

**ALÜMİNA- YSZ DENTAL MALZEMELERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE  
YAŞLANDIRMANIN ETKİLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Nilay ATALAY**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr., C. Betül EMRULLAHOĞLU ABİ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ A.B.D.**

**Ekim, 2014**

Bu tez çalışması 12.FEN.BİL.38 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALÜMİNA- YSZ DENTAL MALZEMELERİN MEKANİK**  
**ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE YAŞLANDIRMANIN ETKİLERİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**Nilay ATALAY**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. C. Betül EMRULLAHOĞLU ABİ**

**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ A.B.D.**

**Ekim, 2014**

## TEZ ONAY SAYFASI

Nilay ATALAY tarafından hazırlanan “ Alümina- YSZ Dental Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Yaşlandırmanın Etkilerinin İncelenmesi adlı tez çalışması lisans üstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca ...../ ...../ ..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafınsan oy birliğ/ oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı**’ nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. C. Betül EMRULLAHOĞLU ABİ

<b>Başkan</b>	: Prof. Dr. Ö. Faruk EMRULLAHOĞLU Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,	İmza
<b>Üye</b>	: Doç. Dr. Serhat BAŞPINAR Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,	İmza
<b>Üye</b>	: Yrd. Doç. Dr. C. Betül EMRULLAHOĞLU ABİ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,	İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’ nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**15/10/2014**

**İmza**  
**Nilay Atalay**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ALÜMİNA- YSZ DENTAL MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE YAŞLANDIRMANIN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Nilay ATALAY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. C. Betül EMRULLAHOĞLU ABİ

Son yıllarda, yittria ile stabilize edilmiş zirkonya ve zirkonya ile toklaştırılmış alümina (ZTA) seramikler yüksek mekanik dayanımları, iyi termal şok, aşınma ve oksidasyon dirençleri ve mükemmel biyouyumlulukları nedeni ile dental uygulamaların en önemli malzemeleri haline gelmişlerdir. Zirkonya'nın toklaştırma mekanizması yarı kararlı tetragonal tanelerin ilerleyen bir çatlakın etrafında gerilim kaynaklı olarak kırılma işindeki yükselmeye sebep olarak monoklinik forma dönmesinden ileri gelmektedir. Bununla birlikte, bu malzemelerin düşük sıcaklıkta, nemli ortamlarda kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar  $ZrO_2$  tanelerinin yüzeyinde tetragonal→ monoklinik dönüşümü meydana gelebildiğini bildirilmektedir ve bu olay hidrotermal dönüşüm olarak adlandırılır ki, bu da kompozitin mekanik özelliklerinin yavaş yavaş kötüleşmesine sebep olur. Bu tez çalışmasının amacı monoklinik zirkonyanın stabilizasyonunda iki farklı stabilizatör; yitrium oksit ve yitrium nitrat katkılarının etkilerinin incelenmesi, elde edilen zirkonya tozları ile farklı oranlarda alümina içeren ZTA kompozitlerinin üretilmesidir. Elde edilen her iki stabilize zirkonya tozu ve piyasadan hazır halde alınan % 3 mol yittria ile stabilize zirkonya tozları kullanılarak; % 100  $ZrO_2$ , % 30  $ZrO_2$ + % 70  $Al_2O_3$  ve % 20  $ZrO_2$ + % 80  $Al_2O_3$  bileşiminde toz karışımları hazırlanmış, bunlar slip döküm ve kuru presleme yöntemi ile şekillendirildikten sonra 1400, 1450 ve 1500 °C sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası numuneler farklı sürelerde

yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş ve yaşlandırmanın numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ve ayrıca tetragonal→ monoklinik dönüşümü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, kullanılan yitrium oksit ve yitrium nitrat katkıları ile kısmen stabilize zirkonya tozları elde edilmiştir ve yitrium oksit stabilizasyon işleminde daha iyi sonuç vermiştir. Yaşlandırma süresinin artması tüm numunelerin tetragonal faz yüzdeleri ve mukavemet değerlerinde azalmaya sebep olmuştur.

**2014, xxiii + 158 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Alümina, Zirkonya, Dental Seramikler, Yaşlandırma

## ABSTRACT

M.ScThesis

### INFLUENCE OF THE AGING TIME ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINA-YSZ DENTAL MATERIALS

Nilay ATALAY

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Material Science and Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Dr. C. Betül EMRULLAHOĞLU ABI

Recently, yttria stabilized zirconia and zirconia-toughened-alumina ceramics have received considerable attention as dental materials, due to their attractive properties, including high-temperature mechanical strength, good thermal shock resistance, wear and oxidation resistance and biocompatibility. The toughening mechanisms of zirconia is attributed to the stress induced phase transformation of metastable tetragonal grains towards the monoclinic symmetry ahead of a propagating crack, leading to an increase in the work of fracture. However, studies on the application of these materials in humid environment at low temperature have shown that the tetragonal-monoclinic transformation can also be induced at the surface of  $ZrO_2$  grains, leading to the so-called hydrothermal transformation which produces a slow degradation of the composite mechanical properties. The aim of this study is, investigating the effects of two different stabilizer (yttrium oxide and yttrium nitrate) on stabilization of monoclinic zirconia and producing alumina-zirconia composites by the use of this stabilized tetragonal zirconia powder. Powder mixtures of % 100  $ZrO_2$ , % 30  $ZrO_2$ + % 70  $Al_2O_3$  ve % 20  $ZrO_2$ + % 80  $Al_2O_3$  were prepared by using experimental tetragonal zirconia powders and commercial 3 mol % yttria stabilized zirconia powder, shaped by slip casting and dry pressing, and sintered at 1400, 1450 ve 1500 °C. After sintering, aging process were performed on the samples for different periods and the effects of aging time on physical-mechanical properties and tetragonal-monoclinic transformation were investigated. As a consequence; partially stabilized zirconia powders were obtained by using yttrium oxide and yttrium nitrate and yttrium oxide gave better results than

yttrium nitrate. Increasing the aging time resulted in a decrease in tetragonal phase content and mechanical strength in all samples.

**2014, xxiii + 158 pages**

**Keywords:** Alumina, Zirconia, Dental Ceramics, Aging



## TEŞEKKÜR

12.FEN.BİL.38 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiş olan bu araştırmanın; konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. C. Betül EMRULLAOĞLU ABI' ye ve Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Ömer Faruk EMRULLAHOĞLU' na, çalışmalarım süresince değerli tavsiyelerini aldığım Sayın Doç. Dr. Serhat BAŞPINAR' a, deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımları için Arş. Grv. İsmail Sinan ATLI' ya, Hakan Şahin' e, Serhat TIKIZ' a ve Hikmet AKTAŐ' a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, hoşgörülerinden dolayı Bölge Müdürüm Sayın Murat CERAN' a, hayatım boyunca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli anneme, ablama, sevgili oğlum ve eşime teşekkür ederim.

Nilay ATALAY  
AFYONKARAHİSAR, 2014

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xviii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	6
2.1 Dental Seramikler.....	6
2.1.1 Dental Seramiklerin Tarihçesi ve Gelişimi.....	6
2.1.2 Dental Seramiklerin Özellikleri.....	7
2.2 Alümina.....	7
2.2.1 Alüminanın Kullanım Alanları .....	8
2.2.2 Alüminanın Yapısı ve Minerolojik Özellikleri .....	9
2.2.3 Alüminanın Mekanik Özellikleri .....	10
2.3 Zirkonya .....	10
2.3.1 Zirkonyanın Kristal Yapısı ve Faz Dönüşümleri .....	11
2.3.1.1 Monoklinik ZrO <sub>2</sub> .....	13
2.3.1.2 Tetragonal ZrO <sub>2</sub> .....	14
2.3.1.3 Kübik ZrO <sub>2</sub> .....	15
2.3.1.4 Monoklinik - Tetragonal Faz Dönüşümü .....	16
2.3.1.5 Tetragonal - Kübik Faz Dönüşümü .....	17
2.3.2 Zirkonyada Dönüşüm Toklaşması .....	17
2.3.2.1 Mikro Çatlak Oluşumu Yoluyla Dönüşüm Toklaşması .....	18
2.3.2.2 Gerilim Güdümlü Dönüşüm Toklaşması .....	19
2.3.3 Zirkonyanın Stabilizasyonu .....	20

2.3.3.1 Tamamen Stabilize Zirkonya (TSZ).....	20
2.3.3.2 Parsiyel ( Kısmen ) Stabilize Zirkonya (PSZ).....	21
2.4 Yittria ile Kararlı Hale Getirilmiş Çok Kristalli Tetragonal Zirkonya (Y-TZP)	22
2.5 ZrO <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> İkili Faz Diyagramı .....	22
2.6 Zirkonya İle Toklaştırılmış Alümina .....	24
2.7 Konu ile İlgili Bugüne Kadar Yapılan Bazı Çalışmalar .....	25
3. MATERYAL ve METOT .....	29
3.1 Amaç .....	29
3.2 Deney Programı .....	29
3.3 Deneylede Kullanılan Malzemeler .....	30
3.3.1 Alümina .....	30
3.3.2 Monoklinik Zirkonya .....	31
3.3.3 Yittria ile Stabilize Zirkonya .....	31
3.3.4 Yittrium Nitrat .....	31
3.3.5 Yittrium Oksit .....	31
3.4 Tetragonal Zirkonya Üretim Çalışmaları.....	32
3.5 Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	32
3.5.1 Ticari YSZ Katkılı Alümina .....	33
3.5.2 Deneysel YSZ (Yittrium Oksit Katkılı) Katkılı Alümina .....	33
3.5.3 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat Katkılı) Katkılı Alümina .....	34
3.6 Şekillendirme .....	34
3.7 Kurutma .....	34
3.8 Ön Sinterleme ve Zımparalama .....	35
3.9 Sinterleme .....	35
3.10 Hidrotermal Yaşlandırma İşlemi .....	36
3.11 Numunelere Uygulanan Testler .....	37
3.11.1 Su Emme.....	37
3.11.2 X-Işınları Difraktometresi (XRD) Faz Analizi.....	38
3.11.3 Üç Nokta Eğme ve Brazilian Testi .....	39
3.11.4 Sertlik.....	39
3.11.5 SEM+EDS Analizleri .....	39
4. BULGULAR .....	40

4.1 Tetragonal Zirkonya Üretim Çalışmalarının Sonuçları .....	40
4.2 Fiziksel Test Sonuçları .....	42
4.2.1 Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numunelere Ait Test Sonuçları .....	42
4.2.1.1 1. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	42
4.2.1.2 2. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	43
4.2.1.3 3. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	43
4.2.1.4 Katkısız YSZ Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	44
4.2.1.5 %20 YSZ Katkılı Alümina Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	45
4.2.1.6 %30 YSZ Katkılı Alümina Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	46
4.2.2 Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Numunelere Ait Test Sonuçları .....	47
4.2.2.1 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	47
4.2.2.2 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 2. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	48
4.2.2.3 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 3. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	49
4.2.2.4 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Katkısız YSZ Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	50
4.2.2.5 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %20 YSZ Katkılı Alümina Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	51
4.2.2.6 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %30 YSZ Katkılı Alümina Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	52
4.2.2.7 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	53
4.2.2.8 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 2. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	54
4.2.2.9 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 3. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	55
4.2.2.10 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Katkısız YSZ Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	56
4.2.2.11 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %20 YSZ Katkılı Alümina Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	57

4.2.2.12	8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %30 YSZ Katkılı Alümina Numenelerine Ait Test Sonuçları.....	58
4.2.2.13	12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	59
4.2.2.14	12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 2. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	60
4.2.2.15	12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 3. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları .....	61
4.2.2.16	12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Katkısız YSZ Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	62
4.2.2.17	12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %20 YSZ Katkılı Alümina Numenelerine Ait Test Sonuçları.....	63
4.2.2.18	12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %30 YSZ Katkılı Alümina Numenelerine Ait Test Sonuçları .....	64
4.2.3	Fiziksel Testlerin Toplu Sonuçları .....	65
4.3	X-Işınları Difraktometresi (XRD) Faz Analizi Sonuçları .....	66
4.3.1	Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numunelere Ait XRD Sonuçları .....	66
4.3.1.1	1400, 1450 ve 1500 °C' lerde Sinterlenen YSZ Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	66
4.3.1.2	1400, 1450 ve 1500 °C' lerde Sinterlenen A20YSZ Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	67
4.3.1.3	1400, 1450 ve 1500 °C' lerde Sinterlenen A30YSZ Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	68
4.3.1.4	1400, 1450 ve 1500 °C' lerde Sinterlenen YO Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	69
4.3.1.5	1400, 1450 ve 1500 °C' lerde Sinterlenen A20YO Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	70
4.3.1.6	1400, 1450 ve 1500 °C' lerde Sinterlenen A30YO Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	71
4.3.1.7	1400, 1450 ve 1500 °C' lerde Sinterlenen YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	72
4.3.1.8	1400, 1450 ve 1500 °C' lerde Sinterlenen A20YN Numunelerine Ait	

XRD Sonuçları .....	73
4.3.1.9 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde Sinterlenen A30YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	74
4.3.1.10 1400 °C’ de Sinterlenen YSZ, YO ve YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	75
4.3.1.11 1450 °C’ de Sinterlenen YSZ, YO ve YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	76
4.3.1.12 1500 °C’ de Sinterlenen YSZ, YO ve YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	77
4.3.1.13 1400 °C’ de Sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	78
4.3.1.14 1450 °C’ de Sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	79
4.3.1.15 1500 °C’ de Sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	80
4.3.1.16 1400 °C’ de Sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	81
4.3.1.17 1450 °C’ de Sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	82
4.3.1.18 1500 °C’ de Sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	83
4.3.2 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış Numunelere Ait XRD Sonuçları.....	84
4.3.2.1 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış YSZ Numunelerine Ait XRD Sonuçları .....	84
4.3.2.2 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A20YSZ Numunesine Ait XRD Sonuçları .....	86
4.3.2.3 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A30YSZ Numunesine Ait XRD Sonuçları .....	87
4.3.2.4 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış YO Numunesine Ait XRD Sonuçları .....	88
4.3.2.5 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A20YO	

Numunesine Ait XRD Sonuçları .....	89
4.3.2.6 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A30YO Numunesine Ait XRD Sonuçları.....	90
4.3.2.7 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış YN Numunesine Ait XRD Sonuçları.....	91
4.3.2.8 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A20YN Numunesine Ait XRD Sonuçları.....	92
4.3.2.9 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A30YN Numunesine Ait XRD Sonuçları.....	93
4.4 Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları .....	94
4.4.1 Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numunelere Ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları .....	94
4.4.2 Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Numunelere Ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları .....	95
4.4.3 1450 °C’ de Sinterlenen Numunelere Ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları .....	96
4.5 Sertlik Test Sonuçları .....	97
4.6 SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları .....	99
4.6.1 Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numunelere Ait SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları .....	99
4.6.1.1 1450 °C’ de Sinterlenen YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ..	99
4.6.1.2 1450 °C’ de Sinterlenen A20YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	99
4.6.1.3 1450 °C’ de Sinterlenen A30YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	100
4.6.1.4 1450 °C’ de Sinterlenen YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları .....	101
4.6.1.5 1450 °C’ de Sinterlenen A20YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları .....	102
4.6.1.6 1450 °C’ de Sinterlenen A30YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	104
4.6.1.7 1450 °C’ de Sinterlenen YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ..	105

4.6.1.8 1450 °C' de Sinterlenen A20YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	105
4.6.1.9 1450 °C' de Sinterlenen A30YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	106
4.6.2 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Numunelere Ait SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları .....	107
4.6.2.1 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları .....	107
4.6.2.2 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen A20YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	109
4.6.2.3 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen A30YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	109
4.6.2.4 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	110
4.6.2.5 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen A20YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri.....	111
4.6.2.6 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen A30YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	112
4.6.2.7 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	113
4.6.2.8 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen A20YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları .....	114
4.6.2.9 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen A30YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri .....	116
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	117
6. KAYNAKLAR .....	120
ÖZGEÇMİŞ .....	127
EKLER .....	128



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alümina
Atm	Atmosfer
GPa	Gigapascal
MPa	Megapascal
µm	Mikrometre
nm	Nanometre
T	Sıcaklık (°C )
ZrO <sub>2</sub>	Zirkonya
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yittria
<	Küçük
>	Büyük

### Kısaltmalar

---

ATZ	Alümina ile güçlendirilmiş zirkonya
BT	Brazilian Test
EDS	Enerji Dağılımlı Spektrometresi
H	Sertlik
HV	Vickers sertliği
k	Kübik
LTD	Düşük sıcaklık degradasyonu (Low Temperature Degradation)
m	Monoklinik
o	Ortorombik
PSZ	Kısmen (Parsiyel) stabilize zirkonya
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
t	Tetragonal
TSZ	Tamamen stabilize zirkonya
TZP	Tetragonal zirkonya polikristalleri
ÜNED	Üç Nokta Eğme Dayanımı
XRD	X ışınları difraksiyonu
Y-PSZ	Yittria ile Kısmen (Parsiyel) stabilize zirkonya
YSZ	Yittria ile stabilize edilmiş zirkonya
Y-TZP	Yittria ile stabilize Tetragonal zirkonya polikristalleri
ZTA	Zirkonya ile toklaştırılmış alümina

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 ZrO <sub>2</sub> 'nin değişik fazlardaki şematik gösterilişleri .....	12
Şekil 2.2 (110) t-ZrO <sub>2</sub> kristal yapısında ZrO <sub>2</sub> gruplarının bir tabakası .....	14
Şekil 2.3 Tetragonal zirkonyanın birim hücresi. ....	15
Şekil 2.4 Kübik zirkonya yapısında ZrO <sub>8</sub> gruplarının bir katmanı .....	15
Şekil 2.5 Kübik zirkonya yapısı .....	16
Şekil 2.6 Tetragonal-Monoklinik faz dönüşümü sırasında mikro çatlak oluşumu ve ilerleyen bir çatlağın dallanması veya yön değiştirmesi .....	18
Şekil 2.7 Tetragonal-Monoklinik ZrO <sub>2</sub> martensitik dönüşümünün şematize edilmiş durumu .....	19
Şekil 2.8 ZrO <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> faz diyagramının düşük yittria bölümü .....	23
Şekil 2.9 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> ikili denge diyagramı .....	24
Şekil 3.1 Kullanılan Nabaltec alüminanın tane boyut dağılımı.....	31
Şekil 4.1 % 3 mol yitrium oksit katkılı zirkonyanın sinterleme sonrası XRD paterni..	40
Şekil 4.2 Yitrium nitrat katkılı zirkonyanın sinterleme sonrası XRD paterni.....	41
Şekil 4.3 1400, 1450 ve 1500 °C' lerde sinterlenen YSZ numunelerine ait XRD sonuçları.....	66
Şekil 4.4 1400, 1450 ve 1500 °C' lerde sinterlenen A20YSZ numunelerine ait XRD sonuçları.....	67
Şekil 4.5 1400, 1450 ve 1500 °C' lerde sinterlenen A30YSZ numunelerine ait XRD sonuçları.....	68
Şekil 4.6 1400, 1450 ve 1500 °C' lerde sinterlenen YO numunelerine ait XRD sonuçları .....	69

<b>Şekil 4.7</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YO numunelerine ait XRD sonuçları.....	70
<b>Şekil 4.8</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YO numunelerine ait XRD sonuçları.....	71
<b>Şekil 4.9</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YN numunelerine ait XRD sonuçları .....	72
<b>Şekil 4.10</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YN numunelerine ait XRD sonuçları.....	73
<b>Şekil 4.11</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YN numunelerine ait XRD sonuçları.....	74
<b>Şekil 4.12</b> 1400 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait XRD sonuçları	75
<b>Şekil 4.13</b> 1450 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait XRD sonuçları	76
<b>Şekil 4.14</b> 1500 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait XRD sonuçları	77
<b>Şekil 4.15</b> 1400 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait XRD sonuçları.....	78
<b>Şekil 4.16</b> 1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait XRD sonuçları.....	79
<b>Şekil 4.17</b> 1500 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait XRD sonuçları.....	80
<b>Şekil 4.18</b> 1400 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait XRD sonuçları.....	81
<b>Şekil 4.19</b> 1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait XRD sonuçları.....	82
<b>Şekil 4.20</b> 1500 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait XRD sonuçları.....	83

<b>Şekil 4.21</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YSZ numunelerine ait XRD sonuçları .....	85
<b>Şekil 4.22</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YSZ numunelerine ait XRD sonuçları .....	86
<b>Şekil 4.23</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YSZ numunelerine ait XRD sonuçları .....	87
<b>Şekil 4.24</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YO numunelerine ait XRD sonuçları.....	88
<b>Şekil 4.25</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YO numunelerine ait XRD sonuçları .....	89
<b>Şekil 4.26</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YO numunelerine ait XRD sonuçları .....	90
<b>Şekil 4.27</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YN numunelerine ait XRD sonuçları.....	91
<b>Şekil 4.28</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YN numunelerine ait XRD sonuçları .....	92
<b>Şekil 4.29</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YN numunelerine ait XRD sonuçları .....	93
<b>Şekil 4.30</b> 1450 °C’ de sinterlenen YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri .....	99
<b>Şekil 4.31</b> 1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri...	100
<b>Şekil 4.32</b> 1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri...	101
<b>Şekil 4.33</b> 1450 °C’ de sinterlenen YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları .....	102
<b>Şekil 4.34</b> 1450 °C’ de sinterlenen A20YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları .....	103
<b>Şekil 4.35</b> 1450 °C’ de sinterlenen A30YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ....	104

<b>Şekil 4.36</b>	1450 °C’ de sinterlenen YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri .....	105
<b>Şekil 4.37</b>	1450 °C’ de sinterlenen A20YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ....	106
<b>Şekil 4.38</b>	1450 °C’ de sinterlenen A30YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ....	107
<b>Şekil 4.39</b>	4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A30YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları .....	108
<b>Şekil 4.40</b>	4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.....	109
<b>Şekil 4.41</b>	4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.....	110
<b>Şekil 4.42</b>	4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.....	111
<b>Şekil 4.43</b>	4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A20YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.....	112
<b>Şekil 4.44</b>	4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A30YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.....	113
<b>Şekil 4.45</b>	4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.....	114
<b>Şekil 4.46</b>	4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A20YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları .....	115
<b>Şekil 4.47</b>	4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A30YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.....	116

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 3.1</b> Nabaltec Alüminanın kimyasal bileşimi ve özellikleri. ....	30
<b>Çizelge 3.2</b> Deney numunelerine ait bilgiler. ....	32
<b>Çizelge 4.1</b> Sinterleme sonrası numunelerin monoklinik-tetragonal faz %' leri. ....	41
<b>Çizelge 4.2</b> 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	42
<b>Çizelge 4.3</b> 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	43
<b>Çizelge 4.4</b> 3. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	44
<b>Çizelge 4.5</b> Katkısız YSZ numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	45
<b>Çizelge 4.6</b> %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	46
<b>Çizelge 4.7</b> %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	47
<b>Çizelge 4.8</b> 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	48
<b>Çizelge 4.9</b> 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	49
<b>Çizelge 4.10</b> 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 3. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	50

<b>Çizelge 4.11</b> 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, Katkısız YSZ numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. .....	51
<b>Çizelge 4.12</b> 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.....	52
<b>Çizelge 4.13</b> 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.....	53
<b>Çizelge 4.14</b> 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	54
<b>Çizelge 4.15</b> 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	55
<b>Çizelge 4.16</b> 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 3. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	56
<b>Çizelge 4.17</b> 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, Katkısız YSZ numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. .....	57
<b>Çizelge 4.18</b> 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.....	58
<b>Çizelge 4.19</b> 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.....	59

<b>Çizelge 4.20</b> 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 1.Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.....	60
<b>Çizelge 4.21</b> 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.....	61
<b>Çizelge 4.22</b> 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 3.Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.....	62
<b>Çizelge 4.23</b> 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, Katkısız YSZ numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları. ....	63
<b>Çizelge 4.24</b> 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.....	64
<b>Çizelge 4.25</b> 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.....	65
<b>Çizelge 4.26</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	66
<b>Çizelge 4.27</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	67
<b>Çizelge 4.28</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	68
<b>Çizelge 4.29</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	69



<b>Çizelge 4.30</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	70
<b>Çizelge 4.31</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	71
<b>Çizelge 4.32</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	72
<b>Çizelge 4.33</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	73
<b>Çizelge 4.34</b> 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	74
<b>Çizelge 4.35</b> 1400 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	75
<b>Çizelge 4.36</b> 1450 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	76
<b>Çizelge 4.37</b> 1500 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	77
<b>Çizelge 4.38</b> 1400 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	79
<b>Çizelge 4.39</b> 1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	80
<b>Çizelge 4.40</b> 1500 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	81
<b>Çizelge 4.41</b> 1400 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	82
<b>Çizelge 4.42</b> 1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	83

<b>Çizelge 4.43</b> 1500 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	84
<b>Çizelge 4.44</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	85
<b>Çizelge 4.45</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	86
<b>Çizelge 4.46</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	87
<b>Çizelge 4.47</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	88
<b>Çizelge 4.48</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	89
<b>Çizelge 4.49</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	91
<b>Çizelge 4.50</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	92
<b>Çizelge 4.51</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	93
<b>Çizelge 4.52</b> 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri. ....	94
<b>Çizelge 4.53</b> Yaşlandırma işlemi uygulanmayan numunelere ait sinterleme sıcaklığına, yaşlandırma süresine, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçları. ....	95
<b>Çizelge 4.54</b> Yaşlandırma işlemi uygulanan numunelere ait sinterleme sıcaklığına, yaşlandırma süresine, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçları. ....	96

<b>Çizelge 4.55</b> 1450 °C’ de sinterlenen numunelere ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçları.....	97
<b>Çizelge 4.56</b> Numunelerin sinterleme sıcaklığına, yaşlandırma süresine, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen sertlik test sonuçları. ....	98

## 1.GİRİŞ

Zirkonya ile toklaştırılmış alümina seramikler yüksek mekanik dayanımları, iyi termal sok, aşınma ve oksidasyon dirençleri ve metallere göre düşük termal genleşme katsayılarına sahip olmaları nedeni ile oldukça fazla dikkat çekmektedirler. ( Stevens 1986). Bu özellikler zirkonya-alümina seramiklerini dental vida, kesici uçlar, elektro cerrahi yalıtkanları, oksijen sensörleri, kalça kemiği gibi protez bileşenleri, zırh gibi birçok zahmetli uygulamalar için uygun hale getirmektedir (Piconi and Maccauro 1999, Shin *et al.* 2003).

İnsanlık tarihine bakıldığında, bilimsel yaklaşım ve bilinçli değerlendirilme açısından seramik esaslı malzemelerin çeşitli amaçlara hizmet etmek üzere asırlardır kullanıldıkları görülmektedir. Seramik, modern dünyada yaşam kalitesini her geçen gün daha da arttırmak yönünde artık vazgeçilemez bir malzeme konumundadır. 1980'li yıllardan itibaren insan vücudunda kullanılabilme kapasitesi araştırılmaya ve uygulanmaya başlanan seramik esaslı malzemeler çok daha işlevsel olabileceklerini göstermişlerdir. Son yıllarda seramiğin sabit diş protezlerinde kullanımında büyük bir artış meydana gelmiştir. Özellikle metal destekli diş protezlerinde metalin yerine seramiğin tercih edilmesine ilgi hızla artmaktadır (Leinfelder 2000).

Alümina, diş porselenlerinde yapıyı kuvvetlendirici katkı maddesi olarak uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. 1993 yılında Andersson ve Ogen tarafından ilk kez tek başına seramik destek malzemesi olarak kullanılmıştır (Anderson 1993, Rimmer 2006).

Zirkonya dişçilikte, ortodonti uygulamalarında, post ve destek sistemlerinde ve implantlarda tercih edilmektedir. Bunların içinde kron ve köprü protezlerinde seramik destek olarak kullanımı en büyük dilimi oluşturmaktadır (Grigoriadou 2006).

Zirkonyanın özellikle üstün mekanik özelliklerinin ve mükemmel denilebilecek biyouyumluluğunun yanı sıra beyaz renge ve tatmin edici yarı geçirgenlik özelliklerine sahip olması sebebiyle metalin yerine kullanılması nihai ürünü estetik bakımdan daha çekici kılmaktadır. Zirkonya destekli ürünler üstün mekanik özellikleriyle dental

uygulamalar için en uygun malzemedir (Kaya 2008). Ayrıca zirkonya oluşan yüksek gerilim streslerine dayanabilen en uygun seramiktir. Zirkonya dişe benzer renkte olup aynı zamanda opaktır. Dolayısıyla dental restorasyonlarda en güvenilir şekilde kullanılmaktadır (Malkoç 2009).

Diş hekimliğinde zirkonya bazı avantajlara sahiptir. Bu avantajları sıralayacak olursak, bunlar;

- Tanelerinin boyu 0,4 µm ve homojen özellikteki ince taneli bu mikro yapı restorasyonlar için üstün mekanik kaliteyi sağlar,
- Korozyona dirençlidir,
- Yüksek gerilme direncine sahiptir,
- Biyoyumludur. Zirkonyanın biyoyumluluğu kalça çıkıklarında femur başı için kullanma sunulmasıyla kesinlik kazanmıştır,
- Zirkonya yüksek dirençli bir porselendir. Feldspatik porselene oranla yaklaşık altı kat daha güçlüdür,
- Endüstriyel şartlar altında yoğun biçimde sinterlenir. Bu işlemler finalde olması muhtemel kırık ve çatlakları minimuma indirir (Seyfioğlu vd 2008).

Saf zirkonya, üç adet polimorfa sahiptir: monoklinik (m), tetragonal (t) ve kübik (k). Bu üç polimorf neredeyse aynı kristal yapıya ve benzer kimyasal bileşimlere sahiptir.  $ZrO_2$  yapısında hangi polimorfun yer alacağı, sıcaklığa ve basınca bağlıdır. Atmosferik basınçta monoklinik faz, 1170 °C' ye kadar kararlıdır. Bu sıcaklıkta monoklinik faz, tetragonal faza dönüşür ve meydana gelen tetragonal faz, 2370 °C' ye kadar kararlıdır. 2370 °C' den zirkonyanın ergime sıcaklığı olan 2680 °C' ye kadar ise zirkonya kübik faz şeklindedir. Bu dönüşümler birbirine tersinir bir karaktere sahiptir. Üç faza ilave olarak, yüksek basınçlarda ortorombik (o) fazı da oluşmaktadır (Lee and Rainforth 1994, Denry and Kelly 2008).

Saf  $ZrO_2$ ' da 1170 °C' de meydana gelen monoklinik–tetragonal dönüşüm seramikte hacim değişmesine sebep olmaktadır. Soğuma sırasında tetragonal yapıdan monoklinik yapıya geçiş sonucu meydana gelen % 3-5 oranındaki hacim büyümesi, seramik içinde

iç gerilmelere ve çatlamalara neden olmaktadır. Bu özellik  $ZrO_2$ 'nin saf olarak fabrikasyonunu engellemektedir. Zirkonyum dioksitin ticari olarak üretilebilmesi için kararlı hale getirilmesi yani stabilizasyonu gerekmektedir. Stabilizasyonda, düşük sıcaklıklarda kübik-  $ZrO_2$  fazı kararlı hale getirilir. Bu durumu önlemek ve yapıyı oda sıcaklığında kübik yapıda kararlı kılmak amacıyla zirkonyaya CaO, MgO,  $Y_2O_3$  gibi toprak alkali ve nadir elementlerin oksitleri katılır. Zirkonya kafesi içerisine kübik yapıyı kararlı kılmak amacı ile  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  ve  $Y^{+3}$  iyonlarının girmesi, anyon boşluklarının oluşmasına neden olur. Kararlaştırıcı olarak ilave edilen oksitler (MgO, CaO,  $Y_2O_3$ ) tetragonal-  $ZrO_2$  çökeltilerinin mevcut olduğu kübik-  $ZrO_2$  yapısını stabilize ederler ve kararlaştırıcı oksitlerin ilavesiyle tetragonal- monoklinik faz dönüşümünün neden olduğu hacim artışı önemli oranda azaltılır (Ekinci 1900, Geçkinli 1992).

Bununla birlikte, bu malzemelerin düşük sıcaklıkta, nemli ortamlarda kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar  $ZrO_2$  tanelerinin yüzeyinde tetragonal → monoklinik dönüşümü meydana gelebildiğini bildirilmektedir ve bu olay hidrotermal dönüşüm olarak adlandırılır ki, bu da kompozitin mekanik özelliklerinin yavaş yavaş kötüleşmesine sebep olur (Piconi and Maccauro 1999).

Dental uygulamalarda 3 çeşit zirkonya içeren seramik sistemi mevcuttur. Bunlar, magnezyumla kısmen stabilize zirkonya (Mg-KSZ), yitrium tetragonal zirkonya polikristalleri (3Y-TZP) ve zirkonya ile güçlendirilmiş alümina (ZTA) şeklinde sınıflandırılırlar. Ayrıca bunlara ek olarak alümina ile güçlendirilmiş zirkonya (ATZ)'da uygulamalarda yer bulmaktadır (Tinschert *et al.* 2007).

Alümina matris içerisine gömülmüş zirkonya taneleri basma dayanımı, kırılma tokluğu ve yorulma direncini artırır. Zirkonya ile toklaştırılmış alümina seramiklerindeki toklaştırma mekanizması yarı kararlı tetragonal tanelerin ilerleyen bir çatlağın etrafında gerilim kaynaklı olarak kırılma işindeki yükselmeye sebep olarak monoklinik forma dönmesinden ileri gelmektedir (Hannink *et al.* 1983, 1989). Dönüşüm toklaşmasının bu olgusunda tetragonal zirkonya monoklinik forma dönüşürken % 3-5 oranında hacimsel genişleme ve yaklaşık % 7' lik bir kayma gerilimi gelişmesine neden olur (Geçkinli

1992). Ayrıca, ilerleyen bir çatlakın gerilim alanında yayılan mikroçatlaklar, mikroçatlak toklaştırması mekanizması ile kırılma enerjisini absorbe ederek malzemenin tokluğunu artırır.

Bu dönüşüm, gerilim konsantrasyonlarının olduğu bölgelerde, özellikle de yüzey veya kafes içerisindeki kusurların bulunduğu yerlerde gerçekleşme eğilimindedir ve çatlakın açılmasını etkili bir şekilde engelleyerek çatlakın daha fazla ilerlemesine direnci artırır. Bununla birlikte, çatlak ucunda gerçekleşen bu avantajlı özelliğinin yanında,  $t \rightarrow m$  dönüşümü aynı zamanda nemli ortamlarda hidrotermal yaşlanma ile de kendiliğinden gerçekleşebilir ( Borchers *et al.* 2010, Lughy *et al.* 2010).

Bu özellik yaygın olarak düşük sıcaklık degradasyonu (Low Temperature Degradation (LTD)) olarak isimlendirilir.

LTD ile  $t \rightarrow m$  dönüşümündeki enerji bariyeri, zirkonya kafesi içerisine suyun girişi ile alçalır (Yoshimura *et al.* 1987, Guo 2004).

Sonuç olarak,  $t \rightarrow m$  dönüşümü yüzeyden başlayarak hızlı bir şekilde malzemenin iç kısımlarına doğru yayılır (Chevalier *et al.* 2004).

Özellikle dental uygulamalar için kullanım göz önüne alınırsa, ağız içindeki sıcaklıklarda dönüşüm çok yavaş gerçekleşir fakat yapılan son çalışmalarda, uzun süreli kullanımlarda monoklinik fazın artışına bağlı olarak YSZ malzemelerin mekanik özelliklerinde kötüleşme meydana geldiği görülmüştür.

Yüksek miktarda monoklinik faz dayanım ve tokluk gibi mekanik özellikler bakımından dezavantajlıdır ve bu nedenle zirkonyanın uzun süreli klinik başarısını azaltabilir.

YSZ seramiklerin hidrotermal kararlılığını arttırmak için bir yöntem zirkonya içerisine alümina ilavesi ve bunun matris içerisinde homojen bir şekilde dağıtılmasıdır (Chevalier *et al.* 2004).

Bununla birlikte, bazı çalışmalar çok yüksek oranlarda kullanılan alüminanın, zirkonyanın uzun süreli kullanımında kararlılığını geliştirmek için daha avantajlı olduğunu göstermektedir ( Schneider *et al.* 2008, Kirsten *et al.* 2010, Oilo *et al.* 2011).

Bu bilgilerin ışığı altında bu tez çalışmasının amacı, monoklinik zirkonya tozunun iki farklı yittria (yitrium oksit ve yitrium nitrat) kaynağı kullanılarak stabilize edilmesi ve bu katkıların zirkonyanın stabilizasyonu üzerine etkilerinin incelenmesidir. Çalışmanın diğer bir amacı ise, üretilen bu zirkonya tozları ile hazırlanan farklı oranlarda alümina içeren ZTA (zirkonya ile toklaştırılmış alümina) kompozitlerinin farklı sürelerdeki hidrotermal yaşlandırma işlemleri neticesinde fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerin incelenmesidir.



## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Dental Seramikler

#### 2.1.1 Dental Seramiklerin Tarihçesi ve Gelişimi

Diş hekimliğinde, diş eksikliğinde ya da estetik ihtiyaçların karşılanmasında kullanılan sabit protezlerin ve dental seramik materyallerinin bugünkü düzeye ulaşması yüzyıllar sürmüştür. Seramikler, orijinini Yunanca’ da yanık madde anlamına gelen “keramos” sözcüğünden alırlar (Rosenblum and Schulman 1997).

Seramik kullanımı 10.000 yıl önceki taş devrine kadar uzanmaktadır. Mezopotamya ve Asur uygarlıklarında yapı malzemesi olarak kullanılan seramik, Anadolu uygarlıklarında dekorasyon işlemlerinde ve çinicilikte yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Çeşitli ev ve süs eşyalarının yapımında kullanılan ilk seramikler opak, oldukça zayıf ve poroz yapıda oldukları için diş hekimliğinde kullanılması pek uygun görülmemiştir. Daha sonralar diş hekimliğinde kullanılan porselen, seramiğin özel bir tipi olarak geliştirilmiştir. Bu tür porselenler, şeffaflık ve dayanıklılık açısından diş hekimliğinde kullanılmaya uygun bir malzeme olarak kabul edilmiştir (Nayır 1999).

‘Porselen’, İtalyanca küçük deniz kabuğu anlamına gelen ‘porcellana’ kelimesinden türetilmiştir. Porselen; tümü killi topraktan yapılmış veya kil ihtiva eden ham maddelerden üretilmiş ürünlerin oluşturduğu seramik grubunun bir elemandır. Seramik grubunun ilk ve en ilkel ürünü; balçık tuğla veya kerpiç tuğladır. Bunlar basit, kaba seramiklerdir. Daha sonra ise üretim aşamalar sıralamasına göre sırasıyla toprak çanak çömlekler, majorka çinisi (elvan çini), fayans, taş eşya, taştan oyma kap, seramik ve porselen gelmektedir. ‘Dental seramikler’ ifadesi daha geniş bir materyal grubunun tanımlanmasında kullanılırken, ‘dental porselenler’ deyimini alt gruplardan birini ifade etmektedir. Bu deyim geleneksel olarak, içinde farklı kristal partiküllerinin serpiştirildiği cam matriks içeren, dayanıklı ve camsı seramik materyaller için kullanılmaktadır. Camsı yapı, düzensiz bağlar içeren, zayıf, amorf ve tamamen

transparandır. Kristalin yapı ise daha düzenli bir atomik diziliş sağıdır ve daha dayanıklıdır ( Van Dijken 1999).

Dental seramiklerin tarihsel gelişimi incelendiğinde, Dr. Charles Henry Land' in 1886' da feldspatik porselen ile kuronları üretmesiyle başlayan dental seramik teknolojisi, zaman içinde büyük gelişmeler göstermiştir. Özellikle 1960' larda daha dayanıklı porselenlerin üretilmesi ve fırınlama tekniklerinin geliştirilmesi ile porselen restorasyonların anterior bölgede kullanımında kabul edilebilir başarı sağlanmıştır. 20. yy' ın başında dayanıklılığı arttırmak için kullanılan metal alt yapıların estetik ve biyolojik uyumluluk problemleri nedeniyle metal altyapının yerine geçecek alternatif materyal ve sistemler üzerine çalışılmış, estetik beklentilerin artması ile birlikte tam seramik sistemler geliştirilmiştir ve böylece seramiklerin basit inleylerle başlayan endikasyon çerçeveleri günümüzde tam seramik posterior köprülere kadar ulaşmıştır (Guazzato *et al.* 2002, Touati *et al.* 1998).

### **2.1.2 Dental Seramiklerin Özellikleri**

Dental seramikler, metaller ya da akrilik rezinler gibi diğer materyallerden farklı kimyasal, mekanik, fiziksel ve ısısal özelliklere sahiptirler. Seramikler, plastiklere kıyasla korozyona daha dirençlidirler. Genellikle sıvılar, gazlar, alkaliler ve asitlerle reaksiyon yapmazlar. Uzun süre boyunca stabil halde kalabilirler. Bükülme ve kırılma dayanıklılıkları iyidir. Seramikler güçlü ve ısıya dirençli yapılar olmalarına rağmen kırılğan materyallerdir, aşırı esnetildiğinde ya da hızla ısıtılıp soğutulduğunda kolayca kırılabilirler (Craig and Powers 2002, Anusavice 2003).

### **2.2 Alümina**

Günümüzde alümina kimyasalları dünyanın birçok bilimsel, teknolojik ve endüstriyel uygulamalarında araştırılmakta ve kullanımı günden güne artmaktadır. Alümina, kristalografik olarak oksijen iyonlarının alüminyum iyonları tarafından sıkı hegzogonal olarak sarılması ile ifade edilebilir. Dış görünüş olarak beyaz bir tozdur (Ekinci 2007).

Alüminanın belli başlı özellikleri şu şekilde sıralanabilir (Lee 1994);

- Kolay hammadde üretimi,
- Yüksek basma mukavemeti,
- Yüksek sertlik,
- Abrasiv aşınmaya direnç,
- Çok geniş bir aralıktaki kimyasallar ile etkileşime karşı direnç,
- Biyouyumluluk,
- Termal şoka direnç,
- Yüksek derecede refrakterlik,
- Yüksek dielektrik mukavemeti,
- Yüksek sıcaklıklarda yüksek elektrik direnci,
- Mikrodalga radyo frekanslarını geçirgenliği.

İleri teknoloji seramikleri içinde en çok kullanılan hammadde alüminadır. Mukavemet ve ergime sıcaklığının yüksek, elektrik iletkenliğinin düşük oluşu, alüminanın; refrakterlerde, elektrik yalıtkanlarında, kesici uçlarda, ısı motorlarında, aşınmaya maruz parçalarda ve kompozit malzemelerde çok geniş kullanım alanı bulmasını sağlar. Alümina özellikle yüksek aşınma direnci, düşük yoğunluğu ve yüksek sıcaklık dayanımı ile geniş kullanım alanına sahiptir (Mimaroglu ve Okumuş 1995).

### **2.2.1 Alüminanın Kullanım Alanları**

Alüminanın yüksek sertliği ve mekanik dayanımı çalışma esnasında aşınmaya maruz kalan makine elemanları ve mühendislik malzemeleri şeklinde olan kullanımını ön plana çıkartmıştır. Alümina başlıca; makine ve tezgahlarda aşınmaya dayanıklı malzeme olarak, kimya endüstrisinde korozyona dayanıklı malzeme olarak, elektronik ve elektroteknikte izolasyon malzemesi olarak, ısıtma sistemlerinde yüksek sıcaklık malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca optik ve tıp tekniklerinde özel amaçlı kullanım alanları mevcuttur (Kaya 2006).

Değişik modifikasyonlarda alüminalar olmasına rağmen, ticari kullanım alanına sahip olanı  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ' tür. Alümina seramiklerin özelliği içerdikleri alümina miktarının artmasıyla iyileşir. En arzu edilen kullanım %90 ve daha çok alümina içeriğidir (Emrulloğlu 2002).

Alüminanın ilk ticari kullanım alanı, buji ve laboratuvar malzemeleridir. Üretimindeki imkânların gelişmesi ve araştırmalardan oluşan bilgi birikimi sonucu günümüzde alüminanın kullanım alanı önemli miktarda artmıştır. Bugün alümina özellikle yüksek sıcaklık fırınlarında geniş çapta kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, kesici takım, yatak malzemesi, tekstil endüstrisinde iplik klavuzu olarak ayrıca, elektronik endüstrisinde, zırh yapımında, tıpta implant ve protezlerde kullanılmaktadır (Erkalfa vd. 1994).

Alüminanın, yıllık üretimi ~45 milyon ton civarında olup, bunun %90' ı alüminyum metalinin üretiminde kullanılmaktadır. Geri kalan %10' luk alüminanın ise %50' si refrakter, %20' si abrasivler, %15' i beyaz eşya ve buji, %10' u mühendislik seramikleri ile çeşitli kimyasallar için kullanılmaktadır.

Ticari olarak üretilen alüminanın çoğu alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile elde edilir. Alüminyum hidroksitin de neredeyse tamamı Bayer Prosesi ile elde edilmektedir (Lee 1994).

### **2.1.2 Alüminanın Yapısı ve Minerolojik Özellikleri**

Doğal alümina, korundum halinde fakat feldspat ve killerde olduğu gibi genellikle silikatlarla birlikte bulunur. Alümina aynı zamanda, boksit, diaspor, kriyolit, sillimanit, kyanit, nefelit ve diğer birçok mineralin bileşiminde yer almaktadır. Saf alümina, düşük sıcaklıkta birkaç formda bulunur. Fakat bütün bu formlar zaman, kristal boyutu ve atmosfere bağlı olarak, 750–1200 °C arasında  $\alpha$ -alüminaya dönüşür. 1600 °C' nin üzerinde yapılan ısıtma bu dönüşümü hızlandırır (Ekinci 2007).

### 2.1.3 Alüminanın Mekanik Özellikleri

Alfa-alümina, geleneksel porselen ve diğer tek oksitli seramik malzemelere (BeO, CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> v.b) göre gerek tek kristalli gerekse sinterlenmiş polikristal halde daha üstün mekanik özelliklere sahiptir. Alüminanın öğütme için bilinmesi gereken en önemli özelliği sertliğidir. Alüminanın tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri bu özelliğidir (Palacı 2001).

Yüksek elastisite modülüne ( $\approx 400$  GPa) ve sertliğe sahip olan alümina, kırılğan olduğundan zirkonya katkısı ile tokluğu artırılmaktadır (Geçkinli 1992).

### 2.3 Zirkonya (ZrO<sub>2</sub>)

Zirkonya doğada saf halde bulunmaz. Silikat oksit ile birlikte ya da serbest oksit ile birlikte bulunur. Zirkonya, yer kabuğunda % 0.028 oranında bulunup yer kabuğundaki elementler arasında 11' inci sırayı işgal eder ve Cu, Ni, Pb ve Zn gibi metallere daha bol miktarda bulunur (Geçkinli 1992).

Zirkonya en az 37 değişik mineral içinde bulunmasına rağmen ticari önemi olan mineralleri şunlardır (MMAK 2001);

- Baddeleyit (ZrO<sub>2</sub>): % 90-93 arasında ZrO<sub>2</sub> içeren bir zirkonyum mineralidir.
- Zirkon (ZrSiO<sub>4</sub>): Teorik olarak % 67,2 ZrO<sub>2</sub> ve % 32,8 SiO<sub>2</sub> içeren bir orto silikattır, en çok bulunan mineraldir.
- Eudialyte ((Na Ca)<sub>6</sub> ZrOH(Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>)<sub>2</sub>).

Zirkonya, günümüz ileri teknolojisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunları başlıca şu şekilde sıralayabiliriz;

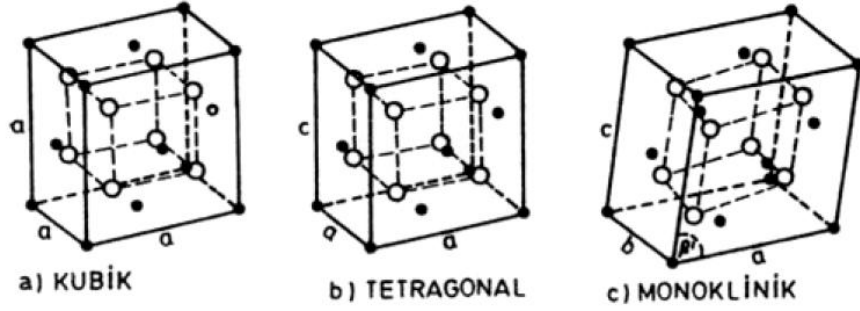
- Refrakter malzeme olarak,
- Isıtıcı eleman olarak,

- İzolasyon malzemesi olarak,
- Abrasiv kesici aletlerin üretiminde,
- Ekstrüzyon kalıplarında ve aşınmaya dayanıklı makine parçalarında,
- Oksitlenmeye karşı ve termal bariyer amaçlı yapılan seramik kaplamalarda,
- Seramik filtre üretiminde,
- Yakıt hücrelerinde,
- Piezoelektrik, elektrooptik devrelerde ve kapasitörlerde,
- Katı elektrolit ve oksijen sensör imalinde,
- Dizel ve ısı motorlarında (Geçkinli 1992).

### 2.3.1 Zirkonyanın Kristal Yapısı ve Faz Dönüşümleri

Zirkonya allotropik özellik gösteren bir seramiktir yani sıcaklık değişimi sonucu kristal kafes parametreleri değişime uğrar. Zirkonyanın üç farklı kristal yapısı vardır bunlar; Monoklinik, Tetragonal ve Kübik yapılarıdır. Monoklinik yapı 1170 °C' nin altındaki tüm sıcaklıklarda kararlıdır. Tetragonal yapı 1170 – 2370 °C sıcaklıkları arasında kararlıdır. Tetragonal-ZrO<sub>2</sub> basit olarak, distorse olmuş CaF<sub>2</sub> yapısı şeklinde tanımlanır. Kübik yapı, 2370 °C' den ergime noktası 2680 °C' ye kadar kararlı olan bir fazdır. Bu faz, her bir Zr<sup>+2</sup>, ye eşit uzaklıktaki sekiz oksijen ile koordine olan florit tipi bir kristal yapıya sahiptir ve buradaki her oksijen dört zirkonyumla tetrahedral olarak koordine olur (Şekil 2.1).

Monoklinik yapıdan, tetragonal yapıya geçiş % 3-5 mertebesinde hacim değişikliği içerdiğinden teknolojik uygulamalarda sorun olmaktadır. Bu faz dönüşümü sonucu seramik malzeme genellikle parçalanmaktadır. Bu durumu önlemek ve yapıyı oda sıcaklığında kübik yapıda kararlı kılmak amacıyla zirkonyaya CaO, MgO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi toprak alkali ve nadir elementlerin oksitleri katılır. Zirkonya kafesi içerisine kübik yapıyı kararlı kılmak amacı ile Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> ve Y<sup>+3</sup> iyonlarının girmesi, anyon boşluklarının oluşmasına neden olur. Bu ise 1000 °C civarında oksijen iyonu iletkenliği ile sonuçlanır. Bunun anlamı kübik yapıda kararlı hale getirilmiş Zirkonyanın, “katı elektrot” olarak kullanılabilmesidir (Geçkinli 1992).



Şekil 2.1 ZrO<sub>2</sub>'nin değişik fazlardaki şematik gösterilişleri.

- a) Kübik-ZrO<sub>2</sub> fazının kristal yapısının şematik gösterilişi,
- b) Tetragonal-ZrO<sub>2</sub> fazının kristal yapısının şematik gösterilişi,
- c) Monoklinik-ZrO<sub>2</sub> fazının kristal yapısının şematik gösterilişi.

