



**ERZURUM YÖRESİNDE ÇIKARTILAN POMZA
VE PERLİTİN SERAMİK SANAYİSİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Büşra Tansu CEYLAN

**Yüksek Lisans Tezi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim Metalurjisi Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ
2019**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ERZURUM YÖRESİNDE ÇIKARTILAN POMZA VE
PERLİTİN SERAMİK SANAYİSİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Büşra Tansu CEYLAN

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Üretim Metalurjisi Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ERZURUM YÖRESİNDE ÇIKARTILAN POMZA VE PERLİTİN SERAMİK
SANAYİSİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ danışmanlığında, Büşra Tansu CEYLAN tarafından hazırlanan bu çalışma .11../01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı – Üretim Metalurjisi Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği / oy çokluğu (3. / 3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ersoy ARSLAN

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BOYRAZU

İmza

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun .17../01/2019 tarih ve .03../37.....
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ERZURUM YÖRESİNDE ÇIKARTILAN POMZA VE PERLİTİN SERAMİK SANAYİSİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Büşra Tansu CEYLAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim Metalurjisi Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında KALEBLOKBİMS A.Ş' ye ait ocaklardan temin edilen pomza ve perlit agregaları seramik üretimi için uygunluğu araştırılmıştır. Agregalar d80 boyutu 400 mikron olacak şekilde öğütülmüşlerdir. Pomza matris olmak üzere perlit %10, %20, %30, %40 ve %50 katkı oranlarında ilave edilerek soğuk izostatik pres etkisi ile presleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Preslenen numunelere 1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda 10, 20 ve 30 dakika boyunca sinterleme işlemi uygulanmış ve ürünlerin analizleri yapılmıştır.

Elde edilen analizler sonucuna göre pomzaya ilave edilen perlit, yapı içerisinde oluşan porların hacmini ve çapını düşürmüştür, sıcaklık artışı por çapındaki azalmaya ve düzgün yapıda por oluşumuna sebep olmuştur. Ürünlerin pişme küçülmesi değerleri ve ateş zayıflığı çok düşük seviyelerde kalmıştır. Yapı içerisinde kapalı por oluşumu gerçekleşmiştir. 1250°C'de kendinden sırlı siyah, 1150°C'de kendinden sırlı kahve renkli bir yapı oluşmuştur. 1050°C'de ise sır oluşumu gerçekleşmemiştir. Elde edilen ürünlerin mikro sertlik değerleri düşük çıkmasına rağmen diğer parametreler pomzanın vitrifiye seramik haricinde presle şekillenebilen seramik ürünlerin üretilmesinde tali olarak değil tek başına bile rahatlıkla kullanılabileceği sonucunu ortaya koymuştur.

2019, sayfa 172

Anahtar Kelimeler: Seramik Üretimi, Pomza, Perlit

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF PUMICE AND PERLITE EXTRACTED IN ERZURUM REGION FOR THE USABILITY IN CERAMICS INDUSTRY

Büşra Tansu CEYLAN

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr Yunus Emre BENKLİ

In this master thesis, the suitability of pumice and perlite aggregates obtained from the quarries of KALEBLOKBİMS Inc. for the production of ceramics has been investigated. The aggregates were ground to a size of 400 microns in size d80. By using pumice as the matrix and adding perlite in the contribution rates of 10%, 20%, 30%, 40% and 50%, the aggregates were subjected to pressing process through cold isostatic press effect. The samples pressed were sintered at 1050°C, 1150°C and 1250°C for 10, 20 and 30 minutes, and then the products were analyzed.

According to the results of the analysis, perlite added to pumice reduced the volume and diameter of the pores formed in the structure. The increase in temperature caused a decrease in por diameter and porous structure. The cooking shrinkage values and fire loss of the products remained at very low levels. Closed porous formation was realized in the structure. At 1250°C, a self-glazed black colored structure was formed, and 1150°C self-glazed brown colored structure. There was no glazed formation at 1050°C. Although the micro-hardness values of the products obtained are small, other parameters showed that pumice can be used easily not only subordinately but also alone even in production of ceramic products which can be shaped by pressing except for vitrified ceramic.

2019 pages 172

Keywords: Ceramic Production, Pumice, Perlite

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca benden hiçbir desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ' ye, her zaman yanımda olan sevgili ağabeyim Yaşar ATNUR' a, hayatım boyunca her zaman arkamda olan canım annem ve babam Hacer-Fethi DUMAN' a, kıymetli kız kardeşlerim Banu, Gamze ve Neslişah' a çok teşekkür ediyorum.

Her sevincimde, üzüntümde hep yanımda olan, benden sevgi, saygı ve desteğini esirgemeyen sevgili hayat arkadaşım, eşim Bilal CEYLAN' a teşekkür ediyorum.

Büşra Tansu CEYLAN

Ocak 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Pomza	4
2.1.1. Pomzanın oluşumu	5
2.1.2. Pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	6
2.1.3. Erzurum bölgesi pomza oluşumları	7
2.1.4. Pomzanın kullanım alanları.....	8
2.1.5. Pomzanın Dünya’da ve Türkiye’deki rezerv durumu	17
2.2. Perlit	17
2.2.1. Genleştirilmiş perlit.....	18
2.2.2. Perlitin fiziksel ve kimyasal özelliği	18
2.2.3. Perlitin kullanım alanları.....	20
2.2.4. Perlitin Dünya’da ve Türkiye’deki rezerv durumu	23
2.3. Seramikler.....	23
2.3.1. Geleneksel seramikler	26
2.3.2. İleri teknoloji seramikleri.....	28
2.3.3. Geleneksel seramikler ile ileri teknoloji seramiklerinin farkı.....	31

2.3.4.	Şekillendirme işlemleri	31
2.3.5.	Kurutma prosesi ve oluşan hatalar	38
2.3.6.	Seramiklerin sinterlenmesi.....	40
2.3.7.	Sinterlenmeyi etkileyen parametreler	44
2.4.	Tozların Preslenmesinde Oluşabilen Hatalar	45
2.4.1.	Kalıbın doldurulması.....	46
2.4.2.	Yoğunlaşma ve şekillendirme	47
2.4.3.	Ürünün kalıptan çıkarılması.....	48
2.4.4.	Sinterleme sırasında basınç farklılıkları	49
3.	MATERYAL ve YÖNTEM.....	52
3.1.	Uygulanan Yöntem ve Kullanılan Cihazlar	52
3.2.	Analiz Yöntemleri	57
3.2.1.	Tane boyut dağılım oranlarının tespiti	58
3.2.2.	Pişme küçülmesi oranı ölçüm deneyi.....	59
3.2.3.	Ateş zayılatı oranı ölçüm deneyi.....	61
3.2.4.	Su emme oranı ölçüm deneyi.....	62
3.2.5.	Asit ve baza karşı dayanım deneyi.....	63
3.2.6.	Yoğunluk ölçümü.....	64
3.2.7.	Pişme rengi.....	66
3.2.8.	Mikro sertlik ölçümü.....	67
3.2.9.	X-Işınları kırınımı (XRD)	69
3.2.10.	Taramalı elektron mikroskobu (SEM ve EDS)	71
3.2.11.	Yüzey alanı ölçümü (BET).....	71
3.2.12.	Yüzey tomografisi (CT Scan).....	73
3.3.	Kullanılan hammadde.....	73
3.3.1.	Hammaddenin yapısı.....	73

3.3.2.	Hammaddenin fiziksel özellikleri	75
3.3.3.	Hammaddenin kimyasal özellikleri	79
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	83
4.1.	Tane Boyut Dağılım Oranlarının Tayini	83
4.2.	Pişme Küçülme Oranı Ölçüm Deneyi	89
4.3.	Ateş Zayırlığı Oranı Ölçüm Deneyi.....	95
4.4.	Su Emme Oranı Ölçüm Deneyi.....	103
4.5.	Asit ve Baza Karşı Dayanım Deneyi.....	105
4.6.	Yoğunluk Ölçümü	106
4.7.	Pişme Rengi.....	108
4.8.	Mikro Sertlik Ölçümü.....	112
4.9.	X- Işınları Kırınımı (XRD).....	119
4.10.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM ve EDS)	124
4.11.	Yüzey Alanı Ölçümü (BET)	136
4.12.	Yüzey Tomografisi (CT Scan).....	138
4.13.	Numunelerin Sırlanması	143
5.	SONUÇ.....	146
	KAYNAKLAR	152
	EKLER.....	155
EK 1.	Pomza ve Perlit Numunelerine ait XRD Verileri	155
EK 2.	1050°C Sıcaklıkta Sinterlenen Pomza Numunelerine ait XRD Verileri.....	157
EK 3.	1150°C Sıcaklıkta Sinterlenen Pomza Numunelerine ait XRD Verileri.....	162
EK 4.	1250°C Sıcaklıkta Sinterlenen Pomza Numunelerine ait XRD Verileri.....	168
	ÖZGEÇMİŞ.....	173

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

w	Genişlik
h	Yükseklik
HV	Vickers sertliği
Bar	Basın birimi
Hz	Frekans birimi
MPa	Megapascal basınç birimi
Psi	Basınç birimi
kV	Kilovolt
λ	Dalga boyu
$\text{\AA}$	Angstrom
2θ	Bragg açısı
mA	Miliamper
Δd	Boyut dağılımı

Kısaltmalar

M.T.A.	Maden Tetkik ve Arama
--------	-----------------------

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Pomzanın elektron mikroskobu görüntüsü (EPMA 2018)	4
Şekil 2.2. Basınç farklılıkları karşısındaki yoğunluk farklılıkları (Kaygun 2006)	50
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalara ait uygulanan genel akım şeması	53
Şekil 3.2. Hammaddelerin öğütülmesi ve öğütülmüş hammaddelerin homojen olarak karışımını sağlamak amacı ile kullanılan Union Process marka atritör cihazı	54
Şekil 3.3. Numunelerin ön preslemesinde kullanılan 150 mm piston strok mesafesine sahip 5 tonluk MSE marka manuel pres	55
Şekil 3.4. Numunelerin nihai preslemesinde kullanılan <i>Ultra High Pressure MSE CIP Series</i> marka soğuk izostatik pres	55
Şekil 3.5. Presleme esnasında kullanılan kalıp ve preslenmiş numune	56
Şekil 3.6. Numunelerin kurutulması aşamasında kullanılan Elektromag marka etüv	56
Şekil 3.7. Sinterleme aşamasında kullanılan 1500°C'lik <i>Protherm</i> marka tüp fırın.....	57
Şekil 3.8. Hammadde tane boyut dağılım oranlarının belirlenmesinde kullanılan <i>Retsch AS 200</i> marka titreşimli elek cihazı.....	59
Şekil 3.9. Pişme küçülmesi oranını belirlemek için numune yüzeyine çizilen çizgi uzunluğunun değişimi	61
Şekil 3.10. Numunelerin mikro sertlik ölçümlerinin yapıldığı Shimadzu HVM-G marka Vickers sertlik ölçüm cihazı.....	69
Şekil 3.11. Numunelerin XRD analizlerinin alındığı Panalytical marka XRD analiz cihazı	70
Şekil 3.12. Numunelerin Sem ve EDS analizlerinin alındığı Zeiss marka Sigma 300 modeli taramalı elektron mikroskobu	71
Şekil 3.13. Numunelerin BET analizlerinin yapıldığı Micromeritics 3 flex 3 portlu BET yüzey alanı ve mikro gözenek boyutu ölçüm cihazı	72
Şekil 3.14. Kayaç yapısına ait a) Gözeneklilik b) Opak mineraller.....	74
Şekil 3.15. Tane boyutu -2+1 mm olan pomzaların taramalı elektron mikroskop görüntüsü (SEM).....	74
Şekil 3.16. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesine ait elek altı ve elek üstü eğrileri.....	77

Şekil 3.17. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesine ait normal dağılım eğrisi.....	77
Şekil 3.18. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen tüvenan perlitin elek altı ve elek üstü eğrileri	78
Şekil 3.19. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesine ait normal dağılım eğrisi.....	79
Şekil 4.1. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 45 dakika boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen elek altı ve elek üstü eğrileri	84
Şekil 4.2. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 45 dakika boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen normal dağılım eğrisi	84
Şekil 4.3. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 2,5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen elek altı ve elek üstü eğrileri	86
Şekil 4.4. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 2,5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen normal dağılım eğrisi	86
Şekil 4.5. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesinin 5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen elek altı ve elek üstü eğrileri.....	88
Şekil 4.6. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesinin 5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen normal dağılım eğrisi.....	88
Şekil 4.7. Kurutma küçülmesi oranı (200°C kurutma)	91
Şekil 4.8. Pişme küçülmesi oranı (1050°C)	93
Şekil 4.9. Pişme küçülmesi oranı (1150°C)	94
Şekil 4.10. Pişme küçülmesi oranı (1250°C)	95
Şekil 4.11. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme sıcaklığı: 1050°C)	98
Şekil 4.12. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme sıcaklığı: 1150°C)	99
Şekil 4.13. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme sıcaklığı: 1250°C)	99
Şekil 4.14. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 10 dakika).....	100
Şekil 4.15. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 20 dakika).....	102
Şekil 4.16. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 30 dakika).....	102
Şekil 4.17. Su emme oranı (Pişme süresi: 10 dakika).....	104
Şekil 4.18. Su emme oranı (Pişme Sıcaklığı: 1050°C)	105

Şekil 4.19. Asit ve baza karşı dayanım testine tabi tutulan numunelerin görüntüsü	106
Şekil 4.20. Yoğunluk ölçümü (Pişme Süresi 10 Dakika)	107
Şekil 4.21. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin rengi (1050°C).....	108
Şekil 4.22. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin rengi (1150°C).....	109
Şekil 4.23. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin rengi (1250°C).....	110
Şekil 4.24. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1050°C).....	112
Şekil 4.25. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1150°C).....	113
Şekil 4.26. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1250°C).....	115
Şekil 4.27. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 10 dakika)	116
Şekil 4.28. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 20 dakika)	117
Şekil 4.29. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 30 dakika)	118
Şekil 4.30. 1050°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş katkısız ve %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinin XRD modellerinin birleştirilmiş gösterimi	120
Şekil 4.31. 1150°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş katkısız ve %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinin XRD modellerinin birleştirilmiş gösterimi	121
Şekil 4.32. 1250°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş katkısız ve %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinin XRD modellerinin birleştirilmiş gösterimi	122
Şekil 4.33. 1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda elde edilen fazların toplu gösterimi (%10 perlit için)	123
Şekil 4.34. 1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda elde edilen fazların toplu gösterimi (%50 perlit için)	123
Şekil 4.35. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait SEM görüntüleri (10.00 KX Büyütme).....	124
Şekil 4.36. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri (grafik gösterimi)	125
Şekil 4.37. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait SEM görüntüleri (250 X büyütme).....	126
Şekil 4.38. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüleri (519 K büyütme).....	127
Şekil 4.39. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait SEM görüntüleri (250 X büyütme)	129

Şekil 4.40. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri (grafik gösterimi)	129
Şekil 4.41. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait SEM görüntüleri (1.73 KX büyütme).....	131
Şekil 4.42. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüsü (1.00 KX büyütme).....	132
Şekil 4.43. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait SEM görüntüleri (250 X büyütme)	133
Şekil 4.44. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri (grafik gösterimi)	133
Şekil 4.45. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait SEM görüntüsü (155 X büyütme).....	134
Şekil 4.46. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüsü (882 X büyütme).....	135
Şekil 4.47. 1150°C sıcaklıkta sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüsü (2.00 KX büyütme)	138
Şekil 4.48. 1150°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait CD Scan görüntüsü.....	139
Şekil 4.49. 1150°C sıcaklıkta sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait CD Scan görüntüsü (geniş gösterim).....	140
Şekil 4.50. 1250°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait CD Scan görüntüsü.....	141
Şekil 4.51. 1250°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait CD Scan görüntüsü (geniş gösterim).....	142
Şekil 4.52. 1150°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüsü (250 X büyütme)	143
Şekil 4.53. 1250°C sıcaklıkta sırlanan numunelerden alınan cros section görüntüsü...	144
Şekil 4.54. Sır üzerinden alınan bölgesel EDS analiz sonuçları (grafik gösterim).....	144

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Pomza ve perlitin Türkiye ihracat-ithalatına katkısı (MTA 2018).	2
Çizelge 2.1. Pomza tiplerinin kimyasal kompozisyonuna örnek (Gündüz 1998).	6
Çizelge 2.2. Perlitin tipik kimyasal analizi	19
Çizelge 2.3. Seramiklerin malzemeye göre sınıflandırılması	24
Çizelge 3.1. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza agregasının özgül ağırlık tayini.....	75
Çizelge 3.2. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesinin özgül ağırlık tayini.....	75
Çizelge 3.3. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesine ait elek analizi sonuçları	76
Çizelge 3.4. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit elek analizi.....	78
Çizelge 3.5. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesine ait analiz sonuçları (%)	80
Çizelge 3.6. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesine ait analiz sonuçları (%)	80
Çizelge 4.1. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 45 dakika boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen öğütme verileri	83
Çizelge 4.2. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 2,5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen öğütme verileri	85
Çizelge 4.3. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesinin 5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen öğütme verileri	87
Çizelge 4.4. Kurutma küçülmesi oranı (200°C kurutma)	90
Çizelge 4.5. Pişme küçülmesi oranı (1050°C)	92
Çizelge 4.6. Pişme küçülmesi oranı (1150°C)	93
Çizelge 4.7. Pişme küçülmesi oranı (1250°C)	94
Çizelge 4.8. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 10 dakika).....	96
Çizelge 4.9. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 20 dakika).....	97
Çizelge 4.10. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 30 dakika).....	97
Çizelge 4.11. Su emme oranı (Pişme süresi: 10 dakika).....	103

Çizelge 4.12. Su emme oranı (Pişme Sıcaklığı: 1050°C)	105
Çizelge 4.13. Yoğunluk ölçümü (Pişme Süresi 10 Dakika)	107
Çizelge 4.14. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin renk skalası (1050°C).....	109
Çizelge 4.15. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin renk skalası (1150°C).....	110
Çizelge 4.16. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin renk skalası (1250°C).....	111
Çizelge 4.17. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1050°C).....	112
Çizelge 4.18. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1150°C).....	113
Çizelge 4.19. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1250°C).....	114
Çizelge 4.20. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 10 dakika)	116
Çizelge 4.21. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 20 dakika)	117
Çizelge 4.22. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 30 dakika)	118
Çizelge 4.23. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri.....	125
Çizelge 4.24. 1050 °C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri	127
Çizelge 4.25. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri	128
Çizelge 4.26. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri.....	130
Çizelge 4.27. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri.....	131
Çizelge 4.28. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri	132
Çizelge 4.29. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri.....	134
Çizelge 4.30. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri	135
Çizelge 4.31. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri	136
Çizelge 4.32. Farklı sıcaklıklarda 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait BET yüzey alanı analiz verileri.....	137

1. GİRİŞ

Ülkemiz, yeraltı ve yer üstü kaynakları ve endüstriyel hammadde çeşitliliği açısından oldukça yüksek potansiyele sahip bir konumdadır. Sahip olduğumuz endüstriyel hammaddeler arasında azımsanmayacak oranda pomza ve perlit rezervleri bulunan ülkemiz yaklaşık 18 milyar m³'lük dünya pomza rezervlerinin ortalama %40'ını elinde bulundurmaktadır. Araştırılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar m³ pomza rezervi olduğu tahmin edilmektedir.

Türkiye'deki pomza rezervlerinin dağılımına bakıldığında, volkanik arazilerin yayılım gösterdiği Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Pomza rezervinin en fazla yer aldığı bölge Doğu Anadolu bölgesidir (%55,7). Pomza rezervinin geriye kalan kısmı (%44,3) ise İç Anadolu bölgesinde bulunmaktadır (Elmastaş 2012).

Pomza işletmeciliği bakımından bakılırsa, İç Anadolu, Akdeniz ve Doğu Anadolu üretimde başı çekmektedir.

Doğu Anadolu bölgemizde yer alan Erzurum ili özellikle perlit, pomza ve mermer gibi endüstriyel hammaddeler bakımından zengin rezervlere sahiptir.

Erzurum'un Pasinler ilçesinde genleşme oranı 4,5 ile 12 arasında olan ortalama 117 milyon ton görünür muhtemel perlit rezervi bulunmaktadır (MTA 2018).

Ülkemiz pomza işletmeciliğinde, değişik renk ve kalite çeşitliliği sayesinde oldukça yüksek bir pazar şansına sahiptir. Pomza, dünya genelinde elliden fazla endüstriyel alanda kullanım imkanı bulmaktadır. Ülkemizde ise üretilen pomzanın tamamına yakını hafif yapı elemanı üretimi ve dolayısı ile inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Geriye kalan üretimin çok az miktarı başta ziraat ve tekstil olmak üzere kısıtlı alanlarda tam veya yarı mamul olarak kullanılmaktadır.

Türkiye'nin 2017 yılı endüstriyel hammadde ihracatı verilerine bakıldığında toplamda ihracatımız geçen yıla göre %14,56 artış ile 925.633.217 \$ olarak gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. Bu rakamlara göre; pomza 16,58 milyon \$, perlit ise 28,26 milyon \$ seviyelerinde katkıda bulunmuştur.

Çizelge 1.1. Pomza ve perlitin Türkiye ihracat-ithalatına katkısı (MTA 2018).

Endüstriyel Hammaddeler	İhracat		İthalat	
	Miktar (Kg)	Değer (\$)	Miktar (Kg)	Değer (\$)
Pomza	260.785.925	16.589.111	6.844.957	142.072
Perlit	495.910.839	28.260.734	97.490	69.616

Daha önce de belirtildiği üzere pomza madeninin dünya rezervinin önemli bir bölümü Türkiye'de bulunmaktadır. Bu sektör giderek çeşitlenen ve gelişen bir sektördür. Pomza; günümüzde en çok inşaat, gıda, kozmetik ve topraksız tarım sektörlerinde kullanılmaktadır. Almanların beyaz altın olarak tabir ettiği pomzanın ham halinde ihraç edilmesinin elbette ülkemiz ekonomisine bir getirisi olacaktır. Ancak çeşitleme ve katma değer bazında ele alındığında milli bir değerimiz olan pomzadan istifade etme yönünde oldukça düşük seviyede olduğumuz görülmektedir. Pomza için ilk etapta yapılması gereken şey pomza madeninin gerçek değerine ulaşmasını sağlayacak tarzda katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesini sağlamaktır.

Bunun yanında ülkemizde hatırı sayılır bir yeri olan seramik sektörü, girdilerini yurt içinden temin eden katma değeri yüksek bir iş kolu olduğu için ülkemizin dış ticaret açığına olumlu katkılarda bulunan bir sektör konumundadır. Seramik üreten ve ihraç eden ülkeler arasında dünyada ön sıralarda bulunan ülkemiz Avrupa'nın üçüncü büyük üreticisi konumundadır.

Türkiye Seramik Federasyonu desteği ile ekonomistler tarafından hazırlanan Türkiye İhracat Katkı Endeksi'nin 2018 yılı ikinci çeyrek verilerine göre 18 sanayi sektörü

arasında inşaat seramikleri 27,88'lik oranla ikinci çeyrekte de katkı oranı en yüksek sektör olarak Türk ekonomisine sağladığı katma değer ile 17 sektör arasında yine ipi göğüsleyen sektör olmuştur.

Türkiye seramik sanayisi dünya kaplama malzemelerinde sekizinci, sağlık gereçlerinde dördüncü en büyük üretici ülke konumundadır. Seramik karolarda ve sağlık gereçlerinde dünyanın dördüncü büyük ihracatçısı olurken, karolarda Avrupa üçüncüsü, sağlık gereçlerinde ise Avrupa'nın en büyük üreticisi ve ihracatçısı konumundadır. Vitrifiye üretimindeki Avrupa liderliğimiz sağlamlaşarak devam etmektedir.

Ancak Türkiye'deki seramik üreticilerinin en önemli sorunları arasında mevcut hammadde kaynaklarına ulaşım ve yeni hammadde kaynaklarına kavuşma problemi ön plana çıkmaktadır. Seramik ve cam sanayilerinin hızla gelişmesine ve dünyada önemli yerlere gelmesine karşın bu sektörlerin kullandığı hammaddelerin işlenmesinde maalesef aynı gelişme elde edilememiştir. Cam ve seramik sektörlerinin kaliteli hammadde talebi giderek artmakta ve bu da hammaddelerin prosesten geçirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında konu ele alındığında şu üç nokta göze çarpmaktadır;

- Erzurum ve yöresinde hatırı sayılır miktarda pomza ve perlit rezervleri bulunmaktadır.
- Seramik sektörü ise Türkiye'nin önde gelen sektörleri arasındadır.
- Ancak sektörün en önemli sorunları arasında hammadde olduğu bilinmektedir.

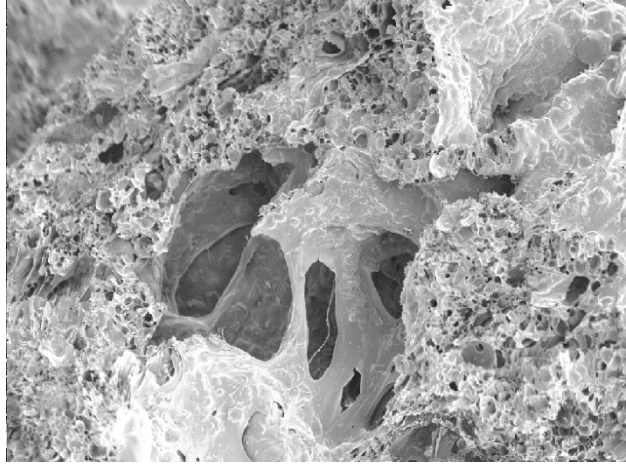
Bu kapsamda ülkemiz ve bölgemizde önemli bir potansiyele sahip olan pomza ve perlitin seramik sanayisinde yardımcı bir hammadde olarak değil de başlı başına ana hammadde olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi amacı ile bu yüksek lisans tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Pomza

Sünger taşı, köpük taşı, hışır taşı, nasır taşı gibi adlarla adlandırılan, ponza, bims, pumis ve pumisit terimleri şeklinde dilimize yerleşmiş olan pomza, magmanın volkanik faaliyetleri sonucu oluşan fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, birbirinden bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1gr/cm^3 ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir kayaç çeşididir (Gündüz 1998).

Pomzanın oluşumu esnasında ihtiva ettiği gazların bünyeyi ani olarak terk etmesi ve hızlı soğuma sebebiyle, Şekil 2.1’de görüldüğü üzere makro boyuttan mikro boyuta kadar birçok gözenek bulundurur.



Şekil 2.1. Pomzanın elektron mikroskobu görüntüsü (EPMA 2018)

Bu ani soğuma ile oluşan çok sayıdaki gözeneklerin camsı bir yapı sayesinde birbirinden bağlantısız bir şekilde yalıtılmış olmasından dolayı geçirgenliği (permeabilitesi) düşük, buna bağlı olarak da ısı ve ses yalıtımı yüksektir (Bims Sanayicileri Derneği 2006).

Volkanik faaliyetlerin bir sonucu olarak asidik ve bazik olmak üzere iki tür pomza oluşumu söz konusudur. Kahverengi, siyahımsı renkli, özgül ağırlığı 1-2 gr/cm³ civarında olan, alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunan bazik pomzaya bazaltik pomza veya scoria da denilmektedir. Beyaz kirli görünümde ve grimsi beyaz renkte olan asidik karakterli pomzalar da ise silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir.

Asidik magma bazik magmaya nazaran daha viskozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur.

Asidik pomzanın bazik pomzaya göre yoğunluğu daha düşük olup yaklaşık 0,5-1 gr/cm³'tür. Asidik pomza içerdiği Si, Al, K ve Na bileşenleri dolayısıyla açık renk kazanmaktadır.

İçerdiği SiO₂ oranı pomzaya abrasif nitelik kazandırmaktadır. Abrasif özelliği sayesinde de çeliği dahi aşındırabilecek yapıya ulaşır. Diğer bir kimyasal birleşeni olan Al₂O₃ ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım niteliği kazandırır. İçerdiği Na₂O ve K₂O ise tekstil endüstrisinde işlev gösteren özelliklerini ortaya çıkarır.

Pomza kendisine benzeyen (perlit, obsidyen) volkanik diğer kayalardan; çok daha fazla gözenekli yapısı, rengi ve kristal suyunun olmaması gibi farklılıklardan dolayı ayrılır. Renk ve kimyasal bileşim gibi özellikleri nedeniyle en çok perlit ile benzerlik gösterir (Gündüz 1998).

2.1.1. Pomzanın oluşumu

Volkanik kayalar olarak değerlendirilen pomza taşı, sakin bir ortamda yeryüzüne yükselen lavların kraterin ağzından dışarıya taşması sayesinde oluşmaktadır. Bu esnada volkan bacasının tıkanması ile bacadaki basıncın yükselmesi sonucu magma ve içindeki çözünmüş olan su ve diğer gazları püskürmeyle birlikte atmosfere yayılır. Bacada çok şiddetli oluşan patlamalar sonucu birden genleşen gazların etkisiyle, pomza taşları ve

küller havaya kül tüfleri olarak püskürülür. Su buharı ve gazları kaybolmuş olan magma atmosferle hızlı temas etmesi ve soğuması sonucunda bol gözenekli ve camsı yapıda, ısı geçirgenliği düşük olan pomzayı oluşturur (Sarıöz ve Nuhoglu 1992).

2.1.2. Pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Amorf alüminyum silikat olarak tanımlanan pomzanın tanımlanmasında kimyasal içeriğinden faydalanılır. Asidik ve bazik özellikler taşıyan pomzaların tipik kimyasal bileşimlerine birer örnek Çizelge 2.1’ de verilmiştir (Gündüz 1998).

Çizelge 2.1. Pomza tiplerinin kimyasal kompozisyonuna örnek (Gündüz 1998)

Bileşim	Asidik Pomza	Bazik Pomza
%SiO ₂	70	45
%Al ₂ O ₃	14	21
%Fe ₂ O ₃	2,5	7
%CaO	0,9	11
%MgO	0,6	7
%Na ₂ O+%K ₂ O	9	8
%Ateş Kaybı	3	1

Sertliği Mohs skalasına göre 5-6 olup silis içeriği yaklaşık %75’e ulaşır. Pomzanın gözenek oranı hacminin %85’ine kadar çıkabilmektedir. Böylece bir pomza tanesinin %85’ i boşluk, %15’i katı maddeden oluşmaktadır (Schutter 2008).

Pomza tanesi büyüdükçe tane yoğunluğu azalır. Tane boyutu büyüdükçe ise gözenek yüzdesi artmaktadır. Volkan bacasından uzaklaşan pomzanın gözenek yüzdesi artar. Gözenek yüzdesinin artmasının yanı sıra düşük yoğunluğu, pomzayı izolasyon için dökme malzemesi ve bu özellikleri ile filtre ve hafif duvar harcına katkı ilavesi olarak da kullanılmasına olanak sağlar.

