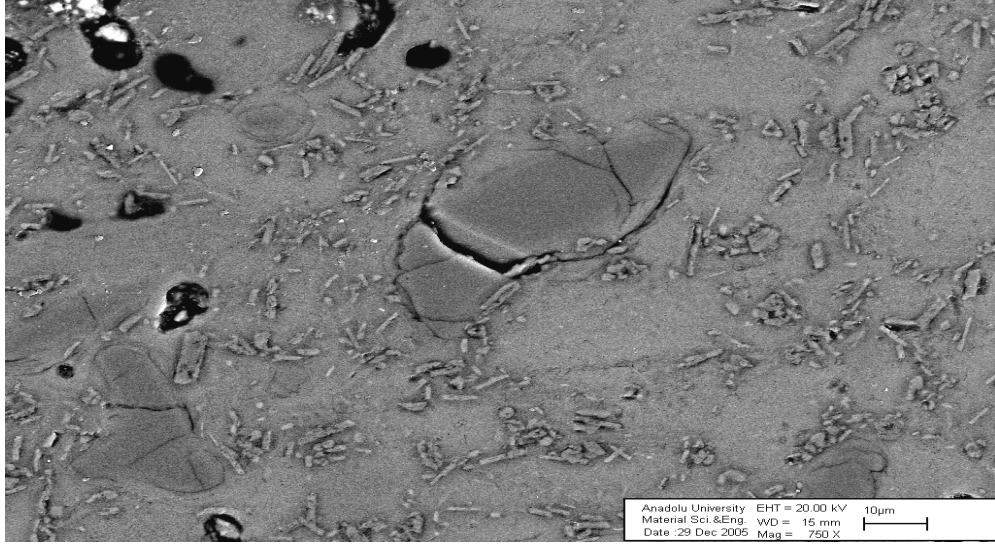
## 5.21. Mikroyapı Karakterizasyonu (SEM)

Petzow' a göre bir malzemenin mikroyapısı, yapısındaki faz bölgelerinin tümünü ve içerdiği tüm kusurları tanımlamaktadır. Mikroyapı mukavemet gibi bir çok özelliği belirlemektedir. Mikroyapı; seramik yapı içindeki fazların boyutu kadar tip ve miktarlarını da içermektedir. Seramik yapıda yüksek dayanım ve yüksek yoğunlaşmanın bir arada olması arzu edilmektedir. Alumina masse denemelerinde ana hedef mikroyapıda maksimum miktarda  $\alpha$  alüminanın olmasını sağlamaktır. Çünkü alüminanın yüksek Young modülü sayesinde porselen yapının yoğunluğu ve mukavemeti yükselmiştir.. Şekil 5.20' de 1320 ° C de sinterlenmiş % 25 alumina içeren Alumina Masse 2 denemesinin farklı bölgelerinden alınmış SEM görüntüleri görülmektedir. Şekilde, korundum tanelerinin yanında eser miktarda kuvars tanelerinin de bulunduğu görülebilmektedir. Korundum tanelerinin ortalama tane boyutları 10  $\mu$ m civarındadır. Yüksek sıcaklık ve uzun pişirim sürelerinden dolayı yapıdaki bu

kuvars tanelerin erimeye başladığı ve etrafındaki camsı fazda olan termal genişleme farklılıklarından dolayı mekanik gerilimlerin oluştuğu ve bunun sonucunda da kuvars tanelerinde çatlakların oluştuğu şekilden görülebilmektedir. Şekil 5.21. 1320 ° C de sinterlenmiş % 25 alumina içeren kaolen çıkarılmış Alumina masse 3 denemesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekilden de görülebildiği gibi korundum kristallerinin yanında baskın olarak mullit kristalleri görülebilmektedir. Korundumun tane sınırlarında erime olduğu görülebilmektedir. Şekil 5.20(a) da mullit kristalleri iğne şeklindedir. Şekil 5.21. 1320 ° C de endüstriyel olarak sinterlenmiş % 30 alumina içeren kaolinsiz Alumina masse 4 denemesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Camsı faz içinde iğne şekilli mullit kristalleri ve diğer alumina masse denemelerine göre daha yoğun bir korundum dağılımı görülebilmektedir. Şekil 5.22.(b) de bazı noktaların kopmuş korundum taneleri görülmektedir bunlar parlatma veya kesme işlemi sırasında kopan korundum taneleridir. Şekil 5.23. 1320 ° C de sinterlenmiş % 40 alumina içeren kaolen çıkarılmış Alumina masse 5 denemesinin SEM görüntülerine bakıldığında diğer denemelere göre daha yoğun korundum varlığı görülebilmektedir. Ayrıca, korundum taneleri ile mullit taneleri birbirleriyle daha homojen şekilde karıştığı gözlenebilmektedir.

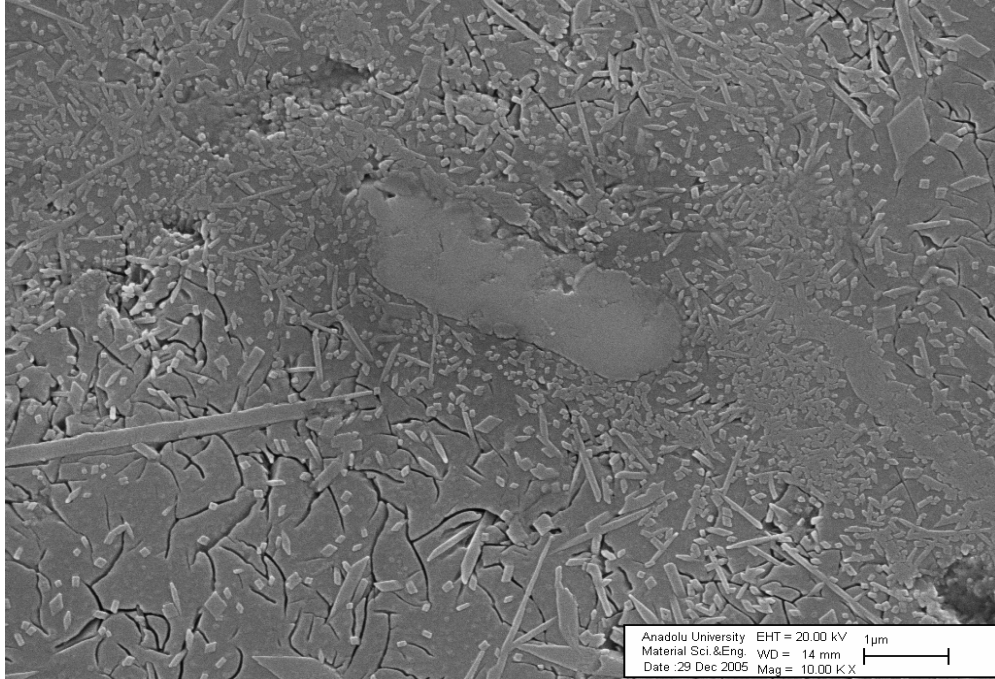


(a)

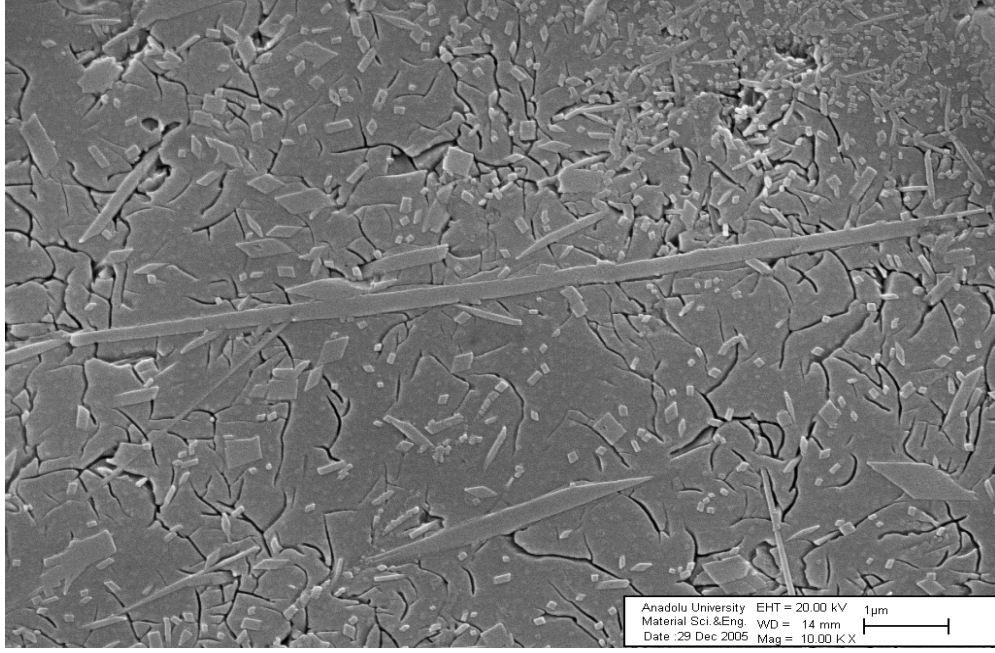


(b)

Şekil.5.20. (a) (b) 1320°C de sinterlenmiş A.M.2 denemesinin temsili ikincil elektron Görüntüleri