Zirkonyanın tetragonal faz yapısından monoklinik faz yapısına dönüşümü oldukça hızlı olmaktadır. Bu hızlı dönüşüm ile malzeme yapısında oldukça büyük çatlaklar meydana getirebilecek nitelikte hacim artışı da meydana gelmektedir. Zirkonyanın bu davranışı; zirkonyanın üretiminde soğuma kademesinde mekanik özelliklerinin oldukça düşmesine neden olmaktadır ve bu durum neticesinde saf zirkonya herhangi yapısal ve mekanik uygulamalarda işlevsiz hale gelmektedir. MgO, CaO ve Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi zirkonyanın kristalin yapısında çözünebilir oksitlerin ilavesi, zirkonyanın mekanik özellikleri üstünde olumsuz etkiye sahip kristal yapı değişimini yavaşlatabilir veya elimine edebilir. Zirkonyaya MgO, CaO ve Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi oksitli bileşenlerin yeterli miktarlarında ilavesi ile ancak yüksek sıcaklıklarda gözlemlenen kübik ve tetragonal kristal yapısı aynen oda sıcaklığında da elde edilebilmektedir. Kübik zirkonya; ısıtma ve soğutma esnasında yıkıcı faz dönüşümüne maruz kalmadığı için, ideal refrakter malzemesi olarak kullanılmaktadır. Zirkonya; tetragonal faz yapısından monoklinik faz yapısına dönüşümünde kontrollü yüke maruz bırakılarak hacimsel genişlemenin sağlanmasıyla zirkonyanın sertlik ve mukavemetinde artış elde edilebilmektedir (Liu and Yan 2006). Monoklinik–tetragonal faz dönüşümü; ilk olarak, yüksek sıcaklık XRD'si kullanarak 1929 yılında Ruff ve Ebert tarafından keşfedilmiştir. Bu tarihten sonra ve özellikle son 35 yıl zarfında, bu önemli dönüşümün teorisini anlamak ve faz değişimiyle birlikte meydana gelen hacim değişikliğinin pratik önemi yüzünden bu konu üzerinde birçok

teknik kullanarak (DTA, X-ışını ve elektron kırınımı, optik ve elektron mikroskobu, elektriksel direnç, spektroskop gibi) yoğun bir şekilde çalışılmıştır.  $ZrO_2$ 'de tetragonal monoklinik faz dönüşümü, difüzyonsuz martensitik dönüşüm olarak tanımlanır. Bu da ilk olarak Wolten tarafından saptanmıştır. Atomik hareketler, atomlar arası mesafeden daha azdır ve bir kayma işlemiyle çok sayıdaki atomun beraber hareket etmesiyle meydana gelir (Heuer *et al.* 1984).

Bu gibi bir dönüşüm, fazın kimyasal bileşiminde herhangi bir değişikliğe yol açmaz ve ayrıca başlangıç fazındaki belirli kristalografik düzlem ve yönler dönüşümle oluşan fazda mevcuttur. Böylece bu dönüşüm, sabit düzlemlerle ve yönleriyle tanımlanabilir (Khachaturyan 1983). Garvie bu dönüşümün  $1174 \text{ }^\circ\text{C} \pm 6 \text{ }^\circ\text{C}$ 'da gerçekleştiğini ve tane boyutuna bağlı olarak, ince taneli zirkonyanın iri taneliye göre daha düşük sıcaklıkta dönüşüme uğradığını bildirmektedir (Garvie 1986).

Soğutma sırasında tetragonal fazdan monoklinik faza dönüşüm %3-5 lik bir hacim artışı ile gerçekleşmektedir. Bu olayın seramik malzemenin mekanik özelliklerini geliştirmede kullanılabileceğini ilk kez Garvie ve arkadaşları önermişler (Garvie *et al.* 1975). Bu da mühendislik seramikleri alanında bir devrim olarak nitelendirilmiştir.

Tetragonal- $ZrO_2$  partikül boyutu ve partiküllerin sıkıştırıldığı matris en önemli faktörlerdir.  $ZrO_2$ 'de kritik bir tetragonal- $ZrO_2$  partikül boyutu belirlenmiştir. Partikül boyutu bu kritik değeri geçtiği zaman, sürekli olarak veya bir gerilme uygulanmasıyla tetragonal-monoklinik dönüşümü meydana gelecektir. Tetragonal- $ZrO_2$ , tek bir partikül veya kristal olarak serbest halde olabileceği gibi; çökelti disperse fazı olarak bir matris içerisinde sıkıştırılmış halde de olabilir (Muddle and Hannink 1986).

### **2.3.1.1 Monoklinik $ZrO_2$**

Saf zirkonya oda sıcaklığı ve atmosferik basınçta monoklinik kristal yapı sergiler (Kelly and Denry 2008). Monoklinik  $ZrO_2$   $1170 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklara kadar termodinamik olarak kararlıdır. Birim hücre, çarpılmış kübik hücre olarak

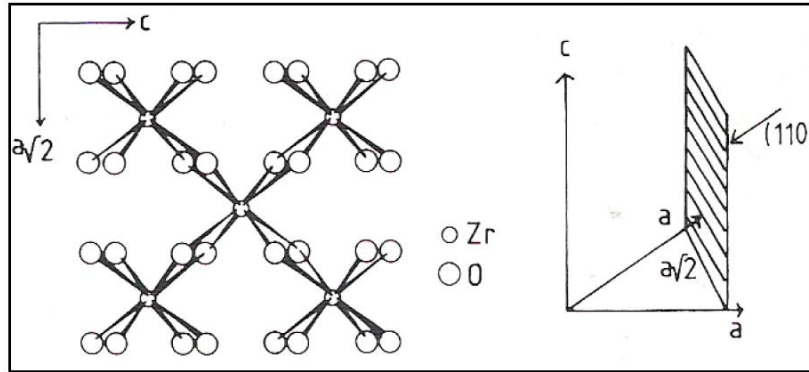


tanımlanabilirken, yapı kübik ve tetragonal fazlara göre daha komplekstir (Hoosain 2010).

Zirkonyanın doğal formu baddeleyit yaklaşık % 2 HfO<sub>2</sub> içerir fakat yapısı ve kimyasal özellikleri zirkonya ile o kadar benzerdir ki çok küçük bir etkisi vardır. Zr<sup>4+</sup> iyonu oksijen iyonları ile 7' li koordinasyona sahiptir O<sub>11</sub> koordinasyonu ile neredeyse tetrahedraldir, yapıdaki bir açı tetrahedral değerden belirgin bir şekilde farklıdır.

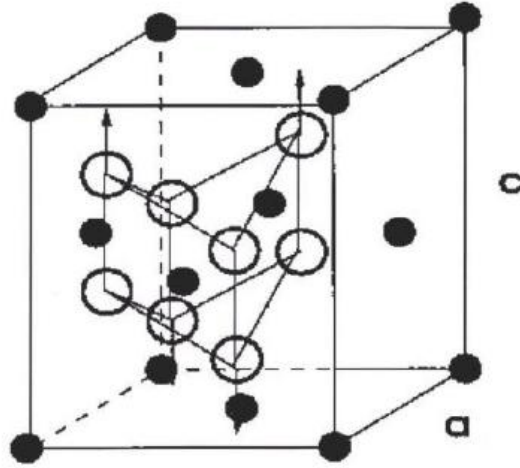
### 2.3.1.2 Tetragonal ZrO<sub>2</sub>

Tetragonal yapısında Zr<sup>4+</sup> iyonu sekizli koordinasyona sahiptir, tekrar oksijen iyonlarının dört tanesinin düzleşmiş bir tetrahedron şeklinde 2.065 °A mesafede ve 90° döndürülmüş uzamış tetrahedron şeklinde 2.455 °A mesafede bir distorsiyonu bulunur (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 (110) t-ZrO<sub>2</sub> kristal yapısında ZrO<sub>2</sub> gruplarının bir tabakası (Stevens 1986).

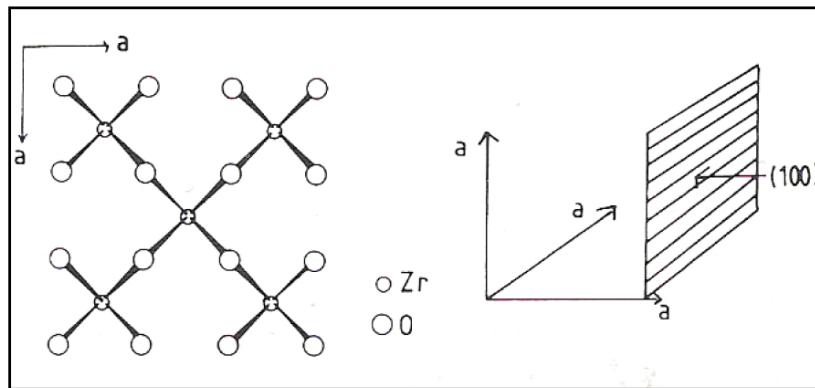
Kolaylık açısından tetragonal yapının kafes sabitleri yüzey merkezli CaF<sub>2</sub> yapısı ile ilişki kurmak için sık sık hacim merkezli kafesten daha çok yüzey merkezli tetragonal simetri şeklinde tarif edilir ( Şekil 2.3).



**Şekil 2.3** Tetragonal zirkonyanın birim hücresi. Siyah küreler Zr atomlarını, daha büyük beyaz küreler ise O atomlarını simgelemektedir (Hoosain 2010).

### 2.3.1.3 Kübik ZrO<sub>2</sub>

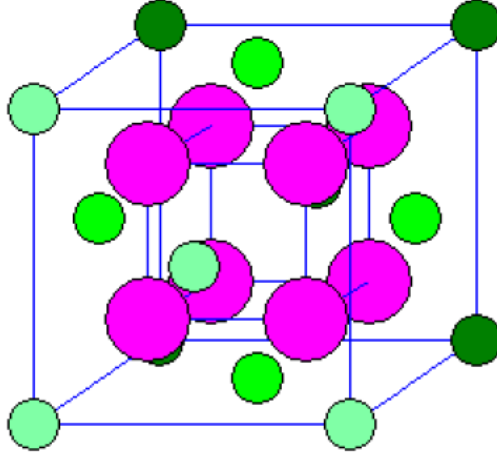
Yüksek sıcaklık kübik faz, her bir Zr<sup>4+</sup> iyonunun iki eşit tetrahedra ile sıralanmış oksijen iyonları ile sekizli simetriye sahip olduğu yüzey merkezli CaF<sub>2</sub> yapısındadır (Şekil 2.4, Şekil 2.5).



**Şekil 2.4** Kübik zirkonya yapısında ZrO<sub>8</sub> gruplarının bir katmanı (Stevens 1986).

Kübik zirkonya endüstriyel olarak etkileyici bir malzemedir. Yüksek sıcaklık iyonik iletkenliği nedeniyle, otomotiv sensörlerinde ve katı elektrolit yakıt hücrelerinde

kullanılmaktadır. Ayrıca, kübik zirkonya doğal elmasın yerine mücevher uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Tikhonovsky 2001).



**Şekil 2.5** Kübik zirkonya yapısı. Yeşil küreler Zr, eflatun küreler O atomlarını simgelemektedir (Hoosain 2010).

#### **2.3.1.4 Monoklinik - Tetragonal Faz Dönüşümü**

Zirkonyada tetragonal  $\rightarrow$  monoklinik faz dönüşümü, difüzyonsuz martensitik dönüşüm olarak tanımlanır. Bu da ilk olarak Wolten tarafından saptanmıştır. Atomik hareketler, atomlar arası mesafeden daha azdır ve bir kayma işlemiyle çok sayıdaki atomun beraber hareket etmesiyle meydana gelir (Heuer *et al.* 1984).

Garvie, saf, zorlanmamış tek kristaller kullanarak yaptığı çalışmanın temelinde zirkonyada monoklinik  $\rightarrow$  tetragonal dönüşümün termodinamik olarak geri dönüşümlü olduğu ve  $T_t=1174 \pm 6$  °C gibi farklı bir sıcaklık ile karakterize edilen bir prensibe göre olduğu sonucuna varmıştır (Garvie and Goss 1986).

1174 °C  $\pm$  6 °C' de gerçekleştiği ve tane boyutuna bağlı olarak, ince taneli zirkonyanın iri taneliye göre daha düşük sıcaklıkta dönüşüme uğradığı bildirilen bu dönüşüm, kimyasal bileşiminde herhangi bir değişikliğe yol açmaz. Soğutma sırasında tetragonal fazdan monoklinik faza dönüşüm % 3-5' lik bir hacim artışı ile gerçekleşmektedir. Saf

zirkonyada, hacimsel değişim çatlamlara ve monolitik zirkonyanın parçalanmasına neden olur, çünkü malzemenin elastik sınırı ve akma dayanımı aşılır. Yitrium oksit, kalsiyum oksit veya magnezyum oksit, malzemedeki yüksek mukavemet ile sonuçlanan  $t \rightarrow m$  dönüşümünün gecikmesine neden olur. Çatlak ilerlemesi esnasında teğetsel gerilim yaklaşık % 5' lik bir hacim artışıyla birlikte  $t \rightarrow m$ ' den yerel faz dönüşümüne neden olmaktadır. Bu basınç çatlak ilerlemesinin yerel olarak durdurulmasına yardımcı olmaktadır. Bahsi geçen proses dönüşüm toklaşması olarak adlandırılır ve çatlak ilerlemesine karşı direnç, çatlağın uzunluğu ile artar (Rosentritt 2008).

### **2.3.1.5 Tetragonal - Kübik Faz Dönüşümü**

Tetragonal  $\rightarrow$  kübik faz dönüşümü, 2370 °C civarında tetragonaldan kübik forma dönüşümdür ve Smith ve Clin tarafından belirlenmiştir (Mccmeeking and Evans 1980). Bu dönüşüm difüzyonsuz veya martensitik bir dönüşümdür. Bu formun kristal yapısı,  $\text{CaF}_2$  ile eş yapısal olup, diğer birçok oksitlere ( $\text{HfO}_2$ ,  $\text{ThO}_2$ ...) benzerlik göstermektedir. Bu benzerlik, katı çözünürlüğün olmayışı ve yüksek buhar basınçlarından dolayıdır (Tekeli and Davies 2001).

### **2.3.2 Zirkonyada Dönüşüm Toklaşması**

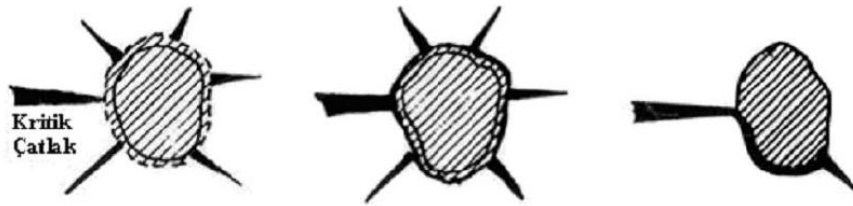
Zirkonyanın tetragonal-monoklinik faz dönüşümü sırasında görülen % 3–5' lik hacim artışının malzemenin dayanım ve tokluğunu arttırdığı ilk kez Garvie ve arkadaşları tarafından “seramik çelik” adıyla yayınlandığında büyük yankı uyandırmıştır. Bundan sonra olayın teorisini ve mekanizmasını belirlemek için pek çok çalışma yapılmıştır. Dönüşüm toklaşması ile mekanik özelliklerin geliştirilmesi iki mekanizma ile açıklanmaktadır. Bunlar;

- a) Mikro çatlak oluşumu ve
- b) Gerilim güdümlü dönüşüm toklaşması mekanizmalarıdır.

### 2.3.2.1 Mikro Çatlak Oluşumu Yoluyla Dönüşüm Toklaşması

Malzeme içinde ilerleyen bir çatlağın ucunda bulunan mikro çatlaklar çatlağın enerjisini soğurarak ve yayarak malzemenin tokluğunu arttırlar. Seramik malzemelerin tokluğunu arttırmak için mikro çatlaklar oluşturmanın bir yolu belli bir tane büyüklüğünün altındaki zirkonyanın bu malzemelere katılmasıdır. Seramik bir ana faz içerisinde (kübik zirkonya gibi) dağılmış halde bulunan zirkonya taneleri dönüşüm sıcaklığının altına soğutulduğunda % 3–5' lik bir hacim artışına uğrarlar. Dönüşüme uğrayan parçacıkların etrafında oluşan teğetsel gerilimler Şekil 2.6' da görüldüğü gibi zirkonya taneleri çevresinde mikro çatlakların oluşumuna neden olur. Oluşan bu mikroçatlaklar ilerleyen bir çatlağın enerjisini soğurarak ve yayarak çatlağın yön değiştirmesine veya dallanmasına ve böylece seramik malzemenin tokluğunun artmasına neden olur.

Bu olayın gerçekleşmesi için zirkonyanın tane boyutunun belli bir değerde olması gerekmektedir. Bu değerinin altında ise dönüşüm olmayacak, üstünde ise ani dönüşüme uğrayacaktır. Zirkonyanın kritik tane büyüklüğü, ana fazın bileşimi, zirkonyanın bileşimi (kübik fazı kararlı hale getiren oksitler) gibi parametreler ile yakından ilgilidir. Ayrıca, maksimum tokluk elde etmek için zirkonyanın optimum bir miktarda olması da gerekmektedir.

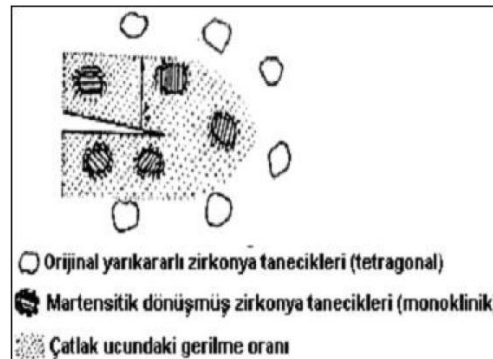


**Şekil 2.6** Tetragonal-Monoklinik faz dönüşümü sırasında mikro çatlak oluşumu ve ilerleyen bir çatlağın dallanması veya yön değiştirmesi.

### 2.3.2.2 Gerilim GÜdümlü Dönüşüm Toklaşması

Zirkonya sinterleme sıcaklığından oda sıcaklığına soğurken 1170 °C civarında tetragonal - monoklinik faz dönüşümünün olması gerekmektedir. Eğer zirkonya taneleri çok küçükse ( $< 0,5\mu\text{m}$ ) veya taneler üzerinde ana fazdan gelen sınırlayıcı bir baskı mevcut ise zirkonya taneleri dönüşüme uğramadan yarı kararlı tetragonal fazda kalırlar. Bu yarı kararlı zirkonya tanelerinin monoklinik faza dönüşümü gerilim güdümlü dönüşüm olarak kabul edilmektedir. Eğer gerilim altında bir çatlak oluşturulursa, çatlak etrafında ve özellikle ucunda bir gerilim alanı oluşur. Bu gerilimler yarı kararlı tetragonal zirkonya taneleri üzerinde ana faz tarafından uygulanan sınırlayıcı etkiyi kaldırır ve yeterince büyük bir değere ulaşırlarsa zirkonya tanesi üzerinde net bir çekme gerilimi oluşturarak monoklinik yapıya dönüşümü sağlarlar. Bu sırada görülen hacimce genleşme, ana basma gerilimi ile birlikte martensitik reaksiyona neden olur (Şekil 2.7). Bu olay çatlak içerisinde meydana geldiğinden, çatlağın seramik malzeme içerisinde ilerlemesini sağlamak için ilave enerji gerekmektedir, bu da malzemenin tokluğunun ve dayanımının artmasına neden olmaktadır.

Tetragonal zirkonyanın gerilim güdümlü dönüşümü için de tane büyüklüğünün belli bir kritik değerde olması gerekmektedir. Bu kritik büyüklüğünün altında ise dönüşüm olmayacak, üstünde ise hemen dönüşüme uğrayacaktır. Bu, zirkonyanın kritik tane büyüklüğü, matrisin uyguladığı baskı, zirkonyanın bileşimi (kübik fazı kararlı hale getiren oksitler gibi) ile yakından ilgilidir (Yılmaz 2000).



Şekil 2.7 Tetragonal-Monoklinik ZrO<sub>2</sub> martensitik dönüşümünün şematize edilmiş durumu.

### 2.3.3 Zirkonyanın Stabilizasyonu

Saf  $ZrO_2$ ' de  $1170\text{ }^\circ\text{C}$ ' de meydana gelen monoklinik - tetragonal dönüşüm seramikte hacim değişmesine sebep olmaktadır. Soğuma sırasında tetragonal yapıdan monoklinik yapıya geçiş sonucu meydana gelen % 3-5 oranındaki hacim büyümesi, seramik içinde iç gerilmelere ve çatlamalara neden olmaktadır. Bu özellik  $ZrO_2$ ' nin saf olarak kullanımını engellemektedir. Zirkonyum dioksitin ticari olarak üretilebilmesi için kararlı hale getirilmesi gerekmektedir. Dengelemede, düşük sıcaklıklarda c-  $ZrO_2$  fazı kararlı hale getirilir. Kararlaştırıcı olarak ilave edilen oksitler ( $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Y_2O_3$  ) t-  $ZrO_2$  çökeltilerinin mevcut olduğu c-  $ZrO_2$  yapısını kararlı yaparlar ve kararlaştırıcı oksitlerin ilavesiyle tetragonal-monoklinik faz dönüşümünün neden olduğu hacim artışı önemli oranda azaltılır (Piconi and Maccauro 1999).

$ZrO_2$ ' nin kararlı hale getirilmesinde sadece nadir toprak ve toprak alkali elementlerin oksitleri kullanılabilir. Çünkü ilave oksitlerin  $ZrO_2$  ile katı çözelti oluşturması ve uygun bir atomik yarıçap değerine sahip olması gerekir ve bütün nadir toprak elementlerinin oksitleri  $ZrO_2$  ile katı çözelti oluştururlar.  $Zr^{4+}$  iyonu ile 8' li bir koordinasyona sahip olan, iyonik yarıçapları  $Zr^{4+}$  iyonunkinden % 40 kadar küçük veya büyük olan iyonlar,  $ZrO_2$ ' yi stabilize etmektedir (Hertlein *et al.* 2003).

Kübik zirkonya fazını kararlı hale getirmek için kullanılan oksitler,  $ZrO_2$ ' daki faz dönüşüm sıcaklıklarında düşürücü bir etkiye neden olurlar. Şekil 2.15' de örnek bir  $ZrO_2$ -stabilleştirici oksit faz diyagramı verilmiştir. Kararlaştırıcı oksit ilave edildikçe, t-  $ZrO_2$  ve m- $ZrO_2$  fazları için katı çözelti bölgeleri oluşur ve ötektoid sıcaklık düşer. Kararlaştırıcı oksit miktarı daha fazla arttırıldığında ise, kübik zirkonya katı çözelti fazı oluşur ve bu faz oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda dahi kararlıdır (Boyacıoğlu 2007).

#### 2.3.3.1 Tamamen Stabilize Zirkonya (TSZ)

Tamamen stabilize zirkonyalar, ön alaşımlı tozların veya toz karışımların homojen kübik bölgesinde sinterlenme süresince homojenleştirilip soğutulmasıyla üretilir. Ayrıca

TSZ tipi malzemeler, zirkonyaya toprak alkali oksitlerin ilave edilmesiyle de üretilir. TSZ malzemelerin mikroyapısı iri kübik zirkonyadan meydana gelir. Sinterleme sıcaklığı, kübik faz alanında olduğu için oldukça yüksektir. 10-150 µm arasında iri taneler 1600-1800 °C' deki yüksek sıcaklıklarda oluşur. Kübik yapılı ZrO<sub>2</sub> seramikler; ergimiş metallere PO<sub>2</sub> ölçümünde ve katalitik konverterlerde oksijen iyon iletkeni olarak kullanılmaktadır. Tamamen stabilize zirkonya seramikler darbelere karşı çok hassastırlar ve ayrıca dayanıklılığı ile ısı değişim dayanımı zayıftır (Boyacıoğlu 2007).

### **2.3.3.2 Parsiyel ( Kısmen) Stabilize Zirkonya (PSZ)**

Kısmen stabilize zirkonya mikroyapıları özel bir sinterlenme programı gerektirmektedir. Öncelikle, seramik homojen kübik bölgesinde yüksek bir sıcaklıkta (>1700 °C) sinterlenir ve daha sonra hızlı bir şekilde soğutulur. Ötektoid üstü sıcaklıklarda kübik-tetragonal ikili faz bölgesinde kontrollü bir yaşlandırma ısı işlemi uygulanır. Stabilleştirici oksitler, monoklinik-tetragonal ve tetragonal-kübik geçiş sıcaklıklarının düşmesine neden olurlar. PSZ' nin üretilmesi için; stabilleştirici oksitin, tamamen stabil hale getirmek için gerek duyulan miktardan daha az bir konsantrasyona sahip olması ve uygun bir sıcaklık ve zaman koşulunda kübik zirkonyanın yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulmasını gerektirmektedir. Kısmen stabil hale getirilmiş zirkonya seramiğinin korozyon, ısı değişim, dayanıklılık ve aşınma dirençleri yüksek olmasına rağmen ısı genişleme ve ısı iletkenlik özelliği düşüktür. Ayrıca elektrik iletkenliği de zayıftır.

Kararlaştırıcı oksitler, monoklinik-tetragonal ve tetragonal-kübik dönüşüm sıcaklıklarını düşürmekle beraber iki fazlı bir malzemenin lineer termal genişleme katsayısının da azalmasına sebep olurlar. Kısmen kararlı zirkonyanın saf zirkonya ve tamamen kararlı zirkonyadan daha düşük lineer termal genişleme katsayısına sahip olması, kübik (kararlı) ve monoklinik (saf) zirkonyadan daha iyi bir termal şok direncine sahip olmasına neden olur (Boyacıoğlu 2007).

Seramik biyo-malzeme olarak birçok PSZ test edilmiştir. Mg-PSZ (MgO ile yarı kararlı hale getirilmiş zirkonya), en fazla kullanılan zirkonya esaslı mühendislik seramiklerinden birisidir. Fakat malzeme yapısında kalan porozite, oldukça iri tane



boyutu ve başlangıç Mg-PSZ malzemesinin saf olarak eldesindeki güçlük gibi sebepler seramik üreticilerinin Mg-PSZ'nin biyo-medikal uygulamalarda kullanımına olan ilgisini azaltmıştır. Üstün tokluk ( $20 \text{ MPa.m}^{1/2}$ ) sergilemesine rağmen, seryum ilave edilmiş (doped) zirkonya seramiklerin bu alanda kullanımından neredeyse hiç bahsedilmemektedir. Son yıllarda söz konusu alanda en sık tercih edilen malzemeler arasında yittria ile yarı kararlı hale getirilmiş zirkonya (Y-PSZ) gelmektedir (Kaya 2008).

#### **2.4 Yittria ile Kararlı Hale Getirilmiş Çok Kristalli Tetragonal Zirkonya (Y-TZP)**

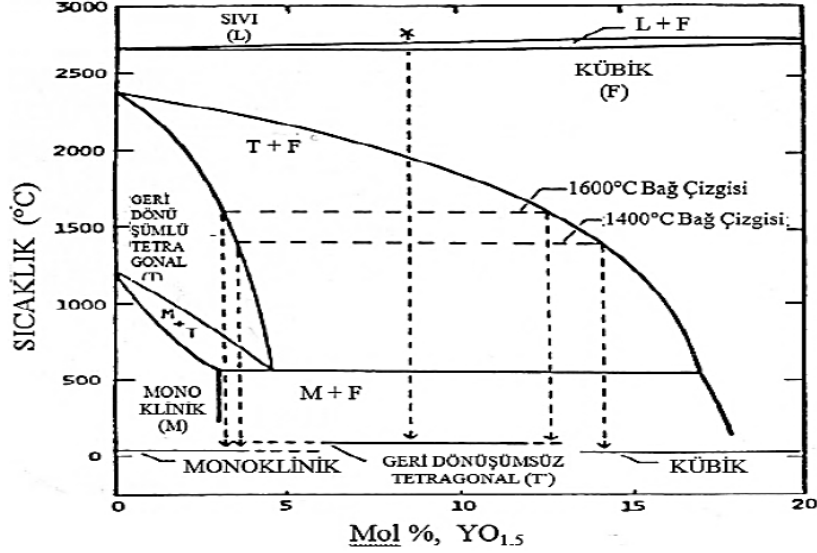
Y-PSZ seramiklerinde bulunan tetragonal fazın mekanik özellikler üzerindeki olumlu etkisine rağmen ürünün tane boyutunun büyüklüğü ( $50-100 \mu\text{m}$ ) önemli bir dezavantajdır. Bunu ortadan kaldırmak için Y-TZP geliştirilmiştir. Kararlı hale getirici olarak zirkonya içerisine yaklaşık molce % 2-3 yittria ilavesi zirkonyanın tamamen tetragonal formda ve çok küçük tane boyutunda sinterlenmesini mümkün kılmaktadır. Aynı zamanda söz konusu ilave tetragonal-monoklinik faz dönüşüm sıcaklığını da düşürmektedir. Yapısında yarı kararlı formda bulunan küçük tetragonal taneler Y-TZP'ye mükemmel mekanik özellikler kazandırmaktadır.

Oda sıcaklığında korunan tetragonal fazın dağılımı süreç sıcaklığına, yittria miktarına, tanelerin boyutu ve ana faz tarafından sıkıştırılma kuvvetine bağlıdır.  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 'ün daha yüksek miktarlarda kullanılması durumunda ise kırılma dayanımı çok düşük olan kübik yapıda tam kararlı zirkonya elde edilmektedir. Y-TZP'nin en büyük dezavantajı küçük tane boyutundan dolayı  $130-500 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığa sahip sıvıya, neme veya su buharına maruz kalması durumunda yüzeyde yarı kararlı formdaki tetragonal tanelerin kendiliğinden monoklinik hale dönmesidir. Bu dönüşüm yüzeyde kılcal çatlığa yol açmakta ve ürünün mekanik özelliklerinde düşüş meydana getirmektedir (Kaya 2008).

#### **2.5 $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ İkili Faz Diyagramı**

Diğer ikili sistemlerde de olduğu gibi, ilk çalışmalar tutarsız sonuçlar vermiştir ve şimdilerde ise en güvenilir faz diyagramının Scott'un olduğu düşünülmektedir. Bu

diyagram Şekil 2.8’ de gösterilmiştir ve özellikle en çok ilgilenilen düşük yittria bölgesi daha detaylı olarak gösterilmiştir (Abi 2009).



Şekil 2.8 ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> faz diyagramının düşük yittria bölümü (Abi 2009).

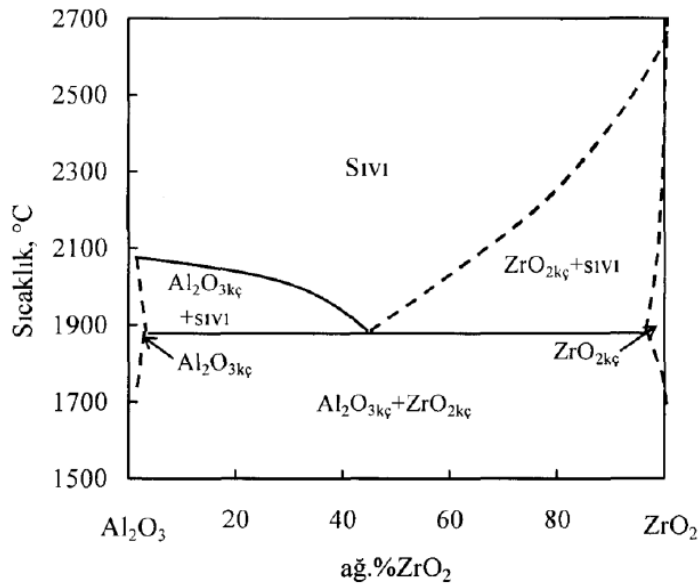
ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> faz diyagramının en önemli özelliği yittria içeriğinin yükselmesi ile tetragonal monoklinik dönüşüm sıcaklığının düşmesidir ki, bu olgu MgO veya CaO ilaveleri ile oluşmamaktadır. Şu da bilinmelidir ki, HfO<sub>2</sub> ilavesi dönüşüm sıcaklığını yükseltmektedir. Bu özellik, hem kısmen stabilize zirkonya hem de iki fazlı heterojen sistemler olarak üretilmiş toklaştırılmış seramiklerin kullanımı ve dizaynında, herhangi bir uygulama için en yüksek sıcaklık limitinin monoklinik tetragonal dönüşüm sıcaklığı ile belirlenmesinden dolayı önemlidir.

Sıcaklıktaki artış ile monoklinik faz bölgesinin üzerinde, tetragonal ‘dönüşebilir’ alana varılmadan önce dar bir monoklinik+tetragonal bölgesi ile karşılaşılır. Dönüşebilen tetragonal katı eriyik örneğın soğutmada monoklinik yapıya dönüşecek olan bir faz, %0-5 mol Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşim aralığında bulunur. Daha yüksek oranda yittria içeren bileşimler için ‘dönüşümü olmayan’ tetragonal ve kübik katı eriyikler bulunur. Son olarak, yittria içeriğinin daha da yükseltilmesi ile oda sıcaklığından erime noktasına kadar kararlı homojen kübik katı eriyik elde edilir. Tetragonal ve dönüşmeyen tetragonal ( t ’ )

fazlarının özellikleri ve bileşimi ve bu fazların kübik fazdan dönüşümü detaylı bir şekilde Anderson ve arkadaşları tarafından tartışılmıştır (Abi 2009).

## 2.6 Zirkonya İle Toklaştırılmış Alümina

$\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{ZrO}_2$  kompozit malzemelerde,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bünye içerisine %10 – 15  $\text{ZrO}_2$  katılarak yüksek sıcaklıkta hacim değişikliklerinden yararlanarak alüminanın tokluğunun artırılması yoluna gidilmektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{ZrO}_2$  ikili denge diyagramı (Hart and Lense 2006).

Alümina matris içerisinde ilerleyen bir çatlak, zirkonya partikülleri ile karşılaşınca partikül kararlı faza dönüşür ve bunun sonucu olarak partikülde yer alan genişleme, ilerleyen çatlağı durdurur. Ancak alümina bünyeye ilave edilen optimum orandaki zirkonya katkısı tokluğu artırabilir. İnce alümina tozlarıyla karıştırılan zirkonya, stabilize edilmemiş saf halde ya da stabilize edilmiş (genellikle yitria ile stabilize edilir) tetragonal zirkonya polikristalleri şeklinde olabilir (Ross *et al.* 2001).

Alüminaya stabilize edilmemiş, saf zirkonya katılması durumunda; katılan zirkonya partikül boyutu monoklinik zirkonyaya dönüşüm için gereken kritik boyuttan daha

küçük olursa tetragonal formda kalır. Bu kritik partikül boyutu yalnız zirkonyadan oluşan sistem için gereken kritik boyuttan daha büyüktür ve bunu sağlayan zirkonyadan daha yüksek elastik modüle sahip alüminadır. Rijit olan alümina partikülleri tetragonal zirkonya partiküllerine baskı uygulayarak hacim genişmesi gerektiren t→m dönüşüme engel olurlar. Ancak kritik partikül boyutu zirkonya hacminin artışı ile azalır. Örneğin %5 zirkonya hacminde kritik boyut >2 µm iken, %20 zirkonya hacminde 0.7 µm' dur. Bu artan zirkonya hacmi ile azalan elastik modülden kaynaklanmaktadır. Zirkonya ilavesinin alüminanın mikroyapısı üzerinde de önemli etkisi vardır. Alüminanın anormal tane büyümesi sonucu belirli yönlerde uzamış iri taneli yapısı hacimce % 3 ZrO<sub>2</sub> ilavesi ile ağırlıklı olarak eş eksenli tanelerden oluşur. Zirkonya anormal tane büyümesini engelleyecek şekilde her dört tanenin birleşiminde yer alır. %1 hacim ilavesinde bile alümina tane boyutunda önemli miktarda azalma olur.

Alümina matris içine % 25 kadar zirkonya ilavesi ile 20 MPa.m<sup>1/2</sup> ' ye varan kırılma tokluğu değerleri elde edilmiştir. Malzemenin toklaşması zirkonya partiküllerinin t→m dönüşümünden dolayıdır. Alümina matrisi ile zirkonya partikülleri arasındaki elastik modül farkından dolayı çatlaklar daha az rijit olan zirkonya partikülleri boyunca ilerleme meyli gösterir ve tetragonal monoklinik dönüşüme sebep olarak çatlak enerjisini azaltır. Diğer bir enerji yok edici etki disperse partiküllerin genişlemesinden dolayı matriste mikroçatlakların oluşumundandır ( Abi 2009).

## **2.7 Konu ile İlgili Bugüne Kadar Yapılan Bazı Çalışmalar**

Yaşlanma veya diğer adıyla düşük sıcaklık degradasyonu (LTD) zirkonya seramiklerinin ağız içerisindeki uzun süreli kullanımında karşılaşılan en büyük sorundur (Kohorst *et al.* 2012). Bu degradasyon, yarı kararlı tetragonal fazın nemli atmosfer nedeni ile yavaşça monoklinik faza dönüşümünden kaynaklanır (Guo 2004). Yoshimura ve arkadaşları (1987), Sato ve Shimada (1985)' ye göre, bu proses, suyun zirkonya kafesi içerine girerek Zr-O-Zr bağlarını çözmesi şeklinde yüzeydeki tanelerde başlar. Belirli stabilizatör oksitler ile yapılan çeşitli işlemler nedeniyle oluşan oksijen boşlukları hidroksit iyonlarının difüzyonunu ilerletir ve böylece degradasyon hızlanır

(Kim *et al.* 2009). Doğal ortam şartlarında, bu proses çok yavaştır ve ağız içerisinde dönüşümün etkilerini görmek için çok uzun yıllar süren deneyler yapılması gerekir.

Zirkonyanın dönüşümü termal olarak aktive edildiğinden Kohorst vd (2012), otoklav içerisinde hızlandırılmış yaşlandırma testlerini, malzemenin ağız içerisindeki uzun süreli kullanımındaki davranışını tahmin etmek amacı ile gerçekleştirmişlerdir. Chevalier vd (2004)' e göre, otoklav içerisinde, 134 °C' de yapılan 1 saat yaşlandırma işlemi doğal ortam şartlarında, 37 °C' de 3-4 sene kullanım ile kıyaslanabilir bir etki yapmaktadır. Fakat zirkonyanın ağız içerisinde maruz kalacağı diğer etkiler (örneğin; tekrarlanan mekanik ve termal yüklemeler) bu hesaplamada göz önünde bulundurulmamaktadır. Bu nedenle doğal ortamda yani ağız içerisinde yaşlanma daha hızlı bir şekilde ilerleyebilir.

Kohorst ve arkadaşları yaptıkları çalışmada üç farklı reçeteden;

- 1- 3Y-TZP (% 3mol yitria ile stabilize zirkonya),
- 2- Ağırlıkça % 20 alümina ile toklaştırılmış zirkonya (ATZ) ve
- 3- 12Ce-TZP (% 12 mol ceria ile stabilize edilmiş zirkonya)

Hazırladıkları tozları sıcak izostatik presleme ile şekillendirdikten sonra 0- 4- 8- 16- 32- 64- 128 saat süreler ile 134 °C' de ve 3 bar basınç altında yaşlandırma işlemlerine tabi tutmuşlar, yaşlandırma sonrası monoklinik faz yüzdeleri ve eğme dayanımı değerlerini tespit edip, SEM ile mikroyapı incelemelerini yapmışlardır. Sonuç olarak, 3Y-TZP ve ATZ numunelerinde yaşlandırma sürelerine bağlı olarak monoklinik faz yüzdelerinde artış meydana gelmiş ve 128 saat yaşlandırma sonunda sırasıyla; % 73 ve % 70' e kadar yükselmiştir. 12Ce-TZP numunelerinde ise yaşlandırma işlemine bağlı olarak monoklinik zirkonya oluşumu görülmemiştir. Eğme dayanımlarında ise, en yüksek eğme dayanımı değerleri 3Y-TZP ve en düşük eğme dayanımı değerleri 12Ce-TZP numunelerinde elde edilmiştir. Bununla birlikte, 3Y-TZP numunelerinde yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak eğme dayanımında çok belirgin düşüşler meydana gelmiş, fakat 12Ce-TZP numunelerinde yaşlandırmaya bağlı t-m dönüşümü gerçekleşmediğinden eğme dayanımı değerlerinde de herhangi bir düşüş

gerçekleşmemiştir. ATZ numunelerinde ise t-m dönüşümü gerçekleşmesine rağmen bu durum eğme dayanımında belirgin bir değişime neden olmamıştır.

Gutknecht vd (2007), yaptıkları çalışmada; Alümina içerisine hacimce % 5- 10- 13- 15- 25 oranlarında iki farklı tip zirkonya tozu (%3Y-TZP ve saf (monoklinik) zirkonya) ilave ederek iki farklı seri numuneler hazırlamışlardır. Alümina ve zirkonya tozlarının pH 1- 12 arasındaki pH' larda ayrı ayrı zeta potansiyeli ve viskozite ölçümleri yapılmış ve her ikisi içinde dispersiyonun en iyi sağlandığı değer olarak pH 4,5 seçilmiştir. Bu asidik pH' ta alümina ve zirkonya içeren karışımlar sulu olarak iyi bir şekilde disperse edildikten sonra zirkonyanın alümina içerisinde homojen dağılımını sağlamak için bilyalı değirmende 24 saat süre ile homojenizasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Disperse haldeki bu çamurlar daha sonra püskürtmeli kurutucuda kurutulularak granül hale getirilmiştir. Elde edilen granül haldeki toz karışımları daha sonra tek eksenli pres ve ardından izostatik pres ile disk şeklinde şekillendirilmiştir. 1520 ve 1600 °C sıcaklıklarda numunelerin bir kısmına ilave olarak sıcak izostatik presleme de uygulayarak sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelere farklı sürelerde yaşlandırma işlemi uyguladıktan sonra XRD analizi ile yapıdaki monoklinik faz yüzdeleri belirlemişler ayrıca SEM ile mikroyapı incelemeleri yapmışlardır. Sonuç olarak; 3Y-TZP esaslı ZTA kompozitlerde düşük oranlardaki zirkonya katkı numunelerde yaşlandırmaya bağlı olarak belirgin bir t- m dönüşümü gerçekleşmezken özellikle % 25 zirkonya içeren kompozitlerde yaşlandırma süresinin artışı ile yaşlandırma öncesi % 2 olan monoklinik faz yüzdesi 45 saat yaşlandırma sonrası % 10' lara kadar yükselmiştir.

Deville vd (2003) yaptıkları çalışmada, hacimce % 16 zirkonyanın bir eşik değeri ve kritik zirkonya miktarı olduğunu ve bu değer üzerinde zirkonya katkılarında tetragonal monoklinik dönüşümünün bir taneden kendine komşu olan diğer tanelere yayılacağını bildirmişlerdir. Bu değer altındaki zirkonya içeriklerinde ise dönüşümün yüzeyde bazı tanelerde başlayıp diğer tanelere doğru ilerleyemediğini bildirmişlerdir.

Gutknecht vd (2007), yaptıkları bu çalışmada, elektrostatik dispersiyon işleminin dönüşüm üzerine etkilerini incelemek amacı ile hacimce % 13 3Y-TZP katkı ZTA

numunelerinde disperse edilmeden hazırlanan numunelerin davranışları da incelenmiştir. Sonuç olarak, dispersiyon şartlarında hazırlanan kompozitlerin mikroyapılarında alümina matris içerisinde zirkonya tanelerinin agglomerate olmadığı ve daha homojen dağıldığı ve buna bağlı olarak yaşlandırma sonrası tetragonal-monoklinik dönüşümünün gerçekleşmediği görülmüştür. Elektrostatik dispersiyon yapılmadan hazırlanan aynı bileşimdeki kompozitlerde ise zirkonya tanelerinin agglomerasyonuna bağlı olarak özellikle yaşlandırma işleminin ilk 2 saatinde monoklinik faz %' si 12' ye kadar yükselmiştir. Bu çalışmadan elde edilen en önemli iki sonuç kompozitlerde düşük sıcaklık degradasyonuna bağlı tetragonal-monoklinik dönüşümünün gerçekleşmemesi için;

- 1- Katkı olarak kullanılan zirkonya miktarının belirli kritik bir değerin altında tutulması gerektiği,
- 2- Toz karışımların en iyi dispersiyon şartlarında hazırlanması ve zirkonyanın matris içerisinde homojen bir şekilde dağılarak agglomerasyonun önlenmesi gerektiğidir.

### **3. MATERYAL ve METOT**

#### **3.1 Amaç**

Yaşlanma veya diğer adıyla düşük sıcaklık degradasyonu (LTD) zirkonya seramiklerinin ağız içerisindeki uzun süreli kullanımında karşılaşılan en büyük sorundur. Bu degradasyon, yarı kararlı tetragonal fazın nemli atmosfer nedeni ile yavaşça monoklinik faza dönüşümünden kaynaklanır. Yüksek miktarda monoklinik faz dayanım ve tokluk gibi mekanik özellikler bakımından dezavantajlıdır ve bu nedenle zirkonyanın uzun süreli klinik başarısını azaltabilir. YSZ seramiklerin hidrotermal kararlılığını arttırmak için bir yöntem zirkonya içerisine alümina ilavesi ve bunun matris içerisinde homojen bir şekilde dağıtılmasıdır.

Bu tez çalışması kapsamında; monoklinik zirkonya tozunun iki farklı yittria (yittrium oksit ve yittrium nitrat) kaynağı kullanılarak stabilize edilmesi ve bu katkıların zirkonyanın stabilizasyonu üzerine etkilerinin incelenmesidir. Çalışmanın diğer bir amacı ise, üretilen bu zirkonya tozları ile hazırlanan farklı oranlarda alümina içeren ZTA (zirkonya ile toklaştırılmış alümina) kompozitlerinin farklı sürelerdeki hidrotermal yaşlandırma işlemleri neticesinde fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerin incelenmesidir. Bu şekilde hidrotermal yaşlandırma yapılmamış ve farklı sürelerde yaşlandırmaya tabi tutulmuş numunelerin tetragonal-monoklinik faz oranlarındaki değişimler XRD analizi ile Garvie ve Nicholson'a göre belirlenmiştir. Buna ilave olarak numunelerin Arşimet yöntemi ile gözenek ve yoğunlukları belirlenmiş ayrıca SEM ile mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiş, üç nokta eğme dayanımı ve brazilian test ile mukavemetleri belirlenmiş, vickers sertliği ile sertlikleri belirlenmiştir.

#### **3.2 Deney Programı**

Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur;

- Tetragonal Zirkonya üretimi için, zirkonya, yittria, yittrium nitrat temin edilmiştir.
- Ürettiğimiz tetragonal zirkonya ile kıyaslamak üzere, yurtdışından yittria ile



stabilize zirkonya tozu temin edilmiştir.

- 9 farklı reçete oluşturularak, numuneler slip döküm tekniği ve kuru pres tekniği ile dikdörtgen prizma ve disk şeklinde şekillendirilmiştir.
- Şekillendirilen numuneler kurutma işlemine tabi tutulmuş, daha sonra ön sinterleme ve zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Numuneler 1400, 1450 ve 1500 °C' lerde 2 saat süreyle sinterlenmiştir.
- Sinterlenmiş numuneler iki gruba ayrılmış, ilk grup yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış diğer grup ise yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur.
- Yaşlandırma işlemi, otoklav içerisinde 134 °C sıcaklık ve 2 bar basınçta; 4, 8 ve 12 saat şeklinde farklı sürelerde gerçekleştirilmiştir.
- Son olarak, XRD analizleri, fiziksel ve mekanik testler, SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

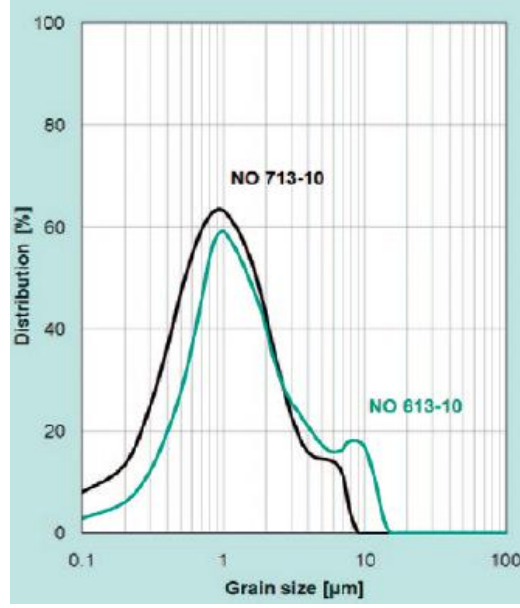
### 3.3 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

#### 3.3.1 Alümina

Nabaltec 713-10 Süper-Reactive, Monomodal Alümina temin edilmiştir. Kullanılan Nabaltec alüminanın tane boyut dağılımı, kimyasal bileşimi ve özellikleri Çizelge 3.1 ve Şekil 3.1' de sunulmuştur.

**Çizelge 3.1** Nabaltec Alüminanın kimyasal bileşimi ve özellikleri.

Analysis	Unit	NO 713-10 typ.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	99,7
SiO <sub>2</sub>	%	0,05
MgO (doped)	%	0,08
Na <sub>2</sub> O (total)	%	0,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,03
Specific surface (BET)	m <sup>2</sup> /g	7
α- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	95
Median grain size diameter	µm	0,8
Primary crystal size	µm	0,5
Bulk density	Kg/m <sup>3</sup>	950
Green density	g/cm <sup>3</sup>	2,3
Sintered density	g/cm <sup>3</sup>	3,93
Sintering temperature	°C	1600



Şekil 3.1 Kullanılan Nabaltec alüminanın tane boyut dağılımı.

### 3.3.2 Monoklinik Zirkonya

Merck marka monoklinik zirkonya kullanılmıştır.

### 3.3.3 Yitria ile Stabilize Zirkonya

Bulguları kıyaslamak için, yitria ile stabilize zirkonya tozu Saint-Gobain ZirPro (HanDan) Co.Ltd' den temin edilmiştir. Spesifik yüzey alanı  $6,4 \text{ m}^2/\text{g}$  dir.

### 3.3.4 Yittrium Nitrat

Yurt dışından temin edilen, abcr (ABCR GmbH & Co. KG) Yttrium (III) nitrate hexahydrate ( $\text{H}_{12}\text{N}_3\text{O}_{15}\text{Y}$ ); (99.9 % Y) (REO) kullanılmıştır.

### 3.3.5 Yittrium Oksit

Yurt dışından temin edilen, chempur (ChemPur GmbH) Yttrium oxide ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) kullanılmıştır.

### 3.4 Tetragonal Zirkonya Üretim Çalışmaları

Tetragonal Zirkonya üretim çalışmalarında 2 farklı reçete kullanılmıştır. İlk olarak monoklinik zirkonyaya stabilizatör olarak molce % 3 yitrium oksit ilavesi denenmiş, ikinci olarak ta zirkonyaya yitrium oksit yerine molce % 3 yitrium oksit verecek oranda yitrium nitrat katkısı yapılmıştır. XRD analizleri incelendikten sonra, kullanılan % 3 mol yitrium oksit ve yitrium nitratın yeterli gelmediği görülmüş ve deneysel çalışmalarda kullanılacak olan zirkonya tozu hazırlanırken katkı oranı molce % 4' e çıkarılarak çalışmalara devam edilmiştir.

### 3.5 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışma için hazırlanan numunelere ait bilgiler Çizelge 3.2' de sunulmuştur.

Çizelge 3.2 Deney numunelerine ait bilgiler.

Grup	Reçete	Bileşim (Ağırlıkça %)
1.	1.	%100 Yittria ile stabilize zirkonya tozu (Ticari YSZ)
	2.	% 20 Ticari YSZ ve %80 Alümina
	3.	% 30 Ticari YSZ ve %70 Alümina
2.	4.	%100 Deneysel YSZ (Yitrium Oksit Katkılı)
	5.	%20 Deneysel YSZ (Yitrium Oksit Katkılı) ve %80 Alümina
	6.	%30 Deneysel YSZ (Yitrium Oksit Katkılı) ve %70 Alümina
3.	7.	%100 Deneysel YSZ (Yitrium Nitrat Katkılı)
	8.	%20 Deneysel YSZ (Yitrium Oksit Katkılı) ve %80 Alümina
	9.	%30 Deneysel YSZ (Yitrium Oksit Katkılı) ve %70 Alümina

Bu çalışma için 3 farklı grupta, 3' er reçete ile deney planlanmış ve bu gruplar için hazırlanan numuneler aşağıda sunulmuştur;

### **3.5.1 Ticari YSZ Katkılı Alümina**

3 farklı reçete ile numuneler hazırlanmıştır;

1. Reçete; %100 Yittria ile stabilize zirkonya tozu (Ticari YSZ),
2. Reçete; ağırlıkça % 20 Ticari YSZ ve %80 Alümina,
3. Reçete; ağırlıkça % 30 Ticari YSZ ve %70 Alümina

İçerecek şekilde hazırlanan 1. grup numuneler için süspansiyonlar asidik Ph' ta hacimce % 75 katı içerecek şekilde hazırlanmış, manyetik karıştırıcıda 4 saat karıştırma işleminin ardından slip döküm tekniği ile alçı kalıplara dökülerek şekillendirildikten sonra kurutulup, 1400, 1450 ve 1500 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta 2 saat süreyle sinterlenmiştir.