2.1.3. Erzurum bölgesi pomza oluşumları

Erzurum ve çevresinde birçok araştırmacı tarafından farklı zamanlarda yapılan araştırmalar, volkanik faaliyetler sonucu bölgede oluşan volkanik kayalara yönelik genel bir tanımlama ortaya çıkarmıştır. Farklı zamanlarda yapılan bu çalışmalar sonucuna göre Dumanlıdağ dolaylarında, volkanik etkinliğin andezitik-bazaltik fissür tipte strato volkanizma ile başlayıp, riyodasit ve dasitik domlar ve bazaltik fissür lavlarla sonlanmışır. Kargapazarı dağı dolaylarında çoğunlukla olivin bazalt, toleyitik piroksen bazalt, andezit, mujeirit, trakit türde lavlar, yer yer de ignimbritler etkin olmaktadır (Tokel 1979). Erzurum-Çat- İspir-Aşkale arasında üst miyosen döneminde, genellikle kalkalin, kısmen de toleyitik ve alkalın nitelikte ve bazalttan-riyoliteye doğru uzanan geniş bir aralıkta bileşim gösteren, yer yer de piroklastiklerin egemen olduğu bir volkanizma yer almıştır (Innocenti *et al.* 1982). Gavurdağları dolaylarında bazalt, andezit, dasit ve riyolit türde lavlar ve piroklastikler yer alır. Tekman dolaylarında üst miyosen volkanizmasından daha sonra, olasılıkla pliyosende bazaltik lavlar oluşmuştur (Bilgin 1987).

Erzurum bölgesi pomza oluşumları, çarpışma kökenli volkanizmaya bağlı olarak gelişmiş ve genellikle ignimbritik seriler içerisinde parçalı ve taneli yapıda yer yer gözlenen serilerden meydana gelmiştir. Bunun yanında beyaz ve gri ignimbrit fasiyesleri içerisinde bulunmaktadırlar. Taban tuf düzeyinin büyük bir kısmını piroklastik akıntılar oluşturmaktadır.

Piroklastik akıntı ünitelerinden her biri, kendi içinde rengi, kaynaklanma derecesi, içyapısı ve dokusu ile birbirinden farklı beyaz ve gri ignimbrit fasiyesleri olmak üzere iki fasiyese ayrılabilir (Keskin 1998).

Beyaz ignimbrit, piroklastik akıntıların esas malzemesini oluşturan bol vesiküllü pomzanın, üstteki yükün etkisiyle taban kesimlerinde sıkışarak kaynaklanması sonucunda meydana gelmiştir. Birim, taban tuf düzeyinin yaklaşık %25-30'unu oluşturmaktadır. Beyaz ignimbrit içinde çok sayıda ve mm'den birkaç metreye kadar

ulaşan boyutta akma kıvrımları ve 1-10 cm boyutlarında değişim gösteren yığılma şeklinde oluşmuş pomza taneleri yer almaktadır. Akma ünitelerinin tabanına yakın kesimler, kompaksiyonun en yoğun olduğu yerlerdir (Keskin 1998).

Bu düzeylerde aynı zamanda yoğun obsidyen bantları da görölmektedir. Beyaz ignimbrit, üste doğru giderek gri ignimbrite geçiş göstermektedir.

Gri ignimbrit, oldukça gözenekli, masif, tümüyle camsı gri renkli pomzadan oluşmaktadır. 1-2 mm'lik çap değerinde boşluklar içeren pomza aynı zamanda kırılğan bir yapıda sergileyebilmektedir. İstifte daha az oranda bulunan piroklastik döküntü birimleri ise, genel olarak beyaz ve grimsi beyaz renklerde birkaç mm'den 2-3 cm'ye kadar değişen farklı tane boyutlarında küçük boşluklu pomzanın oluşturduğu düzeylerden meydana gelmektedir (Gündüz vd 2006).

2.1.4. Pomzanın kullanım alanları

Pomza, üretim maliyetlerinin düşük olması ve üretildikten sonra fazla ilave işleme ihtiyaç duymamasından dolayı önemli ekonomik faydalar sağlamaktadır.

Günden güne çeşitli alanlarda kullanılmaya başlayan pomza başta inşaat sektöründe olmak üzere tarım, kimya, tekstil, filtrasyon, tuğla, abrasif ve seramik sektörlerinde kullanılmaktadır. Pomzanın endüstriyel sektörlerde kullanımına ilişkin birçok yeni araştırmalar devam etmektedir. Aşağıda pomzanın kullanım alanları tanıtılmış olup, sektördeki üstünlükleri, avantajları, önemi ve yapılan çalışmalar ifade edilmiştir.

a) Pomzanın inşaat sektöründe kullanılması

Pomza, inşaat sektöründe genelde agrega olarak kullanılmaktadır. Benzerliği nedeniyle perlitin kullanıldığı sektörlerde kullanım alanı bulan pomza, perlit gibi genleştirme

işlemlerine gerek duyulmamasından dolayı enerji ve yatırım maliyetlerini ortadan kaldırır ve bu sebeple inşaat sektöründe kullanımı artmaktadır.

Boşluklu yapısı nedeniyle düşük yoğunluğa sahip olan pomza, normal kum ve çakıla göre 1/3-2/3 kadar özgül ağırlığa sahiptir. Bu durum pomza ile yapılan betonunda özgül ağırlığının düşük olmasına sebep olur. Böylece pomza betonu normal betondan daha hafif olması sebebiyle zaman ve işçilikten önemli tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca zemine itilen yükler dikkate alındığında da yüklerden de yaklaşık %17 kadar inşaat demirinden tasarruf sağlamış olur. Isı iletkenlik katsayısı çok düşük olan pomza, normal betona göre 6 kat daha fazla yalıtım sağlar. Yalıtımı çok iyi olan pomzalı betonun iş ve yaşam alanlarında kullanılması ile önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Gündüz 1998).

Pomza genel olarak inşaat sektöründe;

- Hafif yapı elemanı,
- Prefabrik yapı elemanı,
- Hafif sıva ve harç,
- Hafif beton üretimleri,
- Çatı ve dekoratif kaplama elemanları, dekoratif mobilyalar,
- Çan ve döşeme izolasyon dolgusu olarak kullanılır.

Pomzanın tekstil sektöründe kullanılması

Pomzanın tekstilde yaygın olarak kullanımı kot kumaşlarının ağartılması ve kumaşın yumuşatılması olarak bilinir. Tekstil sektöründe pomzanın kullanım miktarı bir hayli fazladır ve bu sektörde aranılan belirli fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Pomza orta sertlikte olmalı ve kırılmadan ezilmeli,
- İçerisinde, kumaşı çizecek pomzadan sert mineral olmamalıdır,

- FeO, K₂O ve Na₂O içerikleri istenilen sınırlarda olup kumaşı boyamamalı ve yabancı madde içermemeli,
- Yuvarlak, fazla gözenekli ve kuru,
- Standart pomza kalitesine uygun,
- Suda belirli süre yüzme yeteneğine sahip ve beyaz renkte olmalıdır,
- Kot taşlamada 0,5kg/giysi miktarında pomza tüketilmelidir (Gündüz 1998).

Tekstilde enzim ve diğer kimyasal maddelerin tek başlarına yapamadığı ağartmayı pomzanın tek başına yapabileceği, daha fazla miktarda renk açılmasına ihtiyaç duyulduğunda ise pomza ile taş yıkama ve enzimatik yıkamanın bir arada yapılabilceği Duran tarafından yapılan bir çalışmanın sonucu olarak ortaya konulmuştur (Duran 1997).

Pomzanın filtrasyon sektöründe kullanılması

Su arıtımında kullanılan damlatmalı filtre ve aktif çamur yöntemleri karbonlu ve azotlu atıkların uzaklaştırılmasında biyokatalizör olarak immobilize edilmiş mikroorganizmaların aktivitesine bağlı çalışma prensibine dayanır. İmmobilizasyon, hücrelerin fiziksel kuvvet etkileşimleri sayesinde birbirlerine bağlanmaları demektir.

İmmobilize hücreler endüstriyel tesislerin kirletmiş olduğu sular veya tam arıtılamamış kanalizasyon atık sularındaki organik kirlilikleri arıtmada kullanılır. Bu sistemlerde başarı, immobilize hücrelerin aktif olmaları, kararlılıklarının ve porozitesinin yüksek olması, suda çözünmeyen, tabiatta bol miktarda bulunan ve ekonomik olan taşıyıcılarla mümkündür.

Böcek ilacı üreten fabrikaların atıkları, petrol rafinerileri, kok fırınları, çeşitli kimyasal tesisler, odun damıtımı ve reçine üretimi yapan tesislerin atık sularında bulunan, insan sağlığı ve tabii hayat için tehlike oluşturan fenolün biyokimyasal arıtımında pomza kullanım alanı bulmuştur. Fenolün pomza partikülleri üzerinde absorblanmasıyla sudan ayrılabilceği cam ve perlit gibi silika içeren diğer malzemelerle karşılaştırıldığında da

pomzanın en uygun malzeme olduğu Kaşıkkara ve arkadaşları tarafından belirlenmiştir (Kaşıkkara vd 1997).

Su ve atık sudan fenolün temizlenmesi için yapılan başka bir çalışmada ise katalitik ozonlama ile sulu çözeltilerden fenolü uzaklaştırmak için bakır kaplı pomza ve zeolit kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bakır kaplı pomza ve zeolit katalitik ozonlama yöntemiyle fenolü uzaklaştırmak için iyi bir performansla sahip olduğu gözlenmiştir (Asgari *et al.* 2012).

Aksay (2016) ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada fazla gözenekli ve ekonomik bir hammadde olan pomzanın içme suyu arıtmada kum filtrelerine ve antrasit filtrelerine alternatif olabileceği görülmüştür. Bununla birlikte farklı kimyasallarla aktifleşmesi ve yüzeylerinin metallerle kaplanması sonucu içme sularındaki kirlilik oluşturan metallerin arıtımı yüksek verim ile sağlanmış olup kullanılan pomzanın özelliklerini kaybetmeden yeniden kullanım fırsatı sağladığı, böylece içme suları içerisinde bulunan çeşitli metaller, organik maddeler, florür ve fosfatın uzaklaştırılabileceği belirlenmiştir (Kılınç vd 2016).

Pomzanın fosfat absorblama yeteneği, içerisinde bulunan CaO içeriğine bağlıdır. CaO içeriği %30 civarında olan pomzanın fosfat giderme verimi %98'den daha fazladır. Pomzanın seyreltik NaOH ile yenilenebileceği ve bunun sonucunda yeniden kullanılabilceği Onar ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda CaO içeriği %30 civarında olan pomzanın, fosfat iyonu içeren organik bileşiklerin ve fosfat iyonlarının giderimi için kullanılabilceği belirlenmiştir. Ayrıca pomzanın ucuz ve yeniden kullanılabilmesi de pomzaya üstün özellikler sağlamıştır (Onar vd 1997).

Pomzanın tarım sektöründe kullanılması

Bünyesine aldığı suyu uzun süre saklayarak devamlı olarak nemli bir ortamın oluşmasını sağlayan pomza, su kaynakları yetersiz, kurak iklimlere sahip ülkeler için

tarımda kuraklığa çözüm olmuştur. İklimin sıcak olması ve suyun aşırı buharlaşması nedeniyle oluşan su kaybını önlemek için, toprağın altında uygun bir derinlik ve uygun kalınlıkta yerleştirilen pomza tabakası, bitkilerin gereksinim duyduğu suyu doğrudan köklere toprak altından ulaşmasını sağlar ve buharlaşmadan doğan su kaybını engellemiş olur. Ayrıca sıvı gübre kullanılan topraklarda da pomza gübre kaybını en aza indirger ve yeraltı sularının kirlenmesini de önlemiş olur (Gündüz 1998).

Toprak düzenleyiciler olarak bilinen pomza, perlit ve vermikülit gibi malzemeler killi, aşırı şişme özelliğine sahip, fazla sıkışabilir topraklarda ve çimlenme esnasında bitkinin kök gelişimi için verimsiz olan bölgelerde kullanılmaktadır. Ancak perlit ve vermikülit kullanılmadan önce genleştirme işlemine ihtiyaç duyarken; pomzanın doğal halde, ek bir işlem gerektirmeksizin kullanılabilmesi, bol ve ucuz bir şekilde tedarik edilebilmesi, yüksek su tutma hacmi, ihtiva ettiği suyu bitkinin ihtiyacı kadar ortama vererek ortam nemini dengelemesi, tehlikeli kimyasal bileşikler barındırmaması gibi üstün özellikleri sebebiyle tarım ve seracılık alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprağın nem dengesini, hava almasını, çim ve köklenmenin optimum şartlarını sağlayan pomza ayrıca toprağın ihtiva ettiği aşırı suyu tutarak bitki köklerinin çürümesini de engeller. Ayrıca su ile birlikte köklere taşınan gübre ve mineral kaybını en aza indirger. Bunun yanı sıra pomza süs bitkilerinin soğanlarının dondan etkilenmemesi için de kullanılmaktadır (Gündüz vd 2005).

Pomzanın kimya sektöründe kullanılması

Pomza birçok kullanım sektörünün yanında kimya sektöründe de kozmetik, sabun ve deterjan, ilaç endüstrisi içerisinde kullanılmaktadır.

Kozmetik alanında halk arasında daha çok topuk taşı olarak bilinen pomza, kaba cildin temizlenmesinde kullanılan kişisel bakım ürünüdür. Bunun yanı sıra yüzdeki akne ve leke temizliğinde pomza içeren cilt kremleri kullanılır. Yeni bir kozmetik alan olan parfüm taşları da parfüm emdirilmiş pomza taşlarının, kokuyu uzun zaman muhafaza edebildiğinden dolayı, çanta içleri ve oto küllükleri vs. gibi alanlarda kullanılır. Pomza

ciltteki ağır kir ve lekeleri kolayca temizlemede ise sabun ve deterjanların hammaddesi olarak kullanılır hatta su kullanılmaksızın kir ve leke çıkarma özelliğine sahip sabunlar da üretilmiştir. Deterjan ve sabun üretiminde hammadde olarak kullanılan pomzanın aktif madde taşıma özelliğinden yararlanılmaktadır. Sağlık ve ilaç sektöründe de diş macunu ve diş parlatma keki olarak kullanılan pomza, diş bakımında diş lekeleri ve mikroorganizmalarını temizlemede kullanılır (Gündüz vd 2005).

Ayrıca pomza kimya sektöründe; tarım ilaçları ve kibrit sanayisinde taşıyıcı olarak, gübre sanayisinde gübrenin topaklaşmasını engellemede antikek olarak ve özel tip boyalarda (akustik ve yalıtımlı boyalarda, pürüzlü duvar kaplamalarında, trafik boyalarında, kaymaz tip boyalarda) katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Özkan ve Tuncer 2001).

Yapılan bir çalışmada ise iki farklı pomza ve dezenfaktan kombinasyonundaki mikroorganizmaların sayısı, geleneksel bir pomza ve su karışımı ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda pomzalı suya benzoik asit katılmasının, geleneksel pomza ve su karışımına kıyasla, bakteri sayısını %99 oranında azalttığını ortaya çıkarmıştır. Geleneksel pomzaya aktif madde olarak oktenidin içeren bir antiseptik ürünün eklenmesi, mikroorganizmaların sayısını %99,999 azalttığı görülmüştür (Setz and Heeg 1996).

Pomzanın abrasif sektöründe kullanılması

Pomza fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle endüstride aşındırıcı madde olarak da kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada pomza tozunun aşındırma özelliğini, içerisinde bulunan hangi cins minerallerden aldığı tespit edilmiş ve bu minerallerin minerolojik ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Pomzaya aşındırıcılık karakteristiği kazandıran minerallerin feldspat, piroksen, sanidin, sifen, mika, anfibol, camsı minerallerin olduğu tespit edilmiş, biyotit minerallerinin ise pomzaya aşındırıcılık özelliği yerine parlaticılık özelliğini kazandırdığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Isparta pomzasının mermer aşındırma ve parlatmada kullanılabilirliği belirlenmiştir. Bunlara ilaveten pomza

yumuşak özellikteki mermerlerde aşındırıcı madde olarak, sert özellikteki mermerlerde ise parlaticı madde olarak kullanılabilir (Sarışık ve Şahin 1997).

Pomzanın kompozit sektöründe kullanılması

Pomzanın yeni keşfedilmekte olan birçok kullanım alanından biri de kompozit malzeme üretimindeki kullanımıdır.

Yapılan bir çalışmada %5 ve %10 pomza ile sığır hidroksiapatiti karıştırılarak kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen bu ürünün sıkıştırma mukavemeti, vickers mikro sertliği, fourier dönüşümü, kızılötesi spektroskopisi, SEM ve XRD testlerini yapan araştırmacılar; %5 pomza içerikli kompozitlerin 1000-1300°C’ de sinterleşmesiyle oluşan kompozit malzemenin, hiç pomza içermeyen veya %10 pomza içereceğine göre en iyi basma dayanımı gösterdiğini tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda pomza ve sığır hidroksiapatiti optimum kompozit oluşumunun uygun sinterleşme sıcaklığı ile mikrosertlik ve basma dayanımının ayarlanabileceği aynı zamanda bu kompozitlerin kemik grefti ve implant gibi biyomedikal mühendislik uygulamaları için önemli bir potansiyel olabileceği düşünülmüştür (Komur vd 2016).

Pomzanın seramik sektöründe kullanılması

Pomza; vitrifiye seramik, masse çamuru, sır ve refrakter malzeme üretimlerini kapsayan seramik sektöründe genellikle ergitici ve tuğla üretiminde ise daha çok hafif yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Pomzanın vitrifiye reçetesinde ergitici olarak kullanılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Özmen tarafından yapılan bir çalışmada, düşük ergime sıcaklığına sahip pomza, vitrifiye seramik çamuruna sodyum ve potasyum feldspatın yerine alternatif bir ergitici olarak eklenerek yarı mamül ve mamüllerin özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak pomza eklenmesi ile mamül bünyelerin mekanik özelliklerinin olumlu yönde

geliştiđi ve sinterleme sıcaklıđını dűşűrme etkisiyle de daha az miktarda ergitici kullanılması sađlayarak hammaddeden tasarruf edileceđi belirlenmiřtir (űzmen 2007).

Pomzanın sır yapımında yer alması űzerine yapılan çalışmalar da ergitici feldspat ve fritin yerine alternatif hammadde olarak kullanımı şeklinde dir.

Civan tarafından yapılan bir çalışmada standart sır reçetesine feldspat yerine farklı bűlgelerden temin edilen pomza ilave edilmiş ve meydana gelen değişiklikler XRD, SEM, EDS analizleri ile incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda pomzanın feldspat yerine kullanılarak maliyeti dűřűreceđi, duvar karosu ve stoneware sırlarında kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca duvar karosu sır reetelerindeki sertlik değerleri %20 Nevřehir pomzası eklenmesi ile doğru orantılı şekilde arttığı, Nevřehir pomzasının %25'e çıkarılmasıyla sertlik değerinin azaldığı gűzlem lenmiştir. Isparta pomzasının eklenmesi ise sertlik değerini doğru orantılı şekilde arttırdığı, %10 Isparta pomzasının ilave edilmesi ise sır reçetesi sertlik değerleri açısından en uygun reçete olacağı belirlenmiştir. Sűper beyaz stoneware reçetesine de %15 Isparta pomzası eklenmesiyle reçetenin yűksek sertlik değerine sahip olduğu gűzlem lenmiştir. Ayrıca pomzanın ilavesiyle ergime sıcaklığının dűřmesinin enerji tasarrufu sağladığı da belirlenmiştir (Civan 2011).

Tusun ise pomzanın sır içerisinde (1200°C) kullanımını incelemiştir. Pomzanın sır için kullanımı amacıyla yapılan bu çalışmada 1200°C' deki renk ve ergime űzellikleri belirlenen pomza űnce tek başına sır hammaddesi olarak kullanılmış, daha sonra sır reçetesinde farklı ergiticilerle birlikte yer almıştır. Çalışma sonucunda 1200°C' de yapılan sır pişirimlerinin açık krem, kahverengi, kırmızımsı ve koyu kahverengiye değişen mat ve parlak sırlı yűzeylerin oluştuğu gűzlem lenmiştir (Tusun 2011).

Pomzanın massede kullanımının incelenmesi űzerine Karabay tarafından yapılan bir çalıřmada, deđiřik oranlardaki pomzanın fayans massesi űzerine etkileri incelenmiř ve pomzanın fayans masse içerisindeki pegmatit yerine alternatif ergitici olarak

kullanılabileceği ve yine pomzanın fiziksel özellikleri iyileştirmede alternatif hammadde olabileceği belirlenmiştir (Karabay 2006).

Kartal ve arkadaşlarının (2004) Nevşehir Yöresi pomzasının yer karosu massesinde kullanımı üzerine yaptığı çalışmada, pomzanın karo yapımındaki reçetelerde kullanılarak teknik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucuna göre pomzanın yer karosu massesinde kullanım miktarının artmasıyla karışımların küçülme oranları ve mukavemetleri artmış, su emme oranları ve ısı genleşme katsayıları azalmış, bunun yanı sıra renkleri koyulaşmıştır (Kartal vd 2004)

Pomzanın refrakter üretiminde kullanılmasına yönelik Ulusoy (2004) tarafından yapılan bir çalışmada; pomza, genleştirilmiş perlit, diyatomit ve portland çimentosu ihtiva eden ASTM standartları N sınıfı izole monolitik refrakter birleşimlerinin elde edilmesi denenmiştir. ASTM standartlarına uygun şekilde, hazırlanan pomza ile genleştirilmiş perlit ve diyatomit örneklerinin önce analizleri yapılmış sonra bu deney numunelerinin kuruma ve 925°C’de pişme sonrası hacim ağırlıkları, küçülme değerleri ve pişme dayanımları belirlenmiş ve ASTM standartları ile karşılaştırıldığında en iyi sonuçların kuruma sonrası hacim ağırlığı 0,94gr/cm³, 925°C sonrası pişme küçülmesi %1,7 ve soğukta basınç dayanımı 19kgf/cm² olarak bulunmuştur. Ayrıca çalışmada hedeflenen 0,88gr/cm³’lük kuru birim hacim ağırlığına ulaşmak için ilave edilen perlit grog ve diyatomit istenen tesiri göstermemiş, yalnızca pomza ile üretilen malzemede istenilen küçülme ve pomzanın %20 diyatomitli karışımı hariç birim hacim ağırlığı değerlerine yakın değerlere ulaşılmıştır (Ulusoy 2004)

Pomza taşının doğal hafif agrega olarak nitelendirilerek kullanıldığı tuğla sektöründe; pomzaya yaygın olarak bims taşı adı verilir. Pomza agregası (bims agregası) ise bims taşının kırma, eleme ve farklı tane boyutlarına ayrılması sonucu oluşur. Doğal hafif agrega tanımı; meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan tuf, bims(pomza), sünger taşı, lav cürufu, diyatomit vb. kırılmış veya kırılmamış agregalar olarak nitelendirilir. Volkanik faaliyetler sonucu meydana gelen bims agregalarının kullanıldığı ve ihtiyaç halinde kuvars kumunun da eklenmesiyle elde edilen betona bims

beton denir. Bims betondan üretilen blok ürünleri de bims agregalarının çimento, su ve ihtiyaç olduğunda kuvars kumunun da eklenmesi sonucu basınç altında, vibrasyon ile sıkıştırılıp kür edilerek de bims blok ya da pomza blok diye adlandırılan yapı mamülleri elde edilir. Hafifliği, iyi sıva tutuculuğu, ateşe karşı direnci, ısı ve ses izolasyonu sağlaması ve doğa koşullarından etkilenmemesi gibi özelliklerinden dolayı bims bloklar inşaat sektöründe çok fazla ülkede yapı elemanı olarak işlem görmektedir (Bims Sanayicileri Derneği 2006).

2.1.5. Pomzanın Dünya’da ve Türkiye’deki rezerv durumu

Dünya üzerinde tespit edilen pomza rezervleri oldukça fazladır. Pomza rezervinin yer aldığı ülkelerin başında İtalya, Türkiye ve ABD gelmektedir. Dünyadaki pomza taşı rezervlerinin yaklaşık %40’ı ülkemizdedir. Türkiye’deki pomza rezervinin %55’i Doğu Anadolu bölgesindedir. En fazla pomza üretimi yapan ülkelerin başında İtalya ve Türkiye vardır. Türkiye 2008- 2011 yılları arasındaki dönemde üretim miktarını arttırarak birinci sırada yer almıştır (Örneğin, 2010 yılında Dünya pomza üretiminde Türkiye’nin üretim miktarı yaklaşık 4.000.000 ton iken (%23) İtalya ise %17’dir.) (Elmastaş 2012).

2.2. Perlit

Perlit asidik karakterli volkanik bir camdır. Ülkemizdeki önemli perlit rezervleri Tersiyer-Erken orta kuvaterner yaşlı volkanik bölgelerde yoğunlaşmıştır. Genel olarak riyolitik volkanizmalarla ilgilidir. Türkiye perlit rezervi 4,5 milyar ton düzeylerindedir. Bu rakam tahmini dünya rezervlerinin önemli bir bölümünü oluşturur.

Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genleştirildiğinde çok hafif ve gözenekli hale geçen bir kayadır. Perlit kelimesi hem ham perlit ve hem de bunun genleştirilmesiyle elde edilen ürün için kullanılmaktadır. Çeşitli perlit kayaları renk ve yapı itibariyle birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişebilmektedir. Genleştğinde ham perlitin rengi tamamen

beyazlaşmaktadır. Perlitin en önemli özelliği hidrasyona uğramış camsı silika yapısındaki %2-5 arasında bileşik halinde içerdiği sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır (MTA 2018).

2.2.1. Genleştirilmiş perlit

Ham perlite öğütme ve boyutlandırma işlemlerinin uygulanmasının ardından, ham perlit 400°C 'ye kadar ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Ön ısıtmanın ardından ham perlit 750-1200°C arasında ani olarak ısıtıldığında bünyesinden çıkan buharın etkisiyle genişerek camsı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşmektedir. Ham perlit, ilk hacminin 20 katına kadar genişebilmektedir. Bu ürüne genişmiş perlit denilmektedir (MTA 2018).

2.2.2. Perlitin fiziksel ve kimyasal özelliği

Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, geniştiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlit her şeyden önce hafif bir malzemedir. Ağırlığı 80–240 kg/m³ arasında değişmektedir (Gündüz, Şapçı, ve diğerleri 2006). Perlitin ses yutum katsayısı 125 Hz de sesin 0,18 ini 400 Hz de 0,90'ını bulmaktadır. Ortalama olarak bu katsayı 0,60 olarak alınabilir. Perlitte en önemli özellik sudur. Perlitin bünyesi içinde bulunan suyun tamamına bağlı su denir (Önem 2000).

Bu suyun %94–98 kadarı, ince kılcal sistemler tarafından tutulmakta olup gevşek bağlı su niteliğindedir. Geri kalanın %2–6 kadarı ise, perlitin %90-97'sini teşkil eden volkanik camın içine, perlit oluşurken moleküller halinde girmiş, yani perlit camıyla birleşmiştir. Buna etkin su denir. Bu suyun oluşumundan ötürü cam kütle kristalleşmemekte, perlit de kararlılığını korumaktadır (Önem 2000).

Perlitin kimyasal özellikleri (Çizelge 2.2), Devlet Plânlama Teşkilatının 2001 yılında hazırladığı Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Raporunda aşağıdaki gibi verilmiştir; (DPT 2001).

- Tanım: Konkoidal, sferidal kırıklı camsı volkanik kayaç
- Renk: Beyaz, gri ve tonları, genişince tümüyle beyaz
- Sertlik (Mohs): 5-6
- Yumuşama noktası: 871-1093°C
- Ergime noktası: 1260-1343°C
- Özgül ısı: 0,2 cal/g °C
- Isı iletkenliği: 0,04 W/Mk
- Refraktif indeks: 1,5
- pH: 6,5-8
- Asitte erime özelliği:
- Konsantre sıcak alkali ve hidrolik asitte erir.
- Konsantre mineral asitlerinde az erir (%2).
- Seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir (%0,1).

Çizelge 2.2. Perlitin tipik kimyasal analizi

Bileşen	% Ağırlık	Bileşen	% Ağırlık
SiO ₂	71,0-75,0	CaO	0,5-2,0
Al ₂ O ₃	12,5-18,0	Fe ₂ O ₃	0,1-1,5
Na ₂ O	2,9-4,0	MgO	0,02-0,5
K ₂ O	0,5-5,0	TiO ₂	0,03-0,2
MnO ₂	0,0-0,1	SO ₃	0,0-0,2
FeO	0,0-0,1	PbO	0,0-0,03
Ba	0,0-0,05	Cr	0,0-0,1
Serbest Silis	0,0-0,2	H ₂ O	2,0-5,0

2.2.3. Perlitin kullanım alanları

Perlitin kullanımı daha çok genleşmiş perlit üzerinedir. Genleşmiş perlit tarım, inşaat, gıda, kimya ve ilaç gibi sanayi sektörlerinde kullanılabilir. Genleştirilmiş perlit üstün ısı ve ses yalıtım özellikleri sebebiyle en çok inşaat sektöründe az yoğun yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Dünyada üretilen perlitin %60'ı sıva ve beton agregası olarak, %23'ü filtre malzemesi, %8'i yalıtım malzemesi imalinde, %4'ü ise tarımda kullanılmaktadır.

Perlitin tüketim alanları başlıklar halinde aşağıda verilmektedir (Doğusan A.Ş. 2018).

1. İnşaat sektöründe perlit kullanımı
 - a) Perlitli sıvalar
 - b) Perlit agregalı hafif yalıtım betonu (Çimento veya alçı bağlayıcılı)
 - c) Perlit agregalı hafif yapı elemanları
 - d) Isı ve ses yalıtıcı gevşek dolgu maddesi olarak perlit kullanımı
 - e) Yüzey döşemelerde ısı ve ses yalıtıcı olarak perlit kullanımı
 - f) Çimento ve alçı dışındaki bağlayıcılarla yapılan özel amaçlı perlit betonları
2. Toprağın fiziksel özelliklerini artırıcı substrat maddesi olarak perlit kullanımı
 - a) Tarla tarımında
 - b) Bahçe tarımı ve seracılıkta (fide yetiştiricilik, kültür tarımı vb.)
 - c) Çimli spor alanlarında
3. Gıda, ilaç ve diğer kimyasal maddeler üretiminde süzme yardımcı maddesi olarak perlit kullanımı
 - a) Gıda sanayisinde
 - Bira, şarap ve likörleri süzmede
 - Bitkisel yemeklik yağları süzmede
 - Meyve suları süzmede
 - Şeker şerbeti süzmede

- Mısır şerbeti süzmede (glikoz/dekstroz üretiminde)
- b) İlaç ve kimya sanayisinde
 - Antibiyotiklerin süzülmesinde
 - Pektin süzmede
 - Soda külü eriyiklerinin filtrasyonu
 - Sitrik asit süzme
 - Sodyum silikat (su cam) filtrasyonu
 - Sülfürik asit filtrasyonu
 - Uranyum şerbeti filtrasyonu
 - Kağıt sanayisinde (beyaz su) filtrasyonu
 - Flok süzmede (alüminyum hidroksit ve flokülasyon işlemlerinde)
 - Boyaların süzülmesinde
 - Fosforik asit süzmede
- c) Diğer süzme işlemlerinde
 - Makina yağı (kullanılmış makina yağının rejenerasyonu),
 - İçme suyu,
 - Yüzme havuzlarının suyu ve
 - Atık suları temizliği süzme işlemlerinde kullanılır.
- 4. İlaç ve kimya sanayisinde dolgu maddesi olarak perlit kullanımı
 - a) İlaçlarda (insan sağlığı ilaçları-veteriner ilaçları)
 - b) Haşere ilaçlarında (bitki koruma vb.)
 - c) Temizleyici tozlarda
 - d) Gübrelerde
 - e) Dinamit üretiminde
 - f) Testüre (yüzeyi grenli) örtücülüğü yüksek boyaların üretiminde
- 5. Isı yalıtımında perlit kullanımı
 - a) Sıvılaştırılmış gaz tanklarının ısı yalıtımında
 - Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG)
 - Sıvılaştırılmış doğal gazlar (LNG)

- Sıvı azot ve amonyak
 - Sıvı propan, etan ve metan
 - Sıvı oksijen
 - Sıvı soygazlar, itici gazlar (propellanlar), soğutucu gazlar (refrigerantlar vb.)
- b) Soğuk depoların yalıtımında,
- c) 1000°C kadar sıcaklıktaki reaktörlerin, potaların vb. yalıtımında kullanılır.

