

ZİRKONYA/MULLİT SERAMİK MATRİKSLİ
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU

Mehmet YILDIRIM

Yüksek lisans Tezi

Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan - 2010

**ZİRKONYA/MULLİT SERAMİK MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

Mehmet YILDIRIM

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali CEYLAN

Nisan - 2010

KABUL VE ONAY SAYFASI

Mehmet YILDIRIM'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “ZİRKONYA/MULLİT SERAMİK MATRİKSİLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../2010

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali CEYLAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Güray KAYA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ağah AYGAHOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2010 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ZİRKONYA/MULLİT SERAMİK MATRİKSİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Mehmet YILDIRIM

Seramik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2010

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ali CEYLAN

ÖZET

Oksit bazlı seramik kompozitler yüksek sıcaklık ve oksidasyon şartlarında yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bu tür seramik kompozitler üzerine çok yoğun çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı zirkon/alüminyum metal toz karışımları kullanarak zirkonya/mullit seramik kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonudur. Zirkon/alüminyum metal tozu karışımı farklı sıcaklıklarda (1000-1100-1200-1300 ve 1400 °C) sinterlenmiş oluşan yapılar mikro yapısal ve mekanik özellikler açısından incelenmiştir. Üretilen kompozitin yüksek sıcaklık mukavemet uygulamalarında kullanılacağı düşünülmektedir. Yapılan ölçümlerin sonucunda üretilen kompozit yapının 1200 °C’de sertliği 13 Hv ve tokluğu 4,2 MPa. m^{1/2} olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Alüminyum metal tozu, mullit, zirkon, zirkonya.

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF ZIRCONIA/MULLITE CERAMIC MATRIX COMPOSITE

Mehmet YILDIRIM

Ceramic Engineering, Thesis M.S. Thesis, 2010

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Ali CEYLAN

SUMMARY

Oxide based ceramic matrix composites are used extensively at high temperature oxidation environment. There are many studies on there ceramic composites. The aim of this study, produce and characterize mullite/zirconia ceramic composites by using zircon/Aluminum metal powder mixture. Zircon/aluminum metal powder mixture was sintered at different temperatures as 1000-1100-1200-1300-1400 and formed structures after sintering were characterized by microstructural and mechanical properties. Produced composites were thought to use high temperature strength applications. As the result of applicad experiments, material hardness was measured as 13 HV and fracture toughness was measured as $4,2 \text{ MPa.m}^{1/2}$ at 1200 °C, respectively

Keywords: Aluminum metal powder, mullite, zircon, zirconia.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılması sırasında, konu belirlenmesinden tezin sonuçlanmasına kadar çalışmalarımı destekleyen, yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali CEYLAN'a, Seramik Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. İskender IŞIK'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Yaşantım ve Öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen bugünlere gelmem için her türlü fedakârlığa katlanan aileme minnettarım.

Öğrenim hayatımda yanımda olarak bana destek veren çok kıymetli hocalarım ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. SERAMİK MALZEMELER	3
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	9
4. SERAMİK MATRİKS KOMPOZİTLER	14
5. SERAMİK KOMPOZİTLERİN MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ	20
6. ÜRETİM PROSESİ	22
6.1. Toz Özellikleri	22
6.2. Toz Harmanlama ve Karıştırma	23
6.3. Şekillendirme	24
6.4. Sinterleme.....	25
7. ÜRETİLEN MALZEMENİN KARAKTERİZASYONU	27
7.1. Yoğunluk	27
7.2. Sertlik	27
7.3. Kırılma Tokluğu	28
7.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dispersif Spektrometresi (EDS) Analizi.....	29
7.5. X-ışınları Difraksiyon Analizi (XRD)	30

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devamı)

	<u>Sayfa</u>
8. KULLANILAN HAMMADDELER	31
8.1. Zirkon ($ZrSiO_4$)	31
8.2. Alüminyum	32
8.2.1. Alüminyum Üretimi	32
8.2.2. Alüminyum'un Genel Özellikleri	34
8.3. Mullit.....	36
8.4. Zirkonya (ZrO_2).....	37
9. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
9.1. Başlangıç Malzemeleri	39
9.1.1. Zirkon	39
9.1.2. Alüminyum Metal Tozu	39
9.2. Karışım Hazırlama	40
9.3. Şekillendirme	40
9.4. Sinterleme.....	41
9.5. Üretilen kompozitler	43
10. KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ.....	44
10.1. DTA ve TG Analizi.....	44
10.2. X-Işınları Difraksiyonu (XRD)	44
10.3. Taramalı Elektron Mikroskobu(FESEM)	45
10.4. Yoğunluk	46
10.5. Sertlik Ölçümü	46
10.6. Kırılma Tokluğu	46
11. SONUÇLAR, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	47
11.1. Sonuçlar.....	47
11.1.1. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları.....	47
11.1.2. XRD Sonuçları.....	48
11.1.3. FESEM	51
11.1.4. Yoğunluk	56
11.1.5. Sertlik.....	57
11.1.6. Kırılma Tokluğu.....	58

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devamı)

	<u>Sayfa</u>
11.2. Değerlendirme.....	59
11.3. Öneriler.....	60
KAYNAKLAR DİZİNİ	61
EKLER.....	64
EK 1. XRD Sonuçları.....	64
EK 2. FESEM Analizi Sonuçları.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil	Sayfa
2.1. TÜBİTAK Marmara araştırma merkezi laboratuvarlarında üretilen çeşitli ileri teknoloji seramik ürünler	6
3.1. Kompozit malzemeleri donatlı veya pekiştirilmiş türleri. (a)Taneli kompozitler (b)Lifli kompozitler (c) Tabakalı kompozitler	10
4.1. Monolitik seramikle fiber takviyeli seramik kompozitin mukavemet karşılaştırılması ..	14
6.1. Şematik olarak toz yapıları.....	23
6.2. Çeşitli toz karışımlarında ikinci faz tozların dağılımı. a) rasgele, b) sıralı, c) topaklanmış, d) segrege olmuş	24
6.3. Sinterleme esnasında, tozların birbirine kenetlenmesi ve porozite miktarı ile por morfolojisinin değişimi.....	26
7.1. Vickers sertlik ölçümünde kullanılan uç ve izlerin şematik resmi	28
7.2. Vickers sertlik ucu ile gevrek bir malzemede çatlak oluşumu	28
8.1. Doğal zirkon.....	31
8.2. Zirkon kristali.....	31
8.3. Zirkonun kristal yapısı	32
8.4. Alüminanın elde edilme devresi.....	33
8.5. Alüminyumun Elde Edilmesi Devresi.....	33
8.6. Gaz atomizasyonu yöntemi	34
8.7. Alüminyum Metalinin Kristal Yapısı	35
8.8. Al_2O_3 - SiO_2 Faz Diyagramı.....	36
8.9. Zirkonyanın 3 kristal yapısı a) kübik zirkonya, b) tetragonal zirkonya , c) monoklinik zirkonya	38
9.1. Zirkon tozu.....	39
9.2. Alüminyum metal tozu.....	39
9.3. Şekillendirmede kullanılan metal kalıp.....	41
9.4. Pelet hazırlamakta kullanılan Carver marka el presi.....	41
9.5. Sinterlemede kullanılan Proterm marka fırın	42
9.6. Al_2O_3 - SiO_2 - ZrO_2 Üçlü Faz diyagramı	42
9.7. Üretilen kompozitler	43
10.1. Termal analizde kullanılan TG/DTA Cihazı	44
10.2. Faz analizinde kullanılan XRD cihazı.....	45
10.3. Mikroyapı analizinde kullanılan FESEM cihazı	45
10.4. Vickers sertlik ölçümünde kullanılan mikro sertlik cihazı	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
11.1. TG-DTA analizi sonuçları	47
11.2. 1000 °C’de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu	48
11.3. 1100°C’de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu.....	49
11.4. 1200°C’de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu	49
11.5. 1300°C’de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu	50
11.6. 1400 °C’de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu	50
11.7. 1300°C’de kompozitin FESEM görüntüsü.....	52
11.8. 1400°C’de kompozitin FESEM görüntüsü.....	53
11.9. (a) Zirkonyanın FESEM görüntüsü (1400° C), (b) zirkonya fazının EDX analizi sonucu	54
11.10. (a) Mullit FESEM görüntüsü (1400°C), (b) mullit fazının EDX analizi sonucu.....	55
11.11. Kompozitin Kırılma Yüzeyinin FESEM görüntüsü	56
11.12. Üretilen kompozit, mullit ve zirkonun yoğunlukları	57
11.13. Farklı sıcaklıktaki sertlik değerleri.....	58
11.14. Farklı sıcaklıklardaki kırılma tokluk değerleri	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bazı seramik malzemelerin mekanik özellikleri	4
2.2. Bazı ileri teknoloji seramiklerin özellikleri.....	5
2.3. İleri Seramik Malzemelerin fonksiyonları ve uygulama alanları.....	7
2.4. Oksit, karbür, nitrür ve borür esaslı bazı ileri teknoloji seramiklerinin kullanım alanları	8
3.1. Çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılan kompozit malzemeler	12
3.2. Kompozit üretiminde kullanılan takviye malzemeleri ve özellikleri	13
4.1. Seramik matriksli kompozitlerin bazı özellikleri	15
4.2. İlavelerin kompozit özelliklerine etkileri	17
4.3. Toz prosesiyle kompozit malzeme üretimi.....	18
4.4. Seramik ve bazı diğer malzemelerin oda sıcaklığında kırılma toklukları	19
5.1. SiC/Grafit tabakalı kompozit ile monolitik SiC'ün mekaniksel özelliklerin karşılaştırılması	20
6.1. Çeşitli şekillendirme işlemleri için gerekli hazırlıkları göstermektedir	25
8.1. Saf alüminyumun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrad derece
d	Yoğunluk
%	Yüzde
µm	Mikrometre
g	Gram
≈	Yaklaşık
cm	Santimetre
m-ZrO ₂	Monoklinik Zirkonya
t- ZrO ₂	Tetragonal Zirkonya
k- ZrO ₂	Kübik Zirkonya

Kisaltmalar

Zirkon	Zirkonyum Silikat
Al	Alüminyum metali
SMK	Seramik Matriks Kompozit
ZrSiO ₄	Zirkon (Zirkonyum Silikat)
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit (Alümina)
DTA	Difransiyel Termal Analiz
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Ray Diffraction
ZrO ₂	Zirkonya

1. GİRİŞ

Yeni gelişen seramikler birçok mühendislik uygulamalarında yeni olanaklar sağlamaktadır. Seramikler metaller ve polimerlere göre farklı yapılar içerirler. Bu farklılıklar seramikleri birçok mühendislik uygulamaları için kullanışlı hale getirmiştir. Seramik malzemeler kovalent, iyonik ve bu ikisinin karışımı bağlar içerdiğinden, içsel bağlar metal ve polimere göre daha kuvvetlidir. Seramikler aynı zamanda çok çeşitli çevre şartlarına örneğin yüksek sıcaklık, oksidasyon, asidik ve bazik ortamlara dayanıklıdır. Bu ortamlar metaller ve polimerler için zarar verici şartlardır. Seramikler bu istenilen özelliklere sahip olmalarına rağmen onların düşük darbe ve termal şok dirençleri ve çekme gerilmesi altındaki zayıflıkları yeni tartışmalar ortaya koymaktadır [1].

Seramikler, yüksek kimyasal direnç, yüksek ergime noktası, aşırı derecede sertlik, düşük elektriksel iletkenlik, düşük termal genleşme, iyi termal kararlılık, iyi sürünme direnci, yüksek elastik modül, yüksek basma direnci gibi üstün ve önemli özelliklere sahiptir [2].

Metallerde alaşımlama bazı özellikleri iyileştirir. Metallere benzer olarak, monolitik seramikleri tek başına kullanmaktan ziyade, seramikleri bileşenler halinde kullanılmaya başlamıştır. Birleştirilmiş seramiklerin önemli sınıflarından birisi seramik kompozitlerdir. Seramik matriks kompozitler bir seramiğin bir diğer seramik matriks içerisine farklı formlarda (partikül, visker, tabaka) konulmasıyla gerçekleşir.

Seramik matriks kompozitler üzerine A.B.D ve diğer ülkelerdeki çalışmalar endüstriyel ve ulusal öneme sahiptir. Sürekli fiber takviyeli seramik kompozitler Oak Ridge ulusal laboratuvarında ve bazı özel şirketlerde (Dupont, 3M Delta, Goodrich, Amerkom gibi) üretilmiş ve yüksek sıcaklık yapısal uygulamaları kullanılmaktadır. Belirli kullanım alanları uçak, uzay sanayi (Yapısal ve makine bileşenleri) ve enerji üretim (ısı değiştiricileri, yanma hücreleri, sıcak gaz filtreler, kaynama bileşenleri) [3].

Seramiklerin kırılma tokluğunun artırılmasına yönelik yapılan yeni çalışmalardan biri seramik matrisli kompozitler oluşturmaktır. Partikül, fiber, whisker gibi ilave takviye malzemeleri seramik bir matrisin içerisine gömülme suretiyle seramiklerin kırılma tokluğunu artırmaktadır. Kırılma tokluğundaki artış ilerleyen çatlak ile takviye partikül arasındaki etkileşimden kaynaklanır. Çatlak başlangıcı beklenen bir durum olarak matris fazında meydana gelir ancak buna karşın çatlak ilerlemesi takviye faz tarafından geciktirilir veya engellenir [4, 5].

Seramik malzemeler kovalent, iyonik ve bu iki bağıın karışımını içeren ve bu içsel bağların kuvvetli olduğu sistemlerdir. Seramikler, metaller ve polimerlere göre yüksek sıcaklık, asidik ve bazik ortamlara karşı daha yüksek dayanım özellikleri sağlarlar. Bu istenen özelliklere rağmen, seramiklerin düşük darbe dayanımları, düşük ısı şok dirençleri ve çekme yükleri altındaki zayıflıkları birçok tartışmayı beraberinde getirmektedir. Alaşımlama metallerde kullanılan ve özellikleri geliştiren bir yöntem olarak bilinmektedir. Metallere benzer olarak monolitik seramikler yalnız başlarına kullanılmaktan çok onları metallerde olduğu gibi karışımlar halinde kullanmanın özellikleri geliştirdiğı saptanmıştır [1].

Seramik matrisli kompozitlerdeki toklaştırma mekanizmaları; çatlak saptırma, kalıntı gerilme etkisi, dönüşüm toklaştırılması, sünek partiküllerle köprü etkisi oluşturma, fiber, whisker, takviyesi gibidir. Seramik bir matris içerisine sünek (metalik) bir faz ilave etmek ise bu mekanizmaların birçoğunu içine alan etkili bir yöntemdir [6, 7].

Zirkon sağladığı yüksek sıcaklık özelliklerinden dolayı mühendislik uygulamalarında kullanım yeri bulan bir seramik malzemedir. Al metali kombinasyonu ile mullit ve zirkonya karışımı bir oluşumun gözleneceğı düşünüldüğünde zirkonun ve Alüminyumun özelliklerinden daha iyi partikül takviyeli bir kompozit yapısı oluşacaktır. Özellikle oldukça kırılgan bir zirkon yapısından çubuksu mullit matrisli martenzitik dönüşüm içeren zirkonya partiküllerin bulunduğu termo mekanik özellikleri iyileştirilmiş termal iletkenliğı istenilen seviyede gözenekli mullit/zirkon kompoziti üretilecektir.

Bu çalışma başarılığı takdirde partikül takviyeli mullit matrisinde mühendislik alanında kullanılabilecek termo mekanik özellikleri iyileştirilmiş kompozit yapısı elde edilecek, hem literatüre hem de teknolojiye yararlı bir katkı yapılacaktır.

2. SERAMİK MALZEMELER

Seramik kelimesi, yunanca pişirilmiş eşya anlamına gelen “Keramos” kelimesinden gelmektedir [8]. Genel olarak tanımlandığında, seramik kapsamına metalik ve organik esaslı olmayan tüm malzemeleri almak mümkündür [9]. Eski çağlardan bu güne gelen seramik üretimi diğer birçok endüstri olarak karşımıza çıkmaktadır. Seramik üretiminin en önemli özelliği diğer birçok endüstrinin temel taşlarından biri olmasıdır. Örneğin; refrakterler, metalürji endüstrisi, aşındırıcılar, makine-takım ve otomobil endüstrisi, süper iletken seramikler, uzay araçları seramikleri, cam, inşaat, elektronik, uranyum oksit yakıtlar, bio malzemeler, nükleer güç santrallerinin en önemli bileşenlerinden birisidir [8, 10, 11].

Seramikler, ısı, bazen de ısı ve basınç bir arada uygulanarak şekillendirilen, en az bir metal ve metal dışı elementel katının kombinasyonundan oluşan malzemelerdir [12].

Doğada kayaların dış etkilere karşı parçalanması sonucu oluşan kaolen, kil vb. maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilirler. Bunlar farklı şekilde silikatlar, alüminatlar ile birlikte metal oksitlerinden oluşurlar. Genelde bunlar ya iyonik veya iyonik+kovalent bağ karışımına sahip oldukları için çok karardır. Bu nedenle de çok sert, gevrek ve yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Seramik malzemeler endüstriyel fırınlar, tuğla, betondan elektronik ve optik araçlarda kullanılan yeni malzemelere kadar geniş bir alanı kapsarlar [13].

Seramiklerin özellikleri, diğer malzemelerde olduğu gibi atomlar arasındaki bağa, mikro ve makro yapılarına bağlıdır [14]. Seramikler düşük yoğunluklu, çok dayanıklı ve sert olmasına rağmen aşırı derecede gevrekler. Bunlar genellikle termal ve kimyasal etkilere karşı dirençlidirler. Ancak yüksek ergime sıcaklık dereceleri ve sertlikleri işlenmesini zorlaştırır ve yalıtıkcıdır. Kırılgan oluşları bunları potansiyel olarak güvensiz yapar. Metallerle karşılaştırıldığında seramikler, çok gevrek olduklarından plastik olarak akamazlar. Seramiklerin yüksek elastisiteye sahip olmamaları ve aynı zamanda plastik deformasyon göstermemeleri nedeniyle, yüklemelerle ve keskin partiküller ile yüzeye etki yapılması durumunda bölgesel olarak gerilme yoğunlaştırılması meydana gelmektedir. Bu gerilmeler çekme gerilmesi şeklinde olursa, çok hızlı bir şekilde çatlak mikro çatlak oluşumuna neden olur. Bu yüzden çekme dayanımları düşüktür. Basma dayanım ise çok yüksektir [14].

Yirminci yüzyılın son çeyreğinde yapılan ilerlemelerin ışığında seramik malzemeleri iki sınıfta kategorize etmek mümkündür.

a) Geleneksel ve konvansiyonel seramikler: Bu tür seramikler genellikle monolitik formdadır. Bunlar tuğla, kiremit, fayans ve çeşitli sanat objelerini içerir.

b) İleri ve yüksek performans seramikleri: Çoğunlukla üretimi için sofistike kimyasal üretim metotları kullanılan seramik malzemelerin ileri bir sınıfını sunar. Yüksek kalite ve saflıktadırlar. Bu yüksek performans seramikleri; oksitleri, nitrürleri ve silisyum, alüminyum, titanyum ve zirkonyumun karbürlerini içerir [15].

Çizelge 2.1 bazı önemli yüksek performans seramik malzemelerini göstermektedir. Bu ileri seramikler sıcaklığına, kimyasallara ve aşınmaya direnç gösterirler. Bu önemli karakteristikler onların basit ve ekonomik yolla üretimini zor kılar. Bu sınıftaki yüksek performans seramikleri çoğunlukla seramik matrisli kompozit yapımında kullanılırlar.

Çizelge 2.1. Bazı seramik malzemelerin mekanik özellikleri [15].

Malzeme	Elastik Modül (GPa) E	Poisson Oranı V	Termal Genleşme Katsayısı (10^{-6} K^{-1}) A
SiC	420	0.22	4
Al ₂ O ₃	380	0.25	8
Kordierit (2Al ₂ O ₃ .MgO.5SiO ₂)	130	0.25	2
Müllit (3Al ₂ O ₃ .2SiO ₂)	215	0.25	4

Seramik malzemeler farklı bileşimde kristal ve cam yapılı fazları içermektedir ve genellikle porozite ihtiva etmektedir. Bu farklı yapı bileşenlerinin miktarı ve dağılımları seramik malzemelerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin; yapıda mevcut fazların yerleşim düzenini değiştirmek yalıtkan olan bir seramik malzemeyi iletken hale getirmekte veya bunun tersi olabilmektedir. Bu nedenle seramik malzemelerin geliştirilmesi konusunda ana fikir mikro yapı üzerinde yoğunlaşmıştır [8].

Seramik malzemelere ilginin artmasının başlıca nedenleri aşağıda belirtilmiştir.

- Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık
- Kimyasal kararlılığın yüksek olması
- Çok sert olmaları
- Metallerden hafif olmaları (%40 mertebesine varan)

- Hammadde olarak bol miktarda bulunması ve genellikle metallere kıyasla ucuz olmasıdır.
- Pahalı ve stratejik metalleri ihtiyaç göstermemesi
- Erozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı olmaları,
- Oksitlenmeye karşı dirençlerinin yüksek olması,
- Sürtünme katsayısının düşük olması,
- Basma kuvvetinin yüksek olması,

Bütün bu üstün özellikleri mukabil, seramik malzemelerin en önemli istenmeyen özelliği gevrek karakterde olmalarıdır.

Son çeyrek asırda yeni seramikler geliştirilmiştir. Bu seramiklerin önemi, bir takım süper özelliklere sahip olmalarındandır. Bu seramikler, günümüzde "ince seramikler" veya "ileri teknoloji seramikleri" olarak tanımlanmaktadır [8].

İnce toz halinde hazırlanan bu başlangıç malzemesinin şekillendirilmesi için uygun katkılarla plastik hale getirilmesi aşaması gelir. Bu aşamada geleneksel killer için su kullanılırken, modern uygulamalarda yoğunlaştırma aşamasında uçucu polimer bağlayıcı katkı olarak kullanılabilir. Daha sonra uygulamada istenen son şekle göre şekillendirme aşaması için alçı kalıp, enjeksiyon kalıplama, kuru presleme, soğuk izostatik presleme, sıcak izostatik presleme gibi tekniklerle malzeme en son formunda ortaya çıkartılır bu aşamadan sonra malzemenin plastikliği için katılan maddelerin bünyeden tamamen atılarak, yoğunlaştırılması için pişirilmesi veya sinterlenmesi süreci başlatılır [11].

Çizelge 2.2. Bazı ileri teknoloji seramiklerin özellikleri [16].

Malzeme	Ergime Sıc. (°C)	Yoğunluk (g/cc)	Mukavemet (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Sertlik (Kg/mm ²)	Tokluk (K _{IC})
Pencere Camı	500	2,2	48	7,2	650	0.5
Al ₂ O ₃	2050	3,96	250-300	36-40	1000-1600	4,5
ZrO ₂	2700	5,6	113-130	17-25	1200	6-9
SiC	3000	3,2	310	40-44	2800	3,4
Si ₃ N ₄	1900	3,24	410	30,7	1300	5.0
WC	2700	15,7	350-550	54-70	2000	5-8



Şekil 2.1.TÜBİTAK Marmara araştırma merkezi laboratuvarlarında üretilen çeşitli ileri teknoloji seramik ürünler [16].

İleri teknolojik seramikler geleneksel seramiklerden farklı olarak saflaştırılmış, içyapıları son derece iyi denetlenmiş, üretim prosesleri hatasız mikroyapılar elde edilecek türde özelleştirilmiş tür seramikleri içermektedir [17].

Çizelge 2.3. İleri Seramik Malzemelerin fonksiyonları ve uygulama alanları [17].