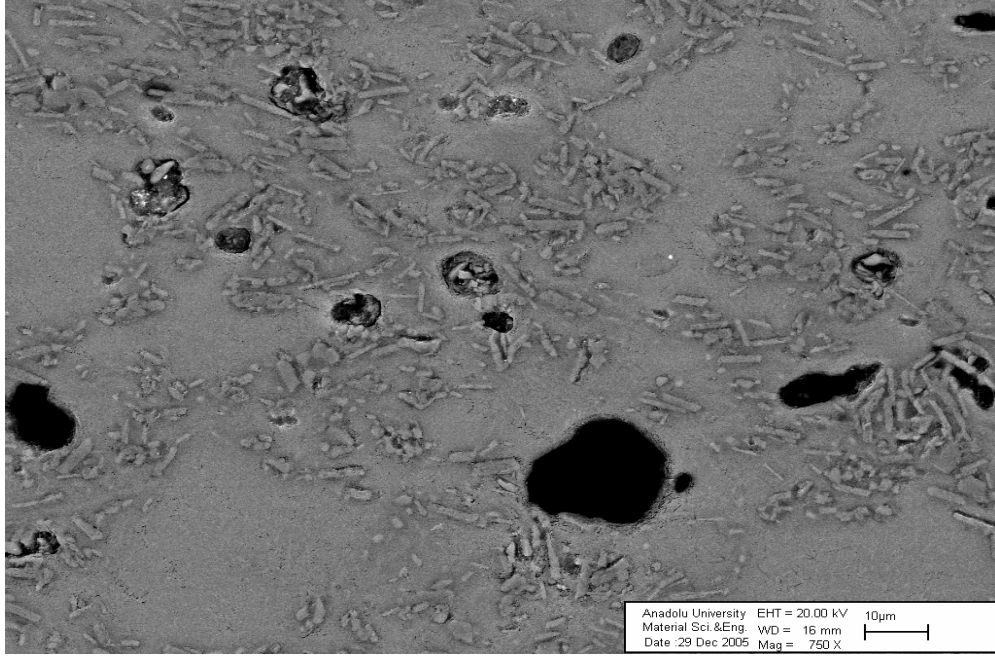


(a)

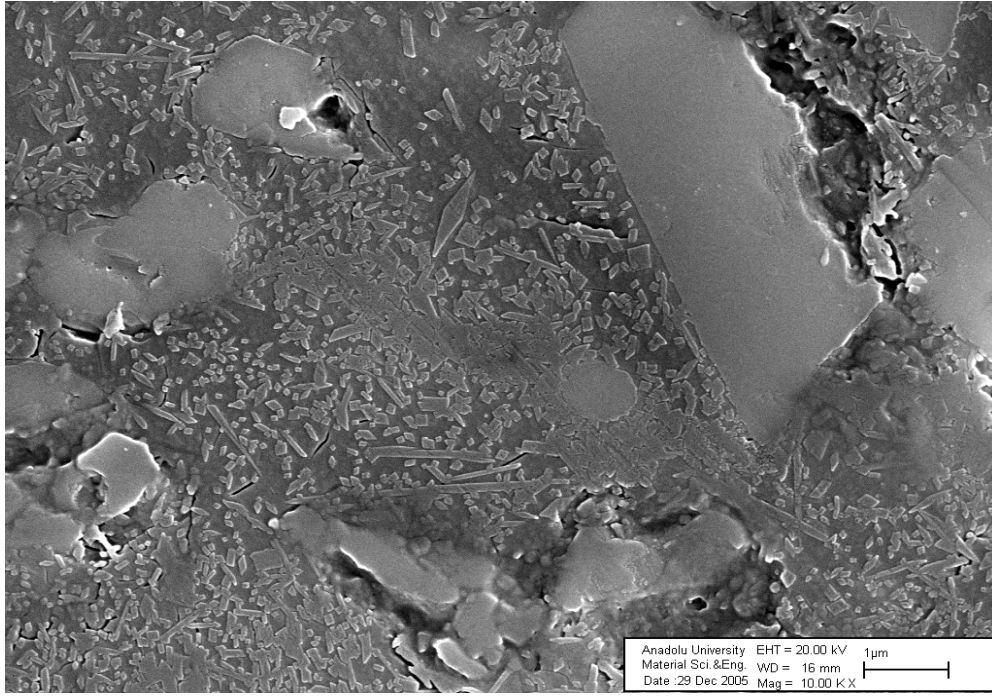


(b)

Şekil 5.21. (a),(b)1320 ° C de sinterlenmiş A.M 3 denemesinin temsili ikincil elektron görüntüleri

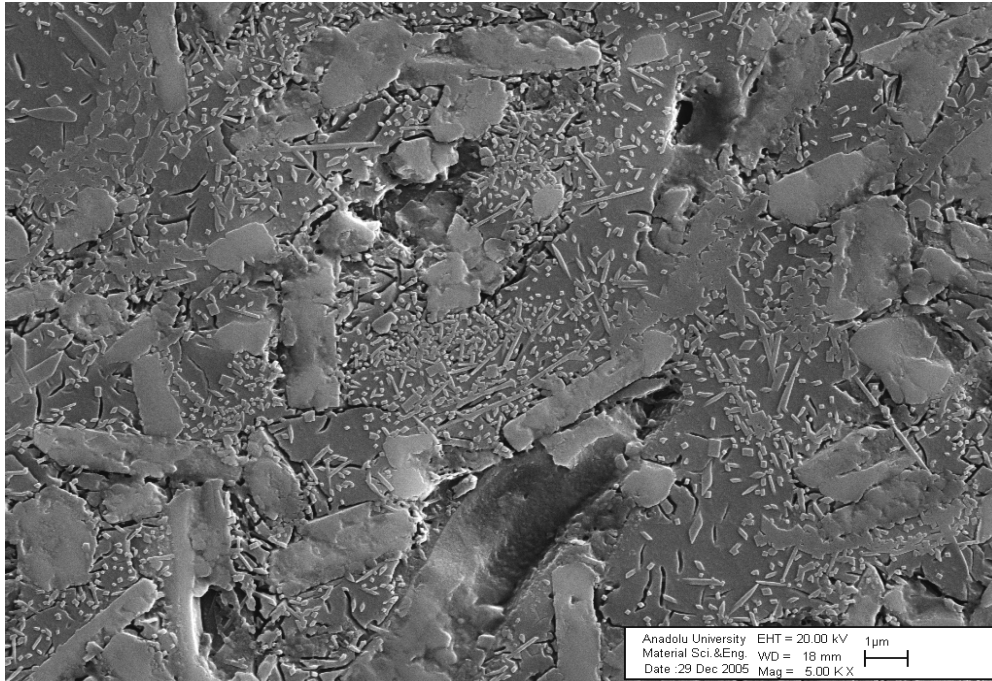


(a)

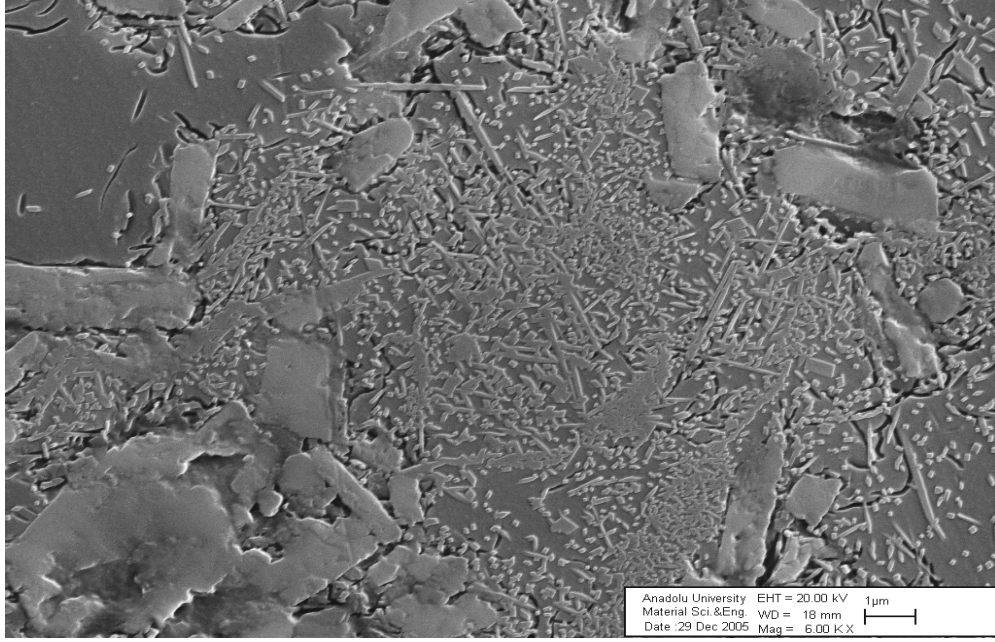


(b)

Şekil 5.22. (a) (b) 1320 ° C de sinterlenmiş AM. 4 denemesinin ikincil elektron görüntüleri