6. Metalurjide perlit kullanımı

- a) Dökümcülükte metalurjik flaks olarak
 - b) Döküm kumuna katkı maddesi olarak
 - c) Potadaki ergimiş metalin korunmasında
 - d) Dövmede veya haddeye giden sıcak metal ingotların ısı kayıplarını önlemede
 - e) Demir-çelik sanayisinde ergimiş metalin cüruf kontrolünde
 - f) Perlitli yalıtıcı refrakterlerin üretiminde
 - Seramik bağlayıcılı perlit refrakter tuğlalar
 - Alüminyum fosfat bağlayıcılı perlit refrakter tuğla veya betonlar
 - Perlitli refrakter harç
- g) Seramik ve cam sanayisinde katkı maddesi olarak

7. Diğer uygulamalarda perlit kullanımı

- a) Sondajlarda, çimentolama işlemini kolaylaştırıcı katkı maddesi olarak,
- b) Gemi dipleri kaplama ve yalıtımında,
- c) Petrol atıklarından veya diğer yağlı atıklardan gelen su kirliliğini gidermede,
- d) Baraj göllerinde, kentlerde, açık su rezervuarlarında buharlaşmayla su kaybını önleyici olarak,
- e) Ambalajlama için dolgu maddesi,
- f) Plastik köpüklere ve plakalara katkı dolgu maddesi,
- g) Ucuz ve hafif plastik mobilya yapımında dolgu maddesi,
- h) Titreşimli tespit,
- i) Yangına karşı özellikle çelik konstrüksiyonlarda yalıtım katı olarak,

j) Perlitin genleşmiş olarak kullanımının yanı sıra ham olarak da kullanım alanları vardır.

2.2.4. Perlitin Dünya’da ve Türkiye’deki rezerv durumu

Ülkemizde bulunan yeraltı kaynaklarının en önemlilerinden biri, dünya rezervinin büyük bir bölümüne sahip olduğumuz perlit cevheridir. ABD, Ermenistan, Japonya, İtalya, Türkiye, Yunanistan perlit kaynakları bakımından zengin ülkelerdir. Ülkemiz dünya üzerindeki olası perlit rezervinin %74’üne sahiptir. Mevcut durumda ham perlit ve işlenmemiş perlit ürünlerini en çok üreten ve tüketen ülke ABD’dir (Bozkurt 2013).

2.3. Seramikler

İnorganik maddelerin şekillendirme prosesleri ardından sıcaklık etkisi ile sertleştirilmeleri sonucu oluşan malzemelere seramik adı verilir. Günümüzde seramik, metaller ve bunların alaşımları dışında kalan tüm anorganik malzemelerden üretilen ürünler şeklinde tanımlanmaktadır.

Seramik hammaddeleri plastik ve plastik olmayan ham maddeler olarak ikiye ayrılırlar. Plastik olmayan hammaddeler, uygun öğütme yöntemleri sonucunda kullanıma hazır hale getirilirler. Plastik hammaddeler ise bağlayıcı özellikleri ile tanımlanırlar. Kaolinit, plastik seramik hammaddelerinin esas mineralidir ve bileşim olarak da su içeren bir alüminyum silikattır (Arcasoy 1983).

Genellikle porozite içeren, kristal ve cam yapılı fazlardan oluşan seramik malzemeler, içerdikleri farklı yapı elemanlarının miktar ve dağılımlarına bağlı olarak farklı özellikler gösterirler. Örneğin iletken bir seramik malzeme, mevcut fazlarının yerleşim yerlerinin değiştirilmesi sonucu yalıtkan bir özellik kazanabilmektedir. Bu yüzden seramik malzemelerin geliştirilmesinde mikro yapı ön plana çıkmaktadır.

Seramik endüstrisi, diğer endüstrilerin temel taşlarını oluşturur. Bunun başlıca sebepleri arasında şunlar vardır;

- Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık,
- Yüksek kimyasal kararlılık,
- Aşınma ve erozyona karşı dayanıklılık,
- Düşük oksitlenme direnci,
- Yüksek basma mukavemeti,
- Sertlik,
- Hafiflik,
- Ham maddenin kolay temini,
- Metallere nazaran ucuz olmalarıdır.

Seramik malzemelerinin en önemli dezavantajı ise gevrek olmalarıdır (Geçkinli 1992). Metal ve organik olmayan malzemeler olarak tanımlanan seramikler, oksitler ve oksit olmayanlar diye sınıflandırılırlar (Aldinger 2000). Silisitler, nitrürler, borürler, karbürler oksit olmayan seramik grubuna dahildirler.

Çizelge 2.3. Seramiklerin malzemeye göre sınıflandırılması

Seramik Tipi	Örnekler
Oksitler	Al_2O_3 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , ZrO_2 , BeO , Y_2O_3
Silikatlar	$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$; $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$, $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$
Silisitler	Mo_2Si , TaSi , WSi_2
Nitrürler	BN , Si_3N_4 , AlN , SiAlON , TiN
Borürler	LaB_6 , TiB_2 , ZrB_2
Karbürler	ZrC , TiC , VC , NbC , B_4C , SiC , WC

Metal veya metaloid elementlerin oksijenle yaptıkları bileşiklerine ise oksit seramik adı verilir. Bu tür seramikler yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Oksit seramiklerin çoğu iyonik bağlı olup, saydamlık, kimyasal kararlılık, elektrik ve ısı iletimine direnç gibi özelliklere sahiptirler. Ayrıca refrakterlik, düşük termal genleşme, yüksek elastik modül, sertlik, gevreklik ve korozyona karşı direnç göstermektedirler.

Oksitler iki grupta toplanabilir.

- Tek oksitler
- Karmaşık oksitler

İki veya daha fazla metal veya metaloid içeren karmaşık oksitler, tek fazlı (katı eriyik) veya birden çok fazın bulunduğu oksit karışımlarını içerirler. Tek oksitler ise tek bir metal veya metaloid element içerirler (Geçkinli 1992).

Seramik malzemeler, metal ve polimerlerle birlikte kompozit malzeme oluşturabilirler. Bu malzemelerin atomları arasında meydana gelen kovalent veya iyonik bağ oluşumu seramikleri ısıya ve korozyona karşı oldukça dayanıklı hale getirirler. Seramik malzemelerin ısı ve elektriği iletmemesi atomlar arası bağlanmadan dolayı elektronların lokalize olmasının bir sonucudur. Ancak seramiklerin kırılma özelliği de yine bu kuvvetli bağların bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. İyapıda bulunabilecek en küçük bir hata, seramiklerde çatlak oluşmasına sebep olur. Çekme gerilimlerine maruz kalan seramiklerdeki mevcut çatlaklar süratle ilerleyerek malzemelerin kırılmasına yol açar (Toy ve Baykara 1994).

Seramik malzemelerini Geleneksel ve Yüksek Teknoloji Seramikleri olarak iki ana grupta incelemek mümkündür. Fayans, karo ve porselenler, tuğla ve kiremitler, elektrik izolator malzemeleri, refrakterler, camlar ve çimento malzemeleri ve killi sıhhi gereçler, geleneksel seramikler grubuna girmektedirler. Mühendislik seramikleri ve teknik seramikler gibi isimler ile adlandırılan yüksek teknoloji seramikleri ise yapısal ve

fonksiyonel seramikler olmak üzere iki grup halinde incelenmektedirler (Toy ve Baykara 1994).

Elektronik, elektromekanik, optik, manyetik fonksiyonları olan seramikler fonksiyonel seramiklerdir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı makine (veya yapı) parçalarını içeren seramikler ise yapısal seramiklerdir.

2.3.1. Geleneksel seramikler

a) Kil esaslı malzemeler

Kuvars (SiO_2), feldspat (K_2O veya $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), kaolen ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) gibi minerallerin uygun oranlarda karışımları sonucu elde edilen ürün grubudur.

Bu gruba en iyi örnek olarak porselenler, süs ve dekorasyon eşyaları, vitrifiye ürünleri, sağlık gereçleri, seramik kaplama malzemeleri, tuğla ve benzeri yapı malzemeleri verilebilir (Toy ve Baykara 1994).

b) Refrakter malzemeler

Yüksek sıcaklıklara dayanabilen, yüksek sıcaklıklarda ve bulunduğu atmosfer ortamında fiziksel ve kimyasal özelliklerini kaybetmeyen herhangi bir malzeme refrakter olarak ifade edilebilir (Bilal 2016). Özellikle demir ve demir dışı metaller, cam ve seramik üretiminde kullanılan seramik esaslı malzemelerdir.

Isıl yalıtımda, potalarda, fırın izolasyonunda, altlık malzemesi olarak, filtre, kalıp ve ısıtma elemanları olarak son derece önemli uygulamaları olan seramik grubudur. Yüksek alüminalı, silika-alümina esaslı, magnezit ve krom-magnezit esaslı, fosterit, spinel, süper refrakterler şeklinde farklı çeşitleri söz konusudur (Toy ve Baykara 1994).

c) Camlar

Kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşturulmuş bir eriyiğin kristalleşmesine fırsat verilmeden soğutulması sonucunda oluşan inorganik malzemelere cam adı verilir. ASTM tarafından cam inorganik ergitme ürünü olarak tanımlanmıştır (Rawson 1991).

Amorf yapılı camın en önemli özelliği, saydam olması, kimyasal maddelerin çoğu ile reaksiyona girmemesi ve sert olmasıdır. En önemli dezavantajı ise kırılğan olmasıdır (İyiel 2009).

Cam içinde yer alan oksitler başlıca üç grupta toplanırlar:

- Ağ yapıcılar
- Tadil ediciler
- Ara oksitler

SiO₂ yaygın olarak kullanılan ağ yapıcı oksittir. Bunun yanı sıra GeO₂, As₂O₅, P₂O₅'de cam formuna geçerken tetrahedral yapı birimleri oluştururlar, B₂O₃ ise üçgensel bir ağ yapı oluşturur ve kolaylıkla cam yapar (Vogel *et al.* 1985).

Ergiyik haline getirilen silika oldukça düşük bir akışkanlığa sahiptir. Bir maddenin cam yapma yeteneği ergiyik haldeki akışkanlığına dolayısıyla o maddedeki bağların iyonik ya da kovalent olmasına bağlıdır. Silikanın viskozitesinin çok yüksek olması, Si⁴⁺ ve O²⁻ iyonları arasındaki çekim kuvvetinin çok yüksek olmasından ve bunun sonucu olarak da bu iyonların hareket etme imkanlarının çok az olmasından kaynaklanmaktadır.

Ergiyik silika hızlı bir şekilde ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa soğutulursa (SiO₂ için 1710°C) Si⁴⁺ ve O²⁻ iyonları düzenli bir yapı oluşturmak için gerekli olan zamanı bulamaz ve sıvı fazdaki düzensiz hallerini (amorf) korurlar.

Yaygın olarak kullanılan bir ağ yapıcı oksit olan ve sıvı haldeyken akışkanlığı çok düşük olan SiO_2 , 1710°C sıcaklıktan yavaş yavaş soğumaya bırakılırsa kristalleşerek kuvars, tridimit, kristobalit kristallerini oluşturur.

Cam harmanında bulunan ve düşük sıcaklıklarda reaksiyon veren alkali ve toprak alkali gibi oksitler ağ yapısının sürekliliğini bozdukları için bunlara tadil edici oksit adı verilir.

Amfoterik olarak adlandırdığımız gruptan soda kireç cam yapısında en yaygın olarak kullanılan Al_2O_3 'tir. PbO ' da az da olsa rastlanan, kırılma indisi, yoğunluk gibi özelliklere olan etkisiyle bağıntılı olarak özellikle cam ev eşyası gibi ürünlerde istenen bir başka ara oksittir. Şartlara bağlı olarak ağ yapısına girerek boşluklarda yer alan Al_2O_3 , PbO gibi amfoterik oksitler ise ara oksit olarak adlandırılırlar (Volf 1990).

d) Çimento esaslı malzemeler

$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$, $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ ile bunlara ilaveten Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO ve SO_3 içeren kalsiyum silikat bileşikleridir. Bu yapıların yüksek sıcaklık gerektirenleri için ise kalsiyum alüminat çimentoları veya fosfatlı çimentolar kullanılır (Toy ve Baykara 1994).

2.3.2. İleri teknoloji seramikleri

Geleneksel seramiklere nazaran “Yüksek Teknoloji Seramikleri”, teknolojinin gelişimine paralel olarak ilerleyen, mükemmel ısı özelliklerine sahip olan seramikler olmaları sebebiyle bilgisayar teknolojisinde entegre devre paket altlıklarında kullanılmaktadır. İleri teknolojik seramikler, geleneksel seramiklere göre daha fazla saflaştırılması, içyapılarının kontrol edilmesiyle oluşturulan hatasız mikro yapıları ve özenle takip edilen üretim planlamaları ile üretilirler (Toy ve Baykara 1994).

Yüksek sıcaklığa dayanıklılığı başta olmak üzere birçok üstün özelliklere sahip olması sebebi ile ileri teknoloji seramikleri, üst düzey teknolojik uygulamalar için kendine

birçok kullanım alanı bulmaktadır. Bu seramiklerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra bulunabilme imkanları da tasarım sırasında malzeme seçimini etkilemektedir. Malzeme seçiminde seramiklerin hangi metotla üretileceği ve kullanım esnasında hangi şartlara tabi tutulacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Diğer malzemeler gibi bu tip seramiklerin özellikleri de atomlar arasındaki mikro ve makro yapılara bağlı olmaktadır. Özelliklerini etkileyen diğer faktörler ise üretim hammaddeleri, şekillendirme yöntemi ve pişirme işlemleridir. Bunların yanı sıra sıcaklık, ortam ve çalışma şartları da seramik ürünün özelliklerini etkileyen dış faktörlerdir (Palacı 2001).

Fonksiyonel seramikler

Fonksiyonel seramikler genel olarak malzemenin manyetiklik, iletkenlik, ısı yalıtkanlık, dielektrik ve elektriksel özelliklerini içeren yani elektronik yapısından dolayı ortaya çıkan özelliklerinin kullanıldığı uygulamalar olarak tanımlanabilir. Örneğin; fonksiyonel amaçlı seramiklerin ana bileşeni olarak bilinen ferrit demir oksit (Fe_2O_3) olup, diğer oksitli seramiklerinde yapısında ilave olarak bulunduğu malzemenin manyetik özelliklerinde istenildiği gibi değişiklikler yapılabilmektedir. Fonksiyonel seramikler yapılarına bağlı olarak ortamdan topladıkları sinyalleri elektronik yapılarında meydana gelen değişikliklerle ortaya koyarlar. Bu grup malzemelerin görevini, bu değişikliklerin tespiti ve ölçümü vermektedir (Toy ve Baykara 1994).

Seramiklerdeki araştırmaların büyük bir grubu fonksiyonel seramiklerin tasarım ve prosesi yönündedir. Tozların şok dalgalarıyla sinterlenmesi, mikro-ışın teknoloji ve ergimiş fazın katılaştırılması gibi yeni teknolojiler de fonksiyonel seramiklerin kullanımında yeni alanlar ortaya koymaktadır. Seramiklerin saydam ve opak türleri de önemlidir. Sodyum lambalarında saydam alümina ve yüksek sıcaklık pencereleri için önemli olan saydam sialon kullanılmakta ve bu sayede bu malzemelerin yüksek sıcaklık proseslerini ve yüksek sıcaklıktaki durumlarını inceleyebilmek olasıdır (Geçkinli 1992).

Yapısal seramikler

Seramik malzemelerin sertlik, yoğunluk, ısı dayanım, yüksek elastik modül gibi kristal yapı ve atomlar arası bağlanmanın ortaya koyduğu özellikler ve bunlara ilaveten mikro yapısal değişkenlerin etkilendiği kırılma dayanımı ve aşınma direnci gibi özelliklerin değer kazandığı çalışmalarda kullanılan seramiklere yapısal amaçlı ileri teknoloji seramikleri denir (Barsoum 2002).

Yapısal seramikler yüksek sıcaklığa dayanıklı olma özelliklerinden dolayı büyük ölçüde enerji tasarrufu sağladıklarından birçok ısı motorlarında ve enerji santrallerinde kullanılmaktadır. Kesici takım olarak kullanılan ince seramiklerde sorunsuz ve daha hızlı üretim yapma olanağı sağlamaktadır (Geçkinli 1992).

Tek, çift, üç veya daha çok elementlerin birleşimi sonucu oluşan Al_2O_3 , ZrO_2 , Si_3N_4 , SiC , B_4C , TiC , TiN , AlN kompozitler de yapısal seramik üyeleridir. Yapısal amaçlı yüksek teknoloji grubunu oluşturan örneklerden bazıları torna tezgahlarında kullanılan kesici seramik takımlar, otomobillerde yüksek emme sağlayan turbo yükleyici, tekstil makinalarında kullanılan aşınmaya dayanıklı sentetik iplik kılavuzları, madencilik, hafif balistik yelek ve zırhlı araç koruyucu kaplamalar, modern aç- kapa mekanizmalı musluk, spor malzemeleri ve çimento endüstrisidir (Toy ve Baykara 1994).

Bazı ileri teknoloji seramikleri ve özellikleri şöyledir:

Oksitler (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO) iyonik bağ yaparlar, sert, aşındırıcı ve sürünme özellikleri iyidir.

Karbürler; kendi aralarında ikiye ayrılırlar. Az iyonik yer alan bileşik şeklinde olanların (ZrC , TiC , VC , NbC) elastik modülü yüksektir. Kovalent bağ yapanların (B_4C , SiC , WC) sürünme özellikleri kötü, yüksek sıcaklıkta kararlı, kesici takımlarda aşındırıcı ve kalıplarda kullanılırlar.

Nitrürler (BN, Si₃N₄, AlN, SiAlON, TiN) kovalent bağ yaparlar. Düşük yoğunluğa sahiptirler, yüksek sıcaklıkta kararlıdırlar, sürünme dirençleri iyi ve çok serttirler. Kesici takım ve gaz türbinlerinde kullanılırlar.

Borürler (LaB₆, ZrB₂) kovalent bağ yaparlar. Çok iyi iletkenler ve sürünme özellikleri iyidir (Geçkinli 1992).

2.3.3. Geleneksel seramikler ile ileri teknoloji seramiklerinin farkı

Öncelikli olarak geleneksel seramikler ileri teknoloji seramiklerinden üretim yöntemleri, hammadde ve mikro yapı bakımından farklılıklar göstermektedir. İleri teknoloji seramiklerinin ham maddeleri sentezleme yöntemi ile yapay olarak veya işlem görmüş doğal hammaddelerden meydana gelmektedir. Bunun sebebi istenilen fiziksel özelliklerde ve yapay hammaddelerin istenmeyen maddelerden uzaklaştırılarak yüksek saflıkta olmasının istenmesidir. Bu iki grup seramikleri birbirinden ayıran en önemli özellik, ileri teknoloji seramiklerinin çok ince tozlardan üretilibilmeleridir. Böylece tamamen yoğun seramikler 1µm'den daha ince tozlardan oluşur (Geçkinli 1992).

Bu sebeple mekanik özellikleri daha çok geliştirilebilen ileri teknoloji seramikleri yüksek sıcaklık kararlılığı, yüksek mukavemet ve sertlik ile iyi aşınma ve korozyon dayanımı yanı sıra düşük yoğunluk ve yüksek elektrik direncine sahiptirler (Palacı 2001).

2.3.4. Şekillendirme işlemleri

Belirli bir mukavemete sahip parça üretme tekniği olarak tanımlanan şekillendirme, tozların uygun sıkıştırma yöntemleri kullanılarak yarı ya da nihai ürün boyutlarında üretilmesidir. Geleneksel seramiklerden farklı olarak ileri teknoloji seramikleri kil içermedikleri için su yerine özel bağlayıcı ile yağlayıcı organik katkılarına gereksinim duymaktadır. İleri teknoloji seramikleri bu nedenden ötürü daha fazla toz metalürjisinde metal tozlarının şekillendirilme yöntemleriyle üretilmektedir (Palacı 2001).

Üretilecek parça sayısı ve boyutları, miktarı ve fiziksel özellikleri ile maliyeti dikkate alınarak seramiklerin şekillendirme yöntemi belirlenir.

Hazırlık aşaması

Sinterleşme, toz boyutunun çok ince olması ile reaksiyon yüzeyini arttırdığından kolaylaşır. Böylelikle reaksiyon daha düşük sıcaklıklarda veya daha kısa sürede gerçekleşebilir. Tozların belirli bir boyut dağılımı göstermesinin, belirli bir boyutta olmasından daha önemli olmasının sebebi densifikasyondur. Bu sebeple imal edilen seramik tozlarının boyutları test edilmelidir.

Seçilen şekillendirme yöntemine bağlı olarak seramik tozlarına ilave katkı maddeleri eklenir. Bunlar;

- Mukavemet kazanması için pişmemiş hamur ürüne ‘bağlayıcılar’ ilave edilir.
- Presleme sırasındaki sürtünmeyi azaltmak için ‘yağlayıcı’ ilave edilir.
- Sinterleme için eklenen ilave maddeler ise densifikasyonu artırır.
- Şekillendirme yöntemleri için gerekli kolaylığı sağlamak amacıyla tozlara, deflokülanlar, termoplastikler ile plastisiteyi ve ıslatma özelliklerini kontrol eden malzemeler ilave edilir.

Bazı şekillendirme işlemleri için seramik tozlarına ilave edilmesi gereken maddeler ve ön hazırlıklar vardır. Bunlardan; presleme ile şekillendirme prosesi için bağlayıcı, yağlayıcı ve sinterleşmeyi kolaylaştırıcı katkıları ilave edilmesidir. Ayrıca ön hazırlık olarak sprey veya granülasyonla serbest toz üretimi yapılır. Slip döküm prosesi için, çamur hazırlanmalı, bağlayıcı ve deflokülan katkıları eklenmelidir. Ayrıca pH, viskozite ve katı miktarı kontrol edilmelidir. Hava emme işlemi uygulanmalıdır. Enjeksiyonla kalıplama prosesi için ise termoplastik, plastisiteyi arttırıcı, ıslatıcı, yağlayıcı ve sinterleşmeyi kolaylaştırıcı ilaveler eklenmelidir. Granüller veya pelet haline getirme ve havayı emme son işlemleri yapılmalıdır (Geçkinli 1992).

Seramiklere ilave edilen katkı maddeleri ve gördüğü görevler ise şöyledir:

- Bağlayıcı: Yaş mukavemeti artırır ve tozların kaymasını, kalıptan daha kolay çıkmayı sağlar.
- Plastisiteyi arttırıcılar: Şekillendirme sırasında plastik deformasyonu sağlar.
- Deflokülan: pH'ı ve toz yüzeylerindeki elektrik yükünü, dispersiyonu veya topaklanmayı kontrol eder.
- Islatıcı: Yüzey gerilmesini azaltır.
- Suyu tutan madde: Presleme sırasında suyun yapıda kalmasını sağlar.
- Antistatik madde: Elektrik yükünü kontrol eder.
- Antiform madde: Köpük oluşmasını önler.
- Form stabilizer: İstenen köpüğü sağlamlaştırır.
- Sinterleme için ilaveler: Yoğunluğu sağlar.
- Mantar ve bakterilere karşı yapılan ilaveler: Bekletilme esnasında bozulmayı önler.
- Diğer ilaveler: İstenmeyen iyonları aktive etmez (Geçkinli 1992).

Klasik şekillendirme prosesleri olarak enjeksiyon kalıplama, soğuk ve sıcak izostatik presleme, slip ve şerit döküm, tek eksenli preslerde sıcak ve soğuk presleme ve ekstrüzyon kullanılmaktadır.

Tek eksenli kuru presleme

Seramik partiküllerin istenilen forma sahip olabilmesi için kalıplar içerisinde sıkıştırılması tozların preslenmesinde kullanılan ilk yöntemlerden olup, burada amaç tozlara ham yoğunluk ve dayanım kazandırmaktır. Bu yoğunluk kazandırma, toz parçacıklarının arzu edilen şekle dönüştürülmesi için bir yük altında sıkıştırma olarak tanımlanabilir. Metal bir kalıp içerisinde tek eksenli yük altında, seramik partikülleri bağlayıcı ve yağlayıcı ile harmanlandıktan sonra sıkıştırılır. Toz ebatlarının dağılımının önem taşıdığı bu metot, düz parçaların üretimine uygun olup uzun yıllardan beri seri üretim yöntemi olarak kullanılmaktadır. Tek yönlü sıkıştırmanın kullanıldığı bu

preslemede sadece yüzeyde iyi bir toz paketlenmesi olduğu için kalın ve karmaşık şekilli parçaların şekillendirilmesi büyük bir problem arz eder. İzostatik presleme ile bu tür problemler giderilir (Geçkinli 1992, Palacı 2001).

İzostatik presleme

Partikül durumundaki kütle veya ön şekillendirme yapılmış ürün izostatik presleme için elastik bir kaba konur ve hidrostatik basınç ile şekillendirilir. Proses kuru veya yaş şekilde uygulanabilir. Hareketli piston ile kalıp yüzeyi ve toz partikülleri ile kalıp yüzeyi arasında ortaya çıkan sürtünmeden dolayı tek yönlü presleme de uygulanan basınç tüm partiküllere homojen olarak iletilemez. Yükseklik/genişlik oranının büyük olduğu parçalarda eşit olmayan yoğunluk dağılımı ortaya çıkar. Eşit olmayan yoğunluk dağılımı parça içerisinde sinterlenme esnasında heterojen boyutsal daralma miktarı nedeniyle şekilsel deformasyonlara maruz kalabilirler. Bu problemin çözülebilmesi için numuneler yüksek basınç altında bir akışkan yardımı ile sıkıştırma sağlayan soğuk veya sıcak izostatik presleme denen sistemlerde homojen dağılımlı ve yüksek yoğunluklu numunelere dönüştürülebilirler (Ünal 2007).

Kuru preslemede olduğu gibi toz partiküller hazırlanır ve sıvı geçirmeyen lastik kalıba konarak sistemin havası boşaltılır. Sistem içerisindeki sıvı, kalıbı istenildiği miktar oranına kadar sıkıştırır (Geçkinli 1992).

Sıcak İzostatik Presleme

Sıcak presleme daha çok seramik malzemelerin yoğunluğunu arttırmak için uygulanır. Çok yüksek sıcaklıklarda dahi yapılan sinterleme nihai üründe yoğunluğu %80-90 civarında meydana gelir. Difüzyon işlemine dayalı olan sinterlemede yoğunluk, yüksek sıcaklıklarda malzemenin difüzyonunun yüksek olduğu, ergime noktasına yakın sıcaklıklarda gerçekleşir. Bu da problemlere yol açabilir. Örneğin; ergime sıcaklıkları çok yüksek olan seramik ve refrakter malzemelerin sinterlenmesi maliyet ve uygulama açısından zordur. Diğer yönden yüksek sıcaklıklarda sinterleme süper alaşımlar için

tanelerinin büyümesi ve fazların kararlılığı yönünden teknik olarak uygun değildir. Aynı nedenden dolayı yüksek sıcaklıkta sinterleme süper iletken seramiklerin üretiminde de faz dönüşümünün ortaya çıkmasına sebep olur. Bu problemler göz önüne alındığında ise sinterleme tam bir yoğunlaşma için yeterli değildir.

Farklı iki şekilde uygulanabilen, sıcakta preslemenin ilki tozların tek yönde sıkıştırıldığı ve preslemenin fırın içerisinde yapıldığı kuru preslemeye benzer şekilde yapılır. Öteki presleme çeşidi ise sıcak izostatik presleme olup, klasik yöntemlerin poroziteyi gidermek için malzemeyi uzun süre daha yüksek sıcaklık ve basınç altında bekletmesinin aksine enerji tasarrufu bakımından da önem taşıyan sıcak izostatik presleme ile hem daha düşük sıcaklıklarda hem daha kısa zamanda tamamlanması yanı sıra mikro yapının da ince kalması sağlanır. Tozların yüksek basınç ve sıcaklık altında sıkıştırılarak yoğun bir ürünün oluşmasını sağlayan sıcak izostatik preste yoğunluk; atomların yayınmasından ziyade, toz malzemenin hareketi sonucu gerçekleşir. Bu yöntem sayesinde daha kısa zamanda ve daha düşük sıcaklıklarda yoğunluk elde edilir.

Sıcak izostatik pres sonucu oluşan yoğunluk, uygun boyuttaki toz ve sıcaklık için pres basıncına bağlı olarak değişmesinin yanı sıra sıcaklık, basınç, toz boyutu ve malzemenin mekaniği de sıcak izostatik pres kinetiğine tesir eden değişkenlerdir.

Sıcak izostatik preste basınç arttıkça sıcak deformasyon ile ani olarak yoğunluk elde edilmektedir. Sinterleme esnasında toz partiküllerinin boyutunun ufalması ile yoğunluk hızı artmaktadır. Süper plastik deformasyon olasılığını arttıran ince tane boyutu sıcak izostatik preste daha hızlı bir şekilde yoğunluğun elde edilmesini sağlar. Sıcak izostatik pres yönteminde reaktif gazların varlığı yoğunluğu olumsuz şekilde etkilemesine rağmen yoğunluk işleminde bulunması üstünlükler sağlamaktadır (Geçkinli 1992, Palacı 2001).

Soğuk İzostatik Presleme

Çevre veya oda sıcaklığında yüksek sıvı basıncı uygulanarak kalıp içerisinde toz kütlelerinin sıkıştırıldığı yöntemle soğuk izostatik presleme denir. Su ve yağ, basınç ortamı olarak kullanılarak toz kütlesi yoğun, sıkı biçimde paketlenir. 1380MPa gibi yüksek basınçların yanı sıra sıkıştırma basıncı daha çok 400MPa civarında kullanılır (Richerson and Lee 2018).