### **3.5.2 Deneysel YSZ (Yittrium Oksit Katkılı) Katkılı Alümina**

3 farklı reçete ile numuneler hazırlanmıştır;

1. Reçete; %100 Deneysel YSZ (Yittrium Oksit Katkılı)
2. Reçete; ağırlıkça %20 Deneysel YSZ (Yittrium Oksit Katkılı) ve %80 Alümina,
3. Reçete; ağırlıkça %30 Deneysel YSZ (Yittrium Oksit Katkılı) ve %70 Alümina

İçerecek şekilde hazırlanan karışımlar, slip döküm tekniği ile şekillendirme işlemlerinde dispersiyon şartları sağlanamadığından numuneler kalıptan uzaklaştırılırken çatlamlar oluşması nedeniyle 2. Grup numuneler Kuru Pres tekniği ile şekillendirilmişlerdir. Hazırlanan toz karışımları belirli miktarlarda nemlendirildikten sonra kuru preste, 100 MPa basınçta disk şeklinde preslendikten sonra kurutulup, 1400, 1450 ve 1500 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta 2 saat süreyle sinterlenmiştir.

### 3.5.3 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat Katkılı) Katkılı Alümina

3 farklı reçete ile numuneler hazırlanmıştır;

1. Reçete; %100 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat Katkılı)
2. Reçete; ağırlıkça %20 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat Katkılı) ve %80 Alümina,
3. Reçete; ağırlıkça %30 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat Katkılı) ve %70 Alümina

İçercek şekilde hazırlanan karışımlar, slip döküm tekniği ile şekillendirme işlemlerinde dispersiyon şartları sağlanamadığından numuneler kalıptan uzaklaştırılıken çatlamlar oluşması nedeniyle 3. Grup numuneler de Kuru Pres tekniği ile şekillendirilmişlerdir. Hazırlanan toz karışımları belirli miktarlarda nemlendirildikten sonra kuru preste, 100 MPa basınçta disk şeklinde preslendikten sonra kurutulup, 1400, 1450 ve 1500 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta 2 saat süreyle sinterlenmiştir.

### 3.6 Şekillendirme

1. grup numuneler için süspansiyonlar asidik Ph' ta hacimce % 75 katı içerecek şekilde hazırlanmış, manyetik karıştırıcıda 4 saat karıştırma işleminin ardından slip döküm tekniği ile alçı kalıplara dökülerek dikdörtgen prizma şeklinde şekillendirilmiştir.

2. ve 3. Grup numuneler için slip döküm tekniği ile şekillendirme denenmiş fakat dispersiyon şartları sağlanamadığından numuneler kalıptan uzaklaştırılıken çatlamlar oluşmuştur. Bu nedenle toz karışımlar hazırlanmış, belirli miktarlarda nemlendirildikten sonra Şahinler marka kuru preste, 100 MPa basınçta disk şeklinde şekillendirilmiştir.

### 3.7 Kurutma

Slip döküm yöntemi ile şekillendirilen numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra yavaş ve nemli ortamda kurumasını sağlamak amacı ile üzeri naylonla örtülü olarak 4–5 gün bekletilmiş, daha sonra etüvde 5 °C/saat hızla 100 °C' ye çıkılarak 1 gece bu sıcaklıkta kurutulmuştur.

Kuru Pres ile şekillendirilen numuneler laboratuvar ölçekli bir etüvde 5 °C/saat hızla 100 °C'ye çıkılarak 24 saat bu sıcaklıkta kurutulmuştur.

### 3.8 Ön Sinterleme ve Zımparalama

Ön sinterleme işlemi 1000 °C' ye 5 °C/ dk hızla çıkılarak gerçekleştirilmiş olup bu sıcaklıkta numuneler 9 saat bekletilmiştir. Bundan sonra ön sinterlenmiş numuneler zımparalama işlemine tabi tutulmuştur.

### 3.9 Sinterleme

Numunelerin 1400, 1450 ve 1500 °C' deki sinterleme işlemleri SiC ısıtıcı elemanlı max. 1500 °C' lik Protherm marka fırında 5 °C/ dk ısıtma hızı ile 2 saat süre ile gerçekleştirilmiş olup, daha sonra fırın soğumaya bırakılıp sıcaklığı 1170 °C' ye ulaştığında 1 saat bektildikten sonra fırın kendi halinde soğumaya bırakılmıştır. Numunelerin kodlaması ve içerik bilgileri Çizelge 3.3' de sunulmuştur.

**Çizelge 3.3** Numunelerin grupları, kodları, bileşimleri, sinterleme sıcaklıkları, süreleri ve yaşlandırma süreleri.

Numune Grubu	Reçete No	Numune Kodu	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (Saat)	Yaşlandırma Süresi (Saat)
1	1.	YSZ	1400	2	4
			1450		8
			1500		12
	2.	A20YSZ	1400	2	4
			1450		8
			1500		12
2	3.	A30YSZ	1400	2	4
			1450		8
			1500		12
	4.	YO	1400	2	4
			1450		8
			1500		12

		1400		4
	<b>5.</b>	<b>A20YO</b>	1450	2
			1500	8
			1400	12
	<b>6.</b>	<b>A30YO</b>	1450	2
			1500	8
			1400	12
	<b>7.</b>	<b>YN</b>	1450	2
			1400	8
			1500	12
	<b>8.</b>	<b>A20YN</b>	1400	2
			1450	8
<b>3</b>			1500	12
	<b>9.</b>	<b>A30YN</b>	1400	2
			1450	8
			1500	12

### 3.10 Hidrotermal Yaşlandırma İşlemi

Şekillendirilmiş numuneler sinterleme sonrası iki gruba ayrılıp, ilk grup yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış diğer grup ise yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur.

Yaşlandırma işlemi, otoklav içerisinde 134 °C sıcaklık ve 2 bar basınçta; 4, 8 ve 12 saat şeklinde farklı sürelerde gerçekleştirilmiştir.

Hidrotermal yaşlandırma işlemi uygulanan ve uygulanmayan numunelere öncelikli olarak XRD analizi yapılarak, yaşlandırma işleminin tetragonal-monoklinik dönüşümü üzerine etkileri ve bu dönüşümün diğer fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkilerinin kıyaslanması amaçlanmıştır.

### 3.11 Numunelere Uygulanan Testler

Su emme testinden hareketle numunelerin birim hacim ağırlıkları ve görünür yoğunlukları hesaplanmıştır. Seçilmiş bazı numunelerin mikro sertlik ölçümleri için sinterlenmiş numunelerin her iki yüzeyi sırası ile 60, 240, 800 ve 1200 no' lu zımpara ile zımparalanmış, daha sonra Alümina solüsyon kullanılarak parlatılmıştır. XRD ile faz analizleri yapılmıştır. Dikdörtgen prizma şeklindeki numunelerin Üç Nokta Eğme Dayanımı ile disk şeklindeki numunelerin ise Brazilian Test ile mukavemetleri incelenmiştir. Vickers Sertlik ölçümleri 2 kg yük uygulanarak yapılmıştır. SEM ve EDS analizleri ile mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

#### 3.11.1 Su Emme

Su emme sinterlenen numunelerin açık gözeneklerinin alabildiği su olarak tanımlanır. Sinterlenen numuneler 0.001 gr hassasiyetle elektronik terazide tartılmıştır ( $m_0$ ). Numuneler su emme kabına birbirleri ve kabın cidarına değmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Numunelerin üzerini örtecek kadar su doldurulup 1 saat bekletilmiş, 1 saat sonunda su emme kabı ısıtılmaya başlanmış daha sonra 4 saat kaynatılmıştır. Bu arada suyun eksilmemesine dikkat edilmiş ve su eksildikçe üzerine su ilave edilmiştir. Kaynatma işleminden sonra numuneler 24 saat oda koşullarında bekletilip sudan çıkarılmıştır. Numune yüzeylerindeki fazla su bir bez yardımıyla alınarak 0.001 gr hassasiyetli bir terazide tartılmıştır ( $m_1$ ). Daha sonra iyice sıkılmış nemli bezle yüzeylerindeki fazla suyu alınan numunelerin Arşimed terazisi ile su içerisindeki tartımları alınmıştır ( $m_2$ ). Bu değerler ve gerçek yoğunluk değerleri aşağıdaki formüllere göre hazırlanmış Excel programına girilerek numunelerin su emme yüzdeleri, yoğunlukları ve gözenek miktarları hesaplanmıştır.

**Su emme %' si** numunenin emdiği su miktarının numunenin kuru ağırlığına oranı olup aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır;

$$\% \text{ SuEmme} = [(m_1 - m_0) / m_0] \times 100 \quad (3.1)$$



**Görünür, Gerçek ve Kütle Yoğunlukları;** Numunenin kuru ağırlığının görünür hacme oranıdır. Görünür hacim, numunenin kuru ağırlığı ile su içerisindeki ağırlığı arasındaki farktan hesaplanmakta olup bu hacim numunedeki gerçek hacim (katı hacmi) ile kapalı gözeneklerin hacimlerinin toplamından oluşmaktadır. Bu yoğunluk numunenin gerçek hacmi (katı kısmın hacmi)'nden küçük, numunenin kuru ağırlığının katı kısım hacmi + kapalı por hacmi + açık por hacminden oluşan toplam hacme bölünerek elde edilen yoğunluktan büyüktür.

### **Hacimler;**

$$\text{Gerçek Hacim} = \text{Kuru Ağırlık} / \text{Gerçek Yoğunluk} = (m_0/d) \quad (3.2)$$

$$\text{Görünür Hacim} = \text{Gerçek Hacim} + \text{Kapalı Gözenek Hacmi} \quad (3.3)$$

$$\text{Görünür Hacim} = \text{Kuru Ağırlık} / \text{Su İçindeki Ağırlık} \quad (3.4)$$

$$\text{Toplam Hacim} = \text{Katı Hacmi} + \text{Kapalı Gözenek Hacmi} + \text{Açık Gözenek Hacmi} \quad (3.5)$$

$$\text{Toplam Hacim} = \text{Suya Doymuş Ağırlık} - \text{Su İçindeki Ağırlık} \quad (3.6)$$

$$\text{Görünür Por Hacmi} = \text{Suya Doymuş Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık} \quad (3.7)$$

### **Gözenek;**

$$\text{Görünür Gözenek} = \text{Açık Gözenek Hacmi} / \text{Toplam Hacim} \quad (3.8)$$

$$\text{Görünür Gözenek} = [(m_1 - m_0) / (m_1 - m_2)] \quad (3.9)$$

$$\text{Kapalı Gözenek} = (\text{Görünür Hacim} / \text{Gerçek Hacim}) / \text{Toplam Hacim} \quad (3.10)$$

$$\text{Kapalı Gözenek} = [(m_0 - m_2) - (m_0/d)] / [(m_1 - m_2)] \quad (3.11)$$

### **3.11.2. X-Işınları Difraktometresi (XRD) Faz Analizi**

XRD analizleri AKÜ'de bulunan Shimadzu 6000 Model XRD cihazı ile  $0 \leq 2\theta \leq 90$  açılarında Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1,5418^\circ\text{A}$ ) radyasyonu kullanılarak yapılmıştır.

### 3.11.3 Üç Nokta Eğme Testi ve Brazilian Testi

Malzemenin mekanik dayanımını ölçmek için dikdörtgen prizma şeklindeki numune grubuna üç nokta eğme dayanımı testi uygulanmıştır. Testler Shimadzu AG-IS model 100 kN kapasiteli mekanik test cihazında yapılmıştır. Mesnetler arası mesafe 30,5 mm olarak ayarlanıp, 0.05 mm/dk hız ile yükleme yapılmıştır.

Disk şeklindeki numune gruplarına Brazilian Testi uygulanmıştır. Testler Shimadzu AG-IS model 100 kN kapasiteli mekanik test cihazında yapılmış olup aşağıda yer alan formüle göre hesaplanmıştır;

$$\sigma_{BDT} = \frac{2 F}{D \cdot \pi \cdot t} \quad (3.12)$$

### 3.11.4 Sertlik

Numunelerin sertlikleri parlatılmış yüzey üzerinde SCHIMADZU marka sertlik cihazında Vickers elmas piramit uç kullanılarak 15 saniye süre ile belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri için 2 kg yük uygulanmıştır.

### 3.11.5 SEM+EDS Analizleri

Numunelerin mikro yapıları Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430 vp marka elektron mikroskobu incelenmiş ve EDS analizleri yapılmıştır.

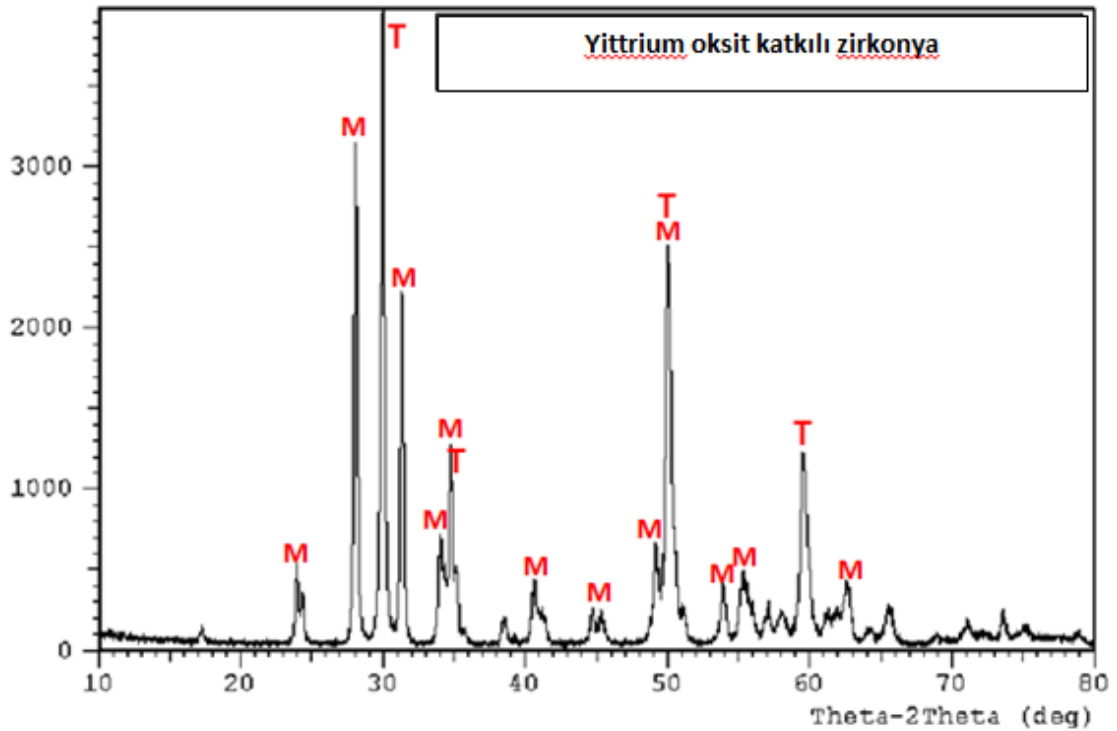
## 4. BULGULAR

### 4.1 Tetragonal Zirkonya Üretim Çalışmalarının Sonuçları

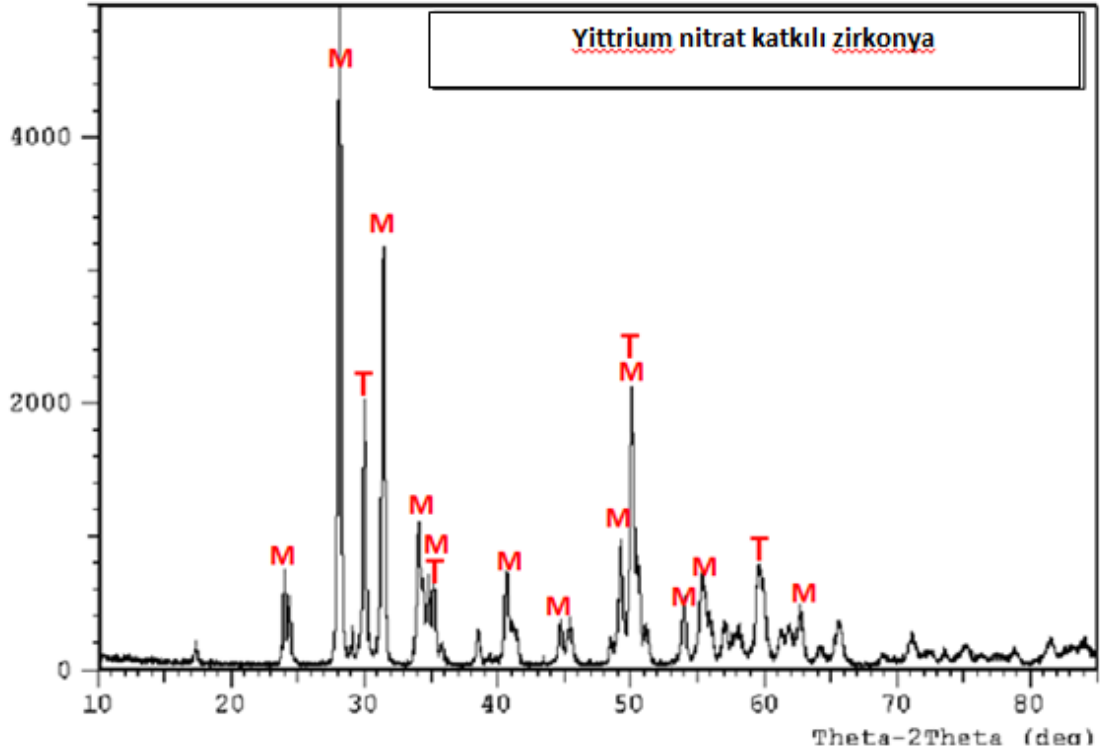
Tetragonal Zirkonya üretim çalışmalarında 2 farklı reçete kullanılmıştır. İlk olarak monoklinik zirkonyaya stabilizatör olarak molce % 3 yitrium oksit ilavesi denenmiş, ikinci olarak ta zirkonyaya yitrium oksit yerine molce % 3 yitrium oksit verecek oranda yitrium nitrat katkısı yapılmıştır.

Bu verilen reçetelere göre toz karışımları hazırlandıktan sonra tozlar preslenerek 1400 °C' de 2 saat süre ile sinterlenmiştir.

Daha sonra monoklinik yapının ne oranda tetragonal yapıya dönüştüğünü gözlemlemek için XRD analizine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.1 % 3 mol yitrium oksit katkılı zirkonyanın sinterleme sonrası XRD paterni.



Şekil 4.2 Yittrium nitrat katkılı zirkonyanın sinterleme sonrası XRD paterni.

Çizelge 4.1 Sinterleme sonrası numunelerin monoklinik-tetragonal faz %' leri.

1400 °C	Monoklinik Faz %	Tetragonal Faz %
YSZ (Yittrium Oksit Katkılı)	57	43
YSZ (Yittrium Nitrat Katkılı)	79	21

Çizelge 4.1' de görüldüğü gibi, elde edilen zirkonya ticari stabilize zirkonya ile kıyaslandığında düşük oranda tetragonal faz içermektedir. Buradan, kullanılan % 3 mol yittrium oksit ve yittrium nitratın yeterli gelmediği görülmüş ve deneysel çalışmalarda kullanılacak olan zirkonya tozu hazırlanırken katkı oranı molce % 4' e çıkarılarak çalışmalara devam edilmiştir.

## 4.2 Fiziksel Test Sonuçları

Numunelerin kuru, su emmiş ve su içindeki ağırlıklarından hareketle Excel programı ile hesaplanan, sinterleme sıcaklığına, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklere ait sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

### 4.2.1 Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numunelere Ait Test Sonuçları

#### 4.2.1.1 1. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları

% 100 Ticari YSZ (Saint Gobain), % 20 Ticari YSZ + % 80 Alümina ve % 30 Ticari YSZ + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.2 ve EK-1’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.2** 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

Normal 1. Grup	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm <sub>3</sub> )		
	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450	1500
Sıcaklık (°C)									
YSZ	23,77	16,44	10,3	76	83	90	4,589	5,03	5,4
A20YSZ	31,8	24,38	14,01	68	76	86	2,982	3,306	3,76
A30YSZ	32,28	21,65	15,29	68	78	85	3,1	3,587	3,878

Çizelge 4.2’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte toplam porozite değerlerinin azaldığı, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinin ise arttığı görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen YSZ, A20YSZ ve A30YSZ numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %90, %86 ve %85 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına YSZ numunesinde ulaşıldığı görülmüştür.

#### 4.2.1.2 2. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları

% 100 Deneysel YSZ ( $Y_2O_3$  katkılı), % 20 Deneysel YSZ ( $Y_2O_3$  katkılı) + % 80 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ ( $Y_2O_3$  katkılı) + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.3 ve EK-2’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.3** 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

Normal 2. Grup	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı( $gr/cm_3$ )		
	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450	1500
Sıcaklık (°C)									
YO	68,93	26,45	26,16	31	74	74	1,864	4,413	4,43
A20YO	25,73	19,01	13,37	74	81	87	3,244	3,537	3,784
A30YO	28,02	20,34	15,88	72	80	84	3,291	3,642	3,846

Çizelge 4.3’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte toplam porozite değerlerinde ise azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen A20YO ve A30YO numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %87 ve %84 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A20YO numunesinde ulaşıldığı görülmüştür.

#### 4.2.1.3 3. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları

% 100 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı), % 20 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) + % 80 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 3. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.4 ve EK-3’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.4** 3. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

Normal 3. Grup	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm <sub>3</sub> )			
	Sıcaklık (°C)	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450	1500
YN		40,58	32,22	28,4	59	68	72	3,565	4,067	4,296
A20YN		26,2	20,27	14,13	74	80	86	3,224	3,483	3,751
A30YN		27,19	15,35	27,25	73	73	85	3,329	3,87	4,147

Çizelge 4.4' de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte toplam porozite değerlerinde ise azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C' de sinterlenen A20YN ve A30YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %86 ve %85 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A20YN numunesinde ulaşıldığı görülmüştür.

#### 4.2.1.4 Katkısız YSZ Numunelerine Ait Test Sonuçları

% 100 Ticari YSZ (Saint Gobain), % 100 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) ve % 100 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.5 ve EK-4' de sunulmuştur.

**Çizelge 4.5** Katkısız YSZ numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

Katkısız YSZ Numuneleri	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm <sub>3</sub> )		
	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450	1500
<b>Sıcaklık (°C)</b>									
<b>YSZ</b>	23,77	16,44	10,3	76	83	90	4,589	5,03	5,4
<b>YO</b>	68,93	26,45	26,16	31	74	74	1,864	4,413	4,43
<b>YN</b>	40,58	32,22	28,4	59	68	72	3,565	4,067	4,296

Çizelge 4.5’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinin arttığı, toplam porozite değerlerinin ise azaldığı görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen YSZ numunesinde % 90 en yüksek doluluk oranına ulaşılırken, aynı sıcaklıkta YO %74, YN ise %72 doluluk oranına ulaşmıştır.

#### **4.2.1.5 %20 YSZ Katkılı Alümina Numunelerine Ait Test Sonuçları**

% 20 Ticari YSZ + % 80 Alümina, % 20 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) + % 80 Alümina ve % 20 Deneysel YSZ (Yitrium Nitrat katkılı) + % 80 Alümina tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.6 ve EK-5’ de sunulmuştur.



**Çizelge 4.6** %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>% 20 YSZ</b>									
<b>Katkılı Alümina Numuneleri</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>Sıcaklık (°C)</b>									
<b>A20YSZ</b>	31,8	24,38	14,01	68	76	86	2,982	3,306	3,76
<b>A20YO</b>	25,73	19,01	13,37	74	81	87	3,244	3,537	3,784
<b>A20YN</b>	26,2	20,27	14,13	74	80	86	3,224	3,483	3,751

Çizelge 4.6' de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde toplam porozite değerlerinde azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C' de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %86, %87 ve %86 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A20YO numunesinde ulaşıldığı görülmüştür.

#### **4.2.1.6 %30 YSZ Katkılı Alümina Numunelerine Ait Test Sonuçları**

% 30 Ticari YSZ + % 70 Alümina, % 30 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) + % 70 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) + % 70 Alümina tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.7 ve EK-6' da sunulmuştur.

**Çizelge 4.7** %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>% 30 YSZ</b>									
<b>Katkılı Alümina Numuneleri</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>Sıcaklık (°C)</b>									
<b>A30YSZ</b>	32,28	21,65	15,29	68	78	85	3,1	3,587	3,878
<b>A30YO</b>	28,02	20,34	15,88	72	80	84	3,291	3,642	3,846
<b>A30YN</b>	27,19	15,35	27,25	73	73	85	3,329	3,87	4,147

Çizelge 4.7' de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte toplam porozite değerlerinde azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C' de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %85, %84 ve %85 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A30YSZ ve A30YN numunelerinde ulaşıldığı görülmüştür.

#### **4.2.2 Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Numunelere Ait Test Sonuçları**

##### **4.2.2.1 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları**

4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Ticari YSZ (Saint Gobain), % 20 Ticari YSZ + % 80 Alümina ve % 30 Ticari YSZ + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.8 ve EK-7' de sunulmuştur.

**Çizelge 4.8** 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

4 Saat Yaşlandırma 1. Grup	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm <sub>3</sub> )		
	Sıcaklık (°C)	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450
<b>YSZ</b>	25,42	14,82	11,27	75	85	89	4,49	5,128	5,342
<b>A20YSZ</b>	68,58	25,22	12,73	31	75	87	1,374	3,269	3,815
<b>A30YSZ</b>	69,92	21,94	10,98	30	78	89	1,714	3,574	4,075

Çizelge 4.8’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde toplam porozite değerlerinde azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen YSZ, A20YSZ ve A30YSZ numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %89, %87 ve %89 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına YSZ ve A30YSZ numunelerinde ulaşıldığı görülmüştür.

#### 4.2.2.2 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 2. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları

4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı), % 20 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) + % 80 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.9 ve EK-8’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.9** 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 2.Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>4 Saat Yaşlandırma 2. Grup</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>			
	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>YO</b>		31,7	25,82	33,09	68	74	67	4,098	4,451	4,014
<b>A20YO</b>		24,41	17,9	12,75	76	82	87	3,302	3,586	3,811
<b>A30YO</b>		28,06	18,71	14,25	72	81	86	3,289	3,716	3,92

Çizelge 4.9’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; toplam porozite değerlerinde azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen A20YO ve A30YO numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %87 ve %86 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A20YO numunelerinde ulaşıldığı görülmüştür.

#### **4.2.2.3 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 3. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları**

4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı), % 20 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) + % 80 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 3. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.10 ve EK-9’ da sunulmuştur.

**Çizelge 4.10** 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 3. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>4 Saat Yaşlandırma 3. Grup</b>	<b>Toplam Porozite</b>			<b>Nispi Yoğunluk</b>			<b>Birim Hacim</b>		
	<b>(%)</b>			<b>(%)</b>			<b>Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>YN</b>	44,52	30,87	24,57	55	69	75	3,329	4,148	4,526
<b>A20YN</b>	26,54	20,63	11,61	73	79	88	3,209	3,467	3,861
<b>A30YN</b>	27,85	26,94	14,76	72	73	85	3,299	4,091	3,897

Çizelge 4.10’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinin arttığı, toplam poroziteleri değerlerinin azaldığı görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen A20YN ve A30YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %88 ve %85 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A20YN numunelerinde ulaşıldığı görülmüştür.

#### **4.2.2.4 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Katkısız YSZ Numunelerine Ait Test Sonuçları**

4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Ticari YSZ (Saint Gobain), % 100 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) ve % 100 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.11 ve EK-10’ da sunulmuştur.

**Çizelge 4.11** 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, Katkısız YSZ numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

4S Katkısız YSZ Numuneleri	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm <sub>3</sub> )		
	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450	1500
<b>Sıcaklık (°C)</b>									
<b>YSZ</b>	25,42	14,82	11,27	75	85	89	4,49	5,128	5,342
<b>YO</b>	31,7	25,82	33,09	68	74	67	4,098	4,451	4,014
<b>YN</b>	44,52	30,87	24,57	55	69	75	3,329	4,148	4,526

Çizelge 4.11' de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450°C ve 1500 °C' de sinterlenen YSZ numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %85 ve %89 olarak gerçekleştiği görülmektedir.

#### **4.2.2.5 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %20 YSZ Katkılı Alümina Numunelerine Ait Test Sonuçları**

4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 20 Ticari YSZ + % 80 Alümina, % 20 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı) + % 80 Alümina ve % 20 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkı) + % 80 Alümina tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.12 ve EK-11' de sunulmuştur.

**Çizelge 4.12** 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>4S % 20</b>	<b>YSZ Katkılı Alümina Numuneleri</b>			<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>		
<b>A20YSZ</b>		68,58	25,22	12,73	31	75	87	1,374	3,269	3,815		
<b>A20YO</b>		24,41	17,9	12,75	76	82	87	3,302	3,586	3,811		
<b>A20YN</b>		26,54	20,63	11,61	73	79	88	3,209	3,467	3,861		

Çizelge 4.12’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %87, %87 ve %88 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A20YN numunesinde ulaşıldığı görülmektedir.

#### **4.2.2.6 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %30 YSZ Katkılı Alümina Numunelerine Ait Test Sonuçları**

4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 30 Ticari YSZ + % 70 Alümina, % 30 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı) + % 70 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkı) + % 70 Alümina tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.13 ve EK-12’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.13** 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>4S % 30</b>									
<b>YSZ Katkılı Alümina Numuneleri</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>
<b>A30YSZ</b>	69,92	21,94	10,98	30	78	89	1,714	3,574	4,075
<b>A30YO</b>	28,06	18,71	14,25	72	81	86	3,289	3,716	3,92
<b>A30YN</b>	27,85	26,94	14,76	72	73	85	3,299	4,091	3,897

Çizelge 4.13’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde toplam porozite değerlerinde azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %89, %86 ve %85 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A30YSZ numunesinde ulaşıldığı görülmektedir.

#### **4.2.2.7 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1. Grup Numenelere Ait Test Sonuçları**

8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Ticari YSZ (Saint Gobain), % 20 Ticari YSZ + % 80 Alümina ve % 30 Ticari YSZ + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.14 ve EK-13’ de sunulmuştur.



**Çizelge 4.14** 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>8 Saat Yaşlandırma 1. Grup</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>Sıcaklık (°C)</b>									
<b>YSZ</b>	24,33	15,5	12,51	76	85	88	4,556	5,087	5,267
<b>A20YSZ</b>	37,42	23,07	11,32	63	77	89	2,736	3,364	3,877
<b>A30YSZ</b>	29,43	23,5	10,24	71	61	90	3,231	3,502	4,109

Çizelge 4.14’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde toplam porozite değerlerinde azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen YSZ, A20YSZ ve A30YSZ numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %88, %89 ve %90 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A30YSZ numunelerinde ulaşıldığı görülmektedir.

#### **4.2.2.8 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 2. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları**

8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı), % 20 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) + % 80 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.15 ve EK-14’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.15** 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>8 Saat Yaşlandırma 2. Grup</b>	<b>Toplam Porozite</b>			<b>Nispi Yoğunluk</b>			<b>Birim Hacim</b>		
	<b>(%)</b>			<b>(%)</b>			<b>Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>YO</b>	29,34	28,25	30,1	70	72	70	4,24	4,305	4,194
<b>A20YO</b>	24,3	16,99	12,46	76	83	86	3,306	3,626	3,824
<b>A30YO</b>	27,29	19,28	14,38	73	81	86	3,324	3,691	3,914

Çizelge 4.15’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1500 °C’ de sinterlenen A20YO ve A30YO numunelerinde en yüksek doluluk oranı olarak %86 doluluk oranı görülmektedir.

#### **4.2.2.9 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 3. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları**

8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı), % 20 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) + % 80 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 3. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.16 ve EK-15’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.16** 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 3.Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

8 Saat Yaşlandırma 3. Grup	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm <sub>3</sub> )		
	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450	1500
Sıcaklık (°C)									
YN	45,63	39,52	24,93	54	60	75	3,262	3,629	4,504
A20YN	26,83	17,95	11,98	73	82	88	3,196	3,584	3,845
A30YN	25,38	26,82	14,8	75	73	85	3,412	4,098	3,895

Çizelge 4.16' da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinin arttığı, toplam poroziteleri değerlerinin azaldığı görülmektedir. 1500 °C' de sinterlenen A20YN ve A30YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %88 ve %85 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A20YN numunelerinde ulaşıldığı görülmektedir.

#### 4.2.2.10 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Katkısız YSZ Numunelerine Ait Test Sonuçları

8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Ticari YSZ (Saint Gobain), % 100 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) ve % 100 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.17 ve EK-16' da sunulmuştur.

**Çizelge 4.17** 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, Katkısız YSZ numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

8S Katkısız YSZ Numuneleri	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm <sub>3</sub> )		
	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450	1500
Sıcaklık (°C)									
YSZ	24,33	15,5	12,51	76	85	88	4,556	5,087	5,267
YO	29,34	28,25	30,1	70	72	70	4,24	4,305	4,194
YN	45,63	39,52	24,93	54	60	75	3,262	3,629	4,504

Çizelge 4.17' de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450°C ve 1500 °C' de sinterlenen YSZ numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %85 ve %88 olarak gerçekleştiği görülmektedir.

#### **4.2.2.11 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %20 YSZ Katkılı Alümina Numunelerine Ait Test Sonuçları**

8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 20 Ticari YSZ + % 80 Alümina, % 20 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı) + % 80 Alümina ve % 20 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkı) + % 80 Alümina tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.18 ve EK-17' de sunulmuştur.

**Çizelge 4.18** 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>8S % 20</b>									
<b>YSZ Katkılı Alümina Numuneleri</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>Sıcaklık (°C)</b>									
<b>A20YSZ</b>	37,42	23,07	11,32	63	77	89	2,736	3,364	3,877
<b>A20YO</b>	24,3	16,99	12,46	76	83	86	3,306	3,626	3,824
<b>A20YN</b>	26,83	17,95	11,98	73	82	88	3,196	3,584	3,845

Çizelge 4.18’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde toplam porozite değerlerinde azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %89, %86 ve %88 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A20YSZ numunesinde ulaşıldığı görülmektedir.

#### **4.2.2.12 8 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %30 YSZ Katkılı Alümina Numunelerine Ait Test Sonuçları**

8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 30 Ticari YSZ + % 70 Alümina, % 30 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı) + % 70 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkı) + % 70 Alümina tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.19 ve EK-18’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.19** 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>8S % 30</b>									
<b>YSZ Katkılı Alümina Numuneleri</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>Sıcaklık (°C)</b>									
<b>A30YSZ</b>	29,43	23,5	10,24	71	61	90	3,231	3,502	4,109
<b>A30YO</b>	27,29	19,28	14,38	73	81	86	3,324	3,691	3,914
<b>A30YN</b>	25,38	26,82	14,8	75	73	85	3,412	4,098	3,895

Çizelge 4.19’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %90, %86 ve %85 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A30YSZ numunesinde ulaşıldığı görülmektedir.

#### **4.2.2.13 12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları**

12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Ticari YSZ (Saint Gobain), % 20 Ticari YSZ + % 80 Alümina ve % 30 Ticari YSZ + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 1. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.20 ve EK-19’ da sunulmuştur.

**Çizelge 4.20** 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 1.Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

12 Saat Yaşlandırma 1. Grup	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm <sub>3</sub> )		
	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450	1500
Sıcaklık (°C)									
YSZ	23,77	16,44	10,3	76	83	90	4,589	5,03	5,4
A20YSZ	31,8	24,38	14,01	68	76	86	2,982	3,306	3,76
A30YSZ	32,28	21,65	15,29	68	78	85	3,1	3,587	3,878

Çizelge 4.20' de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde toplam porozite değerlerinde azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde ise artış olduğu görülmektedir. 1500 °C' de sinterlenen YSZ, A20YSZ ve A30YSZ numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %90, %86 ve %85 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A30YSZ numunelerinde ulaşıldığı görülmektedir.

#### 4.2.2.14 12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 2. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları

12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı), % 20 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) + % 80 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.21 ve EK-20' de sunulmuştur.

**Çizelge 4.21** 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 2. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>12 Saat Yaşlandırma 2. Grup</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>Sıcaklık (°C)</b>									
<b>YO</b>	30,32	28,87	30,74	70	71	69	4,181	4,268	4,156
<b>A20YO</b>	26,47	18,51	13,09	74	81	87	3,212	3,559	3,796
<b>A30YO</b>	27,88	20,03	13,15	72	80	87	3,297	3,656	3,971

Çizelge 4.21’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte A20YN ve A30YN numunelerinde birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinin arttığı, YO numunelerinde ise 1450 °C’ de artıp 1500 °C’ de azaldığı görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen A20YO ve A30YO numunelerinde en yüksek doluluk oranı olarak %87 doluluk oranı görülmektedir.

#### **4.2.2.15 12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 3. Grup Numunelere Ait Test Sonuçları**

12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Deneysel YSZ (Yitrium Nitrat katkı), % 20 Deneysel YSZ (Yitrium Nitrat katkı) + % 80 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Yitrium Nitrat katkı) + % 70 Alümina reçetelerinden oluşan, 3. Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.22 ve EK-21’ de sunulmuştur.



**Çizelge 4.22** 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan 3.Grup numunelere ait sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

12 Saat Yaşlandırma 3. Grup	Toplam Porozite (%)			Nispi Yoğunluk (%)			Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm <sub>3</sub> )		
	1400	1450	1500	1400	1450	1500	1400	1450	1500
Sıcaklık (°C)									
YN	44,73	39,13	23,22	55	61	77	3,316	3,652	4,607
A20YN	28,07	19,77	12,64	72	80	87	3,142	3,505	3,816
A30YN	27,29	27,26	14,84	73	89	85	3,324	4,073	3,893

Çizelge 4.22’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinin arttığı, toplam poroziteleri değerlerinin azaldığı görülmektedir. A20YN ve A30YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla 1500 °C’ de sinterlenen A20YN %87 ve 1500 °C’ de sinterlenen A30YN %89 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına A30YN numunelerinde ulaşıldığı görülmektedir.

#### 4.2.2.16 12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Katkısız YSZ Numunelerine Ait Test Sonuçları

12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 100 Ticari YSZ (Saint Gobain), % 100 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı) ve % 100 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkılı) tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.23 ve EK-22’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.23** 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, Katkısız YSZ numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>12S</b>									
<b>Katkısız</b>	<b>Toplam Porozite</b>			<b>Nispi Yoğunluk</b>			<b>Birim Hacim</b>		
<b>YSZ</b>	<b>(%)</b>			<b>(%)</b>			<b>Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
<b>Numuneleri</b>									
<b>Sıcaklık</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>
<b>(°C)</b>									
<b>YSZ</b>	23,66	15,71	12,01	77	85	88	4,596	5,074	5,297
<b>YO</b>	30,32	28,87	30,74	70	71	69	4,181	4,268	4,156
<b>YN</b>	44,73	39,13	23,22	55	61	77	3,316	3,652	4,607

Çizelge 4.23' de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450°C ve 1500 °C' de sinterlenen YSZ numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %85 ve %88 olarak gerçekleştiği görülmektedir.

#### **4.2.2.17 12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %20 YSZ Katkılı Alümina Numunelerine Ait Test Sonuçları**

12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 20 Ticari YSZ + % 80 Alümina, % 20 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı) + % 80 Alümina ve % 20 Deneysel YSZ (Yittrium Nitrat katkı) + % 80 Alümina tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.24 ve EK-23' de sunulmuştur.

**Çizelge 4.24** 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>12S % 20</b>									
<b>YSZ Katkılı Alümina Numuneleri</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>
<b>A20YSZ</b>	33,58	21,41	17,07	66	79	83	2,904	3,436	3,626
<b>A20YO</b>	26,47	18,51	13,09	74	81	87	3,212	3,559	3,796
<b>A20YN</b>	28,07	19,77	12,64	72	80	87	3,142	3,505	3,816

Çizelge 4.24’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerde toplam porozite değerlerinde azalma, birim hacim ağırlığı ve nispi yoğunluk değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 1500 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %83, %87 ve %87 olarak gerçekleştiği görülmektedir.

#### **4.2.2.18 12 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan %30 YSZ Katkılı Alümina Numunelerine Ait Test Sonuçları**

12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, % 30 Ticari YSZ + % 70 Alümina, % 30 Deneysel YSZ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkı) + % 70 Alümina ve % 30 Deneysel YSZ (Yitrium Nitrat katkı) + % 70 Alümina tozlarından oluşturulan numunelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerinin test sonuçları Çizelge 4.25 ve EK-24’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.25** 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerine ait sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler test sonuçları.

<b>12S % 30</b>									
<b>YSZ Katkılı Alümina Numuneleri</b>	<b>Toplam Porozite (%)</b>			<b>Nispi Yoğunluk (%)</b>			<b>Birim Hacim Ağırlığı(gr/cm<sub>3</sub>)</b>		
	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>	<b>1500</b>	<b>1400</b>	<b>1450</b>
<b>A30YSZ</b>	32,33	24,69	16,27	68	75	84	3,098	3,448	3,833
<b>A30YO</b>	27,88	20,03	13,15	72	80	87	3,297	3,656	3,971
<b>A30YN</b>	27,29	27,26	14,84	73	89	85	3,324	4,073	3,893

Çizelge 4.25’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1500 °C’ de sinterlenen A30YO, 1450 °C’ de ve 1500 °C’ de sinterlenen A30YN numunelerinde doluluk oranlarının sırasıyla %87, %89 ve %85 olarak gerçekleştiği, en yüksek doluluk oranına 1450 °C’ de A30YN numunesinde ulaşıldığı görülmektedir.

#### **4.2.3 Fiziksel Testlerin Toplu Sonuçları**

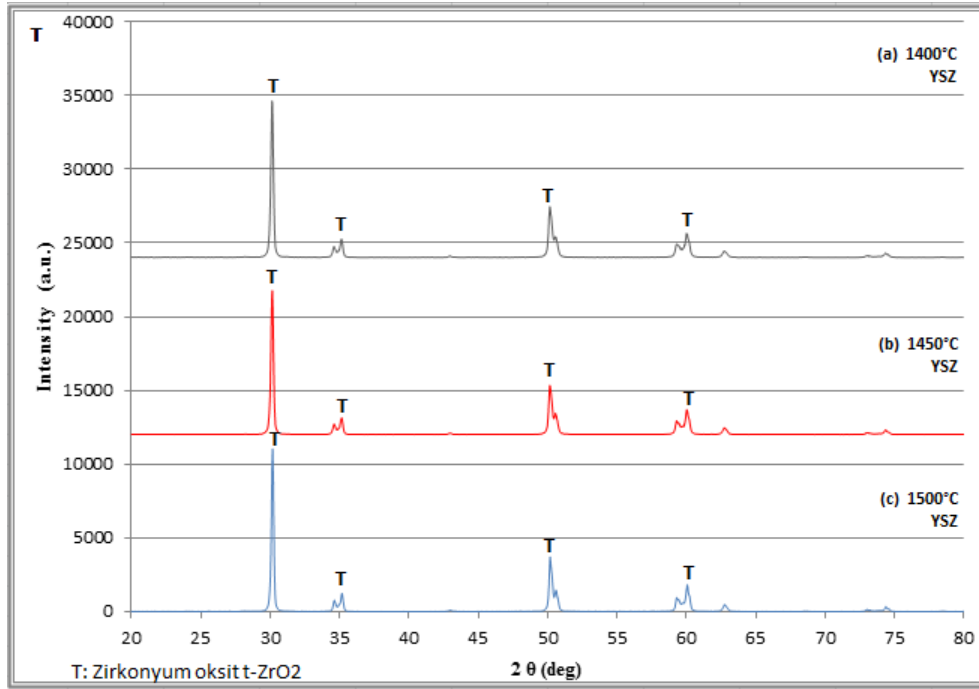
Fiziksel testlerin numunelerin sinterleme sıcaklığına, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen toplu sonuçları EK-28’ de sunulmuştur.

### 4.3 X-Işınları Difraktometresi (XRD) Faz Analizi Sonuçları

#### 4.3.1 Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numunelere Ait XRD Sonuçları

##### 4.3.1.1 1400, 1450 ve 1500 °C' lerde Sinterlenen YSZ Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400, 1450 ve 1500 °C' lerde sinterlenen YSZ numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.3 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.26' da sunulmuştur.



Şekil 4.3 1400, 1450 ve 1500 °C' lerde sinterlenen YSZ numunelerine ait XRD sonuçları.

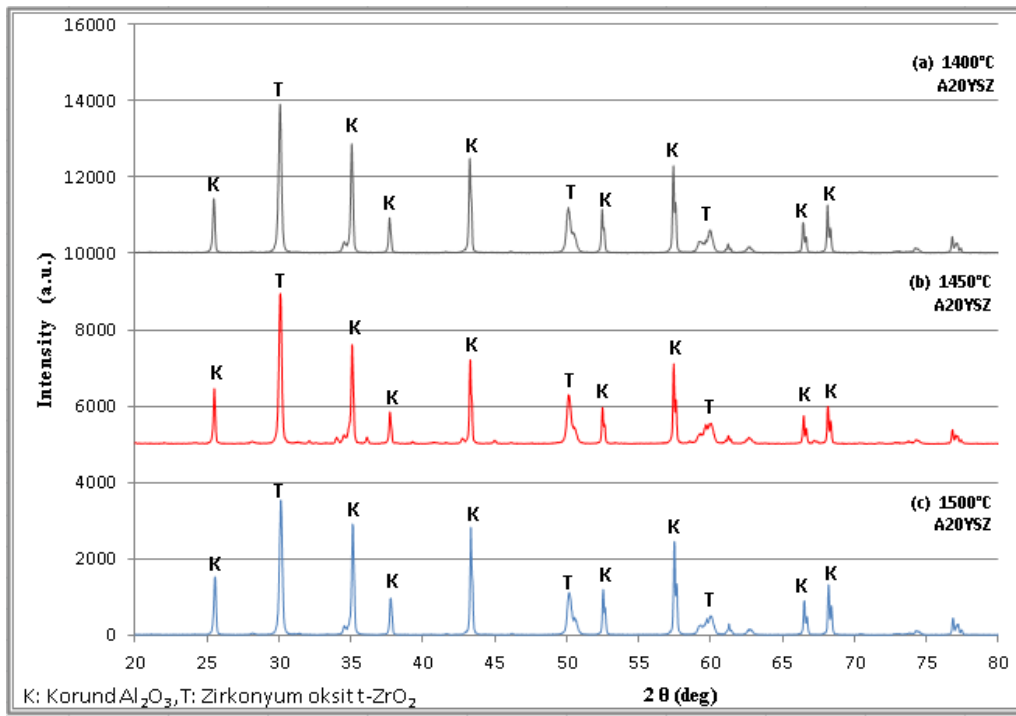
Çizelge 4.26 1400, 1450 ve 1500 °C' lerde sinterlenen YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )			
Numune Kodu	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	100	100	100

Çizelge 4.26’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; tüm sıcaklıklarda tetragonal zirkonya % sinin %100 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.2 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde Sinterlenen A20YSZ Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YSZ numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.4 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.27’ de sunulmuştur.



Şekil 4.4 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YSZ numunelerine ait XRD sonuçları.

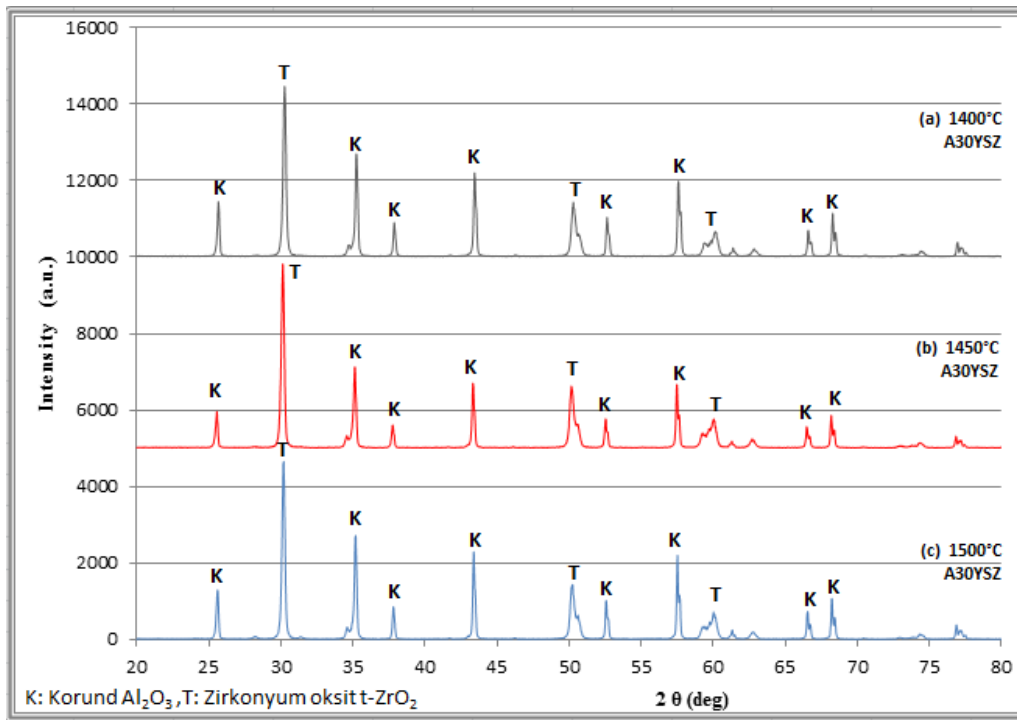
Çizelge 4.27 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )			
Numune Kodu	1400 °C	1450 °C	1500 °C
A20YSZ	100	100	100

Çizelge 4.27’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; tüm sıcaklıklarda tetragonal zirkonya % sinin %100 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.3 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde Sinterlenen A30YSZ Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YSZ numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.5 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.28’ de sunulmuştur.



Şekil 4.5 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YSZ numunelerine ait XRD sonuçları.

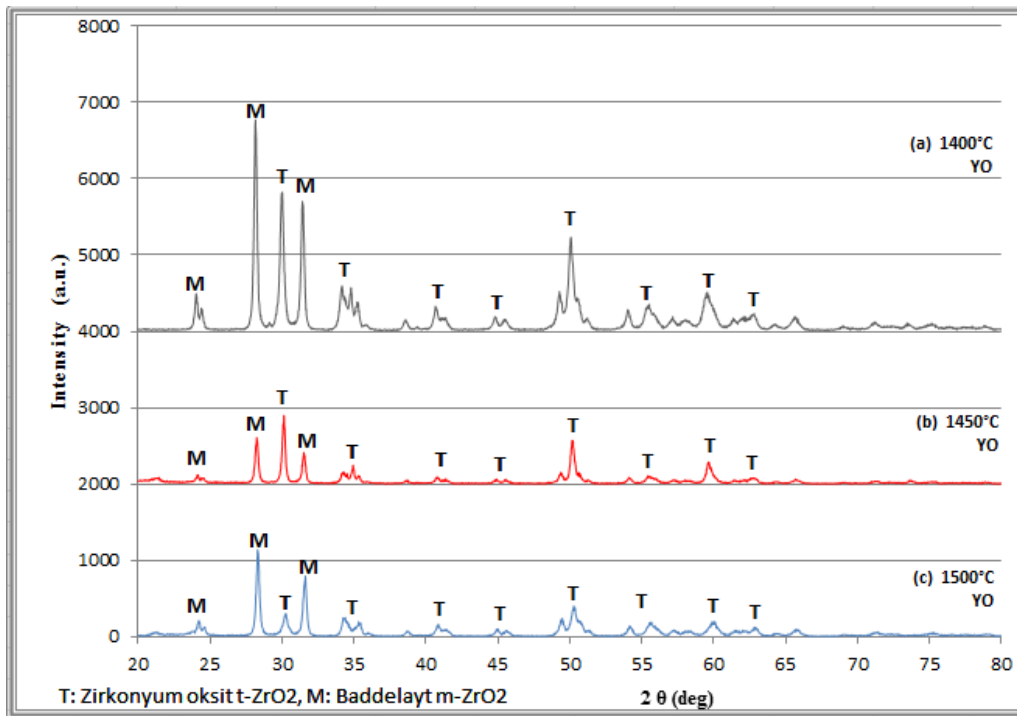
Çizelge 4.28 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )			
Numune Kodu	1400 °C	1450 °C	1500 °C
A30YSZ	100	100	100

Çizelge 4.28’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; tüm sıcaklıklarda tetragonal zirkonya % sinin %100 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.4 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde Sinterlenen YO Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YO numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.6 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.29’ da sunulmuştur.