Uygulama Konusu	Malzeme	Uygulama Örneği
Mekanik işlevler		
Yüksek sıcaklık dayanımı	Silikon nitrür, silikon karbür	Gaz türbini, dizel motor
Kesme dayanımı	Bor nitrür, titan karbür, titan nitrür, tungsten karbür, bor karbür	Kesici takımlar
Yağlama	Bor nitrür, molibden disülfat	Katı yağlayıcılar
Aşınma dayanımı	alümina, bor karbür	Bilyalar, mekanik sızdırmazlık, deliciler
Isıl İşlevler		
Isıl Dayanım	Alümina, silikon nitrür, silikon karbür	Elektrotlar
Isıl Yalıtım	Titan oksit, alüminyum nitrür, zirkonyum oksit	Yalıtkan, izolatör Nükleer reaktör
Isıl Transfer	Bor oksit, alümina	Elektrik, elektronik parçalar, radyatör
Optik işlevler		
Işık geçirgenlik	Alümina, yitrium oksit, baryum oksit	Sodyumlu lambalar, optik mercekler
Işık indükleme	Silikon oksit	Fiber optik, foto algılayıcı
Floresans	Galyum –arsenit seramikleri, neodmiyum-yitrium cam	Yarıiletken lazer, diyotlar
Elektriksel İşlevler		
Süper iletkenlik	Yitrium-baryum-bakır oksit	Mıknatıs
Yarıiletkenlik	Çinko oksit, baryum titanat	Varistör, güneş pili, algılayıcı
Piezoelektriklik	Kurşun zirkonat titanat	Ateşleme cihazı
Yalıtım	Alümina, silikon karbür	Devre elemanları
İletkenlik	Baryum titanat	Mikrokondenser
İyonik iletkenlik	Zirkonya, beta-alümina	Algılayıcı, katı elektrolit
Manyetik İşlevler		
Manyetizma	Demiroksit, baryum oksit	Ferrit mıknatıslar, manyetik teyp, hafıza
Biyolojik İşlevler		
Biyoseramikler	Alümina, apatitler	Yapay diş, kemik
Kimyasal İşlevler		
Soğurma	Köpük silika, alümina	Soğurucu, katalizör taşıyıcı, biyoreaktör katalizör, elektrotlar
Katalizör	Zeolit	Katalizör
Korozyon	Zirkonya, alümina	Elektrotlar

Yapay olarak hazırlanan hammaddeler istenmeyen maddelerden arındırılmış, saf halde ve istenen fiziksel özelliklerdedir. Yapay hammaddelerin üretiminde çoğu zaman ileri teknoloji yöntemleri kullanılmaktadır. İleri seramikleri geleneksel seramiklerden ayıran en önemli özelliği, ince seramiklerin pudra halinde çok ince tozlardan üretilmeleridir. Günümüzde üretilen ileri seramiklerde, 1 mikron'un altında tozlar kullanılmakta ve böylece tamamen yoğun seramikler üretilmektedir. İleri seramikler başlıca Alümina (Al_2O_3), Zirkonya (ZrO_2), Magnezya (MgO), Berilya (BeO) gibi saf oksitlerden ve oksit olmayan seramiklerden (karbürler, nitrürler, sülfürler, silisitler, borürler) oluşmaktadır [18].

Çizelge 2.4. Oksit, karbür, nitrür ve borür esaslı bazı ileri teknoloji seramiklerinin kullanım alanları [8].

Tipi	Atomal Bağ	Örnekler	Özellikler
Oksitler	İyonik	Al_2O_3 Cr_2O_3 Fe_2O_3 MgO $\text{LiAl}_2\text{SiO}_6$ ZrO_2 (PSZ)	Sert aşındırıcı Sürtünme özellikleri iyi Çok sert
Karbürler	Az İyonik Yeralan Bileşikler	ZrC NbC VC TiC	Elastik modül yüksek
	Kovalent	WC SiC B_4C	Yüksek sıcaklıkta kararlı kullanılır. Kesici takımlarda aşındırıcılarda kalıplarda. Sürtünme kötü
Nitrürler	Kovalent	BN TiN AlN Sialon Si_3N_4	Düşük yoğunluk Yüksek sıcaklıkta kararlı Çok sert Sürtünme direnci iyi Kesici takımlarda, gaz Türbinlerde, Nozul ve potalarda kullanılır.
Borürler	Kovalent	ZrB_2 LaB_6	Çok iyi iletken Sürtünme özellikleri iyi Elektron mikroskopunda Filamen olarak kullanılır

3. KOMPOZİT MALZEMELER

İki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelere “Kompozit malzeme” denir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarak da adlandırılabilir [19]. Cam elyafı polyester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, otomobil lastikleri ve seramik metal karışımı olan sermentler bunlara örnektir [16]. İleri plastik-polimer grubu matriks malzemelerin çoğunlukla elyaf formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilmeleri veya pekiştirmeleri ile kompozit malzemeler oluşur. En tipik örnek, artık günümüzde gelenekselleşmeye başlayan ve “fiberglas” olarak bilinen polyester esaslı reçinelerin cam elyaf ile takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Ancak bugün ileri kompozitler grubunda daha üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip elyaflar kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım (çekme ve basma dayanımı), yüksek elastik modül ve yüksek tokluğa sahiptirler [20]. Kompozitler darbe enerjisini değişik hasar mekanizmaları üzerinde hızlı bir biçimde absorplama karakteristiklerinden dolayı da belli oranda yüksek balistik dayanıma sahip olabilmektedir [16].

Bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için aşağıdaki şartları sağlamalıdır.

1. İnsan tarafından üretilmelidir.
2. Farklı bileşenlerle beraber kimyasal olarak birbirinden farklı en azından iki malzeme kombinasyonundan oluşmalıdır.
3. Kompozit malzemeyi oluşturan ayrı malzemeler üç boyutlu olarak birleşmelidir.
4. Kompozit, kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başlarına sahip olamayacakları özellikleri göstermelidir [21].

Kompozitler çok fazlı malzeme sayılırlar. Yapılarında sürekli bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazı bulunur. Bu faz iki tür bileşimde sağlanabilir.

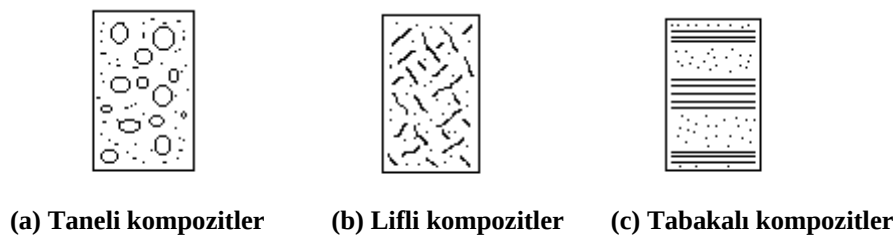
- Mikroskobik
- Makroskobik

Mikroskobik bileşim: Örneğin perlit çeliği, ferrit ve sementitin mikroskobik düzeyde homojen karışımlarından oluşur. Tek başına ferrit yumuşak ve düşük mukavemeti olup sert ve

gevrek sementit ile birlikte yan yana ince tabakalar halinde dizilmek suretiyle yüksek mukavemetli ve yüksek tokluğa sahip perlit çeliğini oluştururlar [16].

Makroskobik Bileşim: Boyutları 0,1 mm'nin üzerinde gözle görülebilirler. Sonradan bir araya getirilerek üstün özelliklerdeki kütleleri oluştururlar [16].

Kompozit malzemeler donatılı veya pekiştirilmiş türüne göre üç gruba ayrılır. Şekil 2.5'de Kompozit malzemeleri donatılı veya pekiştirilmiş türleri görülmektedir.



Şekil 3.1. Kompozit malzemeleri donatılı veya pekiştirilmiş türleri.

Lifli ve tabakalı kompozitlerin sağladığı özelliklerdeki artış, taneli kompozitlere göre daha yüksektir. Taneli kompozitler için en önemli örnek betondur. Sert tanelerin sünek bir malzemeyeleştirilip aglomera haline getirilen kompozitlere diğer bir örnek de asfalt betonudur [16].

Asfalt viskoz ve düşük mukavemetlidir. Taş ise sert ve gevrek. Kütle halinde fazla şekil değiştirmeden çatlayarak kolayca kırılabilirler. Farklı boyutlardaki kırma taş ile asfaltın birleşerek hem sünek hem de yeter mukavemeti yol kaplaması malzemesini oluştururlar [8].

Tungsten karbür (WC) taneciklerinin CO metali ile yüksek sıcaklıkta basınç altında sinterlenmesi sonucu elde edilen kompozit çok sert olup yüksek hızlı kesme takımı üretimine elverişlidir. Uygulamada bunlara SERMET denir. Uygulamada en önemli kompozitler lifli olanlardır. Liflerin çapları yaklaşık 0,1 mm civarında olup tek başına kullanılmazlar. Kalınlıkları arttığında kusur oluşma olasılığı nedeniyle mukavemetleri çok azalır. Bu lifler uygun bir malzemeyeleştirilen boyutta taşıyıcı kütlelere dönüştürülürler. Bu bağlayıcı malzeme polyester ve epoksidir. Uygulamada donatı malzemesi olarak kullanılan liflerin çoğu kuvvetli kovalent bağa sahiptir. Aynı amaçla kullanılan metal liflerin mukavemeti de soğuk çekme ile artırılmaktadır. Lifler yönlenmiş veya rasgele dağılmış olabilir. Yönlenmiş lifler doğrultusunda mukavemet doğal olarak yanal doğrultudan çok daha büyük olur. Pekiştirici liflerin miktarı

artıkça kompozitin mukavemeti de yükselir. Yönlenmiş liflerde bu oran hacmen %80, rasgele yönlenmişlerde ise % 40-50 arasında kalır [16].

Kompozit malzeme türleri şunlardır;

1. Polimer Kompozitler
2. Metal Kompozitler
3. Seramik Kompozitler

Yüksek teknolojik seramik ve kompozit malzemelerin üretim aşamaları basit olarak şu şekilde sıralanabilir [15].

1. Toz sentez ve hazırlama
2. Yaş şekil verme
3. Pişirme (sinterleme)
4. Test, analiz ve kontrol

Çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılan kompozit malzemeler ve kullanım alanları çizelge 3.1’de verilmiştir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan takviye malzemeleri ve özellikleri ise çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılan kompozit malzemeler [21].

Endüstri	Uygulama alanları	Kullanılan kompozit malzemeler
Uçak	Uçak kanatları ve gövdesi, helikopter pervaneleri, iniş ve çıkış kapıları, payandalar, döşeme kirişleri, çerçeveler, vantilatör ve türbin kanatları	B/Al, SiC _w /Al, Gr/Al Cam/epoksi. C/ epoksi B/ epoksi, kevlar/epoksi Süper alaşımlar
Helikopter	Transmisyon kutusu, kiriş destek yapıtları, itici çubuklar, iniş takımları. Rotor kanatları arkası	Al ₂ O ₃ /Mg. Gr/Al, Gr/Mg B/Al, Al ₂ O ₃ /Al, SiC _w /Al SiC _w /Al, B/Al, Al ₂ O ₃ /Al Gr/Al, SiC/ Al
Uzay	Uzay yapıtları, antenleri, robot kolları	B/Al, B/Mg, Gr/Mg
Otomotiv	Gövde parçaları, tampon ve çamurluklar, ön ve arka paneller, aks mili, yaylar, itme çubukları ve piston kolları	Kevlar/ epoksi SiCp/Al, SiC _w /Al SiC _w /Al, B/Al
Gemi	Gemi teknesi Gemi güvertesi	Kevlar/ epoksi, Cam/epoksi
Kimya	Borular, basınçlı kaplar ve tanklar	Cam/epoksi, Karbon/epoksi
Spor	Oltalar, golf sopaları, yüzme havuzları, Tenis raketleri. Bisiklet ve motosiklet çerçevesi	B/ epoksi, C/epoksi B/Al, Gr/ Al, SiC _w /Al B/Al, Gr/Al SiC/Al
Elektrik	Motor fırçaları, kablo ve akü plakaları	Gr/ Cu, Gr/Pb, Al ₂ O ₃ / Pb
Tekstil	Mekikler	B/Al, C/Al, SiC/Al
Tıp	Röntgen masaları. Protezler ve tekerlekli sandalye	SiC/Al, B/Al B/Al, SiC/Al
Uçak- uzay	Uçak frenleri, türbin pervaneleri. Roket çıkış sistemleri	Karbon/ karbon kompozit
Diğer alanlar	Makine yatakları	C/Pb, Al ₂ O ₃ / Pb

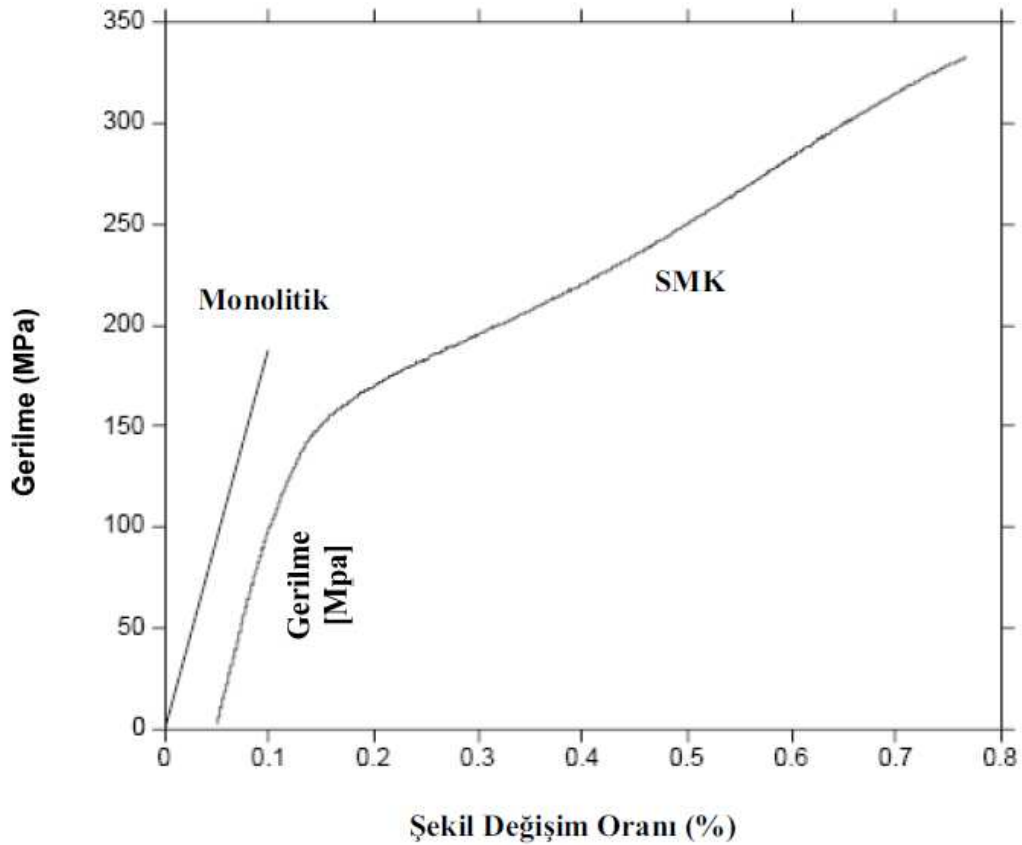
Çizelge 3.2 Kompozit üretiminde kullanılan takviye malzemeleri ve özellikleri [21].

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^{-3} \text{kgm}^{-3}$)	Genleşme ($10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$)	Mukavemet (MPa)	Elastik Modül (GPa)
Al_2O_3	3.98	7.92	221 (1090°C)	379 (1090°C)
AlN	3.26	4.84	2069 (24°C)	310 (1090 °C)
BeO	3.01	7.38	24 (1090 °C)	190 (1090 °C)
B_4C	2.52	6.08	2759 (24°C)	448 (24°C)
C	2.18	-1.44	-	690
CeO_2	7.13	12.42	589(24°C)	185 (24°C)
HfC	12 2	6,66	-	317 (24°C)
MgO	3.58	11.61	41(1090°C)	317 (1090 °C)
MoSi_2	6.31	8.91	276 (1090 °C)	276 (1260°C)
Mo_2C	8.90	5.81	-	228 24°C)
NbC	7.60	6.84	-	338 (24°C)
Si	2.33	3.06	-	112
SiC	3.21	5.40	-	324 (1090 °C)
Si_3N_4	3.18	1.44	-	207
SiO_2	2.66	<1.08	-	73
TaC	13.90	6.46	-	366 (24°C)
TaSi_2	-	10.80	-	338 (1260 °C)
ThO_2	9.86	9.54	193 (1090 X)	200 (1090 T)
TiB_2	4.50	8.28	-	414 (1090 °C)
TiC	4.93	7.60	55 (1090°C)	269 (24°C)
UO_2	40.96	9.54	-	172 (1090 °C)
VC	5.77	7.16	-	434 (24°C)
WC	15,93	5.09	-	669 (24°C)
WSi_2	9.40	9.00	-	248 (1090°C)
ZrB_2	6.09	8.28	-	503 (24°C)
ZrC	6.73	6.66	90 (1090 °C)	359 (24 T)
ZrO_2	5.89	12.01	83 (1090 °C)	132 (1090 °C)

4. SERAMİK MATRİKS KOMPOZİTLER

Seramiklerin önde gelen olumsuz özelliklerinden olan kırılganlıklarını gidermek amacıyla öne sürülen mekanizmalardan bir tanesi seramiğe takviye bir faz eklenerek oluşturulan seramik matrisli kompozitlerdir. Bununla birlikte bu ikinci faz ilavesiyle seramiğin üretimi zorlaşmakta ve yoğunluğu düşme eğilimi içerisine girmektedir. Mevcut birçok çalışma takviye fazın mevcudiyetiyle doğan heterojenliğin azalmasını amaçlamaktadır.

Seramik matrisli kompozit malzemeler, seramik bir matrisin ve bir takviye elemanının veya agregat bir fazın özelliklerini bir araya getirirler. Dikkatli bir şekilde üretimi yapıldığında, mukavemet ve tokluk gibi malzeme özelliklerini, takviyesiz seramiklere oranla artırdığı belirlenmiştir [23]. Şekil 2.3 monolitik seramikle seramik matrisli bir kompoziti mukavemet yönünden karşılaştırılmasını göstermektedir.



Şekil 4.1. Monolitik seramikle fiber takviyeli seramik kompozitin mukavemet karşılaştırılması [23].

Partikül, levha, whisker ve kısa fiber takviyeli seramik matrisli kompozitlerin üretimi sürekli fiber takviyeli kompozitlerin üretiminden daha kolaydır. ve takviyesiz seramiklerde kullanılan tekniklerin birçoğu kullanılabilir. Buradaki zorluklar homojen bir dağılımın sağlanmasının amaçlandığı karışma adımı ve tam bir yoğunluk sağlanmanın hedeflendiği fırınlama aşamasında ortaya çıkmaktadır.

Partikül empürilerinin mukavemet artış sınırını ortadan kaldırmak, aglomerasyonu önlemek, istenilen boyut fraksiyonlarını sınırlayabilmek için, matris partiküllerinin ve takviye malzemesinin bir ön üretime tabii tutulması gerekebilmektedir. Kontrollü pH süspansiyonlarının çöktürülmesi bu yöntemde sıklıkla kullanılmaktadır. Fiberler ve partiküller gibi iki farklı bileşeni bir süspansiyon içinde karıştırırken yüzey kimyalarını yüklü iki çift tabaka yoluyla kontrol etmek gerekmektedir. İyi dağılmış süspansiyonlar elektrostatik itme kuvvetleri büyükten elde edilir. Bunun yanı sıra bileşenler arasındaki çekme kuvvetleri büyükten öbikleşme söz konusu olmaktadır.

Çoğunlukla matris tozu ve takviye malzemesi az katı içeriğinde (yaklaşık %15 gibi) su veya alkol gibi süspansiyon üretim rotası içerisinde karıştırılır. Süspansiyonun pH'ı daha sonra ayarlanır. Aglomerasyonu önlemek için karışım yüksek hızda bir karıştırıcıda hızlı bir şekilde karıştırılır ve ultrasonik olarak dispersiyon sağlanır. Bu aşamada karşılaşılan bir problem, daha geniş olan partiküllerin (bunlar çoğunlukla takviye malzemesidir.) ve/veya yoğunluğu daha yüksek olan partiküllerin karışımın dibinde topaklanma eğilimi göstermektedir. Bu olumsuzluğun üstesinden gelebilmek için öbikleşmeye neden olan pH değeri değiştirilebilir. Elde edilen viskoz kütle şekillendirilebilir. Ve bir fırın içerisinde kurutulduktan sonra, kuru tozlar ancak preslenebilir [23]. Seramik matrisli kompozit malzeme üretiminde kullanılan metodlar üretilen seramik matrisli kompozitin yapısını değiştirir. Çizelge 4.1'de seramik matrisli kompozitlerin bazı özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.1.Seramik matrisli kompozitlerin bazı özellikleri [24].

20°C'deki mukavemet (MPa)	2000-2500
1400°C'deki mukavemet(MPa)	500
20°C'deki kırılma tokluğu(Mpa. m ^{1/2})	>15
Weilbull modülü	20
Termal şok direnci	1000
Kritik sıcaklık farkı Tc, °C	
Maksimum çalışma sıcaklığı	1600

Seramik matriks kompozitler heterofaz sistemleridir. Bu sistemler bir katı birincil gövde ile eş eksenli veya eş eksenli olmayan ikincil fazdan oluşurlar. Eşeksenli inklüzyonlar regular küresel veya polihedral şekilde olabilir. İki eksenli fazlar küresel, plaka şeklinde veya fiber formlarında tane sınırı ara tabakaları olarak bulunur [24].

Seramik matriksli kompozitler aşağıdaki gruplara ayrılırlar.

- Küçük partiküllerle takviye edilmiş kompozitler
- Küçük fiber veya viskerlerle takviye edilmiş kompozitler (çok yönlü, iki yönlü veya üç yönlü)
- Tabakalı kompozitler

İkincil fazın seramik matriksli kompozitlerde etkileri aşağıdaki gibidir.

- i. Uniform şekilde dağılmış eş eksenli monokristal partiküller polikristal seramik matriks içinde sertliği mukavemeti ve kırılma tokluğunu arttırtırlar.
- ii. Yüksek modüle sahip fiberlerin veya viskerlerin seramik matrikse ilavesi ile dinamik mukavemete, kırılma tokluğunda ve kompozittin termal şok direncinde bir artış gözlenir
- iii. İletken safsızlıkların dielektrik bir matrikse veya yalıtkan safsızlıkların iletken bir matrikse ilavesi ile elektrofiziksel özelliklerde perkulasyon teorisine göre değişimleri sağlanır
- iv. Boşluk fazları örneğin poroziteler seramik matriks içinde dağılılarak termofiziksel ve mekaniksel özellikleri etkiler, örneğin termal şok direnci
- v. İkincil fazın seramik matriks içerisinde dağılımı. Örneğin sıcak presleme yöntemi ile anizotropik veya yöne göre değişken özellikler elde edilir.

Matriks fazı ile düzenleyici faz gelişmiş özellikler sağlar. Örneğin eş eksenli titanyum nitrür veya karbür gibi yüksek termal genleşme katsayısına sahip inklüzyonların silisyum nitrür matriksine ilavesi ile yapısal gerilmeler oluşturarak kırık ilerlemesi engeller. Çizelge ikincil fazın ilavesinin kompozit özelliklerine olan etkilerin göstermektedir. Seramik matriks kompozitler farklı seramik fazları içerdiğinden, yapılarında bazı düzensizlikler içerirler. Yapıda meydana gelen bu düzensizlikler ve hatalar başlangıç malzemesinin sentezleme yöntemlerinden kaynaklanır. Sıcaklık proses boyunca hataların oluşması için önemli bir parametredir. Örneğin

yüksek sıcaklık oluşumunda hataları oranı yeniden kristalleşmeden dolayı azalır. Bununla birlikte yüksek enerji prosesi (patlama) kristal latisi bozunmasına neden olur [25].

Çizelge 4.2. İlavelerin yapısal durum karakterinin kompozit özelliklerine etkileri [25].

Yapısal durumun karakterleri	Özellikleri
Homojen dağılmış eşeksenli inklüzyonlar	Kontrol edilebilir. Elektrofiziksel özellikler, daha yüksek mukavemet, daha yüksek kırılma tokluğu, termal şok direnci yüksek sıcaklık mukavemeti
Sürekli fiberler	Daha yüksek sıcaklık mukavemeti, termal şok direnci ve kırılma tokluğu
Eşeksenli fiberler	Daha yüksek sıcaklık mukavemeti, termal şok direnci
Yönlenmiş eşeksenli olmayan poroziteler	Daha düşük yoğunluk ve termal iletkenlik daha yüksek termal şok direnci
Yönlenmiş kanallar	Anizotropik geçirgenlik daha yüksek termal şok direnci
Tabakalı seramik-seramik veya seramik-metal yapılar	Mekanik termodinamik ve elektrofiziksel özelliklerde anizotropi daha yüksek mukavemet ve kırılma tokluğu
Kaplanmış seramikler	Daha yüksek korozyon ve erozyon direnci

Seramik matriksli kompozitleri üretim yöntemleri matriksin ve ilave fazın özelliklerine göre değişir. Seramik matriksli kompozitlerin üretim yöntemleri üç sınıfa ayrılır.