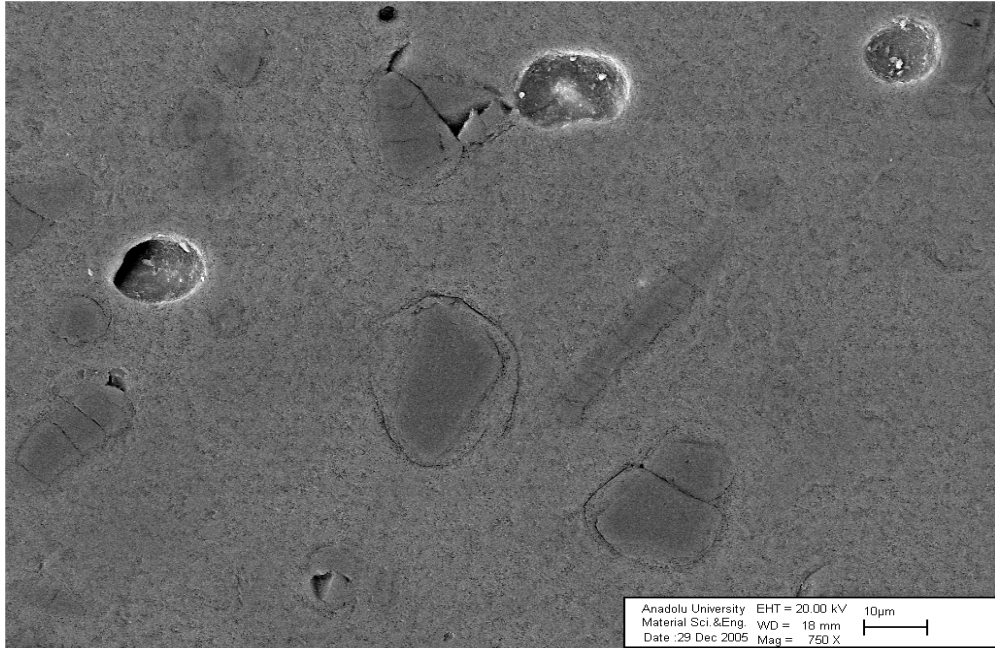


(a)

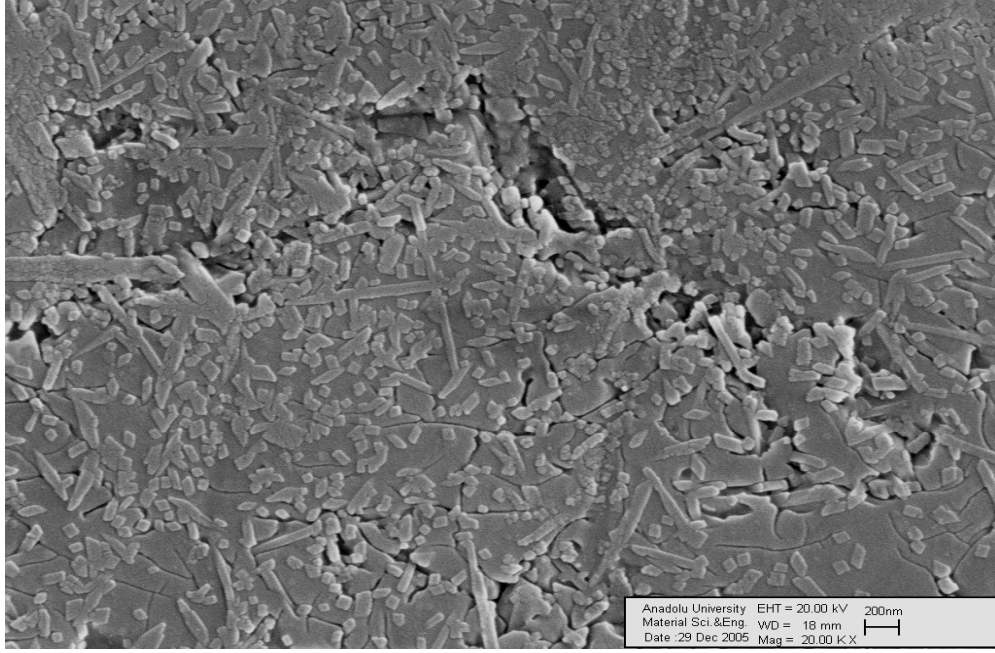


(b)

Şekil 5.23. (a),(b) 1320 ° C de sinterlenmiş AM. 5 denemesinin ikincil elektronik görüntüleri



(a)



(b)

Şekil 5.24. (a) (b) 1320 ° C de sinterlenmiş K.M bünyesinin geri saçınımlı görüntüleri

## 6. ALUMİNA VE KUVARS ESASLI BÜNYELERE BORİK ASİT İLAVESİNİN ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Lityum oksit ve atık cam kırıklarının porselen pişirim kinetiklerine ve süreçlerine; pişirim sıcaklığının düşürülmesi, pişirim süresinin azaltılması, camsı faz viskozitesinin düşmesi ve bununla beraber miktarındaki artış gibi katkılarının olduğu yapılan çalışmalardan bilinmektedir [19,20]. Borik asit ilavesinin de porselen bünyelerde lityum oksit ve cam kırıklarının etkilerine benzer etkileri olduğu yapılan birçok araştırmada gösterilmiştir. Ama elektroporselen bünyeler üzerinde borik asit ilavesi ile ilgili bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışmada ülkemize var olan bor yataklarının da değerlendirilmesi amacı ile ergitici özellikleri bilinen supodumen veya cam kırıklarının yerine sinterleme davranışlarının ve mikroyapısal özelliklerin değerlendirilmesi amacı ile borik asit tercih edilmiştir.

Yukarda belirtilen bilgiler doğrultusunda alumina ve kuvars esaslı bünyelere; sinterleme sonucunda oluşacak mullit ve korundum fazları üzerine etkisinin incelenmesi amacı ile % 1 ve % 2 oranlarında borik asit ilavesi yapılmıştır. Borik asit ilavesi ile bünyelerde korundum fazlarının çözünerek mullit fazı oluşumu üzerine etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır.

### 6.1. Porselen Bünyeye Borik Asit İlavesi

Borik asit seramik yapılarda ergitici ve güçlü bir inorganik bağlayıcı olarak davranır. Borik asidin ok az miktarı seramik yapı içinde düşük vizkositeli camsı fazı geliştirerek pişme prosesi boyunca geniş bir etkiye sahiptir [21].

Borik asidin porselen yapıdaki yararları:

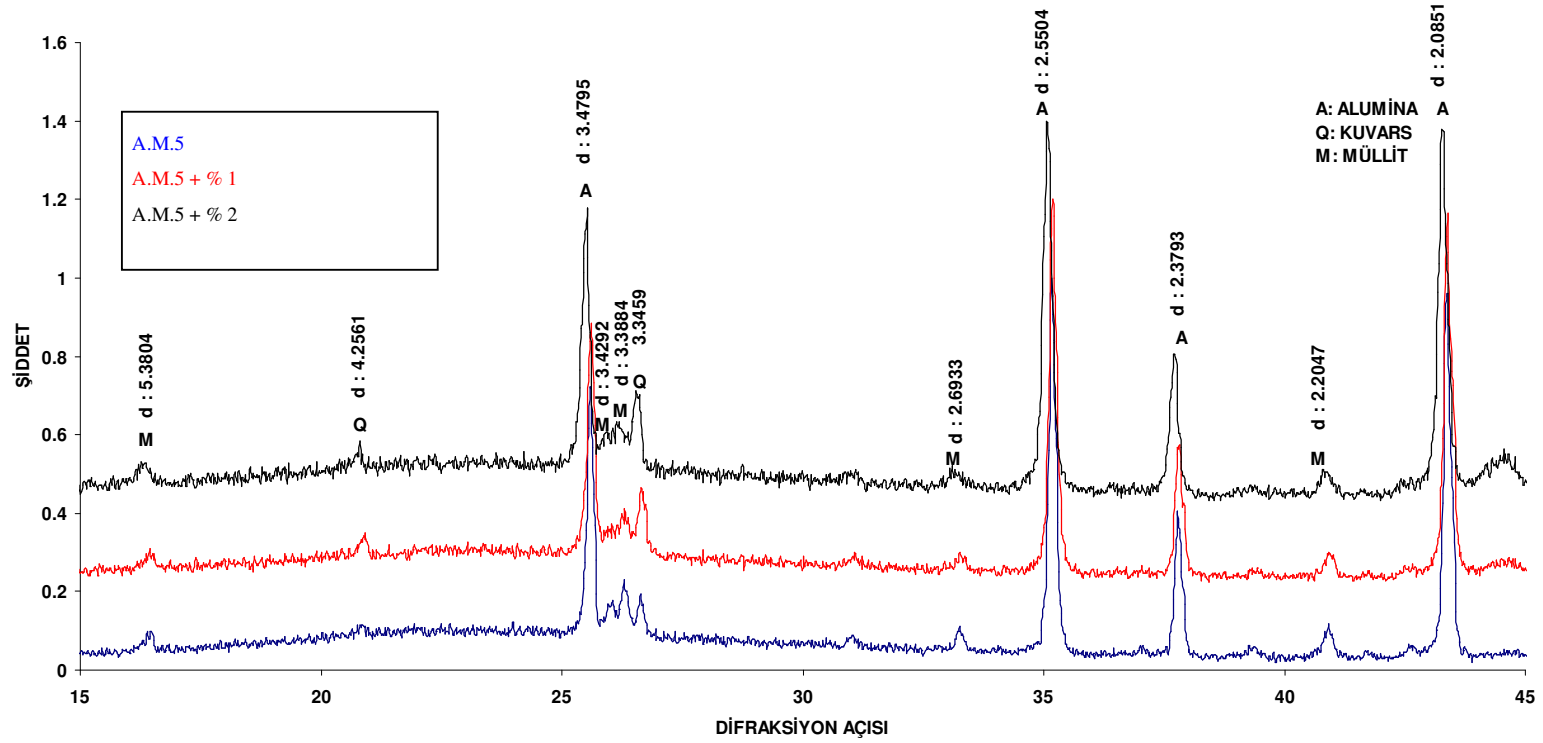
- Pişme rejimi süresini %10-20 oranında azaltır
- Kuru mekanik dayanımı artırdığından ham mamulün kalınlığı azaltıla bilinir.
- Pişirim sıcaklığını rejimi aynı uzunlukta tutarak 25 ° C den daha fazla azaltabilir [21].