Şekil 4.6 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YO numunelerine ait XRD sonuçları.

Çizelge 4.29 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

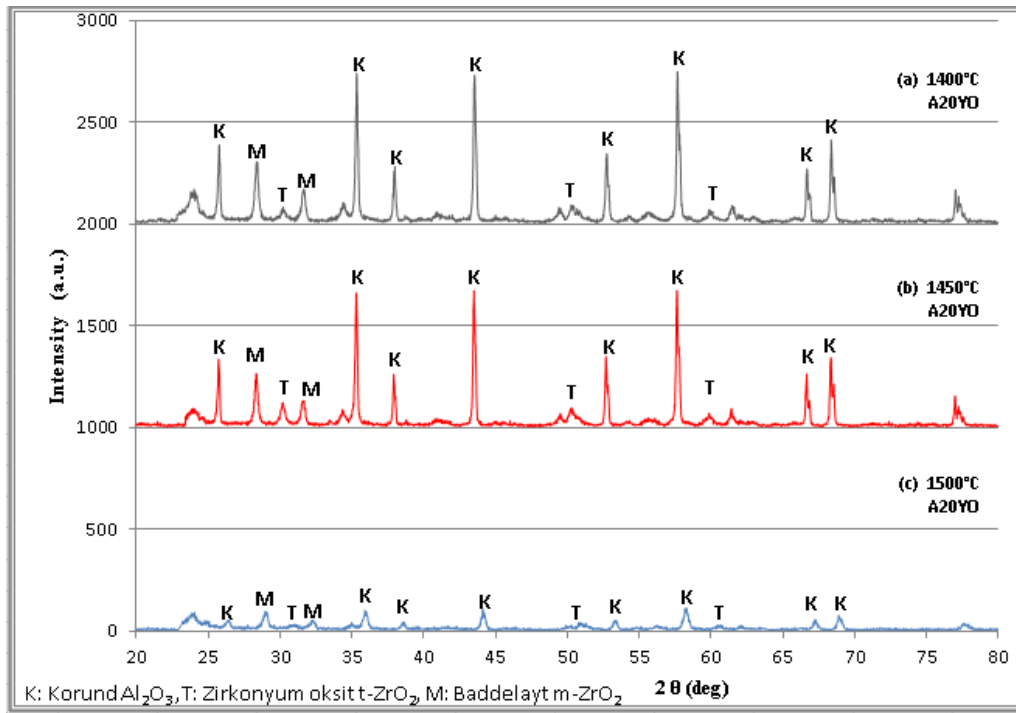
Tetragonal Zirkonya ( % )			
Numune Kodu	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YO	28,2	46,52	13,64



Çizelge 4.29’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; tetragonal zirkonya % sinin 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sırasıyla 28,2 – 46,52 ve 13,64 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.5 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde Sinterlenen A20YO Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YO numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.7 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.30’ da sunulmuştur.



Şekil 4.7 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YO numunelerine ait XRD sonuçları.

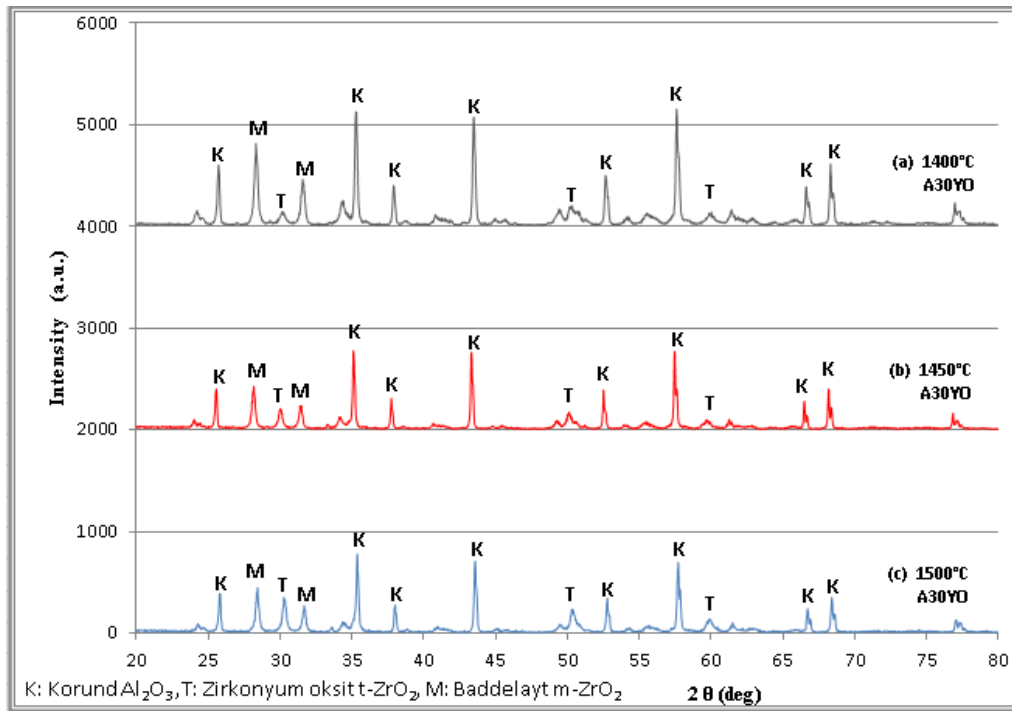
Çizelge 4.30 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )			
Numune Kodu	1400 °C	1450 °C	1500 °C
A20YO	15,94	24,16	18,57

Çizelge 4.30' da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; tetragonal zirkonya % sinin 1400, 1450 ve 1500 °C' lere sırasıyla 15,94 – 24,16 ve 18,57 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.6 1400, 1450 ve 1500 °C' lere Sinterlenen A30YO Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400, 1450 ve 1500 °C' lere sinterlenen A30YO numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.8 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.31' de sunulmuştur.



Şekil 4.8 1400, 1450 ve 1500 °C' lere sinterlenen A30YO numunelerine ait XRD sonuçları.

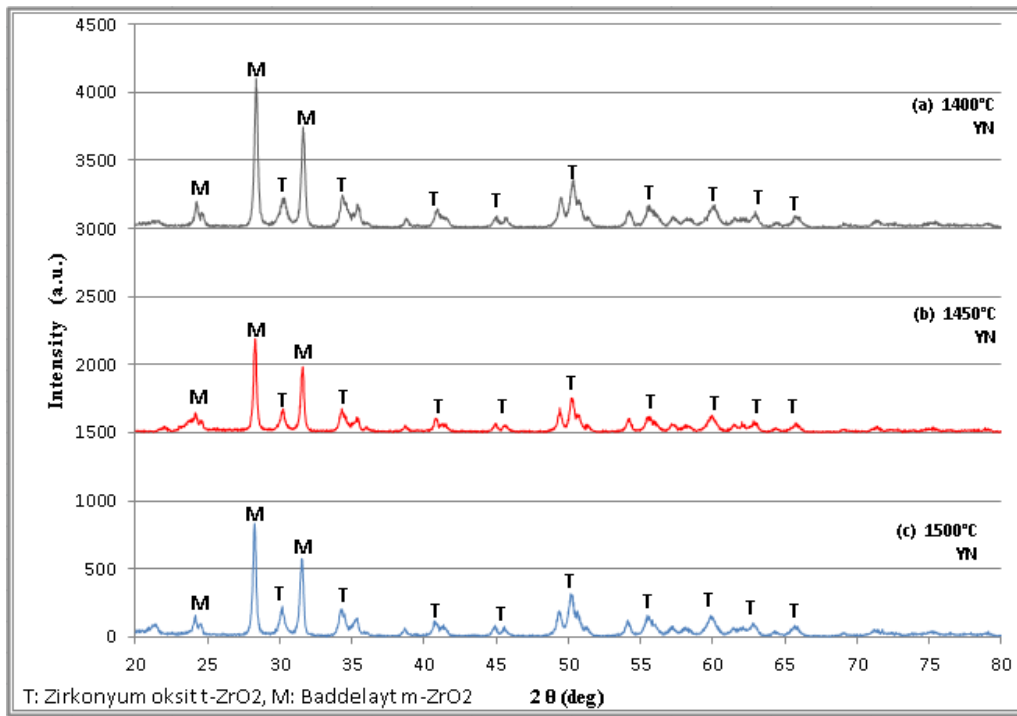
Çizelge 4.31 1400, 1450 ve 1500 °C' lere sinterlenen A30YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )			
Numune Kodu	1400 °C	1450 °C	1500 °C
A30YO	12,17	23,98	32,97

Çizelge 4.31’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; tetragonal zirkonya % sinin 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sırasıyla 12,17 – 23,98 ve 32,97 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.7 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde Sinterlenen YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YN numunelerine ait XRD sonuçları Sekil 4.9 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.32’ de sunulmuştur.



Şekil 4.9 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YN numunelerine ait XRD sonuçları.

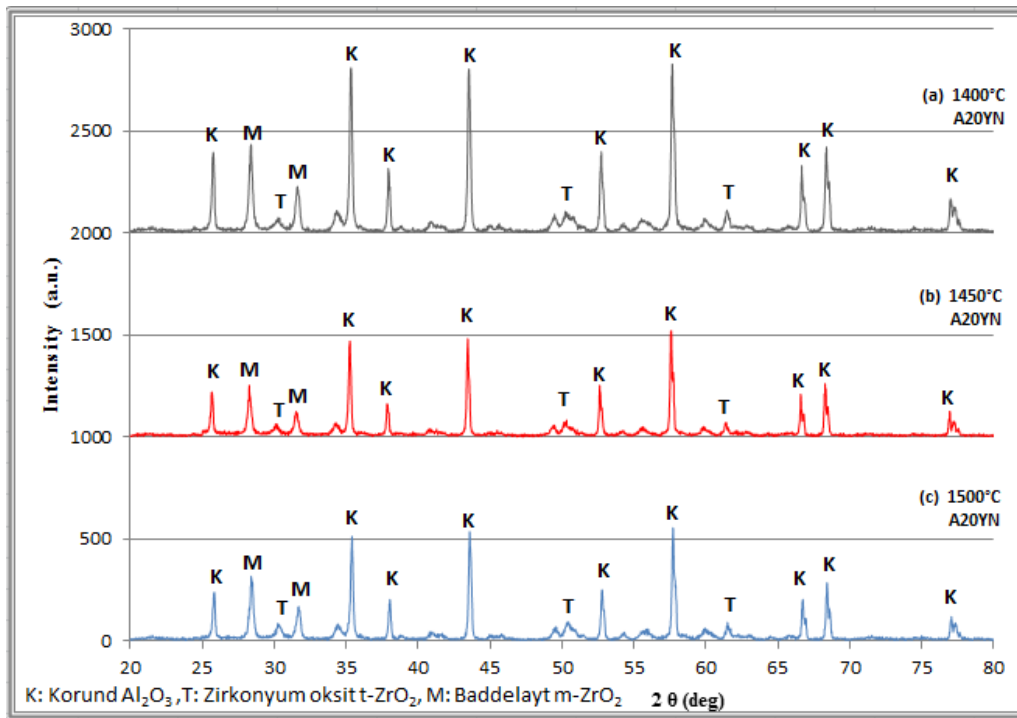
Çizelge 4.32 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )			
Numune Kodu	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YN	11,02	13,85	13,22

Çizelge 4.32’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; tetragonal zirkonya % sinin 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sırasıyla 11,02 – 13,85 ve 13,22 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.8 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde Sinterlenen A20YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.10 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.33’ de sunulmuştur.



Şekil 4.10 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YN numunelerine ait XRD sonuçları.

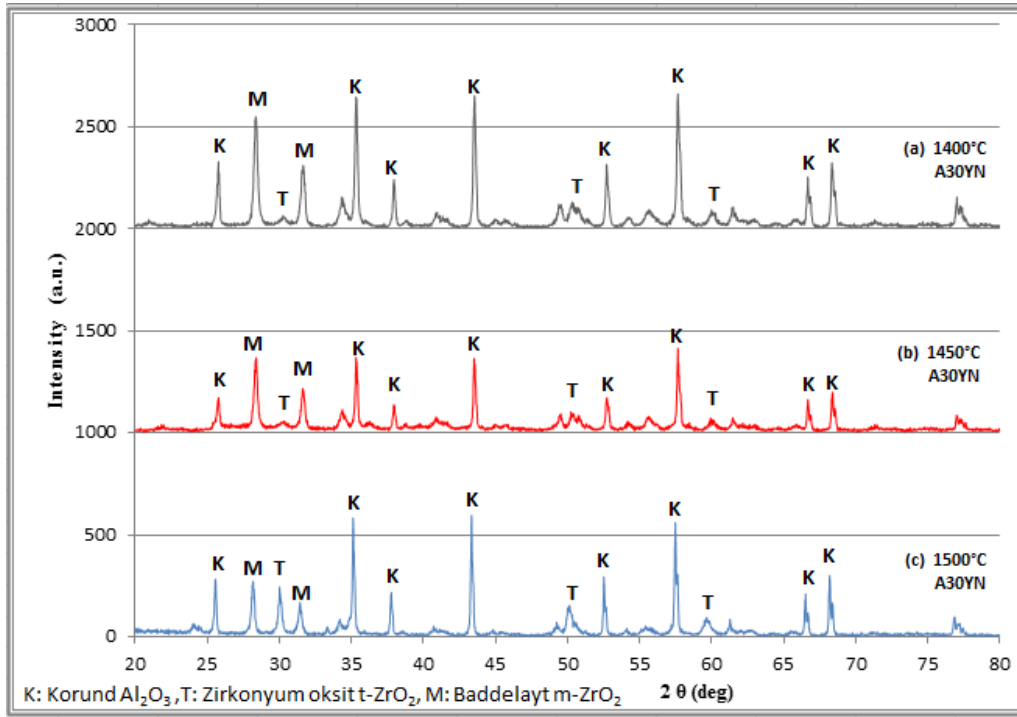
Çizelge 4.33 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )			
Numune Kodu	1400 °C	1450 °C	1500 °C
A20YN	10,49	15,34	15,36

Çizelge 4.33’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; tetragonal zirkonya % sinin 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sırasıyla 28,2 – 15,34 ve 15,36 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.9 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde Sinterlenen A30YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.11 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.34’ de sunulmuştur.



Şekil 4.11 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YN numunelerine ait XRD sonuçları.

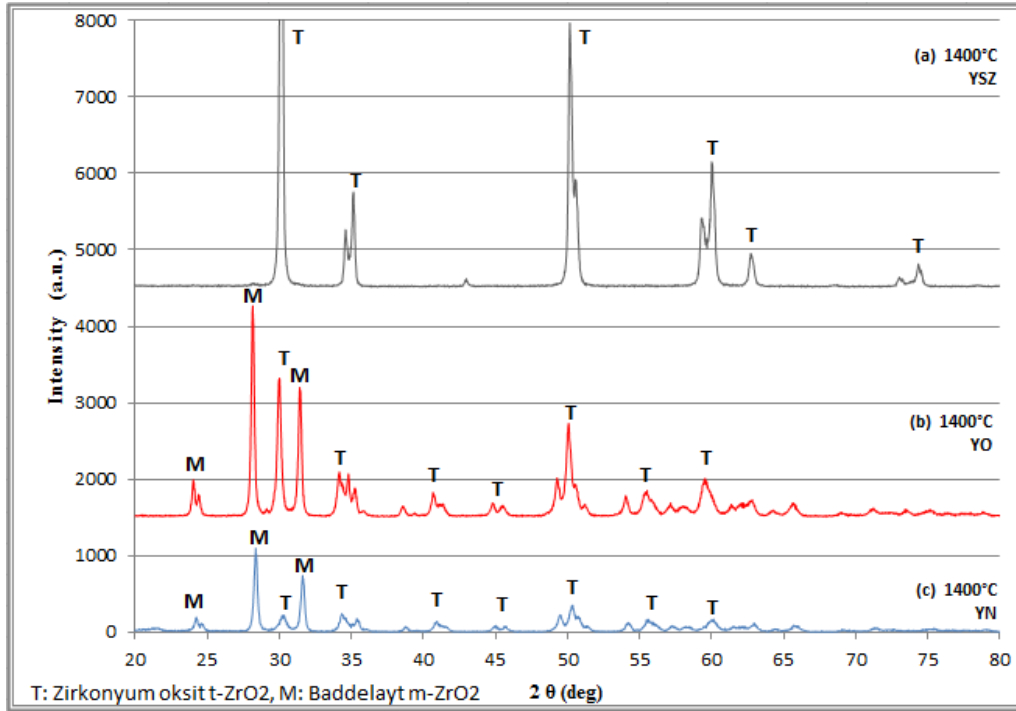
Çizelge 4.34 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sinterlenen A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )			
Numune Kodu	1400 °C	1450 °C	1500 °C
A30YN	10	19,52	35,94

Çizelge 4.34’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; tetragonal zirkonya % sinin 1400, 1450 ve 1500 °C’ lerde sırasıyla 10 – 19,52 ve 35,94 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.10 1400 °C’ de Sinterlenen YSZ, YO ve YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.12 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.35’ de sunulmuştur.



Şekil 4.12 1400 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait XRD sonuçları.

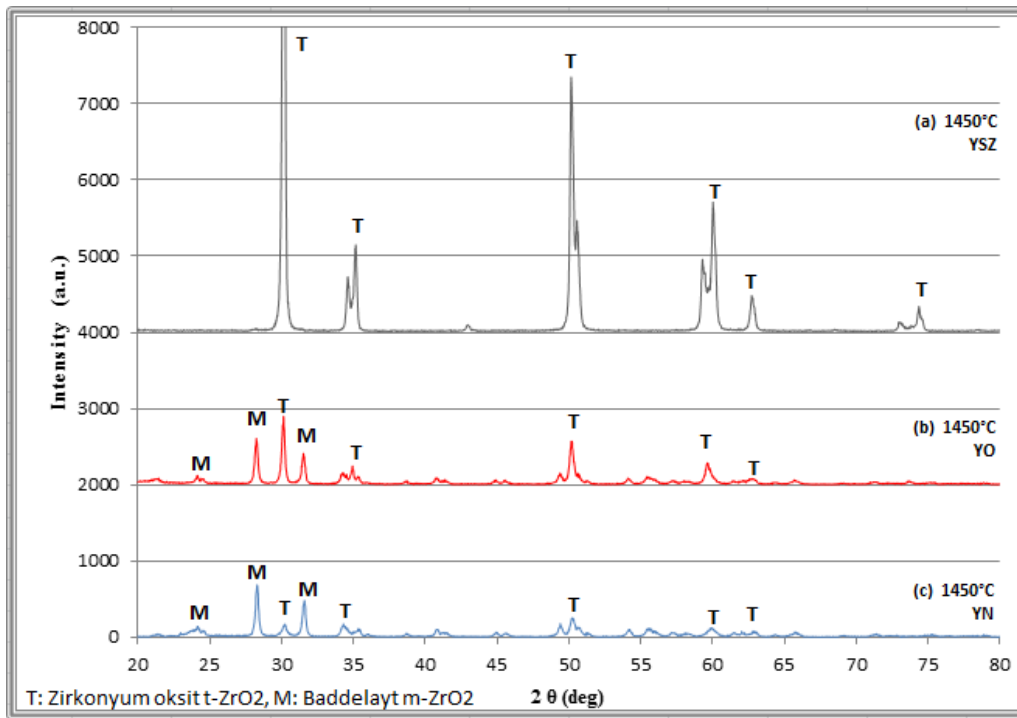
Çizelge 4.35 1400 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )	
Numune Kodu	1400 ° C
YSZ	100
YO	28,2
YN	11,02

Çizelge 4.35’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1400 °C’ de YSZ, YO ve YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 100 – 28,2 ve 11,02 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.11 1450 °C’ de Sinterlenen YSZ, YO ve YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.13 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.36’ da sunulmuştur.



Şekil 4.13 1450 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait XRD sonuçları.

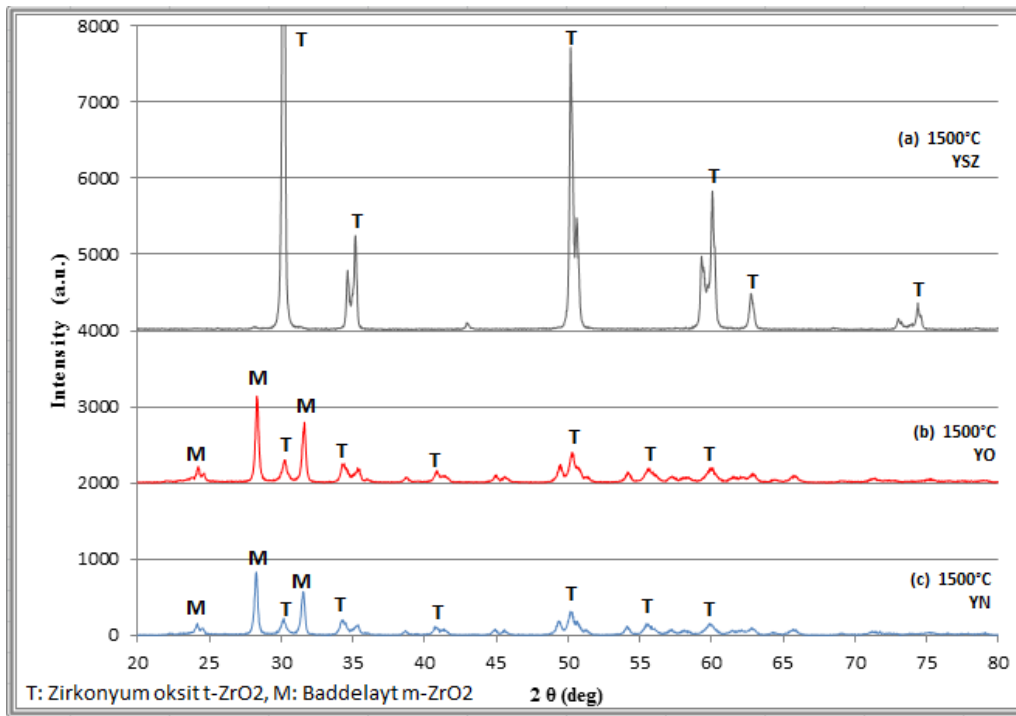
Çizelge 4.36 1450 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )	
Numune Kodu	1450 ° C
YSZ	100
YO	46,52
YN	13,85

Çizelge 4.36’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de YSZ, YO ve YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 100 – 46,52 ve 13,85 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.12 1500 °C’ de Sinterlenen YSZ, YO ve YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1500 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.14 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.37’ de sunulmuştur.



Şekil 4.14 1500 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait XRD sonuçları.

Çizelge 4.37 1500 °C’ de sinterlenen YSZ, YO ve YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

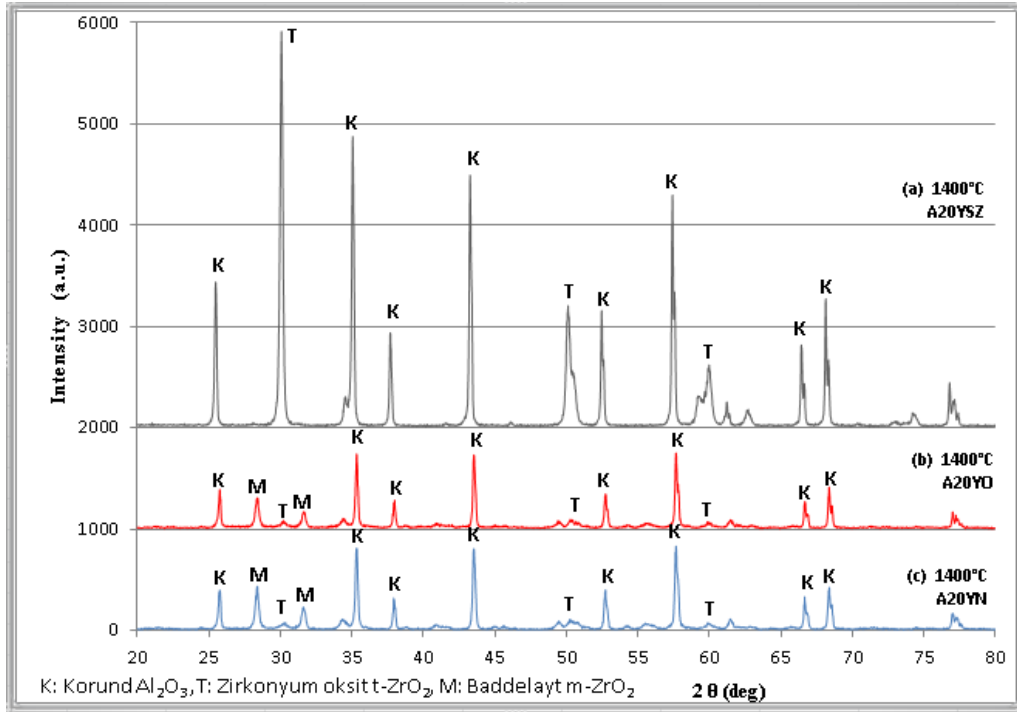
Tetragonal Zirkonya ( % )	
Numune Kodu	1500 ° C
YSZ	100
YO	13,64
YN	13,22



Çizelge 4.37’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1500 °C’ de YSZ, YO ve YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 100 – 13,64 ve 13,22 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.13 1400 °C’ de Sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.15 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.38’ de sunulmuştur.



Şekil 4.15 1400 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait XRD sonuçları.

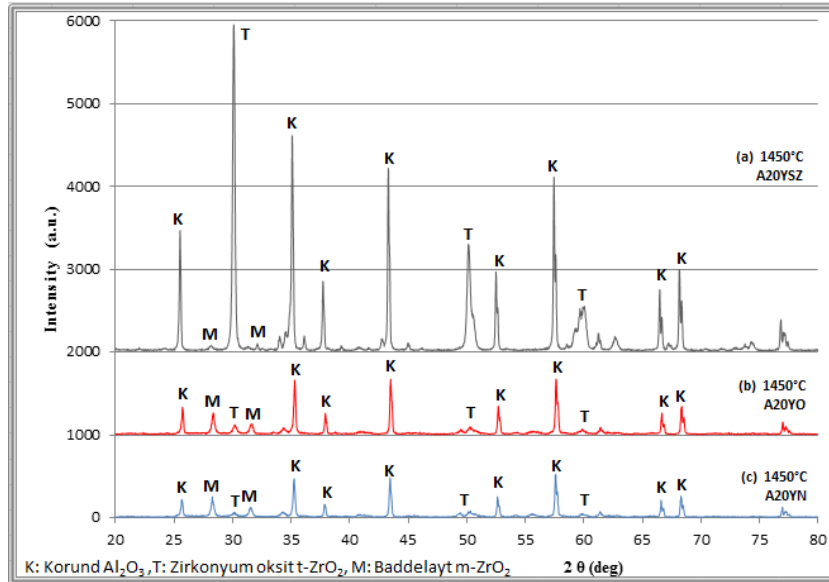
**Çizelge 4.38** 1400 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )	
Numune Kodu	1400 °C
A20YSZ	100
A20YO	15,94
A20YN	10,49

Çizelge 4.38’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1400 °C’ de A20YSZ, A20YO ve A20YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 100 – 15,94 ve 10,49 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.14 1450 °C’ de Sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.16 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.39’ da sunulmuştur.



**Şekil 4.16** 1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait XRD sonuçları.

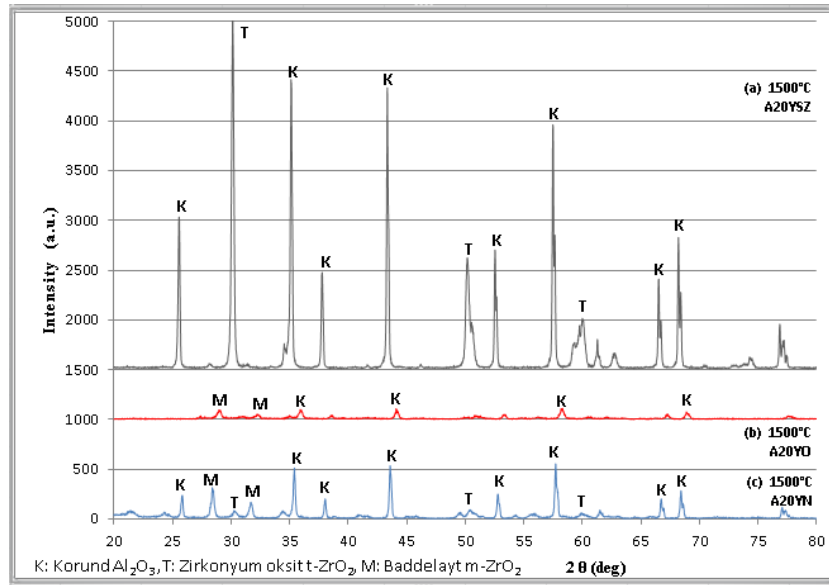
**Çizelge 4.39** 1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )	
Numune Kodu	1450 ° C
A20YSZ	100
A20YO	24,16
A20YN	15,34

Çizelge 4.39’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de A20YSZ, A20YO ve A20YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 100 – 24,16 ve 15,34 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.15 1500 °C’ de Sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1500 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.17 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.40’ da sunulmuştur.



**Şekil 4.17** 1500 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait XRD sonuçları.

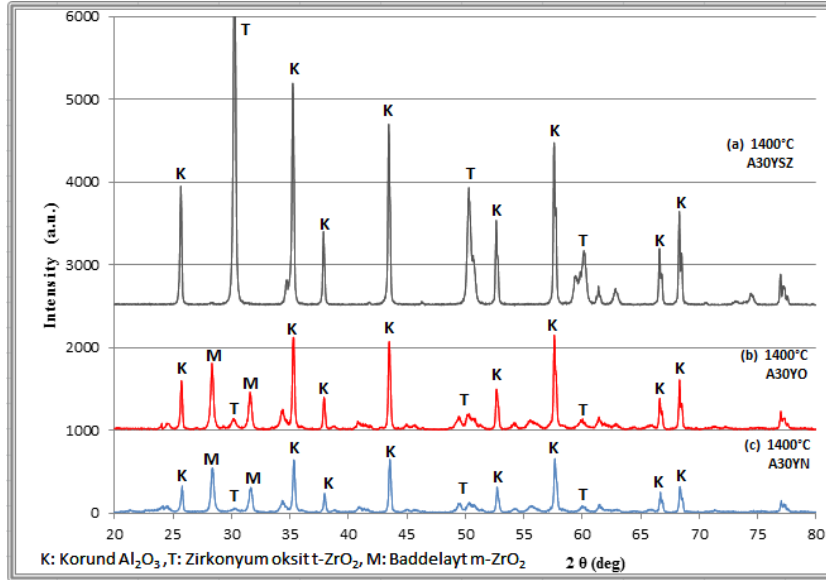
**Çizelge 4.40** 1500 °C’ de sinterlenen A20YSZ, A20YO ve A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )	
Numune Kodu	1500 ° C
A20YSZ	100
A20YO	18,57
A20YN	15,36

Çizelge 4.40’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1500 °C’ de A20YSZ, A20YO ve A20YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 100 – 18,57 ve 15,36 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.16 1400 °C’ de Sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1400 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait XRD sonuçları Sekil 4.18 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.41’ de sunulmuştur.



**Şekil 4.18** 1400 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait XRD sonuçları.

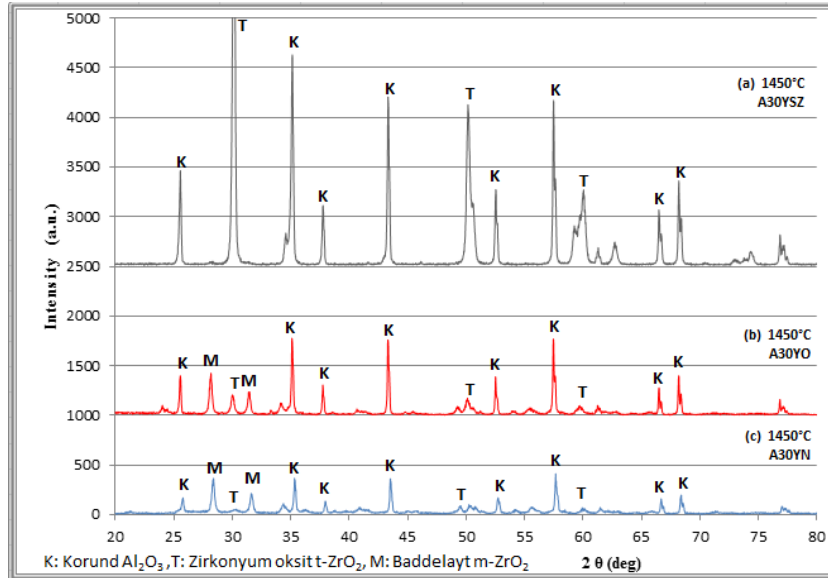
**Çizelge 4.41** 1400 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )	
Numune Kodu	1400 ° C
A30YSZ	100
A30YO	12,17
A30YN	10

Çizelge 4.41’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1400 °C’ de A30YSZ, A30YO ve A30YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 100 – 12,17 ve 10 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.17 1450 °C’ de Sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.19 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.42’ de sunulmuştur.



**Şekil 4.19** 1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait XRD sonuçları.

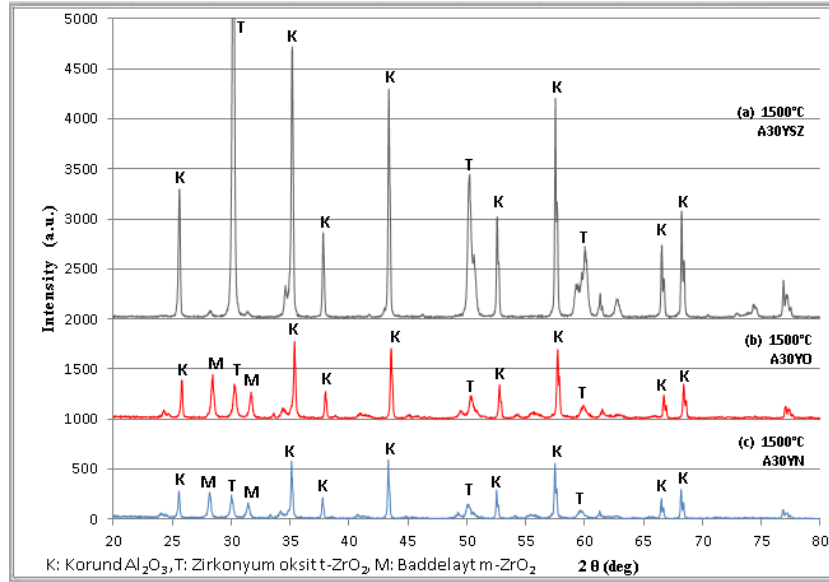
**Çizelge 4.42** 1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

Tetragonal Zirkonya ( % )	
Numune Kodu	1450 ° C
A30YSZ	100
A30YO	23,98
A30YN	19,52

Çizelge 4.42’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de A30YSZ, A30YO ve A30YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 100 – 23,98 ve 19,52 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1.18 1500 °C’ de Sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN Numunelerine Ait XRD Sonuçları

1500 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.20 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.43’ de sunulmuştur.



**Şekil 4.20** 1500 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait XRD sonuçları.

**Çizelge 4.43** 1500 °C’ de sinterlenen A30YSZ, A30YO ve A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

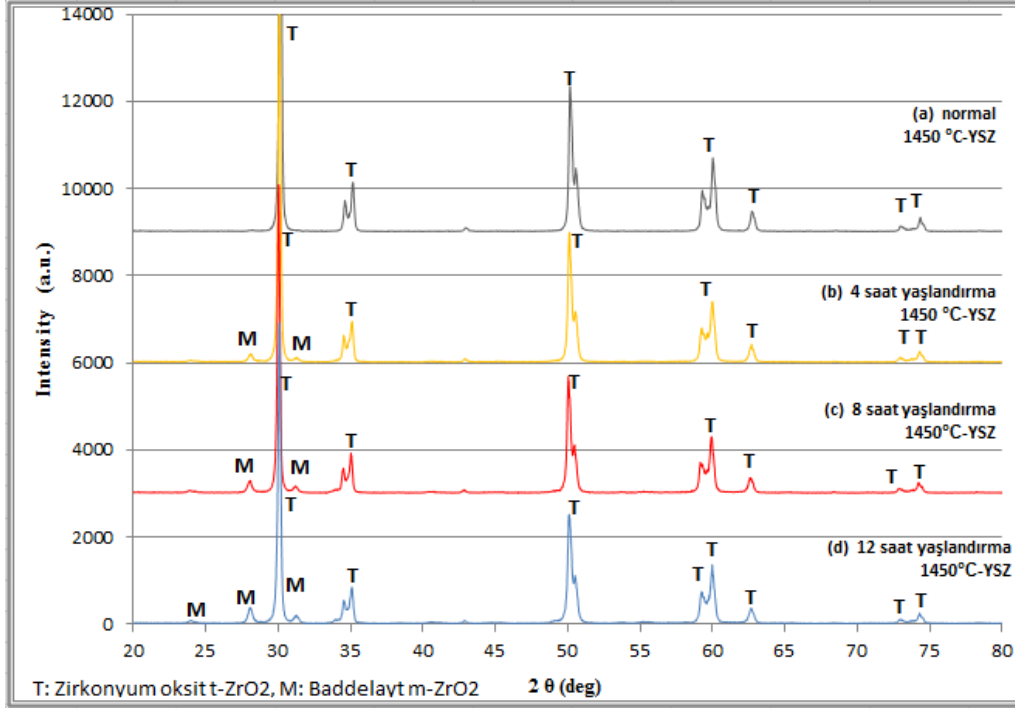
<b>Tetragonal Zirkonya ( % )</b>	
<b>Numune Kodu</b>	<b>1500 ° C</b>
<b>A30YSZ</b>	100
<b>A30YO</b>	32,97
<b>A30YN</b>	35,94

Çizelge 4.43’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1500 °C’ de A30YSZ, A30YO ve A30YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 100 – 32,97 ve 35,94 olduğu görülmektedir.

#### **4.3.2 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış Numunelere Ait XRD Sonuçları**

##### **4.6.2.1 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış YSZ Numunelerine Ait XRD Sonuçları**

1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YSZ numunelerine ait XRD sonuçları Sekil 4.21 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.44’ de sunulmuştur.



Şekil 4.21 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YSZ numunelerine ait XRD sonuçları.

Çizelge 4.44 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

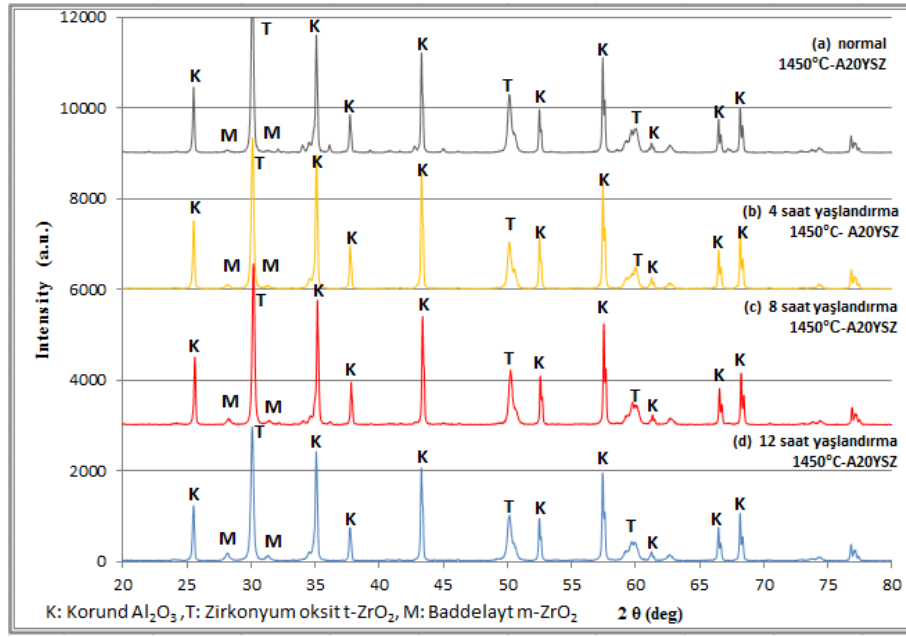
1450 °C		Tetragonal Zirkonya ( % )		
Numune Kodu	Normal	Yaşlandırma İşlemi Uygulanan		
		4 Saat	8 Saat	12 Saat
YSZ	100	96,8	93,7	92

Çizelge 4.44’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de sinterlenen 4 saat, 8 saat, 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanan ve normal YSZ numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 96,8 – 93,7- 92 ve 100 olduğu görülmektedir.



### 4.3.2.2 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A20YSZ Numunesine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YSZ numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.22 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.45’ de sunulmuştur.



Şekil 4.22 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YSZ numunelerine ait XRD sonuçları.

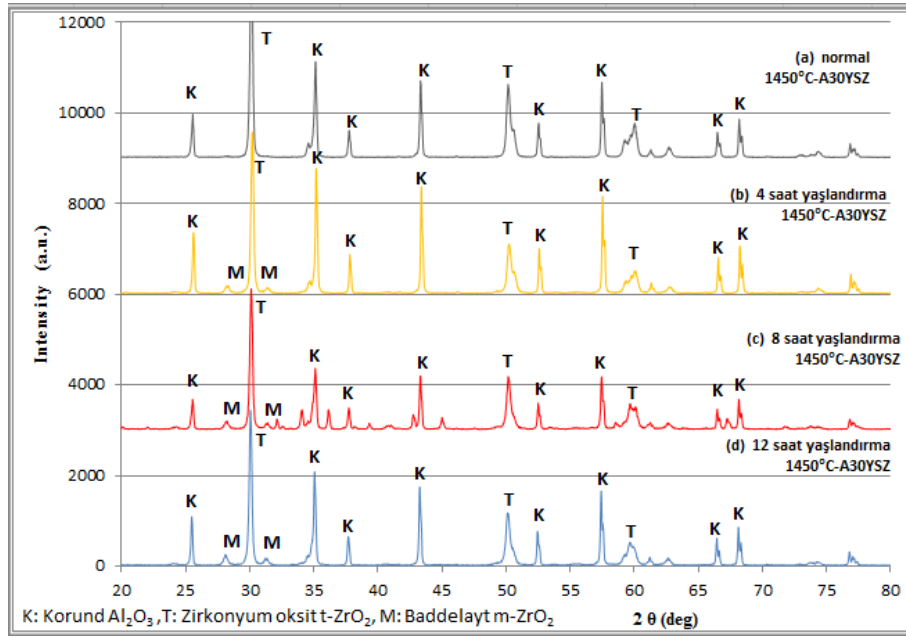
Çizelge 4.45 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

1450 °C		Tetragonal Zirkonya ( % )		
Numune Kodu	Normal	Yaşlandırma İşlemi Uygulanan		
		4 Saat	8 Saat	12 Saat
A20YSZ	100	93,65	92,5	89,92

Çizelge 4.45’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de sinterlenen 4 saat, 8 saat, 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanan ve normal A20YSZ numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 93,65- 92,5- 89,92 ve 100 olduğu görülmektedir.

### 4.3.2.3 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A30YSZ Numunesine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YSZ numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.23 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.46’ da sunulmuştur.



Şekil 4.23 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YSZ numunelerine ait XRD sonuçları.

Çizelge 4.46 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YSZ numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

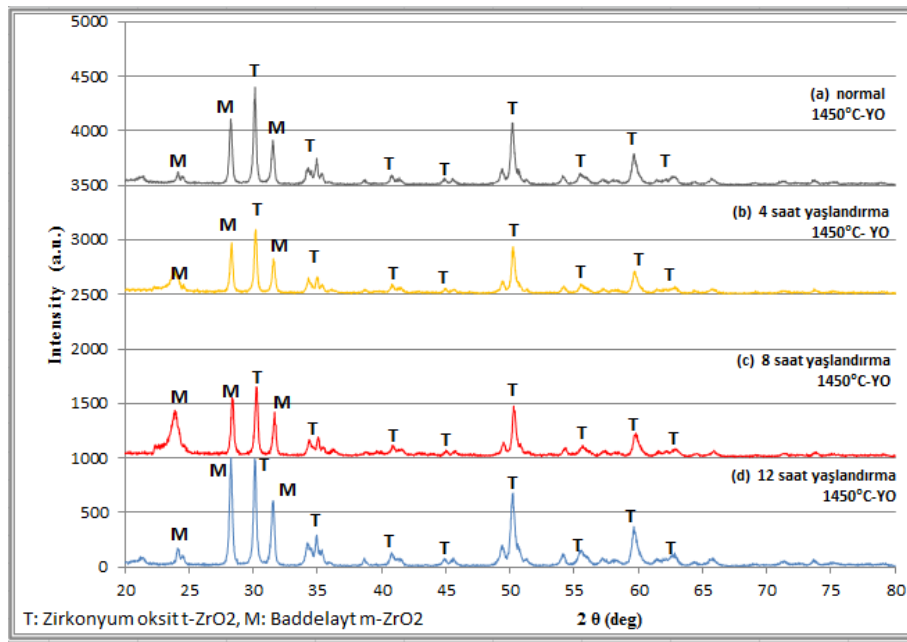
1450 °C	Tetragonal Zirkonya ( % )				
	Numune Kodu	Normal	Yaşlandırma İşlemi Uygulanan		
			4 Saat	8 Saat	12 Saat
A30YSZ		100	89,72	89,35	88,47

Çizelge 4.46’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de sinterlenen 4 saat, 8 saat, 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanan ve normal A30YSZ numuneleri için

tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 89,72- 89,35- 88,47 ve 100 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.2.4 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış YO Numunesine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YO numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.24 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.47’ de sunulmuştur.



Şekil 4.24 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YO numunelerine ait XRD sonuçları.

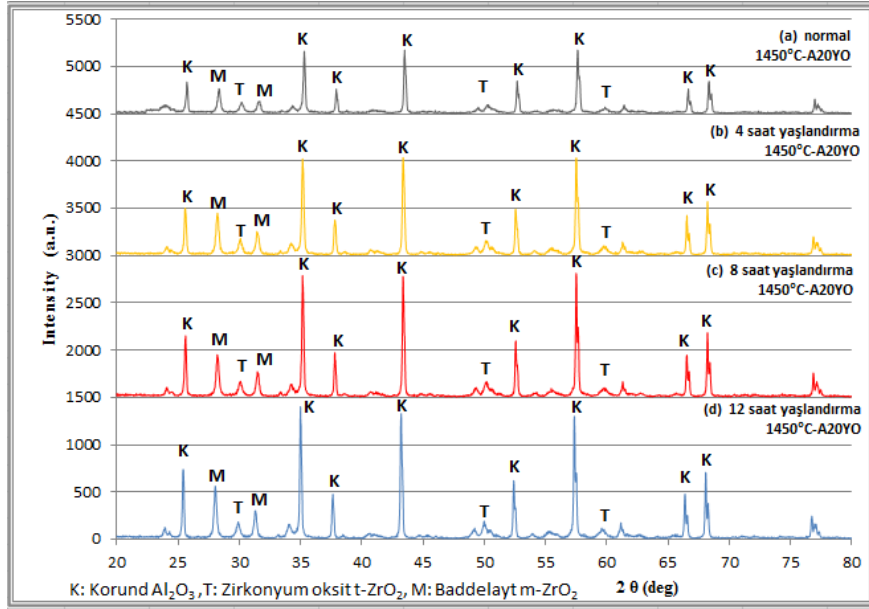
Çizelge 4.47 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

1450 °C		Tetragonal Zirkonya ( % )		
Numune Kodu	Normal	Yaşlandırma İşlemi Uygulanan		
		4 Saat	8 Saat	12 Saat
YO	46,52	42,68	40	38,3

Çizelge 4.47’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de sinterlenen 4 saat, 8 saat, 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanan ve normal YO numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 42,68- 40- 38,3 ve 46,52 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.2.5 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A20YO Numunesine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YO numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.25 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.48’ de sunulmuştur.



Şekil 4.25 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YO numunelerine ait XRD sonuçları.

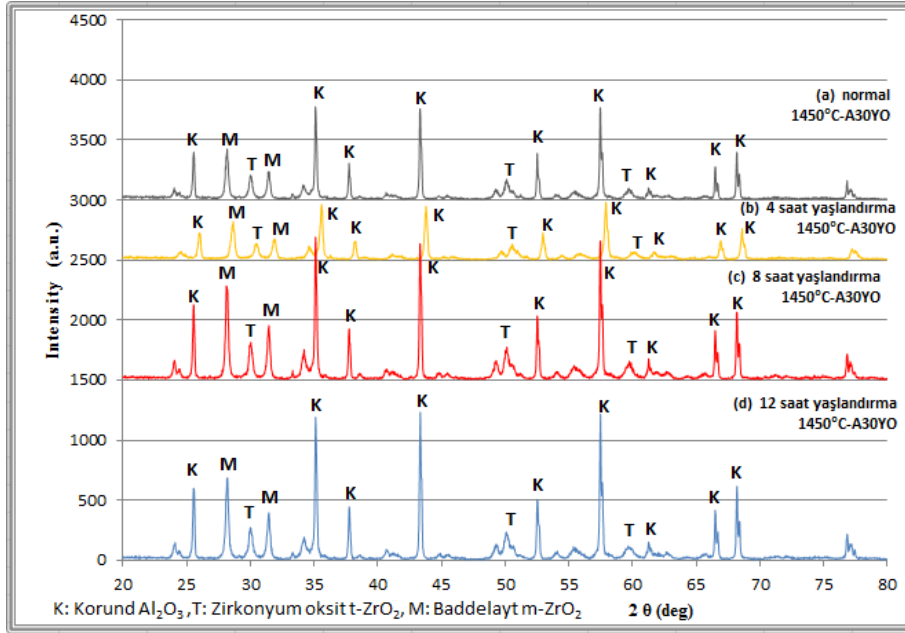
Çizelge 4.48 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

1450 °C		Tetragonal Zirkonya ( % )		
Numune Kodu	Normal	Yaşlandırma İşlemi Uygulanan		
		4 Saat	8 Saat	12 Saat
A20YO	24,16	20,81	19,61	17,52

Çizelge 4.48’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de sinterlenen 4 saat, 8 saat, 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanan ve normal A20YO numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 20,81- 19,61- 17,52 ve 24,16 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.2.6 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A30YO Numunesine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YO numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.26 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.49’ da sunulmuştur.



Şekil 4.26 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YO numunelerine ait XRD sonuçları.