1. Kimyasal proses: Kimyasal bileşikler başlangıç malzemesi olarak kullanılır. Bu bileşikler indirgeyici veya oksitleyici ortamda proses edilerek istenilen kompozit yapısı elde edilir.

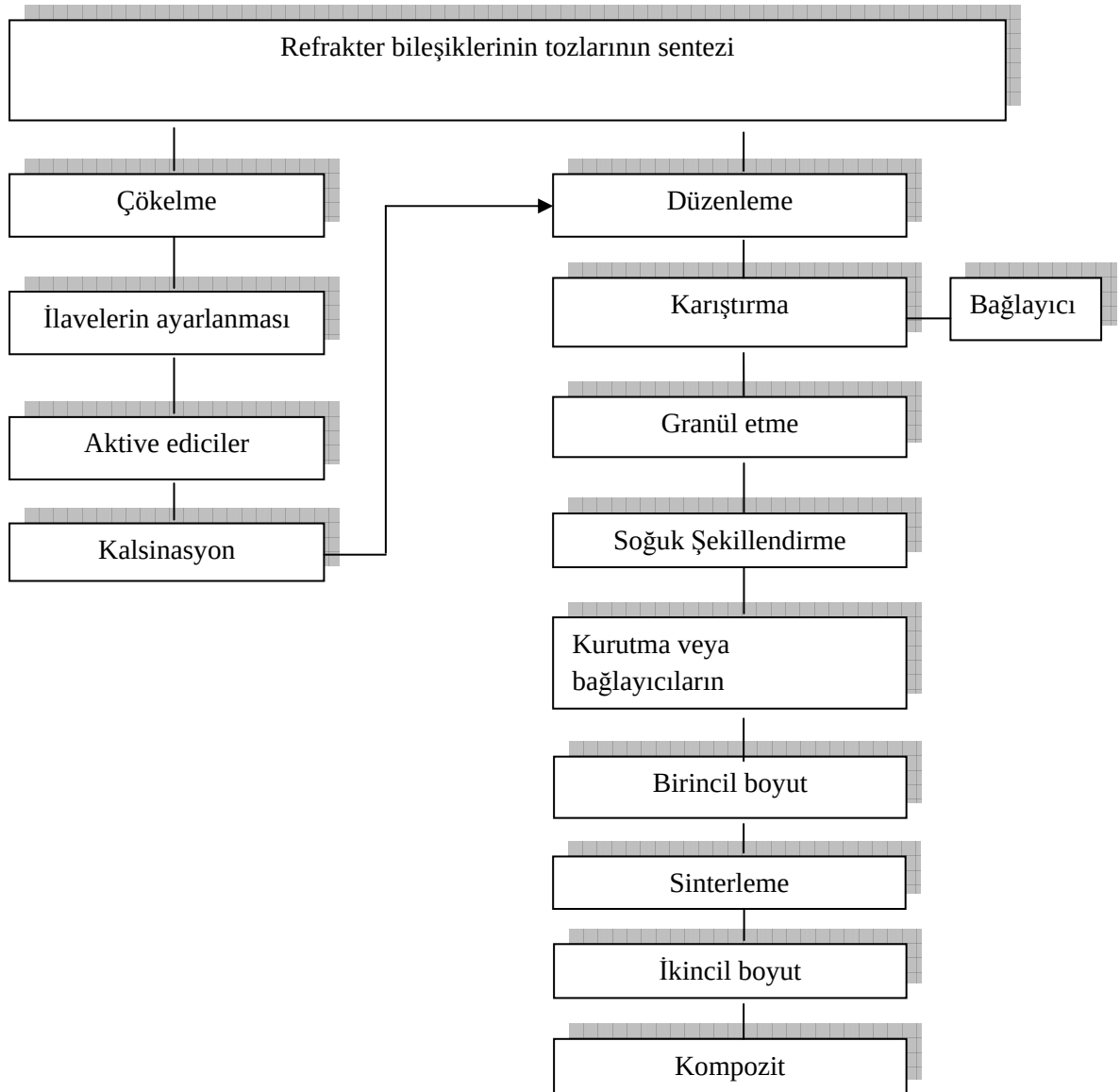
2. Toz prosesi: Refrakter bileşiklerin toz, visker, fiber ve lamine formu kullanılarak kompozit ergitme olmadan üretilir.

3. Ergitme prosesi: Refrakter komponentler ergitilerek kompozit elde edilir.

En çok kullanılan seramik matriksli kompozitleri üretim yöntemleri kimyasal ve toz üretimi prosesleridir. Kimyasal proses genellikle yönlenmiş yapıların üretimde kullanılır. Bir gaz atmosferi kullanılarak çok kristalli tabakalı bir yapı elde edilir. Bu metot yüksek modüllü fiber takviye edilmiş kompozitlerin üretiminde kullanılır. Örneğin, bir karbon veya tungsten

flament silisyum karbür veya bor karbürle gaz ortamında kullanılır. Visker veya fiber formlarındaki refrakter malzemelerin tozları gerekli bağlayıcı ve aktive edicilerle karıştırılarak şekil verilir ve sinterlenir. Bu metod çok farklı şekillerde ve özelliklerdeki uygulamalar için kullanılır. Çizelge 4.3 bu metodun akış diyagramını göstermektedir [24].

Çizelge. 4.3. Toz prosesiyle kompozit malzeme üretimi [24].



Çizelge 4.4. Seramik ve bazı diğer malzemelerin oda sıcaklığında kırılma toklukları [23].

Malzeme	K_{IC} (MPa. m^{1/2})
Saf sünek metaller (Cu, Ni, Ag, Al)	100-350
Yüksek mukavemetli çelikler	50-154
Düşük karbonlu çelikler	140
Titanyum alaşımları (TiAl4V)	55-115
Cam fiber	42-60
Alüminyum alaşımları (yüksek mukavemetli ve düşük mukavemetli)	23-45
Orta karbonlu çelikler	51
Polipropilen	3
Naylon	3
Dökme demir	6-20
Epoksi	0,3-0,5
Silisyum karbür (SiC)	3
Alümina (Al ₂ O ₃)	3-5
Soda camı	0,7-0,8
Elektrik porseleni	1
Buz	0,2

5. SERAMİK KOMPOZİTLERİN MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİ

Yapısal seramiklerin en önemli dezavantajı kötü kırılmayla birlikte ortaya çıkan gevreklikleridir. Bu problemin üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Seramik kırılmalıkları veya gevreklikleri seramik matriks kompozitlerin sonuç mekaniksel özelliklerinin etkilemektedir. Kırılma tokluğu seramiklerin gevrek davranışıyla ters orantılı olarak etkilenmektedir. Seramik matriks kompozitlerin kırılma toklukları ilerde tanımlanacaktır. Bu arada kırılma tokluğunu geliştiren mekanizmalarda anlatılacaktır [26].

Yapısal malzemelerin kırılma toklukları mikroyapı, bileşim ve üretim yöntemleri tarafından etkilenir. Çizelge monolitik SiC ve tabakalı SiC'ün mekaniksel özelliklerini karşılaştırmaktadır. Bu tablodan görüldüğü gibi tabakalı yapıda kırılma tokluğu belirgin oranda artmıştır.

Çizelge 5.1. SiC/Grafit tabakalı kompozit ile monolitik SiC'ün mekaniksel özelliklerin karşılaştırılması [27].

Özellik	Tabakalı Kompozit (SiC/Grafit)	Monolitik Kompozit (SiC)
Akma Modülü (Gpa)	450	450
3 noktalı eğme mukavemeti(Mpa)	633	500
Kırılma Tokluğu(Mpa√m)	15	3.6
Kırılma için gerekli iş(Jm-2)	4.625	62

Seramik matriksli kompozitlerin kırılma tokluğu davranışlarını açıklayan bir model vardır. Şekil 1.2. bu modelin temellendiği örneği göstermektedir. Kırılma tokluğu aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$K_{IC} = \alpha_c Y \sqrt{c}$$

Burada,

α_c : Kritik gerilme

Y: Tabaka kalınlığı ve kritik uzunluğu

c: orantılı geometrik faktör

Kırık uzunluğu kritik değere ulaştığında kırılma gözlenir. Lamine seramik kompozitlerde kırılma tokluğu lamineler arasında oluşan ara yüzey bağına bağlıdır. Birçok lamine seramik kompozitlerde ara yüzey bağı zayıf olduğundan kırılma tokluğu yüksek olmakta fakat mukavemet düşmektedir.

Seramik malzemelerde çok farklı kırılma davranışları gözlenir. Bunlar arasında üç farklı kırılma davranışı vardır; gevrek, yarı gevrek, sünek kırılma. Sıcaklık kırılma davranışlarını etkiler. Azalan sıcaklıkla birlikte kırılma davranışı gevrek olur, aynı zamanda soğuk kırılma olarak adlandırılır. Artan sıcaklıkla birlikte kırılma davranışı gevrekten süneğe doğru değişir. Gevrek malzemeler içinde kırılma tokluğunu ve mukavemeti artırıcı iki genel proses vardır. Bunlar; [10]

1.Kırık ucunda basma gerilmeleri oluşturarak

2.Kırık ucunda yapısal ilaveler koyarak

Bu mekanizmalar aşağıdaki kırık direnci proseslerini ortaya koyarlar.

- Dengesiz fazların dönüşümü
- Disperse edilmiş yapısal bileşenlerin plastik deformasyonu
- Mikrokırık oluşturulması ve kırık köprüleme
- Kırığın yönünü değiştirilmesi
- Matriksten fiberin çıkması [28]

Bazı kompozitler disperse edilmiş zirkonya partiküllerin polimorfik dönüşümlerini içerirler. Yarı stabilize edilmiş zirkonyanın (ZrO_2) küçük partikülleri yapısal seramiklerin içerisine disperse edilirler. Yarı stabilize etme dengesiz tetragonal fazın oda sıcaklığında dengeli monoklinik faza dönüşmeden kalmasını sağlar. CaO , MgO , Y_2O_3 ve CeO stabilize edici olarak kullanılır. Kırık ucunda ZrO_2 partikülleri dengeli monoklinik faza gerilime alanının etkisiyle dönüşür. Bu dönüşümle birlikte partikül hacminde bir artma gözlenir. Böylece mikrokırıklar meydana gelir. Oluşacak bir kırığın enerjisini adsorbe edilerek köprüleme olayı gerçekleşir [28].

6. ÜRETİM PROSESİ

6.1. Toz Özellikleri

Seramik tozları küçük tane boyutuna sahip akışkan malzemelerdir. Genellikle toz tane boyutları mikron boyutundadır ama nano boyuttaki seramik tozlarından da bahis edilebilmektedir. Seramik toz özellikleri iki ana başlık altında toplanır. Bunlar;

Teknolojik özellikler:

- Toz akıcılığı,
- Görünür yoğunluk,
- Sıkıştırılabilirlik.

Fiziksel özellikler:

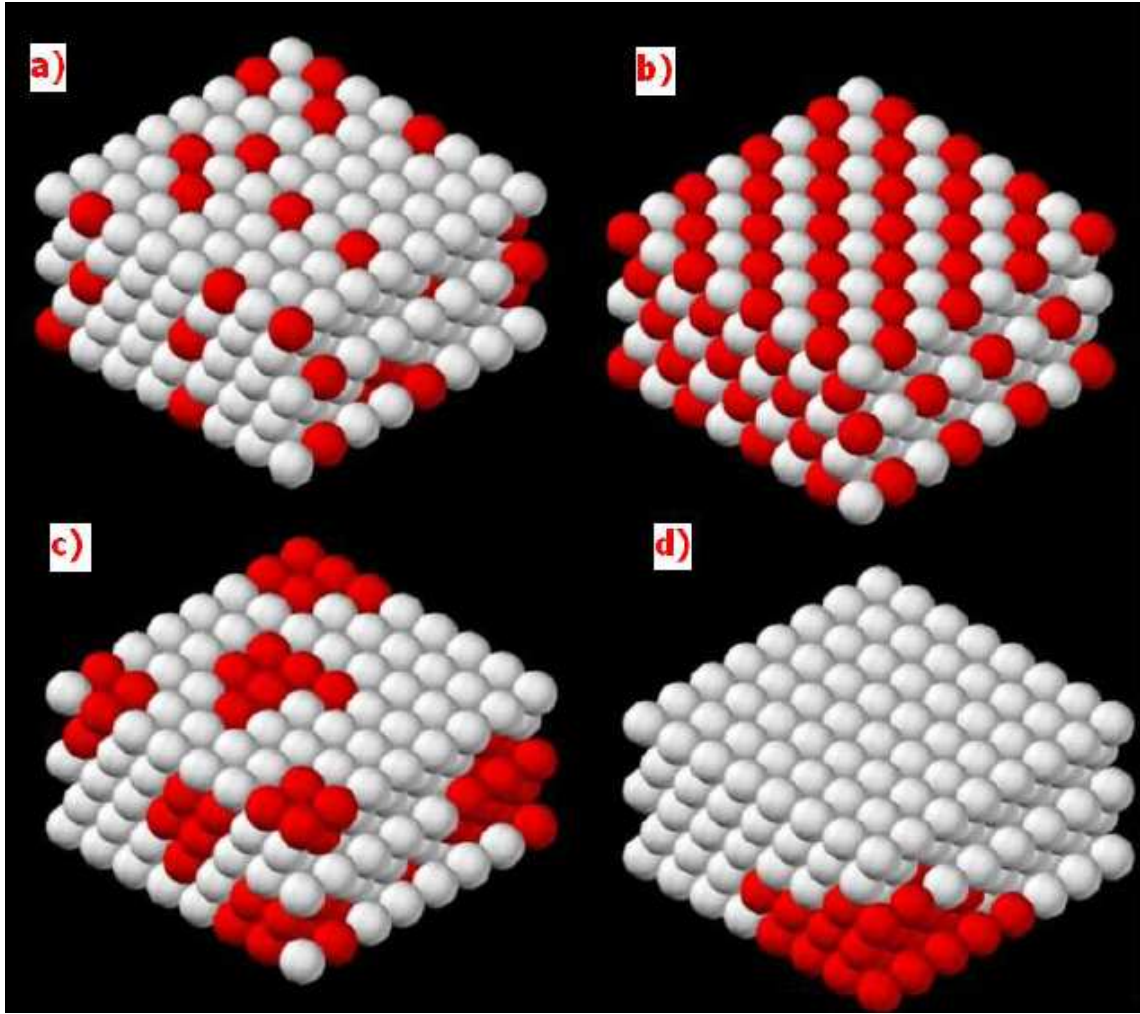
- Toz şekli,
- Toz boyutu dağılımı,
- Özgül yüzey alanı,
- Saflıkları [29].



Şekil 6.1. Şematik olarak tane yapıları [29].

6.2. Toz Harmanlama ve Karıştırma

Toz harmanlama terimi aynı kimyasal kompozisyonda tozların birbiri içinde karıştırılması işlemini tanımlar. Harmanlama işleminde asıl amaç nakliye ve sonrası işlemler sırasında değişik boyuttaki tanelerin dağılımının heterojen hale geçmesinden dolayı bu dağılımın homojen hale getirilmesidir. Toz karıştırma işleminde ise farklı kimyasal bileşimdeki tozların birbirleri içinde dağıtılması ve homojen bir karışım elde edilmesi amaçlanır [30].



Şekil 6.2. Çeşitli toz karışımlarında ikinci faz tozların dağılımı. a) rasgele, b) sıralı, c) topaklanmış, d) segregе olmuş [30].

6.3. Şekillendirme

İleri teknoloji seramiklerinin şekillendirilmesinde, metal parçalarda olduğu gibi değişik yöntemlerden yararlanılır. Kullanılacak şekillendirme yönteminin seçiminde, üretilecek parçanın boyutları, miktarı ve fiziksel özellikleri göz önüne alınır. Diğer taraftan, şekillendirme prosesine bağlı olarak seramik tozları, çeşitli katkı maddelerinin hazırlanması ile hazırlanır.

Seramik parçalar çeşitli şekilde biçimlendirilebilmektedir. Bunlar; slip ve şerit döküm, kuru ve sıcak presleme, soğuk ve sıcak izostatik presleme, ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplamadır [16].

Kusursuz bir ürün için üniform olarak tozların hazırlanması gereklidir. Şekillendirme prosesine bağlı olarak tozlara bir takım katkı maddeleri ilave edilir. Bunlar;

1. Bağlayıcılar, pişmemiş, yaş haldeki ürüne mukavemet kazandırmak amacı ile ilave edilir.
2. Lübrikant (yağlayıcı) ilavesi. Presleme esnasında tozlar arasındaki sürtünmeyi azaltır.
3. Sinterleme amacı ile ilave edilen katkı maddeleri densifikasyonu artırır.
4. Tozlara deflokulantlar plastisiteyi ve ıslatma özelliklerin kontrol eden malzemelerle termoplastiklerin ilavesi belirli şekillendirme yöntemleri için gerekli kolaylığı sağlar [11].

Çizelge 6.1’de çeşitli şekillendirme işlemleri için gerekli hazırlıkları göstermektedir. Bağlayıcılar, organik ve inorganik esaslı olarak iki grupta toplanır. Organik bağlayıcılara örnek olarak bal mumu ve reçineyi gösterebiliriz. Bu maddeler suda çözünmedikleri için ıslak proseslere uygun değildir. Erime veya enjeksiyonla şekillendirmede kullanılır. İşlem sonunda organik bağlayıcı yanar. İnorganik bağlayıcılar ise nihai işlem sonunda yapıda kalır ve seramiğin bir bileşeni haline gelir [16].

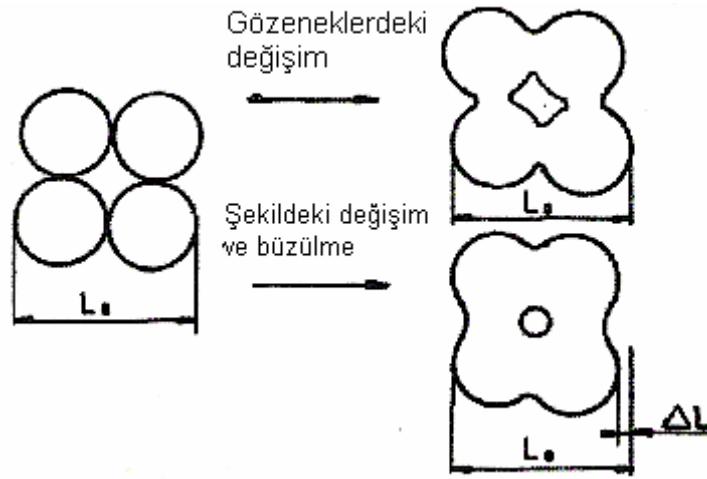
Çizelge 6.1. Çeşitli şekillendirme işlemleri için gerekli hazırlıkları göstermektedir [16].

Presleme	Slip Döküm	Enjeksiyon kalıplama
Bağlayıcı ilavesi	Çamur hazırlama	Termoplastik ilavesi
Yağlayıcı ilavesi	Bağlayıcı ilavesi	Plastisite artırıcı ilaveler
Sinterlemeyi kolaylaştırıcı ilaveler	Deflokulant ilavesi	Islatıcı ilavesi
	pH kontrolü	Sinterlemeyi kolaylaştırıcı ilaveler
	Viskozite kontrolü	Havayı emme
	Katı miktarının kontrolü	Granüller veya paket haline getirme
	Havayı emme	

6.4. Sinterleme

Seramik tozları, şekillendirme esnasında sıkışarak malzemedeki porozite miktarı bir miktar azalır. Kurutma ile de tozlar tamamen birbiri ile temas haline gelir. Ancak, malzeme henüz kompakt hale gelmemiştir. Tozlar arasında boşluklar mevcuttur. Keramik malzemenin cinsine, tane boyutuna ve şekillendirme prosesine bağlı olarak % 25-60 mertebesinde porozite içerir. Mukavemet, saydamlık ısı iletkenliği gibi özellikler için yapıda mevcut porozitenin elemine edilmesi gerekir [18]. Sinterleme, preslenmiş malzemelere uygulanan bir ısı bir

operasyon olarak tanımlanabileceği gibi, presleme esnasında şekillendirilen parçaya uygulanan bir işlem olarak da tanımlanabilir [16]. Pişme esnasında, difüzyon hızlandığından birbiri ile temas halinde olan tozlar arasında özellikle yüzeyde yer alan karmaşık atom difüzyonu, basınç ve ısıнын tesiri sonucu tozlar birbirine aralarında boyun oluşturarak kenetlenir [16]. Böylece porozite miktarı azalır ve densifikasyon sağlanır. Bu esnada porları şekilleri de küreleşir. İdeal bir sinterleşme sonunda porozite tamamen ortadan kalkar ve malzeme kompakt bir kitle haline gelir. Şekil 6.3’de sinterleme esnasında, tozların birbirine kenetlenmesi ve porozite miktarı ile por morfolojisini değişimi görülmektedir [16].



Şekil 6.3. Sinterleme esnasında, tozların birbirine kenetlenmesi ve porozite miktarı ile por morfolojisinin değişimi [16].

7. ÜRETİLEN MALZEMENİN KARAKTERİZASYONU

7.1. Yoğunluk

Sinterlenmiş numunelerin yoğunlukları Archimedes Prensibi ile ölçülmüştür. Bunun için numunelerin önce havada kuru ağırlıkları sonra da saf su içindeki ağırlıkları hassas terazi ile ölçülerek, denklem 7.1 yardımıyla bulk yoğunlukları,

$$d_b = \frac{m_k}{m_k - m_s / d_{su}} \quad (7.1)$$

d_b = bulk yoğunluğu (sinterlenmemiş numunenin yoğunluğu), gr/cm^3

m_k = numunenin kuru ağırlığı, gr

m_s = numunenin saf su içindeki ağırlığı, gr ve

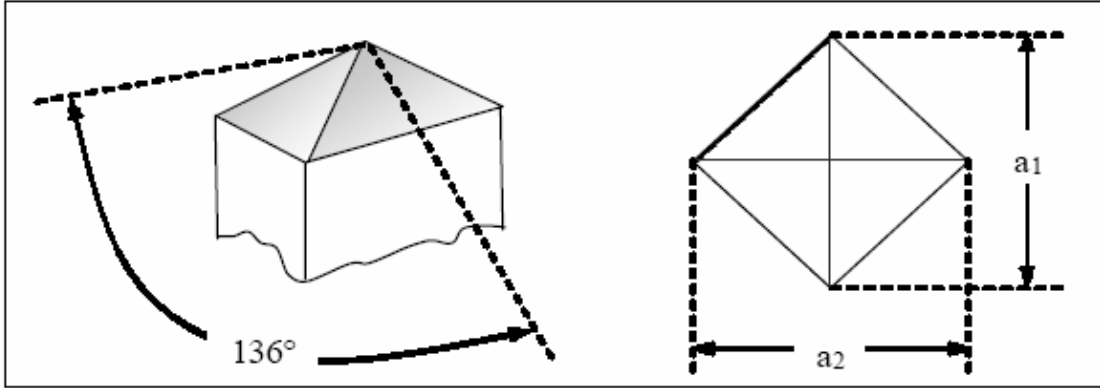
d_{su} = suyun yoğunluğu, gr/cm^3 [23].