Borik asit, bor oksidin suda çözünmesi ile elde edilir. İlk kez Wilhelm Homberg tarafından borakstan elde edilmiştir. Serbest asit olarak Nevada adası gibi volkanik bölgelerde bulunmuştur [21].

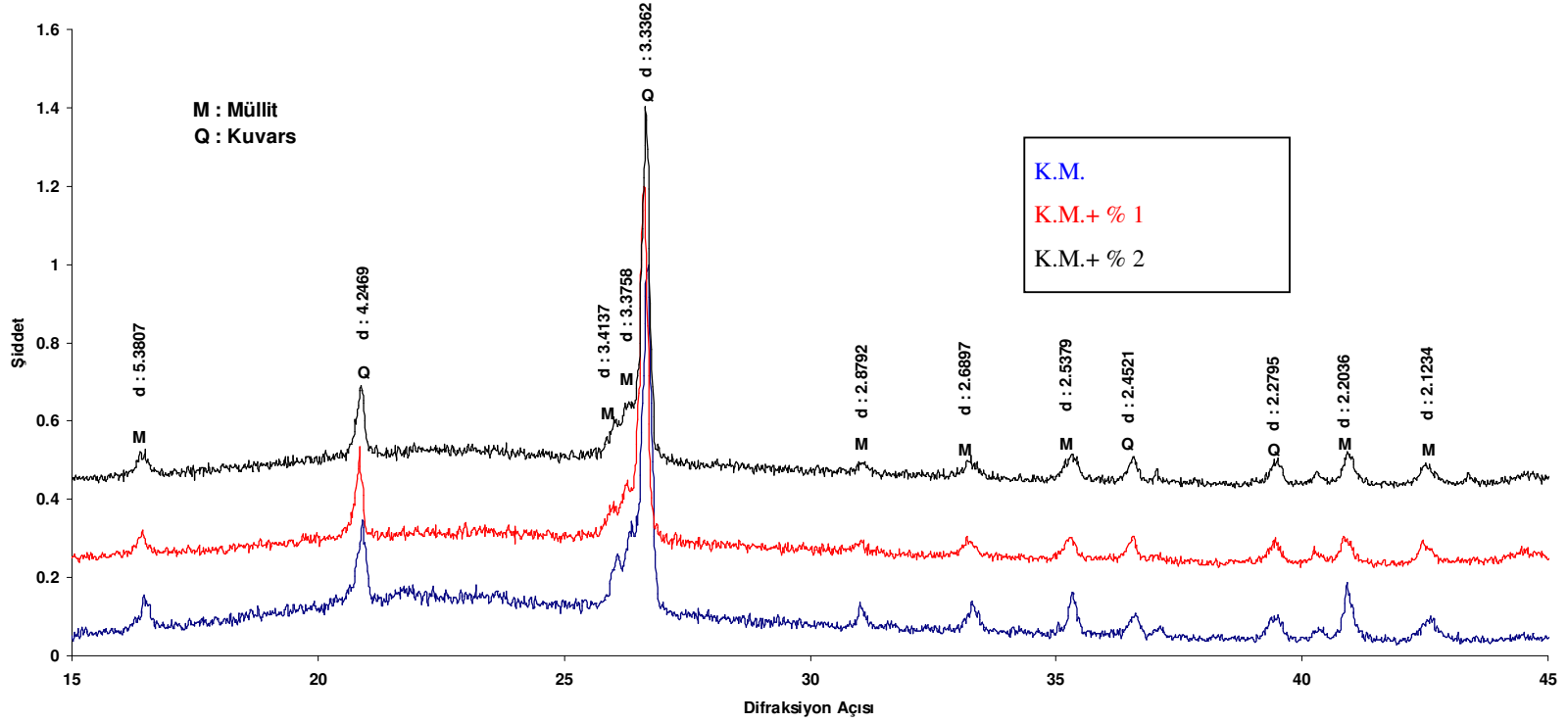
## **6.2. Borik Asit İlaveli Alumina Masse Karakterizasyonu**

### **6.2.1. X Işımları Difraksiyon Analizi**

% 1 ve % 2 borik asit ilaveli A.M.5 + %1 ve % 2 kodlu numunelere yapılan XRD analiz sonuçları Şekil 6.1. de gösterilmiştir. Bu çalışmada, borik asit ilavesinin alumina çözünmesini artırarak mullit oluşumu üzerine artırcı yönde bir etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Şekil 6.1. de görüldüğü gibi % 1 ve 2 oranlarında borik asit ilavesi ile mullit ve camsı faz miktarında artma olmuştur. Şekil 6.2 de % 1 ve % 2 borik asit ilaveli K.M. elektroporselen bünyelere yapılan XRD analizi gösterilmiştir. Artan oranlarda borik asit ilavesi ile kuvars tanelerinin çözüldüğü görülebilmektedir.



**Şekil 6.1.** Borik asit ilaveli alumina porselen bünyelerine ait temsili XRD paternleri, A.M.5 + % 1 : % 1 borik asit ilaveli A.M 5 bünye, A.M.5 + % 2 : % 2 borik asit ilaveli A.M.5 bünye



**Şekil 6.2.** Borik asit ilaveli K.M. bünyesinin temsili XRD paternleri, K.M.+ % 1 : % 1 borik asit ilaveli K.M.,  
K.M.+ % 2: % 2 borik asit ilaveli K.M.

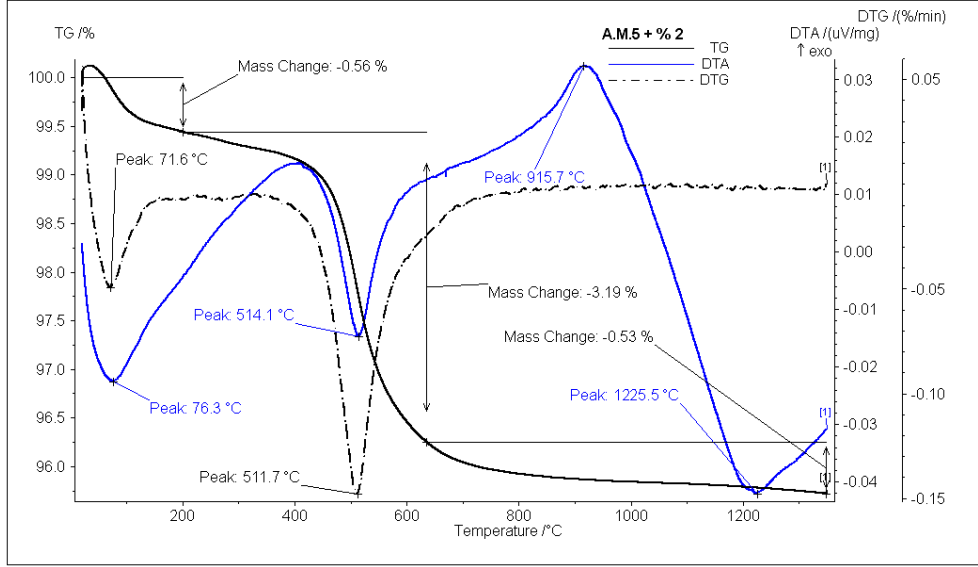
### 6.3. Termal Analizler

% 2 borik asit içeren alumina ve kuvars esaslı bünyelere yapılan TG ve DTA analizleri şekil 6.3, şekil 6.4de verilmiştir. Şekil 6.3 incelendiğinde yaklaşık 100 ° C de görülen %0,56'lık kütle kaybını gösteren endotermik pik bize şekillendirme suyunun uzaklaştığını göstermektedir. 400-600 ° C arasında %3,16'lık kütle kaybını gösteren endotermik ise kristal su kaybını açıklamaktadır. Şekil 6.4 deki endotermik piklere bakıldığında ise şekillendirme suyunun yaklaşık %1,43'lük kütle kaybı ile 100 ° C de uzaklaştığını, kristal suyun ise 400-600 ° C de %3,6'lık kayıpla uzaklaştığı görülebilir. Şekil 5.15, Şekil 5.16'daki A.M.5'e ve K.M bünyelerine ait DTA-TG grafiği ile karşılaştırma yapıldığında borik asit ilavesi ile A.M.5 ve K.M. bünyelerinin kütle kayıplarının ve spinel oluşumunun gerçekleştiği sıcaklıkların düştüğü görülebilir.