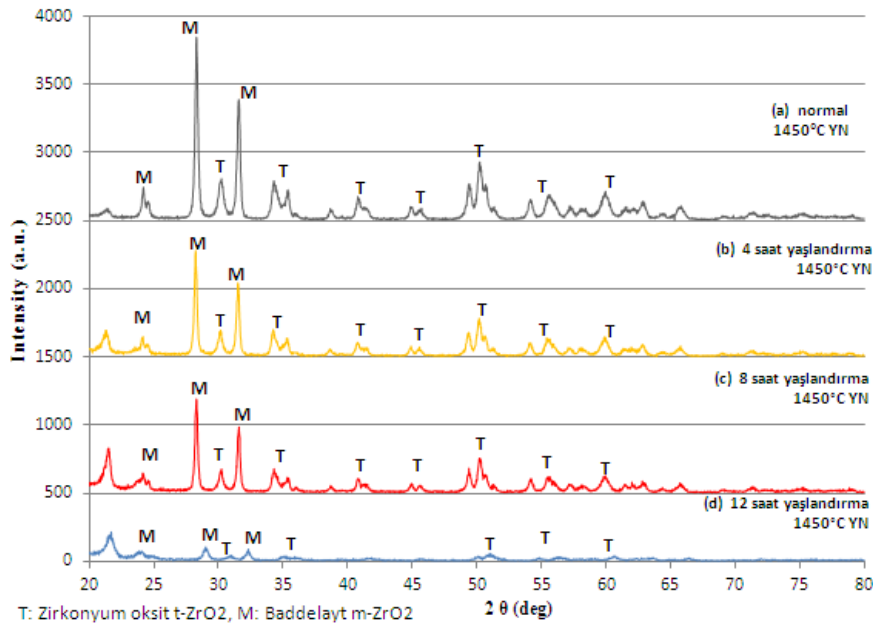
**Çizelge 4.49** 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YO numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

1450 °C		Tetragonal Zirkonya ( % )		
Numune Kodu	Normal	Yaşlandırma İşlemi Uygulanan		
		4 Saat	8 Saat	12 Saat
A30YO	23,98	21,5	20,77	20

Çizelge 4.49’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de sinterlenen 4 saat, 8 saat, 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanan ve normal A30YO numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 21,5- 20,77- 20 ve 23,98 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.2.7 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış YN Numunesine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.27 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.50’ de sunulmuştur.



**Şekil 4.27** 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YN numunelerine ait XRD sonuçları.

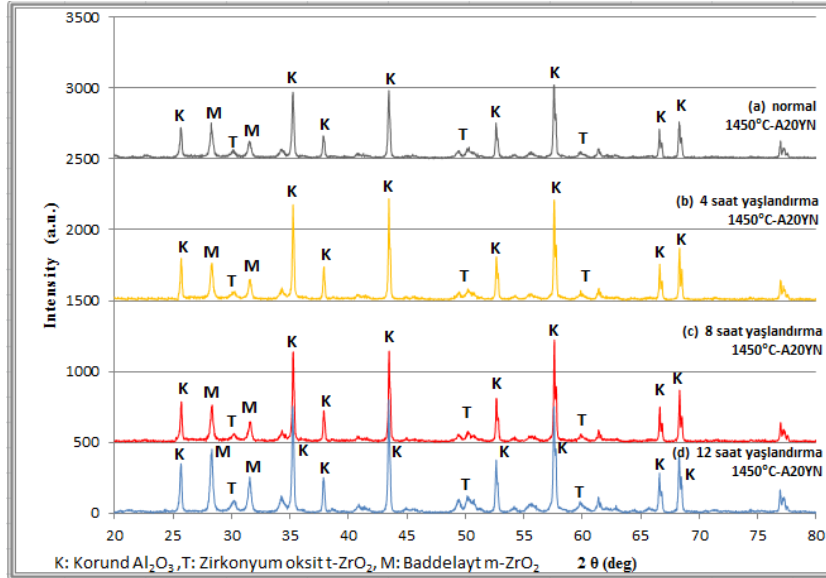
**Çizelge 4.50** 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

1450 °C	Tetragonal Zirkonya ( % )			
	Normal	Yaşlandırma İşlemi Uygulanan		
Numune Kodu		4 Saat	8 Saat	12 Saat
YN	13,85	13	12,24	9,26

Çizelge 4.50’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de sinterlenen 4 saat, 8 saat, 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanan ve normal YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 13- 12,24- 9,26 ve 13,85 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.2.8 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A20YN Numunesine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.28 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.51’ de sunulmuştur.



**Şekil 4.28** 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YN numunelerine ait XRD sonuçları.

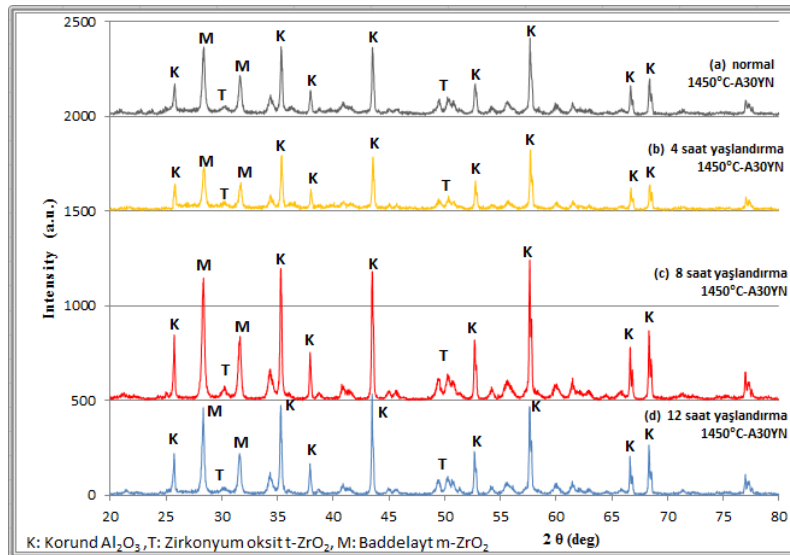
**Çizelge 4.51** 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A20YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

1450 °C		Tetragonal Zirkonya ( % )		
Numune Kodu	Normal	Yaşlandırma İşlemi Uygulanan		
		4 Saat	8 Saat	12 Saat
A20YN	15,34	14,64	14,29	11,62

Çizelge 4.51’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de sinterlenen 4 saat, 8 saat, 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanan ve normal A20YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 14,64- 14,29- 11,62 ve 15,34 olduğu görülmektedir.

#### 4.3.2.9 1450 °C’ de Sinterlenen Normal ve Yaşlandırılmış A30YN Numunesine Ait XRD Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YN numunelerine ait XRD sonuçları Şekil 4.29 ve tetragonal zirkonya % lerine ait sonuçlar Çizelge 4.52’ de sunulmuştur.



**Şekil 4.29** 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YN numunelerine ait XRD sonuçları.



**Çizelge 4.52** 1450 °C’ de sinterlenen normal ve yaşlandırılmış A30YN numunelerine ait tetragonal zirkonya % leri.

1450 °C		Tetragonal Zirkonya ( % )		
Numune Kodu	Normal	Yaşlandırma İşlemi Uygulanan		
		4 Saat	8 Saat	12 Saat
A30YN	19,52	12,33	7,31	6,51

Çizelge 4.52’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; 1450 °C’ de sinterlenen 4 saat, 8 saat, 12 saat yaşlandırma işlemi uygulanan ve normal A30YN numuneleri için tetragonal zirkonya % lerinin sırasıyla 12,33- 7,31- 6,51 ve 19,52 olduğu görülmektedir.

#### **4.4 Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları**

Numunelerin bir kısmı Kuru Pres tekniği ile dikdörtgen prizma ve disk şeklinde, bir kısmı ise Slip Döküm tekniği çatlak içeren ve içermeyen dikdörtgen prizma şeklinde şekillendirildiği için iki farklı yöntem kullanılarak dayanımlarını ölçülmüştür. Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçları toplu olarak EK-29’ da verilmiştir.

EK-29’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerin dayanımlarında artış olduğu görülmektedir. Yaşlandırma işleminin uygulanması ile dayanım değerlerinde azalma olduğu görülmektedir.

##### **4.4.1 Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numunelere Ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları**

Yaşlandırma işlemi uygulanmayan numunelere ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları Çizelge 4.53 ve EK-25’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.53** Yaşlandırma işlemi uygulanmayan numunelere ait sinterleme sıcaklığına, yaşlandırma süresine, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçları.

Numune Kodu	Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numuneler		
	ÜNEĞ (MPa)		
	1400 ° C	1450 ° C	1500 ° C
YSZ	473	685	1103
A20YSZ	334	555	778
A30YSZ	393	568	868
	BT (MPa)		
	1400 ° C	1450 ° C	1500 ° C
YO	210	245	267
A20YO	180	212	227
A30YO	200	233	260
YN	205	240	260
A20YN	160	208	220
A30YN	189	229	258

Çizelge 4.53’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerin dayanımlarında artış olduğu görülmektedir. Üç nokta eğme dayanımı uygulanan YSZ numunelerindeki Alümina içeriğinin dayanım değerlerinde azalmaya sebep olduğu görünürken, Brazilian Test uygulanan YO ve YN numunelerindeki alümina içeriğinin dayanım değerlerinde artışa sebep olduğu görülmektedir. Aynı zamanda YO katkılı numunelere göre YN katkılı numunelere ait dayanım değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Üç nokta eğme dayanımı uygulanan YSZ numunelerinde en yüksek dayanım değerine 1103 ile 1500 °C’ de sinterlenen YSZ numunesi ile ulaşıldığı, Brazilian Test uygulanan YO ve YN numunelerinde en yüksek dayanım değerine 267 ile 1500 °C’ de sinterlenen YO numunesi ile ulaşıldığı görülmektedir.

#### 4.4.2 Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numunelere Ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları

Yaşlandırma işlemi uygulanan numunelere ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları Çizelge 4.54 ve EK-26’ da sunulmuştur.

**Çizelge 4.54** Yaşlandırma işlemi uygulanan numunelere ait sinterleme sıcaklığına, yaşlandırma süresine, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçları.

Numune Kodu	4 Saat Yaşlandırma			8 Saat Yaşlandırma			12 Saat Yaşlandırma		
	1400°C	1450°C	1500°C	1400°C	1450°C	1500°C	1400°C	1450°C	1500°C
<b>ÜNED (MPa)</b>									
YSZ	425	656	1074	398	644	1054	395	632	998
A20YSZ	312	518	749	310	498	741	296	476	725
A30YSZ	376	545	845	374	530	821	353	514	799
<b>BT (MPa)</b>									
YO	204	230	258	200	225	250	200	225	241
A20YO	164	198	212	158	190	210	150	180	210
A30YO	189	218	240	180	209	231	175	200	228
YN	203	220	252	190	220	245	190	215	236
A20YN	155	190	205	150	186	200	139	170	200
A30YN	180	206	240	171	200	240	170	190	220

Çizelge 4.54’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte tüm numunelerin dayanımlarında artış olduğu görülmektedir. Üç nokta eğme dayanımı uygulanan YSZ numunelerindeki Alümina içeriğinin dayanım değerlerinde azalmaya sebep olduğu görünürken, Brazilian Test uygulanan YO ve YN numunelerindeki alümina içeriğinin dayanım değerlerinde artışa sebep olduğu görülmektedir. Aynı zamanda YO katkılı numunelere göre YN katkılı numunelere ait dayanım değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. 8 ve 12 saat süreyle yaşlandırma işlemlerine göre 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin dayanım değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Üç nokta eğme dayanımı uygulanan YSZ numunelerinde en yüksek dayanım değerine 1074 ile 1500 C’ de sinterlenen YSZ numunesi ile ulaşıldığı, Brazilian Test uygulanan YO ve YN numunelerinde en yüksek dayanım değerine 258 ile 1500 C’ de sinterlenen YO numunesi ile ulaşıldığı görülmektedir.

#### **4.4.3 1450 °C’ de Sinterlenen Numunelere Ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları**

1450 °C’ de sinterlenen numunelere ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test Sonuçları Çizelge 4.55 ve EK-27’ de sunulmuştur.

**Çizelge 4.55** 1450 °C’ de sinterlenen numunelere ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçları.

<b>ÜNED (MPa)</b>				
<b>Numune Kodu</b>	<b>1450°C</b>			
	<b>Normal</b>	<b>4S</b>	<b>8S</b>	<b>12S</b>
YSZ	685	656	644	632
A20YSZ	555	518	498	476
A30YSZ	568	545	530	514
<b>BT (MPa)</b>				
<b>Numune Kodu</b>	<b>1450°C</b>			
	<b>Normal</b>	<b>4S</b>	<b>8S</b>	<b>12S</b>
YO	245	230	225	225
A20YO	212	198	190	180
A30YO	233	218	209	200
YN	240	220	220	215
A20YN	208	190	186	170
A30YN	229	206	200	190

Çizelge 4.55’ de sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; normal numunelerin yaşlandırma işlemi uygulanan numunelere göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 4, 8 ve 12 saat olmak üzere yapılan yaşlandırma işlemleri neticesinde tüm reçetelerde mukavemet değerlerinde belirgin bir düşüş meydana geldiği görülmektedir.

#### **4.5 Sertlik Test Sonuçları**

Sinterlenmiş numunelerin parlatılmış yüzeyler üzerinde mikro sertlik cihazında Vickers piramit elmas uç kullanılarak, 15 sn süre ile 2 kg yük uygulanarak belirlenen sertlik değerleri Çizelge 4.56’ da sunulmuştur.

**Çizelge 4.56** Numunelerin sinterleme sıcaklığına, yaşlandırma süresine, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen sertlik test sonuçları.

Numune Kodu	NORMAL			YAŞLANDIRMA İŞLEMİ		
	1400 ° C	1450 ° C	1500 ° C	4S 1450 ° C	8S 1450 ° C	12S 1450 ° C
<b>YSZ</b>	298	496	934	399	692	876
<b>A20YSZ</b>	356	532	1214	909	732	900
<b>A30YSZ</b>	600	685	1390	1039	845	967
<b>YO</b>	188	246	535	681	128	118
<b>A20YO</b>	281	1003	1034	700	825	942
<b>A30YO</b>	336	1081	1094	1213	1139	998
<b>YN</b>	164	172	344	120	144	840
<b>A20YN</b>	415	539	1074	390	1106	1012
<b>A30YN</b>	454	788	1126	790	1132	1073

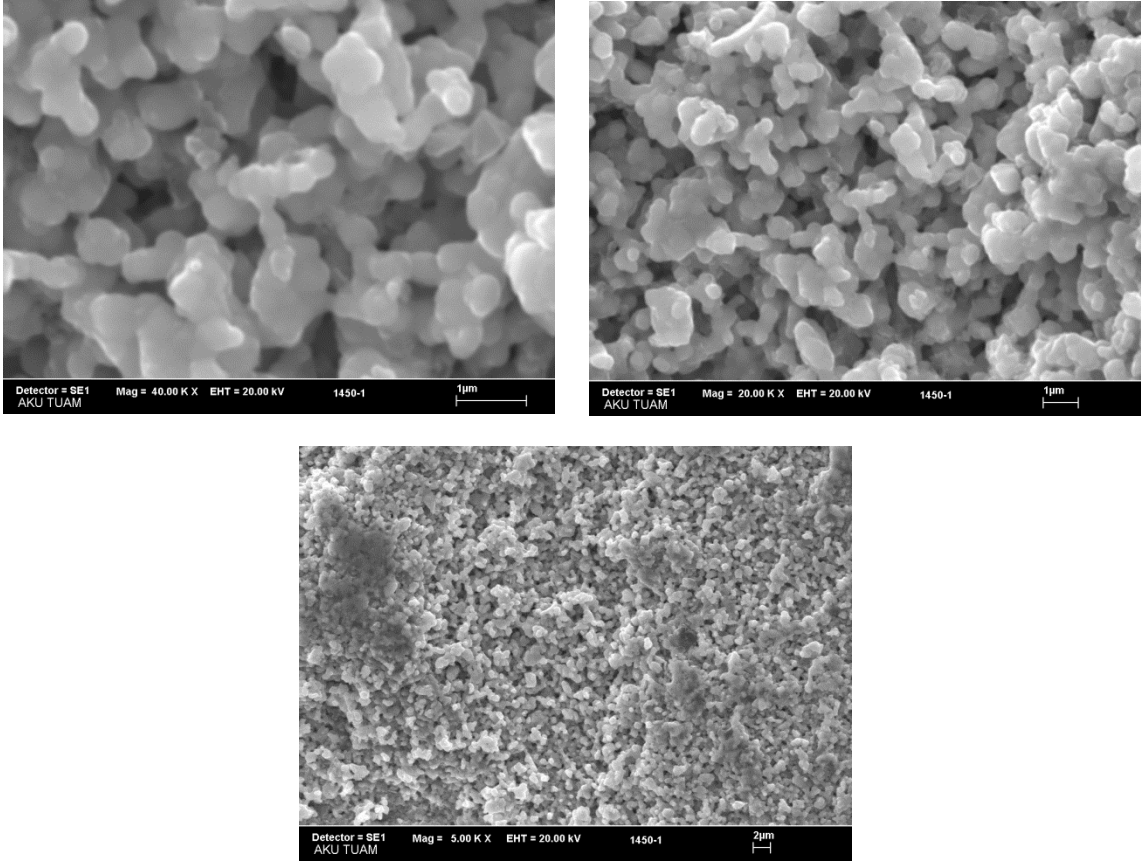
Çizelge 4.56’ da sunulmuş olan sonuçlar incelendiğinde; artan sıcaklıkla birlikte yaşlandırma işlemi uygulanan tüm numunelerin sertliğinde artış görülmektedir. Alümina içeren numunelerde alümina oranının azalmasının sertliğin artmasına neden olduğu görülmektedir. En yüksek sertlik değerleri 1500 °C’ de sinterlenen A30YSZ ve A20YSZ ile 1450 °C’ de sinterlenip 4 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan A30YO numunelerinde sırasıyla; 1390, 1214 ve 1213 olarak görülmektedir. 1450 °C’ de sinterlenen yaşlandırma işlemi uygulanan ve uygulanmayan numuneler kıyaslandığında; özellikle YSZ ve YN içeren numuneler için 12 saat süreyle yaşlandırma işlemiyle sertlik değerlerinde önemli artışların olduğu görülmektedir. YO içeren numuneler için 8 ve 12 saat süreli yaşlandırma neticesinde sertlik değerlerinde azalma olduğu görülmekte iken 4 saat yaşlandırma süresiyle YO ve A20YO numuneleri sertlik değerlerinde artış olduğu görülmektedir.

## 4.6 SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları

### 4.6.1 Yaşlandırma İşlemi Uygulanmayan Numunelere Ait SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları

#### 4.6.1.1 1450 °C' de Sinterlenen YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

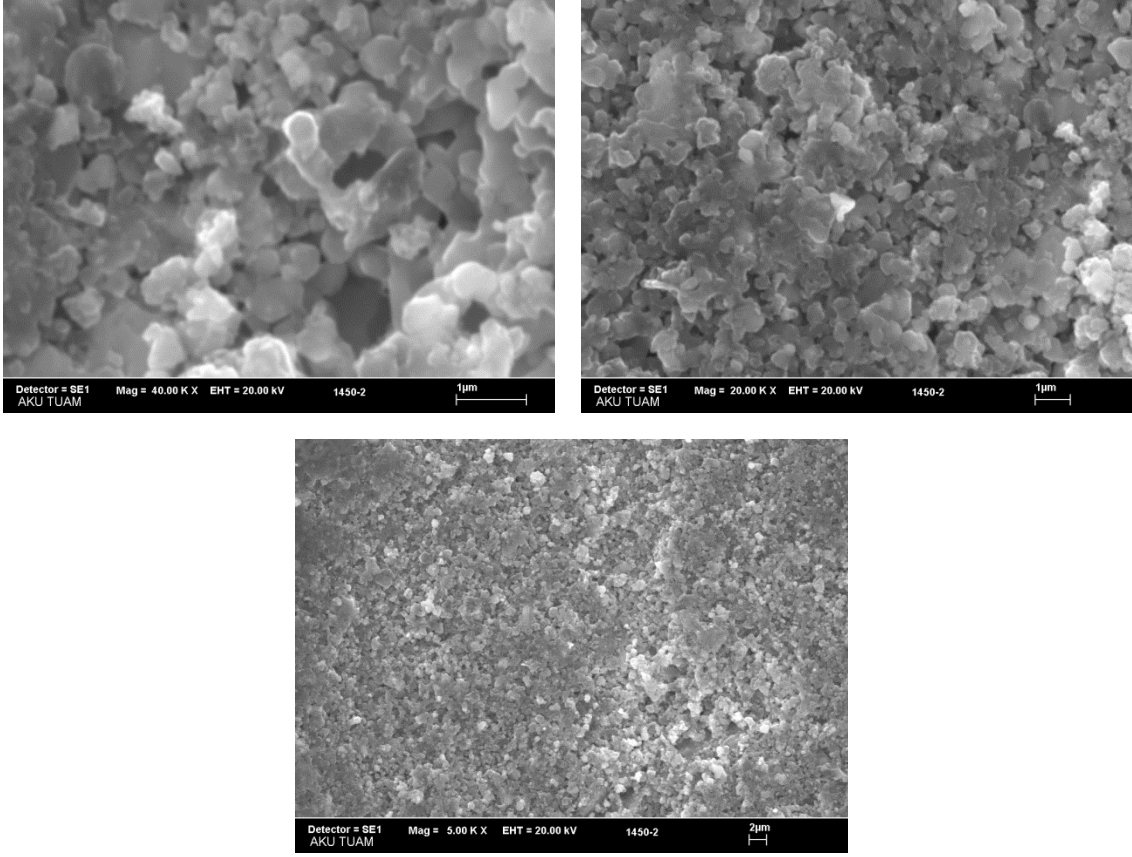
1450 °C' de sinterlenen YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.30' da sunulmaktadır.



Şekil 4.30 1450 °C' de sinterlenen YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.1.2 1450 °C' de Sinterlenen A20YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

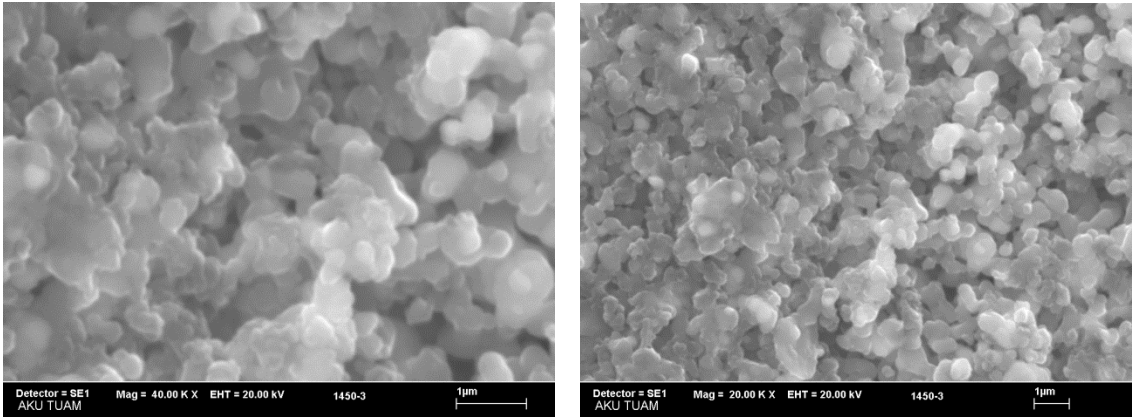
1450 °C' de sinterlenen A20YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.31' de sunulmaktadır.

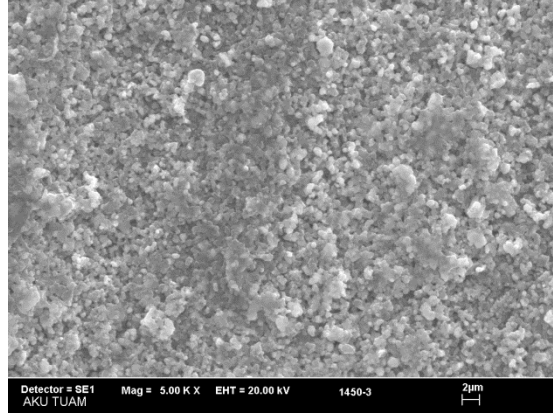


Şekil 4.31 1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.1.3 1450 °C’ de Sinterlenen A30YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.32’ de sunulmaktadır.

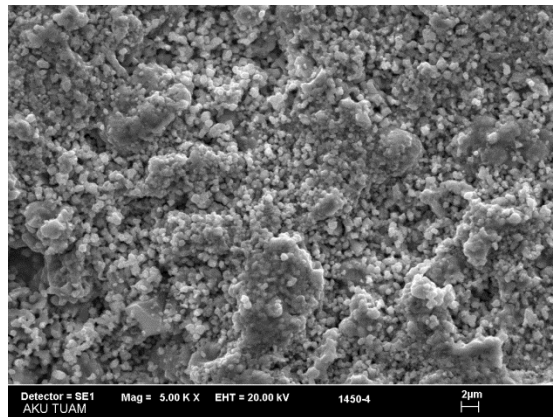
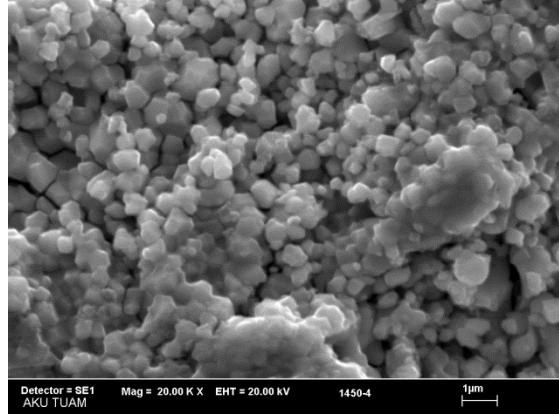
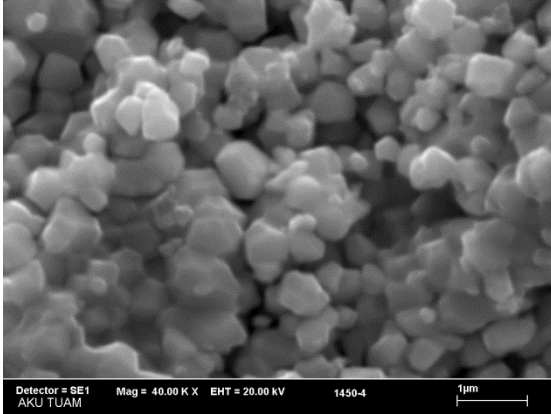




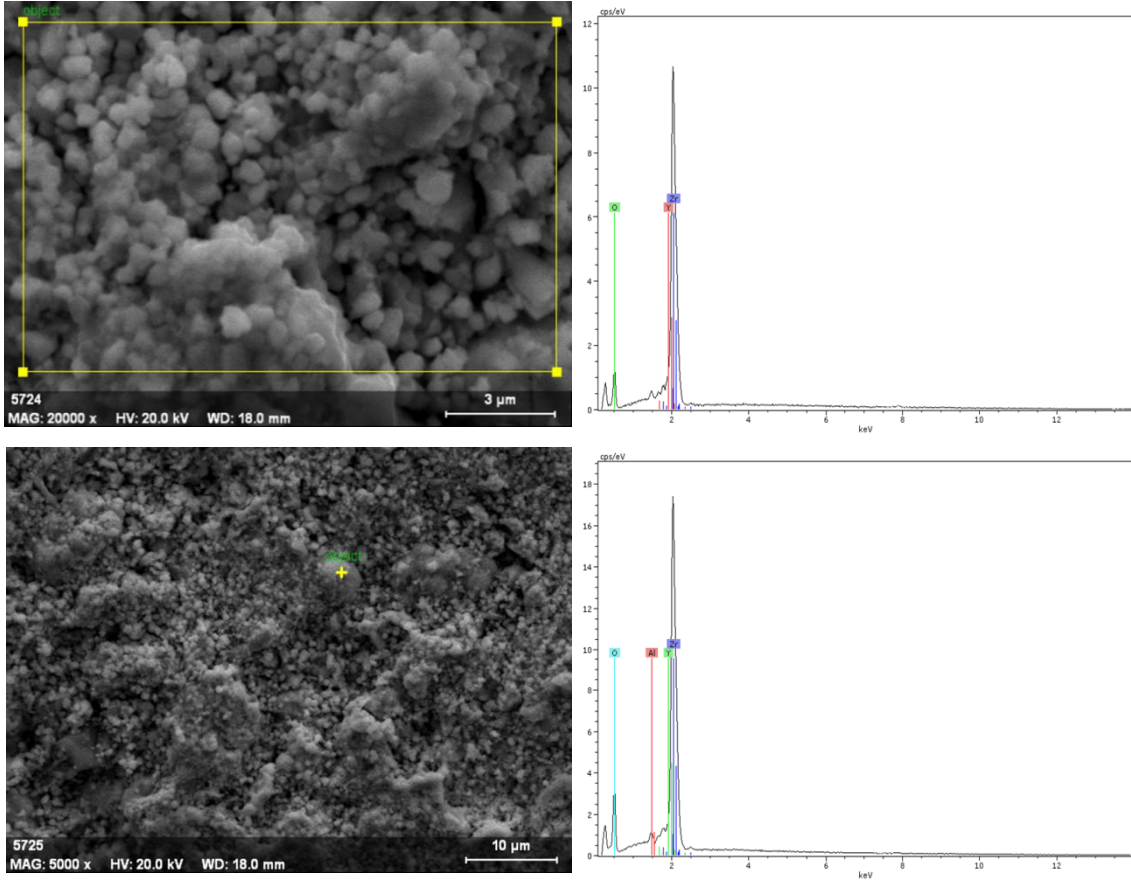
Şekil 4.32 1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.1.4 1450 °C’ de Sinterlenen YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları

1450 °C’ de sinterlenen YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları Şekil 4.33’ de sunulmaktadır.



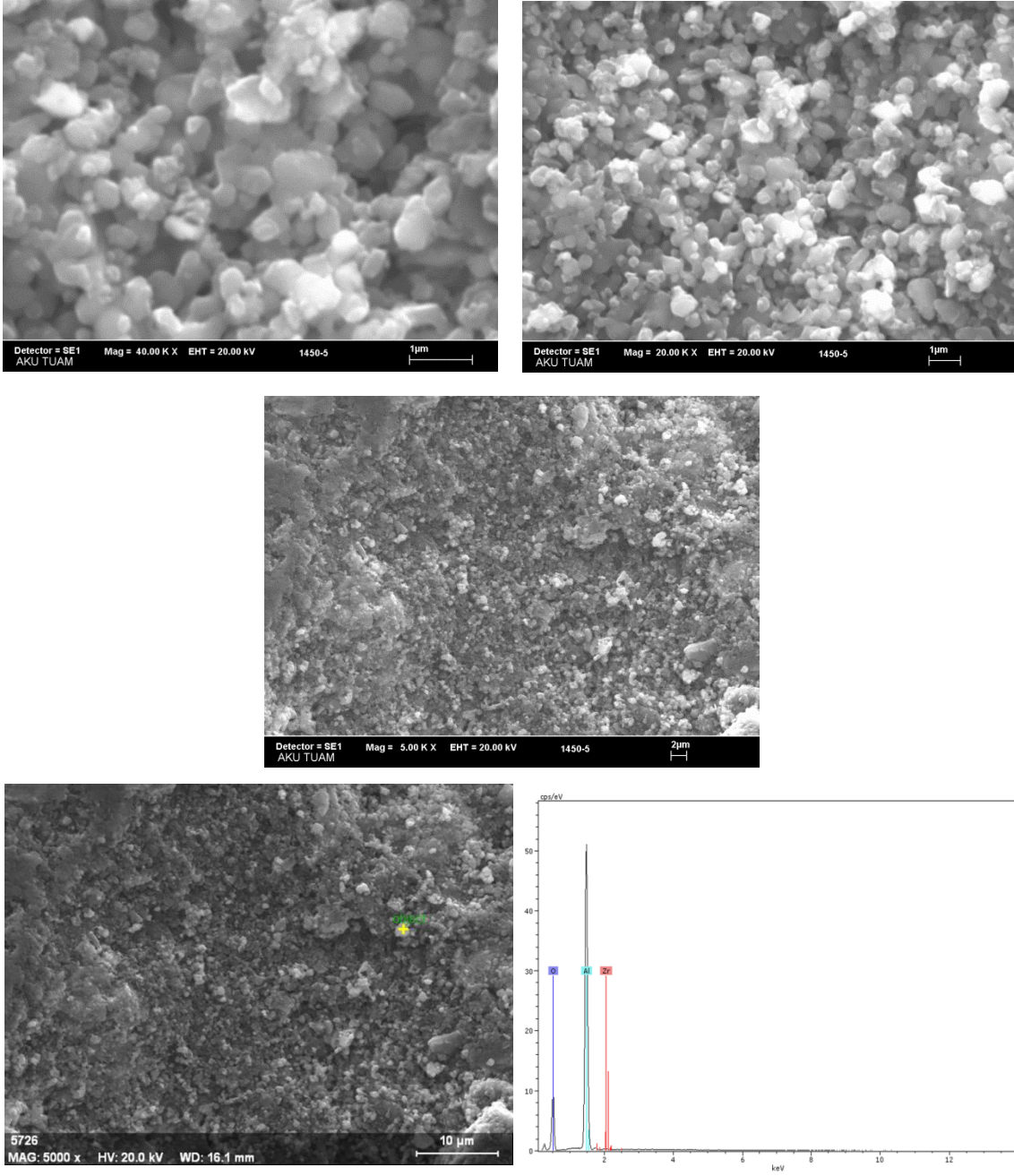




Şekil 4.33 1450 °C’ de sinterlenen YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları.

#### 4.6.1.5 1450 °C’ de Sinterlenen A20YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları

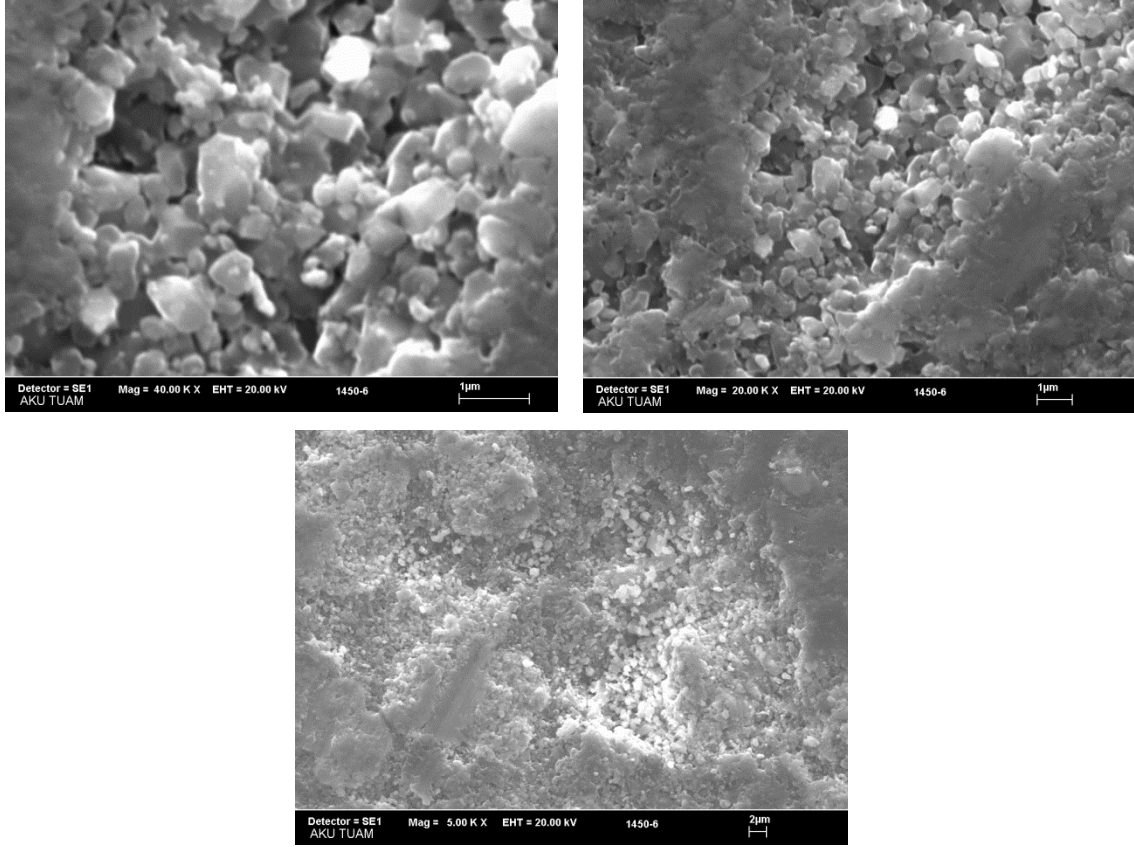
1450 °C’ de sinterlenen A20YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları Şekil 4.34’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.34 1450 °C’ de sinterlenen A20YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları.

#### 4.6.1.6 1450 °C' de Sinterlenen A30YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

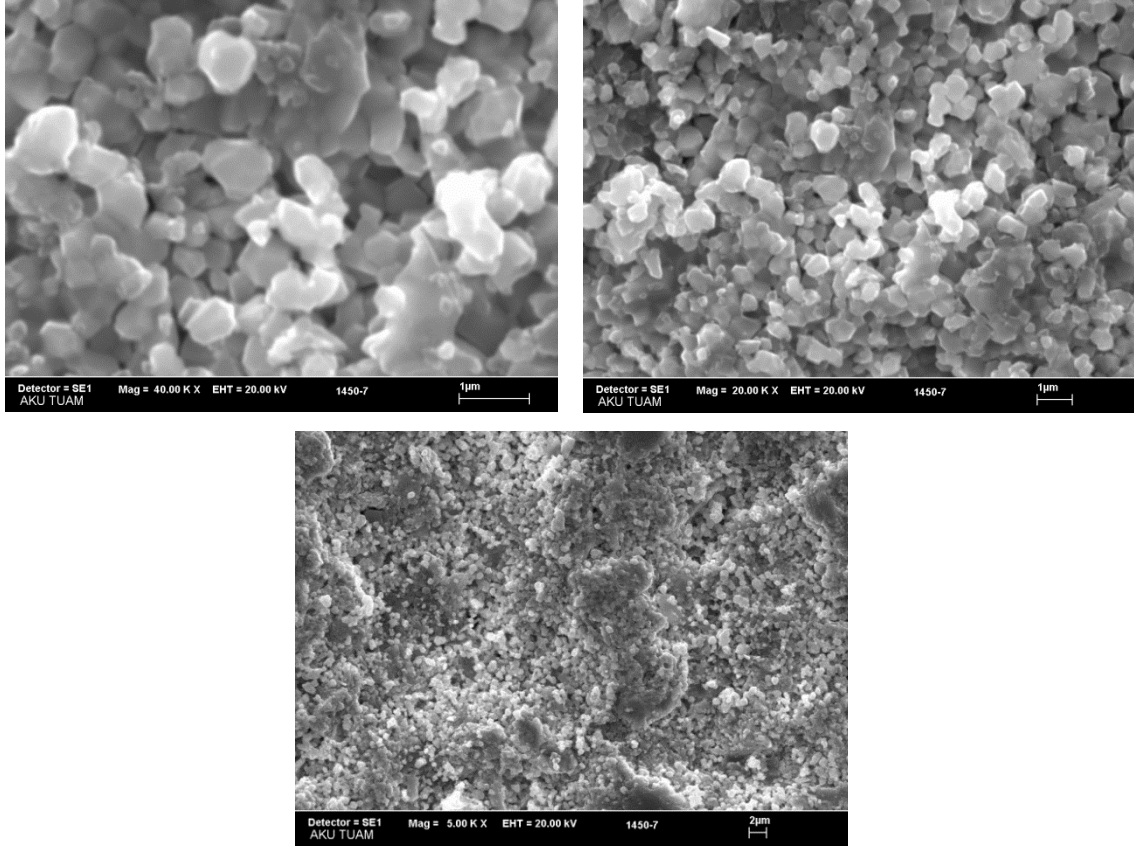
1450 °C' de sinterlenen A30YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.35' de sunulmaktadır.



Şekil 4.35 1450 °C' de sinterlenen A30YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.1.7 1450 °C’ de Sinterlenen YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

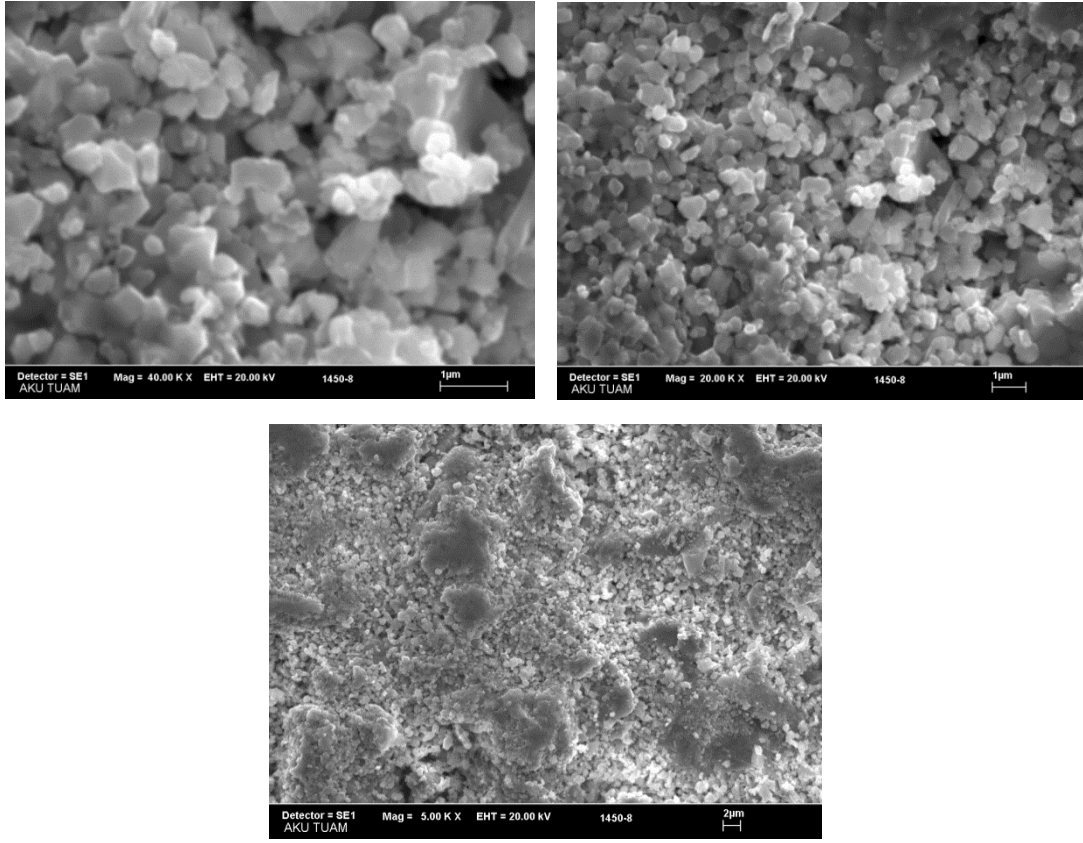
1450 °C’ de sinterlenen YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.36’ da sunulmaktadır.



Şekil 4.36 1450 °C’ de sinterlenen YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.1.8 1450 °C’ de Sinterlenen A20YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

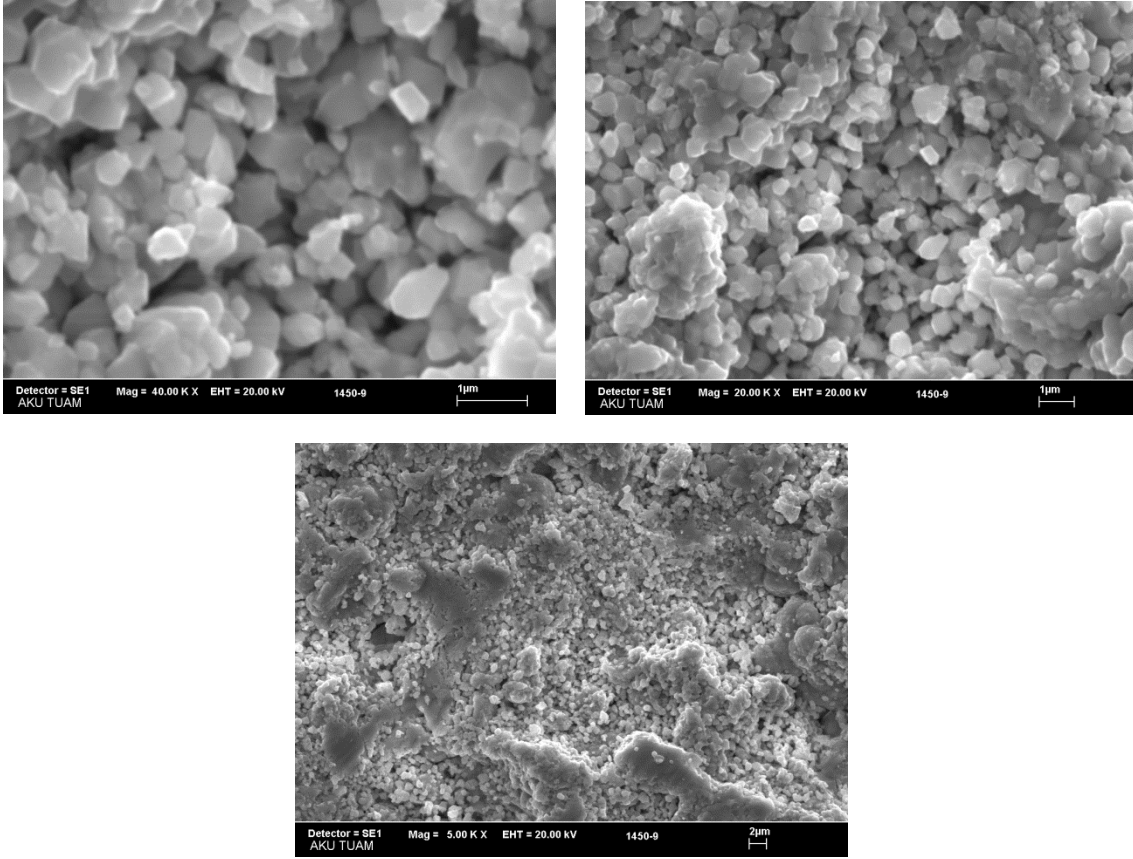
1450 °C’ de sinterlenen A20YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.37’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.37 1450 °C’ de sinterlenen A20YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.1.9 1450 °C’ de Sinterlenen A30YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

1450 °C’ de sinterlenen A30YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.38’ de sunulmaktadır.

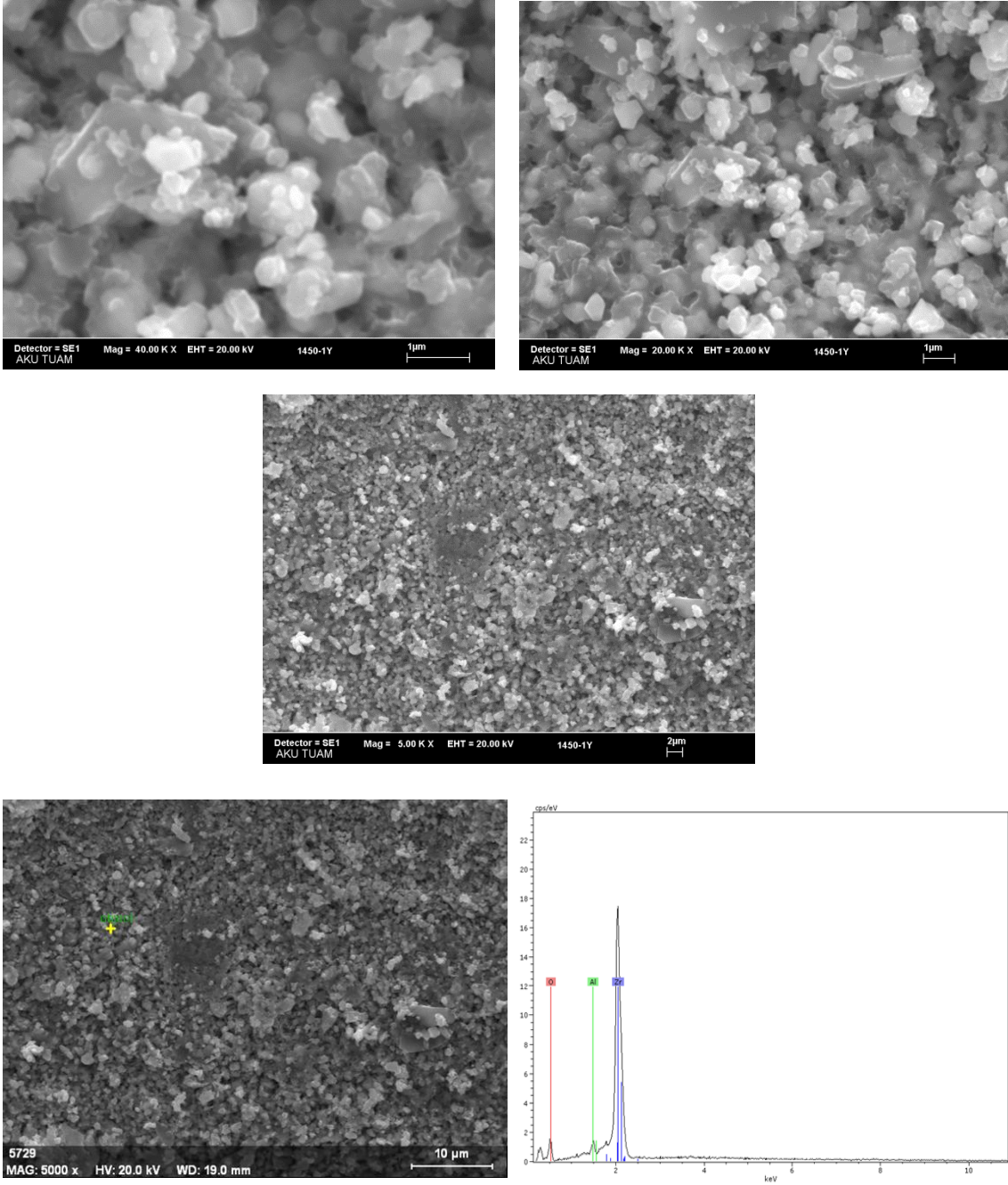


Şekil 4.38 1450 °C’ de sinterlenen A30YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.2 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan Numunelere Ait SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları

##### 4.6.2.1 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C’ de Sinterlenen YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları

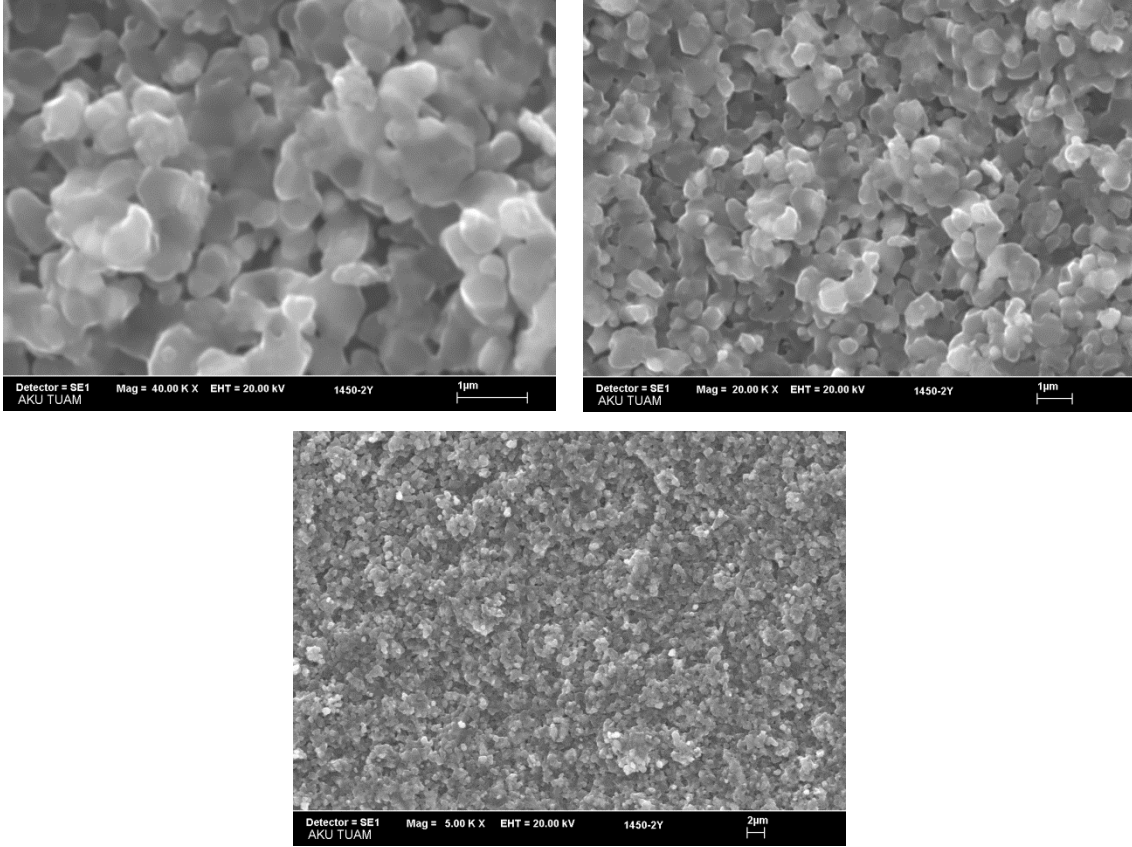
4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları Şekil 4.39’ da sunulmaktadır.