İlk olarak malzeme partiküllerinin ekonomik şekilde nihai şekle getirilmesinde, üretimlerinin döküm yöntemi ile elde edilemeyen yeni alaşımların elde edilmesinde, metal tozlarının biçimlendirilmesinde ve volfram karbür gibi zor işlenen malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan soğuk izostatik presleme, seramik partiküllerin nihai şekle getirilmesinde de daha sonra kullanılmıştır. Bu yöntem tek eksenli preslemeye nazaran basınç, izostatik olarak parçanın tüm yüzeyinde uygulandığı için parça boyunca daha homojen yoğunluk elde edilmesinden dolayı üstünlük sağlar. Karmaşık şekilli malzemeleri presleme ve sinterleme esnasında homojen çekilmesinden dolayı yakın boyut toleransları ile üretmek muhtemeldir. Tozlara bağlayıcı veya yağlayıcının ilave edilmesi zorunlu olmadığı gibi parçaya her taraftan uygulanan basınç, parçanın sinterlenmesi esnasında az ya da hiç çarpılmaya uğramaksızın homojen yoğunlukta olmasını sağlar. Böylece uzunluk/çap oranının yüksek olduğu, genel pres ile üretilmeyen uzun ve dar parçalar homojen bir mikro yapıda bu yöntem ile elde edilebilir (Geçkinli 1992, Palacı 2001).

Slip döküm

Bu döküm yönteminde toz malzeme uygun bir taşıyıcı sıvı içerisinde askı haline getirilir. Sıvı içerisinde bırakılan toz malzemeleriyle oluşturulan çamur, emici özellikteki kalıba dökülür ve kalıptaki kılcal gözeneklerin yaptığı kapiler etki sonucu sıvı emilir ve malzeme istenilen şekle getirilmiş olur. Parça kalıptan çıkarıldıktan sonra da nemli olacağı için kurutma ve ardından pişirme işlemleri yapılarak son haline getirilir. Slip döküm ile karmaşık şekilli parçalar, ucuz kalıplar aracılığıyla dökülebilir.

Bunların yanı sıra yüksek basınca gerek duymaması, şeklini koruyabilmesi ve iyi mukavemete sahip olması avantajları arasındadır. Ancak seri üretimde kullanılması için avantajlı değildir. Seri üretimde fazla sayıda kalıp ve kalıpların konulacağı alan ihtiyacı ve alçı kalıpların deformasyon süresinin kısa olması ve çekme oranının %25-30 civarında olması nihai ürünün boyut tahmininde problemler doğurarak dezavantajlar ortaya çıkarır. Daha çok kısa süreli uygulamalarda kullanılan bu yöntem, sofrta, banyo ve sağlık gereçleri gibi geleneksel seramik üretmek için kullanılır (Palacı 2001).

Şerit döküm

Nitelikli ince şerit ya da plaka şeklinde üretilmesi istenen seramikler için şerit döküm yöntemi kullanılır ve elektronik seramik sektörü için çok önemlidir. Yöntemde seramik çamuru bir sıvı içerisinde dağılan seramik malzemeden oluşur. Çözücüde seyreltilmiş organik bağlayıcılar, dağıtıcı ve plastisiteyi değiştirmek için eklenen ilave maddeler sıvı fazı oluşturur. Elde edilen çamur düz bir yüzeye serilir ve içerisindeki çözücü uçurularak savuşturulur. Kurutulan şerit ürün inorganik seramik ve bağlayıcıdan oluşur ve kağıt gibi yüzeyden sıyrılarak elde edilir (Geçkinli 1992).

Ekstrüzyon yöntemi

Düşük maliyetli bir proses olan ekstrüzyon, uzun ebatlı seramik ürünlerin üretilmesinde, geleneksel seramik ve refrakter şekillendirilmesinde köklü bir geçmişe sahiptir (Palacı 2001).

Tuğlalar, kapasitör boruları, izolatörler, fırın tüpleri, katalitik altlıklar, termokupl koruyucu tüpler ve elektronik altlıklar ekstrüzyon prosesi ile üretilmektedir (Richerson and Lee 2018).

Seramik toz ve katkı maddelerinden meydana gelen yüksek viskoziteli plastik karışımın şekillendirilmiş bir kalıptan basınç aracılığıyla itilmesine ekstrüzyon ile plastik şekil verme yöntemi denir. Seramik tozları %25-30 civarında organik bağlayıcılar ile

harmanlanarak belirli bir plastikliğe ulaşmış ekstrüzyona uygun özellikte bir karışım oluşturur ve nemin kontrol altında tutulması ile istenilen ebatlarda ekstrüzyon uygulanabilir. Ekstrüzyonu etkileyen en önemli parametre ekstrüze olmuş harmanın akış özelliği olup, tercih edilen ilave maddeleri, seramik tozuna ve sıvıya bağlıdır. Bu karışım kısmi basınç altında itilmesi durumunda yeterli plastiklikte akışkanlığa sahip olmalıdır. Kalıptan çıkmasının ardından şekil değişikliğine uğramaması için uygun sertlikte olmalıdır. Uygulanan basınç altında seramik tozlar ile sıvı birbirinden ayrılmamalıdır. Bu yöntem sabit kesite sahip tüp, çubuk, fayans gibi malzemelerin üretimi için uygundur (Geçkinli 1992, Palacı 2001).

Enjeksiyon kalıplama

Devamlı üretim durumunda maliyetin düşük, üretim hızının yüksek olduğu toz enjeksiyon kalıplama prosesi seramik imal yöntemleri içinde en yenisidir. Bu yöntem karmaşık şekilli parçaların imal edilmesinde plastik sektöründe yaygın şekilde kullanılır. Toz boyutunun mikronun altında olduğu çeşitli termoplastik reçine ile plastisiteyi arttırıcı katkı maddelerinin eklenmesi ile oluşturulan plastik malzemenin eritilip daha önceden şekillendirilmiş kalıp içine enjekte edilmesinin ardından kalıpta soğumaya bırakılmasına enjeksiyon kalıplama ile şekillendirme denir. Bu yöntem karmaşık şekilli malzemelerin üretilmesi yanı sıra daha düzgün yüzeyli ve daha hassas ölçülü ürünler elde edilmesini sağlar. Dişçilik, kamera ve büro makinaları parçaları, döküm refrakter malzemesi, kesici takım uç, mikro elektronik paketlemede, tel sarımında ve diğer montaj aletlerinde, kol saati gövdesinde, kuyumculukta, oksijen sensörü, cerrahi aletlerde ve araç hava yastık parçaları üretiminde bu yöntem kullanılmaktadır (Palacı 2001).

2.3.5. Kurutma prosesi ve oluşan hatalar

Seramik ürünlerin şekillendirilmesini kolaylaştırmak için seramik tozlarına su eklenmektedir. Şekillendirilmiş ürünlerin pişirme işlemi için yüksek sıcaklıktaki fırına atılmadan önce bünyedeki suyu gidermek için ise kurutma yapılmalıdır (Geçkinli 1992).

Isı sayesinde seramik hamurundaki suyun gözenekler aracılığı ile yüzeye ulaştığı, malzemenin şekillendirme suyunun fiziksel olarak uzaklaştırıldığı işleme kurutma denir. Bu aşamada porlar kapiler görevi görür.

Yoğurulma suyu seramik çamurunda üç halde bulunur;

- Malzemenin tanecikleri arasında bulunan ‘por suyu’ halinde çamurun içinde büyük miktarda bulunur.
- Kil taneciklerinin yüzeylerini film şeklinde saran ‘yüzey suyu’ halinde yüzeyde bulunur.
- Kil taneciklerinin yüzeyinden içine emilme yoluyla giren ‘emme suyu’ halinde bulunur. Bu su kurutma esnasında çamurdan en zor ayrılan sudur. Ayrıca seramik çamurunun plastikliğinde rol oynar (Arcasoy 1983).

Por suyu, emme suyu ve yüzey suyunun seramik çamurundan uzaklaştırılması için kurutma yapılır. Çamurun şekillendirilmesi için ilave edilen su, kuruma esnasında tam tersi bir yol izleyerek çamurdan uzaklaştırılır. Kurutma sıcaklığının yüksek olması kurumanın ilk önce yüzeyden başlamasından dolayı porlardan gelen su yüzeyden buharlaşır. Bu da yüzeyin önce kuruyarak malzeme içerisinden gelen suyun yüzeyden çıkışına engel olacak kadar küçülmesine neden olur. Kurumanın önce yüzeyde olup küçülmesi de malzeme içerisinden gelen suyun tanecikten geçmesini zorlaştırması, gerilimlerin oluşmasına, gerilimlerde kuruma çatlaklarına ve deformasyonlara neden olur. Por, emme ve yüzey suyunun gözeneklerden uzaklaşması ile birlikte kil taneciklerinin birbirlerine yaklaşmaları ile küçülme artar (Arcasoy 1983).

Kuruma üç kademededen meydana gelir. İlk kademedede çamurdan uzaklaşan su buharı ile birlikte hacimsel bir küçülme oluşur. İkinci kademedede çamur küçülmesini sürdürür, bu arada porlar oluşmaya başlar. Üçüncü kademedede ise hacmin küçülmesi artık sona erer. Ortaya çıkan gözenekler buharlaşan su miktarı ile orantılıdır (Arcasoy 1983).

Kurutma hızı seramik ürünün içerdği su miktarına bağlı değildir. Bu nedenle kurutma hızı yüzeyden uzaklaşan su miktarı ile ifade edilerek; sıcaklığa, ortamdaki nem miktarına ve kuruma yüzeyindeki yer alan hava dolaşım hızına bağlıdır. Kuruma hızı bu üç faktörün kontrol edilmesi ile sağlanır. İri boyuttaki seramik toz parçacıkları daha az su tutar. Bu sebeple şekillendirme sırasında seramik hamurun nem miktarı toz boyutu ile kontrol altına alınabilir ve böylece seramik ürünlerin kuruma sırasında büzülmesi de kontrol altına alınmış olur (Geçkinli 1992).

Seramiklerde kurutma hataları seramik hamurunun hazırlanması, şekillendirmede yapılan hatalar ve yanlış kurutma yöntemlerinin ilavesi ile ortaya çıkar. Seramik ürünün şekillendirme esnasında farklı et kalınlıkları mevcutsa kuruma sırasında ürünün ince et kalınlığındaki kısımların daha çabuk kuruması ve kalın et kalınlığındaki kısımların ise daha geç kurumasıyla “kuruma çatlağı” diye adlandırılan çatlak çeşidi ortaya çıkar. Bir diğer kurutma hatası da deformasyon ve eğilmedir. Bu hata seramik üründen yüzey suyunun hızlıca uzaklaşıp, içerisindeki suyun kuruyan yüzeyden uzaklaşmasını zorlaştırması neticesinde oluşur. Bu kurutma hatası yetersiz kurutmadan dolayı ortaya çıkar. Sabit zemin ve raflarda kurutulan büyük parçalarda görülür. Doğru olmayan kurutmalara, yanlış hava sıcaklığı ve hızı ile ürünün kurutma alanı içinde hızlı hareketi de bu hataya neden olur.

Kurutma anında yüzeye iletilen suyun, ince taneciklerin de eşlik etmesi sonucu, ince tanelerden meydana gelen tabakalaşma hatası oluşur. Bu tabakanın içerisinde çözünebilir tuzlar mevcutsa kuruma esnasında kolayca yüzeye taşınabilir ve ‘renk lekeleri’ olarak adlandırılan hatanın yüzeyde oluşmasına neden olur (Arcasoy 1983).

2.3.6. Seramiklerin sinterlenmesi

Malzemenin ergime sıcaklığının altında pişirilerek; yoğunlaşması, toz parçacıkların birleşmesi ve kaynaşması, gözeneklerin kapanması ve malzemenin büzülerek çekildiği sürece sinterleme denir. Sinterlenmenin ardından malzeme hafif düzeltme, parlatma ve mekanik prosedürlerden sonra direkt kullanılabilir (Barsoum 2002).

Malzeme tozlarının şekillendirilmesinde çeşitli prosesler vardır. Presleme, izostatik presleme, slip döküm, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama bunlardan bazılarıdır. (German 1996).

Seramik malzemenin cinsine, tane boyutuna ve şekillendirme yöntemine bağlı olarak %25-60 civarında gözenek mevcuttur. Şekillendirme sırasında seramik tozlarının sıkışması sonucu malzemede bir miktar gözenek azalır. Tozlar kuruma aracılığı ile birbirine tamamen temas etmesine rağmen tümünden pekişmiş durumda değildir. Malzeme, gözeneklerinin giderilmesi ile mukavemet, saydamlık ve ısı iletkenlik gibi özellikler kazanır. Sinterleme sırasında difüzyonun hızlanması sonucu özellikle yüzeyde yer alan atomların difüzyonu ile atomlar birbirine temas halinde olup dokundukları noktalarda bir bağ oluşturdıkları ve daha sonra kaynama noktalarında bu bağın boyunlara dönüştüğü ileri sürülmüştür (German 1994).

Bu sırada gözenekler küresel şekillere dönüşür. Ayrıca gözenek miktarı azalır ve yoğunlaşma elde edilir. Sinterleşme sonucunda gözenekler tamamen kaybolur ve ürün pekişmiş bir kütle haline dönüşür (İnan 2005). Yüksek sıcaklıkta malzemenin taşınımının sonucu atomların yüzeysel ve hacimsel difüzyonu ile sinterleme prosesi meydana gelir ve Gibbs serbest enerjisindeki azalma ile sinterleşmenin itici gücü sağlanır (Geçkinli 1992).

1mm' den küçük ve küre şekline benzer partiküller kullanılarak ergime sıcaklığının yarısından yüksek bir sıcaklıkta sinterleme işlemi uygulanır. Sinterlemenin normale göre daha düşük sıcaklıkta olabilmesi için partiküllerin küçük ve birbirine yakın olması gerekir. 'Katı hal sinterlemesi' tozların bu şekilde katı-katı bağı ile meydana getirdikleri sinterlemeye denir. Sinterleme sıcaklığını düşürmek ve hızlandırmak için yapıya sinterlenmek istenen tozdan daha düşük sıcaklıkta ergiyen bir madde ilave edilerek daha ekonomik hale getirilir. İki fazın daha önce ergimesiyle diğer tozlar daha düşük sıcaklıkta hızlı şekilde sinterlenir. Bu şekilde meydana gelen sinterleme çeşidine de 'sıvı faz sinterlemesi' denir. Sinterleme esnasında basınç uygulanması, bu iki sinterleme prosesinden farklı sinterleme çeşitleri de doğurmaktadır (German 1996).

Katı hal sinterlemesi

Katı toz partiküllerine herhangi bir ikinci sıvı faz eklenmeksizin yoğunlaşması olayına ‘katı hal sinterlemesi’ denir. Klasik sinterleme dört kademedan oluşur. Yapışma olarak adlandırılan ilk kademe, toz partiküllerinin birbirine teması ile oluşur. Eğer yüksek basınçta paketlenmediyse yüzey alan kaybı çok azdır. Bu kademedede yoğunlaşma ve büyüme gözlenmez. İkinci kademe başlangıç olarak adlandırılır ve boyun büyümesini temsil eder. Bu kademedede yüzey alan kaybı %50 civarındır. Yoğunlaşma ve büyüme azdır. Üçüncü kademe ara olarak adlandırılır ve gözeneklerin yuvarlaklaşması ve uzamasından oluşur. Açık gözeneklerin neredeyse tamamı kaybolur. Belirgin bir yoğunlaşma ile tane ve gözenek çapında büyüme vardır. Dördüncü kademe son olarak adlandırılır ve gözeneklerin kapanması ile son yoğunlaşmayı ifade eder. Yüzey alan kaybı önemsizdir, yoğunlaşma yavaş ve azdır, çok fazla tane ve gözenek büyümesi vardır (German 1996).

Sinterlemede parçaların atomik devinimi çoğunlukla difüzyon yoğunluklu meydana gelmektedir. Pişirme esnasında çeşitli kütle taşınım olayı meydana gelmesine rağmen daha belirgin ve önemli olan yüzey ve hacimsel taşınımlardır. Buharlaşma-yoğunlaşması, yüzeysel difüzyon ve difüzyon taşınması yüzey taşınımlarını oluşturur. Tane sınırı difüzyonu, kafes difüzyonu ve plastik akış ise hacimsel taşınımları oluşturur (Palacı 2001).

Yüzeysel taşınımlar toz partikülleri arasındaki pekişmeyi ve bağları kuvvetlendirirken, hacimsel taşınım ise yoğunlaşma aracılığı ile büzülmeyi meydana getirir (German 1994).

Kristal yapıyı kararlı bir hale getiren veya yapı özelliklerini iyileştiren katkı maddeleri eklenerek sinterlenme aşamasına yardımcı olunur ve taneler kontrol altına alınabilir.

Sıvı faz sinterlemesi

Bu sinterleme çeşidinde ilave edilen katkı maddelerinin bazıları daha düşük sıcaklıkta sıvı faz meydana getirerek sinterleşmenin daha hızlı olmasını sağlar. Bu duruma basınç ilave edilmesi ile daha yoğun ürünler üretilebilir.

Bir veya birden fazla elemanın sinterleme sıcaklığında sıvı faz oluşturmaya 'sıvı faz sinterlemesi' denir. Sıvı faz sinterlemesi ile şu şartlar meydana gelmelidir;

- Katı ve sıvı faz uzun bir zaman sinterleme sıcaklığında bulunmalıdır,
- Katı faz, sıvı faz içerisinde sınırlı bir şekilde çözünmelidir,
- Sıvı faz oranı arzu edilen yoğunluğu oluşturacak kadar fazla olması istenmesine rağmen boyutsal değişimi minimum sağlayacak kadar az olmalıdır,
- Katı faz tozları daha hızlı yoğunlaşma elde etmek için fazlasıyla küçük olmalıdırlar,
- Sinterleme esnasında katı faz tanelerinin tümü sıvı faz ile çevrelenmelidir (Palacı 2001).

Temel olarak sıvı faz sinterlemesi üç kademedan meydana gelir;

1. kademedan sıvı faz içinde taneler tekrar düzenlenme veya sıvı akışı yoluyla büyük miktarda hareket eder. Sıvı faz, malzemedeki gözeneklerin içine dolar ve katı taneleri taşıyarak bu boşlukların yerini doldurmuş olur. Böylece sıvı tanelerinin hareketi sonucu, tanelerin tekrar düzenlenmesi ve yoğunlaşması sağlanır.

2. kademe olan çözünme ve yeniden çökelme, yalnız katı fazın sıvı faz içerisinde çözünürlüğü mevcut ise meydana gelir. Bu kademedan yoğunlaşma hızı bir aşamaya göre daha azdır. Katı tozlarının ebatı küçüldükçe sıvı faz içerisindeki katı çözünürlüğü artar ve büyük tozlar daha fazla büyüyerek yuvarlaklaşırken, küçük tozlar ise çözünerek yok olurlar. Sıvı faz içerisinde difüzyon aracılığıyla hızlı bir kütle taşınımı meydana gelir.

3. kademe katı faz bağlanması olarak düşünülebilir. Sıvı faz, katı fazı tamamen ıslatmaz ise taneler birbirine dokunarak katı fazın iskelet meydana getirmesine sebep olabilir. Bu, sinterlemenin ilk kademesinde meydana gelirse birinci kademeyi engellemesi sonucu hızlı yoğunlaşmaya da engel olur. Sıvı fazın katı fazı hiç ıslatmadığı durumda ise sıvı faz sinterleme ürününden dışarı çıkarak ürünün üzerinde damlacıklar halinde görünmesine ‘terleme’ denir. Sinterleme sıcaklığında sıvı, katı içerisinde tamamen çözünür ise maksimum çözünürlük olduğunda sıvı faz oranı azalarak tükenir. Bu olay çok hızlı gerçekleşirse sıvı faz sinterlemesi ve yoğunlaşması meydana gelmez (Palacı 2001).

Metal ve seramik malzemelerin seri üretiminde sıkça sıvı faz sinterlemesi uygulanır. Sıvı fazın meydana getirdiği hızlı difüzyondan dolayı katı parçacıklar arasındaki kimyasal homojenleşme sıvı faz sinterlemesi esnasında daha hızlıdır. Meydana gelen az miktardaki sıvı faz bile sinterleme prosesine büyük katkılar sağlamasına rağmen yoğunlaşma hızı, yapıda ortaya çıkan sıvı faz miktarına dayanır ve bu sıvı faz miktarı da yöntemle göre hacimce %30 veya daha da üzerinde olabilir (Barsoum 2002).

Sıvı faz sinterlemesinin en önemli üstünlüğü sinterlemenin hızlı olmasıdır. Yapıda meydana gelen sıvı faz, katı hal sinterlemesine göre daha hızlı difüzyon oluşturur. Sıvı faz tarafından ıslatılan katı parçacıklar, ıslatan sıvı faz tesiriyle meydana gelen kılcal kuvvetler, parçacıkları birbirine doğru çeker ve dışarıdan basınç uygulanmaksızın hızlı pekişme yoğunlaşması oluşur. Ayrıca sıvı faz parçacıklar arasındaki sürtünmeyi azaltıp katı parçacıkların hızlı biçimde yeniden düzenlenmelerine imkan tanır. Keskin parçaların köşe ve kenarları yüksek kimyasal potansiyele sahiptirler. Bu nedenle sıvı faz içerisinde çözünerek daha etkili bir paketleme meydana getirirler (German 2013).

2.3.7. Sinterlenmeyi etkileyen parametreler

Yoğunluk ölçümü ile sinterlemenin olup olmadığı belirlenir. Burada bahsedilen yoğunluk relatiftir ve ağırlığın hacme bölünmesi ile teorik yoğunluğun yüzdesi şeklinde

ifade edilir. Teorik yoğunluk %100 yoğunlaşma sonucu gözenek içermeyen yoğunluğu ifade eder (German 1996).

Paketleme yoğunluğu, malzeme, tozun boyutu, pişirme atmosferi, sıcaklık, zaman ve ısıtma hızı sinterlemeyi etkileyen en önemli parametrelerdir. Bu faktörlerden toz boyutunun küçülmesi, hızlı sinterlemeyi ve yüksek safsızlık miktarını sağlamasına rağmen maliyeti arttırır. Sürenin artması ise tane büyümesi ve verimliliğin düşmesine neden olur. Sıcaklığın artması ile daha fazla büzülme, tane ve gözenek büyümesi ile özellikler iyileşir (German 1996).

Şekillendirme prosesine ve istenilen amaca bağlı olarak toz paketlenmesi farklı miktarlarda olabilir. Yüksek paketleme sinterleme yönünden önem taşımakta olup iyi bir toz paketlenmesinde gözenekler küçük çaplı, dar boyut dağılımlı ve yapı içerisinde homojen olmalıdır. Yüksek paketlenme de ortaya çıkan gözenek boyut dağılımı ve küçük gözenek çapı dolayısıyla sinterlemede daha düşük sıcaklıkta ve hızlı olacak şekilde tam yoğunluğa ulaşılarak küçük tane yapılı malzeme elde edilir.

2.4. Tozların Preslenmesinde Oluşabilen Hatalar

Presleme toz partiküllerinin, sert ya da elastik kalıplara yerleştirilerek yoğun hal olarak şekillendirilmesi işlemidir. Geleneksel seramik üretim yöntemlerinden biri olan karo üretimi, kuru presleme yöntemi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu üretim yöntemi; kalıbın doldurulması, yoğunlaşma ve şekillendirme, ürünün kalıptan çıkarılması olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Buradaki kalıp malzemesi için daha çok sertleştirilmiş çelik kullanılır.

Mikron boyutundaki tozların preslenmesi esnasında kalıp ile matris arasındaki uzaklık 10-25µm/cm arasında olmalıdır. Kalıp duvarlarına 10µm/cm'den daha küçük bir eğim verilerek preslenmiş parçanın kalıptan kolay çıkarılması sağlanır. Küçük parçaların presleme hızı bir kaç saniyede olurken büyük parçalarda presleme hızı dakikaları

bulabilir. Karo üretiminde uygulanan basınç 20-100MPa arasında değişir (Kaygun 2006).

Preslenecek tozlar; serbest bir şekilde akabilmeli, yüksek bulk yoğunluğuna sahip olmalı, deforme olabilen granüllerden oluşmalı, normal koşullar altında kararlı olmalı, çok az kalıp aşınmasına neden olmalı, matrikse yapışmamalı, preslenmiş ürün enjeksiyon ve ardındaki işlemlere dayanıklı olmalıdır. Bunun yanı sıra ısıtma anında çıkan gazları en aza indirmek için bağlayıcı miktarı az olmalıdır. Bu sayede maliyette azaltılmış olur.

2.4.1. Kalıbın doldurulması

Homojen yoğunlukta ve tekrarlanabilir doldurma ve hızlı presleme için iyi bir toz akışı mecburidir. Akış oranı, tozun belli bir kütlesinin standart huniden akış süresinin ölçülmesi ya da düz bir yüzeye akıtılan tozun oluşturduğu açıdan belirlenebilir.

İyi bir akış özelliğine sahip olan tozlar yoğun, düz ve yapışkan olmayan bir yüzeye sahip 40µm ya da daha büyük partiküllerdir. Bu boyuttan daha ince tozların sistemde %5'den fazla olması akışı durdurabilir. İnce taneler matriks ve kalıp duvarı arasındaki boşluklara dolarak sürtünmeye ve bu da hava çıkışına engel olur. Boyutu çok büyük tozlar ise genel olarak düzensiz şekillidir ve köprüler meydana getirmeleri sonucu akışı engelleyebilir ve heterojen dolgu yoğunluğuna neden olurlar.

Kullanılan tozlar daha ince ise granül yüzeyi daha düz olur. Sıcaklık arttıkça bağlayıcılar yumuşar ve yapışkan bir duruma gelir. Böylece kullanılacak bağlayıcı ölçüsü ve sıcaklık kontrol edilmelidir. Ayrıca kullanılan bağlayıcı suda çözünebilen türden ise ortamın nem oranı da granülleri depolanması bakımından önem taşır.

Kalıba doldurulmuş tozların dolgu yoğunluğu yüksek ise kalıptaki tozlar arasında kalan hava miktarının ve matriksin dolaşma oranını azaltarak presleme problemlerini en aza indirmiş olur. Granüllerin yüksek dolgu yoğunluğuna sahip olabilmeleri için kalıba

akışı verimli bir şekilde paketlenmelidir. Mekanik vibrasyon kullanılarak yüksek paketlenme elde edilir. Bunun sebebi toz partiküllerinin yeniden düzenlemeye olanak bulmasıdır. Vibrasyon yolu ile elde edilen dolgu yoğunluğu, akış yolu ile elde edilen dolgu yoğunluğuna oranı, akış ve dolgu için bir indeks olarak kullanılabilir. Normal dağılıma sahip olan granül edilmiş bir toz için dolgu yoğunluğu %25-35 arasında değişir. Dolgu yoğunluğu, granül yoğunluğu ve paketlenme davranışı ile ilişkilidir. Büyük gözenekler içeren kraterli şekiller ve pürüzlü granüller içeren tozlar daha düşük dolgu yoğunluğuna sahiptirler.

Çatlak Oluşumu

Çatlak oluşumu prese doldurmanın yeterli olmaması, kalıpların aşınması ve hızlı hareket etmesi ile bunun sonucu olarak sıkıştırmanın her yerde homojen olmaması sonucu meydana gelir.

2.4.2. Yoğunlaşma ve şekillendirme

Kompaktlanma

Tozların yoğunlaşma davranışı başlangıçta yüksek olur. 5-10MPa'ın üzerine çıkmasıyla hızlı bir şekilde azalır. Basınç ilk önce partiküller aracılığı ile oluşur. Granül deformasyonu ve partiküllerin temas sayısının artmasının nedeni kayma ve granül içindeki partiküllerin tekrar düzenlenmesidir. 50MPa'ın üzerinde az bir yoğunlaşma meydana gelmesine rağmen sert seramik tozların preslenmesi esnasında uygulanan basınç kalıpları aşındırır. Sanayi sektöründe kullanılan preslerin basınç kapasiteleri genelde 100MPa'dan ve özel bazı yapılar için 40MPa'dan az olur.

Kompaktlanma Oranı = Preslenmiş Yoğunluk / Dolgu Yoğunluğu (genelde<2).
Alüminyum, bakır potasyum, brom gibi sünek partiküller yüksek yoğunlaşma oranına sahiptir ve 500MPa üzerinde %100 gibi bir yoğunluğa ulaşabilir (Kaygun 2006).

Densifikasyon

Densifikasyon kalıp içerisinde preslenmiş ürünün yoğunluğuna işaret eder. Densifikasyon üç aşamadan meydana gelir.

1. Aşama: Dolgu yoğunluğunun biraz üzerinde bir yoğunlaşma oluşur. Bunun da nedeni granüllerin kayma ve yeniden düzenlenmesidir. Granüller arasındaki gözenekler granül içindeki partiküller arasındaki gözeneklerden daha büyüktür.
2. Aşama: Granüllerin deforme olması ya da kırılması sonucunda granüller arasındaki büyük gözeneklerin hacmi azalır.
3. Aşama: Bu aşama deformasyona uğramış granüller arasındaki gözeneklerin yok olması ile başlar ve daha yüksek presleme basıncı ile granit içindeki partiküllerin daha yoğun paketlenmesi, kayma ve yeniden düzenlenmesine yol açar.

Bu aşamada küçük ve yumuşak granüller arasındaki ara yüzeyler kaybolmaya ve granül grupları homojen bir yapıya dönüşmeye başlar. Büyük ya da sert gözenekler arasındaki ara yüzeyler ise bu aşamada kaybolmaz.

100µm'den büyük granüllerin olması durumunda büyük gözenekler ve ara yüzeyler sistemde kaldığı için preslenmiş yüzeyin pürüzlü olmasına yol açar.

2.4.3. Ürünün kalıptan çıkarılması

Preslenmiş ürünün kalıptan çıkarılma aşaması dikkat gerektiren bir işlemdir. Presleme esnasında depolanmış elastik enerji ürün üzerinde boyut artışına sebep olur. Aşırı boyut artışından kaynaklanan gerilim farklılıkları, ürünün kalıptan çıkarılması esnasında preslenmiş malzemede hatalara sebep olur. Bu yüzden boyut artış oranının % 0,75'den az olması gerekir.

Boyut artış oranı malzemedeki organik bağlayıcıların yoğunluğunun yüksek ve presleme basıncının sistemin cam geçiş sıcaklığı altında olduğu durumlarda daha fazla olur.

Malzemenin kalıptan çıkarılma kuvveti aşağıda belirtilen durumlar;

- Kalıbın yüzey şartları,
- Parçanın elastik boyut artışı,
- Kalıp duvarının yağlanması ve
- Çıkarılma oranı ile ilgilidir.