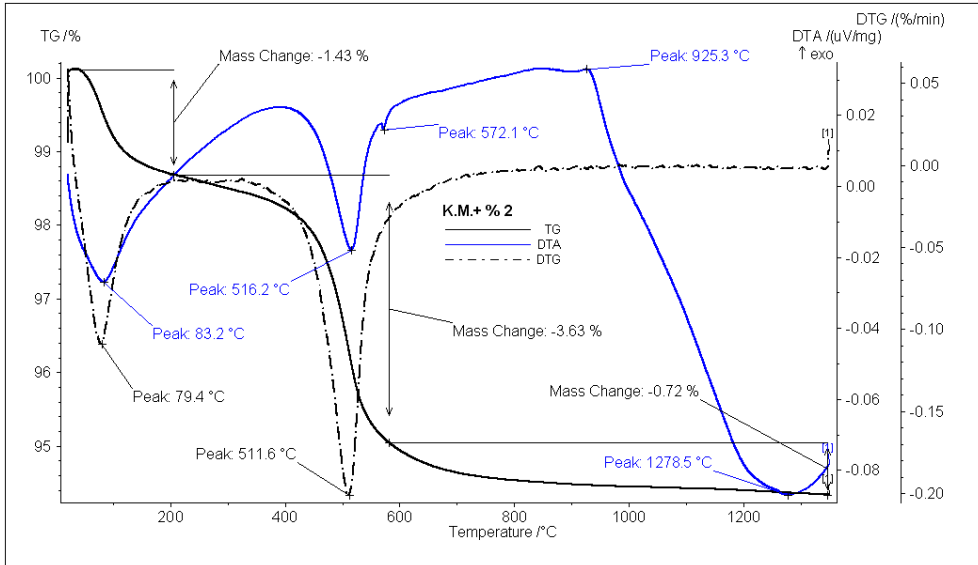
Şekil 6.5 %2 borik asit ilaveli alumina esaslı porselen bünye ile standart alumina porselen bünyeye yapılan optik dilatometre analiz sonucunu göstermektedir. Şekilden de görülebildiği gibi iki bünye içinde Sinterleme sıcaklığı 1320 ° C' dir. Optimum tepe pişirim sıcaklığı 1320° C dir. Sinterleme başlangıcı standart bünye için 941° C % 2 borik asit ilaveli masse için 980° C dir, ve bekleme süresi 15 dakikadır. Sinterlemenin en hızlı olduğu sıcaklık alumina std için 1197° C, %2 borik asit ilaveli bünye için ise 1234 ° C dir. Şekilden de görülebildiği gibi %2 borik asit ilavesi sonucunda, küçülmelerde %1lik bir artış olmuştur. Yüksek sıcaklıklarda A.M.5 %+2 daha çabuk sinterleşmiştir. Numuneler 550- 600 ° C ve 950-1000 ° C de düşük sıcaklık faz dönüşümlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. 1320 ° C de küçülme değerleri A.M.5 standart için %5,829 ve A.M.5 % +2 için % 6,866 dır.

Şekil 6.6 % 2 borik asit ilaveli K.M.+ % 2 porselen bünye ile K.M porselen bünyeye yapılan optik dilatometre analizini göstermektedir. Daha önce yapılan denemelerdeki gibi parametreler aynı alınmıştır. Sinterleme sıcaklığı 1320 °C bekleme süresi 15 dakikadır. %2 borik asit ilaveli kuvars esaslı bünyenin sinterleme başlangıcı 907 °C, standart kuvars esaslı bünyenin ise 948 °C dir. Yani % 2 borik asit ilaveli bünye yaklaşık 40 °C daha erken sinterleşmeye başlamıştır. Bunda borik asidin kuvars tanelerini çözmesi önemli bir rol oynamıştır. En yüksek sinterleme hızı kuvars std için 1187 ° C de, % 2 borik asit ilaveli bünyenin ise

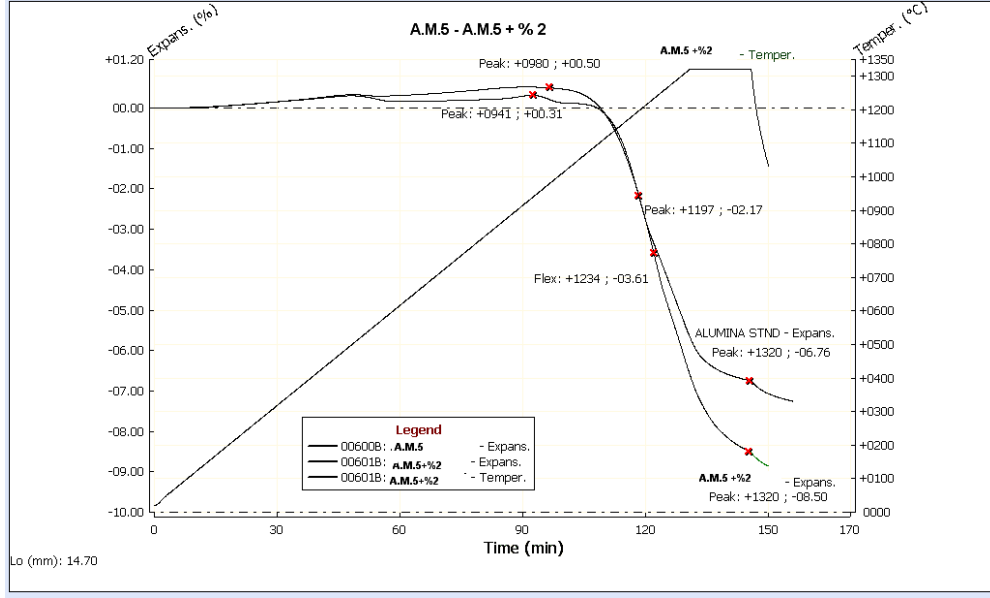
1190 ° C de elde edilmiştir. Ama %2 borik asit ilavesi malzemenin 1320° C de şişmesine neden olmuştur.



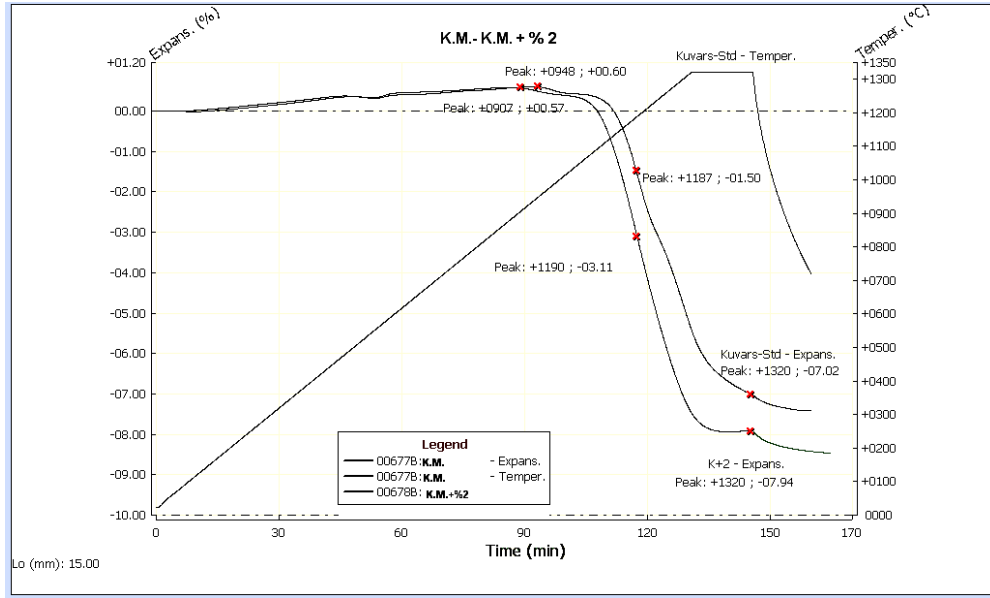
Şekil 6.3. %2 borik asit ilaveli A.M 5 bünye DTA –TG grafiği



Şekil 6.4. %2 borik asit ilaveli standart K.M. bünye DTA –TG grafiği



Şekil 6.5. %2 borik asit ilaveli A.M.5+%2 ve A.M.5 bünyeye yapılan temassız dilatometre eğrisi

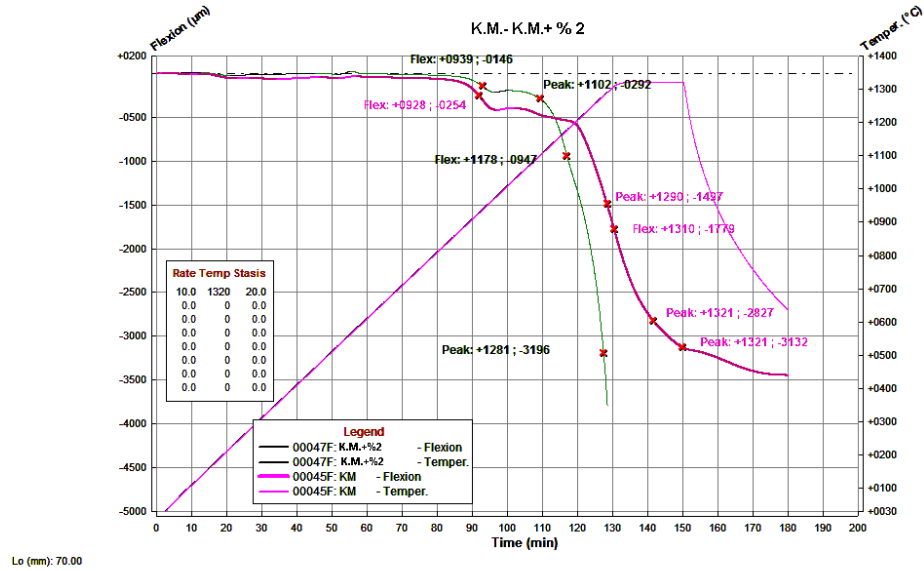


Şekil 6.6. %2 borik asit ilaveli K.M.+ % 2 ve K.M. bünyelere yapılan temassız dilatometre eğrisi