7.2. Sertlik

Sertlik, malzemenin aşınmaya karşı gösterdiği dirençtir. Seramik malzemelerin sertlikleri parlatılmış yüzey üzerinde Vickers ya da Knoop sertlik testi ile ölçülür. Vickers yönteminde batıcı uç piramit şeklinde olup elmasan yapılmıştır. Belirli bir yükte malzeme yüzeyine bastırılan batıcı uç aşağıdaki şekil 7.1’de görüldüğü gibi bir eşkenar dörtgen oluşturulur ve eşkenar dörtgenin iki köşesinin ortalama değeri alınır. Aşağıda verilen formülde yerine konularak H_v , vickers sertlik sayısı hesaplanır. Burada da yük oluşan izin eğik yüzeylerin toplam alanına bölündüğünden sertliğin birimi kgf/mm^2 ’dir. Vickers sertliği ölçme yöntemi daha uzun zaman almakla beraber en duyarlı sertlik ölçme yöntemidir, özellikle araştırmacı amacı ile mikro sertlikleri ölçmeye elverişlidir.

$$HV = \frac{1.854P}{a^2}, \quad a = (a_1 + a_2) / 2 \quad (7.2)$$

Denklem 7.2 Sertlik testinde uygulanan yüke bağlı olarak indentasyon izinin köşelerinden radyal çatlaklar üretilir. Yük uygulandığında elastik limit aşıldığında piramit ucun altında plastik deformasyon bölgesi oluşur. Piramit uç bir kama gibi etki eder ve malzeme yüzeyinde onu saran çekme gerilmeleri üretir. Yükleme fazı esnasında çekme gerilmeleri uygulanan yükün basma gerilmeleri ile çatır. Maksimum yüke ulaşınca çatlaklar oluşmaya başlar ve yük, elmas piramitten kaldırılınca basma gerilmesi alanı (bu zamana kadar çatlakların ilerlemesini sınırlandırmıştır) kaybolur ve oluşan çatlaklar final boyuta ulaşır, malzemenin tokluğuyla dengede olan gerilme şiddetine kadar büyür [31].

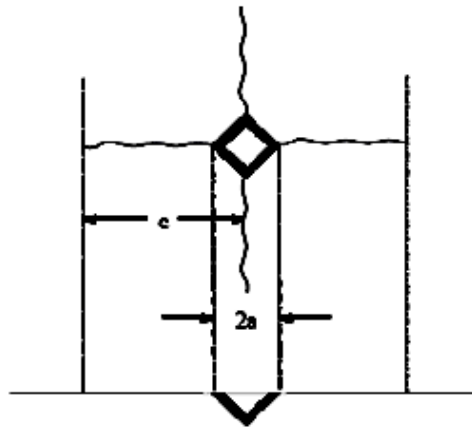


Şekil 7.1. Vickers sertlik ölçümünde kullanılan uç ve izlerin şematik resmi [31].

7.3. Kırılma Tokluğu

Seramikler gevrek malzemelerdir ve mikro yapılarını değiştirmek suretiyle kırılma tokluklarını artırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bir teknik, seramik matrise takviye faz(seramik matris kompozitler) ya da bir matris faza çok kristalli seramiği ilave etmektir [16].

Seramiklerin kırılma tokluğunun ölçümünde mukavemetinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan üç noktalı eğme deneyi uygulanmaktadır. Bu deneyde çentikli eğme numuneleri kullanılır. Seramik malzemeler gibi gevrek malzemelerde kırılma tokluğu standart kırılma tokluğu deneyleri dışında indentasyon deneyleri ile de belirlenebilmektedir. Bu metot, standart kırılma tokluğu deneylerine göre çok daha kolay uygulanabilen sertlik deneyi ile kırılma tokluğunun belirlenmesini sağlamaktadır. Gevrek malzemelerde Vickers sertlik ucu ile uygulanan P yükü, malzeme üzerinde $2a$ boyutunda bir iz bırakırken, $2c$ uzunluğunda da çatlak oluşumuna sebep olmaktadır [16].



Şekil 7.2. Vickers sertlik ucu ile gevrek bir malzemede çatlak oluşumu [16].

Malzemeye uygulanan P yükü malzeme yüzeyinde 2c boyutunda çatlak oluşturmuş ise ($c \gg a$), bu malzemenin kırılma tokluğu (K_{IC});

$$K_{IC} = S(E / H)^{1/2} (P / c^{3/2}) \quad (7.3)$$

Bağlantısından bulunabilmektedir. Burada; S malzemeden bağımsız bir sabit olup, $S=0,016 \pm 0,004$ değerine eşittir. E/H ise malzemenin elastisite modülü / sertlik oranındadır [16] .

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kırılma tokluğunun ölçümünde yukarıda verilen denklem (7.3) kullanılmıştır.

Seramik malzemeler, ortaklaşım-iyonik bağların bileşimi nedeniyle kırılma tokluğu, metaller ve mühendislik plastikleriyle karşılaştırıldığında oldukça düşük seviyelerdedir. Seramik malzemelerin tokluğunu artırmak için geçmişte pek çok araştırma yapılmıştır. Katkılarla sıcak presleme ve tepkime bağlaması gibi yöntemler kullanılarak tokluğu artırılmış mühendislik seramikleri üretilmiştir. Seramik malzemelerin kırılma tokluğunun kısmen iyileştirilmesi amacıyla yapılan düzenlemelerde, seramiklerin aşınma direncinde bir miktar düşme olmuş, buna karşılık mikro çatlak oluşumu bariz şekilde engellenmiştir. Burada, bölgesel yüklenmeler, termal şok ve gerilmeler karşısında çatlak oluşumuna karşı direnç sertlikteki azalmayla dengelenmektedir [16].

7.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dispersif Spektrometresi (EDS) Analizi

Elektron mikroskobu hammadde ve ürünlerin gözle görülmeyen kristal yapılarını inceleyerek mineral ve ürünlerin cinsi hakkında bilgi veren araçtır [32].

SEM analizi ile numunede, tane boyutu, yüzey kabalığı, porozite, partikül tane dağılımı, malzeme homojenliği ve kaplama kalınlığı belirlenebilir. Odaklanmış elektronlar numunenin yüzeyini tarar, tarama sonucunda oluşan sinyaller detektörler vasıtası ile tutunur. Taramalı elektron mikroskobu EDS ile kullanılarak elementel analizde yapılır [32].

Taramalı elektron mikroskobu (SEM)'in çalışma prensibi; yüksek voltaj altında hızlandırılmış elektronların numune üzerine gönderilmesi ile elektronlar ile numune atomları arasında çeşitli etkileşimler olur [32].

7.5. X-ışınları Difraksiyon Analizi (XRD)

X-ray cihazı ile kısa dalga boyuna sahip x-ışınları, test edilerek numunenin üzerine gönderilir. Işın demetleri maddenin üç boyutlu kristal kafeslerinden difraksiyona uğrar. Her mineralin kristal yapısının değişik difraksiyonlar vermesi ile karşılaştırıldığında test edilen malzemenin hangi minerolojik yapıya sahip olduğu ortaya çıkar [32].

8. KULLANILAN HAMMADDELER

8.1. Zirkon(ZrSiO_4)

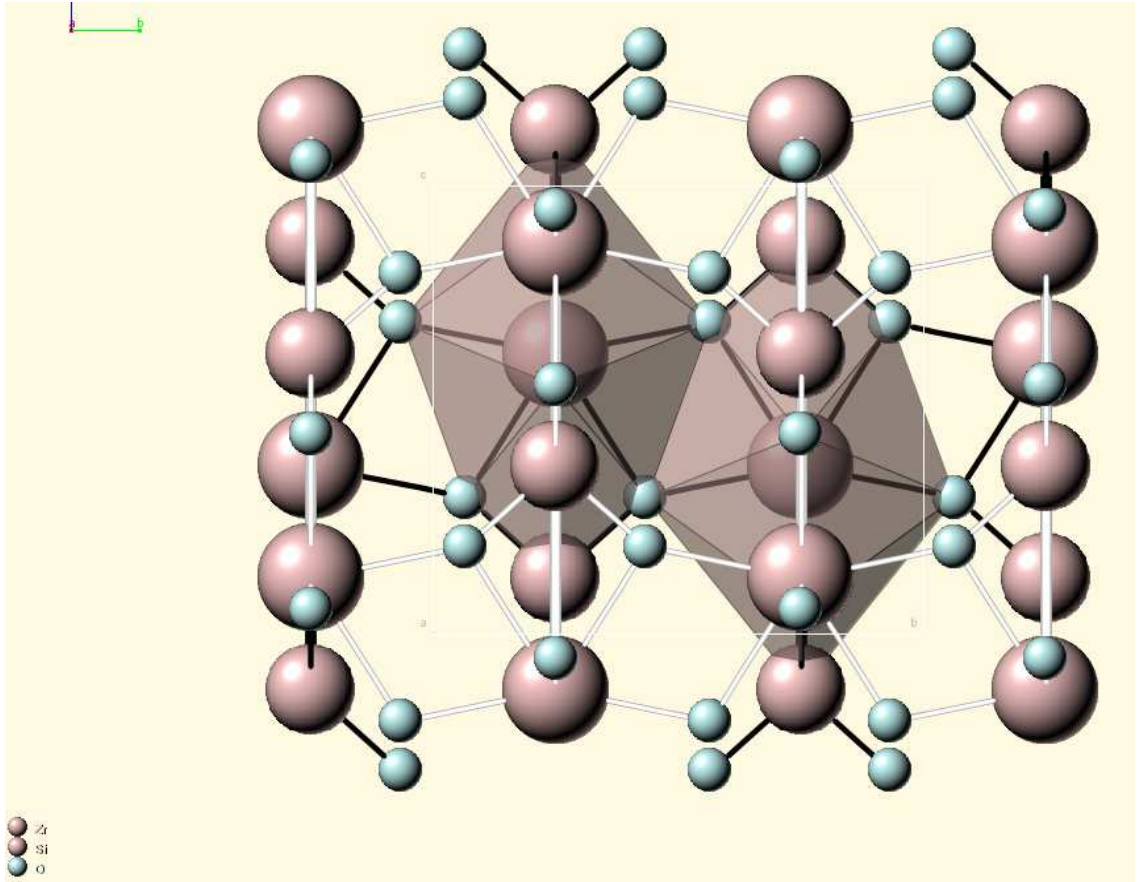
Zirkon kimyasal Bileşimi: ZrSiO_4 , Kristal Sistemi: Tetragonal, Kristal Biçimi: Kısa-uzun prizmatik kristalli; dipiramidal; ışınal lifli agregatlar ve düzensiz taneler halinde, ikizlenme{111}, {100} ve {221} yüzeylerinde, özellikle dirsek ikizi yaygındır, sertlik:7,5, özgül Ağırlık; 4,6-4,7 dilinim; {110}, {111} zayıf, renk ve Şeffaflık, Renksiz, kahverenginin tonları, yeşil, gri, sarı ve kırmızı; şeffaf, parlaklık, Elmas parıltılı, camsı şekildedir [33].



Şekil 8.1. Doğal zirkon [34].



Şekil 8.2. Zirkon kristali [35].

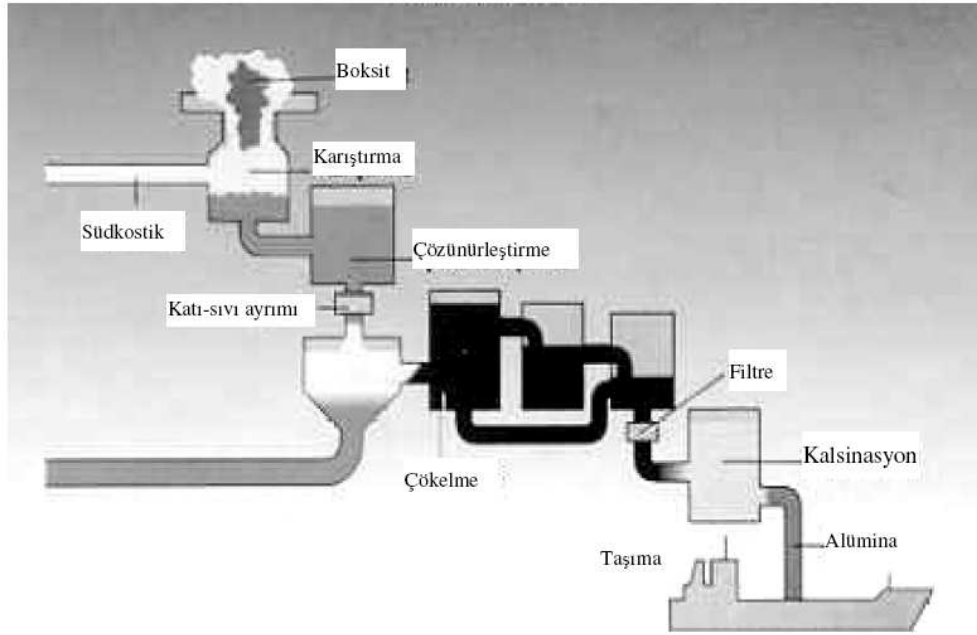


Şekil 8.3. Zirkonun kristal yapısı [36].

8.2. Alüminyum

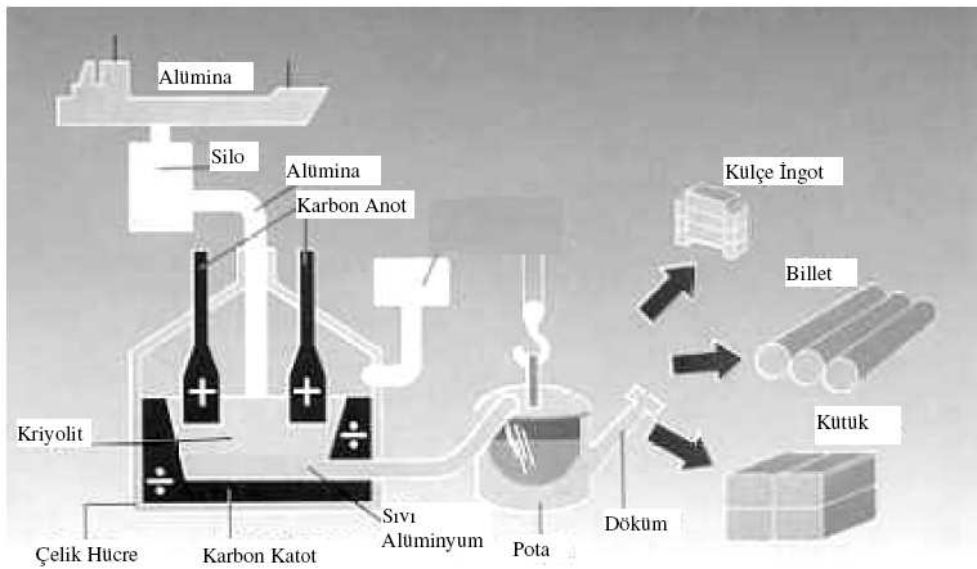
8.2.1. Alüminyum Üretimi

Alüminyum, yüzyıldan beri tüm dünyada Bayer yöntemiyle elde edilmektedir. Bayer yöntemiyle alüminyum eldesi iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada, boksit cevherinden alümina elde edilir (Şekil 8.4). İkinci aşamada ise, elektroliz ile alüminadan alüminyum elde edilir. Boksit cevheri, kostik eriyiği ile muamele edilerek alüminyum hidroksit eldesi gerçekleşir. Bu işlem sonucunda oluşan erimeyen kalıntılar (kırmızı çamur) ayrılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile “alümina” (alüminyum oksit) elde edilir [40].



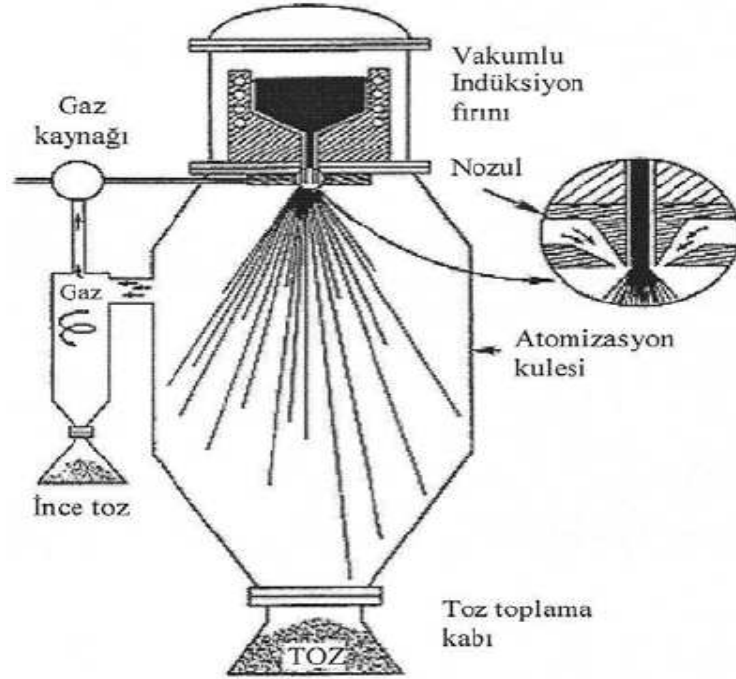
Şekil 8.4. Alüminanın elde edilme devresi [40].

Bundan sonraki aşama “alümina”nın “alüminyum”a dönüştürülmesidir. Beyaz bir toz görünümündeki alümina elektroliz işleminin yapılacağı hücre adı verilen özel yerlere alınır. Şekil 8.5’de alüminadan alüminyum eldesini gösteren şekil bulunmaktadır. Burada amaç alüminyumı oksijenden ayırmaktır. Elektroliz işlemi için 4-5 volt gerilimde doğru akım uygulanır. Dipte biriken alüminyumun alınması ile işlem tamamlanır [40].



Şekil 8.5. Alüminyumun Elde Edilmesi Devresi [40].

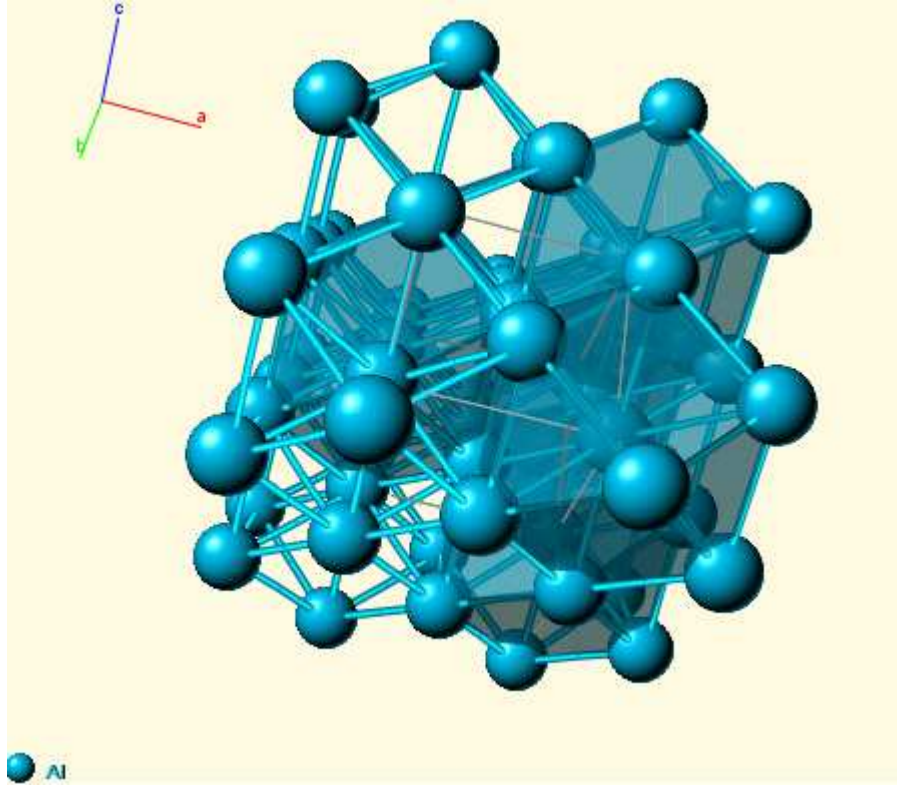
Alüminyum metal tozu üretimi için gaz atomizasyonu yöntemi (şekil.8.6) kullanılmaktadır. Bu yöntemle küresel ve yüksek saflıkta Alüminyum metal tozları üretilmesi mümkündür.



Şekil 8.6. Gaz atomizasyonu yöntemi [29].

8.2.2. Alüminyum'un Genel Özellikleri

Alüminyum 13 atom numarasıyla periyodik cetvelin üçüncü grubunda yer almaktadır. Atom çapı 1,43 Å, iyon çapı 0,86 Å ve atom ağırlığı 26,98 g/mol'dür. Alüminyum diğer metallerde olduğu gibi elektron dizilişine bağlı olarak bileşik oluşturur. Elektron yapısı incelendiğinde 1s yörüngesinde iki elektronla doymuş K seviyesi ve 2s ve 2p yörüngesinde toplam sekiz elektronla doymuş L seviyesi ile karakterize edilir ve atomun dış M seviyesinde üç elektron bulunur. İki 3s ve biri 3p yörüngesinde. Bu sebeple alüminyum üç değerli olarak bilinir. Alüminyum yumuşak ve demirden yaklaşık üç kat daha hafiftir. Diğer metallerin katılmasıyla alaşımlandırılabilir. Şekil 8.7'de alüminyum metalinin kristal yapısı görülmektedir [40].



Şekil 8.7. Alüminyum Metalinin Kristal Yapısı [41].

Çizelge 8.1. Saf alüminyumun fiziksel ve mekanik özellikleri [40].

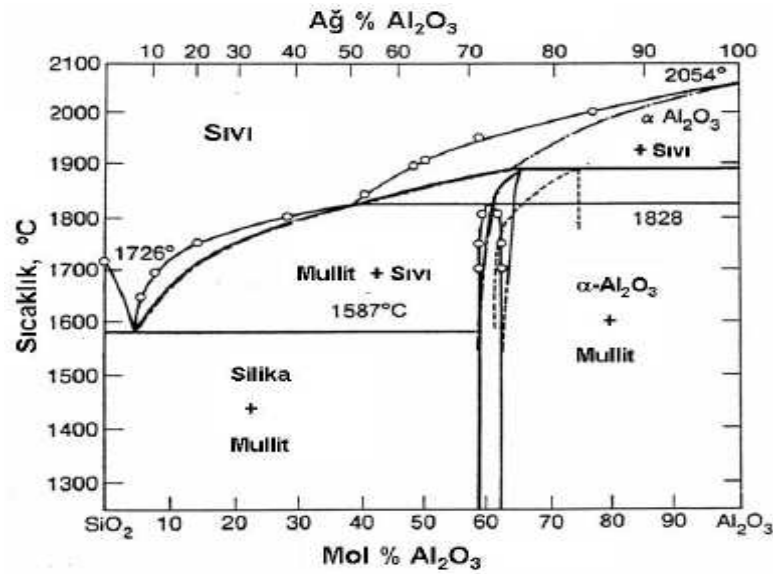
Kimyasal Sembolü	Al
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26.98 g/mol
Kafes Yapısı	Yüzey Merkezli Kübik (YMK)
Yoğunluğu (20°C'de katı)	2.6989 g/cm ³
(660°C'de sıvı)	2.37 g/cm ³
Elastisite Modülü (E)	70 GPa
Kayma Modülü (G)	27 GPa
Ergime Sıcaklığı	660.24 °C
Elektrik İletkenliği	37, 74 m/ohm.mm ²
Isı İletkenliği (λ)	0.55 cal/cm.s. °C
Akma Mukavemeti	10 MPa
Çekme Mukavemeti	45 MPa
Uzama Değeri	% 50

8.3. Mullit

Mullit, aluminasilikat seramiklerinde bulunan yaygın fazlardan biri olduğu halde, doğada çok az rastlanır. İskoçya'nın Mull adasında bulunduğu için, yöresel isim olarak mullit adı verilmiştir. Düşük ısıl genleşme katsayısı, yüksek ergime noktası, yüksek sürünme dayanımı ve kimyasal inertlik gibi özellikler mulliti yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılabilen potansiyel malzeme adayı yapmaktadır. Yapılan araştırmalar bu özelliklerin ancak bir kısmının normal süreç koşullarında elde edilebildiğini göstermiştir. Mullit kafesine iyonik difüzyonun aktivasyon enerjisi yüksek olduğundan (170 kcal/mol) teorik yoğunlukta malzeme elde etmek için 1700 °C'nin üzerinde uzun süreli sinterleme yapmak gerekmektedir. Bu yüzden mullitin teorik yoğunluğa yakın ve tek fazlı bir malzeme olarak elde edilebilmesi çok güçtür [24]. Bu nedenle çeşitli araştırmacılar sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, sol-jel prosesi gibi yöntemler kullanılarak bu özellikleri optimize etmişlerdir [39].

Son yıllarda gaz sensörleri, su arıtıcıları, ısı yalıtkanları, iyon değiştiriciler ve sıcak-gaz ya da ermiş-metal filtreleri gibi gözenekli seramiklerin uygulamalarına olan ilgi sürekli artmıştır. Bu ilginin nedeni mullitin düşük ısıl genleşme katsayısı, yüksek ısıl şok direnci ve artan sıcaklıklarda göstermiş olduğu mükemmel mekanik ve kimyasal kararlılığından dolayıdır.