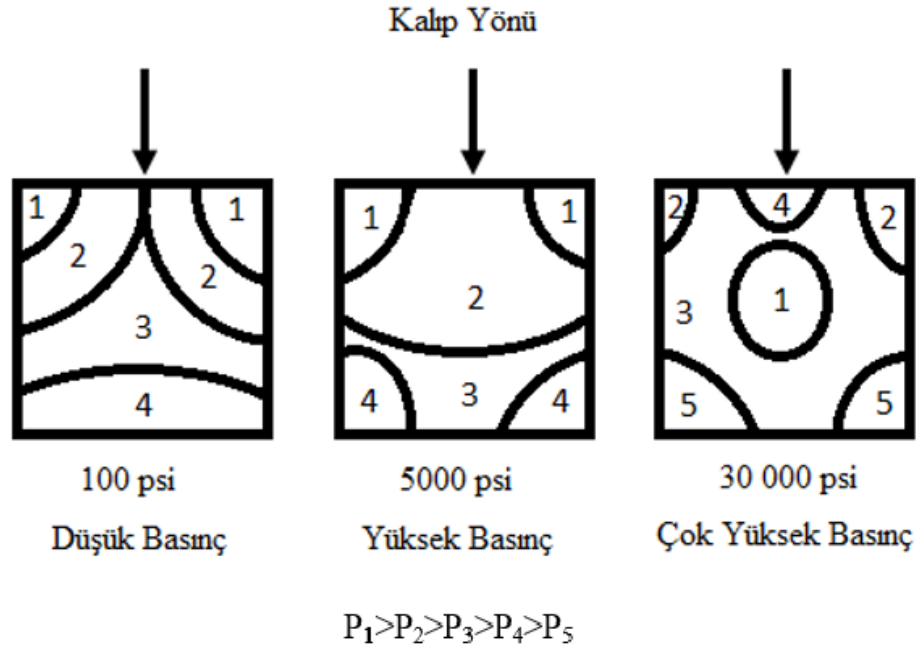
Plastikleştirilmiş bir bağlayıcı kalıptan çıkarılma basıncını 5-10 kat azaltabilir. Çıkarılma basıncı kalıp duvar yağlayıcısı kullanılarak daha da azaltabilir. Ancak çıkarılma basıncı kalıp duvarlarının yüzeyi düzgün değil ise artar.

Zayıf şekilde birbirine bağlanmış olan toz parçacıkları ve büyük gözenekler ürünün mukavemetini azaltır. Ürünler kalıptan çıkarıldıktan sonra da darbe enerjilerini kırılmadan absorblayabilmelidirler. Her ne kadar ürünün çekme dayanımını azaltsa da bağlayıcıya ilave edilen az miktardaki plastikleştirici, ürünün darbe direncini artırır ve toz parçacıklarının birbirlerine bağlanmasına katkıda bulunur. Presleme basıncı plastikleştirilmiş toz parçacıklarının mukavemetini artırır.

2.4.4. Sinterleme sırasında basınç farklılıkları

Ürün ve kalıp arasında oluşan sürtünme sonucu sıkıştırmada gerilim ve yoğunluk farklılıkları oluşur. Belirli kalıp seti ve tozlar için tek yönlü preslerde kritik bir durum meydana gelir ve bu durumun altında dikkate alınacak bir yoğunlaşma görülmez. Presleme anında toz akışı genel olarak dikey yönde olmasına rağmen yatay akışta mevcuttur.

Sinterleme sırasında kalıp duvarlarındaki sürtünmeden dolayı presleme süresince basınç ve bu nedenle de yoğunluk farklılıkları ortaya çıkar.



Şekil 2.2. Basınç farklılıkları karşısındaki yoğunluk farklılıkları (Kaygun 2006)

Sıvının Buharlaştırılması

Gözenekli bir üründen sıvının buharlaştırılarak giderilmesine kurutma denir. Kurutma esnasında sıvıların buharlaştırılması fazla enerji gerektirdiği için kurutma verimi önemlidir. Buna ilaveten değişken büzülme ve buharlaşma sonucu meydana gelen gaz basıncı, malzemelerde hatalara neden olabileceği için kurutma dikkatlice kontrol edilerek yapılmalıdır.

- Nem miktarı (kuru baz) = $[(\text{yaş ağırlık} - \text{kuru ağırlık}) / \text{kuru ağırlık}] \times 100$
- Nem miktarı (yaş baz) = $[(\text{yaş ağırlık} - \text{kuru ağırlık}) / \text{yaş ağırlık}] \times 100$

Daha kolay anlaşılması için, büzülme gibi kurutma sırasında oluşan fiziksel değişikliklerin nem miktarı kuru baz ile ifade edilir. Kurutmada; hava hızı, nem miktarı

ve sıcaklığın sabit olduğu bir ortam içinde yaşı granüllerin kuruması iki veya üç aşamadan oluşur (Kaygun 2006).

Boyut Değişimi

Preslenme basıncının olması gerektiğinden yüksek ya da düşük olduğu durumlarda ve şekillendirme için kullanılan kalıp ve çerçeve ölçüleri hatalı olduğunda boyut farklılıkları ortaya çıkar. Örneğin; pres basıncının gereğinden yüksek olması durumunda çamur üzerindeki sıkıştırma etkisini çok fazla arttırarak yapıdaki gözenek miktarını azaltıp pişme esnasında çekmenin düşürölmesi sonucu ebatların büyümesine yol açar. Aksi durumda ise sıkıştırma gerektiğinden az olunca gözenek miktarı artarak pişme esnasında normalden fazla çekerek boyutların azalmasına neden olur. Ayrıca pres basıncının kalıp üzerine homojen dağılmaması da malzemenin boyutunun düşmesine neden olur. Buna çözüm olarak son zamanlarda yağlı kalıp olarak nitelendirilen üst kalıplar kullanılarak homojen basınç dağılımı sağlanır. Kalıp hesaplarının ve pres basıncının kontrol edilerek düzenlenmesi gerekir. Preslerdeki yağ düzeyi, azot balonlarının düzenli periyotlarda ve basınç farklılıklarının olup olmadığı sürekli kontrol edilmelidir. Deformasyona uğrayan kalıp ve çerçeve zamanında tespit edilerek değiştirilmelidir.

Yüzey Pürüzlölüğü

Yüzeyde meydana gelen dalga, göçük, perde ve çerçeve gibi hatalar yüzey bozukluğunu içerir. Yüzey bozukluğu homojen presleme yapılmaması ve preslerde kullanılan kalıpların yüzeylerinin düzgün olmaması sonucu meydana gelir.

Gözenek Oluşumu

Preslerdeki pres basıncı gereğinden fazla yükseltirise sıkıştırma esnasında gaz çıkışlarına engel olarak delik ve gözenek oluşumuna neden olur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Erzurum Pasinler ilçesinde çıkarılan pomza ve perlitin seramik endüstrisinde kullanımının araştırılmasına yönelik yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında, 400 mikron altı tane boyutuna öğütülen pomza ve perlit karışımına, soğuk izostatik pres etkisinde, hızlı pişirme ve soğutma şeklinde uygulanan, sinterleme davranışları incelenmiştir.

Bu kapsamda deneysel çalışmalar beş aşamada ilerlemiştir.

Çalışmaların birinci aşamasında, KaleBlok bims firmasından temin edildiği hali ile farklı boyutlara sahip olan pomza ve perlit numunelerinin boyut dağılımları ve öğütme davranışları incelenmiştir.

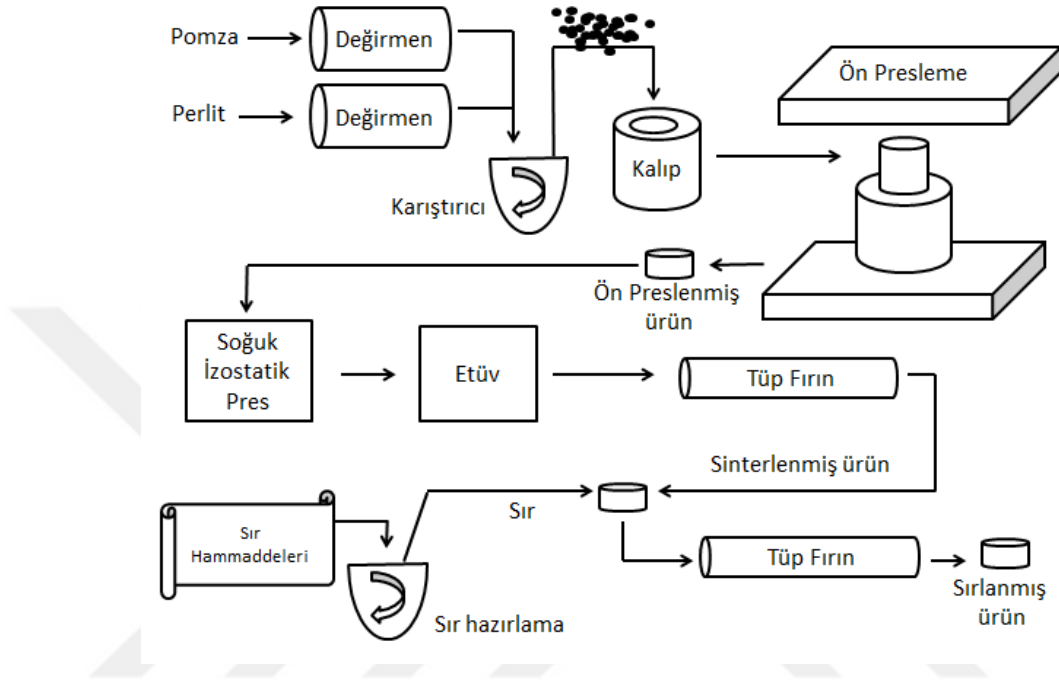
İkinci aşamada uygun öğütme boyutları altına indirilen toz halindeki pomza ve perlit numunelerinin farklı oranlarda harmanlaması, üçüncü aşamada harmanlanmış numunenin soğuk izostatik pres şartlarında preslenerek bulk numune halinde elde edilmesi, dördüncü aşamada elde edilen bulk numunenin sinterlenmesi son aşamada ise sinterlenmiş numunenin sır ile kaplanması çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda pomza ve perlitten oluşan parça numunelerine ait en iyi sinterleme sıcaklığı ve süresi belirlenirken aynı zamanda pomzaya farklı oranlarda ilave edilen perlitinde etkisi incelenmiştir. Bunun yanı sıra nihai şartlarda üretilen numunenin sırlanma davranışı incelenmiştir.

3.1. Uygulanan Yöntem ve Kullanılan Cihazlar

Pomza ve perlitten oluşan seramik bulk malzemesinin sinterleme davranışının belirlenebilmesi amacı ile yapılan deneysel çalışmaların akım şeması Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Deneysel çalışmalar esnasında Atatürk Üniversitesi Mühendislik

Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında mevcut olan cihazlar kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmalara ait uygulanan genel akım şeması

Şekil 3.1’den de görüldüğü üzere öncelikle firmadan temin edilmiş olan perlit ve pomza numunelerin öğütülmesi ve öğütülmüş hammaddelerin homojen karışımlarını sağlamak amacı ile Şekil 3.2’de görülen Union Process marka Atritör cihazı kullanılmıştır. Öğütme aşamasında 1/8-1/4 inç aralığında seramik bilyeler kullanıldı. Bilye/Hammadde oranı 3/1 oranında ve frekans 60 Hz çalışma şartlarında sabit tutuldu. Cihaz içerisine hazne hacminin 1/3’i oranında hammadde konularak öğütme işlemi gerçekleştirildi. Pomza hammaddesi 45 dakika ve 2,5 saat, perlit hammaddesi ise 5 saat boyunca Atritör cihazı içerisinde öğütülerek, öğütme işlemi sonucunda en uygun öğütme süresi tespit edildi.



Şekil 3.2. Hammaddelerin öğütülmesi ve öğütülmüş hammaddelerin homojen olarak karışımını sağlamak amacı ile kullanılan Union Process marka atritör cihazı

Öğütme işlemi sonucunda tane boyutu 400 mikron altına indirilen pomza ana matrisi içerisine %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında perlit ilave edilerek toz numunelerinin ön presleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.3’de gösterilen 150 mm piston strok mesafesine sahip 5 tonluk MSE marka manuel pres cihazında **3 x4 (w x h)** ebadındaki kalıp içerisinde ön şekillendirmeye tabi tutulan numuneler daha sonra nihai presleme işlemi için Şekil 3.4’de gösterilen *Ultra High Pressure MSE CIP Series* marka 3000 bar basınç kapasiteli ve hazne derinliği 200 mm olan soğuk izostatik presleme cihazı içerisinde oda sıcaklığında, üç eksenle, numunenin her noktasına 3000 bar eş basınç uygulanarak 3 dakika boyunca soğuk izostatik presleme işlemine tabi tutulmuşlardır.



Şekil 3.3. Numunelerin ön preslemesinde kullanılan 150 mm piston strok mesafesine sahip 5 tonluk MSE marka manuel pres



Şekil 3.4. Numunelerin nihai preslemesinde kullanılan *Ultra High Pressure MSE CIP Series* marka soğuk izostatik pres

Presleme işlemi sonucunda 3x1 cm boyutlarına sahip dairesel numuneler elde edilmiştir. Presleme esnasında kullanılan kalıp ve presleme sonucu elde edilen temsili numune Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Presleme esnasında kullanılan kalıp ve preslenmiş numune

Elde edilen bulk numuneler Şekil 3.6’da gösterilen Elektromag marka etüvde 60 dakika boyunca 200°C sıcaklıkta kurutulduktan sonra Şekil 3.7’de gösterilen 1500°C’lik Protherm marka fırın içerisinde sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme işleminde 1050°C, 1150°C ve 1250°C olmak üzere üç farklı sıcaklık aralığı seçilmiştir.



Şekil 3.6. Numunelerin kurutulması aşamasında kullanılan Elektromag marka etüv



Şekil 3.7. Sinterleme aşamasında kullanılan 1500°C'lik *Protherm* marka tüp fırın

Her bir sıcaklık aralığında numuneler 10 dakika, 20 dakika ve 30 dakika bekletilerek elde edilen her bir ürünün SEM ve XRD analizleri yapılmıştır.

Analizler sonucunda elde edilen en iyi sinterleme davranışına sahip olan numuneler, sır tutup tutmadığının belirlenebilmesi amacı ile sırlanmıştır.

Piyasadan temin edilen sır hammaddeleri %70 katı şartlarında hazırlanarak, sır hazırlanmış ve numune yüzeyi sırlanarak elde edilen ürün tekrar tüp fırın içerisinde 1250°C derecede pişirilmiştir. Nihai olarak elde edilen ürüne ait Sem ve XRD analizleri yapılmıştır.

3.2. Analiz Yöntemleri

Deneyisel çalışmalar sonucunda elde edilen numunelerin analizleri Atatürk Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında mevcut olan cihazlar ve Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma Merkezi (DAYTAM)

Laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney numunelerine uygulanan analizler ile ilgili genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Tane boyut dağılım oranlarının tespiti

Seramik hammaddelerin tane boyutlarının dağılım oranlarının tespiti için yapılan deneyler zincirinden oluşan bir seri işlemdir. Seramik teknolojisinde önemli bir rol oynayan hammadde ve sırların tane boyutlarının tespitiyle öğütme ve/veya zenginleştirme şartlarının ve sonuçları dolayısıyla kullanılacak olan teknolojilerin tespiti ve işleme şartlarının uydurulması bakımından önemli ve sık uygulanan bir deneydir. Elek analizi kuru ve yaş olarak iki şekilde yapılır. Alümina, feldspat, kuvars ve benzeri plastik olmayan seramik hammaddelerin tane iriliğinin belirlenmesinde kuru elek analizi, suda dağılan hammaddelerin tane irilik testlerinde de yaş elek analizi yapılır.

Deneyler de kullanılan hammaddelerin tane boyut dağılım oranı Şekil 3.8’de gösterilen *Retsch AS 200* marka titreşimli eleme cihazı kullanılarak kuru elek analizi yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemle hem pomza ve perlit numunelerinin ham hallerinin hem de öğütme işlemi sonucu elde edilen ürünlerin boyut dağılım oranları belirlenmiştir.

Uygulama adımları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır.

- 105°C’de kurutulmuş ve 0,1 gr hassasiyetinde tartılmış 100 gr numune alınır,
- Testte kullanılacak eleklerin en incesi altta, en kalını üstte olacak şekilde sırayla dizilir,
- En üstteki eleğe tartılmış olan numune boşaltılır,
- Elek sarsıcısında birkaç dakika sarsılır,
- Her eleğin üstünde kalan bakiye tartılır,
- Veriler çizelgeye aktarılarak elek altı, elek üstü ve dağılım oranları belirlenir.



Şekil 3.8. Hammadde tane boyut dağılım oranlarının belirlenmesinde kullanılan *Retsch AS 200* marka titreşimli elek cihazı

3.2.2. Pişme küçülmesi oranı ölçüm deneyi

Seramik malzemelerin pişirilme işlemleri esnasında uygulanan ısı işlemler sonucunda malzemede boyutsal olarak 2 türlü küçülmenin olması muhtemeldir. Bunlardan birincisi kuru küçülme ikincisi ise pişme küçülmesidir.

Kuru Küçülme Oranı: Kurutma prosesinde gerçekleşecek küçülme oranını tespit etmek ve ona bağlı olarak kurutma kinetiğini belirlemek amacı ile boyutsal farklılıkların ölçümü ve ölçüm sonuçlarının formülasyonu sonucu elde edilir. Kuru küçülme oranı

yüksek çıkan numunelerde, numune kurutulurken hasar görmesin diye düşük kurutma hızlarının uygulanması gerekir. Uygulama adımları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır.

- Preslenmiş numunenin üzerine doğrusal bir çizgi çekilir,
- Numune sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulur,
- Sabit tartım ağırlığına gelen numunedeki doğrusal çizgi tekrar ölçülür,
- Aşağıdaki formüle göre % kuru küçülme değeri hesaplanır.

$$\% \text{ Kuru Küçülme} = \frac{l_n - l_k}{l_n} \times 100$$

l_n : Preslenmiş numunedeki doğrusal çizgi uzunluğu

l_k : Kurutma sonrası doğrusal çizgi uzunluğu

Pişme Küçülmesi: Seramik ürünler pişme prosesi esnasında belirli oranlarda küçülme davranışları gösterirler. Küçülme davranışına bağlı olarak pişirme prosesinin ayarlanması gerekir. Yüksek oranda küçülme davranışı gösteren ürünlerin yavaş ısıtılmaları gerekir. Aksi takdirde deformasyonlar ve çatlaklar meydana gelebilir.

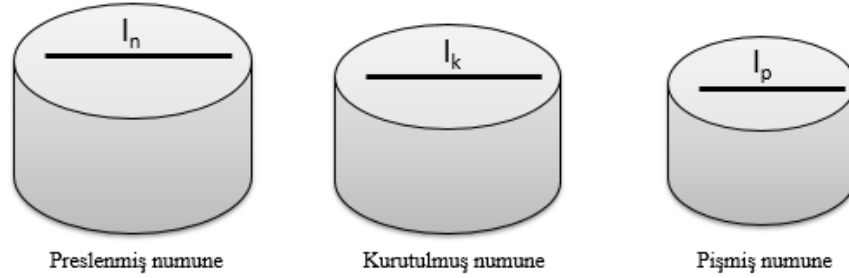
Pişme küçülmesi tayini için kurutulan numuneler numune pişirim sıcaklığında pişirilerek pişirim sonrası doğrusal çizgi tekrar ölçülür ve aşağıdaki formüle göre pişme küçülmesi hesaplanır,

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = \frac{l_k - l_p}{l_k} \times 100$$

l_k : Kurutma sonrası doğrusal çizgi uzunluğu

l_p : Pişme sonrası doğrusal çizgi uzunluğu

Küçülme oranının tayini için uygulanan yöntem Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Pişme küçülmesi oranını belirlemek için numune yüzeyine çizilen çizgi uzunluğunun değişimi

3.2.3. Ateş zayılatı oranı ölçüm deneyi

Sıcaklığa bağlı olarak hammaddelerdeki ağırlık kayıplarını tespit etmek amacı ile uygulanan bir deney yöntemidir.

Genellikle kil ve kaolen türü hammaddelere uygulanır. Kil mineralindeki kristal suyu sıcaklığın etkisiyle buharlaşır ve ağırlık kaybına neden olur. Numunelerin bileşiminde (kompozisyonda) karbonat türü içeriklerin bulunması CO₂ çıkışına neden olmaktadır. Karbon içerikli organik safsızlıklar (kömür, ağaç parçacıkları vb.) gibi bileşenler sıcaklığın etkisiyle yanarak ağırlık kaybına neden olmaktadır.

Uygulama adımları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır.

- Preslenmiş numune yüzey neminin atılması amacıyla etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutma işlemine tabi tutulur,
- Kuru ağırlık tespit edilir,
- Kurutulan numune pişirim sıcaklığında pişirilir,
- Pişirilmiş olan numune soğuduktan sonra tartılır.
- Aşağıdaki formüle göre % Ateş Zayılatı değeri hesaplanır.

$$\%Ateş Zayılatı = \frac{M_k - M_p}{M_k} \times 100$$

M_k = Numunenin kurutulduktan sonraki ağırlığı

M_p = Numunenin pişirildikten sonraki ağırlığı

3.2.4. Su emme oranı ölçüm deneyi

Seramik ürünler genelde yapılarında katı fazların yanı sıra gözenek de ihtiva etmektedir. Klasik seramik mamuller ve refrakter ürünler genelde gözeneklidir. Gözenekler 3 şekilde değerlendirilmektedir.

1. Kapalı Gözenekler (geçirgen değil)
2. Torba şeklinde gözenekler (dışarıya bağlantılı)
3. Kanal şeklinde gözenekler (geçirgen)

Seramik ürünlerdeki kapalı gözenekler dışındaki diğer gözenekleri tespit etmek için söz konusu numunelerin su emme kapasiteleri tespit edilmelidir. Yani bir numunenin açık gözeneklilik durumu su emme oranıyla orantısal özellik göstermektedir. Su emme kabiliyetini tespit etmek suretiyle bir numunedeki diğer bir takım teknik özellikleri yorumlayabiliriz.

Aynı bileşime sahip değişik numuneler su emme oranları baz alınarak karşılaştırıldığında su emme oranları yüksek olan numunelerin düşük mukavemet değerlerine sahip olmaları muhtemeldir.

Ayrıca bu deney dona karşı dayanım bakımından da oldukça önemlidir. Sonuç olarak bu deney ile üretilen malzemenin kalitesi ölçülür.

Su emme kabiliyeti ile sinterleme hakkında bir fikir yürütmek de mümkündür. Su emme oranının düşük olması numunenin iyi sinterlenmiş olmasına bir işarettir. Buna karşın fazla por ihtiva eden bir numune iyi sinterlenmemiş demektir. Prensip olarak sıcaklık artışına bağlı olarak su emme oranı düşüş gösterir. Ancak, optimum pişirim sıcaklıklarının aşılmasıyla tekrar gözenekli bir yapı oluşumu söz konusu olabilir.

Uygulama adımları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır.

- Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulur,
- Kurutulan numuneler tartılarak alınan tartım değerleri kuru ağırlık olarak kaydedilir,
- Daha sonra numunelerin tamamı su içerisinde kalmak şartı ile 3 saat suda kaynatılır,
- Kaynatma işlemi sona erdikten sonra aynı su içerisinde 16 saat bekletilir,
- Daha sonra numuneler sudan çıkarılıp tekrar tartılır,
- Aşağıdaki formüle göre % su emme değerleri hesaplanır.

$$\% Su Emme = \frac{M_s - M_k}{M_s} \times 100$$

M_k: Numunenin kurutulduktan sonraki ağırlığı

M_s: Numunenin sudan çıktıktan sonraki ağırlığı

3.2.5. Asit ve baza karşı dayanım deneyi

Seramik malzemelerin sırlı yüzeyinin dayanıklılığını ölçmek amacı ile uygulanır. Malzeme özellikleri, malzeme performansı, fabrika verimliliği ve ham maddelerin teknik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile üretim döngüsünün her kademesinde yarı bitmiş ürünler üzerinde düzenli şekilde uygulanması gereken bir test yöntemidir.

Uygulama adımları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır:

- Deney numuneleri 150 x 8'lik bir behere konulur.
- Beherin yan tarafına sıvı yüzeyinin değişip değişmediğini anlayabilmek için ince bir şerit halinde milimetrik kağıt yapıştırılır.
- Behere %18' lik hidroklorik asit (HCl) doldurularak sıvı seviyesi kaydedilir.
- Hazırlanan deney düzeneği 20 ± 5 °C sıcaklıktaki bir ortamda bekletilir ve her gün bir kez çözelti içeren beher dikkatli ve hafif bir şekilde çalkalanır.
- Her gün sıvı miktarının değişip değişmediği de kontrol edilerek 4 gün bekletilir.
- 4. günün sonunda beherdeki asit dökülür ve tekrar %18'lik hidroklorik asit çözeltisi aynı ortama eklenerek 3 gün daha bekletilir.
- Sonuç olarak toplam 7 gün deney numuneleri asit çözeltisi içerisinde kalmış olur.
- 7. gün sonunda deney numuneleri beherden çıkarılarak metil alkol ile yıkanıp temizlenerek incelenir.
- Numune yüzeyinde ve asit çözeltisinde herhangi bir değişiklik olup olmadığına ve numune yüzeyinin renk ve parlaklık açısından bir değişme uğrayıp uğramadığını bakılır.
- Baza dayanım testi de aynı şekilde ve %18'lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile yapılır.

3.2.6. Yoğunluk ölçümü

Bir ham maddede görülen ve yoğunluktaki farklılıktan anlaşılan değişim, mamul ürünün özelliğine veya kalitesine büyük zarar verebilir. Dolayısıyla ham maddelerde yoğunluk ölçümü malzemelerin saflığını doğrulamak için kullanılabilir. Bir maddeye daha ucuz bir alternatif madde karıştırılmışsa, bileşik maddenin ölçülen yoğunluğu saf maddeninkinden farklı çıkar.

Toz numunelerin yoğunlukları piknometre ile ölçülmüştür. Bulk malzemelerin yoğunluk ölçümlerinde ise Arşimet prensibinden faydalanılmıştır.

Piknometre Yöntemi; Piknometre ağzında kılcal oluklu camdan bir başlık yerleştirilmiş küçük bir balondur. Piknometre ile yoğunluk saptanırken hidratlanmayan örnekler için su; hidratlanan örnekler için ise genellikle alkol kullanılmaktadır.

Uygulama adımları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır:

- Gerçek yoğunluğu belirlenecek malzemeden alınan temsili örnek 0,5 mm'den daha ince olmak üzere (genelde -200 µm) öğütülür,
- Örnekten 10-20 g kadar (piknometrenin 1/4 ü dolacak şekilde) örnek alınır ve tartım yoluyla kuru ağırlığı belirlenir,
- Gerçek yoğunluk belirlenmesi için kullanılacak piknometre kılcal başlıkla birlikte önce 25°C de kurutulur ve tartılarak ağırlığı hesaplanır, (A)
- İçine 10-20 g kadar kuru örnek konur. Tartılarak ağırlığı belirlenir, (B)
- Sonra su ile yavaşça doldurulur ve aralıklı olarak çalkalanarak taneler arasında hava kabarcıklarının kalmaması sağlanır.
- Sonra kılcal başlıkla birlikte 25°C de kurutulup ağırlığı belirlenir, (C)
- Piknometre boşaltılıp içindeki nemi kurutulur ve sonra su ile doldurulur ve aynı sıcaklıkta kurutulup tartılarak ağırlığı belirlenir, (D)
- Aşağıdaki formüle göre görünür yoğunluk değeri hesaplanır.

$$\text{Görünür Yoğunluk} = \frac{(B - A)}{(D - A) - (C - B)} \times \rho$$

Arşimet'in Prensibi; kısmen veya tümüyle bir sıvıya batırılan bir madde kendisini yukarı doğru iten bir kaldırma kuvvetiyle karşılaşır. Bu kuvvetin büyüklüğü, maddenin yerine geçtiği sıvının ağırlığına eşdeğerdir.

Uygulama adımları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır:

- Katı madde önce havada tartılır, (A)
- Sonra yoğunluğu bilinen yardımcı bir sıvıda tartılır, (B)
- Aşağıdaki formüle göre katı maddenin yoğunluğu (ρ) hesaplanır.

$$\rho = \frac{A}{A - B} (\rho_o - \rho_L) + \rho_L$$

ρ = Numunenin yoğunluğu

A = Numunenin havadaki ağırlığı

B = Numunenin yardımcı sıvıdaki ağırlığı

ρ_o = Yardımcı sıvının yoğunluğu

ρ_L = Havanın yoğunluğu

Sıvının sıcaklığı da dikkate alınmalıdır, çünkü her °C'de 0,001-0,1 büyüklük sırasıyla yoğunlukta değişikliklere neden olur ve bunun etkisi sonucun üçüncü ondalık basamağında görülebilir.

3.2.7. Pişme rengi

Üretilecek olan ürünün rengine bağlı olarak kullanılan hammaddelerin pişirim işleminden sonraki renkleri önem taşımaktadır.

Hammaddeye veya nihai ürüne ilk uygulanan testlerden birisi olan bu test sonucunda pişme rengi uygun olan hammaddeler üretimde tercih edilir. Pişme rengi uygun olmayan, üretimi etkileyecek farklılıklarda renklere sahip olan hammaddeler

kullanılmamalıdır. Demir oksit gibi safsızlıkların pişirim sonrası renk değişimine sebep olduğu bilinmektedir.

Renk ölçüm metotlarından en yaygın kullanılanı ve en popüler L*a*b* metodudur. Bu renk aralığında, L* açıklığı/koyuluğu gösterir ve a* ve b* kromatiklik koordinatlarıdır. +a* yönde kırmızı, -a* yönde yeşil, +b* yönde sarı ve -b* yönde ise mavidir. Merkez akromatiklerdir; a* ve b* değerleri artarken ve merkezden uzaklaşarak hareket ederken, rengin canlılığı da artar.

3.2.8. Mikro sertlik ölçümü

Seramiklerin en çok ölçülmesi istenilen mekanik özelliği muhtemelen sertlikleridir ve bilinen sert malzemeler bu gruba aittir.

Seramik malzemeler, kırılman ve çatlamaya son derece duyarlı olduklarından sertlik ölçme ucunun seramik yüzeyine batmaya zorlanması yüzeyde aşırı çatlak oluşumuna ve dolayısıyla da sertliğin yanlış ölçülmesine yol açacaktır. Bu sebeple küresel sertlik ölçme uçları (Rockwell ve Brinell testleri) seramikler için kullanılamaz. Seramiklerin sertlikleri piramit formundaki uçların kullanıldığı Vickers ve Knoop teknikleri ile ölçülür. Çok kırılman seramiklerde Knoop daha çok tercih edilir.

Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzeme parçasının yüzeyine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında daldırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir.

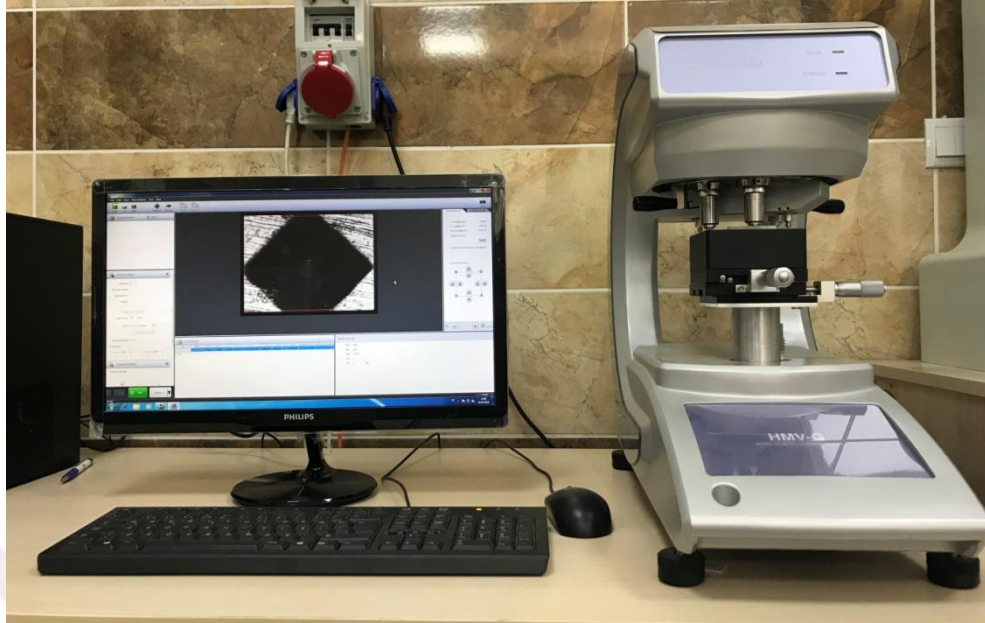
Vickers sertlik değeri piramit şeklindeki ucun belirli bir yük altında ve belirli bir süre uygulanması ile malzeme yüzeyinde meydana getirdiği izin büyüklüğü ile ilgili bir değerdir.