Şekil 4.39 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A30YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları.

#### 4.6.2.2 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C’ de Sinterlenen A20YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.40’ da sunulmaktadır.

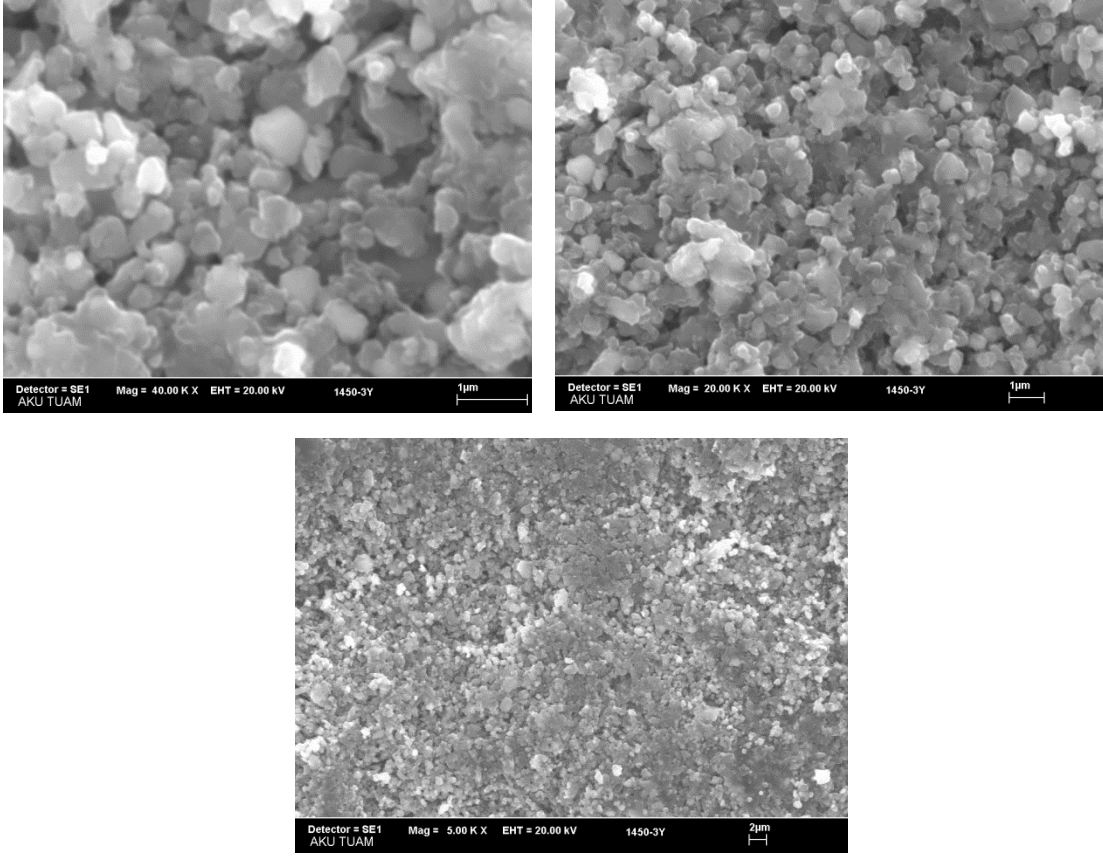


Şekil 4.40 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A20YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.2.3 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C’ de Sinterlenen A30YSZ Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.41’ de sunulmaktadır.

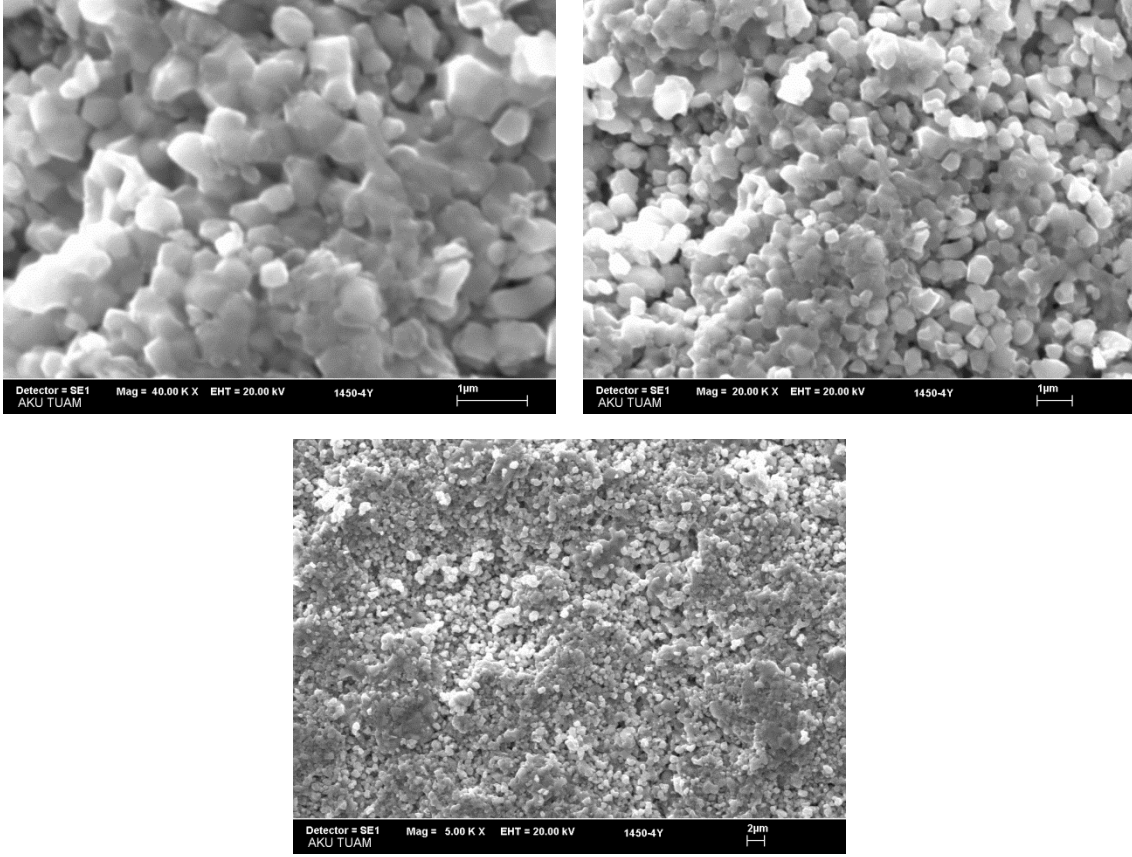




**Şekil 4.41** 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A30YSZ kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### **4.6.2.4 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C’ de Sinterlenen YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri**

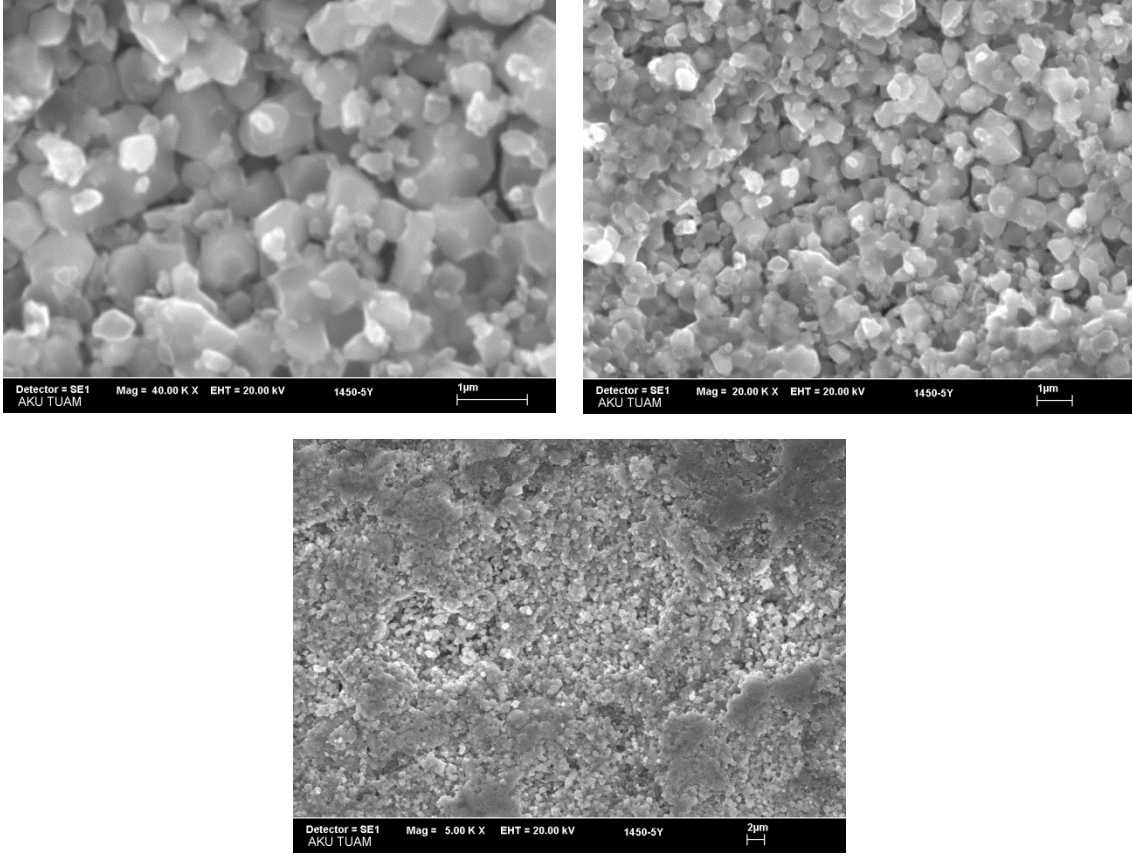
4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.42’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.42 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.2.5 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C’ de Sinterlenen A20YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

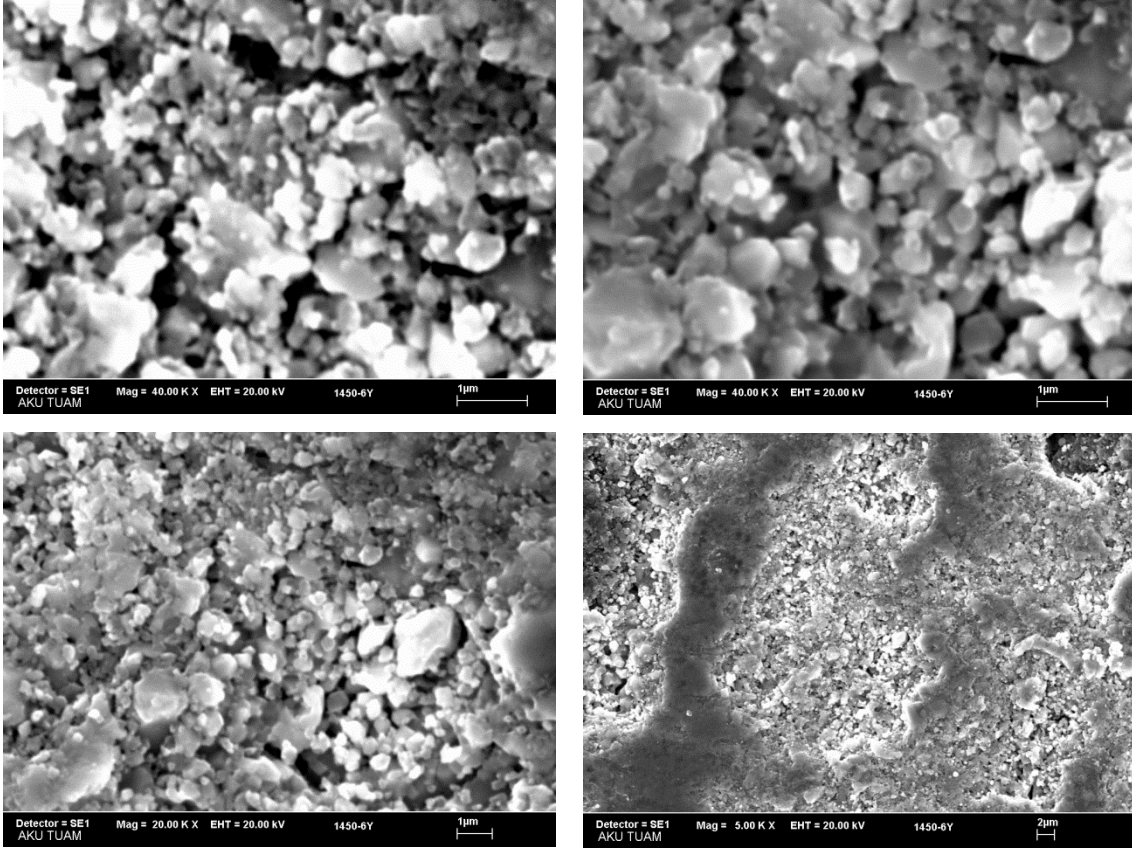
4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A20YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.43’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.43 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A20YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.2.6 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C’ de Sinterlenen A30YO Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

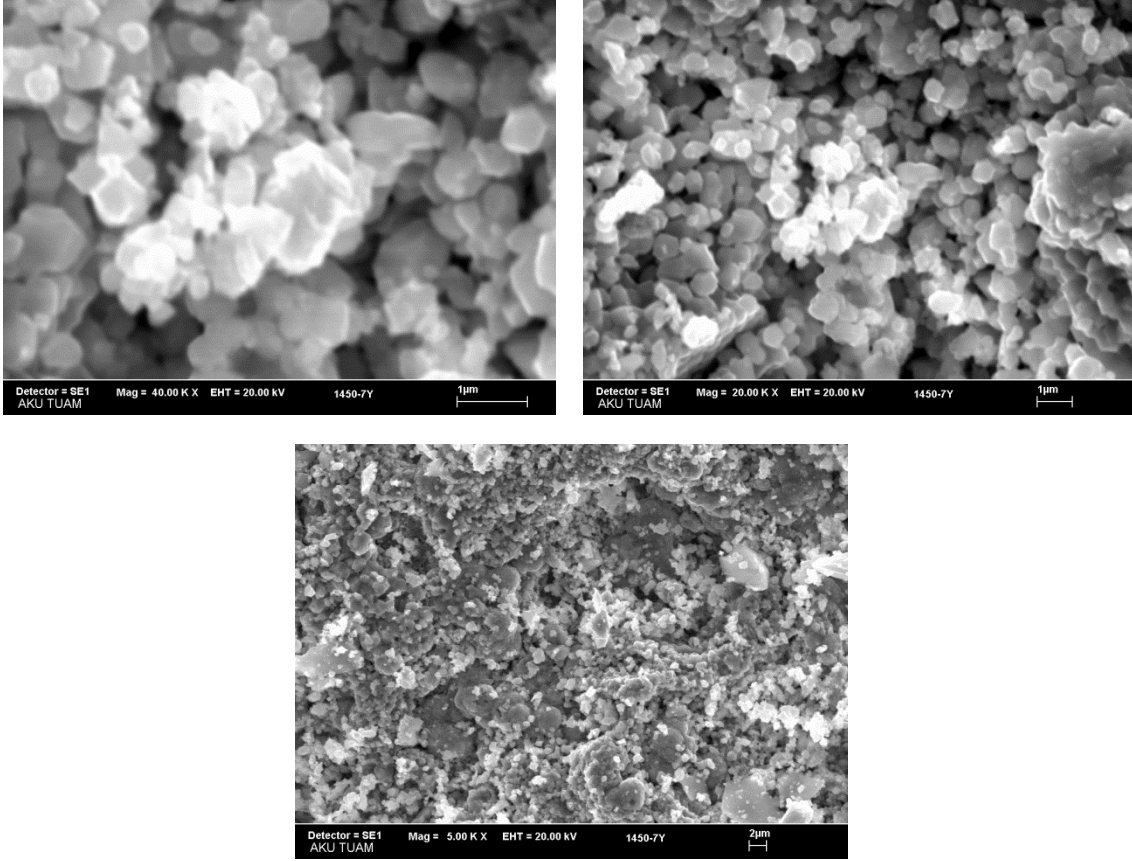
4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A30YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.44’ de sunulmaktadır.



Şekil 4.44 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A30YO kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### 4.6.2.7 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C’ de Sinterlenen YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

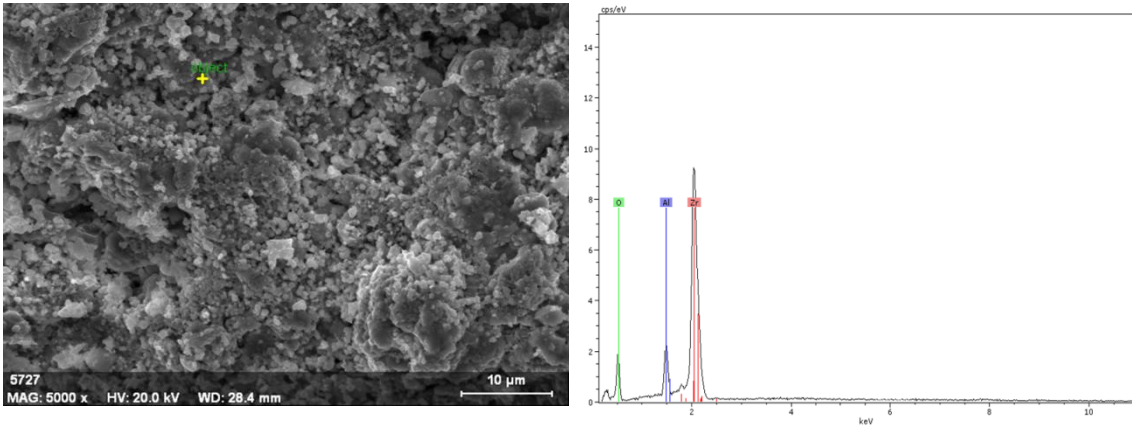
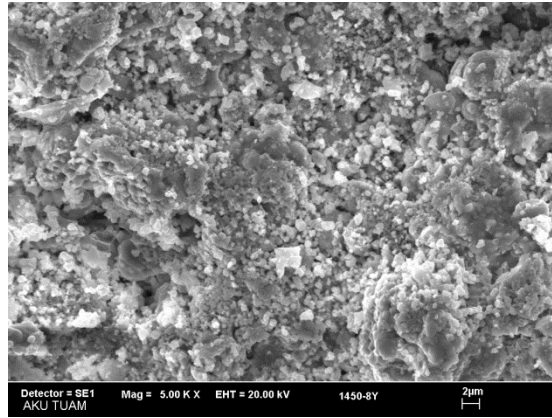
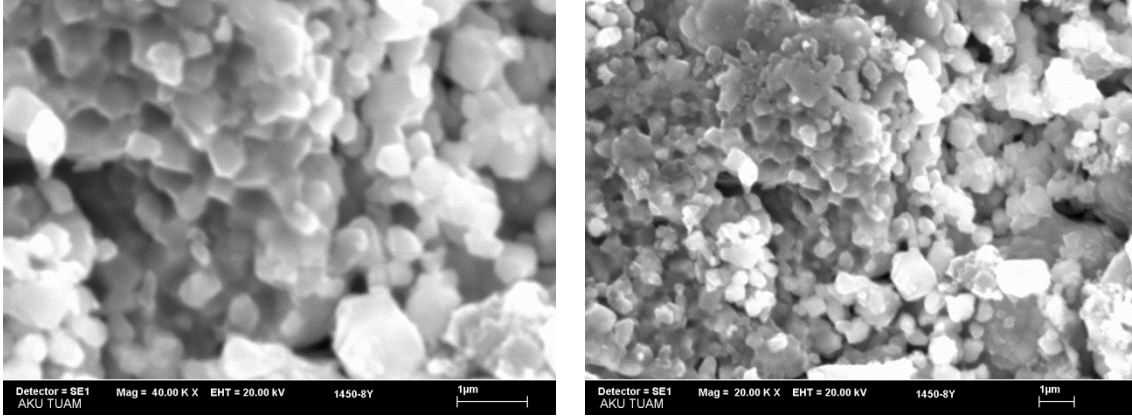
4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.45’ de sunulmaktadır.



**Şekil 4.45** 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

#### **4.6.2.8 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C’ de Sinterlenen A20YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri ve EDS Analiz Sonuçları**

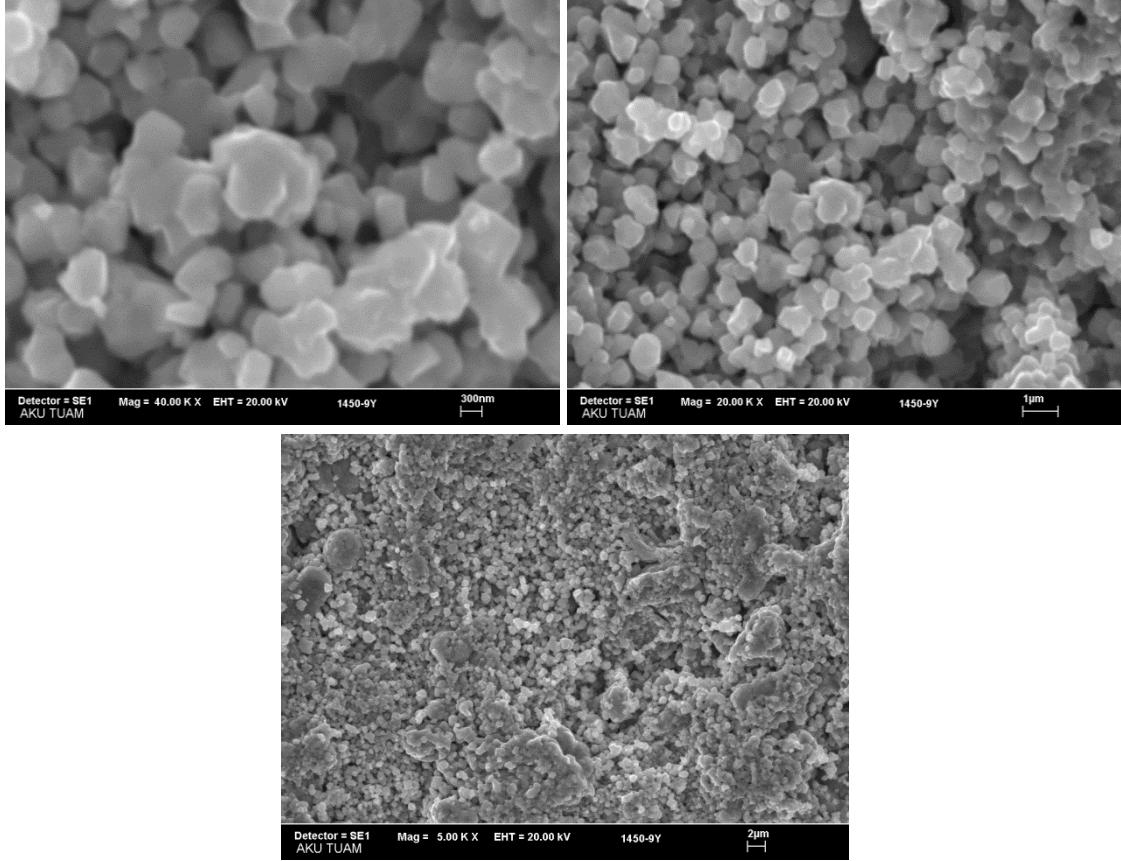
4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A20YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları Şekil 4.46’ da sunulmaktadır.



Şekil 4.46 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C’ de sinterlenen A20YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri ve EDS Analiz sonuçları.

#### 4.6.2.9 4 Saat Yaşlandırma İşlemi Uygulanan 1450 °C' de Sinterlenen A30YN Kodlu Numunenin SEM Görüntüleri

4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C' de sinterlenen A30YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri Şekil 4.47' de sunulmaktadır.



Şekil 4.47 4 saat yaşlandırma işlemi uygulanan, 1450 °C' de sinterlenen A30YN kodlu numuneye ait SEM görüntüleri.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

### Zirkonya'nın stabilizasyonunda:

- Yittrium oksit katkısı yittrium nitrata göre daha iyi sonuç vermiştir, en fazla tetragonal zirkonyanın elde edildiği 1450 °C sıcaklıkta sinterleme neticesinde yittrium oksit katkısı ile % 46, 52, yittrium nitrat katkısı ile % 13, 85 tetragonal zirkonya oluşumu gerçekleşmiştir.

### Ticari zirkonya ve deneysel zirkonya tozları ile hazırlanan numunelerin özellikleri kıyaslandığında:

- Sinterleme sıcaklığının 1400 °C' den 1450 °C' ye çıkması ile tüm numunelerde tetragonal zirkonya oranında artış meydana gelirken sinterleme sıcaklığının 1500 °C' ye yükseltilmesi numunelerin bir kısmında tetragonal zirkonya oranının düşmesine sebep olmuştur.
- Sinterleme sıcaklığının artması ile tüm reçetelerde toplam gözenek %'si azalmış, buna bağlı olarak birim hacim ağırlıklarında artış meydana gelmiştir. En yüksek birim hacim ağırlığı değerleri % 100 zirkonya içeren reçetelerde elde edilirken, bunların içerisinde ticari % 3 mol yittria ile stabilize zirkonyadan elde edilen numuneler en yüksek değeri ( 5,4 gr/cm<sup>3</sup>) vermiş, yittrium oksit ile stabilize edilen deneysel zirkonya numunesinin birim hacim ağırlığı 4,43 gr/cm<sup>3</sup> iken yittrium nitrat ile stabilize edilen deneysel zirkonya numunesinin birim hacim ağırlığı 4,296 gr/cm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir.
- Tüm reçetelerde alümina miktarındaki artış ile birim hacim ağırlığında azalma meydana gelmiştir.
- Sinterleme sıcaklığının artması ile toplam gözenek %'sindeki azalma, buna bağlı olarak birim hacim ağırlıklarında artış neticesinde daha sık yapının oluşması tüm reçetelerde mukavemet değerlerinin artmasına sebep olmuştur.



- Reçetelerde kullanılan zirkonya oranının artması mukavemet değerlerinin artmasına sebep olmuştur. En yüksek mukavemet değeri 1500 °C'de % 100 hazır zirkonyadan üretilen numunelerden elde edilirken (1103 MPa), deneysel numunelerdeki mukavemet değerleri ise yitrium oksit ile stabilize edilmiş % 100 zirkonya numuneleri ve yitrium nitrat ile stabilize edilmiş % 100 zirkonya numunelerinde sırasıyla 267 MPa ve 260 MPa olarak elde edilmiştir.
- 4, 8 ve 12 saat olmak üzere yapılan yaşlandırma işlemleri neticesinde tüm reçetelerde özellikle 4 saat süreli yaşlandırmada tetragonal zirkonyanın bir kısmının monoklinik zirkonyaya dönüşmesi neticesinde mukavemet değerlerinde belirgin bir düşüş meydana gelmiştir.
- Yaşlandırma süresinin 8 ve 12 saat süreye çıkarılması tüm reçetelerde tetragonal zirkonya içeriğinin ve buna bağlı olarak mukavemet değerlerinin biraz daha düşmesine sebep olmuştur.

Fiziksel ve mekaniksel test sonuçları bakımından deneysel zirkonya tozları ile üretilen numunelerin ticari zirkonya ile üretilen numuneler kadar yüksek değerler vermemesinin şu sebeplerden kaynaklandığı düşünülmektedir:

1. Ticari zirkonya tozu % 100 tetragonal zirkonyadan oluşmaktadır ve yüksek mukavemet ve tokluk açısından zirkonyanın tetragonal yapıda olması gerekmektedir.
2. Şekillendirme aşamasında karşılaşılan çatlak oluşumu neticesinde deneysel zirkonya numuneleri slip döküm yöntemi ile şekillendirilememiş, bu nedenle kuru presleme ile şekillendirilmiştir. Slip döküm yöntemi genellikle daha sık yapıli bir bünye oluşumuna sebep olmaktadır ve bu da fiziksel ve mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemektedir.
3. Deneysel zirkonya ile hazırlanan tüm numuneler disk şeklinde şekillendirilmiş ve bu nedenle de mukavemet ölçümleri üç nokta eğme

dayanımı ile yapılamamış, bunun yerine Brazilian Test metodu ile mukavemet ölçümleri yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında bu test ile elde edilen mukavemet değerlerinin üç nokta eğme dayanımına göre daha düşük sonuçlar verdiği görölmüştür.

## 6. KAYNAKLAR

- Abi, C.B. (2009). “Geleneksel ve Teknik Seramiklerin Kırılma Tokluğunun İncelenmesi”, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Akgün, E. (2003). “Seydişehir Alüminyum Fabrika Atığı Kırmızı Çamurdan Hareketle Üretilen Pigmentlerin Seramik Sektöründe Kullanım Kapasitesinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Anderson, M., Oden, A. (1993). “A New All-Ceramic Crown. A Dense-Sintered, High Purity Alumina Coping with Porcelain”, *Acta. Odontol. Scand.*, **51**: 59-648.
- Anusavice, K. J. (2003). *Phillips Science of Dental Materials*. St. Louis: Saunders, Chapter 13-21.
- Borchers L., Stiesch M., Bach F.W., Buhl J.C., Hübsch C., Kellner T., et al. (2010). “Influence of hydrothermal and mechanical conditions on the strength of zirconia”. *Acta Biomater*, **6**: 4547–52.
- Boyacıoğlu, T. (2007). “Katı Oksit Yakıt Hücrelerinde Elektrolit Malzemesi Olarak Kullanılan Kübik Zirkonyum Oksitin Değişik Oranlarda Metal Oksit Katkılar ile Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chevalier J., Deville S., Munch E., Jullian R., Lair F. (2004). “Critical effect of cubic phase on aging in 3 mol% yttria-stabilized zirconia ceramics for hip replacement prosthesis”, *Biomaterials*, **25**: 5539–5545.
- Craig, R. G., Powers, J. M. (2002). *Restorati ve Dental Materials*. 11th Edition. Missouri: Mosby Company.

- Denry, I. and J. Kelly, J.R. (2008). “State of The Art of Zirconia for Dental Applications”, *Dental Materials*, **24**: 299-307.
- Deville S., Chevalier J., Fantozzia G., Bartolom J., Requenab J, et al. (2003). “Low temperature ageing of zirconia-toughened alumina ceramics and its implication in biomedical implants”. *Journal of the European Ceramic Society*, **23**: 2975-2982.
- Ekinci, S. (1990). “Zirkonyum dioksit ile simule edilen uranyum dioksit tabletlerinin tahribatsız yöntemlerle karakterizasyonu”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ekinci, V. Ş. (2007). “Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Emrulloğlu, Ö. F. (2002), “Alümina Ders Notları”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Erkalfa, H., Mısırlı, Z. and Baykara, T. (1998). “The Effect of TiO<sub>2</sub> and MnO<sub>2</sub> on Densification and Microstructural Development of Alumina”, *Ceramics International*, **24**: 81-90.
- Garvie, R.C. (1970). “Zirconium Dioxide and Some of Its Binary Systems”, *High Temperature Oxides*, **2**: 117-166.
- Garvie, R.C., Hannik, R.H. and Pascoe, R.T. (1975). “Ceramic Steel”, *Nature*, **258**: 703-704.

- Garvie, R.C. and Goss, M.F. (1986). "Intrinsic Size Dependence of the Phase Transformation Temperature in Zirconia Microcrystals". *Journal of Materials Science*, **21**: 1253-1257.
- Geçkinli, E. A. (1992). "İleri Teknoloji Malzemeleri". İstanbul Teknik Üniv. Matbaası, İstanbul, 10-14.
- Green, D.J., Hannink, R.H.J. and Swain, M.V. (1989). Transformation Toughening of Ceramics. CRC Press, Florida.
- Grigoriadou, M. (2006). Fracture Resistance of Three, Unit Posterior Zirconium Dioxide Fixed Partial Dentures: An in Vitru Study, Albert Ludwings University, Feiburg.
- Guazzato M, Albakry M, Swain MV and Ironside J. (2002). Mechanical properties of In- Ceram Alumina and In-CeramZirconia. *Int J Prosthodont*, **15(4)**: 339- 346.
- Guo X., (2004). "Property degradation of tetragonal zirconia induced by owtemperature defect reaction with water molecules", *Chem Mater*, **16**: 3988-94
- Gutknecht D., Chevaliar J., Garnier V., Fantozzi G. (2007). "Key role of processing to avoid low temperature ageing in alümina zirconia composites for orthopaedic application". *Journal of the European Ceramic Society*, **27**: 1547-1552.
- Hannink, R.H.J. (1983). "Microstructural Development of Sub-Eutectoid Aged MgO ZrO<sub>2</sub> Alloys", *Journal Materials Science*, **18**: 457-470.
- Hart, L.D. and Lense, E. (2006). "Alumina Chemicals: Science and Technology Handbook", The American Ceramic Society, USA
- Hertlein G, Kraemer M, Sprengart T, et. al. (2003). "Milling time vs. marginal fit of CAD/CAM-manufactured zirconia restorations", *J Dent Res*, pp 82- 194.

- Heuer, A. H., Hobbs, L. W. And Subbarao, E. C. (1984). Zirconia, Advanced in ceramics, Science and Technology of Zirconia, *The American Ceramic Society Inc.*, Columbus, Ohio **12**: 1-24.
- Hoosain, S.E. (2010). Sintering and Optimization of Stabilized Zirconia, MSc Thesis, University of Witwatersrand, Johannesburg
- Kaya, G. (2008). “Metal Desteksiz Diş Porseleni Üretimi ve Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bil. Enstitüsü, Eskişehir
- Kaya, T. (2006). “Sol-jel yöntemi ile  $ZrO_2-Al_2O_3$  seramik kompozit oksit üretimi, karakterizasyonu ve  $ZrO_2$  nin parametrik etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Khachaturyan, A. G. (1983). “The ory of structurel transformations in solids”, *John Wiley and Sons*, Newyork 129.
- Kim H.T., Han J.S., Yang J.H., Lee J.B., Kim S.H. (2009). “The effect of low temperature aging on the mechanical property & phase stability of Y-TZP ceramics”. *J Adv Prosthodont*, **1**: 113–7.
- Kirsten A., Begand S., Oberbach T., Telle R., Fischer H. (2010). “Subcritical crack growth behavior of dispersion oxide ceramics”. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*; **95**: 202–6.
- Kohorst P., Borchers L., Stempel J., Stiesch M., Hassel T., Bach F.W. and Hübsch C. (2012). “Low-temperature degradation of different zirconia ceramics for dental applications”, *Acta Biomaterialia*, **8**: 1213-1220.
- Lee, W.E. and Rainforth, W.M. (1994). Ceramic Microstructures: Property Control by Processing. *Chapman & Hall, London*, 451-508

- Leinfelder, K. F. (2000). "Porcelain Estheticsforthe 21st Century", *Journal of the American Dental Association (JADA)*, **131**: 47-51.
- Liu X.M. and Yan Z.F. (2006). "Phase transformation of nanosized zirconia". *Chinese Journal of Structural Chemistry*, 424-432.
- Lughi V. And Sergo V. (2010). "Low temperature degradation aging of zirconia a critical review of the relevant aspects in dentistry". *Dent Mater*, **26**: 807-20.
- Malkoç, M.A. ve Sevimay M. (2009). Protetik Diş Hekimliğinde Zirkonyum ve Kullanım Alanları. *Selçuk Üniversitesi Diş Hek. Fak. Dergisi*, **18**: 208-216
- Mccmeeking, R. M. And Evans, A. G. (1980). "Mechanics of trasformation toughening in brittle materials", *Journal of American Ceram. Soc*, **63(5)**: 242-246.
- Metal Madenler Alt Komisyonu (2001). İleri Teknoloji Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, 31-33, Ankara.
- Mimaroğlu, A. and Okumuş, S. C. (1995). "Sıcak preslenmiş alümina ve silisyum nitrür seramiklerin sürtünme ve aşınması", *Tr. J. Of Engineering and Environmental Sciences*, **19**: 279-284.
- Muddle, B. C and Hannink, R. H. J. (1986). "Crystallograpy of the tetragonal to monoclinic transformation in MgO-partially stabilized zirconia", *Journalof American Ceram. Soc*, **69**: 120-125.
- Nayır E. (1999). Diş Hekimliği Maddeler Bilgisi. 7.Baskı Ü. Basımevi, İstanbul, 19, 64-89.
- Oilo M., Tvinnereim H.M. and Gjerdet N.R. (2011). "Alumina additions may improve the damage tolerance of soft machined zirconia-based ceramics". *Int J Prosthodont*, **24**: 172-4.

- Palacı, Y. (2001), “Alüminanın Özelliklerine Şekillendirme Yönteminin Katkıların ve Sinterleme Sıcaklığının Etkisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Piconi, C. and Maccauro, G. (1999). “Zirconia as a Ceramic Biomaterial”, *Biomaterials*, **20(1)**: 1-25.
- Piconi, C., Maccauro, G., Muratori, F. and Brach Del Prever, E. (2003). “Alumina and Zirconia Ceramics in Joint Replacements”, *Journal of Applied Biomaterials & Biomechanics*, **1**: 19-32.
- Rimmer, S. (2006). “Modern Dental Ceramics: An Overview”, *International Dentistry SA*, **8**: 32-40.
- Rosenblum M.A. and Schulman A.A. (1997). Review of all-ceramic restorations. *Journal of the American Dental Association*, **128**: 297-307.
- Rosentritt, M. (2008). A Focus on Zirconia: An In-vitro Lifetime Prediction of Zirconia Dental Restorations. PhD Thesis, Universite it Van Amsterdam, Nederlands.
- Ross, I.M., Rainforth, W.M. and McComb, D.W. (2001). “The Role of Trace Additions of Alumina to Yttria-Tetragonal Zirconia Polycrystals (Y-TZP)”, *Scripta Materialia*, **45**: 653-660.
- Sato T. and Shimada M. (1985). “Transformation of yttria-doped tetragonal ZrO<sub>2</sub> polycrystals by annealing in water”. *J Am Ceram Soc.*, **68**: 356–9.
- Schneider J, Begand S, Kriegel R, Kaps C, Glien W, Oberbach T. (2008). “Low temperature aging behavior of alumina-toughened zirconia”. *J Am Ceram Soc.*, **91**: 3613.



- Seyfioğlu P., Z. Toprak, D. Tacir, ve Eskimez, Ő. (2008). Sabit Protezlerde Kullanılan Estetik Alt Yapı Materyaller. *Dicle DiŐhekimliđi Dergisi*, 9, 2: 94-102
- Stevens, R. (1986). ‘‘Zirconia and Zirconia Ceramics’’, Magnesium Elektron Ltd., Manchester, 56.
- Tekeli, S. And Davies, T. J. (2001). ‘‘Effect of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content on sinterability and grain growth in zirconia-based ceramics’’, *Materials Science and Engineering A*, 297: 168-175.
- Tikhonovsky, A. (2001). ‘‘Plastic Deformation of Cubic Zirconia Single Crystals: The Influence of the Orientation of Compression Axis and Yttria Stabilizer Content’’. PhD Thesis, Martin-Luther-Universitat, Halle-Wittenberg.
- Tinschert, J., Natt, G., Mohrbotter, N., Spiekermann, H. and Schulze, K. A. (2007). Life time of Alumina and Zirconia Ceramics Used for Crown and Bridge Restorations. *J Biomed Mater Res.*, 80, 3: 17–21
- Touati, B, Miara, P and Nathanson P. (1998). Esthetic Dentistry and Ceramic Restorations. Thieme Med. Pub. New York.
- Van Dijken J. (1999). All-ceramic restorations: Classification and clinical evaluations. *Compendium*, 20 (12): 1115- 24.
- Yılmaz, S. (2000). ‘‘YSZ esaslı mühendislik seramiklerinin enjeksiyon döküm yöntemiyle üretim süreçlerinin incelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yoshimura M., Noma T., Kawabata, K. and Role S. (1987). ‘‘Role of H<sub>2</sub>O on the degradation process of Y-TZP’’. *J. Mater. Sci. Lett.*, 6: 465– 467

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nilay ATALAY  
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar / 02.10.1983  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 505 224 89 13 / nilaya@afyongaz.com.tr

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Lisesi / 2000  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Seramik Mühendisliği / 2008  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği A.B.D. / Halen Devam Ediyor

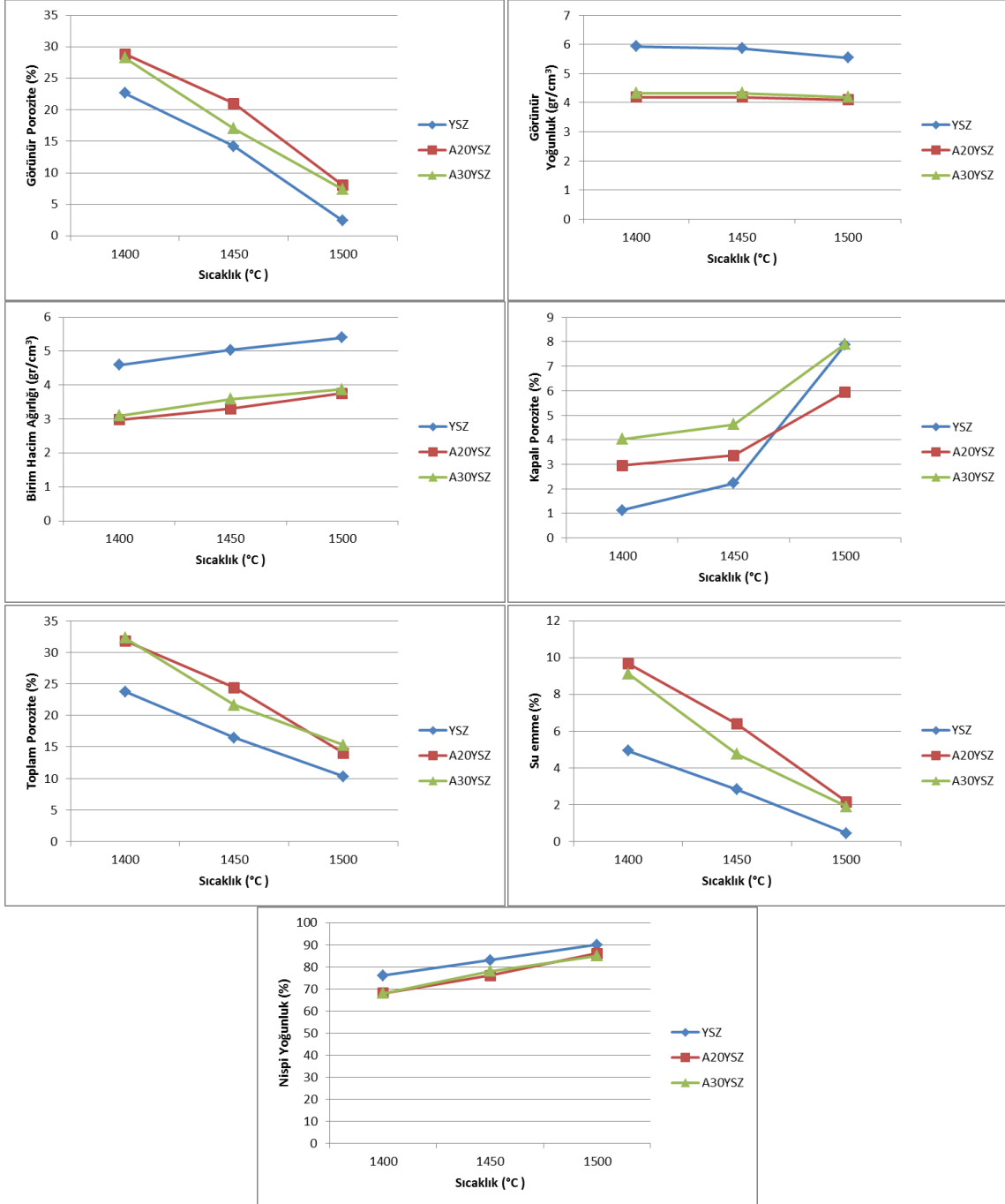
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl: Aksa Afyon Doğalgaz Dağıtım A.Ş., 2010- Halen devam ediyor.