Al_2O_3 - SiO_2 sistemi, seramikte önemli ikili sistemlerden birisidir ve sistemde oluşan mullit şekil 8.8'de verilmektedir.



Şekil 8.8. Al_2O_3 - SiO_2 Faz Diyagramı [42].

Mullit, ortorombik yapıya ve $3,16-3,22 \text{ g/cm}^3$ teorik yoğunluğa sahiptir. Sertliği (Mohs ölçeğinde) 7,5, ergime sıcaklığı $1850 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Düşük ısı genleşme katsayısına ($20^\circ-1000^\circ\text{C}$ arasında $5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) ve yüksek sürünme dayanımına sahip olduğundan, yüksek sıcaklık özellikleri iyi olan malzemeler arasındadır. Kırılma tokluğu ve dayanımı oda sıcaklığında alüminadan düşük olmasına rağmen, yüksek sıcaklıklarda alüminadan daha iyidir [26].

8.4. Zirkonya (ZrO_2)

Zirkonya, doğada monoklinik kristal yapılı Baddeleyit minerali olarak bulunur. Bununla beraber, teknolojik zirkonya daha çok zirkon mineralinden elde edilmektedir. Baddeleyit %1-1,5 silika ve demir oksit içerir ve doğada zirkondan daha az rastlanır. Brezilya ve Güney Afrika en büyük üreticilerdir [39].

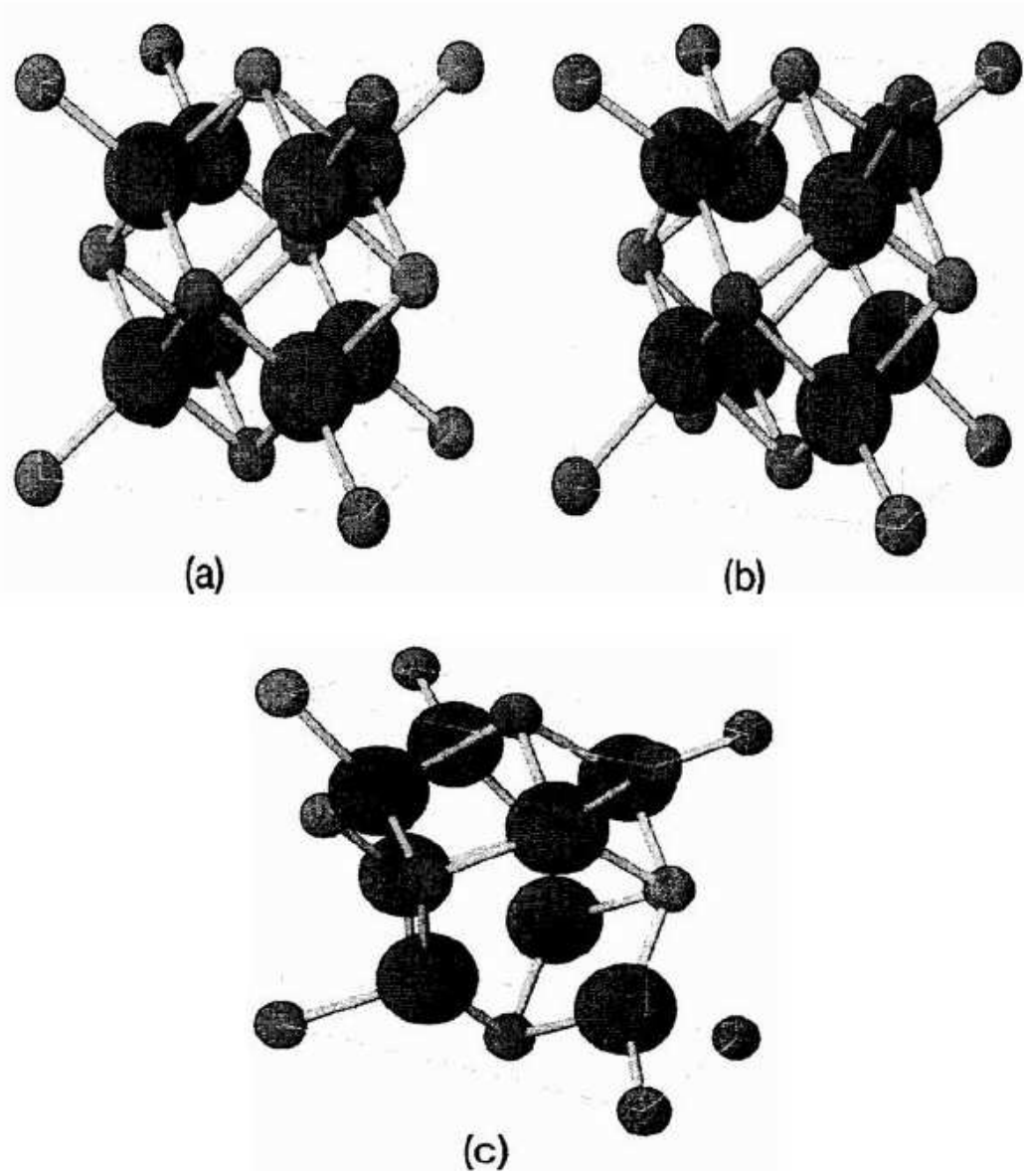
Zirkonya, dayanımı ve sertliği yüksek bir seramiktir. ZrO_2 , diğer oksit seramikler gibi iyonik bağlı olup, saydamlık, elektrik ve ısı iletimine direnç, dimanyetizma, kimyasal kararlılık gibi üstün özelliklere sahiptir [43].

Dönüşüm toklaşması sayesinde zirkonya, seramikler içinde en yüksek tokluğa sahip malzemelerden birisidir. Bu özelliği ile zirkonya diğer seramik malzemelerin tokluğunu artırıcı kompozit elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu zirkonya seramiklerin ileri teknoloji seramikleri içinde çok önemli bir yere sahip olmasını sağlamıştır. Kırılma tokluğu ve yüksek mekanik özelliklerin yanı sıra, kimyasal inertlik ve sertlik gibi özellikleri ile kesici takımlar olarak kullanılmaya başlamıştır. Kesilmesi güç olan endüstri ürünlerinin kesilmesinde, evde kullanılan bıçak, makas gibi kesici aletlerde kullanılmaktadır. Tel çekme ve sıcak ekstrüzyon kalıplarında ve conta olarak valflerde kullanıldığı gibi ticari pompalarda üretilmektedir.

Özellikler otomotiv endüstrisinde, piston başı ve yüzeyleri gibi motor parçalarında zirkonya kullanılması, yüksek aşınma dirençleri nedeniyle piston ömrünü uzatmaktadır. Gaz türbinlerinde, türbin kanatları zirkonya ile kaplanarak metal yüzeyinin fazla ısınmasına engel olunmakta ve motorun veriminde % 6-12 gibi bir artış sağlamaktadır.

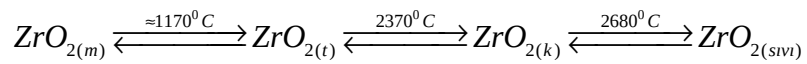
Zirkonya elektronik sanayinin önemli bir elamanıdır ve yaygın uygulamalarından biri oksijen sensörleridir. Egzoz gazlarındaki çok az miktarda mevcut olan oksijeni kısmi basıncını ölçerek iyi bir yanma sağlanıp sağlanmadığının kontrolünde, ısı işlem fırınlarının atmosfer kontrolünde, ergimiş çelikteki oksijen miktarının saptanmasında zirkonyadan üretilmiş oksijen sensörleri kullanılmaktadır [39].

Zirkon çeşitli sıcaklık aralıklarında üç farklı yapıda bulunur, bunlar; monolitik (m), tetragonal (t) ve kübik (k) zirkonya yapılarıdır.



Şekil 8.9. Zirkonyanın 3 kristal yapısı a) kübik zirkonya, b) tetragonal zirkonya , c) monoklinik zirkonya [43].

Zirkonya oda sıcaklığında kararlı olan monoklinik yapısı $\approx 1170^\circ\text{C}$ 'ye kadar olup, bu sıcaklıkta tetragonal yapıya dönüşmektedir. 2370°C 'ye kadar tetragonal faz kararlıdır, bu sıcaklıkta kübik yapıya dönüşmekte ve ergime sıcaklığına (2680°C) kadar yapı kararlıdır [39].

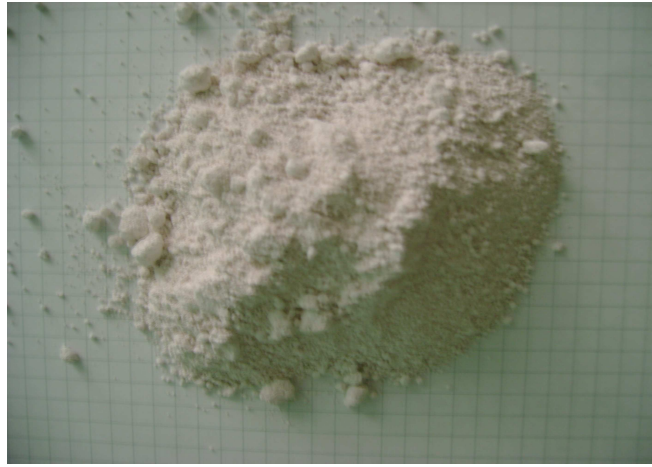


9. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

9.1. Başlangıç Malzemeleri

9.1.1. Zirkon

Zirkon tozu % 99 saflıkta, 73 μm altında olup Altın Çini ve Seramik A.Ş.'den temin edilmiştir.



Şekil 9.1. Zirkon tozu.

9.1.2. Alüminyum Metal Tozu

Alüminyum metal tozu %99 saflıkta olup 73 μm altındadır. İstanbul Teknik Üniversitesinden alınmıştır.



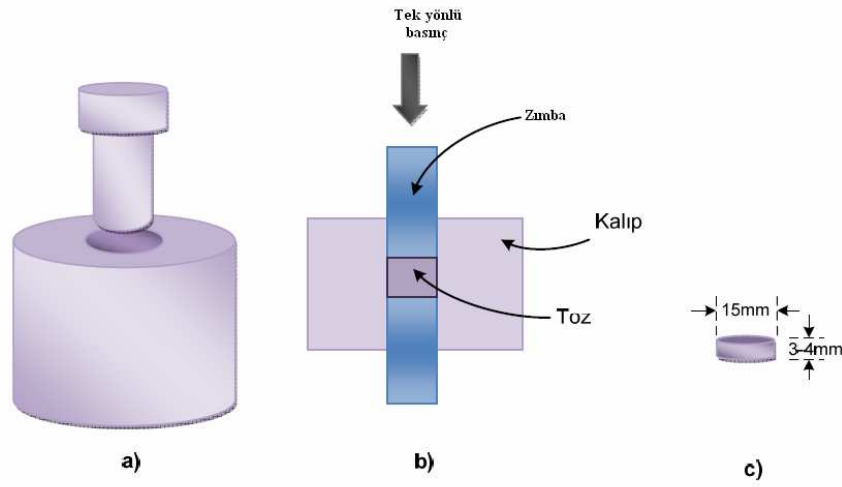
Şekil 9.2. Alüminyum metal tozu.

9.2. Karışım Hazırlama

Reçetede ki orana göre(%80 zirkon ve %20 alüminyum metal tozu) farklı kaplarda etüvde 80 °C’de 1 saat bekletildi. Homojen karışım sağlamak için beherin içerisine %15 katı olacak şekilde alkol ve reçetede ki orana göre zirkon ve alüminyum ilave edildi. Manyetik karıştırıcıda 1 saat karıştırıldı. Sonra etüvde 80 °C’de 24 saat bekletildi. Etüvden alınan malzeme havanda öğütüldü.73 µm’lik elekten geçirildikten sonra bir kap içerisine alınıp ağırlıkça yaklaşık %1 oranında PVA ilave edilip karıştırıldı. Granül oluşumu daha sıkı paket yapı oluşturacağından granül oluşumu için hazırlanan numune torba içerisine alınıp torba şişirilip titreşimle granül oluşturuldu. Granül haline gelen tozlar kalıba dolum için hazır hale geldi

9.3. Şekillendirme

Hazırlanan granül yaklaşık 2 gr tartılarak pelet kalıbına, 7 gr tartılarak çubuk kalıba dolum yapılmıştır. Bu çelik kaplarına dolum yapıldıktan sonra 7 tonda numuneler Carver markalı presde disk ve çubuk şeklinde numuneler tek yönde basılarak hazırlanmıştır. Şekil 9.3’de kalıpta malzemenin preslenme aşaması görülmektedir. Şekil.9.4’de ise preslemenin yapıldığı Carver marka pres görülmektedir. Şekillendirme ile peletler ve uzun çubuklar üretilmiştir. Üretilen peletler sertlik ve yoğunluk ölçümleri için ve çubuklarda mekanik deneyler için kullanılmıştır.



Şekil 9.3. Şekillendirmede kullanılan metal kalıp.



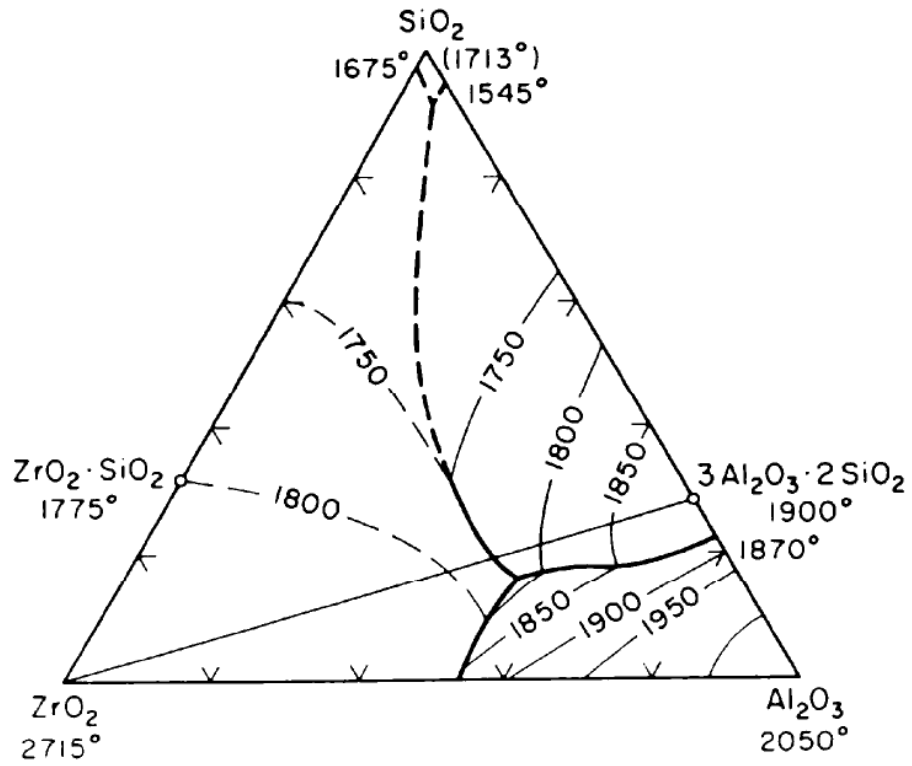
Şekil 9.4. Pelet hazırlamakta kullanılan Carver marka el presi.

9.4. Sinterleme

Şekillendirilen numuneler daha sonra Protherm marka yüksek sıcaklık fırınında 5°C/dk ısıtma hızında 1000°C, 1100°C, 1200°C, 1300°C, 1400°C sıcaklıklarına kadar ısıtıldı ve bu sıcaklıklarda 3 saat bekletildi ve fırında soğumaya bırakıldı. Sinterleme özellikleri şekil. 9.6'da verilen faz diyagramına göre yapıldı.



Şekil 9.5. Sinterlemede kullanılan Proterm marka fırın.



Şekil 9.6. Al_2O_3 - SiO_2 - ZrO_2 Üçlü Faz diyagramı.

9.5. Üretilen kompozitler

Üretilen kompozitler 12mm x 4mm boyutlarında peletler ve 3mm x 9 mm x 63 mm boyutlarında çubuklar üretilmiş ve sinterlenmiştir. Sinterlenmiş numune resimleri şekil 9.7’de verilmektedir.



(a)



1100°C

1200°C



1300°C

1400°C

(b)

Şekil 9.7. (a) Üretilen peletler ve (b) üretilen çubuklar

10. KARAKTERİZASYON YÖNTEMLERİ

10.1. DTA ve TG Analizi

DTA-TG analizleri sıcaklık ile oluşan faz dönüşümlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Oda sıcaklığından (25°C) 1400°C'ye kadar analiz yapılmıştır. 5 mg toz karışımı alümina kroze içerisine konularak ölçüm gerçekleştirilmiştir. Hava sirkülasyonu ile ölçüm yapılmıştır. DTA ve TG analizi Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümünde bulunan Perkin Elmer marka TG/DTA cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 10.1. Termal analizde kullanılan TG/DTA Cihazı.

10.2. X-Işınlari Difraksiyonu (XRD)

XRD analizi temelde kırınım prensibine dayanır. Oluşturulan X ışınları numun yüzeyine çarparak Bragg yasasına göre yansır. Başlangıç X ışını ve geri dönen X ışını arasındaki şiddet ve açı farkı faz özelliklerini ortaya koyar. Faz değişimlerini gözlemek amacıyla numunelere XRD analizleri yapılmaktadır. XRD analizleri DPÜ Seramik Mühendisliği laboratuvarında bulunan C/30kv/15mA'lık Rigaku Miniflex marka cihazla (Şekil.10) 20°'den 70°'e kadar 2θ aralığında dakikada 2° tarama hızında yapılmıştır.



Şekil 10.2. Faz analizinde kullanılan XRD cihazı.

10.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM)

Anadolu üniversitesi malzeme mühendisliği bölümünde bulunan Değişken Basıncı Analitik FESEM (Zeiss Supra 50 VP) marka cihazla yapılmıştır. Tozların, seramik ve diğer malzemelerin yüzey ve kesitlerinin, yüksek büyütmelerde (100.000 katın üstünde) morfolojik ve kimyasal analizi için kullanılmaktadır. Malzeme yüzeyi ve kesitinde bulunan her türlü hatalar (örneğin sır yüzeyinde bulunan siyah nokta, pinhole ve diğer hatalar) rahatlıkla incelenebilir ve mikron boyutunda bölgelerin kimyasal analizleri, faz haritalaması, renkli kompozisyon görüntülemesi vb. yapılabilir.



Şekil 10.3. Mikroyapı analizinde kullanılan FESEM cihazı.

10.4. Yoğunluk

Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Scaltec marka Arşimed terzisiyle ölçümler yapılmıştır. Ölçümler Arşimet metoduna göre yapılmıştır.

10.5. Sertlik Ölçümü

Anadolu Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümünde bulunan Shimadzu HMV-2000 marka, mikro sertlik ölçüm cihazında numunelerin mikro sertliklerinin analizi yapılmıştır. Analiz 9,8 Newton yük altında yapılmıştır.



Şekil 10.4. Vickers sertlik ölçümünde kullanılan mikro sertlik cihazı.

10.6. Kırılma Tokluğu

Mikro sertlik ölçümünde bulunan değerin denklem 10.1’de yerine konmasıyla bulunur.

$$K_{IC} = 0,016 \sqrt{\frac{E}{H}} P C^{-3/2} \quad (10.1)$$

E = Hesaplanmış toplam elastisite modülü(%50 mullit, %50 zirkonya)

H = Sertlik

P = Uygulanan yük

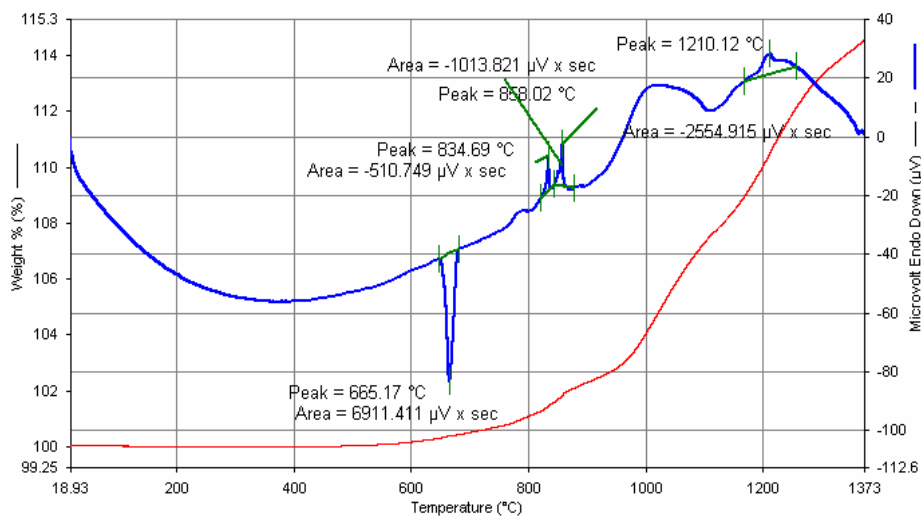
11. SONUÇLAR, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

11.1. Sonuçlar

11.1.1. Termal Gravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

Termal gravimetrik analiz sıcaklık ile oluşan reaksiyonları belirlemek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Yapıda aralıklı ısıtılan ve veren reaksiyonlar bu ölçüm ile belirlenir. Oluşan pikler ekzotermik ve endotermik pikleri belirler. Her bir reaksiyon sırasında oluşan ağırlık kaybı veya kazancıda belirlenebilir.

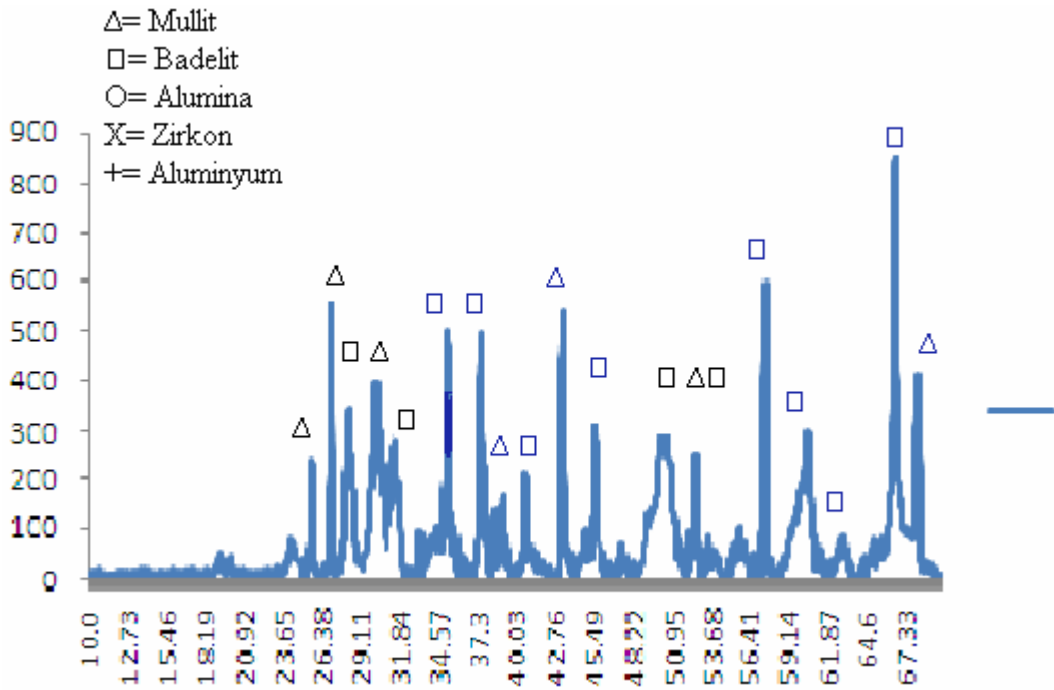
Termal analiz ölçümleri Perkin Elmer marka cihaz kullanılarak yapılmıştır. Oda sıcaklığından 1400°C'ye kadar ısıtma ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda 665 °C'de bir endotermik pik gözlenmiştir. Bu pikin alüminyum tozunun ergime noktası olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu nokta alüminyumun ergime noktası ile çakışmaktadır (Çizelge 8.1). 843-858°C civarında iki tane ekzotermik pik vardır. Bu pikler mullit ve zirkonyanın çekirdeklenmesinin başladığı noktalar. Bu noktalardan çekirdeklenme başlamaktadır. Bu çekirdeklenme davranışı ekte verilen FESEM sonuçlarından da gözlenmektedir. 1013 ve 1210°C civarında iki tane ekzotermik pik daha vardır. Bu pikler çekirdeklerin büyümeye başladığı noktalar. Bu noktalarda çekirdeklenme devam etmekte ve oluşan çekirdekler büyümektedir. Bu veriler yapıda iki farklı çekirdeklenmenin gerçekleştiğini göstermektedir. Bu aşamadan sonra XRD analizleri ile bu oluşumların neler olduğu belirlenecektir. Bu maksatla XRD ölçümleri yapılmıştır.