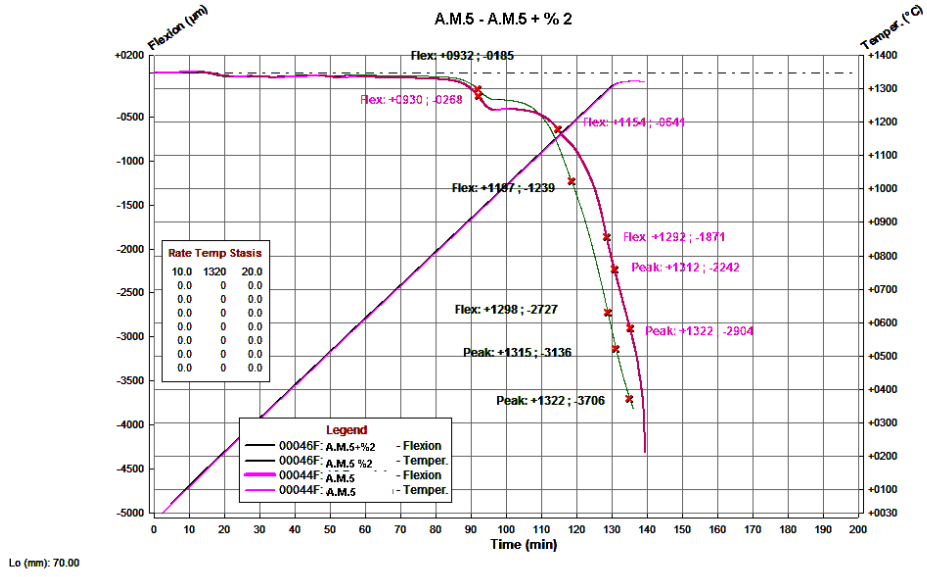
#### 6.4. Piroplastik Deformasyon Testi

Şekil 6.7 ve 6.8 de sırası ile % 2 borik asit ilaveli K.M ve A.M.5 bünyelere yapılan karşılaştırmalı piroplastik deformasyon grafikleri verilmiştir. Şekil 6.7 incelendiğinde borik asit ilaveli K.M.+ % 2 bünyenin ilk deformasyona uğradığı sıcaklık 939 ° C dir ve bu sıcaklıktaki deformasyonu 0.000146 cm ölçülmüştür. Sıcaklığın artması ve borik asidin de etkisi ile viskozitenin düşmesi neticesinde deformasyon değerleri artmış ama cihazın ölçüm değerlerinin aşılması nedeni ile bekleme sıcaklığındaki deformasyon değeri ölçülememiştir. Standart kuvars esaslı bünye ile bir kıyaslama yapıldığında borik asit ilavesi sonucunda viskozitenin düştüğü ve bunun neticesinde de deformasyon değerlerinin borik asit ilaveli bünyede daha yüksek olduğu görülebilmektedir.

Şekil 6.8. A.M.5 + % 2 bünye ile A.M.5 esaslı bünyenin karşılaştırmalı piroplastik deformasyon grafiğini göstermektedir. Bu grafiğe göre, % 2 borik asit ilaveli bünyenin ilk deformasyona uğradığı sıcaklık 932 ° C' dir ve bu sıcaklıkta ki deformasyon değeri 0.000185 cm ölçülmüştür. Yine sıcaklığın artması ve borik asidin ilavesi ile viskozitenin düşmesi neticesinde deformasyon değerleri artmış ve 1320 ° C de 0.03706cm olarak ölçüm yapılmıştır.



Şekil 6.7. K.M. bünye ile K.M.+ % 2 bünyenin karşılaştırmalı piroplastik deformasyon eğrisi



Şekil 6.8. A.M. bünye ile A.M.+ % 2 bünyenin karşılaştırmalı piroplastik deformasyon eğrisi

Tablo 6.1. %2 borik asit ilaveli A.M.5 ve K.M. bünyelerin piroplastik deformasyon indeksleri

	SICAKLIK	L (cm)	D (cm)	S (cm)	PI (cm <sup>-1</sup> ) 10 <sup>-4</sup>
A.M.5 + % 2	1322	7	7,55	0,03706	8,79
K.M. + % 2	1281	7	7	0,03196	6,52

## 6.5. Elastik Modül

%1, %2, borik asit içeren alumina ve kuvars esaslı elektroporselen bünyelere yapılan elastik modül testin sonuçları Tablo 6.2 de verilmiştir. Tablo 6.2 'e göre borik asit ilavesinin alumina esaslı bünyede mukavemet açısından negatif yönde çok fazla bir etkisinin olmadığı görülebilmektedir. Bunun nedeni borik asidin alumina bünyede alumina tanelerini çok fazla derecede çözmemesidir. Bunu şekil 6.1 deki XRD analizinden teyit edebiliriz. Şekil 6.1 de camsı faz miktarında bir miktar artış gözlenmektedir. Diğer yandan kuvars esaslı bünyelerde ise elastik modülerinde borik asit ilavesi ile önemli bir miktarda

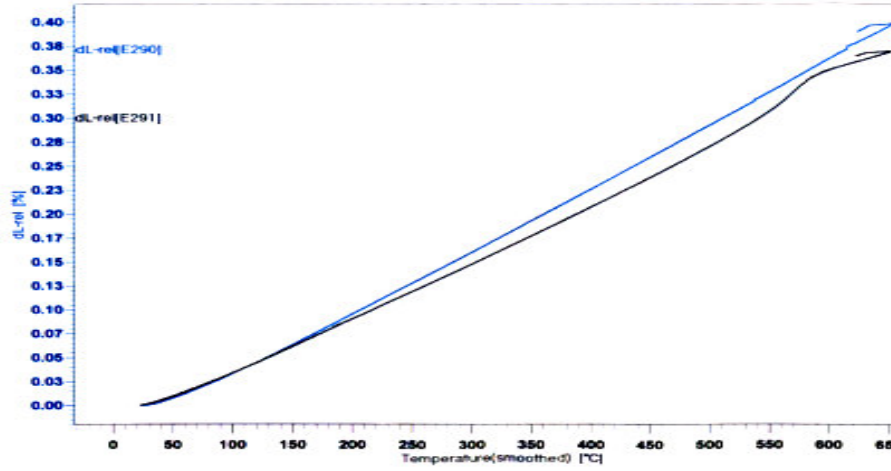
azalma görülmekte bunun nedeni ise şekil 6.6 dan da görülebildiği gibi borik asit ilavesinin camı fazın viskozitesini azaltmasından dolayı bünyenin şişmesidir.

**Tablo 6.2.** %1, %2 borik asit içeren A.M.5 ve K.M. bünyelerin elastik modülleri

	<b>Boyuna Ses Dalgası (ns)</b>	<b>Ters Ses Dalgası (ns)</b>	<b>Poisson Oranı</b>	<b>Elastik Modül (Gpa)</b>
<b>A.M.5+%1</b>	<b>1600</b>	<b>2250</b>	<b>-0,01</b>	<b>129</b>
<b>A.M.5+%2</b>	<b>1650</b>	<b>2350</b>	<b>0,01</b>	<b>133</b>
<b>K.M.+%1</b>	<b>1900</b>	<b>3000</b>	<b>0,17</b>	<b>66,5</b>
<b>K.M.+%2</b>	<b>2300</b>	<b>3350</b>	<b>0,05</b>	<b>75,5</b>

### **6.6. Ortalama Doğrusal Termal Genleşme Katsayısı**

Tablo 6.3. % 2 borik asit ilaveli alumina ve kuvars esaslı elektroporselen bünyelere yapılan ortalama doğrusal genleşme katsayısı tespiti testinin sonucunu göstermektedir. % 2 borik asit ilavesi ile hem alumina esaslı hem de kuvars esaslı bünyelerin ortalama doğrusal genleşme katsayılarında katkısız alumina ve kuvars esaslı bünyelere göre düşüş görülmektedir. Bu azalmanın sebebi özellikle kuvars esaslı bünyede kuvarsın çözünmesi ve camı faza geçerek sistemin termal genleşme katsayısını düşürmesidir. Kuvars normalde çözünmeden önce yapıda termal genleşmeyi artırıcı yönde bir etkisi vardır. Bünyede camı faz miktarı artıkça termal genleşme katsayısı düşer.



Şekil 6.9. % 2 borik asit ilaveli A.M.5 ve K.M. bünyelerin sıcaklığa bağlı Ortalama doğrusal genişleme grafiği

Tablo 6.3. %2 Borik asit ilaveli A.M.5 ve K.M. bünyelerin ortalama doğrusal genişleme katsayıları

	Sıcaklık °C	dL/dL <sub>0</sub>	T.alfa (30 °C) 1/K
A.M.5 + % 2	50	0,85.10 <sup>-3</sup>	2,82.10 <sup>-6</sup>
	300	1,61.10 <sup>-3</sup>	5,75.10 <sup>-6</sup>
	600	.3,63.10 <sup>-3</sup>	6,26.10 <sup>-6</sup>
K.M. + % 2	50	0,98.10 <sup>-3</sup>	3,27.10 <sup>-6</sup>
	300	1,48.10 <sup>-3</sup>	5,29.10 <sup>-6</sup>
	600	3,49.10 <sup>-3</sup>	6,03.10 <sup>-6</sup>

## 6.7. Bağlı Geçirgenlik Testi

Deney parçasının sıcaklığı, gerekli deney sıcaklığında  $\pm 1^\circ\text{C}$  dan daha iyi olarak dengeye ulaşıldıktan sonra IEC 60250 ye uygun olarak elektrik ölçümleri yapılır. Deney için uygulana frekans 1 kHz dir.

Kapasitans

$$C = (\epsilon_r \times \epsilon_0 \times A) / t \quad (6.1)$$

formülü ile hesaplanır.