Yayımları (SCI ve diğer) :

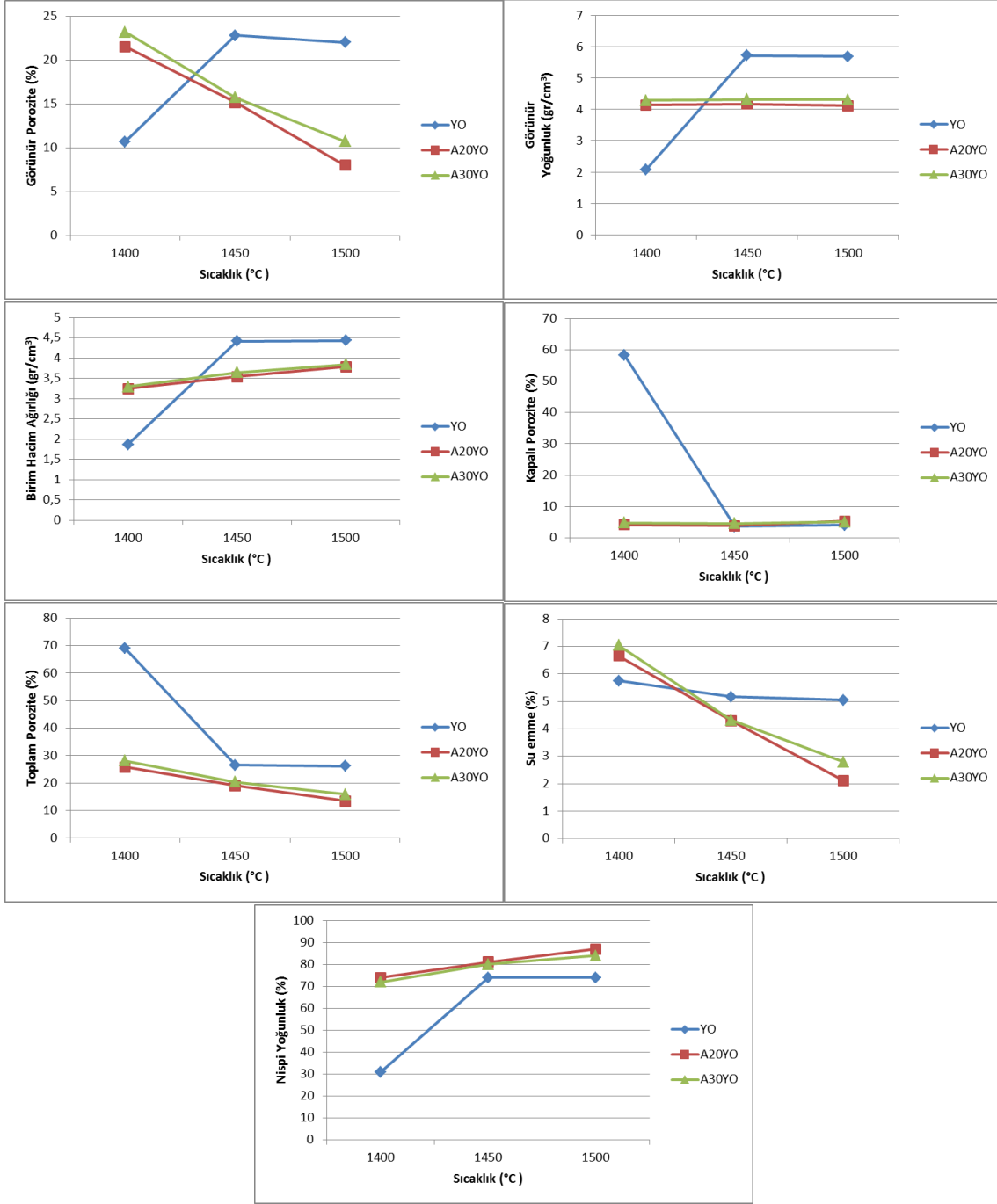
Diğer konular

## EKLER

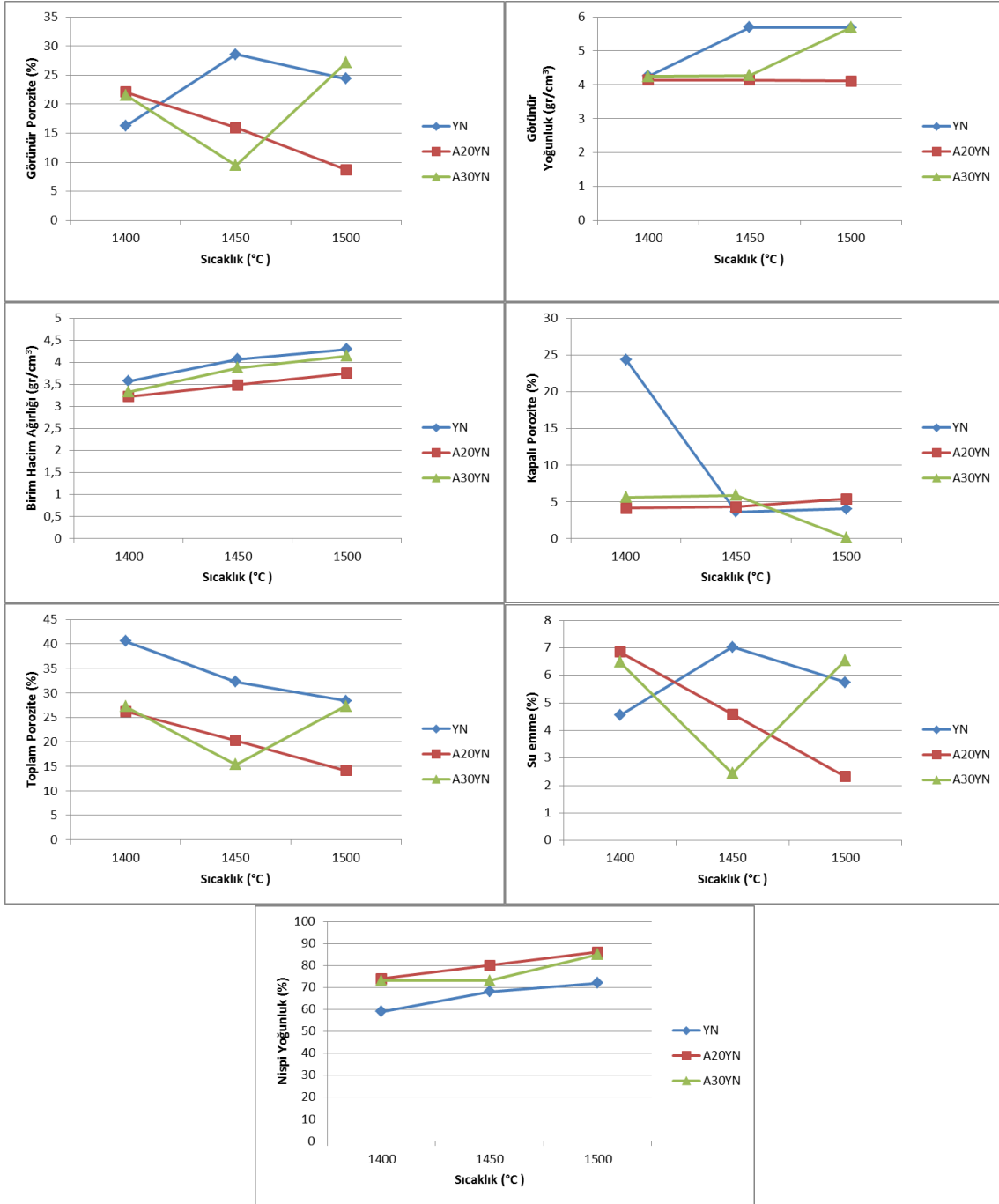
**EK-1 1. Grup numunelerin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



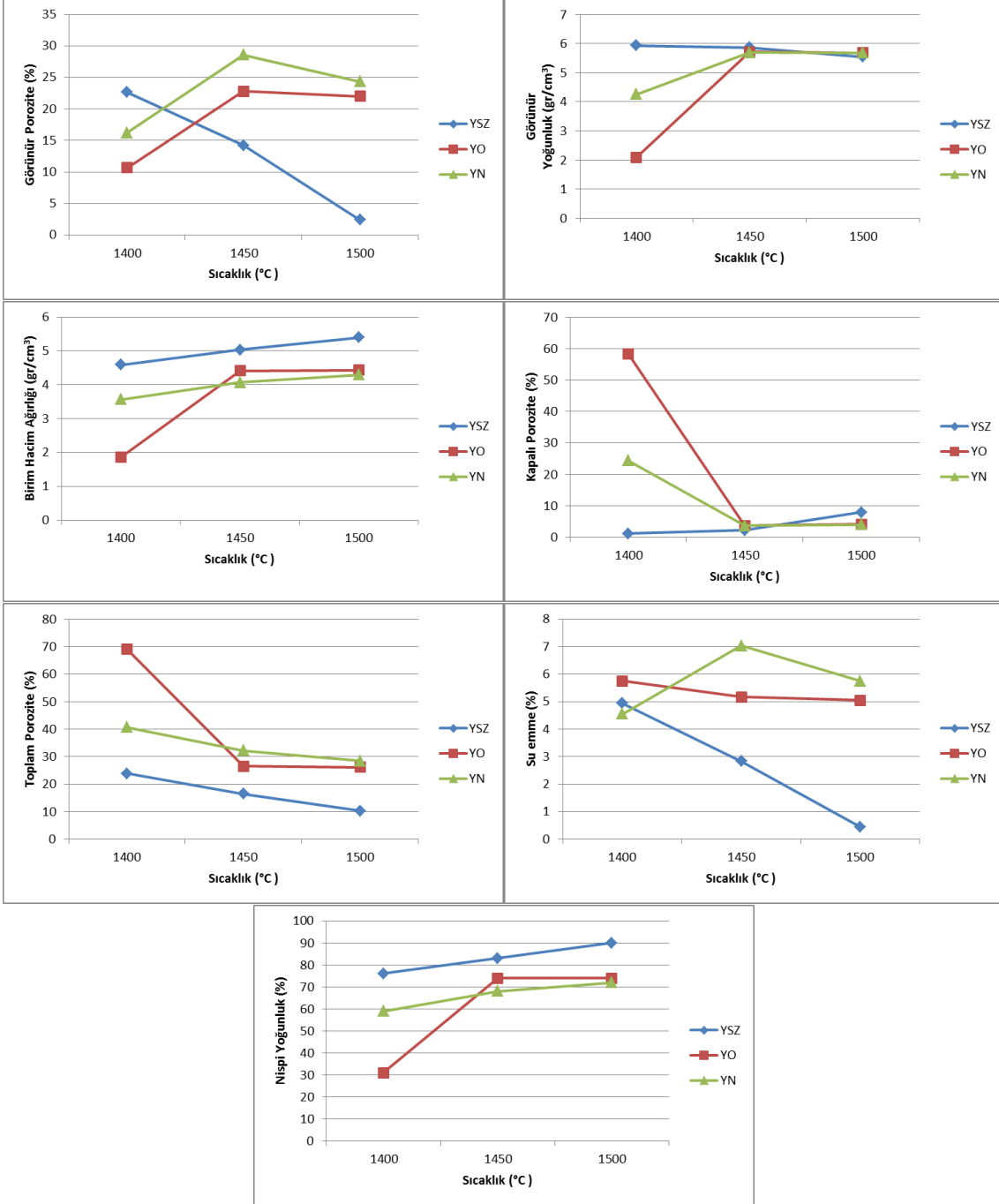
**EK-2 2. Grup numunelerin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



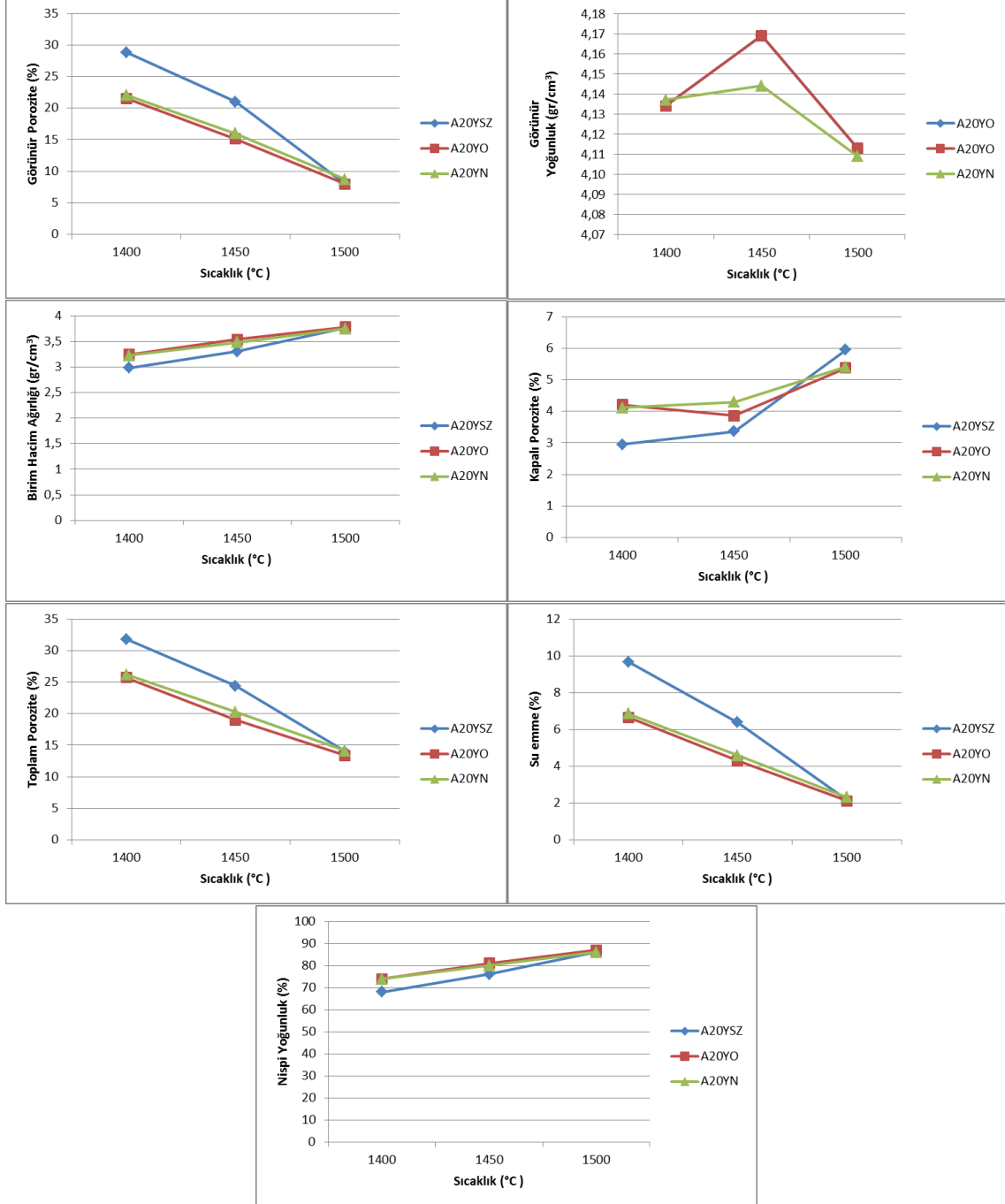
**EK-3 3. Grup numunelerin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



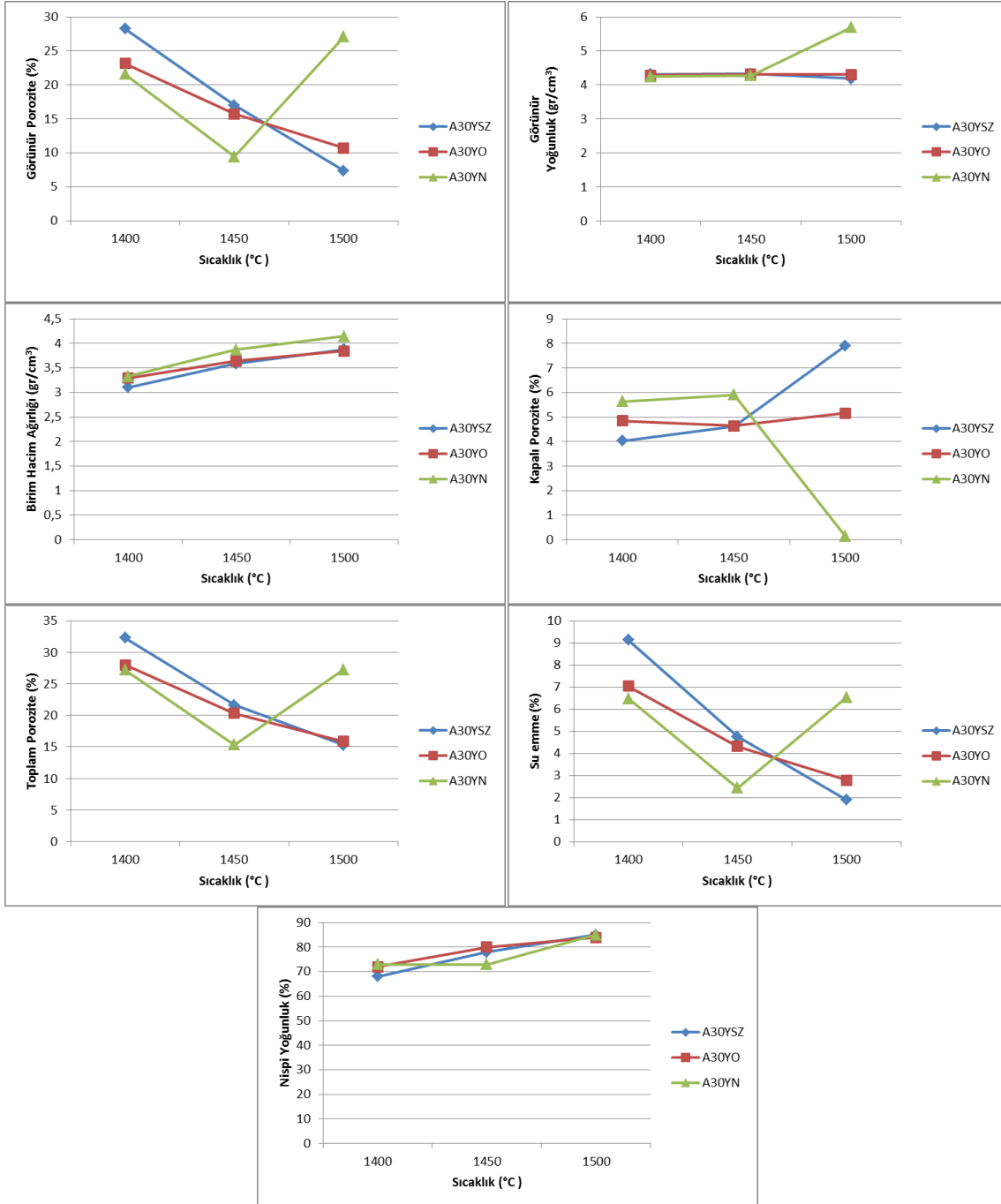
**EK-4 Katkısız YSZ numunelerinin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



**EK-5 %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerinin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**

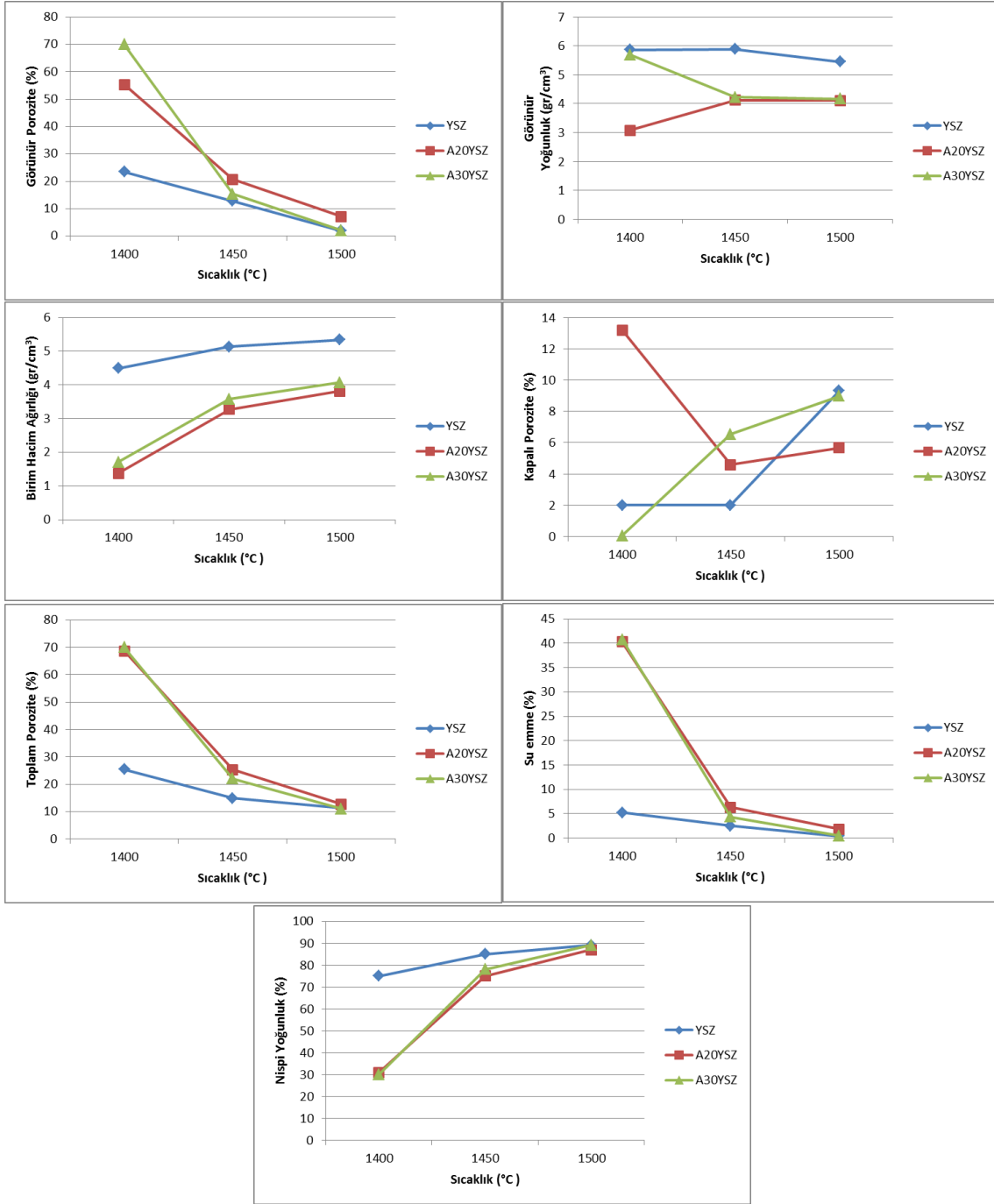


**EK-6 %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerinin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**

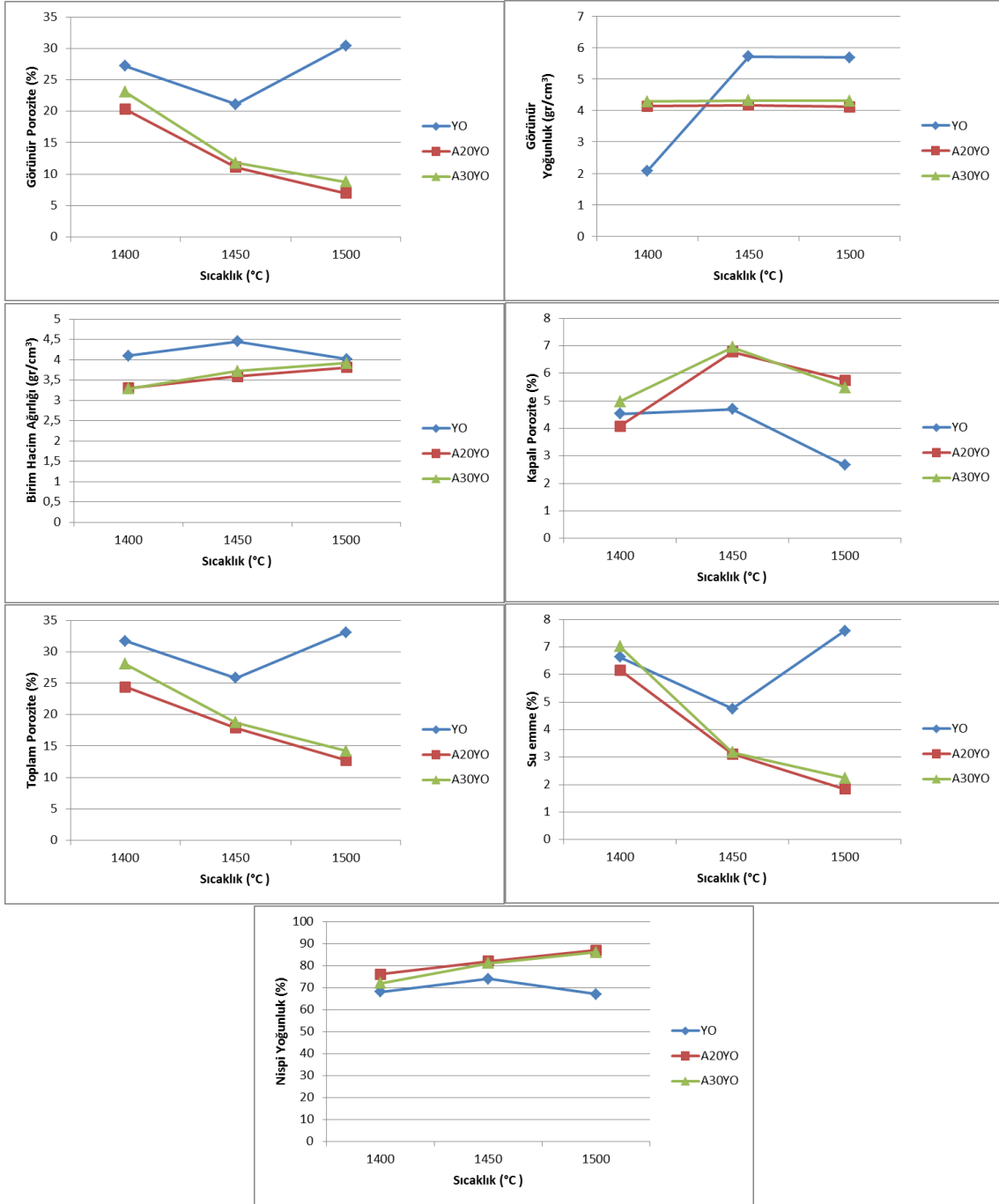




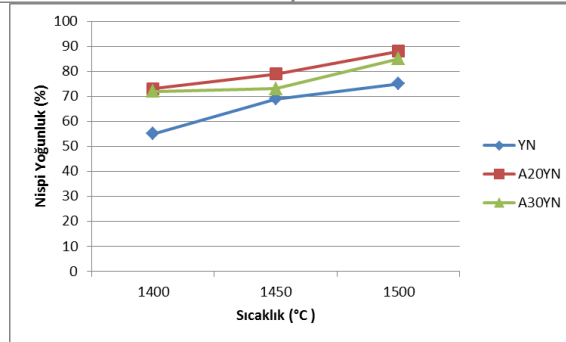
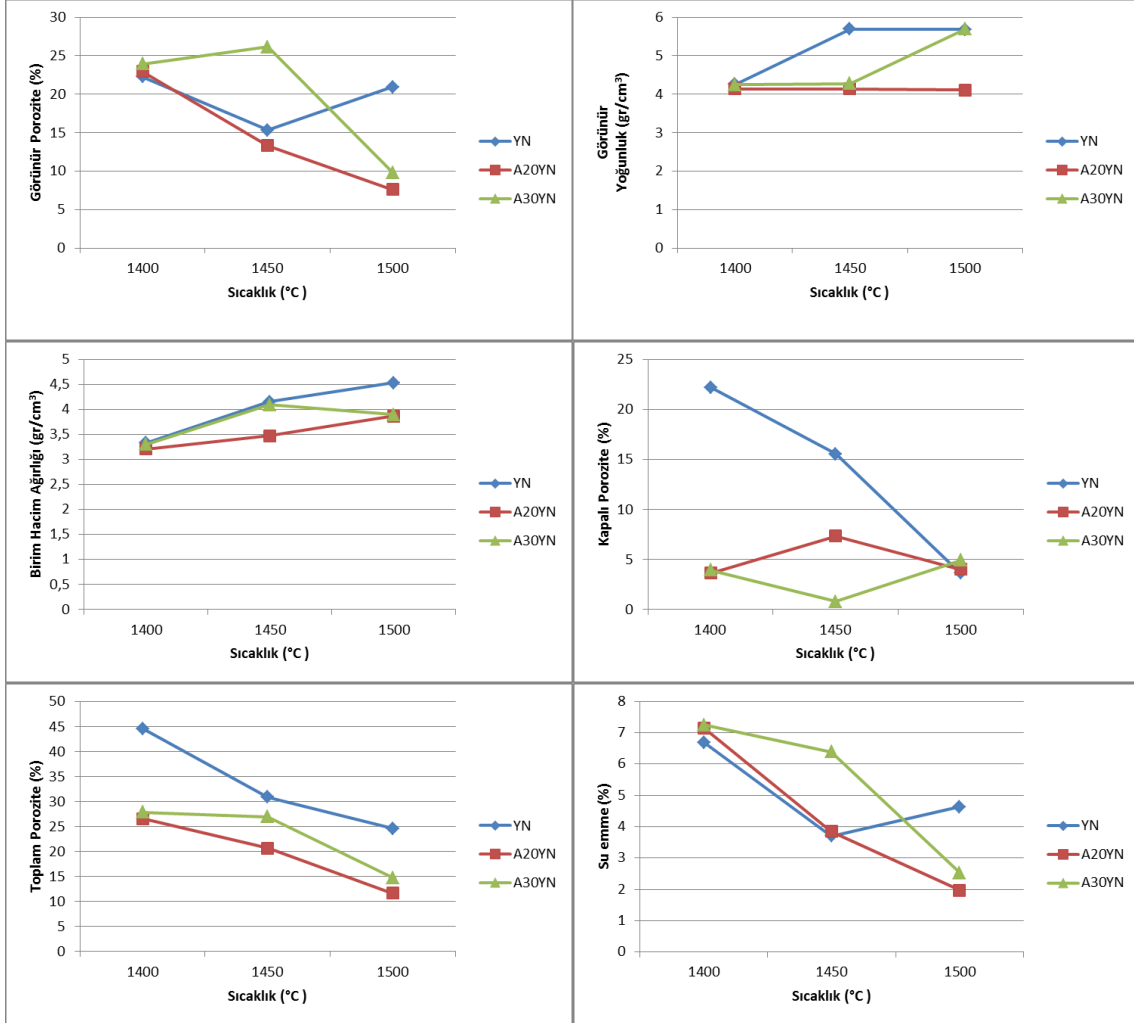
**EK-7 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, 1. Grup numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



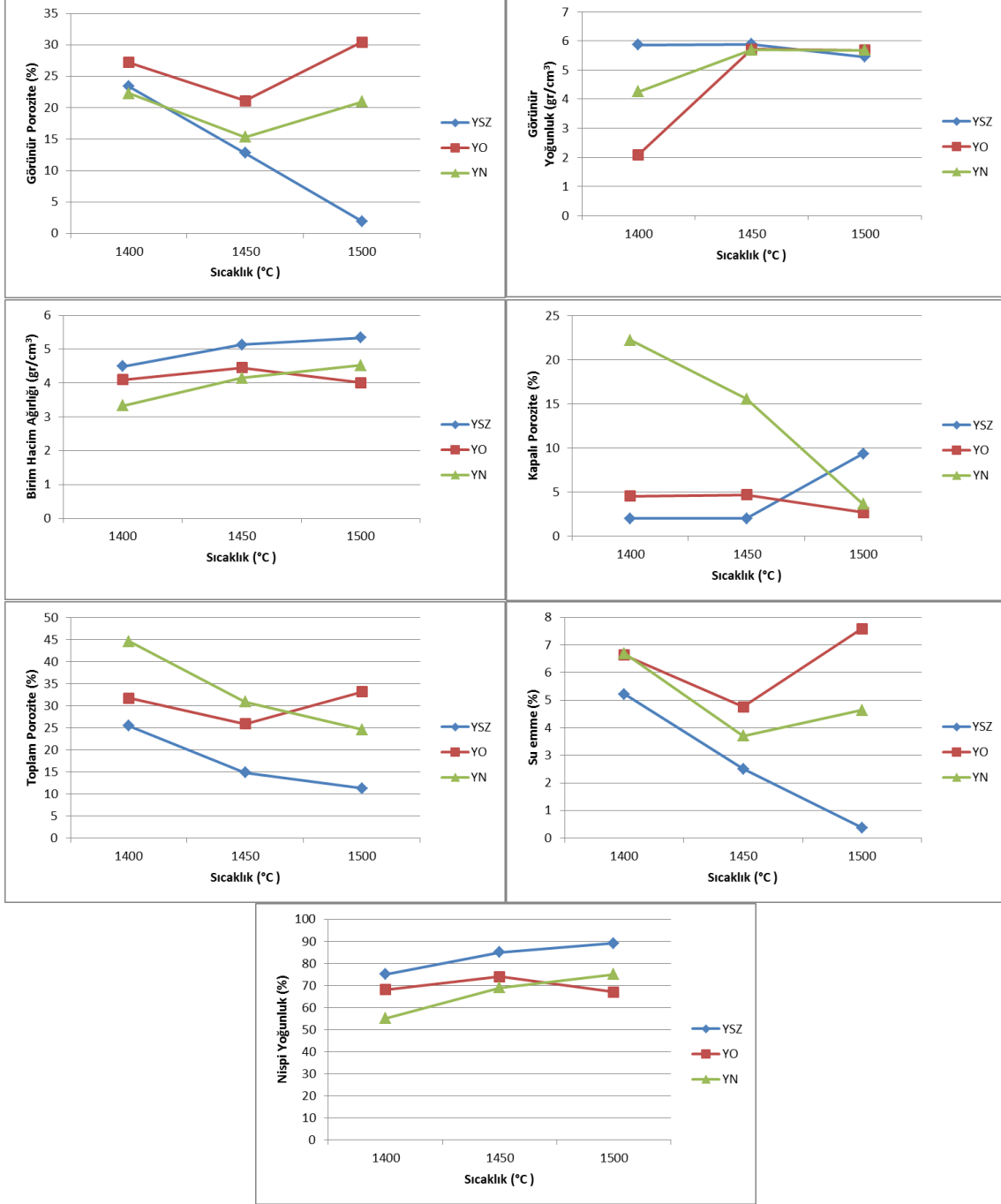
**EK-8 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, 2. Grup numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



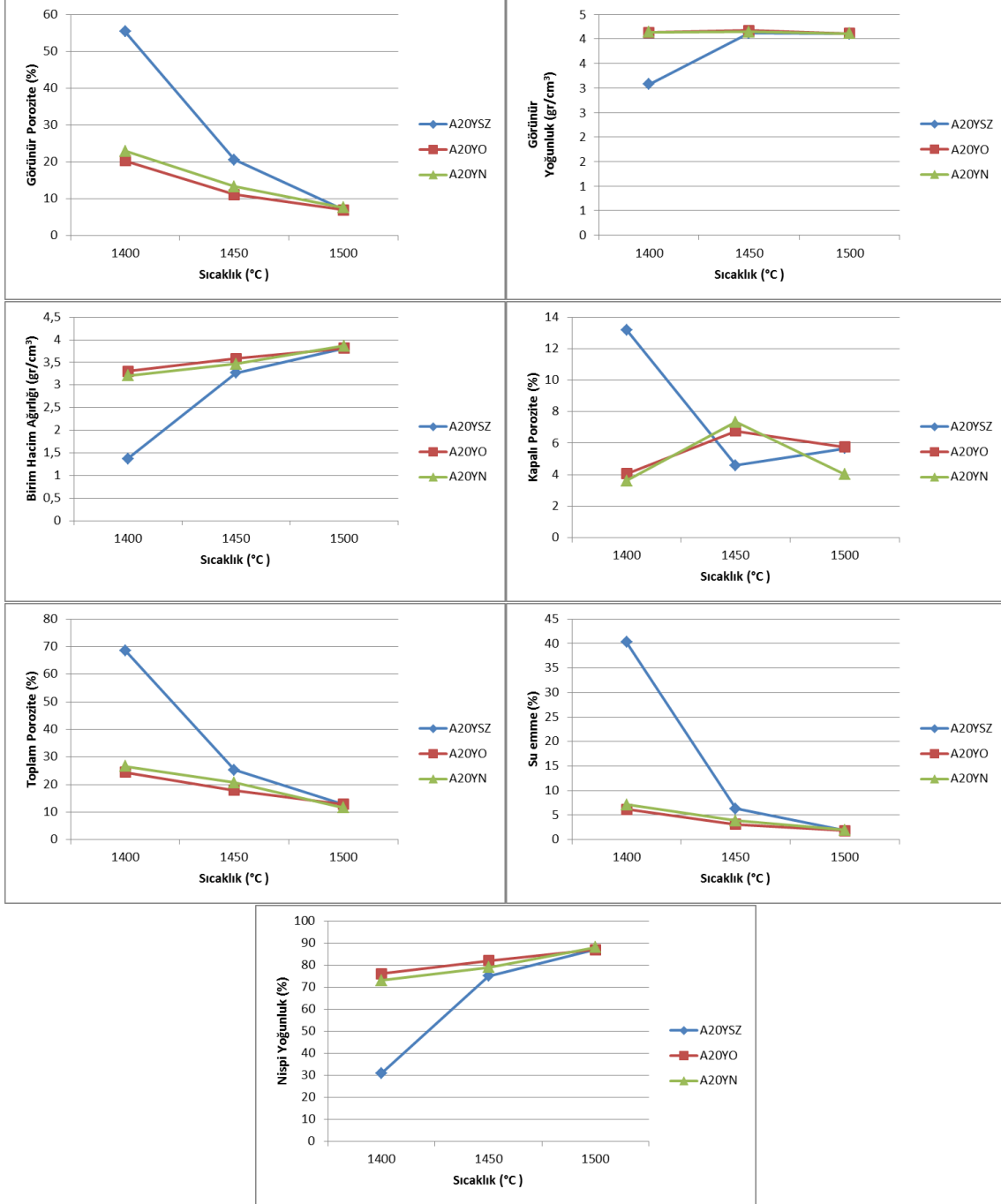
**EK-9 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, 3. Grup numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



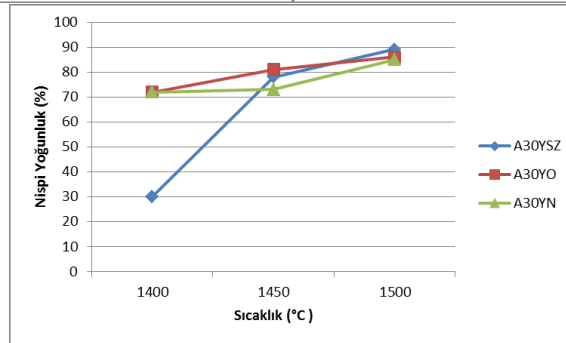
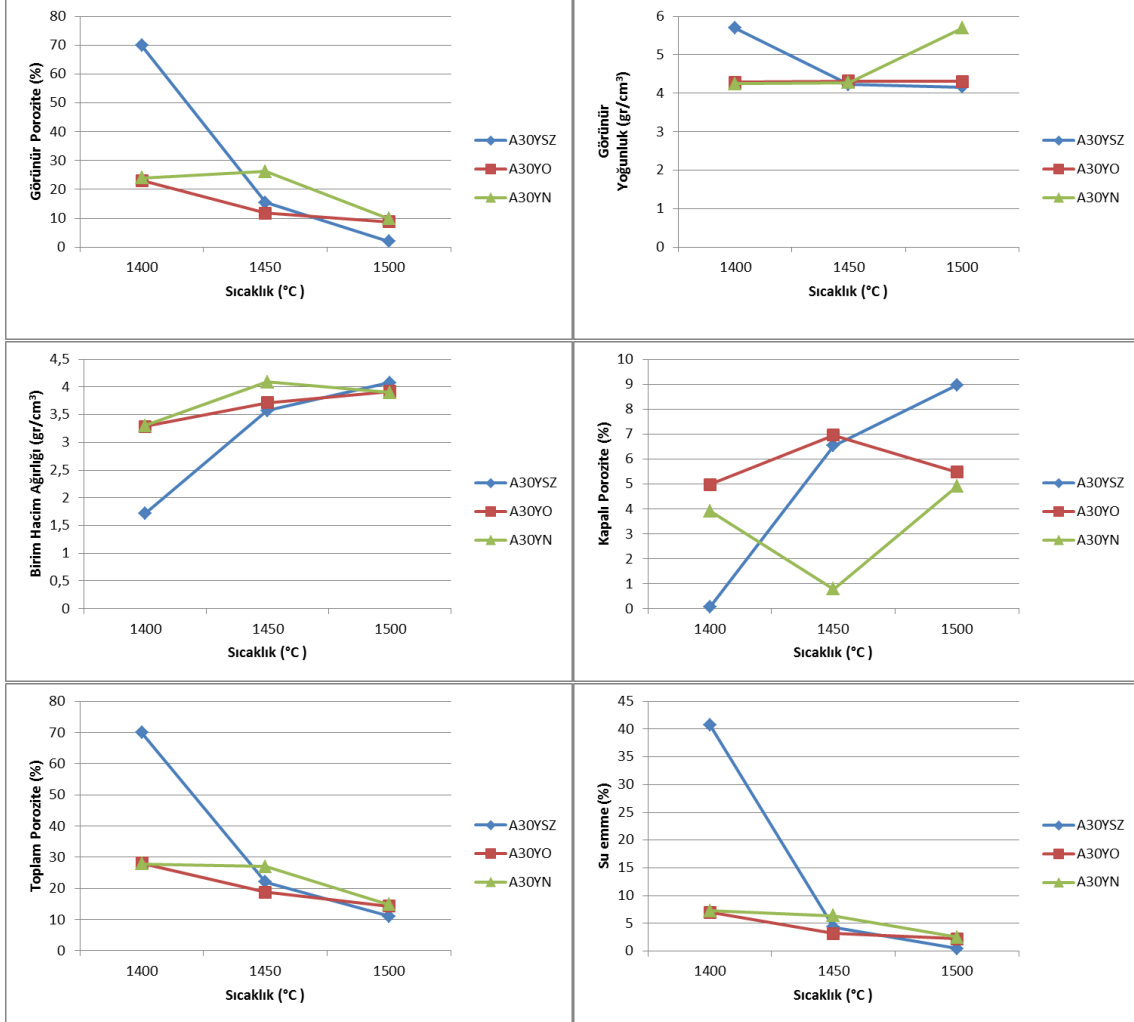
**EK-10 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, Katıksız YSZ numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



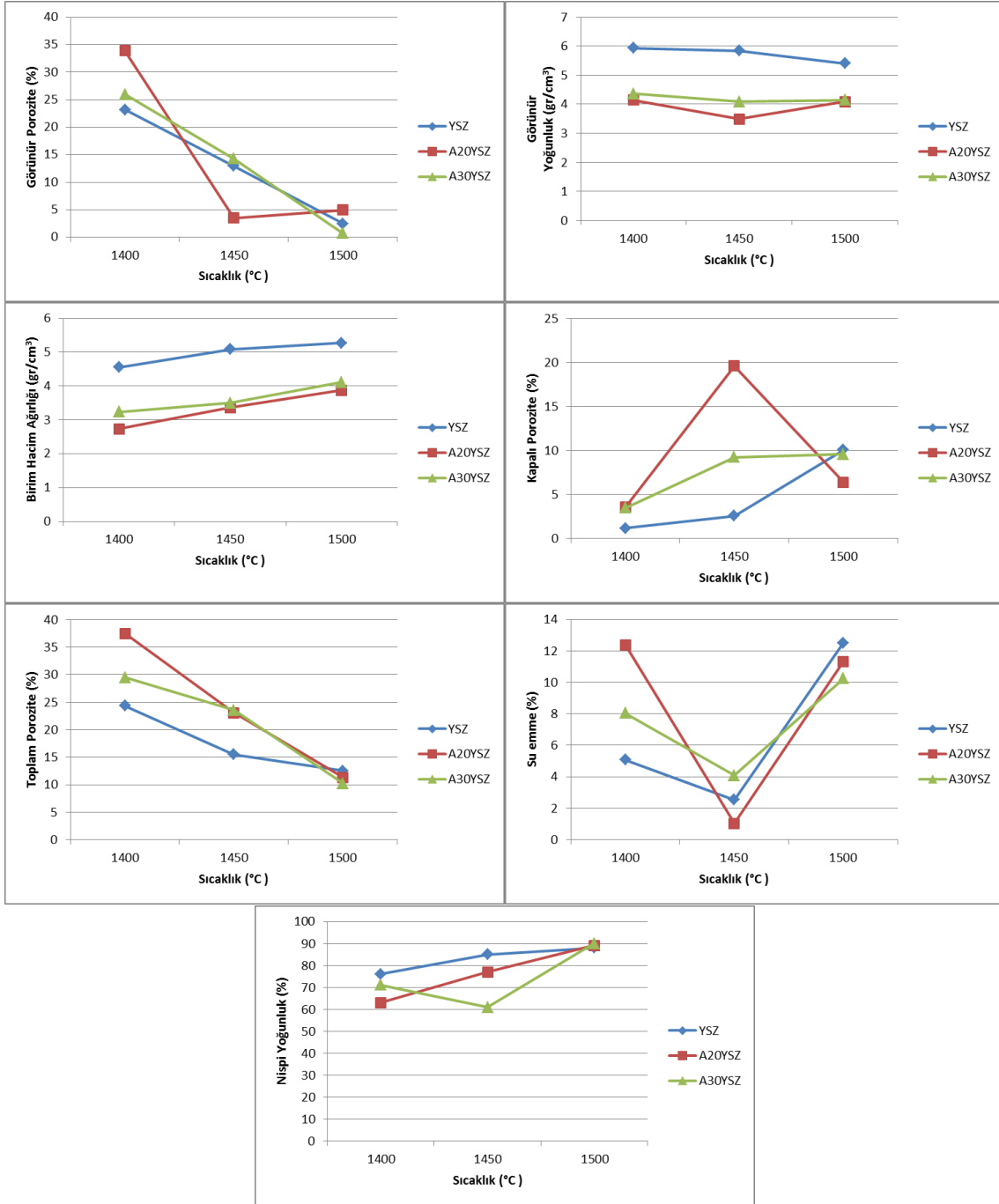
**EK-11 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %20 YSZ Katıklı Alümina numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



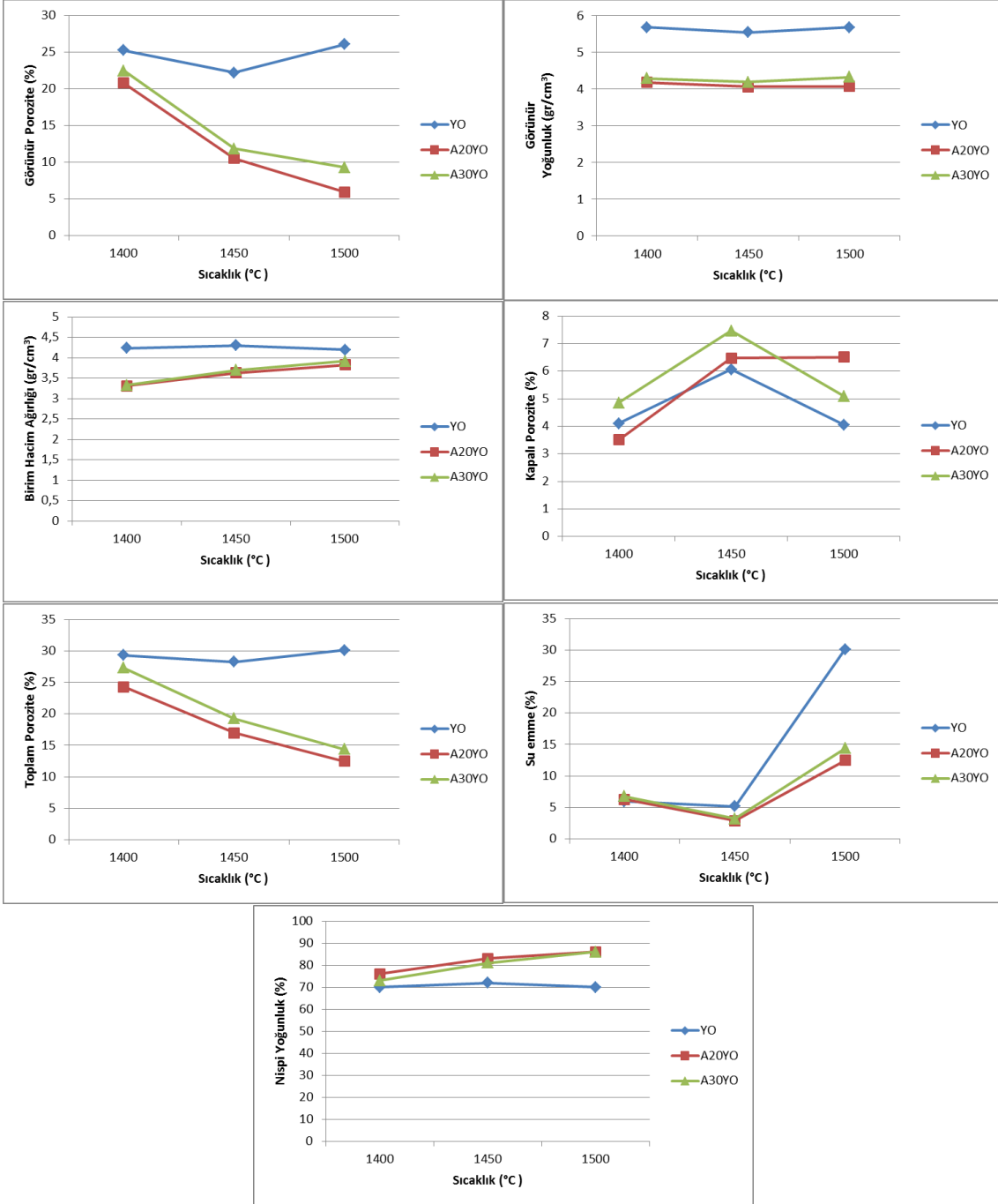
**EK-12 4 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %30 YSZ Katıklı Alümina numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



**EK-13 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, 1. Grup numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**

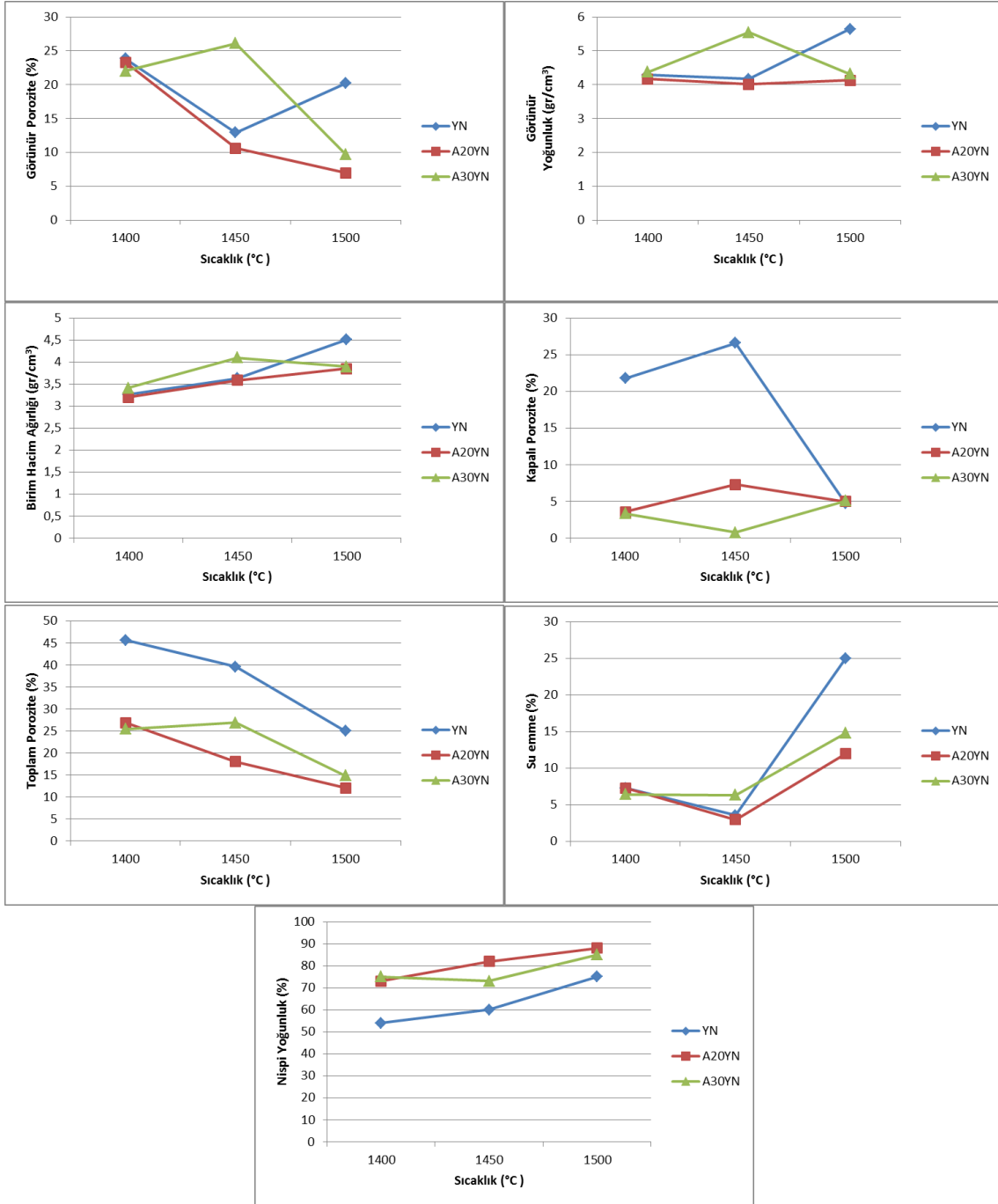


**EK-14 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, 2. Grup numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**

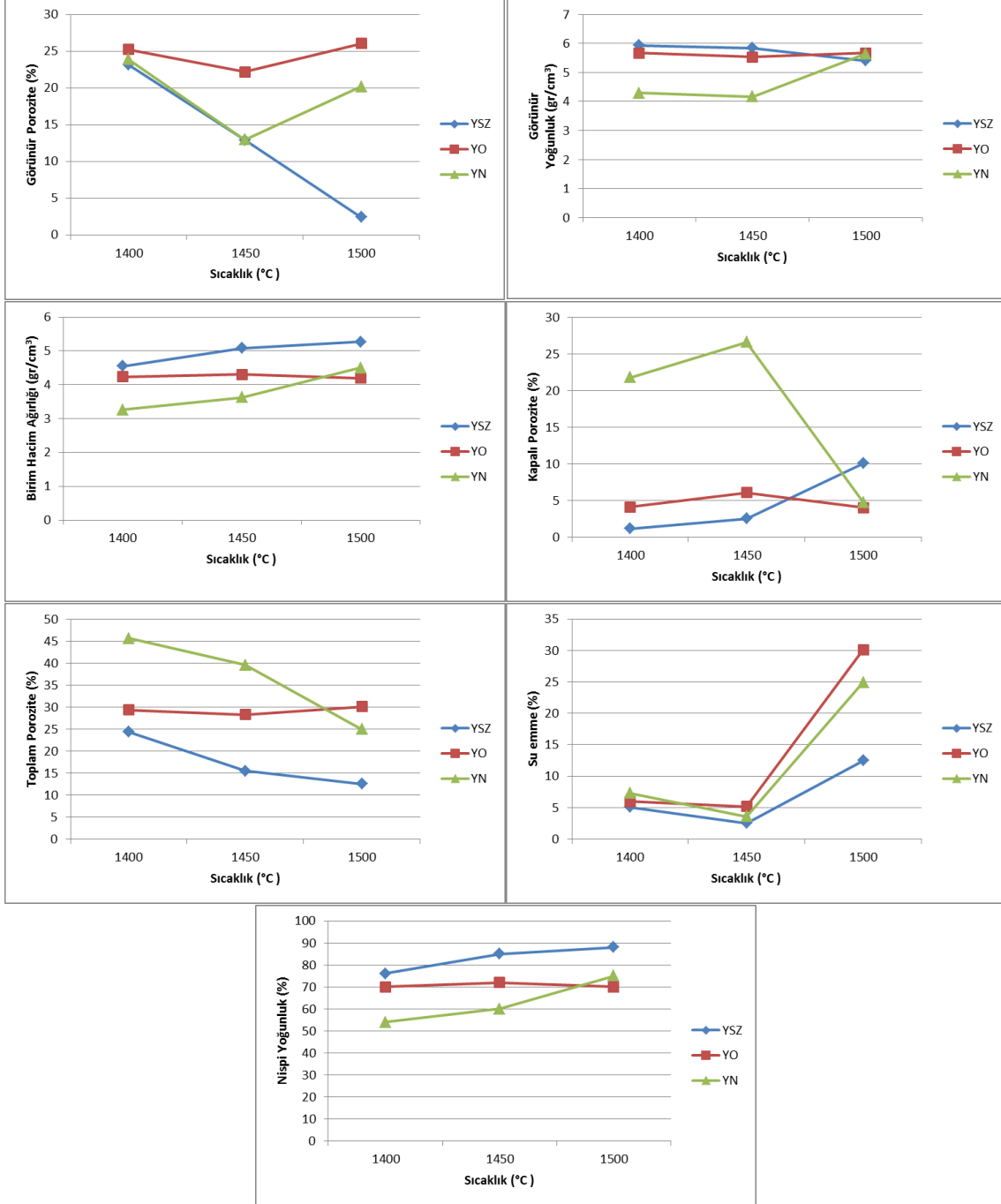




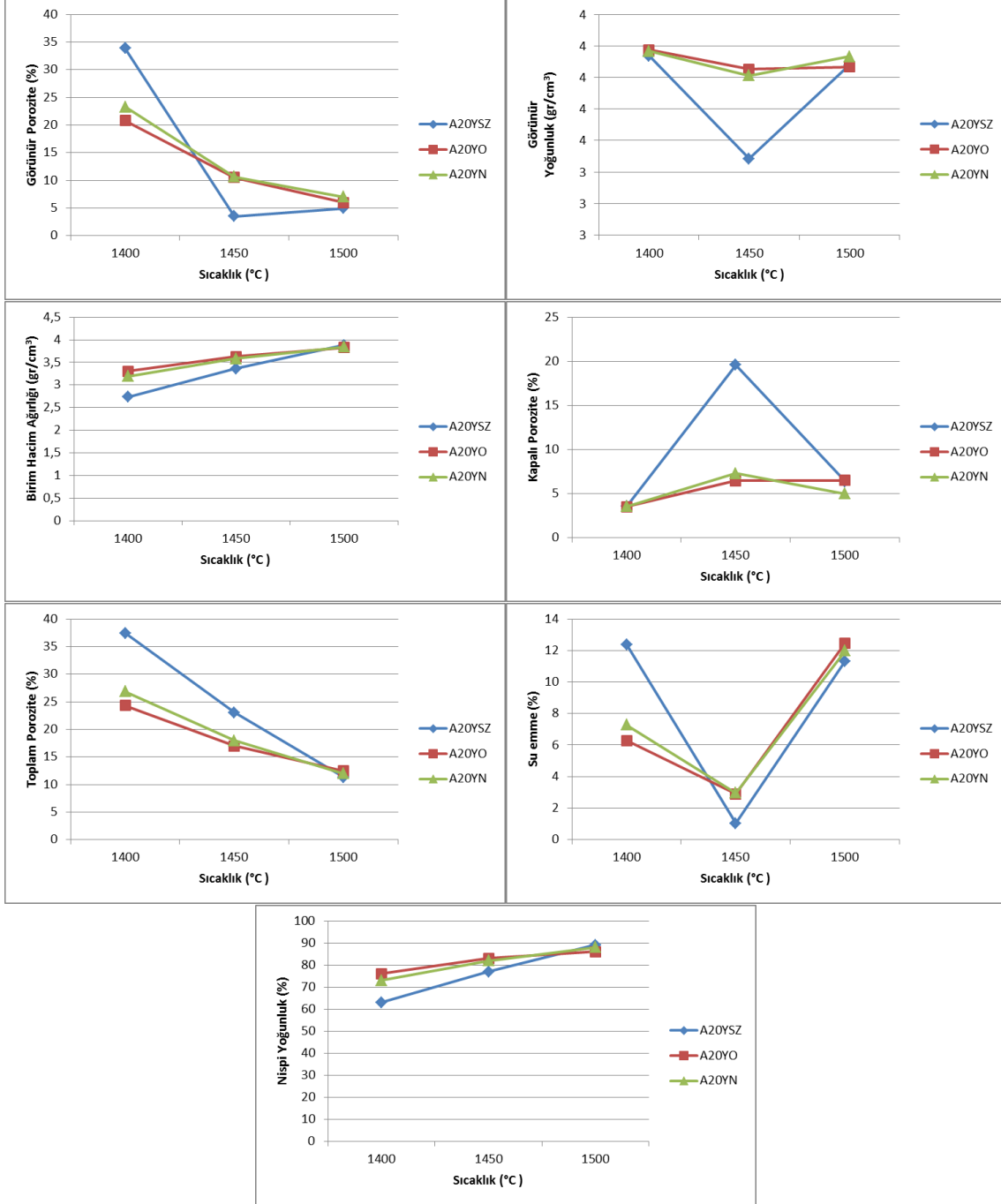
**EK-15 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, 3. Grup numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