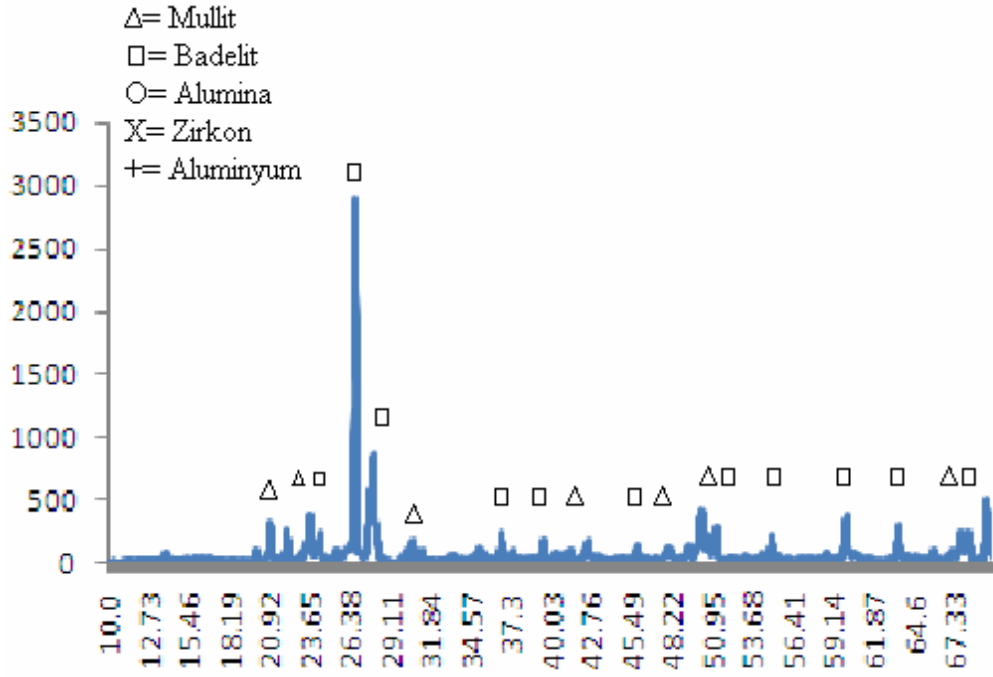
Şekil 11.1. TG-DTA analizi sonuçları.

11.1.2. X-Işınlari Sonuçları

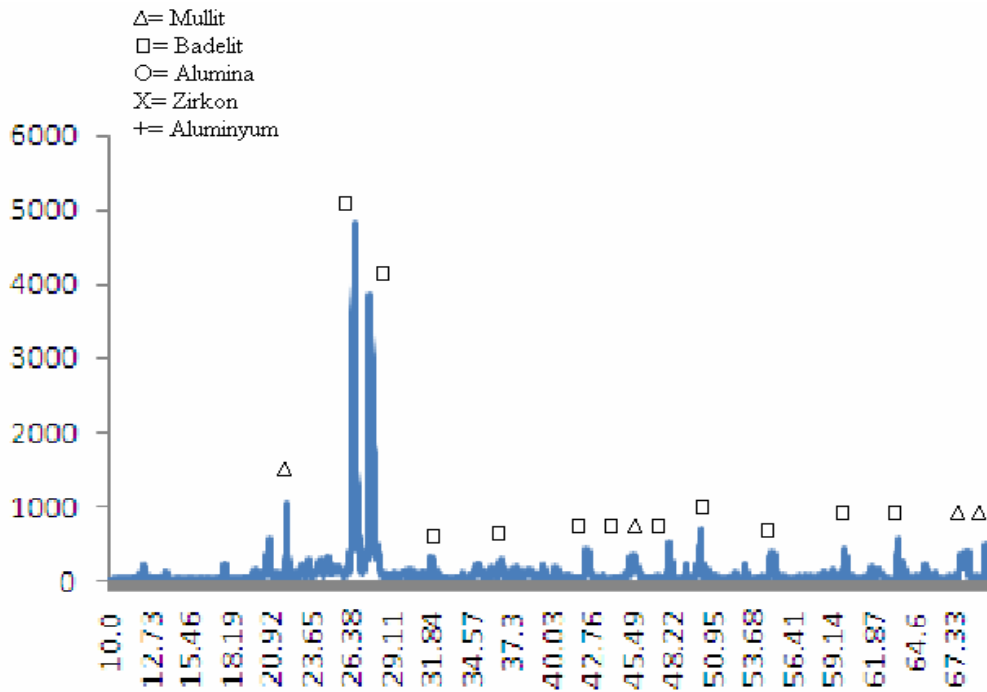
X-Işınlari difraksiyonu (XRD) faz analizinde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Prensip olarak X-Işınlari malzeme düzlemlerinden kırılmasına dayanır. Farklı yansıma açılarında değişik pik şiddetleri oluşur. Bu çalışmada X-Işınlari analizi faz analizi için kullanıldı. Şekil 9.7 farklı sıcaklıklarda (1000-1100-1200-1300-1400°C) üretilen kompozit yapılarının X-Işınlari analiz sonuçlarını vermektedir. Buradan görüldüğü gibi 1000°C'den sonra mullit ve zirkonya fazları oluşmaktadır. X-Işınlari sonuçları DTA-TG sonuçlarını desteklemektedir. DTA-TG sonuçlarında iki noktada kristalleşme gözlenmektedir. X-Işınlari sonuçlarına göre DTA sonuçlarında görülen bu iki oluşum noktasının mullit ve zirkonya olduğu bulundu. 1400 °C'de yapı tamamen zirkonya ve mullitten oluşmaktadır.



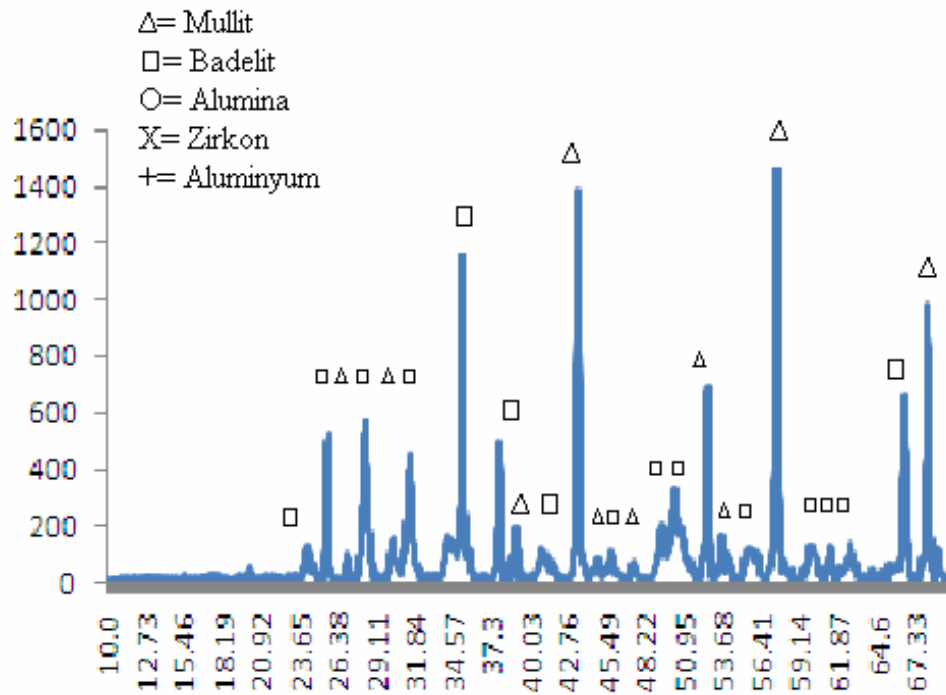
Şekil 11.2. 1000 °C'de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu.



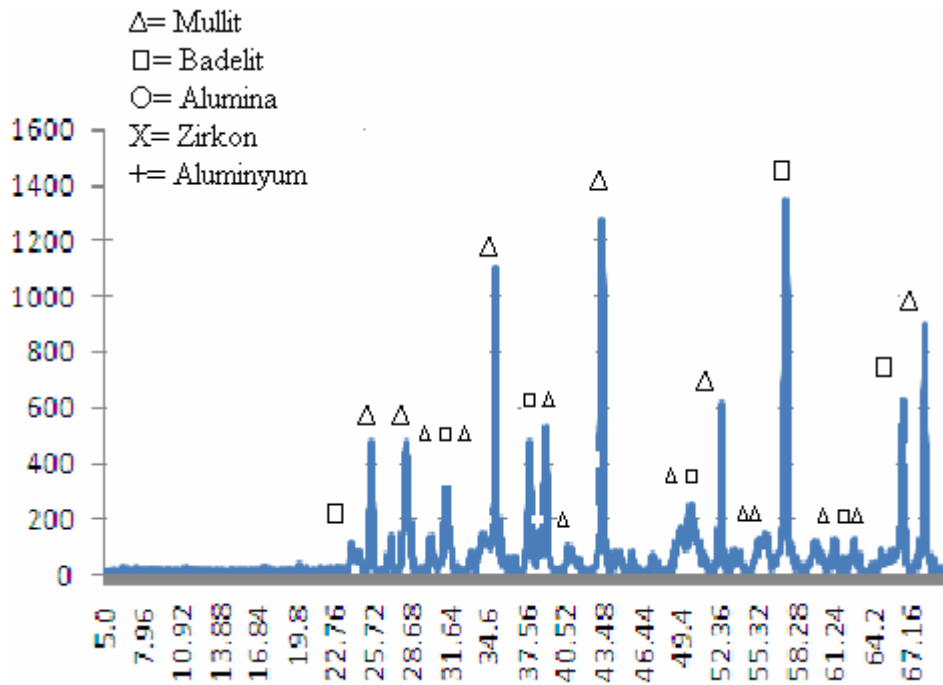
Şekil 11.3. 1100°C’de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu.



Şekil 11.4. 1200°C’de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu.



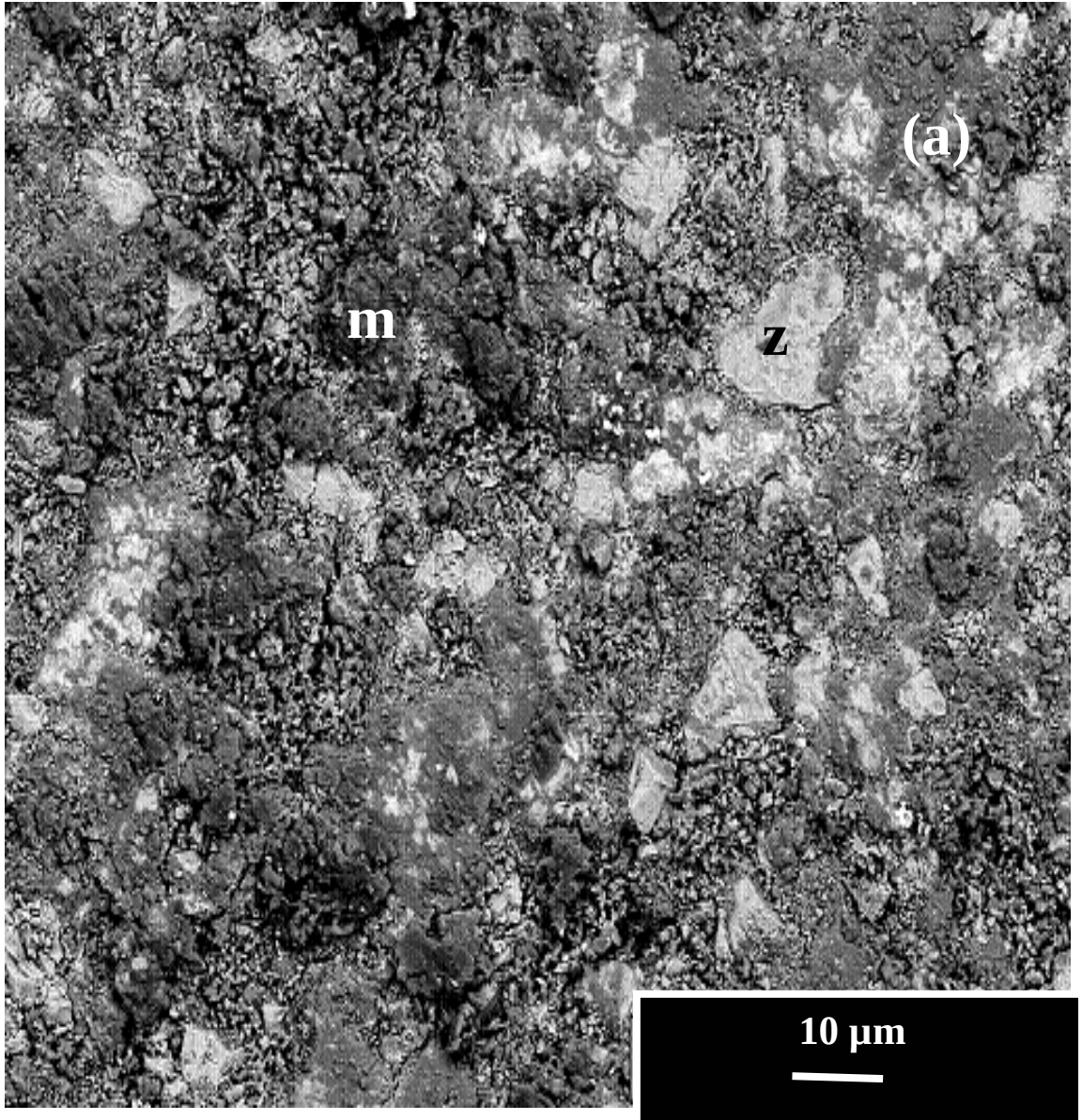
Şekil 11.5. 1300°C’de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu.



Şekil 11.6. 1400 °C’de sinterlenmiş numunenin XRD sonucu.

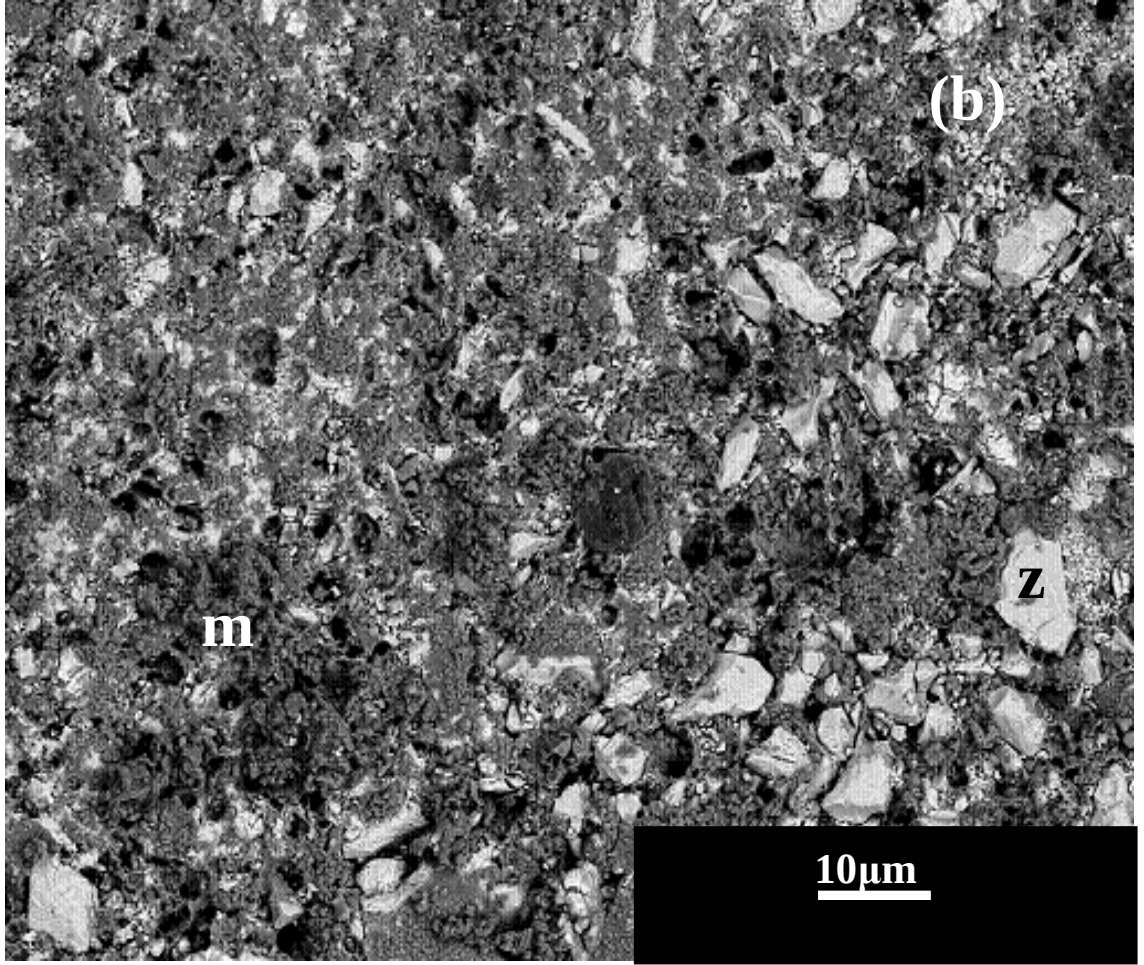
11.1.3. FESEM Sonuçları

Taramalı elektron mikroskobu çok yüksek büyültmelerde malzeme içyapı analizlerinin yapılmasını sağlar. Özellikle yüzey topografyasının analizi bu yöntem ile kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu yöntem prensip olarak elektron difraksiyonuna dayanır. Numune yüzeyine elektron bombardımanı yapılarak yüzey kompozisyonuna göre yansıma gerçekleşir. Bu çalışmada, elektron mikroskobu mikro yapı ölçümleri için kullanılmıştır. Şekil 11.5 elde edilen kompozit yapılarını ve zirkonya ve mullit mikro yapılarını ve EDX sonuçlarını göstermektedir. Bu yapılardan görüldüğü beyaz renkli faz zirkonya ve koyu renkli faz mullit olarak gözlenmektedir. Mullit kümelerden oluşmaktadır ve her mullit kümesi levhasal mullit tanelerinden oluşmaktadır. Zirkonya tane boyutu 1-2 μm aralığından mullit kümesi boyutu 2-5 μm aralığında değişmektedir. Bunun yanında mullit kümeleri içindeki mullit levhaları çok küçük boyutta olup nano seviyesinde dağılım göstermektedir. Kompozit yapıları belirli oranda gözenek içermektedirler. Yapının fazlar açısından homojen bir dağılım sağladığı söylenebilmektedir. Yapıda zirkonya eşeksensli ve mullit levhasal olarak oluşmaktadır.

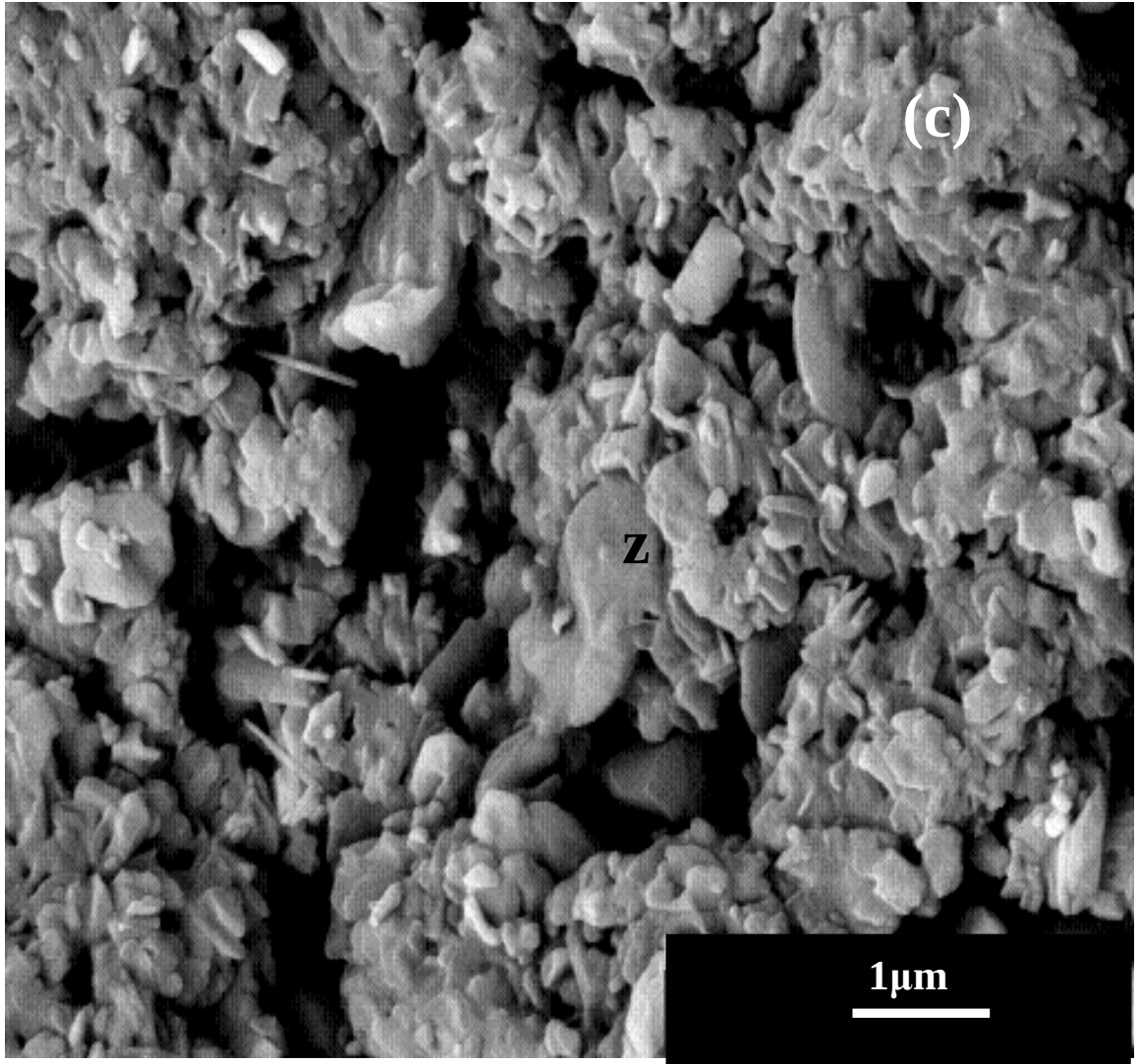


(a)

Şekil 11.7. 1300°C’de kompozitin FESEM görüntüsü.