Burada,  $\epsilon_r$ , di elektrik katsayısı

$\epsilon_0$ , hava geçirgenliği

A, numune yüze alanı

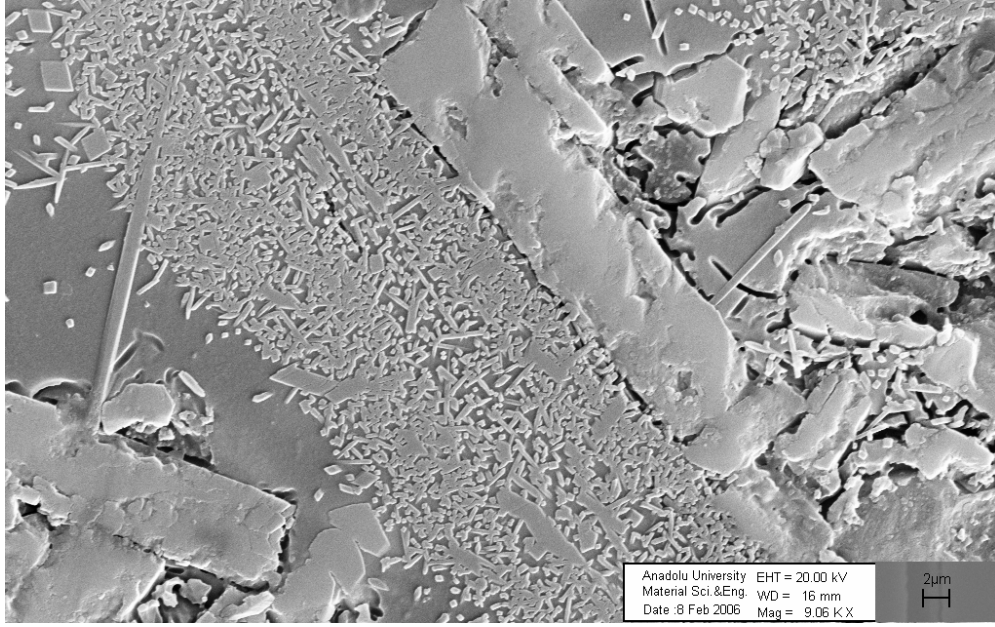
t , kalınlık

**Tablo 6.4.** % 2 Borik Asit İlaveli A.M5 ve K.M.bünyelerin bağıl geçirgenlik testi

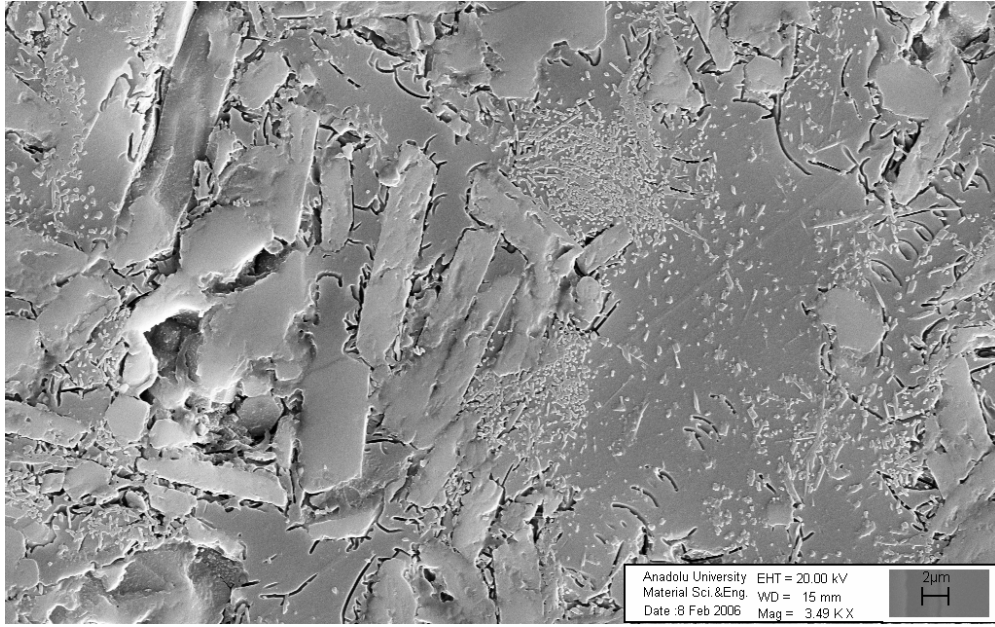
	C (pF)	t (mm)	$\epsilon_0$	A (mm)	$\epsilon_r$
<b>Alumina Masse 5</b>	3,12	1,28	$8,85 \cdot 10^{-12}$	7.7x5,8	10,10
<b>Kuvars Masse</b>	4,7	1.68	$8,85 \cdot 10^{-12}$	6,9x7,7	16

### 6.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Mikroyapı Karakterizasyonu

Alumina masse denemelerinde ana hedef mikro yapıda maksimum miktarda  $\alpha$  alüminanın olmasını sağlamaktır. Çünkü alüminanın yüksek young modülü sayesinde porselen yapının yoğunluğu ve young modülü yükselmiştir. Bu bizi dayanım seviyesi için kesin sonuca götüren önemli bir faktör olduğunu daha önce belirtmiştik. Bu çalışmanın son aşamasında alumina bünyelere borik asit ilavesi ile mikroyapı da alumina çözünmesi olup olmadığına ve eğer olmuşsa bunun mullit oluşumuna bir etkisinin olup olmadığına bakılmıştır. Şekil 6.10 (a) ve (b), 6.11 (a) ve (b) de % 2 borik asit ilaveli alumina esaslı elektro porselen ve kuvars esaslı elektro porselen bünyelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.10 (a) ve (b) de görülebildiği gibi korundum kristallerinin yanında baskın olarak mullit kristalleri görülebilmektedir. Korundum tane sınırlarında az miktarda erime olduğu ve mullit taneleri ile korundum taneleri arasında bağlanma vardır.

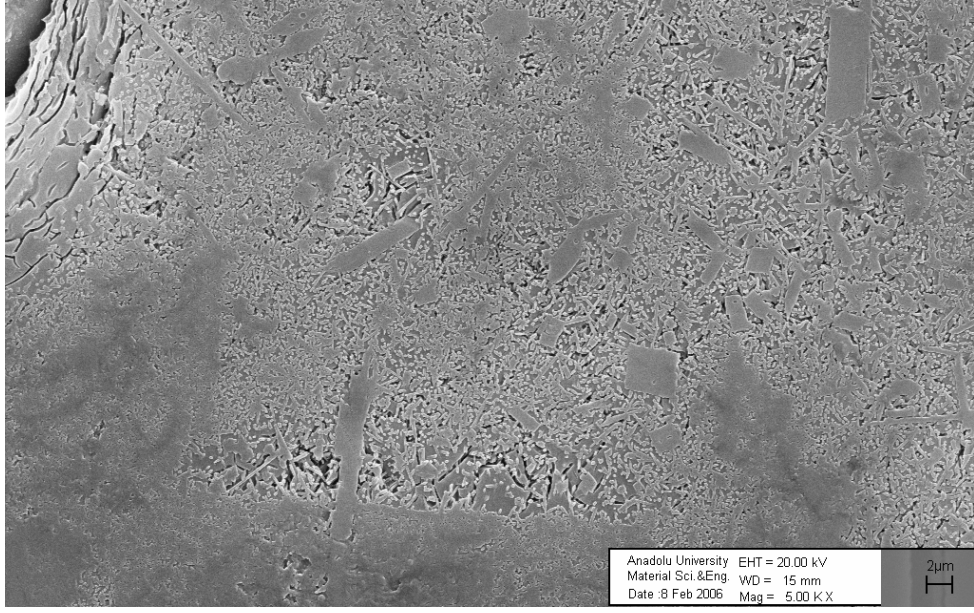


(a)

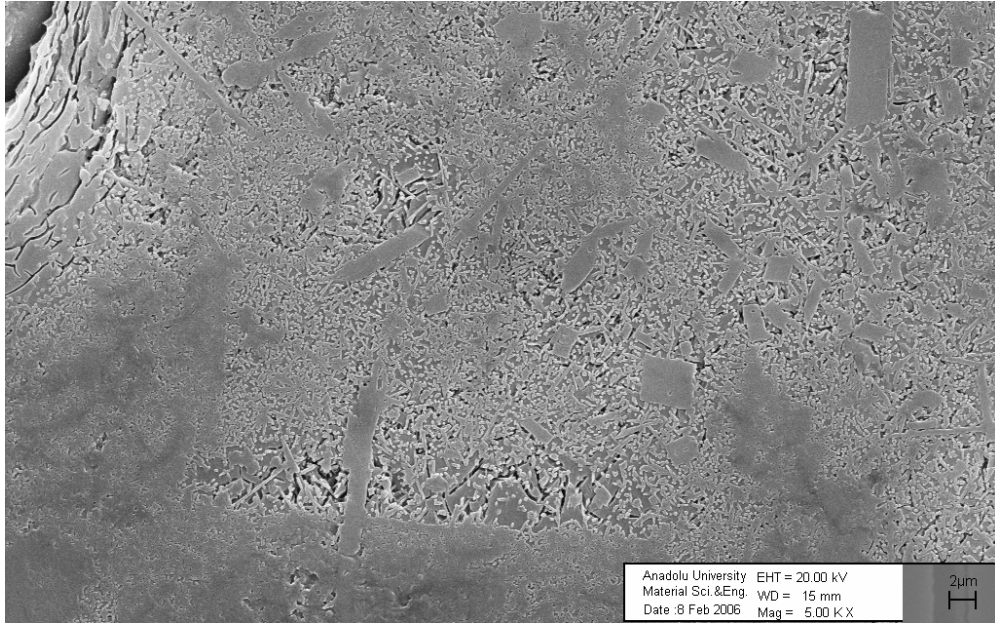


(b)

Şekil 6.10. (a) ve (b) A.M.5 + % 2 elektroporselen bünyenin ikincil elektron görüntüleri



(a)



(b)

Şekil 6.11. (a) ve (b) K.M. + % 2 elektro porselen bünyenin ikincil elektron görüntüleri

## TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ülkemizdeki izolatör fabrikalarında üretilmekte olan mevcut elektroporselen bünyelerin farklı hammaddeler yardımı ile geliştirilerek dış piyasalardaki rakip firmalarla olan rekabet gücünü artırması ve diğer yandan da ülkemizde var olan alternatif hammadde rezervlerinin değerlendirilerek ülke ekonomisine katkısının sağlanması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda yapılan bu tez çalışması iki aşamada sürdürülmüştür. Bu aşamalar:

- Kuvarsın yerine alumina kullanımının mekanik ve elektriksel dayanımlar üzerine olan etkilerinin incelenmesi
- Borik asit ilavesinin hem standart kuvars esaslı hem de geliştirilen alumina esaslı bünyelerde camsı faz miktarının artırılması ile bunun mullit oluşumu ve sinterleme davranışı üzerine olan etkilerinin incelenmesidir.