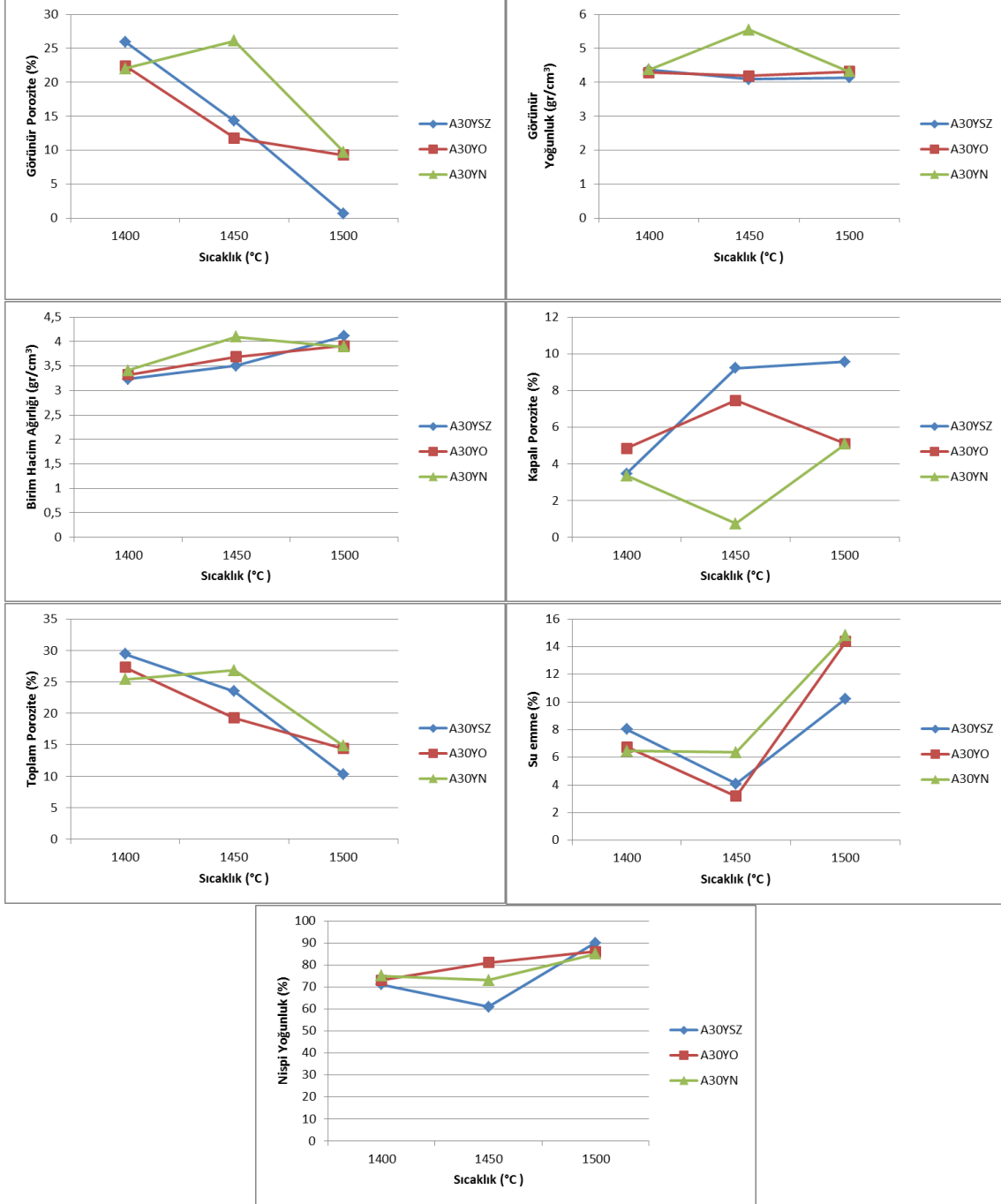
**EK-16 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, Katıksız YSZ numunelerinin sintereleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



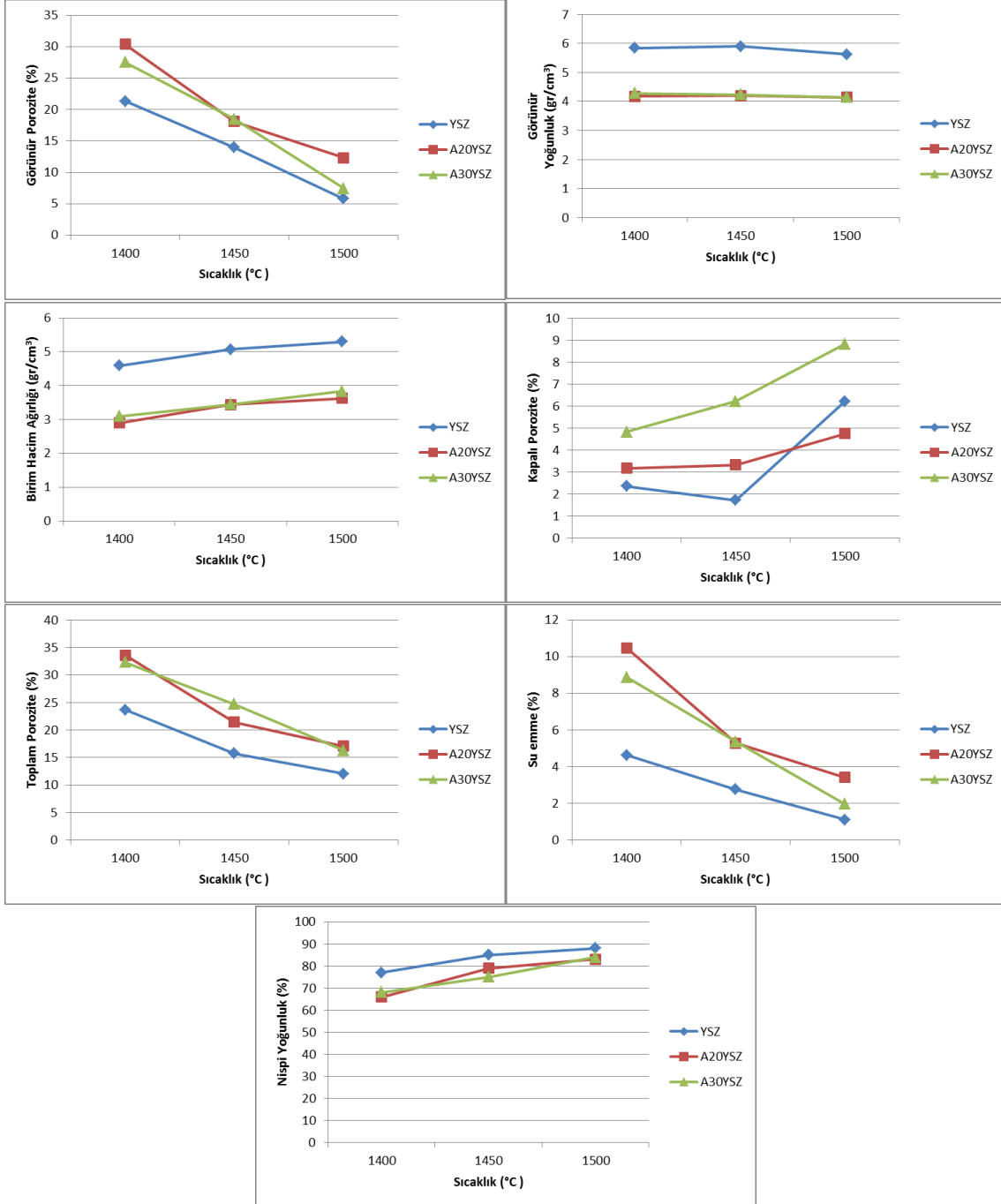
**EK-17 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %20 YSZ Katkılı Alümina numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



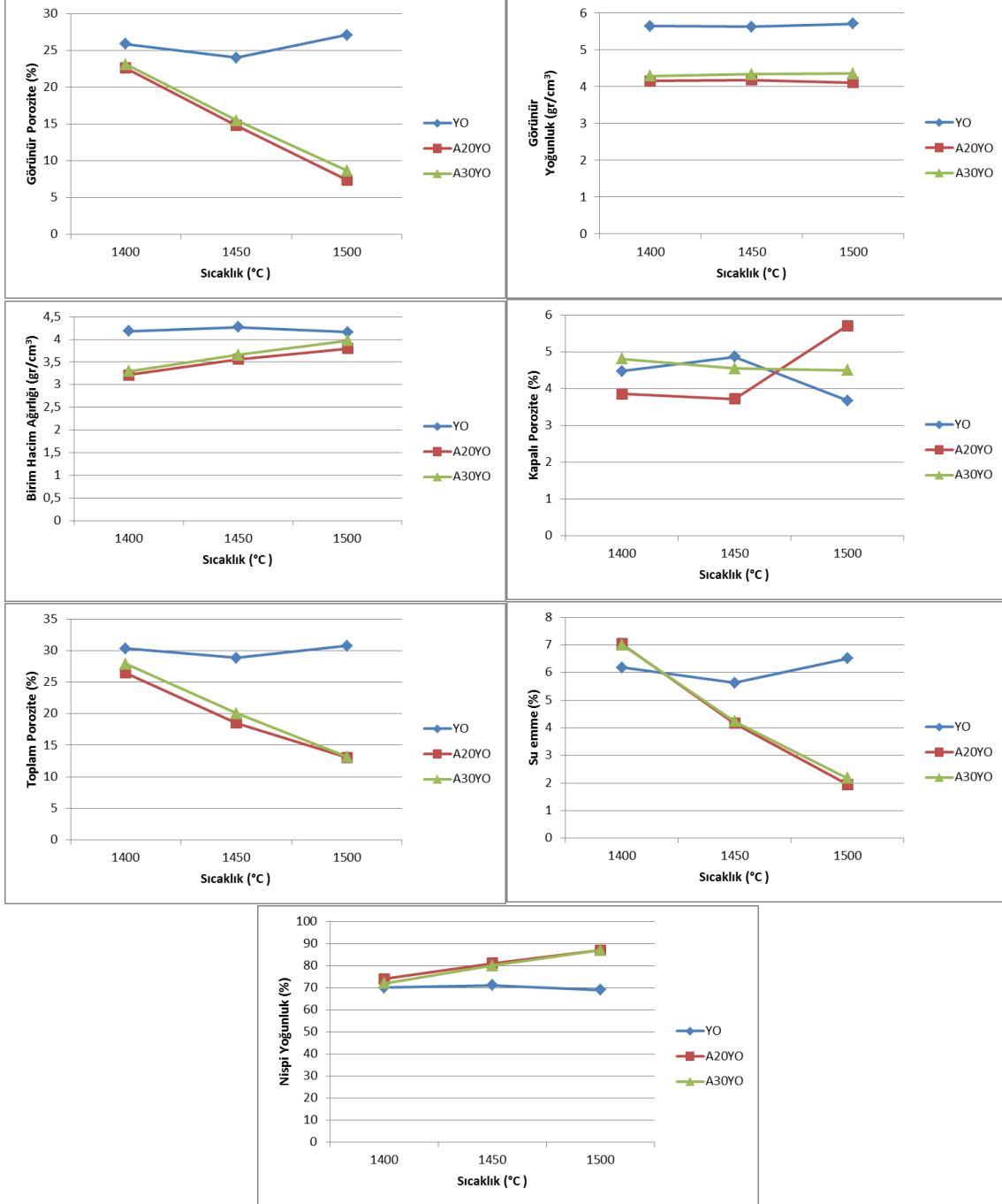
**EK-18 8 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %30 YSZ Katıklı Alümina numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



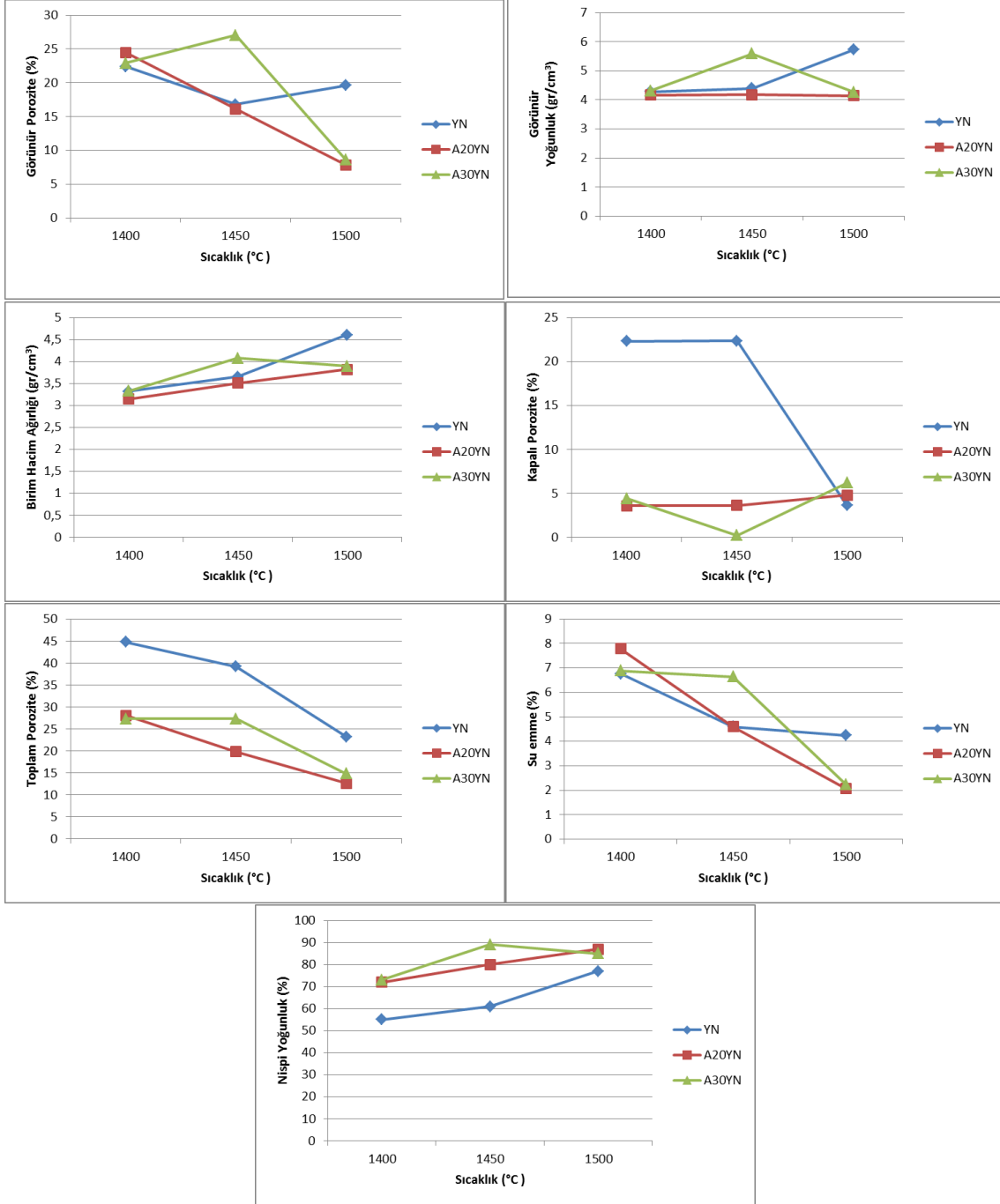
**EK-19 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, 1. Grup numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



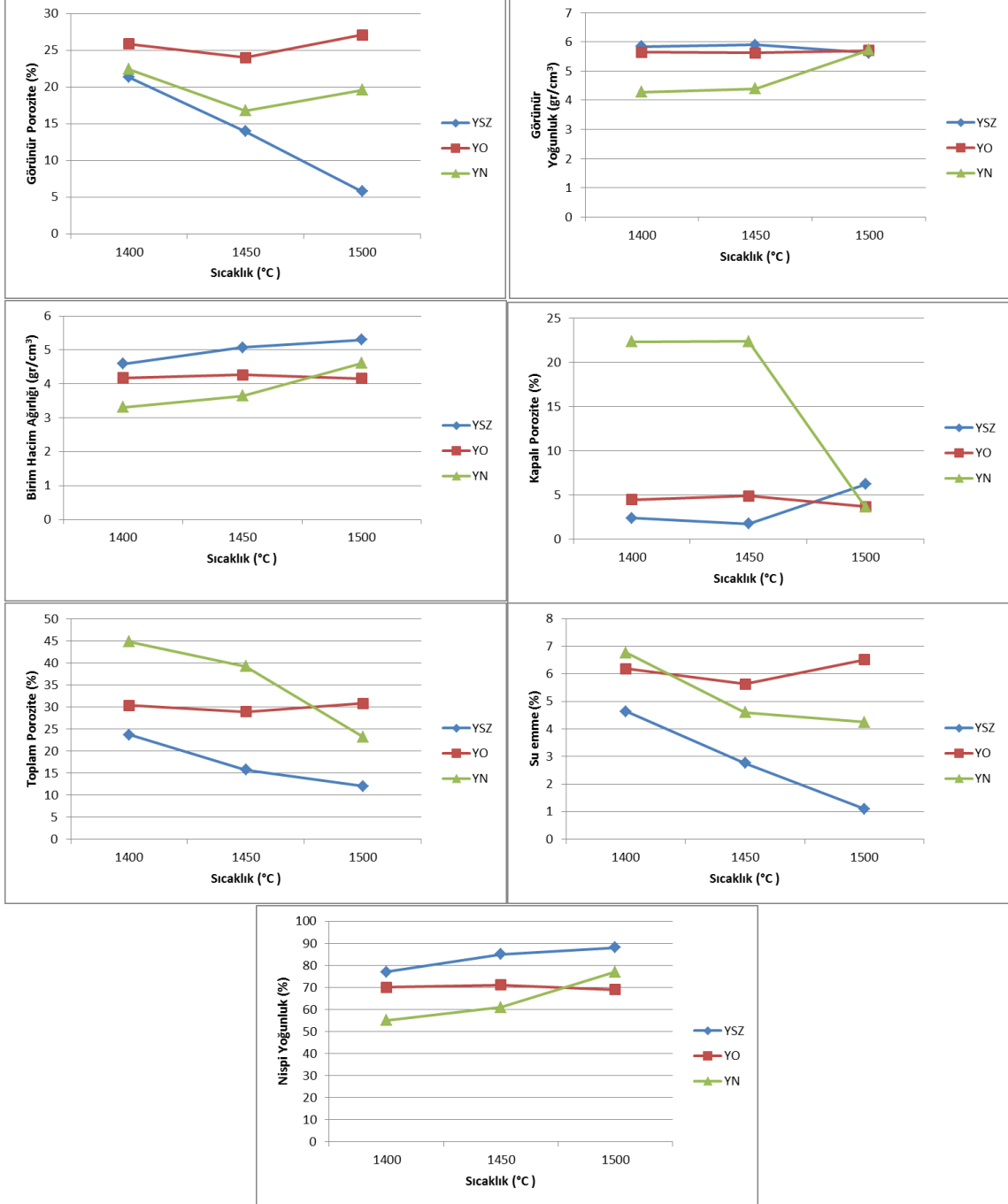
**EK-20 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, 2. Grup numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



**EK-21 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, 3. Grup numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**

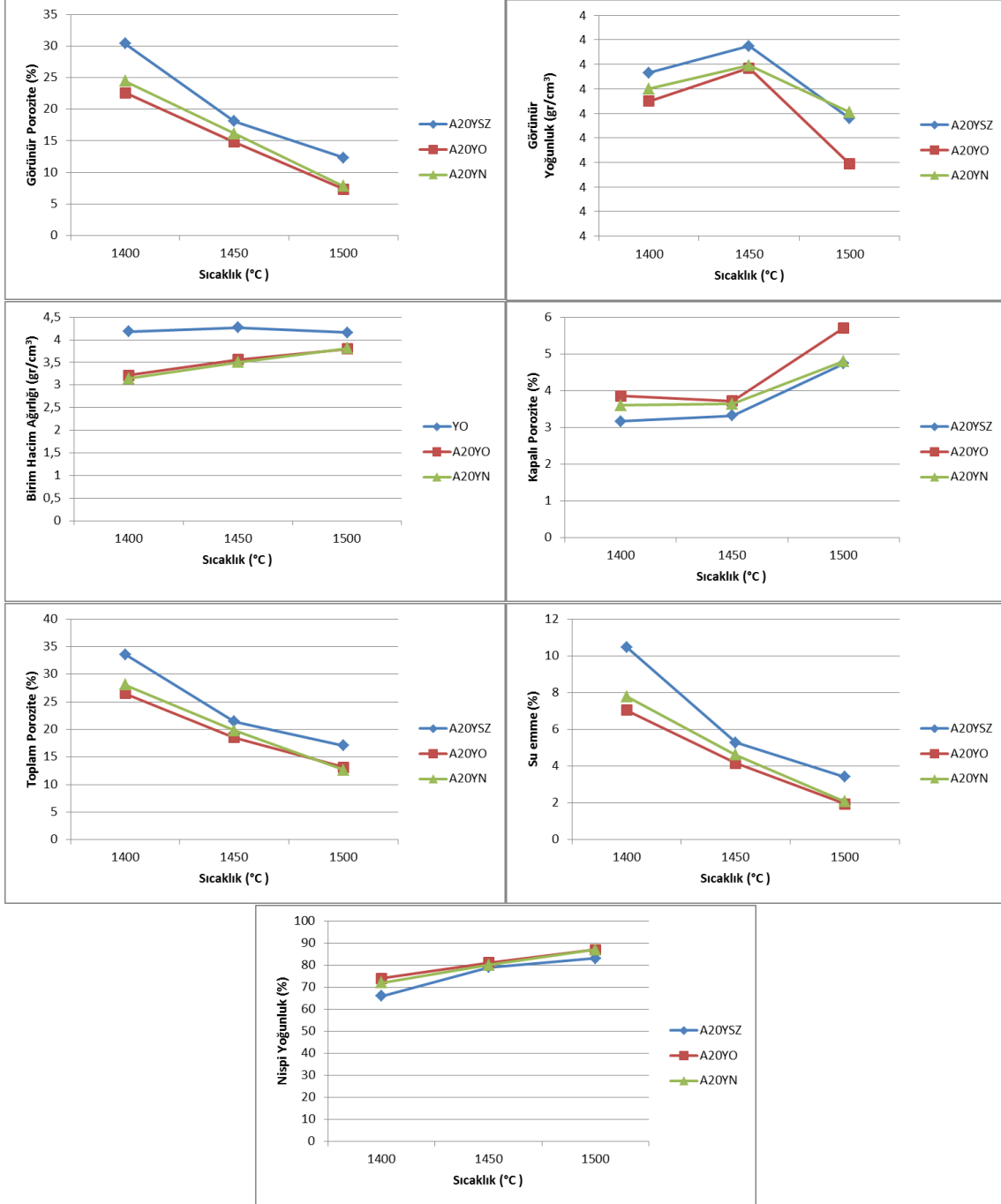


**EK-22 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, Katkısız YSZ numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**

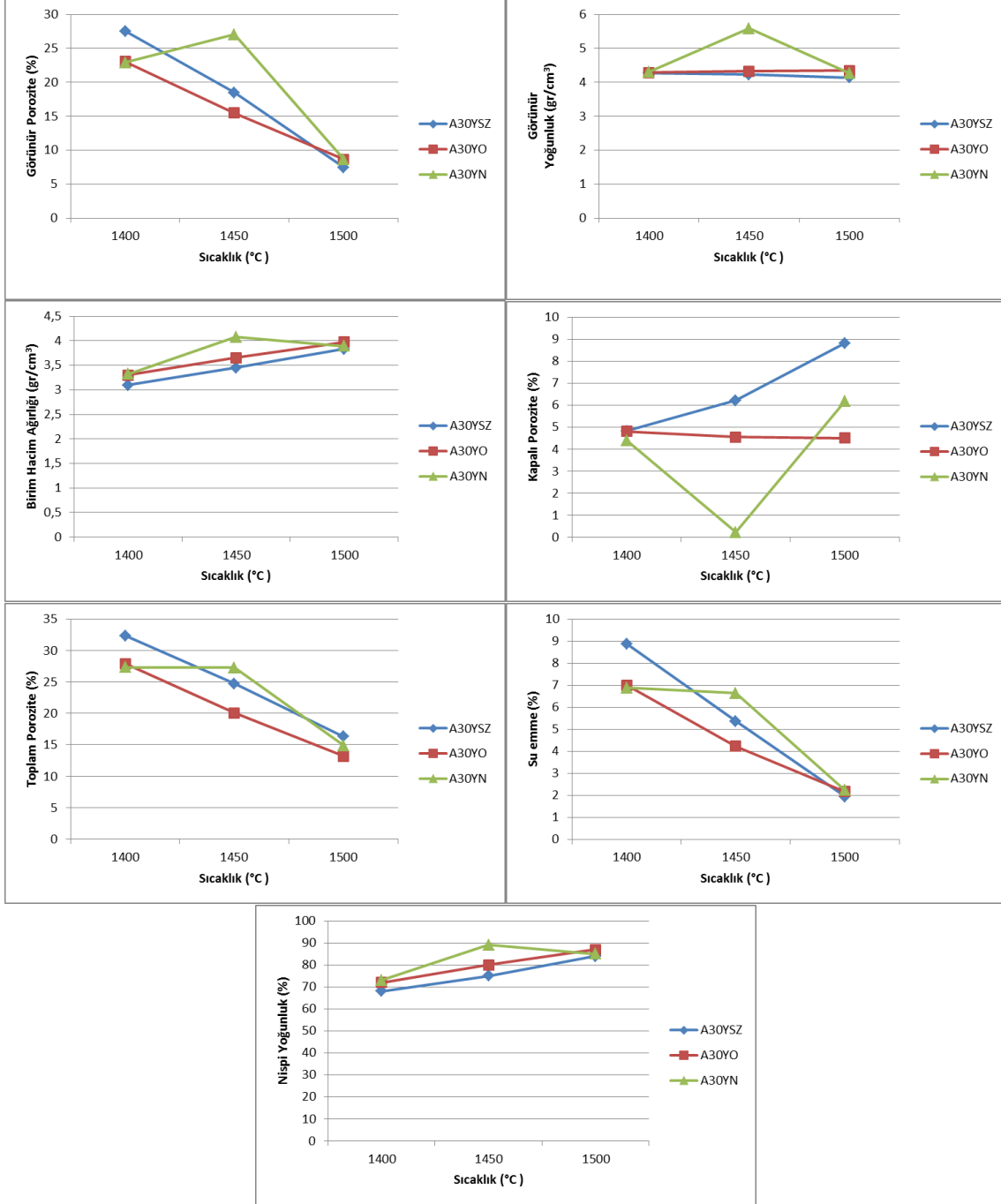




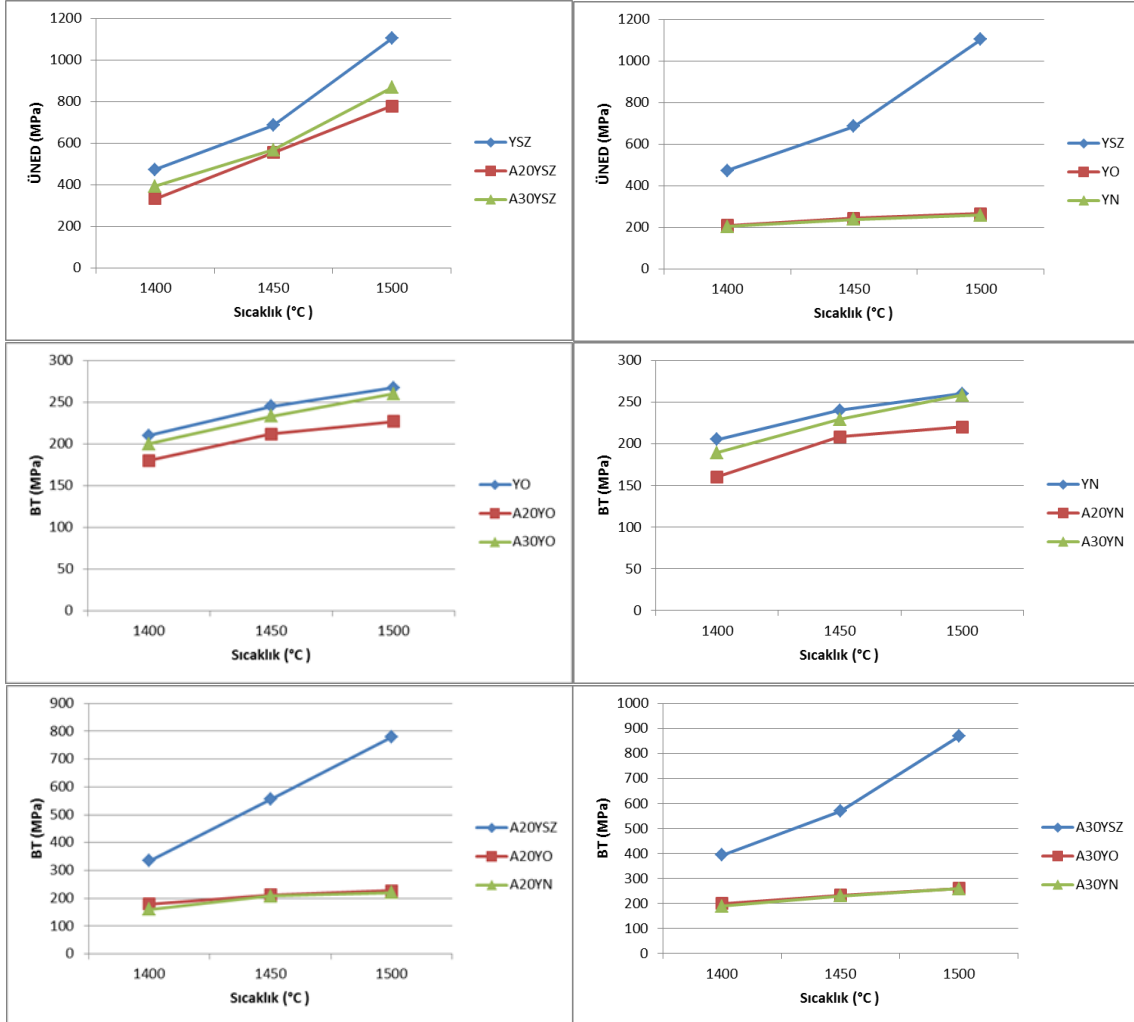
**EK-23 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %20 YSZ Katıklı Alümina numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**



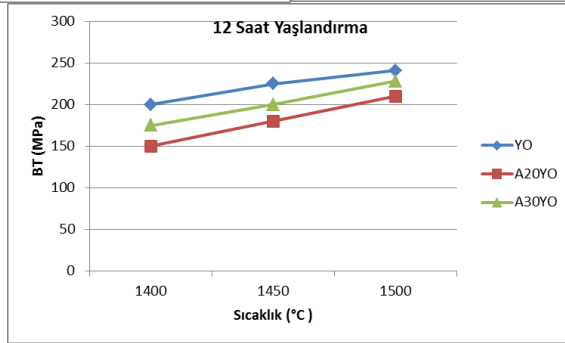
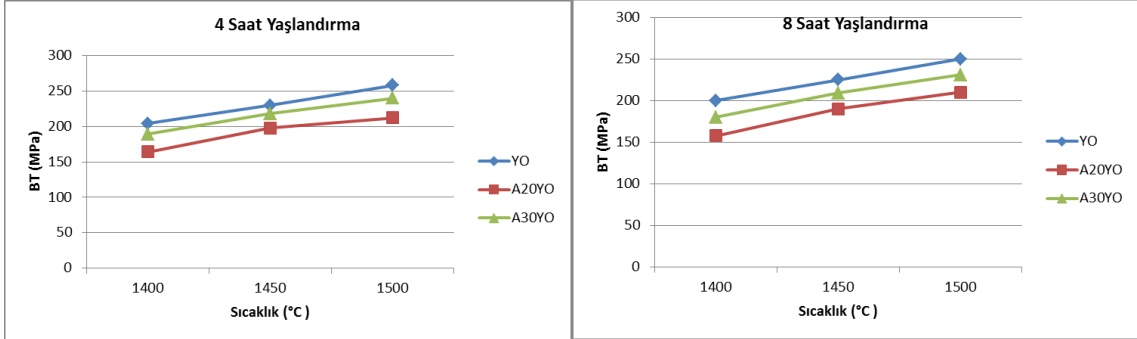
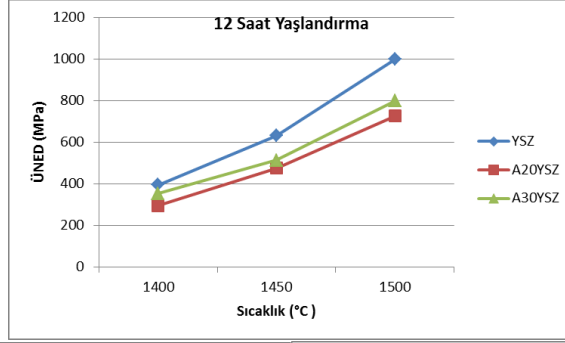
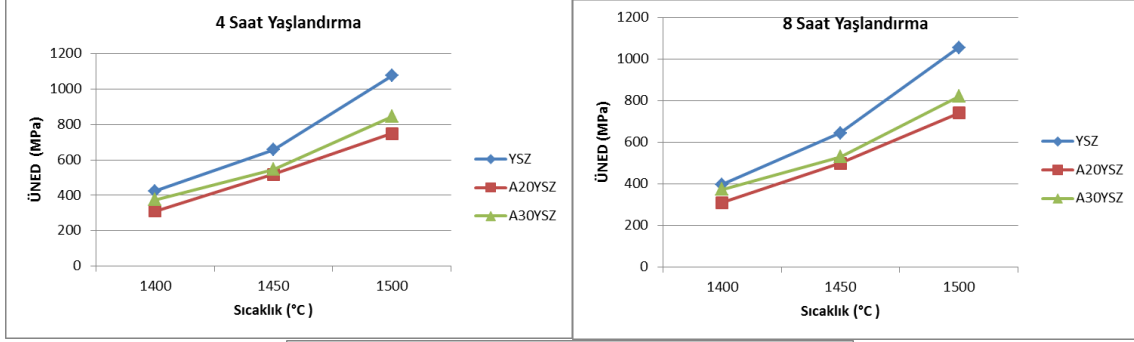
**EK-24 12 Saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan, %30 YSZ Katkılı Alümina numunelerinin sinterleme sıcaklığı ve katkı oranına olarak değişen fiziksel özelliklerine ait grafikler**

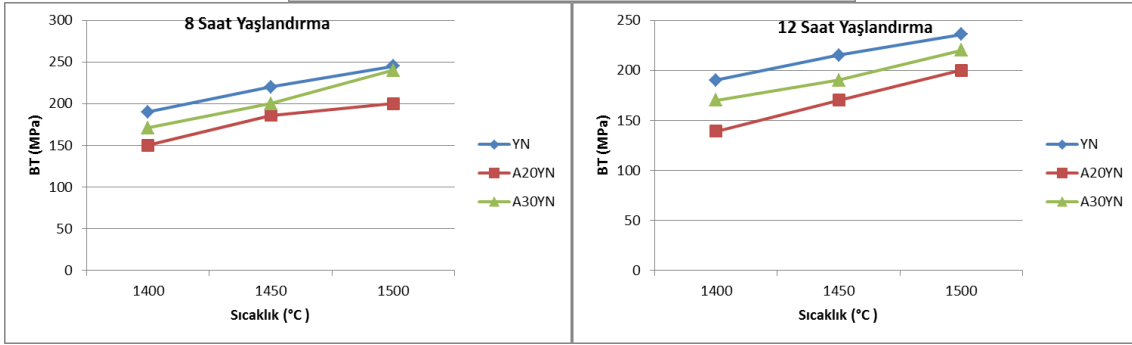
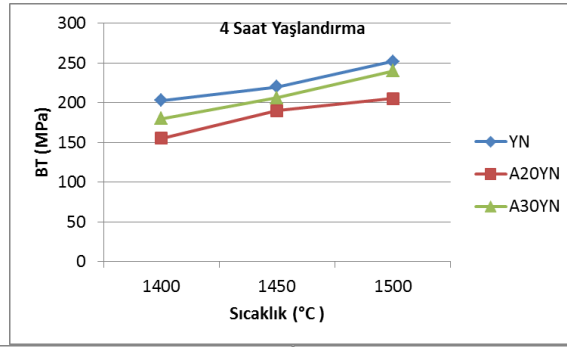


**EK-25 Yaşlandırma işlemine tabi tutulmayan numunelere ait sinterleme sıcaklığına ve katkı durumuna bağlı olarak değişen Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçlarına ait grafikler**

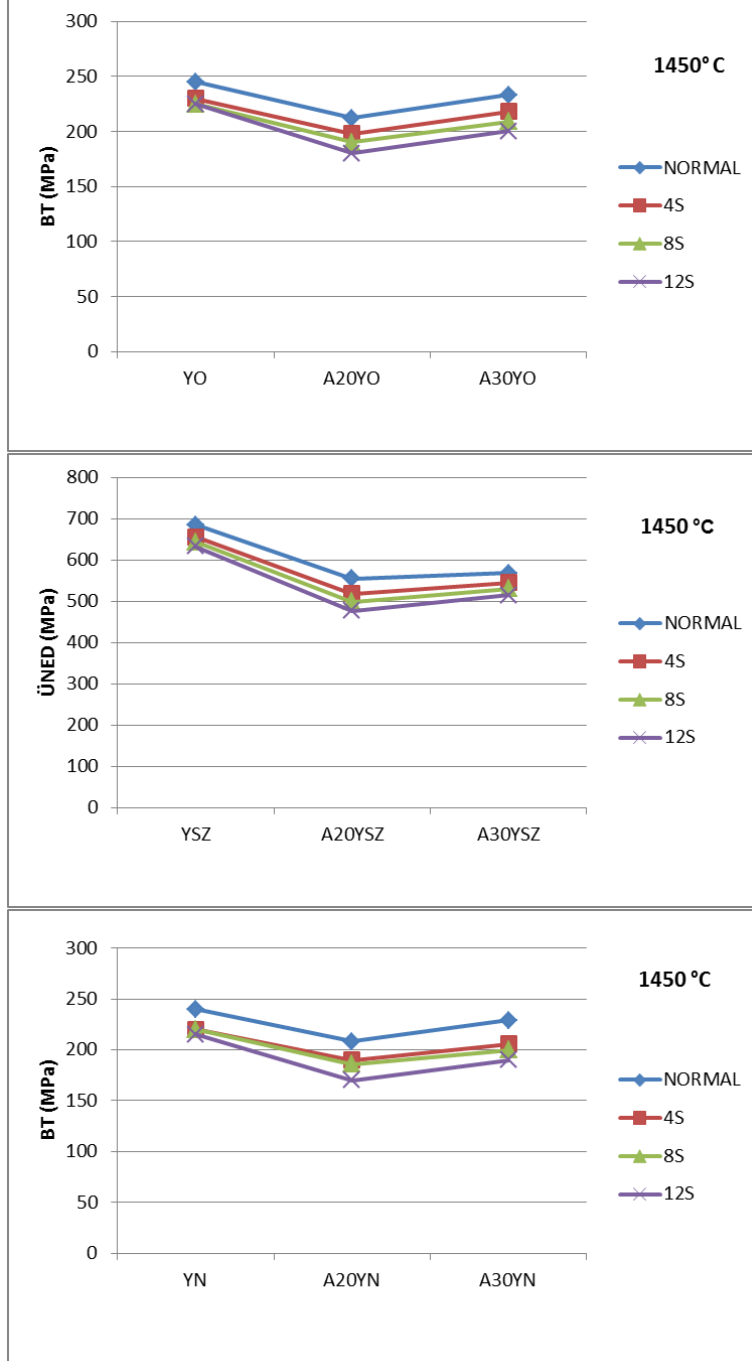


**EK-26 Yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunelerine ait yaşlandırma süresine, sinterleme sıcaklığına ve katkı durumuna bağlı olarak değişen Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçlarına ait grafikler**





**EK-27 1450 °C’ de sinterlenen numunelere ait Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian Test sonuçlarına ait grafikler**



**EK-28 Numunelerin sinterleme sıcaklığına, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler toplu test sonuçları**

YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANMAYAN NUMUNELER	Görünür Porozite (%)			Görünür Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )			Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )			Kapalı Porozite (%)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	22,64	14,21	2,42	5,932	5,865	5,535	4,589	5,03	5,4	1,13	2,23	7,88
A20YSZ	28,85	21,02	8,06	4,191	4,185	4,09	2,982	3,306	3,76	2,95	3,36	5,95
A30YSZ	28,25	17,03	7,38	4,32	4,322	4,187	3,1	3,587	3,878	4,03	4,63	7,91
YO	10,7	22,79	22,01	2,088	5,716	5,682	1,864	4,413	4,43	58,23	3,66	4,15
A20YO	21,52	15,15	8	4,134	4,169	4,113	3,244	3,537	3,784	4,21	3,86	5,38
A30YO	23,17	15,71	10,72	4,284	4,321	4,308	3,291	3,642	3,846	4,85	4,64	5,16
YN	16,23	28,59	24,36	4,256	5,695	5,679	3,565	4,067	4,296	24,35	3,63	4,04
A20YN	22,08	15,97	8,71	4,137	4,144	4,109	3,224	3,483	3,751	4,12	4,3	5,41
A30YN	21,56	9,45	27,11	4,244	4,274	5,69	3,329	3,87	4,147	5,63	5,9	0,13
45 YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANAN NUMUNELER	Görünür Porozite (%)			Görünür Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )			Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )			Kapalı Porozite (%)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	23,41	12,82	1,95	5,862	5,881	5,448	4,49	5,128	5,342	2,01	2,01	9,32
A20YSZ	55,34	20,62	7,06	3,076	4,119	4,105	1,374	3,269	3,815	13,2	4,6	5,67
A30YSZ	69,88	15,4	2,02	5,691	4,224	4,159	1,714	3,574	4,075	0,05	6,53	8,97
YO	27,18	21,13	30,43	5,628	5,643	5,77	4,098	4,451	4,014	4,52	4,69	2,66
A20YO	20,34	11,13	7	4,145	4,035	4,098	3,302	3,586	3,811	4,07	6,77	5,75
A30YO	23,09	11,77	8,77	4,277	4,212	4,297	3,289	3,716	3,92	4,97	6,95	5,48
YN	22,29	15,35	20,95	4,283	4,899	5,725	3,329	4,148	4,526	22,2	15,53	3,62
A20YN	22,94	13,3	7,6	4,164	3,998	4,178	3,209	3,467	3,861	3,61	7,34	4,01
A30YN	23,93	26,16	9,84	4,336	5,541	4,322	3,299	4,091	3,897	3,92	0,78	4,92
85 YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANAN NUMUNELER	Görünür Porozite (%)			Görünür Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )			Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )			Kapalı Porozite (%)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	23,14	12,94	2,45	5,927	5,843	5,399	4,556	5,087	5,267	1,18	2,55	10,06
A20YSZ	33,87	3,5	4,93	4,137	3,485	4,078	2,736	3,364	3,877	3,55	19,57	6,39
A30YSZ	25,97	14,28	0,69	4,364	4,085	4,138	3,231	3,502	4,109	3,46	9,22	9,56
YO	25,24	22,19	26,05	5,671	5,533	5,671	4,24	4,305	4,194	4,1	6,06	4,05
A20YO	20,79	10,52	5,95	4,174	4,052	4,066	3,306	3,626	3,824	3,51	6,47	6,51
A30YO	22,44	11,82	9,29	4,286	4,185	4,315	3,324	3,691	3,914	4,85	7,46	5,09
YN	23,85	12,95	20,18	4,284	4,169	5,643	3,262	3,629	4,504	21,78	26,57	4,75
A20YN	23,28	10,64	6,99	4,166	4,011	4,133	3,196	3,584	3,845	3,56	7,3	5
A30YN	22,02	26,08	9,72	4,375	5,544	4,315	3,412	4,098	3,895	3,36	0,74	5,08
125 YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANAN NUMUNELER	Görünür Porozite (%)			Görünür Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )			Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )			Kapalı Porozite (%)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	21,3	13,99	5,8	5,839	5,9	5,623	4,596	5,074	5,297	2,36	1,72	6,21
A20YSZ	30,4	18,09	12,33	4,173	4,195	4,136	2,904	3,436	3,626	3,17	3,32	4,74
A30YSZ	27,51	18,47	7,46	4,273	4,229	4,142	3,098	3,448	3,833	4,82	6,22	8,81
YO	25,85	24,01	27,07	5,638	5,616	5,698	4,181	4,268	4,156	4,47	4,86	3,67
A20YO	22,6	14,8	7,37	4,15	4,177	4,099	3,212	3,559	3,796	3,86	3,72	5,71
A30YO	23,07	15,47	8,65	4,286	4,326	4,347	3,297	3,656	3,971	4,81	4,55	4,5
YN	22,41	16,79	19,59	4,274	4,389	5,729	3,316	3,652	4,607	22,32	22,34	3,63
A20YN	24,47	16,13	7,85	4,16	4,179	4,141	3,142	3,505	3,816	3,6	3,64	4,8
A30YN	22,89	27,03	8,67	4,311	5,582	4,263	3,324	4,073	3,893	4,4	0,23	6,18

**EK-28 (Devamı) Numunelerin sinterleme sıcaklığına, katkı cinsine ve miktarına bağlı olarak değişen fiziksel özellikler toplu test sonuçları**

YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANMAYAN NUMUNELER	Toplam Porozite (%)			Su emme (%)			Nispi Yoğunluk (%)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	23,77	16,44	10,3	4,93	2,83	0,45	76	83	90
A20YSZ	31,8	24,38	14,01	9,68	6,39	2,15	68	76	86
A30YSZ	32,28	21,65	15,29	9,13	4,76	1,91	68	78	85
YO	68,93	26,45	26,16	5,74	5,16	5,04	31	74	74
A20YO	25,73	19,01	13,37	6,65	4,29	2,12	74	81	87
A30YO	28,02	20,34	15,88	7,04	4,32	2,79	72	80	84
YN	40,58	32,22	28,4	4,55	7,03	5,75	59	68	72
A20YN	26,2	20,27	14,13	6,85	4,59	2,32	74	80	86
A30YN	27,19	15,35	27,25	6,48	2,44	6,54	73	73	85
4S YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANAN NUMUNELER	Toplam Porozite (%)			Su emme (%)			Nispi Yoğunluk (%)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	25,42	14,82	11,27	5,21	2,5	0,37	75	85	89
A20YSZ	68,58	25,22	12,73	40,28	6,31	1,85	31	75	87
A30YSZ	69,92	21,94	10,98	40,76	4,31	0,49	30	78	89
YO	31,7	25,82	33,09	6,63	4,75	7,58	68	74	67
A20YO	24,41	17,9	12,75	6,16	3,11	1,84	76	82	87
A30YO	28,06	18,71	14,25	7,02	3,17	2,24	72	81	86
YN	44,52	30,87	24,57	6,69	3,7	4,63	55	69	75
A20YN	26,54	20,63	11,61	7,15	3,84	1,97	73	79	88
A30YN	27,85	26,94	14,76	7,25	6,39	2,53	72	73	85
8S YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANAN NUMUNELER	Toplam Porozite (%)			Su emme (%)			Nispi Yoğunluk (%)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	24,33	15,5	12,51	5,08	2,54	12,51	76	85	88
A20YSZ	37,42	23,07	11,32	12,38	1,04	11,32	63	77	89
A30YSZ	29,43	23,5	10,24	8,04	4,08	10,24	71	61	90
YO	29,34	28,25	30,1	5,95	5,16	30,1	70	72	70
A20YO	24,3	16,99	12,46	6,29	2,9	12,46	76	83	86
A30YO	27,29	19,28	14,38	6,75	3,2	14,38	73	81	86
YN	45,63	39,52	24,93	7,31	3,57	24,93	54	60	75
A20YN	26,83	17,95	11,98	7,28	2,97	11,98	73	82	88
A30YN	25,38	26,82	14,8	6,45	6,36	14,8	75	73	85
12S YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANAN NUMUNELER	Toplam Porozite (%)			Su emme (%)			Nispi Yoğunluk (%)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	23,66	15,71	12,01	4,63	2,76	1,1	77	85	88
A20YSZ	33,58	21,41	17,07	10,47	5,27	3,4	66	79	83
A30YSZ	32,33	24,69	16,27	8,88	5,36	1,95	68	75	84
YO	30,32	28,87	30,74	6,18	5,63	6,51	70	71	69
A20YO	26,47	18,51	13,09	7,04	4,16	1,94	74	81	87
A30YO	27,88	20,03	13,15	7	4,23	2,18	72	80	87
YN	44,73	39,13	23,22	6,76	4,6	4,25	55	61	77
A20YN	28,07	19,77	12,64	7,79	4,6	2,06	72	80	87
A30YN	27,29	27,26	14,84	6,88	6,64	2,23	73	89	85



## EK-29 Üç Nokta Eğme Dayanımı ve Brazilian toplu Test sonuçları

NUMUNE KODU	YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANMAYAN NUMUNELER			4S YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANAN NUMUNELER			8S YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANAN NUMUNELER			12S YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANAN NUMUNELER		
	ÜNED (MPa)			ÜNED (MPa)			ÜNED (MPa)			ÜNED (MPa)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YSZ	473	685	1103	425	656	1074	398	644	1054	395	632	998
A20YSZ	334	555	778	312	518	749	310	498	741	296	476	725
A30YSZ	393	568	868	376	545	845	374	530	821	353	514	799
NUMUNE KODU	BT (MPa)			BT (MPa)			BT (MPa)			BT (MPa)		
	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C	1400 °C	1450 °C	1500 °C
YO	210	245	267	204	230	258	200	225	250	200	225	241
A20YO	180	212	227	164	198	212	158	190	210	150	180	210
A30YO	200	233	260	189	218	240	180	209	231	175	200	228
YN	205	240	260	203	220	252	190	220	245	190	215	236
A20YN	160	208	220	155	190	205	150	186	200	139	170	200
A30YN	189	229	258	180	206	240	171	200	240	170	190	220