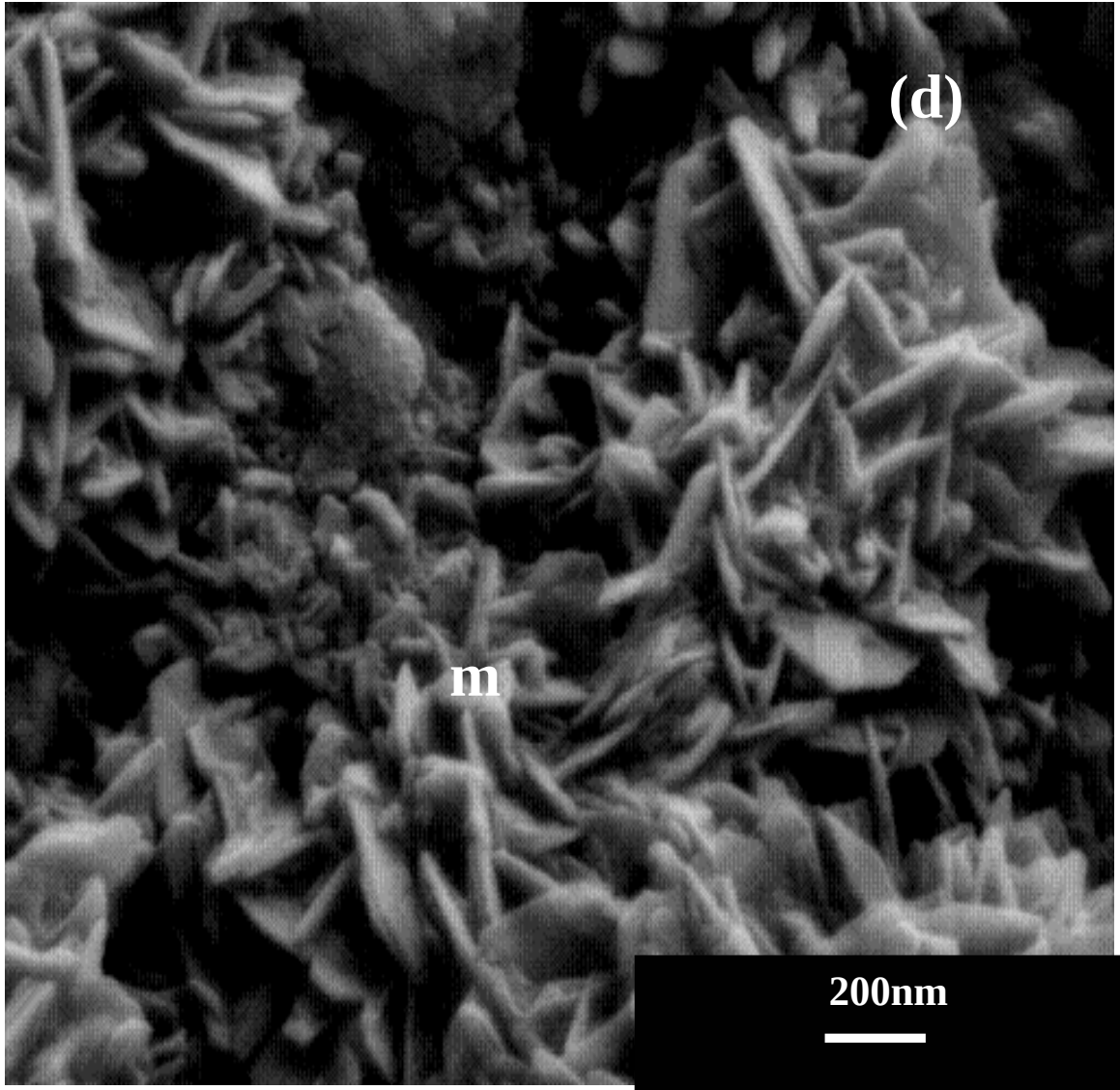
Şekil 11.8. 1400°C’de kompozitin FESEM görüntüsü.



Element	Ağırlıkça%	Atomik%	İçerik %	Formula
Zr L	47.96	15.77	64.79	ZrO ₂
O	35.41	66.40		
Totals	100.00			

(b)

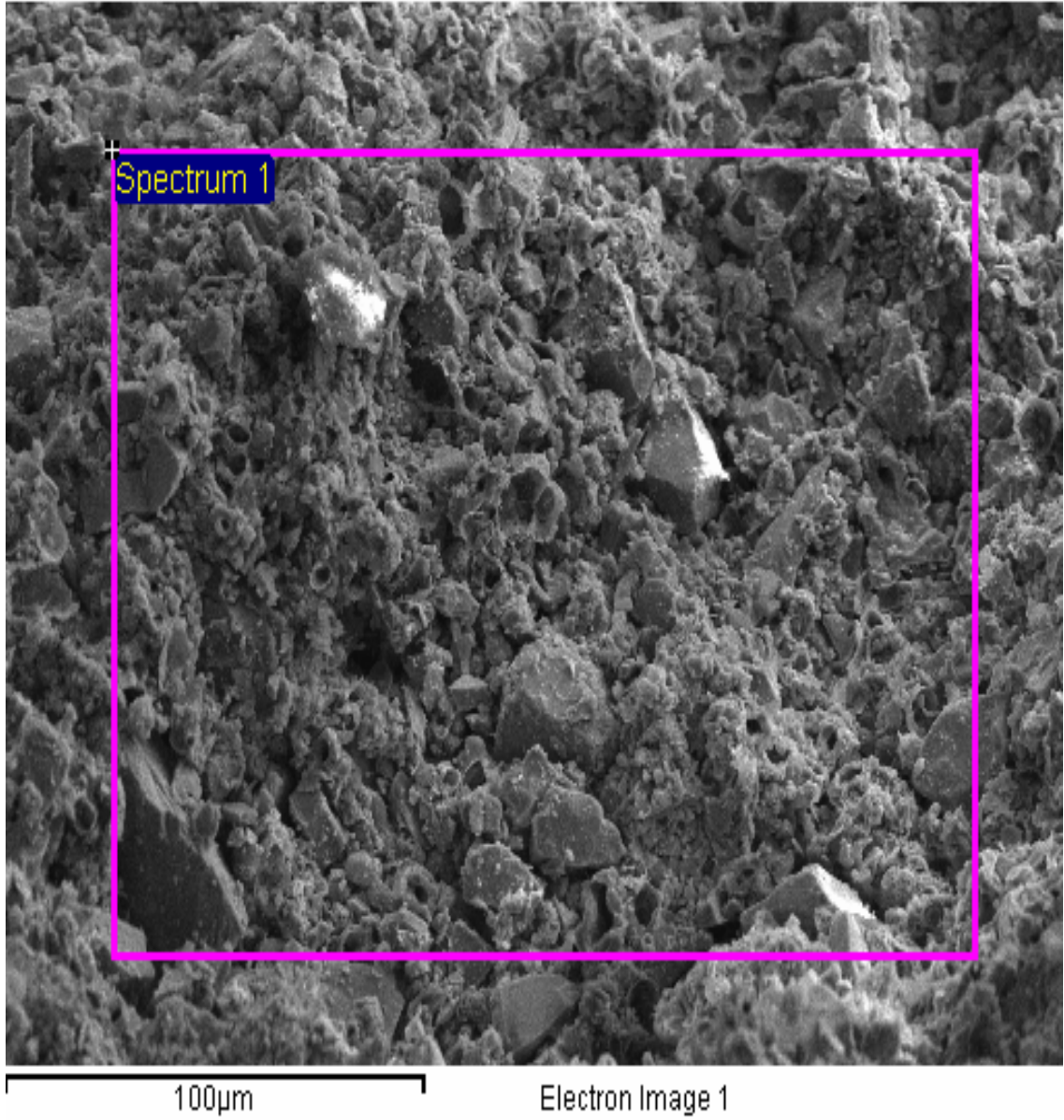
Şekil 11.9. (a) Zirkonyanın FESEM görüntüsü (1400° C), (b) zirkonya fazının EDX analizi sonucu.



Element	Ağırlıkça%	Atomik%	İçerik%	Formula
Al K	40.77	30.68	77.02	Al_2O_3
Si K	10.74	7.77	22.98	SiO_2
O	48.49	61.55		
Totals	100.00			

(b)

Şekil 11.10. (a) Mullit FESEM görüntüsü (1400°C), (b) mullit fazının EDX analizi sonucu.

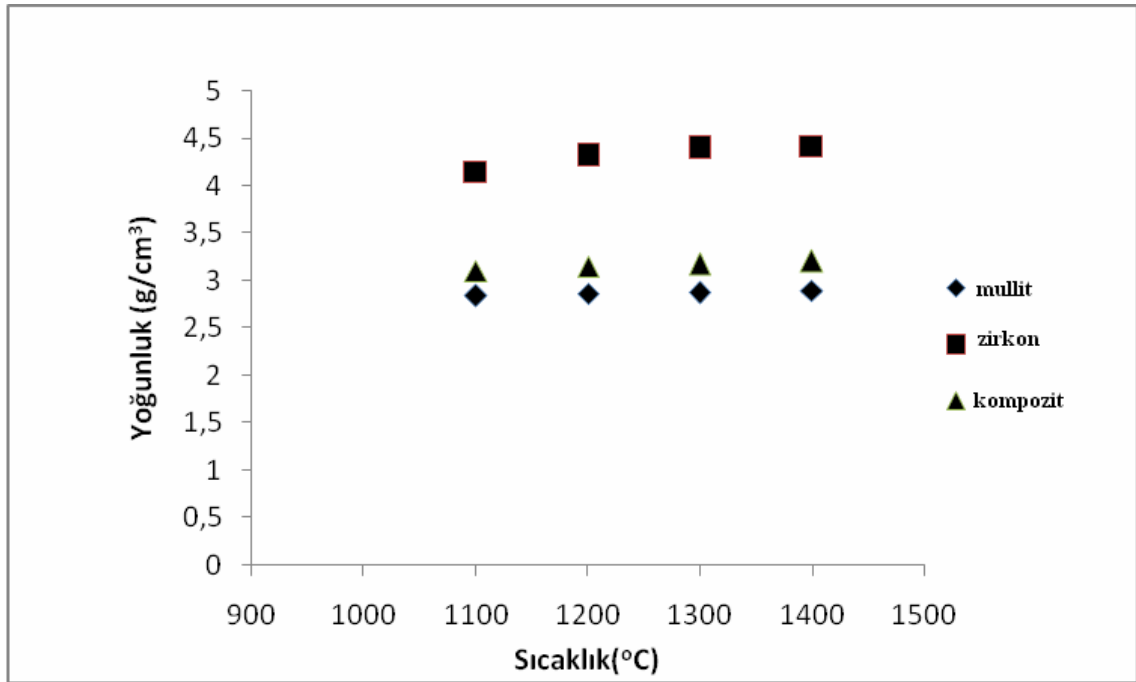


Şekil 11.11. Kompozitin Kırılma Yüzeyinin FESEM görüntüsü.

11.1.4. Yoğunluk Sonuçları

Malzeme yoğunluğu Arşimet prensibine göre açık ve kapalı porların oranına göre ölçülür. Özellikle açık porlar Arşimet prensibine göre malzeme yoğunluğunu belirler. Bir sıvının içinde sıvının kaldırma kuvveti ve yoğunluğuna bağlı olarak asılı kalmış malzemenin yoğunluğu Arşimet formülüne göre hesaplanır. Arşimet yoğunluğu denklem 7.1 eşitliğine göre hesaplanmıştır.

Şekil 11.12 Arşimet yoğunluk değişimlerini vermektedir. Kompozitin ortalama yoğunluğu $3,2 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Kompozit yoğunluğu mullit yoğunluğundan ($3,01 \text{ g/cm}^3$) yüksek zirkonun yoğunluğundan ($4,5 \text{ g/cm}^3$) düşüktür.

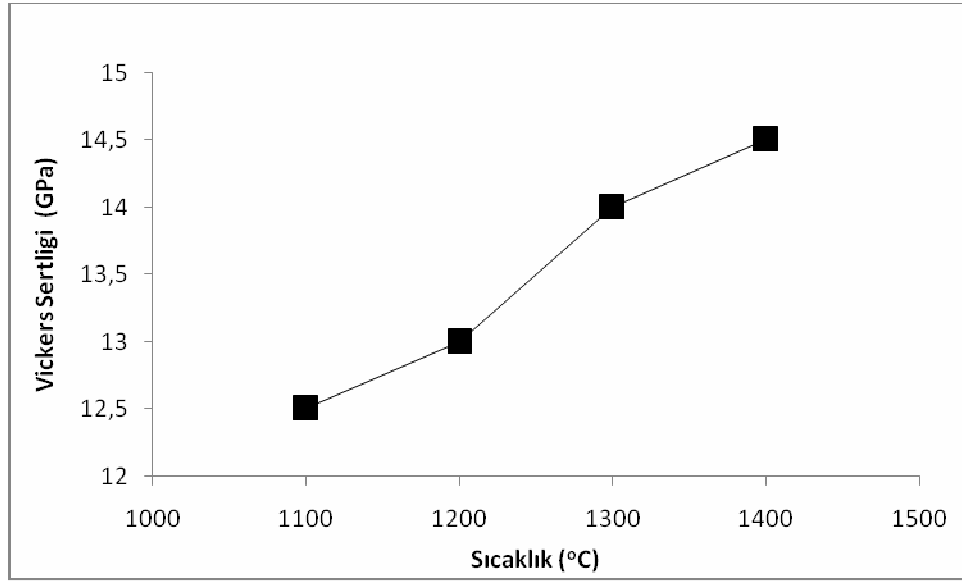


Şekil 11.12. Üretilen kompozit, mullit ve zirkonun yoğunlukları.

11.1.5. Sertlik Sonuçları

Sertlik malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir. Malzeme mukavemeti ve kırılma tokluğu ile ilişkilidir. Bu çalışmada bir vickers ucu malzeme yüzeyine batırılmış ve oluşan izin büyüklüğü ölçülmüştür. Oluşan iz sert malzemelerde daha küçük olurken daha yumuşak malzemelerde daha büyük olmaktadır. Bu çalışmada uç malzeme yüzeyine 2 saniye süre ile 9.8 N yük altında uygulanmıştır.

Şekil 11.13'de vickers sertlik değerlerini göstermektedir. Malzeme sertliği artan sıcaklıkla artmaktadır. Kompozitin ortalama sertliği 13 GPa olarak bulunmuştur. Bu sertlik değeri mullit (10-15 GPa)'in değerine yakın ve zirkonun sertlinden (10 GPa) yüksektir.

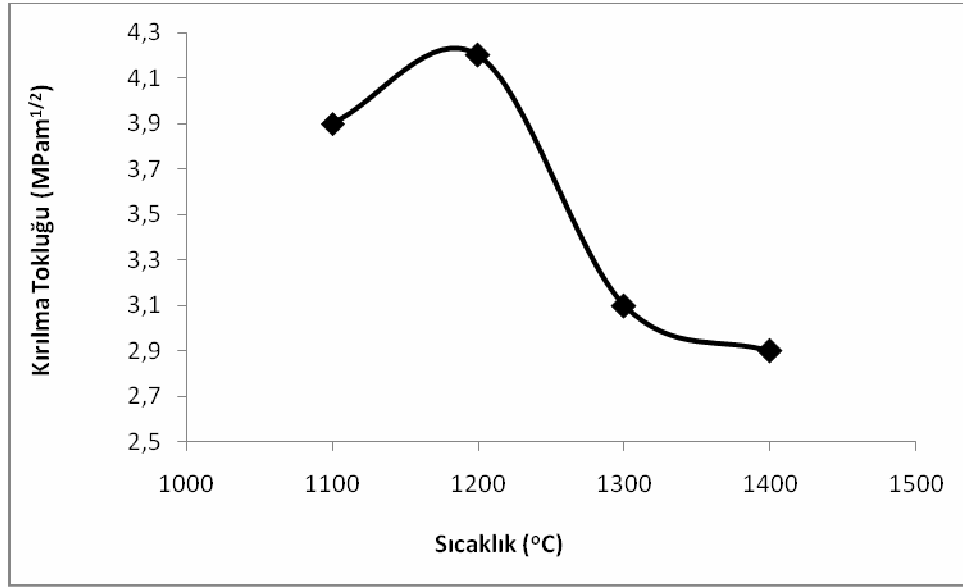


Şekil 11.13. Farklı sıcaklıktaki sertlik değerleri.

11.1.6. Kırılma Tokluğu Sonuçları

Tokluk malzemenin ani darbelere karşı gösterdiği direnci tanımlar. Gerilme deformasyon ergisi altında kalan alan olarak hesaplanır. Tokluk seramikler için oldukça önemlidir. Çünkü yapının gevrekliğinin veya sünekliğinin bir ölçüsüdür. Bu çalışmada farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş üretilen kompozitlerin kırılma tokluğu belirlenmeye çalışıldı.

Şekil.11.11 zirkonya/mullit kompozitinin kırılma tokluğu değişimini göstermektedir. Kırılma tokluğu değeri 1200 °C’de 4,2 MPa.m^{1/2} olarak bulunmuştur. Bu değer oldukça yoğun mullite (2-4 MPa. m^{1/2}) yakın ve hesaplanmış zirkondan (2,8MPa.m^{1/2}) daha yüksektir. Sıcaklığın artmasıyla kompozit daha gevrek hale gelmektedir. Bu durum sıcaklık ile tane büyümesinin artması ve gevrek yapının oluşmasıdır. 1000 °C’den sonra tokluk artarak 1200 °C’de pik değerine ulaşmakta ve bu noktadan sonra azalmaktadır. Bu noktadan sonra yapı gevrekleşmektedir. Bu durumun yüksek sıcaklıkta oluşan tane büyümesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 11.14. Farklı sıcaklıklardaki kırılma tokluk değerleri.

11.2. Değerlendirme

Bu çalışmada zirkon (ZrSiO_4) matris içine metalik Alüminyum tozu (Al) ilave olunmuş ve oluşan kompozit yapıları farklı sıcaklıklarda (1000°C, 1100, 1200, 1300 ve 1400°C) sinterlenmiştir. Sinterlenmiş bünyelerin TG-DTA ve XRD analizleri sonucunda mullit ve zirkonya fazlarının mikro yapı içinde oluştuğu ve homojen dağıldığı gözlenmiştir. Yapılan mekanik testler sonucunda kompozit 1200°C’de kırılma tokluğu $4,2 \text{ MPa.m}^{1/2}$ olarak bulunmuştur. Bu değer oldukça yoğun mullite ($2\text{-}4 \text{ MPa.m}^{1/2}$) yakın ve zirkondan ($2 \text{ MPa.m}^{1/2}$) büyüktür. Kompozit sertliklerinin vickers sertlikleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Ortalama sertlik 13 GPa olarak bulunmuştur. Bu değer mullitten (11GPa) ve zirkondan (8 GPa) yüksektir. Bu durumda kompozitin yoğunlaştığını söyleyebiliriz.

Bu çalışmanın sonucunda değişik bir yöntem ile zirkonyanın dönüşümü ile zirkonya/mullit kompozitleri üretilmiştir. Üretilen bu kompozitin analizinde mullit ve zirkonya oluşumu gözlenmiş ve varlıkları ispat edilmiştir. Mullit ve zirkonya 1000°C de oluşmaya başladıkları gözlemlenmiştir. Kompozitin yoğunlukları ölçülmüş ve kompozit yoğunluğu ($3,2 \text{ g/cm}^3$) olarak bulunmuştur bu değer mullitten ($3,1 \text{ g/cm}^3$) yüksek zirkondan ($4,6 \text{ g/cm}^3$) düşük olarak gözlenmiştir. Bu durum kompozitin belirli oranda yoğunlaştığını göstermektedir. Yapılmış mekanik deneylerin bu değerleri desteklediği gözlenmiştir.

Üretilen kompozitler mikro yapısal ve mekaniksel incelemeye tabii tutulmuştur. Yapılan incelemeler üretilen kompozitin başlangıç fazı, Zirkon'a göre zirkonya ve mullite bağlı olarak daha iyi mekaniksel özellikler (özellikle kırılma tokluğu) içerdiği gözlemlenmiştir.

Sonuçta değişik bir yöntemle zirkona alüminyum metal tozu ilavesi ile zirkonya/mullit kompozitleri üretilmiş ve karakterize edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre hedeflenen amaca ulaşılmıştır.

11.3. Öneriler

Üretilen kompozit yapılarının iç yapı özellikleri geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ile incelenmelidir. Özellikle mullit lamellerinin konumunun TEM ile daha ayrıntılı olarak inceleneceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın başlangıcında üretilen peletler soğuk izostatik olarak preslenerek sonuç yoğunluk artırılabilir. Mekanik testlerden dört noktalı eğme deneyi kullanılarak kompozit yapısı karakterize edilmelidir.

Bu çalışma ile mikro boyutta zirkonya/mullit kompozitleri başarı ile üretilmiştir. Gerekli mikroyapısal ve mekaniksel incelemeler sonucunda istenilen özellikte kompozitler oluşturulmuştur. Bu çalışma dahilinde, zirkonya/mullit nano kompozitlerin üretilmesi amaçlanmaktadır. Nano boyutta oluşturulacak kompozit ile yapının özellikleri daha da iyileştirilecektir. Nano boyutta benzer reaksiyonların oluşması beklenmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Wiederhorn, S.M. , Fuller, E.R., “Structural Reliability of Ceramic Materials”, “Materials”, Material Sci&Eng,71, pp 1169-1186,1985.
- [2] http://depts.washington.edu/matseed/mse__resources/Webpage/Ceramics/ceramicproperty.htm, 2008.
- [3] Kingery, W. D. Bowen, H.K. “Introduction to ceramics” New York Wiley, 1976.
- [4] ASM Handbook: Vol.21.Composites 2001.
- [5] Callister, W., Materials Science and Engineering an Introduction, Wiley Publication, USA, 2007.
- [6] Vekinis, G., Sofianopoulus, E., Tomlinson, W.J., Alümina Toughened with Short Nickel Fibers, Vol.45, No.11, pp.4651-5661, 1997.
- [7] Lu, J., Gao, L., Sun, J., Effect of Nickel Content on the Sintering Behaviour, mechanical and dielectrical properties of Al₂O₃/Ni composites from Coated Powders. Material Science and Engineering, Vol. 293. pp.223-228, 2000.
- [8] Geçkinli, E, ‘‘İleri Teknoloji Malzemeleri’’, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fak. Metalurji Müh. Bölümü, İstanbul, 1991.
- [9] Baykara, T, Toy, Ç., “Seramikler”, TÜBİTAK – Marmara Araştırma Merkezi, Bilim ve Teknik, Nisan, 1994.
- [10] Kahraman, A, “Teknik Seramikler ve Soğuk-Sıcak İzostatik Proseslerin İncelenmesi”, Yüzey İşlemleri, ss.38-44, Sayı 52, Ocak- Şubat 2007.
- [11] Yaralı, Y., Yılmaz, Ş., “Seramik Kompozit Malzemeler”, Metal Makina, 150, ss. 468–473, 2004.
- [12] Barsoum, W. M., Fundamentals of Ceramics, McGraw –Hill Series in Materials Science and Engineering, 1997.
- [13] Başman, G., Atar, E., Kayalı, E., S., Seramik Malzemelerin Aşınma Davranışı, İTÜ Üniversite Teknik Yazı, 2001.
- [14] Kayalı, E. S., Seramik Malzemelerin Mekanik Davranışları Ders Notları, 2000.
- [15] Chawla, K. K., Ceramic Matris Composites, Kluwer Academic Publishers, USA, 2003.
- [16] Öztürk, M., “SiC İlaveli Alümina Kompozitler”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü, Sakarya, ss.35-37, 52-53, 2007.
- [17] TÜBA- TÜBİTAK–TTGV Bilim Teknoloji Sanayi Tartışmaları Platformu, İleri Malzeme Alanına Yönelik Bilim Teknoloji ve Sanayi Politikaları Çalışma Grubu Raporu, Türkiye için Strateji ve Politika Önerileri, Ocak 1996, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