Meydana gelen iz taban köşegeni (d) olan kare bir piramittir ve tepe açısı ucun tepe açısının aynısıdır (136°). Vickers sertlik değeri, kg olarak ifade edilen deney yükünün mm^2 olarak ifade edilen iz alanına bölümüdür.

Deneyde dikkat edilmesi gereken hususlar arasında aşağıdakiler sayılabilir;

- Yük darbesiz olarak uygulanmalıdır.
- Numune yüzeyi parlak ve düzgün olmalıdır.
- Elmas uç darbeden ve çarpmadan korunmalıdır.
- Numune üzerinde kalan izin merkezinin parça kenarına veya bir diğer izin kenarına olan uzaklığı en az 3d kadar olmalıdır.
- Numune kalınlığı iz derinliğinin en az 10 katı olmalıdır.
- Piramit uç P yükü ile deney parçasına düşey olarak batırılmalı, iz köşegenleri 0,002 mm hassaslıkla ölçülmelidir.

Deney numunelerimize ait sertlik ölçümleri Şekil 3.10'da gösterilen Shimadzu HMV-G marka sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.10. Numunelerin mikro sertlik ölçümlerinin yapıldığı Shimadzu HMV-G marka Vickers sertlik ölçüm cihazı

3.2.9. X-Işınları kırınımı (XRD)

X-ışınları kırınım yöntemi kütle veya toz halindeki malzemelerin, kristalin malzemelerin karakterizasyonunda kullanılan temel tekniklerden biridir.

Numune üzerine gönderilen dalga boyu bilinen x-ışınları farklı açılarda Bragg kanununa göre malzemedeki düzlemler tarafından kırınımına uğratılır. Bu yöntemle elde edilen paternler her bir faz için parmak izi niteliğinde olup, malzeme içerisinde bulunan fazların tayinini sağlar.

XRD ile analizde, malzeme yapısı (kristalin/ amorf), kristalin malzemeler için kalitatif mineralojik analiz, latis parametresinin hesaplanması, kristal yapısının belirlenmesi, nano malzemelerde tane boyutu ölçümü belirlenebilecek özelliklerdir.

Hammaddelerin, pişmiş ve pişmemiş seramik bünyelerin, sırların ve diğer malzemelerin bünyesinde bulunan mineral bileşiklerinin kalitatif ve kantitatif analizi için kullanılmaktadır.

Sinterleme sonrasında oluşan kristal fazların türünü tespit etmek, numunelerin farklı sıcaklıklarda ve aynı sıcaklıklarda sinterlenmesi sonucunda kristal gelişimini incelemek ve kristal miktarını relatif olarak (pik şiddetlerinden) karşılaştırmak için XRD ile kalitatif faz analizleri yapılmıştır.

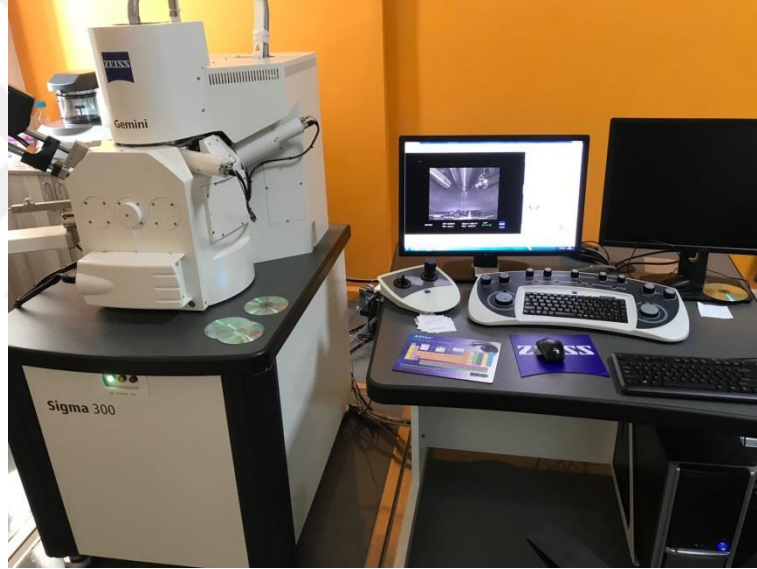
XRD analizleri Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma Merkezi (DAYTAM) da bulunan Şekil 3.11’de gösterilen Panalytical marka X-ışınları difraktometre cihazı ile Cu tüpüne 45 kV gerilim ve 40 mA akım uygulanarak elde edilen Cu K α ışınımı ($\lambda=1.54060$ Å) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numune yüzeyleri 20/dk tarama hızı ile 2 θ açısıyla taranarak ölçümler tamamlanmıştır.



Şekil 3.11. Numunelerin XRD analizlerinin alındığı Panalytical marka XRD analiz cihazı

3.2.10. Taramalı elektron mikroskobu (SEM ve EDS)

Numuneler pişirildikten sonra oluşan kristallerin morfolojisi ve kristal miktarını gözlemlemek için Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma Merkezi (DAYTAM) da bulunan Şekil 3.12’de gösterilen Zeiss marka Sigma 300 modeli taramalı elektron mikroskobu 15 kV’da kullanılmıştır. Numunede meydana gelen kristallerin kimyasal analizleri için ise mikroskoba bağlı olarak çalışan enerji saçınımlı X-ışınları spektrometresinden (EDX) yararlanılmıştır. Numuneler SEM öncesi altın kaplama cihazında kaplanmıştır.



Şekil 3.12. Numunelerin Sem ve EDS analizlerinin alındığı Zeiss marka Sigma 300 modeli taramalı elektron mikroskobu

3.2.11. Yüzey alanı ölçümü (BET)

Yüzey alanı ve gözeneklilik, katı fazlı gözenekli malzemelerin kalitesini ve karakterini etkileyen fiziksel özelliklerdir. Aynı ağırlığa ve hacme sahip olan malzemeler, yüzey aktivitesi ve adsorpsiyon hacminde sergiledikleri spesifik yüzey alanına göre farklılık gösterebilir.

Üretim sürecinde meydana gelen herhangi bir değişiklik, gözenekliliği ve yüzey alanını etkileyebilir. Bu değişiklikler, istenen performansta beklenmeyen bir değişikliğe yol açabilir.

Yüzey alanı ölçümü, katalizörler, zeolitler, bataryalar, emiciler, yapay kemik, farmasötikler, seramikler, katkı üretimi için metal tozları ve birçok farklı uygulama ve endüstri ile birlikte birçok sektörde kullanılan önemli bir analizdir.

Katı veya toz numunelerde yüzey alanı ölçümleri, mikro, mezo ve makro gözenek boyutu ve gözenek boyut dağılımı fiziksel adsorpsiyon yöntemiyle düşük basınçlarda ve yüksek çözünürlükte yüzey alanı ölçüm cihazı (BET) ile yapılır.

Deney numunelerimize ait BET yüzey alanı, mikro gözenek boyut dağılımı gibi yüzey özelliklerini belirlemeye yönelik ölçümler Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma Merkezi (DAYTAM) da bulunan micromeritics 3 flex 3 portlu BET yüzey alanı ve mikro gözenek boyutu ölçüm cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Numunelerin BET analizlerinin yapıldığı Micromeritics 3 flex 3 portlu BET yüzey alanı ve mikro gözenek boyutu ölçüm cihazı

3.2.12. Yüzey tomografisi (CT Scan)

Morfoloji inceleme metotları arasında en yaygın uygulama bilgisayarlı mikro tomografik (Mikro-CT) taramadır. Mikro-CT metodu ile belirli bir çözünürlüğe sahip 3 boyutlu piksel görünümü elde edilebilir. Bu görüntünün çeşitli paket programlar ile 3 boyutlu mesh yapıya aktarılması sayesinde mekanik davranışlarının gerçeğe yakın incelenmesi ve günümüz mühendislik problem çözüm tekniklerinde aktif kullanımı sağlanmaktadır.

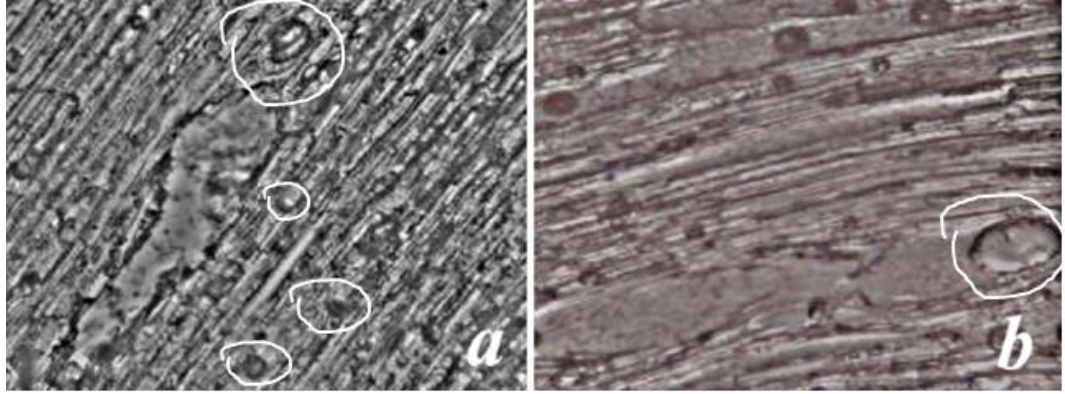
Örnek numune üzerinden mikro-tomografi ölçümleri ile tahribatsız olarak gözenek geometrilerinin istatistiksel tanımlaması yapılarak ihtiyaç duyulan yapısal özelliklerin ortaya konulması ise daha fazla veri üzerinden analiz sonucu verdiği için diğer yöntemlere göre daha üstündür. Bu sayede geleneksel olarak nitelenebilecek metotlara göre daha etkin topolojik ve morfolojik tanımlama imkanı doğmuştur (Ertürk, 2018).

Deney numunelerimize ait CT Scan taramalarında kabinli x-ışını radyoskopi cihazı olarak YXLON marka Y.MU2000 DCT modeli kullanılmıştır. Tarama işlemi sırasında 200 kV, 4 mA, 1 mm filtre ve 0,4 mm odaklama parametreleri kullanılmıştır.

3.3. Kullanılan hammadde

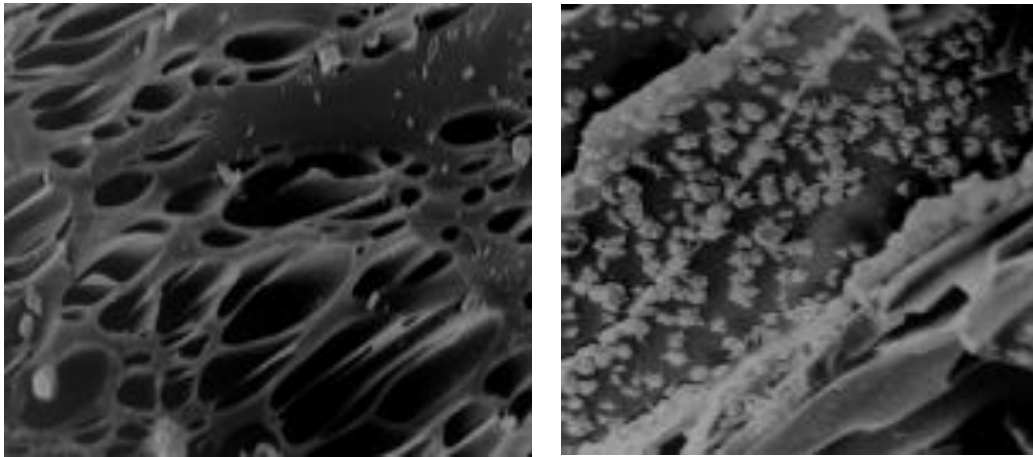
3.3.1. Hammaddenin yapısı

Erzurum'un Pasinler ilçesindeki KALEBLOKBİMS A.Ş.' ye ait ocaklardan temin edilen pomza agregasının önemli bir kısmı volkanik cam matrisinden ve boşluklardan meydana gelmiştir. Numuneler üzerinde yapılan mikroskobik incelemelerden elde edilen görüntüler Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.14. Kayaç yapısına ait a) Gözeneklilik b) Opak mineraller

Deneyisel çalışmalarda kullanılan pomza agregası, Şekil 3.14’de görüldüğü üzere boşluk yapıları yassı ve birbirine bağlantısız oldukça poroz bir yapıya sahip serbest kuvars kristalleri içermeyen bir yapıya sahiptir. Hamur içerisinde az miktarda opak mineraller içeren pomza agregalarının elde edildiği kayaç riyodasit özellikte bir kayaç olarak tanımlanabilmektedir.



Şekil 3.15. Tane boyutu -2+1 mm olan pomzaların taramalı elektron mikroskop görüntüsü (SEM)

Şekil 3.15’de, Sem görüntüsü alınan pomzanın iri boyutta düzensiz ve oval gözeneklere sahip olduğu, bunun yanı sıra camsı dokudaki amorf yapının içinde de küçük boyutlarda oluşmuş gözenekli yapıların olduğu görülmektedir.

3.3.2. Hammaddenin fiziksel özellikleri

Hammadde yoğunluk tayini

Pomza agregası ve perlit örneklerinin yoğunluk tayini, piknometre yöntemine göre yapılmış olup, deney sonuçları Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza agregasının özgül ağırlık tayini

Örnek No	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
1	2,29
2	2,56
3	2,23
4	2,64
5	2,44
6	2,38

Çizelge 3.2. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesinin özgül ağırlık tayini

Örnek No	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
1	2,21
2	2,35
3	2,13
4	2,18
5	2,25
6	2,30

Pomzanın özgül ağırlığı genellikle 2,1-2,7 gr/cm³ değerleri arasındadır. Perlit için ise bu aralık 2,2-2,4 gr/cm³ civarında seyretmektedir.

Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere, sonuçlar pomza ve perlit için bilinen özgül ağırlık değerlerine benzer bir seyir göstermektedir (Pomza için $2,42 \text{ gr/cm}^3$, Perlit için $2,24 \text{ gr/cm}^3$).

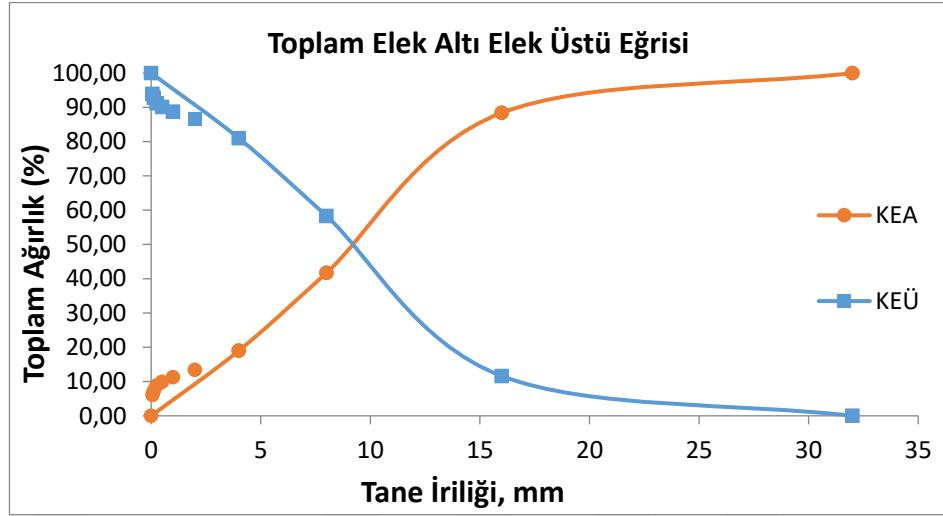
Hammaddenin tane boyut dağılım oranı

Farklı boyut aralığına sahip olan pomza ve perlit numunelerinin boyut dağılımları ve öğütme davranışlarının incelenmesi amacı ile numunelerden temsili olarak örnekler alınarak gerekli testler yapılmıştır.

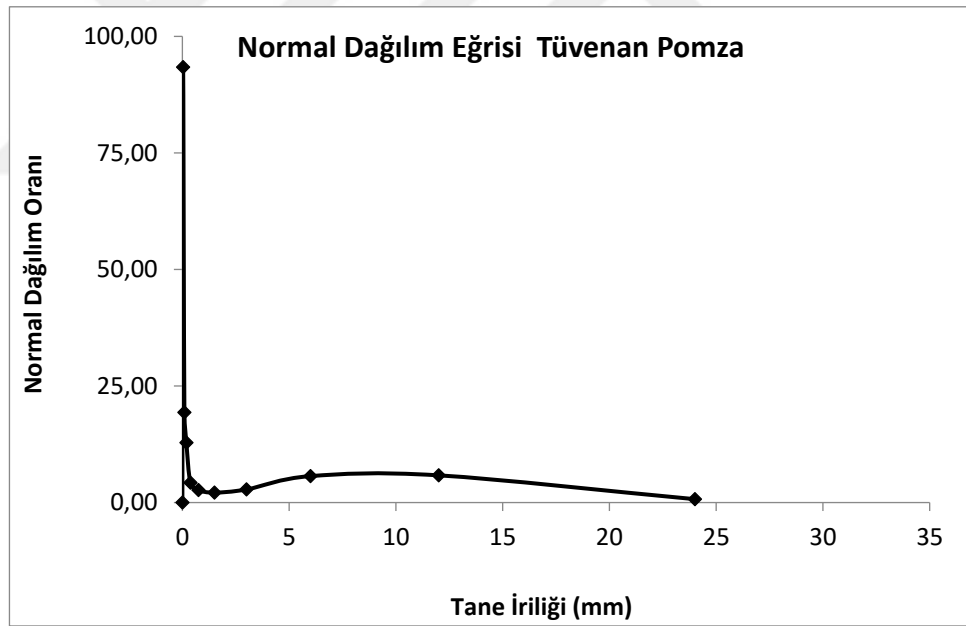
Elek analizi testleri RetschAS-200 marka titreşimli elekte yapılmış olup elde edilen elek analizi sonuçları pomza numunesi için Çizelge 3.3 ve Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesine ait elek analizi sonuçları

Elek Aralığı (mm)	Ağırlık (%)	Elek Üstü (%)	Elek Altı (%)	Δd (mm)	Normal Dağılım Oranı (%/mm)
-32+16	11,61	11,61	100,00	16,00	0,73
-16+8	46,70	58,30	88,39	8,00	5,84
-8+4	22,68	80,98	41,70	4,00	5,67
-4+2	5,63	86,61	19,02	2,00	2,81
-2+1	2,14	88,75	13,39	1,00	2,14
-1+0,5	1,34	90,09	11,25	0,50	2,68
-0,5+0,25	1,07	91,16	9,91	0,25	4,29
-0,25+0,125	1,61	92,77	8,84	0,13	12,86
-0,125+0,065	1,16	93,93	7,23	0,06	19,35
-0,07	6,07	100,00	6,07	0,07	93,41
TOPLAM	100,00				



Şekil 3.16. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesine ait elek altı ve elek üstü eğrileri



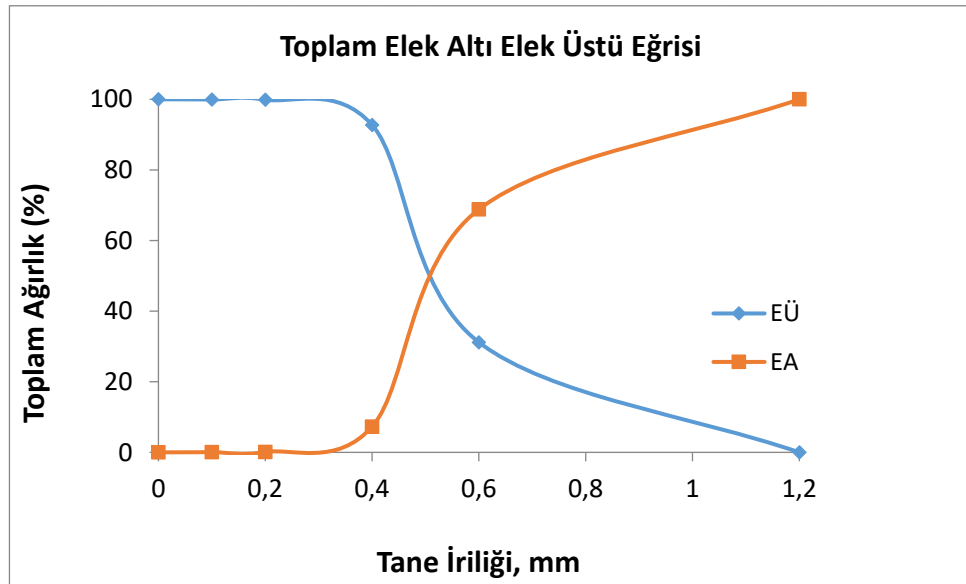
Şekil 3.17. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesine ait normal dağılım eğrisi

Şekil 3.16'da görüldüğü üzere tüvenan pomza numunesinin d_{80} boyutunun 4 mm olduğu, Şekil 3.17'de ise ürünlerin 2 mm altındaki boyut aralığında yığıldığı görülmektedir. 2 mm ve 32 mm boyut aralığında ikinci bir yığılma olmakla beraber miktarca oranı çok düşük seviyelerde kalmaktadır.

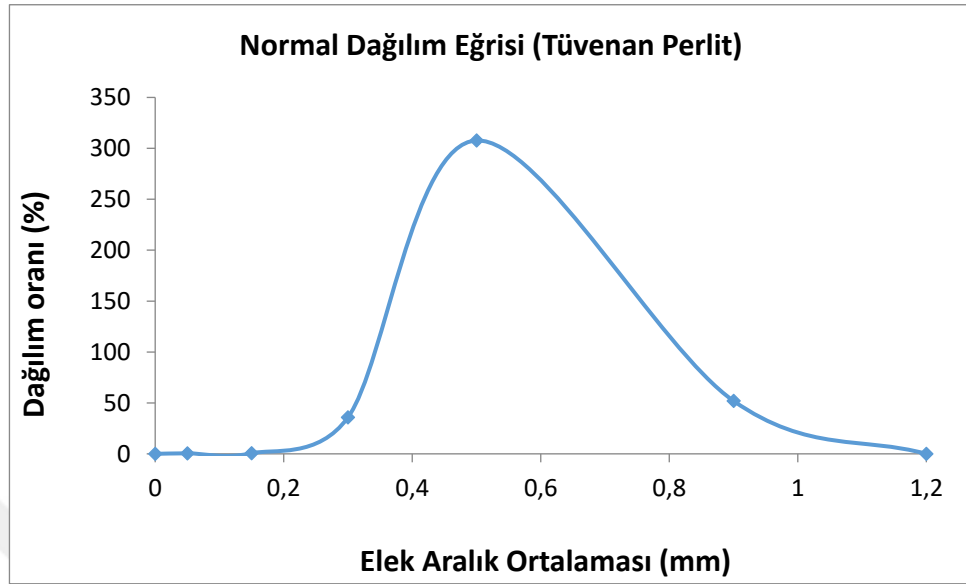
Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen tüvenan perlit numunesinin elek analizi sonuçları Çizelge 3.4 ve Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da verilmiştir.

Çizelge 3.4. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit elek analizi

Elek Aralığı (mm)	Ağırlık (%)	Elek Üstü (%)	Elek Altı (%)	Δd (mm)	Normal Dağılım Oranı (%/mm)
-1,2+0,6	31,17	31,17	100,00	0,60	51,96
-0,6+0,4	61,55	92,72	68,83	0,20	307,75
-0,4+0,2	7,17	99,89	7,28	0,20	35,84
-0,2+0,1	0,06	99,95	0,11	0,10	0,57
-0,1	0,05	100,00	0,05	0,10	0,51
TOPLAM	100				



Şekil 3.18. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen tüvenan perlitin elek altı ve elek üstü eğrileri



Şekil 3.19. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesine ait normal dağılım eğrisi

Şekil 3.16’da görüldüğü üzere tüvenan pomza numunesinin d80 boyutunun 0,42 mm olduğu, Şekil 3.17’de ise ürünlerin 0,2 mm ve 1,2 mm boyutları arasında yığıldığı görülmektedir.

3.3.3. Hammaddenin kimyasal özellikleri

Deneyisel çalışmalarda, Erzurum Pasinler ilçesinde bulunan KaleBlok bims firması tarafından çıkarılan pomza ve perlit numuneleri kullanılmıştır.

Hammaddenin XRF analizi

KaleBlok bims’ten temin edilen pomza ve perlit numunelerine ait örneklerin analizleri firma tarafından Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü’ne yaptırılmıştır. 105°C’de kurutulan numunelerden Philips marka Axions model XRF spektrometresinin IQ+ standartsız programı aracılığı ile elde edilen analiz sonuçları Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesine ait analiz sonuçları (%)

Bileşen	% Ağırlık	Bileşen	% Ağırlık
Na ₂ O	3,6	CaO	0,8
MgO	0,3	TiO ₂	0,2
Al ₂ O ₃	13,6	MnO	0,1
SiO ₂	70,5	Fe ₂ O ₃	1,9
P ₂ O ₅	0,1	Ateş Zayıyatı	4,3
K ₂ O	4,65		

Çizelge 3.6. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesine ait analiz sonuçları (%)

Bileşen	% Ağırlık	Bileşen	% Ağırlık
Na ₂ O	4,12	CaO	0,46
MgO	0,17	TiO ₂	0,08
Al ₂ O ₃	12,4	MnO	0,06
Bileşen	% Ağırlık	Bileşen	% Ağırlık
SiO ₂	72,7	Fe ₂ O ₃	1,73
P ₂ O ₅	<0,01	Ateş Zayıyatı	3,35
K ₂ O	4,85		

Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’da verilen sonuçlara bakıldığı zaman pomza ve perlit numunelerinin asidik karakterde olduğu ve geleneksel seramiklerin üretimi için gerekli olan oksitleri içermekle beraber aynı zamanda bünyesinde sır yapımında kullanılan hammaddelerin önemli bir kısmını da taşıdığı anlaşılmaktadır.

Sır bileşenleri

Sır yapımında kullanılan hammaddeler sır içerisindeki özelliklerine göre üç gruba ayrılırlar:

1. **Bazlar:** Kimyasal formülü RO ve R₂O. Ergitici olarak kullanılırlar. (PbO, CaO, ZnO, BaO, MgO, K₂O, Na₂O, Li₂O v.b.)
2. **Amfoterler:** Kimyasal formülü R₂O₃. Hem asidik, hem bazik özellik gösterirler. (Al₂O₃)
3. **Asitler:** Kimyasal formülü RO₂ cam oluşumunu sağlarlar. (SiO₂ ve B₂O₃)

Deneyisel çalışmaların son aşaması olan nihai ürünlerin sırla kaplanması aşamasında, baz, amfoter ve asit gruplarından oluşan sır kompozisyonunu sağlamak amacı ile vitrifiye seramik firmalarından albit, potasyum feldspat, kuvars, kalsit, dolomit, zirkon, çinko, firit, talk gibi gerekli hammaddeler temin edilmiştir.

Sır ile çamur arasında ara tabaka oluşumunu sağlaması ve iyi bir ergitici olması sebebiyle her sırda yer alan temel hammaddelerden birisi olan kalsiyum oksit kaynağı olarak **Dolomit** (CaCO₃.MgCO₃) ve **Volastonit** (CaO.SiO₂);

Hava şartlarına dayanıklı sırların elde edilmesinde ve sır çatlağını önlenmesinde kullanılan magnezyum oksit ve çinko oksit kaynağı olarak **Dolomit**, **Talk** (3MgO₄SiO₂H₂O) ve **Çinko Oksit**;

Sırlarda önemli bir ergitici kaynağı olan potasyum ve sodyum oksitlerin kaynağı olarak **Ortoklas** (K₂OAl₂O₃6SiO₂) ve **Albit** (Na₂O Al₂O₃6SiO₂);

Sırlarda temel oksit olarak kullanılan, hem asitlerle hem de bazlarla reaksiyon oluşturabilen (amfoter), sırn sıcaklığa karşı dayanımını ve mekanik direncini arttıran

ısıll genleşmeyi azaltıp sıra sertlik veren alüminyum oksit kaynağı olarak **Kaolin** ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

Bütün sırlarda ortak olarak kullanılan ve sırlarda cam oluşturuıcı olarak görev yapan ve aynı zamanda sır çatlağını önlemeye yarayan silisyum dioksit (SiO_2) kaynağı olarak **Kuvars** (SiO_2) ve **Kaolin** ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

Yine sırlarda cam oluşturuıcı olarak görev yapan, sırların ergime sıcaklıklarını düşüren, sırları çizilmeye karşı dirençli, parlak yüzeyli hale getirmeye yarayan bor oksit kaynağı olarak ise **Kolemanit** ($2\text{CaO}\cdot 3\text{B}_2\text{O}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) kullanılmıştır.

Hammaddenin organik madde içeriğı

Erzurum Pasinler ilçesinden temin etmiş olduğumuz pomza ve perlit agregaları içerisindeki organik maddelerin varlığını belirlemek amacı ile TS 3673 standartlarına göre analiz yapılmıştır.

Bu standarda göre yapılan analiz neticesinde ortaya çıkan açık sarı ve koyu kırmızı arasındaki renk farklılığı yapı içerisinde organik maddenin olup olmadığını belirlemektedir. Kırmızıdan sonraki renkler organik maddeleri temsil etmektedir.