Tez çalışmasının birinci bölümünden elde edilen veriler ışığında:

- Kuvarsın yerine aluminanın kullanılmasının elektroporselen bünyelerin mekanik ve elektrik dayanımlarında önemli miktarda artış sağladığı tespit edilmiştir. Kuvars esaslı bünyelerde ortalama sırlı-sırsız eğilme dayanımı yaklaşık olarak  $60-53 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Alumina esaslı bünyelerde ise ortalama sırlı-sırsız eğilme dayanımları yaklaşık olarak  $157-124 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Deney sonuçlarından da görülebildiği gibi alumina esaslı bünyelerin mekanik mukavemet değerleri yaklaşık olarak kuvars esaslı bünyelerden 2,5 kat daha yüksektir. Aynı şekilde elektrik dayanımları da incelendiğinde kuvars esaslı bünyenin elektrik dayanımı ortalaması yaklaşık olarak 21 iken buna karşın alumina esaslı bünyelerin yaklaşık olarak 27 dir. Alumina esaslı bünyelerde kuvars esaslı bünyelere göre mekanik ve elektrik dayanım değerlerindeki bu artış beraberinde elektrik iletiminde meydana gelen kayıplarda azalma ve her türlü hava koşullarına karşı hatların kırılma,

kopma v.b. tehlikeli durumları olmaksızın izolatörlerin kullanılabilirliğinin sağlanması gibi avantajlar getirecektir.

- Mekanik ve elektrik mukavemetlerin yanında alumina esaslı bünyelerde sinterleme esnasında alumina sıcaklık değişimlerine kuvarsa göre daha kararlı olduğundan sıvı fazın viskozitesi alumina esaslı bünyelerde düşük kalmakta buda alumina esaslı bünyelerin kuvars esaslı bünyelere göre sinterlemeye daha erken başlamasını sağlamaktadır.
- Alumina esaslı bünyelerde sıvı fazın viskozitesinin düşük olması beraberinde pyroplastik deformasyon değerlerinin yüksek olmasını getirirse de bu sorun pişme sıcaklığının aşağıya çekilmesi ile giderilebilir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde farklı oranlarda borik asit ilavesi ile elde edilen verilerle şu önermeler yapılabilir:

- Borik asit ilavesi özellikle alumina esaslı bünyelerde camsı faz miktarında artışa neden olmuş diğer yandan kuvars esaslı bünyelerde alumina esaslı bünyelerdeki gibi bir artış gözlenmemiştir.
- Alumina esaslı bünyelerde camsı fazdaki bu artış beraberinde pyroplastik deformasyon indeksinde artışa ve ortalama doğrusal genişleme katsayılarında da düşüğe neden olmuştur.
- Camsı fazın artışı ile gelen bu olumsuzluklar pişirim sıcaklığının aşağıya çekilmesi ile giderilebilecek olumsuzluklardır.
- Borik asit ilavesi kuvars esaslı bünyede sinterleme başlangıç sıcaklığında yaklaşık 40 °C lik bir azalma ve hem alumina hem de kuvars masselerde sinterlemenin daha hızlı olmasını sağlamıştır.
- Sonuç olarak, borik asit ilavesi alumina ve kuvars esaslı bünyelerde sinterleme başlangıç sıcaklığını düşürmek ve sinterlemenin daha hızlı olması gibi özellikleri geliştirici yönde etki yapmıştır. Özellikle ileride yapılacak çalışmalar için alumina esaslı bünyelerde borik asit ilavesinin camsı faz miktarında getirdiği artış ve ortalama genişleme katsayısında ki azalma ve pyroplastik deformasyon indekslerindeki artış sıvı fazda

aluminanın çözünmüş olabileceğini ve bununla mullit fazı oluşturabileceğini düşündürmektedir.

Bu çalışmanın sonucunda yapılan deneysel çalışmalar, kuvarsin yerine aluminanın kullanılması ile bünyelerin elektrik ve mekanik mukavemet değerlerinde önemli miktarlarda artış olduğunu göstermiştir. Endüstriyel açıdan bakıldığında hammadde maliyetleri özellikle de aluminanın kuvarsa göre yüksek olan maliyeti böhmit ve boksit gibi ülkemizde var olan alumina kaynağı hammaddeler ile azaltılabilecektir. Yukarıda belirtilen bilgilerin yanında yapılan deneysel çalışmalar, az bir miktar borik asit ilavesi ile alumina esaslı bünyelerde camsı faz miktarının arttığını ve bunun sonucunda da prosesinin pişirim sıcaklığının aşağıya çekilerek daha kısa ve hızlı bir sürede maliyetlerin de azaltılarak gerçekleştirilebileceğini göstermiştir..

## KAYNAKLAR

- [1] YAVUZ, S.Y., *İzolator üretimi*, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Eskişehir, Türkiye (1994).
- [2] JOSE M.A., FRANCISCO J.S., MAREK A.K., JOAQUÍN B., VÍCENTE E., MARÍA M.R., FRANCISCO M., *X-ray diffraction microstructure and analysis of mullite, quartz and corundum in porcelain insulator*, Valencia University, Department of Geology, Burjassot, Spain, **25** (2005).
- [3] LIEBERMANN J.R., *The standard and trend for alumina porcelain insulator*, Forum of Technology, **17**, (2000).
- [4] Vizyon 2023 Teknoloji öngörüsü projesi, *inşaat ve altyapı paneli*, Temmuz (2003)
- [5] RICHERSON D.W., *Modern ceramic engineering*, Marcel Dekker, INC., USA, (1992)
- [6] CHAUDHURÍ S.P., SARKAR P., *Dielectric behaviour of porcelain in relation to constitution*, *Ceramic International*, **26**, (2000)
- [7] UZ V., *İnorganik, organik ve biyolojik bazı ilavelerin killerin seramik özellikleri üzerine etkisi*, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Bilim Dalı, Şubat (2004)
- [8] WALTER, H.G., *Almina as a Ceramic Material*, The American Ceramic Society, **4**, USA, (1970)
- [9] KINGERY W.D., BOWEN H.K., UHLMANN D.R., *Introduction to ceramics*, Wiley- Interscience Publication, Canada, (1960)
- [10] FASSBİNDER G., *A new ceramic body concept for high voltage insulator*, Process Engineering, DKG 79, No.8, (2002)
- [11] JOSE M.A., FRANCISCO J.S., MAREK A.K., JOAQUÍN B., VÍCENTE E., MARÍA M.R., FRANCISCO M., *Microstructure of crystalline phases in electrotechnical porcelain*, Valencia University, Department of Geology, Burjassot, Spain, (2004).

- [12] LIEBERMANN J.R., *Avoding quartz in alumina porcelain for high voltage insulator, American Ceramic Society Bulletin, 80(6), P 37, (2001)*
- [13] RONALD H. L., *Alumina in electrical porcelain, Indiana University of Pennsylvania, Indiana, USA*
- [14] TÜR K STANDARDI, *Seramik ve cam yalıtım malzemeleri-bölüm 2 deney metodları, Türk Standartları Enstitüsü, TS 11237 EN 60672-2, ( 2002)*
- [15] PAGANELLİ M., *Using the optical dilatometer to determine sinteing behavior, American Ceramic Society Bulletin, 81,(11), (2002)*
- [16] DONDİ M., ZANELLİ C., *sintering Mechanisms of porcelain stoneware tiles, Institute of Science and Technology for Ceramics, Feanza, Italy*
- [17] RESTREPO J.J., DİNGER D.R., *Controle da Deformação Piroplástica em Massas de Porcelanas Triaxiais usando a Análise Dilatométrica 8( 4), Julho/Agosto-2003*
- [18] VILCHEZ S.E., *Technical considerations on porcelain tile products and their manufacturing process, 57, Qulicer 2002*
- [19] TULYAGANOV D.U., FERNANDES H.R., *Influence of lithium oxide as auxiliary flux on the properties of triaxial porcelain bodies, Journal of European Ceramic Society, 26, (2006)*
- [20] TUCCİ A., ESPOSITO L., *Use of soda-lime scrap-glass as a fluxing agent in a porcelain stoneware tile mix, Journal of European Ceramic Society, 24, (2004)*
- [21] KORUCUOĞLU V.S., TAŞ C.Ö., *Boron doped porcelain tiles, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, (2005)*