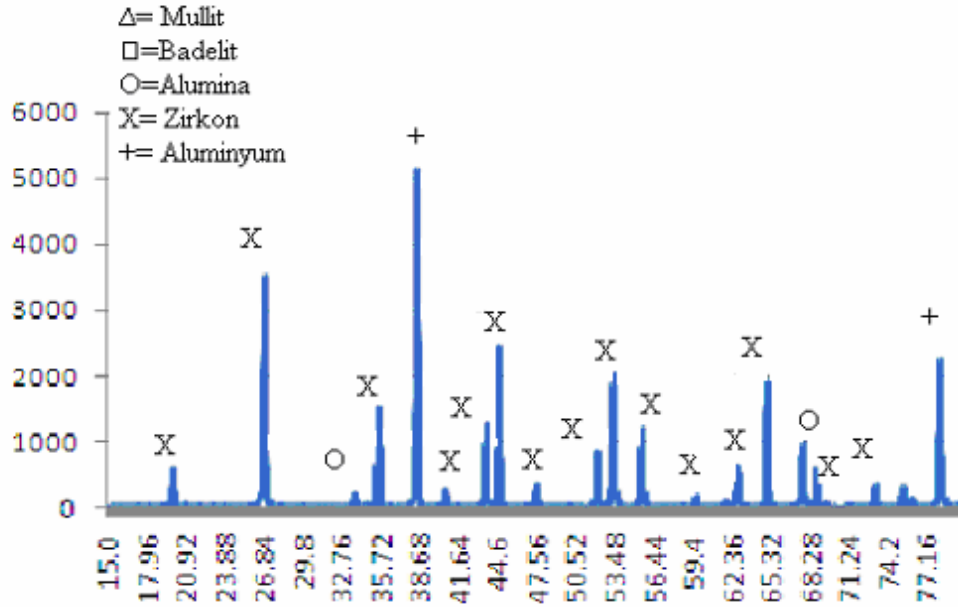
- [18] <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-45.pdf>, s.8, 2009.
- [19] http://tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit_malzemeler, 2008.
- [20] TÜBİTAK; “Malzeme Teknolojileri Stratejisi, Vizyon 2023 Projesi Malzeme Teknolojileri Strateji Grubu”, Ankara, Ağustos 2004.
- [21] Bahçeli, E., “Al Matrisli α -Si₃N₄ Takviyeli Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.31, s.36, 2006.
- [22] Lee, W., Rainforth, W.M., Ceramic Microstructures: Property Control by Processing, Chapman&Hall, London, 1994.
- [23] Çerezci, T., “Nikel Partikül Takviyeli Alümina Seramik Kompozitlerin Sentezi ve Karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 10-11, 2008.
- [24] Harmer, M.P., Chan , H. M., Miller, G. A., “Unique Opportunities For Microstructural Engeneering With Duplex and Laminar Ceramic Composites”, Am Ceram. Soc., 74(7), 1715-28 , 1992.
- [25] Leiser, D. B., Golstein, H. E., and smith, M., “Developments in Fabrous Reactory Composite Insulation”, Am. Ceram. Soc. Bull., 60(11), 1201-04, 1981.
- [26] Evans, A.G., and Davidge, “Theric Polyimet Strength and Fracture of Stoichiometric Polycrystalline UO₂”, J.Nucl. Mater., 33, 248-254, 1969.
- [27] Endo, H., M., and Kuba , H., “Hot Pressing Of SiC-TiC Composites” J.Materials Science, pp.25, 2503-2506, 1990.
- [28] Chakshi, H.A., Mukherjec, A. K., Longdon, T. G., “Superplasticity in advanced Materials”, Material Science & Engeneering, pp.1210, 1993.
- [29] Temel, O., “Değişkenlerin Al-Si Alaşım Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Kütahya, s.4, 2008.
- [30] Gökçe, A., “Yapısal Uygulamalar için Alüminyum Esaslı Malzemelerin Toz Metalurjisi Kullanılarak Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 15, 2007.
- [31] İpek, M., “İki Farklı Yolla Üretilmiş Alümina-Zirkonya Kompozitlerin Sinterlenme Ve Kırılma Davranışlarının İncelenmesi”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Mayıs, 2005.
- [32] Ercenk, E., “ZnO - % 6 Bi₂O₃ İkili Sisteminde İlavesinin Mikroyapı Ve Tane Büyüme Kinetiğine Etkileri”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 2005.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

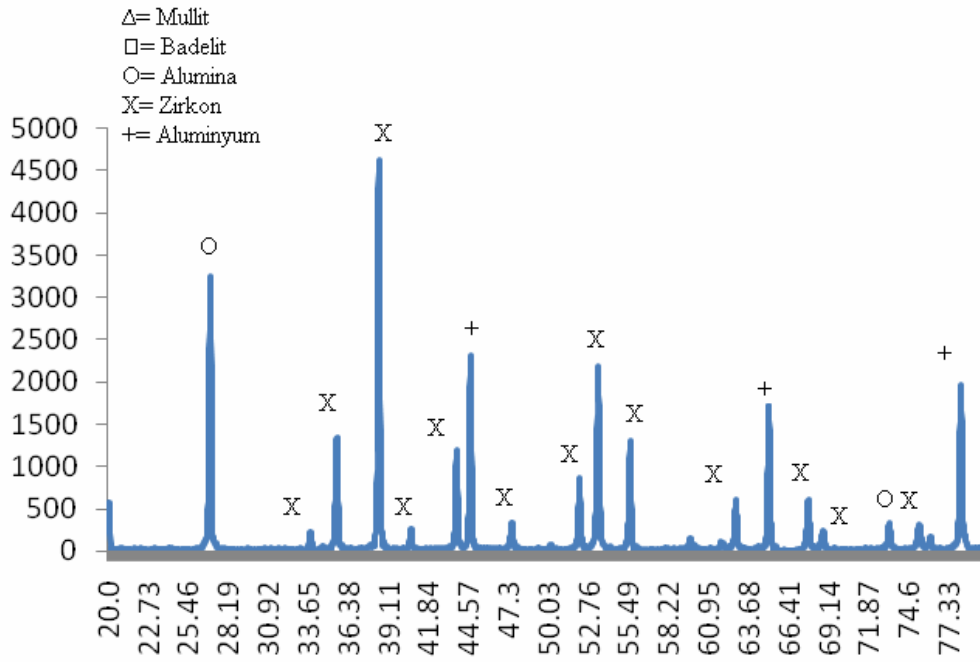
- [33] http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/mineral/index.php?id=zirkon
- [34] http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/mineral/xzirkon.jpg
- [35] <http://www.webmineral.com/specimens/photos/Zircon.jpg>
- [36] <http://www.webmineral.com/specimens/photos/PG2MS/163-09.jpg>
- [37] Tohumcu, S., 2005, Plazma Elektrolitik Oksidasyon Yöntemiyle Alüminyum alaşımlarının kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi F.B.E. Bursa.
- [38] Daşcılar, B., Farklı ekstrüzyon hızlarında ekstrüze edilmiş AA6063 Alüminyum Alaşımlarının yüzey ve korozyon özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze, 2006.
- [39] Aydın, H., “Reaksiyon Sinterleme Yoluyla Düşük Sıcaklıkta Zirkondan Zirkonya-Mullit Kompozit Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2005.
- [40] Ebeoğlu, A.R., “Gaz Atomizasyonu ile Üretilen Al-Sn Alaşım Tozlarının Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, ss.3-6, 2008.
- [41] http://www.webmineral.com/jpowd/JPX/jpowd.php?target_file=Aluminium.jpg
- [42] Öztürk, C., “Yönlendirilmiş Zirkonya/mullit Seramiklerinin Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, s.3, 2006.
- [43] Eserci, E., “Alümina, Zirkonya ve Alümina-Zirkonya Kompozit Malzeme Üretimi, Karakterizasyonu ve Etkin Difüzyon Sabitinin Bulunması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.7, 2007.
- [44] Arın, M., “Zirkonya Seramiklerin ve ZrO₂-TiN Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s.7, 2007.

EKLER

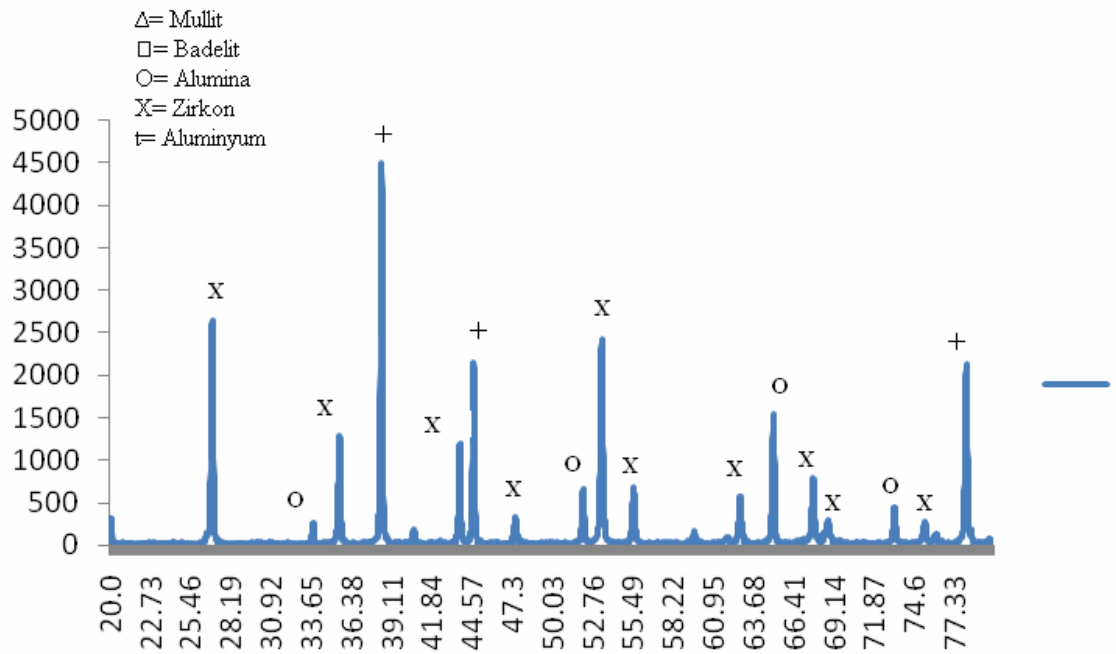
Ek 1. XRD Sonuçları



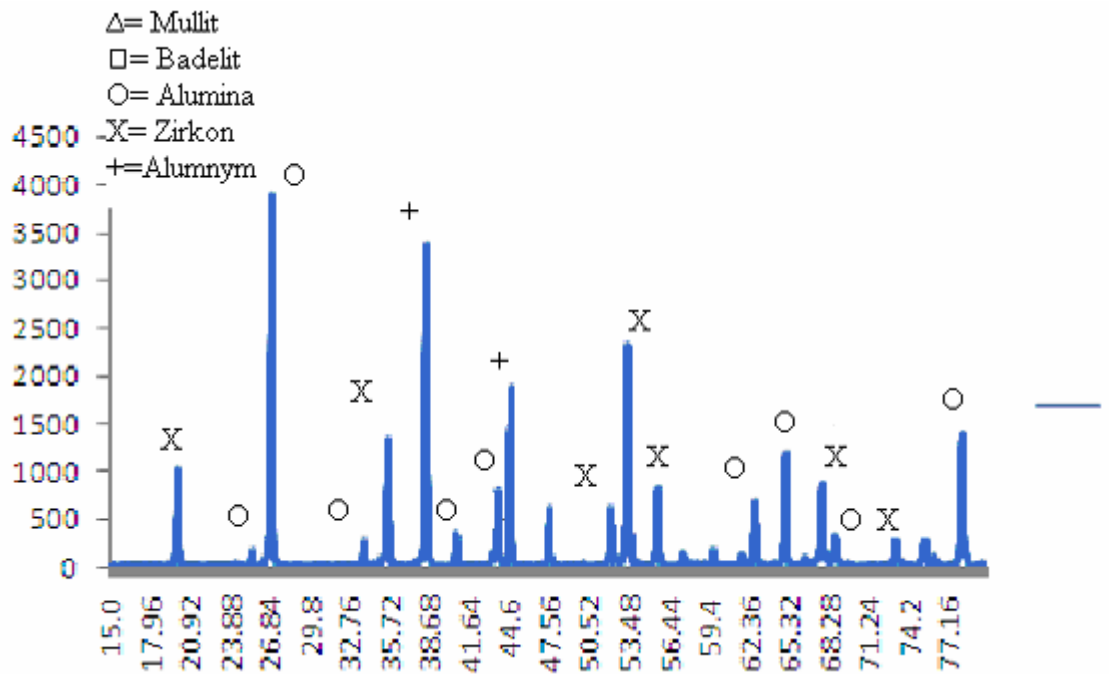
(a) Toz karışımının 500°C XRD sonucu.



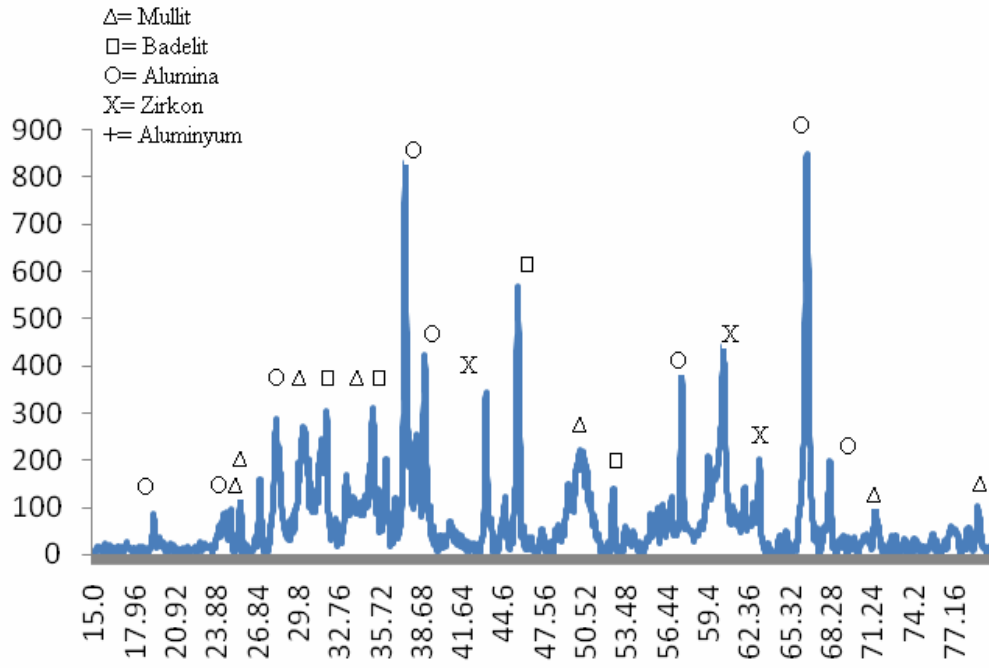
(b) Toz karışımının 600°C XRD sonucu.



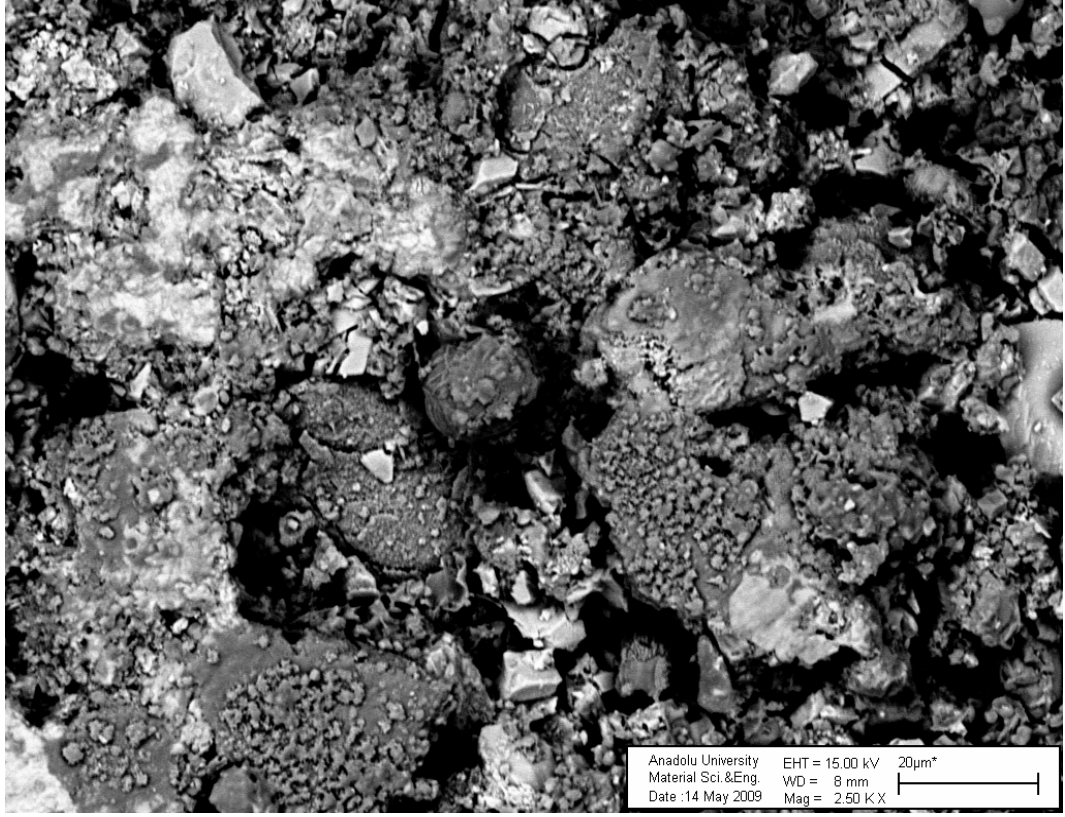
(c) Toz karışımının 700°C XRD sonucu.



(d) Toz karışımının 800°C XRD sonucu.



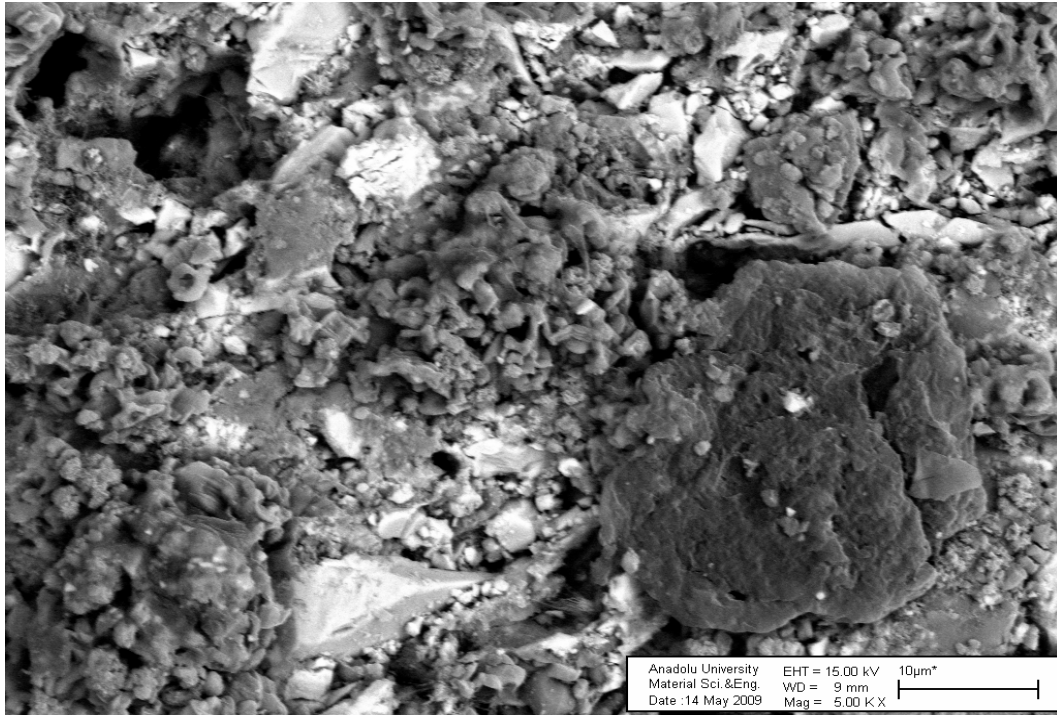
e) Toz karışımının 900°C XRD sonucu.

Ek 2. FESEM Analizi Sonuçları

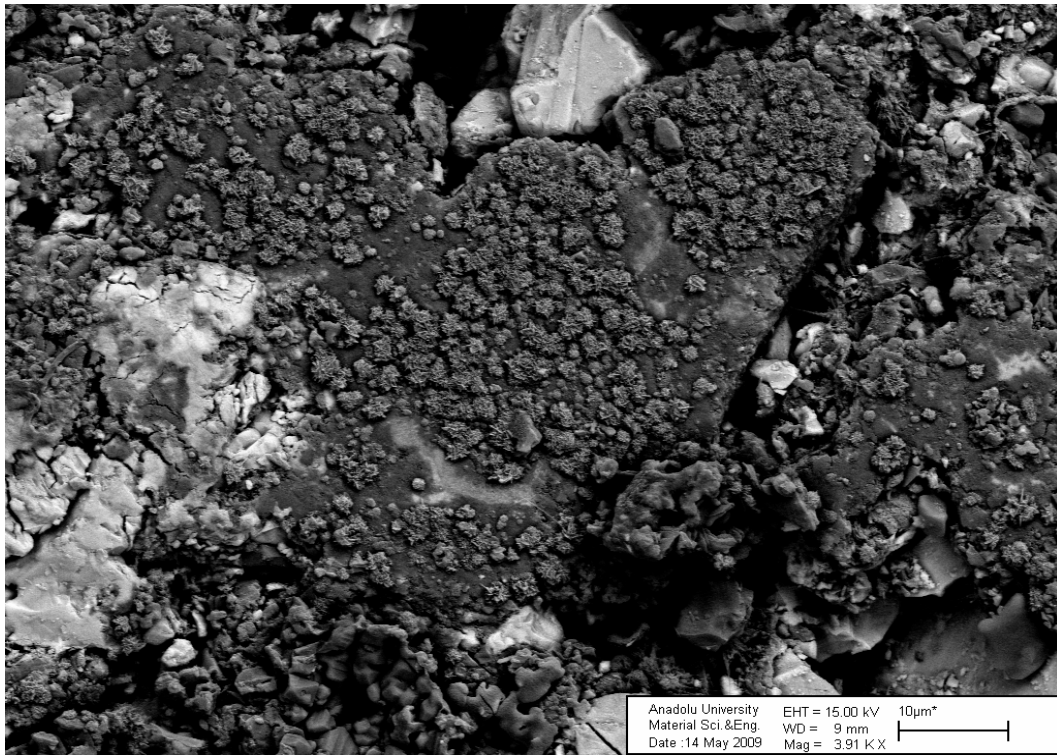
(a) 1100°C’de FESEM görüntüsü.



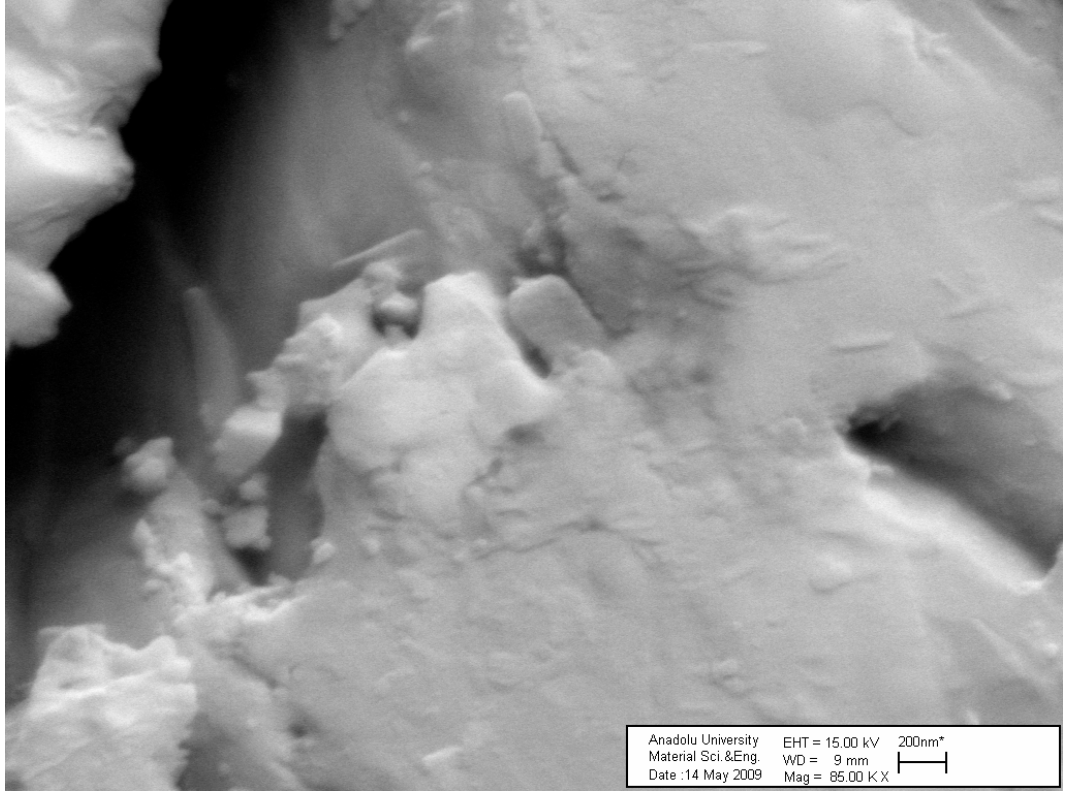
(b) 1100°C’de FESEM görüntüsü.



(c) 1300°C'de FESEM görüntüsü.



(d) 1300°C'de FESEM görüntüsü.



(e) 1300°C’de Zirkonyanın FESEM görüntüsü.