Yapılan test sonucunda %3'lük NaOH çözelti şartlarında işleme tabi tutulan numunelerde 24 saat sonra agreganın almış olduğu renk, yapı içerisinde herhangi bir organik madde içeriğinin olmadığını göstermiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

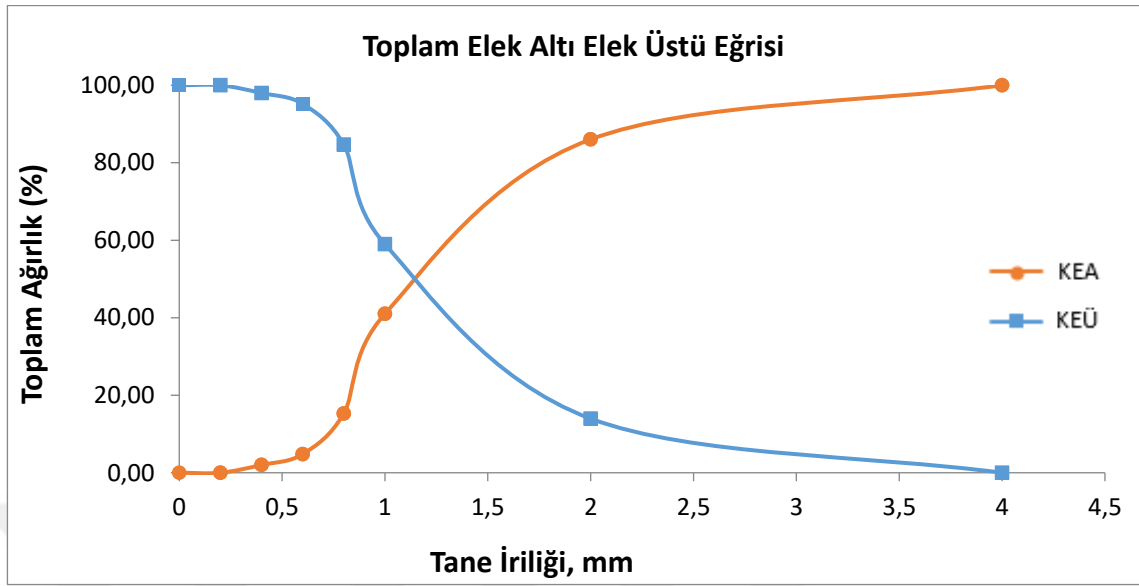
4.1. Tane Boyut Dağılım Oranlarının Tayini

Deneysel çalışmalarda kullanılan pomza ve perlit numunelerinin öğütme davranışlarının incelenebilmesi amacı ile pomza numunesi 45 dakika ve 2,5 saat, perlit numunesi ise 5 saat boyunca atritör cihazında öğütme işlemine tabi tutulmuştur.

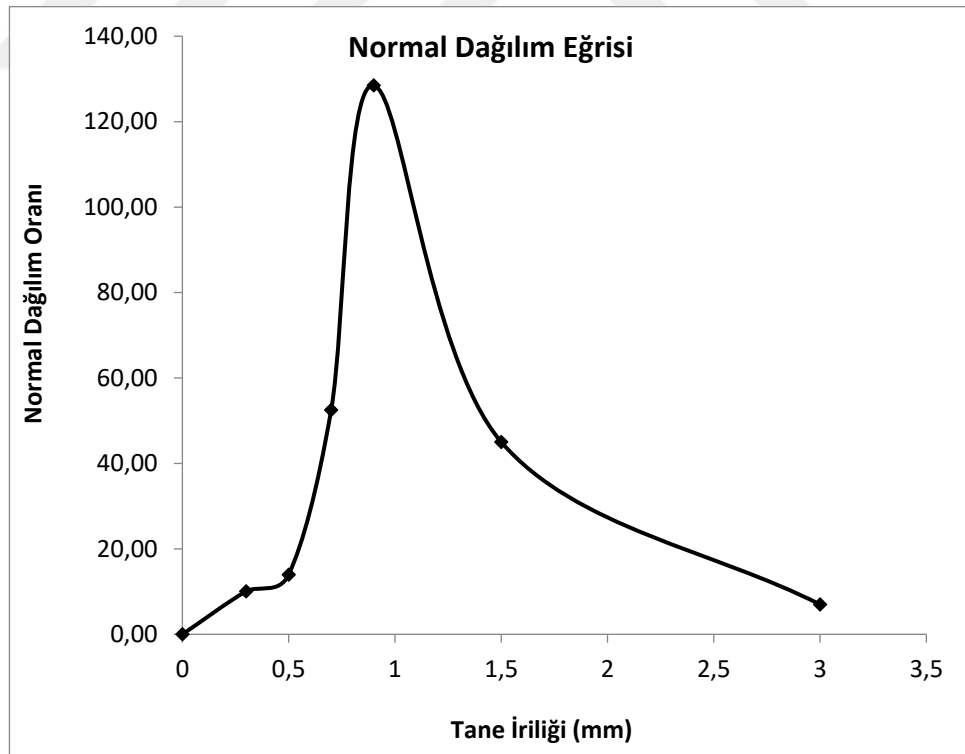
45 dakikalık öğütme sonucunda elde edilen ürünlere ait elek analizi sonuçları Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1-Şekil 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 45 dakika boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen öğütme verileri

Elek Aralığı (mm)	Ağırlık (%)	Elek Üstü (%)	Elek Altı (%)	Δd (mm)	Normal Dağılım Oranı (%/mm)
-4+2	13,97	13,97	100,00	2,00	6,98
-2+1	45,03	58,99	86,03	1,00	45,03
-1+0,8	25,70	84,69	41,01	0,20	128,49
-0,8+0,6	10,50	95,20	15,31	0,20	52,51
-0,6+0,4	2,79	97,99	4,80	0,20	13,97
-0,4+0,2	2,01	100,00	2,01	0,20	10,06
TOPLAM	100				



Şekil 4.1. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 45 dakika boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen elek altı ve elek üstü eğrileri



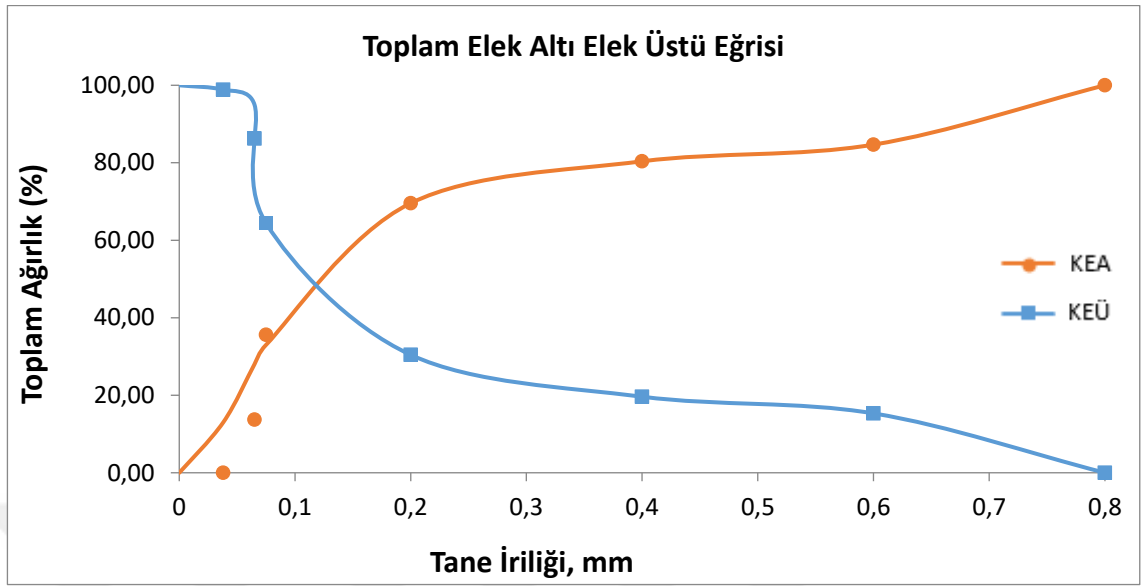
Şekil 4.2. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 45 dakika boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen normal dağılım eğrisi

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere pomza numunesi 45 dakika boyunca öğütülmesi sonucunda malzemenin d80 boyutunun 0,56 mm olduğu, Şekil 4.2’de ise öğütülmüş ürünlerin 0,6 mm ve 2 mm boyutları arasında yığıldığı görülmektedir.

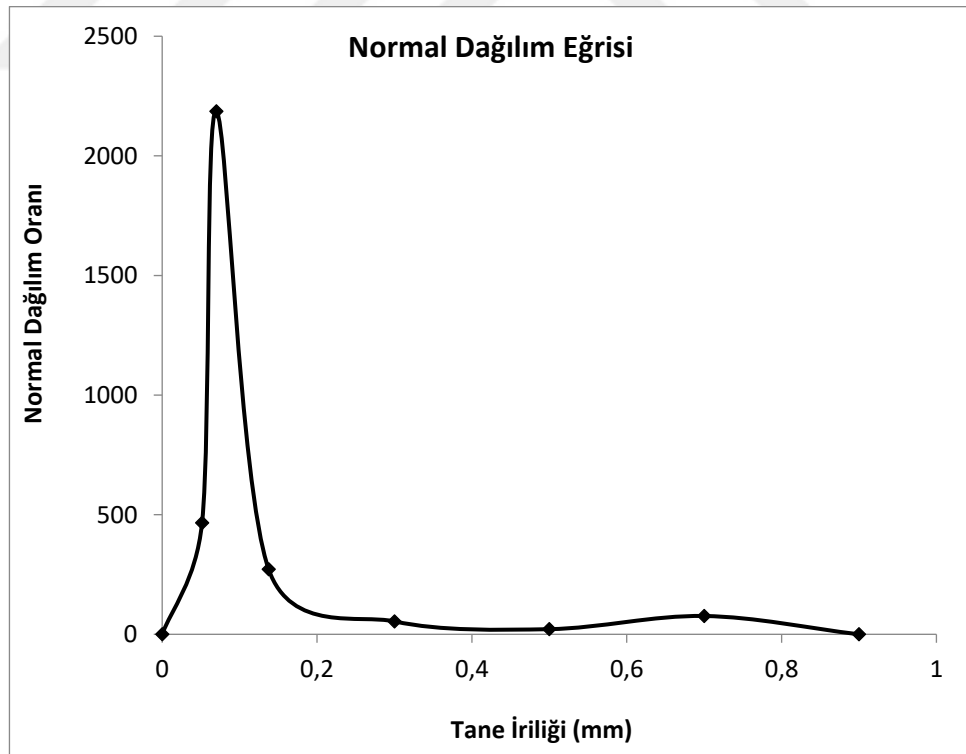
Elek analizi verileri doğrultusunda 45 dakikalık öğütme süresinin yeterli olmadığı görüldüğü için öğütme süresi 2,5 saate çıkartılmıştır. 2,5 saat öğütme süresi sonucunda elde edilen elek analizi verileri Çizelge 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 2,5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen öğütme verileri

Elek Aralığı (mm)	Ağırlık (%)	Elek Üstü (%)	Elek Altı (%)	Δd (mm)	Normal Dağılım Oranı (%/mm)
-0,8+0,6	15,32	15,32	15,32	100,00	0,20
-0,6+0,4	4,30	4,30	19,62	84,68	0,20
-0,4+0,2	10,81	10,81	30,43	80,38	0,20
-0,2+0,075	33,96	33,96	64,40	69,57	0,13
-0,075+0,063	21,86	21,86	86,26	35,60	0,01
-0,063+0,038	12,59	12,59	98,85	13,74	0,03
TOPLAM	100,00				



Şekil 4.3. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 2,5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen elek altı ve elek üstü eğrileri



Şekil 4.4. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen pomza numunesinin 2,5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen normal dağılım eğrisi

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere pomza numunesinin 2,5 saat boyunca öğütülmesi sonucunda malzemenin d80 boyutunun 0,4 mm olduğu, 2 mm altında yığılım gösteren tüvenan pomzanın öğütülmesi sonucunda ise öğütülmüş ürünlerin yoğunlaştığı aralığın 0,4 mm altı olduğu görülmektedir (Şekil 4.4).

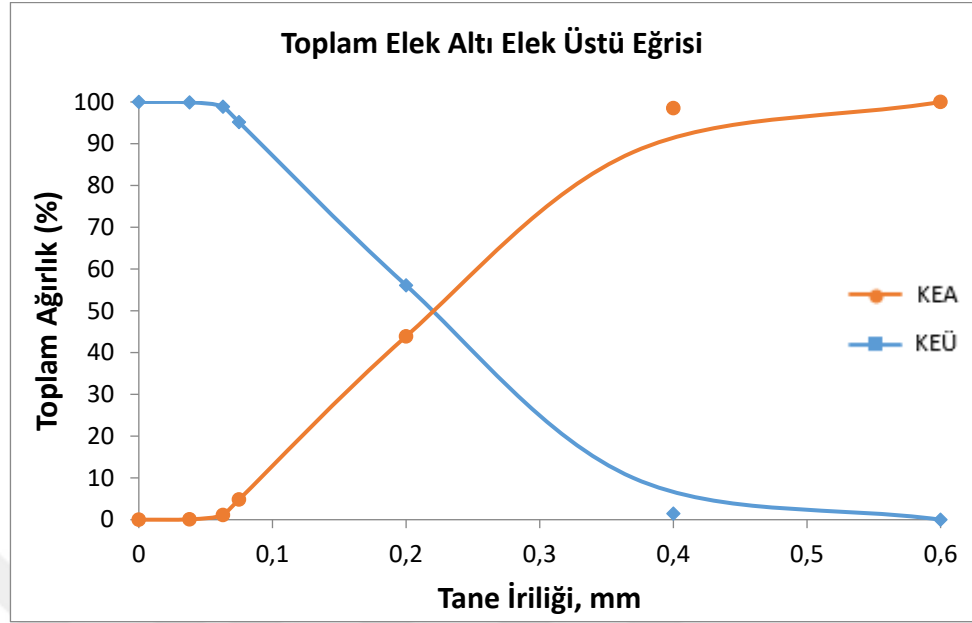
Seramik malzeme üretimi için 400 mikron altı tane boyutunun uygun bir boyut olması sebebi ile deneylerde kullanılacak pomza numunesinin tamamının 400 mikron altına indirilmesi kararlaştırılmıştır.

Deneylerde pomza numunesine katkı maddesi olarak ilave edilmesi düşünülen perlit numunesi ile pomza numunesi hemen hemen aynı özelliklere sahip olduğundan dolayı pomza numunesine uygulanan 2,5 saatlik öğütme süresi perlit numunesine de uygulanmıştır. Ancak 2,5 saatlik öğütme sonucunda ürün boyutunda önemli bir değişiklik olmadığı için öğütme süresi 5 saate çıkartılmıştır.

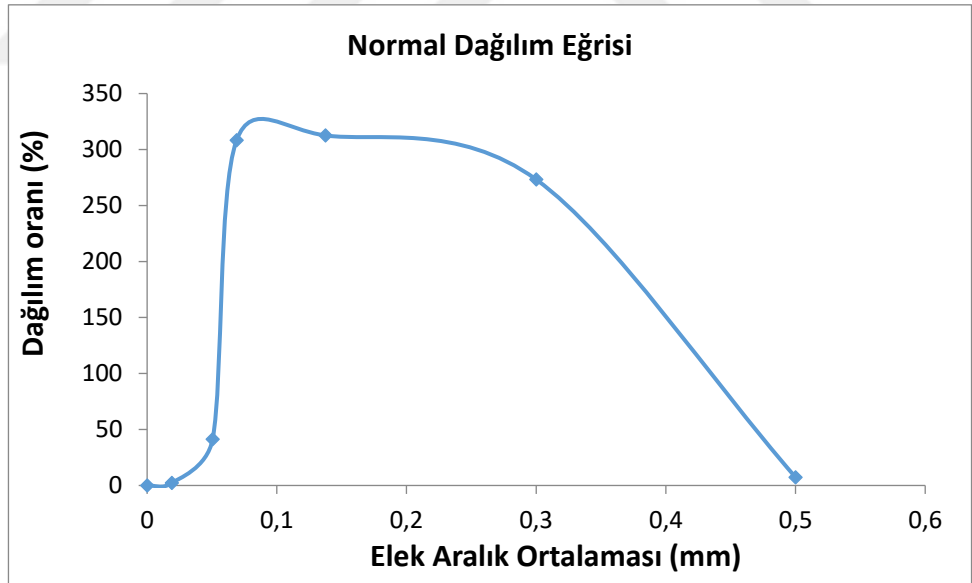
Perlit numunesinin 5 saatlik öğütülmesi sonucunda elde edilen elek analizi verileri Çizelge 4.3, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesinin 5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen öğütme verileri

Elek Aralığı (mm)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (%)	Elek Üstü (%)	Elek Altı (%)	Δd (mm)	Normal Dağılım Oranı (%/mm)
-0,6+0,4	1,7	1,46	1,46	100	0,2	7,31
-0,4+0,2	63,5	54,65	56,11	98,54	0,2	273,23
-0,2+0,075	45,4	39,07	95,18	43,89	0,125	312,56
-0,075+0,063	4,3	3,70	98,88	4,82	0,012	308,38
-0,063+0,038	1,2	1,03	99,91	1,12	0,025	41,31
-0,038	0,1	0,09	100	0,09	0,038	2,26
Toplam	116,2			0		0



Şekil 4.5. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesinin 5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen elek altı ve elek üstü eğrileri



Şekil 4.6. Erzurum Pasinler ilçesinden temin edilen perlit numunesinin 5 saat boyunca atritör cihazında öğütülmesi sonucunda elde edilen normal dağılım eğrisi

Şekil 4.5’de görüldüğü üzere perlit numunesinin 5 saat boyunca öğütülmesi sonucunda malzemenin d80 boyutunun 0,12 mm olduğu, 0,2 mm ve 1,2 mm boyutları arasında yığılım gösteren tüvenan perlitin öğütülmesi sonucunda ise öğütülmüş ürünlerin

yoğunlaştığı aralığın 0,05 mm ve 0,5 mm boyutları arasında olduğu görülmektedir (Şekil 4.6).

4.2. Pişme Küçülme Oranı Ölçüm Deneyi

Özellikle killi seramiklerin sinterlenmesi aşamasında kilin absorplamış olduğu suyun, sıcaklık artışı ile birlikte bünyeden çıkması malzemede hem kurutma hem de pişirme aşamalarında hatalara yol açar. Bu yüzden de kil içeren seramik hammaddelerin kurutma ve pişirme performanslarının belirlenmesi önem arz eder.

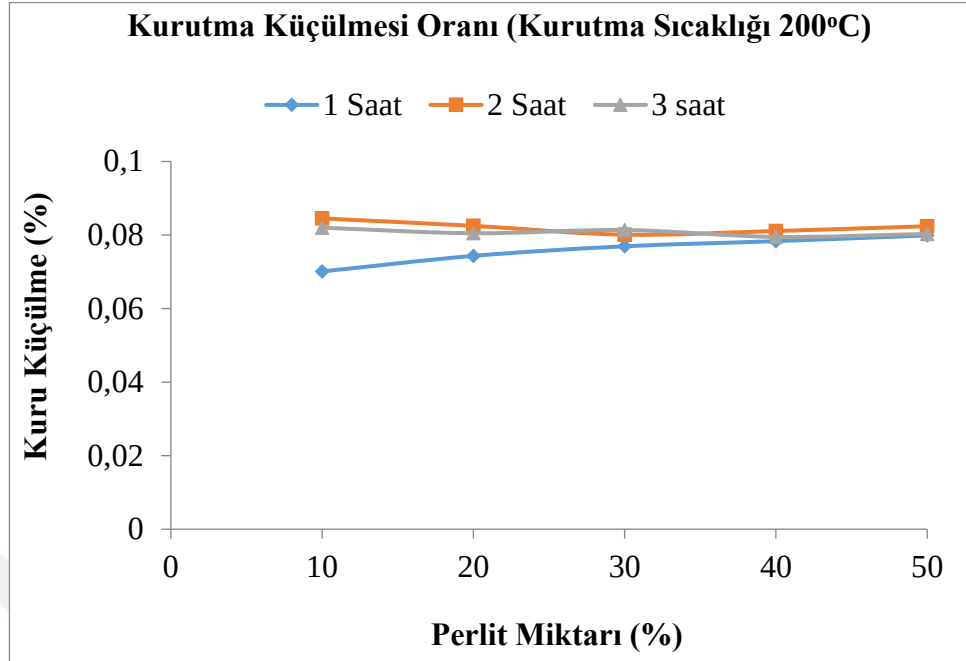
Bu çalışmada her ne kadar kil hammaddesi kullanılmamış olsa bile harmanda kullanılan ana matris pomza ve katkı maddesi perlit numunelerinin aşırı derecede su absorplama kapasitelerine sahip olmalarından dolayı pişme öncesi preslenmiş ürünün nem almaması için kurutma işlemine tabi tutulması gerekmektedir.

Numunelerin kurutma ve pişme sonrası küçülme davranışlarını belirleyebilmek amacı ile küçülme oranı ölçüm deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde Bölüm 3.2.2.'de belirtilen uygulama adımları takip edilmiştir. Kurutma fırını sıcaklığı 200°C sıcaklıkta sabit tutulup numuneler bu sıcaklıkta 1-3 saat aralığında kurutulmuşlardır. İşlem sonucunda fırından çıkartılan numunelerin üzerine işaretlenen çizgi boyu ölçülmüştür.

Kurutma küçülme oranının belirlendiği deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.4 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Kurutma küçülmesi oranı (200°C kurutma)

Kurutma Süresi	Perlit Miktarı (%)	Ham Numune Uzunluğu (mm)	Kurutma Sonrası Uzunluk (mm)	Kurutma Küçülmesi (%)
1 Saat	10	3,009	3,007	0,070
	20	3,009	3,007	0,074
	30	2,998	2,995	0,077
	40	3,000	2,998	0,078
	50	3,006	3,003	0,080
2 Saat	10	3,019	3,016	0,085
	20	3,018	3,016	0,083
	30	2,990	2,988	0,080
	40	2,998	2,995	0,081
	50	3,004	3,001	0,082
3 Saat	10	2,991	2,988	0,082
	20	3,019	3,016	0,081
	30	2,994	2,991	0,081
	40	2,991	2,989	0,080
	50	2,992	2,989	0,080



Şekil 4.7. Kurutma küçülmesi oranı (200°C kurutma)

Kurutma deneyleri sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde 1-3 saat aralığı boyunca kurutulan numunelerin şekil ve boyut yönünden çok kritik sayılabilecek bir değişime uğramadığı, en fazla %0,085 ortalama %0,08 boyut küçülmesine uğradığı görülmektedir. Bu durumda numunelerin sinterleme öncesi 200°C sıcaklıkta 1 saat boyunca kurutulması kararlaştırılmıştır.

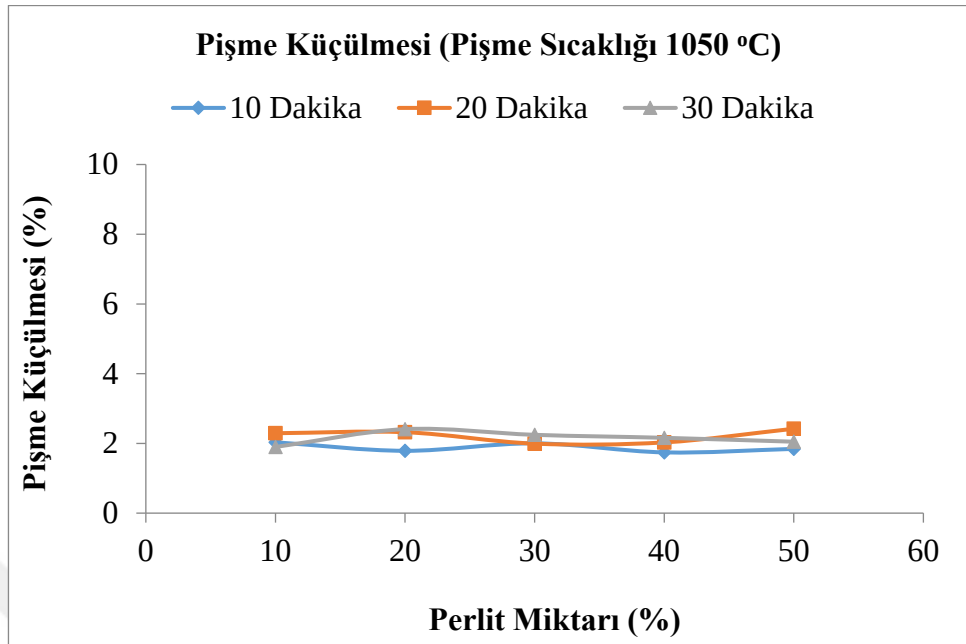
Kurutulmuş numunelerin pişme küçülmesini ölçmek amacı ile numuneler direkt olarak pişme sıcaklığına ulaşmış tüp fırın içerisine yerleştirilmişlerdir. Her bir sıcaklık aralığında 10,20 ve 30 dakika boyunca pişirilmiştir. İşlem sonucunda fırından çıkartılan numunelerin üzerine işaretlenen çizgi boyu ölçülmüştür.

Pişme küçülmesi oranının belirlendiği deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7 ile Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Pişme küçülmesi oranı (1050°C)

Pişme Süresi	Perlit Miktarı (%)	Ham Numune Uzunluğu (mm)	Kurutma Sonrası Uzunluk* (mm)	Pişirme Sonrası Uzunluk (mm)	Pişme Küçülmesi (%)
10 Dakika	10	3,009	3,007	2,946	2,032
	20	3,009	3,007	2,953	1,788
	30	2,998	2,995	2,935	2,002
	40	3,000	2,998	2,946	1,743
	50	3,006	3,003	2,948	1,842
20 Dakika	10	3,019	3,016	2,947	2,292
	20	3,018	3,016	2,946	2,321
	30	2,990	2,988	2,928	1,993
	40	2,998	2,995	2,935	2,028
	50	3,004	3,001	2,928	2,420
30 Dakika	10	2,991	2,988	2,931	1,898
	20	3,019	3,016	2,944	2,409
	30	2,994	2,991	2,924	2,246
	40	2,991	2,989	2,924	2,160
	50	2,992	2,989	2,928	2,049

* Ham numunenin 200 °C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluğu

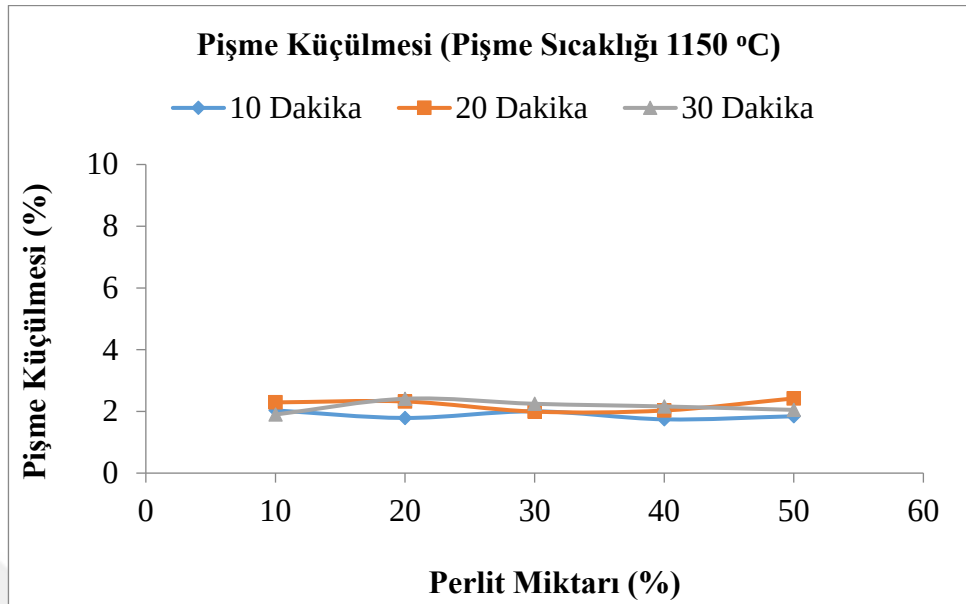


Şekil 4.8. Piştirme küçülmesi oranı (1050°C)

Çizelge 4.6. Piştirme küçülmesi oranı (1150°C)

Piştirme Süresi	Perlit Miktarı (%)	Ham Numune Uzunluğu (mm)	Kurutma Sonrası Uzunluk* (mm)	Piştirme Sonrası Uzunluk (mm)	Piştirme Küçülmesi (%)
10 Dakika	10	3,008	3,005	2,909	3,224
	20	2,990	2,988	2,897	3,044
	30	3,011	3,009	2,918	3,012
	40	3,011	3,009	2,915	3,120
	50	3,007	3,004	2,915	2,960
20 Dakika	10	2,997	2,994	2,903	3,039
	20	2,991	2,989	2,903	2,882
	30	2,995	2,993	2,909	2,823
	40	2,998	2,995	2,904	3,064
	50	3,004	3,001	2,915	2,888
30 Dakika	10	3,014	3,012	2,926	2,829
	20	2,993	2,990	2,906	2,815
	30	2,997	2,995	2,898	3,228
	40	3,000	2,998	2,911	2,906
	50	3,002	3,000	2,910	2,971

* Ham numunenin 200 °C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluğu

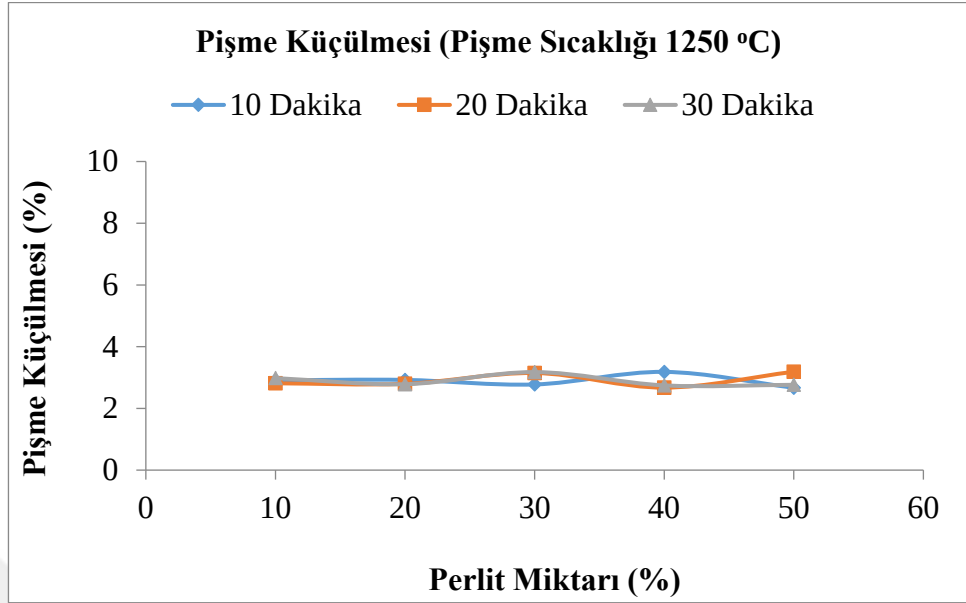


Şekil 4.9. Pişme küçülmesi oranı (1150°C)

Çizelge 4.7. Pişme küçülmesi oranı (1250°C)

Pişme Süresi	Perlit Miktarı (%)	Ham Numune Uzunluğu (mm)	Kurutma Sonrası Uzunluk* (mm)	Pişirme Sonrası Uzunluk (mm)	Pişme Küçülmesi (%)
10 Dakika	10	2,991	2,988	2,901	2,913
	20	3,000	2,998	2,910	2,923
	30	3,010	3,007	2,924	2,776
	40	3,011	3,009	2,913	3,183
	50	2,990	2,988	2,908	2,669
20 Dakika	10	3,018	3,016	2,931	2,814
	20	3,014	3,012	2,927	2,796
	30	3,004	3,001	2,907	3,146
	40	3,013	3,011	2,930	2,674
	50	3,000	2,998	2,902	3,187
30 Dakika	10	2,995	2,993	2,903	2,982
	20	2,995	2,992	2,909	2,784
	30	3,003	3,001	2,906	3,176
	40	2,993	2,991	2,909	2,745
	50	3,012	3,010	2,927	2,765

* Ham numunenin 200 °C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluğu



Şekil 4.10. Pişme küçülmesi oranı (1250°C)

Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7 ile Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 verileri incelendiğinde pişme küçülmelerinin ortalama %2,66 olduğu görülmektedir. Şekilsel olarak numuneler incelendiğinde ve gerekli ölçümler yapıldığında boyut küçülmesinin sadece dikey eksen bölgesinde olduğu yatay eksen bölgesinde ise önemli bir küçülmenin olmadığı görülmüştür.

Kurutma ve pişme işlemine tabi tutulmadan önce numuneler soğuk izostatik pres ile çok yönlü basınca tabi tutularak preslenmişlerdir. Bu preslenme esnasında toz parçacıklarının birbirine bağlanması amacı ile herhangi bir bağlayıcı kullanılmamıştır. Numunelerin kurutma ve pişirme aşamalarında meydana gelen kuruma ve pişme küçülmesi oranlarının bu denli küçük seviyelerde olması soğuk izostatik presin, parçacıklar arası makro gözenekleri, büyük oranda giderdiğini göstermektedir.

4.3. Ateş Zayıatı Oranı Ölçüm Deneyi

Pişme küçülmesi deneyleri sonucunda elde edilen veriler yatay ekseninde önemli bir pişme küçülmesinin olmadığını göstermektedir. Ancak dikey ekseninde çok fazla olmasa da gözle fark edilebilir derecede bir küçülmenin varlığı söz konusudur. Pişme

küçülmesinde numunenin yüksekliği boyunca bir çizgi çekmek mümkün olmadığı için bu küçülmenin oranı ateş zayıatı oranı ölçüm yöntemi ile belirlenmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin, pişirilmesi esnasında oluşabilecek ağırlık kaybını belirlemek için ateş zayıatı ölçüm deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde Bölüm 3.2.3.'de belirtilen uygulama adımları takip edilmiştir.

1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda 10, 20 ve 30 dakika bekletilen numunelerin ilk ve son tartımları alınmış olup deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10 gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Ateş zayıatı ölçümü (Pişme süresi: 10 dakika)

% Perlit	1050°C'de Ateş Zayıatı (%)	1150°C'de Ateş Zayıatı (%)	1250°C'de Ateş Zayıatı (%)
0	6,35	5,72	4,94
10	4,59	3,17	3,47
20	4,44	3,44	3,46
30	4,33	3,23	2,95
40	4,21	3,13	3,64
50	4,04	3,09	3,43

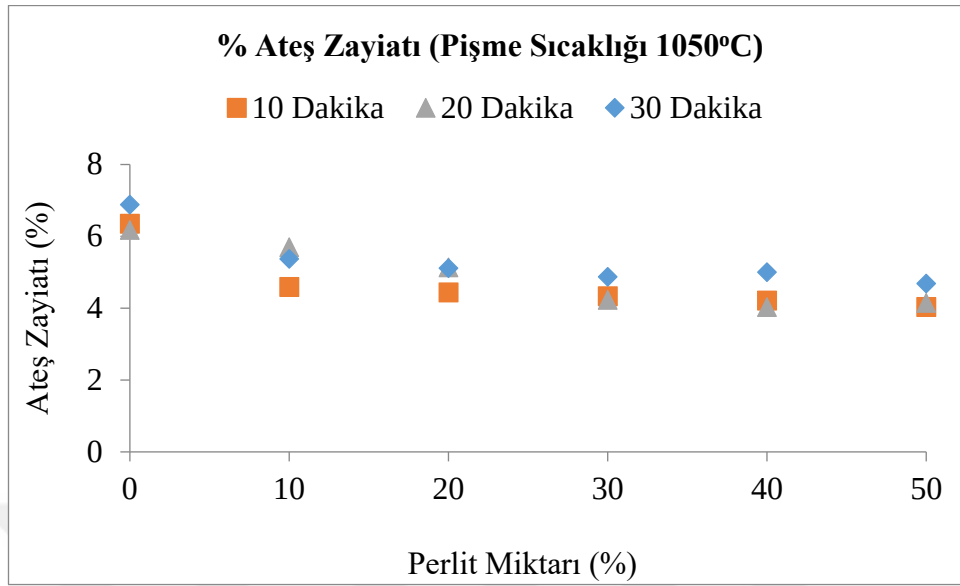
Çizelge 4.9. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 20 dakika)

% Perlit	1050°C’de Ateş Zayılatı (%)	1150°C’de Ateş Zayılatı (%)	1250°C’de Ateş Zayılatı (%)
0	6,18	5,52	5,07
10	5,70	4,89	4,29
20	5,13	4,19	3,73
30	4,23	3,57	3,27
40	4,03	3,24	3,53
50	4,15	3,73	3,46

Çizelge 4.10. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 30 dakika)

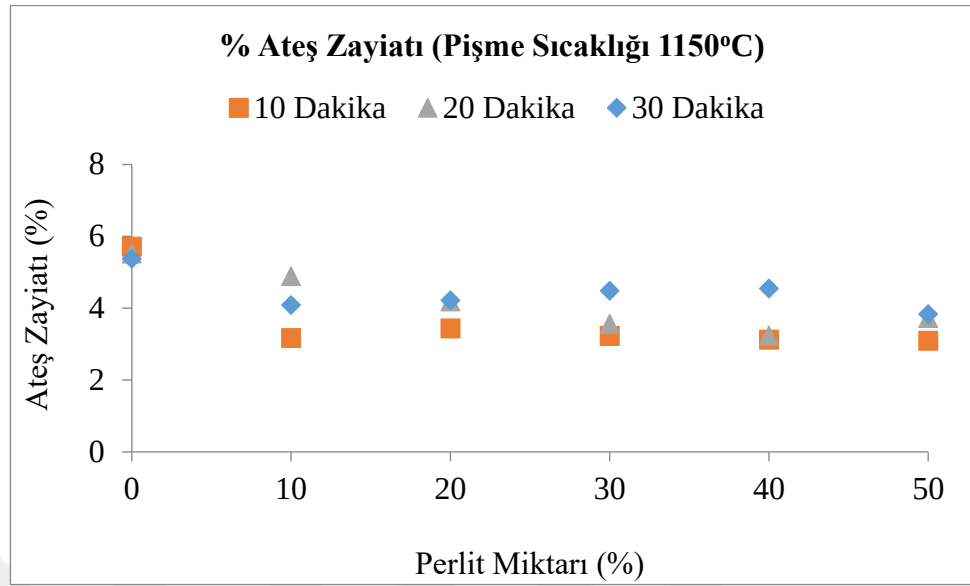
% Perlit	1050°C’de Ateş Zayılatı (%)	1150°C’de Ateş Zayılatı (%)	1250°C’de Ateş Zayılatı (%)
0	6,88	5,38	5,65
10	5,37	4,09	4,20
20	5,11	4,22	4,41
30	4,87	4,49	4,13
40	5,01	4,55	4,24
50	4,69	3,83	4,29

Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’daki veriler incelendiğinde, numunelerin sabit sıcaklık altında pişirilmesi esnasında pişme süresindeki artışın, ağırlık kaybı üzerinde herhangi etkisinin olmadığı görülmektedir.

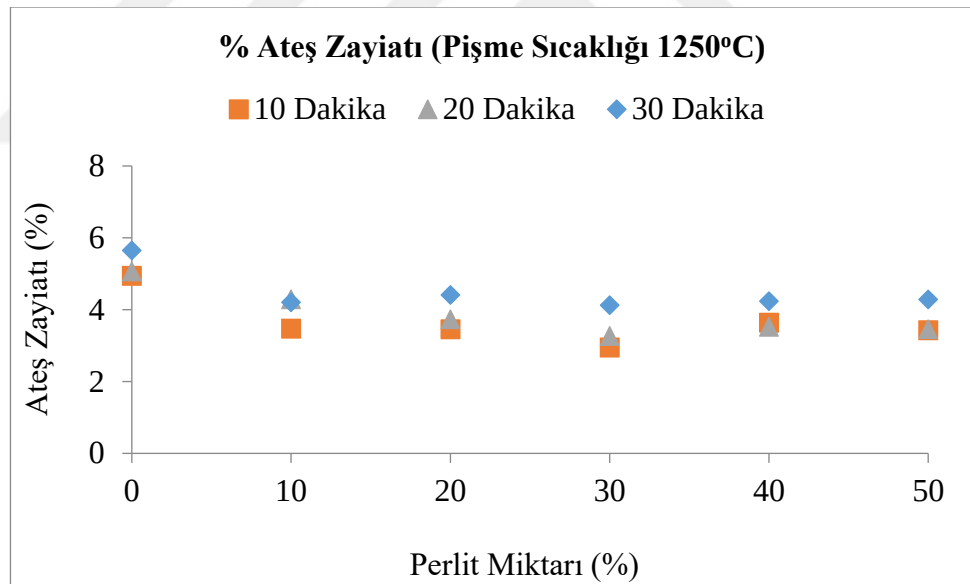


Şekil 4.11. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme sıcaklığı: 1050°C)

Aynı özellikteki numune 1050°C sıcaklıkta 10 dakika pişirildikten sonra %6,35 seviyelerinde ağırlık kaybı oluşmuş, ancak 20 ve 30 dakika bekleme sürelerinde de ağırlık kaybı seviyesinde önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir (Şekil 4.11). Bu durum 1150°C ve 1250°C sıcaklıklar içinde ihmal edilebilir seviyelerdeki ufak sapmalar haricinde benzerlik göstermiştir (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13).



Şekil 4.12. Ateş zayıatı ölçümü (Pişme sıcaklığı: 1150°C)



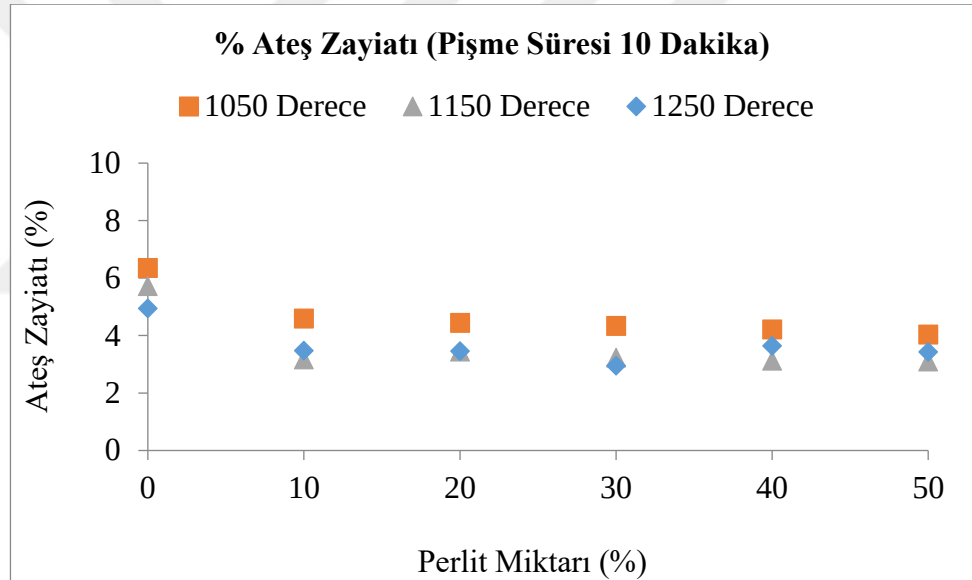
Şekil 4.13. Ateş zayıatı ölçümü (Pişme sıcaklığı: 1250°C)

10 dakikalık pişme süresi içerisinde numunede hammadde kaynaklı bulunan mevcut organikler yanmakta ve yanma ürünleri ile birlikte boşluklarda sıkışan hava bünyeyi terk ederek numunede ağırlık kaybı oluşturmaktadır. Hava ve yanan organiklerin bünyeyi terk etmesi sonucu oluşan boşluklar, yüksek sıcaklıklarda kısmen sıvılaştıran

matris tarafından doldurularak yapıda dikey eksen boyunca az miktarda da olsa bir küçülme (çökme) meydana getirmektedir.

Bu işlemler 10 dakika gibi kısa bir süre içerisinde meydana geldiği için pişme süresindeki artışın 10 dakika üzerine çıkartılması, ağırlık kaybı açısından numunede herhangi bir etki oluşturmamaktadır.

Meydana gelen bu ağırlık kaybı 1050°C sıcaklıkta daha belirgin olmakta sıcaklık arttıkça ağırlık kaybı oluşumu azalmaktadır.



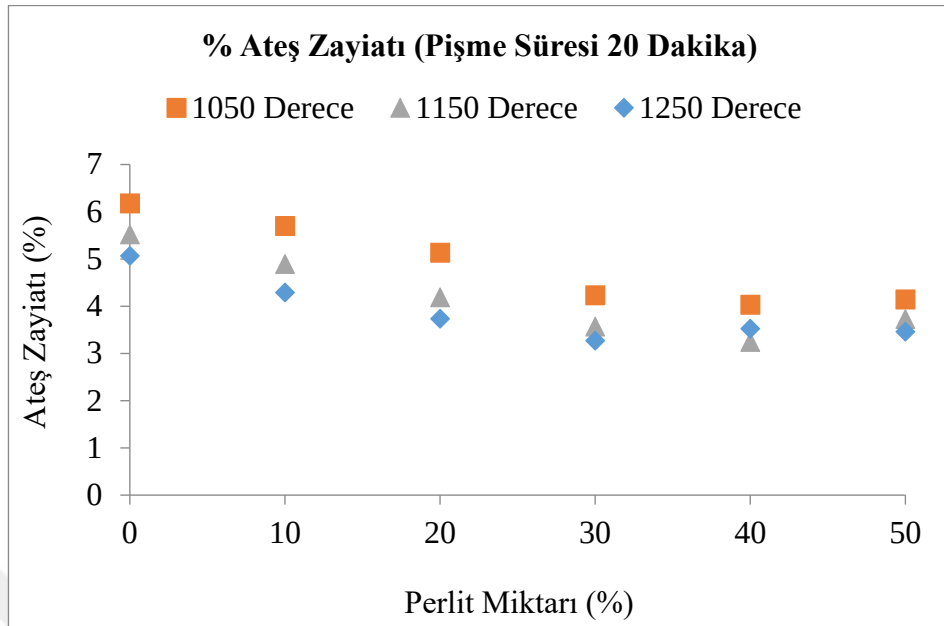
Şekil 4.14. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 10 dakika)

Mesela katkısız saf pomza numunesini ele alırsak; sinterleme işlemi sonucu 1050°C sıcaklıkta %6,35 olan ağırlık kaybı 1250°C sıcaklıkta %4,94 seviyesine düşmektedir (Şekil 4.14). Bu bize şunu göstermektedir;

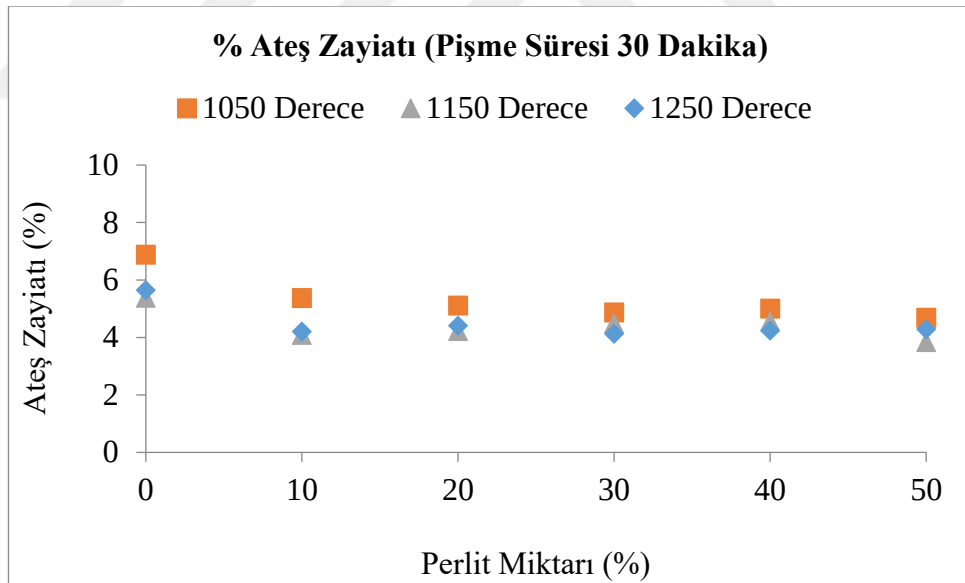
Bütün deney numunelerinde standart olarak sinterleme işlemleri için numunenin fırına giriş ve çıkışı pişme sıcaklığında olmakta yani numuneye ön ısıtma ve yavaş soğutma işlemleri uygulanmamaktadır. Bu durumda numuneler ani bir şok etkisine maruz kalmaktadırlar. 1050°C sıcaklıkta işlem yürütüldüğünde (daha yüksek sıcaklıklara

çıkılmadığında) bu ani şok etkisi ile yapıdaki yanma ürünleri ve gazlar hızlı bir şekilde bünyeyi terk ederken hızlı bir şekilde de sinterlenme gerçekleşmektedir. Sinterlenme sonucunda gözenekler kapanırken hızlı bir şekilde bünyeyi terk eden gazlar ağırlık kaybına sebep olmakta ve sinterlenmenin etkisi ile az miktarda da olsa yapıda çökme gerçekleşmektedir. Ve bu çökme gaz çıkış yönünün tersine yani dikey yönde meydana gelmektedir.

1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda işlem yürütüldüğünde ise sinterlenmenin peşi sıra yüksek sıcaklık ve sodyum, potasyum gibi alkali oksitlerin etkisi ile matris çok hızlı bir şekilde amorf yapı haline dönüşmekte oluşan bu amorf yapı bünyedeki gaz çıkışını yani ağırlık kaybının daha az seviyelerde tutulmasını sağlamaktadır. Bu durum 20 dakika ve 30 dakika pişme sürelerinde meydana gelen ağırlık kaybı verileri içinde benzerlik göstermektedir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16).



Şekil 4.15. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 20 dakika)



Şekil 4.16. Ateş zayılatı ölçümü (Pişme süresi: 30 dakika)

Matris içine katılan perlit oranındaki %10 - %50 oranındaki artış ise ağırlık kaybına sebep olacak önemli bir etki oluşturmamaktadır. Sadece perlit katkısız pomza numunesinden %50 perlit oranına doğru katkı miktarı arttıkça ağırlık kaybındaki azalış aralığı daralma göstermektedir.

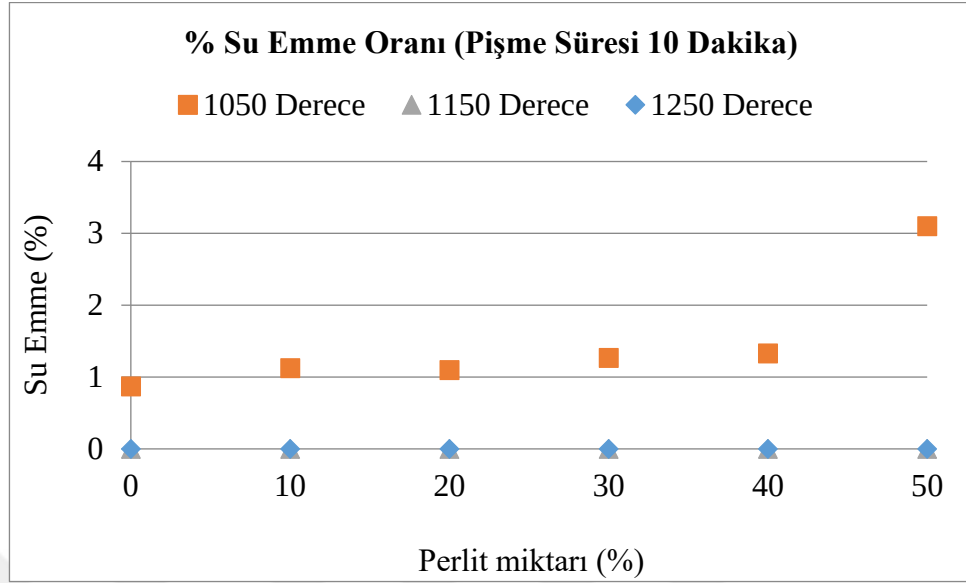
4.4. Su Emme Oranı Ölçüm Deneyi

Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin, pişme sonrası su emme oranlarını belirlemek için su emme oranı ölçüm deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde Bölüm 3.2.4.'de belirtilen uygulama adımları takip edilmiştir.

Ateş zayılatı deneylerinde pişmiş numunelerde sürenin herhangi bir etkisinin olmadığı görüldüğünden dolayı su emme deneyleri sadece 1150°C ve 1250°C sıcaklıklar için 10 dakikalık pişirme süreleri göz önüne alınarak yapılmıştır. 1150°C sıcaklıkta ise sinterleme süresinin su emme oranına etkisi olabileceği düşüncesi ile 10, 20 ve 30 dakikalık sinterleme sürelerinden elde edilen numunelere su emme deneyleri uygulanmıştır. Deneylerden elde edilen veriler Çizelge 4.11 ve Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Su emme oranı (Pişme süresi: 10 dakika)

Pişme Süresi	Perlit Miktarı (%)	1050°C de Su Emme (%)	1150°C de Su Emme (%)	1250°C de Su Emme (%)
10 Dakika	0	0,87	0	0
	10	1,12		
	20	1,10		
	30	1,27		
	40	1,33		
	50	3,1		



Şekil 4.17. Su emme oranı (Pişme süresi: 10 dakika)

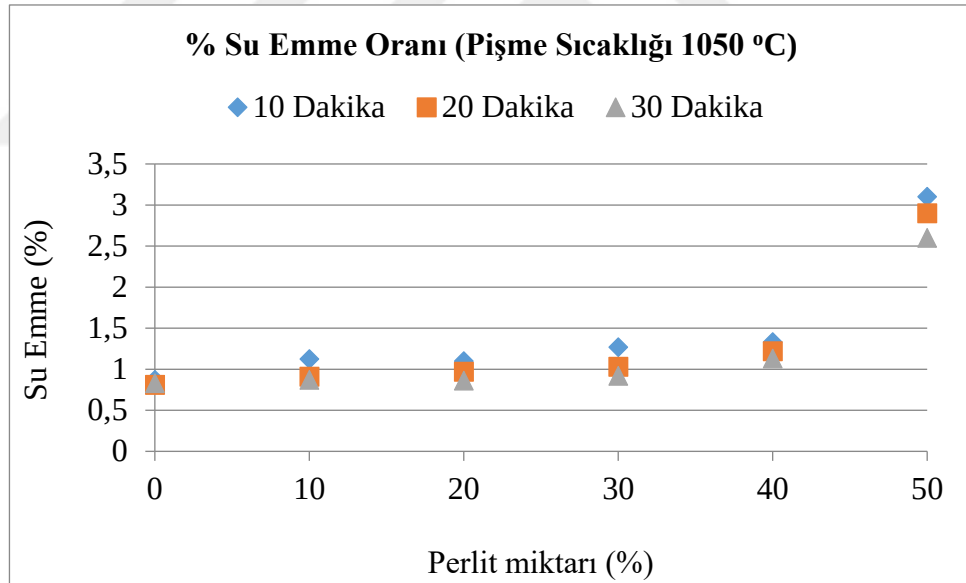
Çizelge 4.11 ve Şekil 4.17 verileri incelendiği zaman 1050°C sıcaklıkta sinterlenmiş olan numunelerin su emme oranlarının perlit katkı oranının artmasına paralel olarak %0,87 den %3,1'e doğru ciddi bir artış olduğu görülmektedir.

Daha yüksek sıcaklıklarda ise numune yüzeyleri kendiliğinden sırla kaplandığı için su emme oranları 0 olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.12 ve Şekil 4.18'deki verilere bakıldığı zaman su emme oranının 10, 20 ve 30 dakikalarda azalarak değişim gösterdiği, bu süreler baz alındığında perlit katkı oranındaki artışında yine su emme oranını artırdığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12. Su emme oranı (Pişme Sıcaklığı: 1050°C)

Pişme Sıcaklığı	Perlit Miktarı (%)	% Su Emme Pişme Süresi 10 Dakika	% Su Emme Pişme Süresi 20 Dakika	% Su Emme Pişme Süresi 30 Dakika
1050°C	0	0,87	0,81	0,83
	10	1,12	0,91	0,87
	20	1,10	0,97	0,86
	30	1,27	1,03	0,92
	40	1,33	1,22	1,13
	50	3,1	2,9	2,6

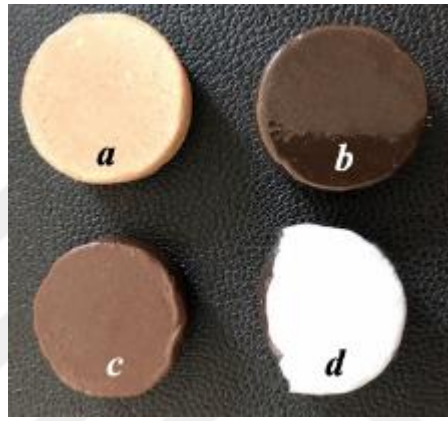
**Şekil 4.18.** Su emme oranı (Pişme Sıcaklığı: 1050°C)

4.5. Asit ve Baza Karşı Dayanım Deneyi

Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin, pişme sonrası asit ve baza karşı dayanımlarını belirlemek için asit ve baza karşı dayanım deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde Bölüm 3.2.5.'de belirtilen uygulama adımları takip edilmiştir.

Deneylerden elde edilen veriler ile ilgili sadece gözlem yapılmıştır. Deney sonucunda numunelerin yüzeyinde ne asit ne de baz herhangi bir hasar veya lekelenme oluşturmamıştır.

Deneylere tabi tutulan numunelerin deney sonucu alınan görüntüleri Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Asit ve baza karşı dayanım testine tabi tutulan numunelerin görüntüsü

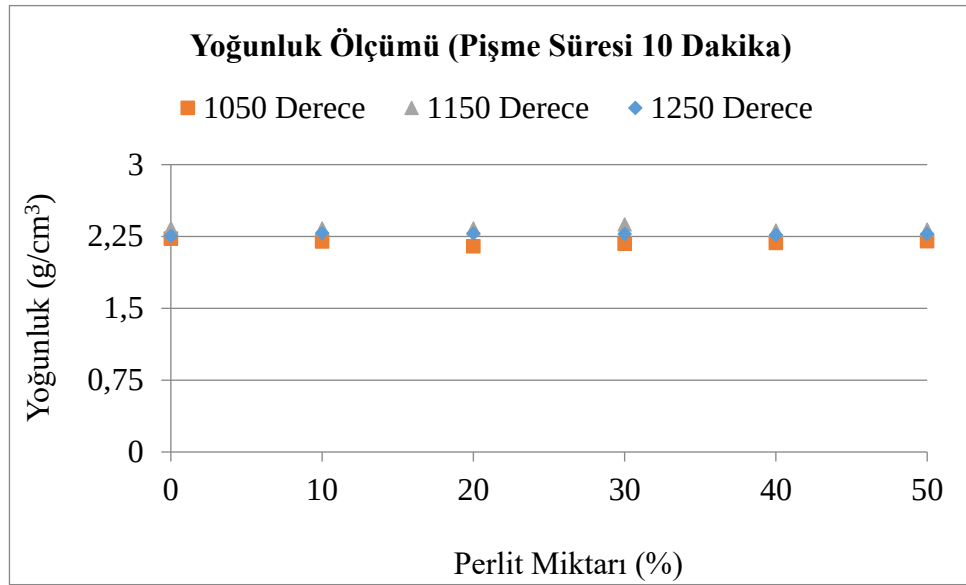
4.6. Yoğunluk Ölçümü

Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin, yoğunluklarını belirlemek için Arşimet prensibine göre yoğunluk ölçüm deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde Bölüm 3.2.6.’da belirtilen uygulama adımları takip edilmiştir. Ateş zayılatı ve su emme deneylerinde elde edilen bilgiler ışığında 20 ve 30 dakikalık pişme süresinin numune üzerinde önemli bir etkisinin görülmemesi üzerine yoğunluk ölçümleri sadece 10 dakikalık pişirme süresine sahip olan numunelere uygulanmıştır.

Deneylerden elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 4.13 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Yoğunluk ölçümü (Pişme Süresi 10 Dakika)

Perlit Miktarı (%)	Yoğunluk (g/cm ³) Pişme Sıcaklığı 1050°C	Yoğunluk (g/cm ³) Pişme Sıcaklığı 1150°C	Yoğunluk (g/cm ³) Pişme Sıcaklığı 1250°C
0	2,23	2,34	2,256
10	2,20	2,33	2,286
20	2,15	2,33	2,28
30	2,18	2,37	2,27
40	2,18	2,31	2,26
50	2,207	2,32	2,28



Şekil 4.20. Yoğunluk ölçümü (Pişme Süresi 10 Dakika)

Elde edilen yoğunluk ölçümlerinden de görüldüğü üzere sinterleme sıcaklığındaki artış yoğunluğu üzerine herhangi bir etki yapmamıştır (Çizelge 4.13, Şekil 4.20). Bu durum

sinterlenmiş pomza numunelerin seramik ürünlere nazaran oldukça hafif bir yapıda şekillendiklerini göstermektedir.

4.7. Pişme Rengi

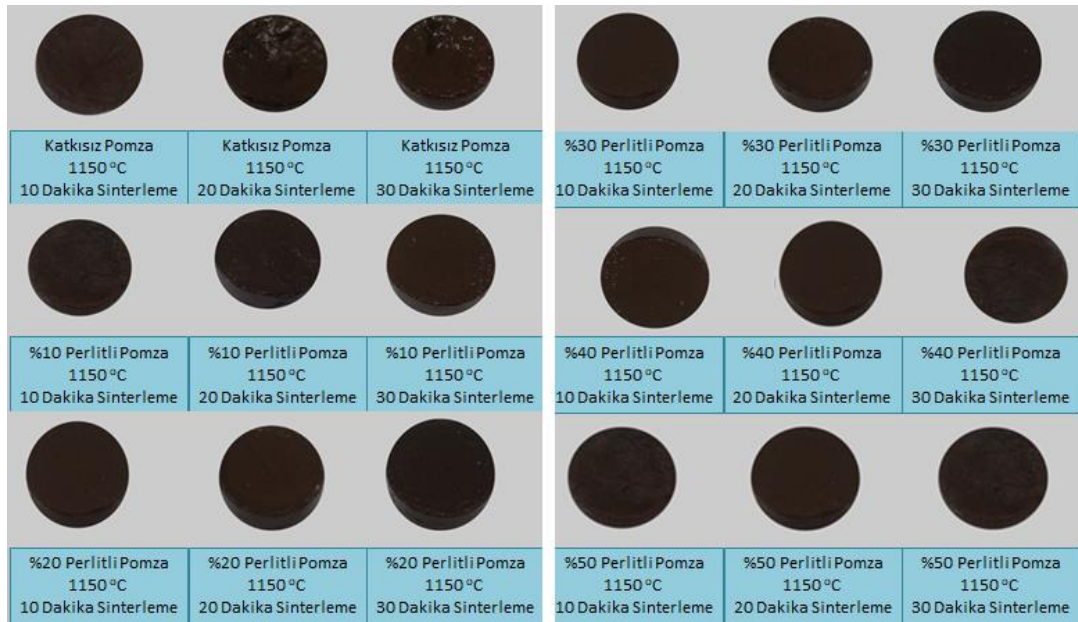
Deneyler sonucunda elde edilen pişmiş ürünlerin, renklerini belirlemek için renk ölçümleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen ürünlerin görüntüleri Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de, ölçümler sonucunda elde edilen veriler ise Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin rengi (1050°C)

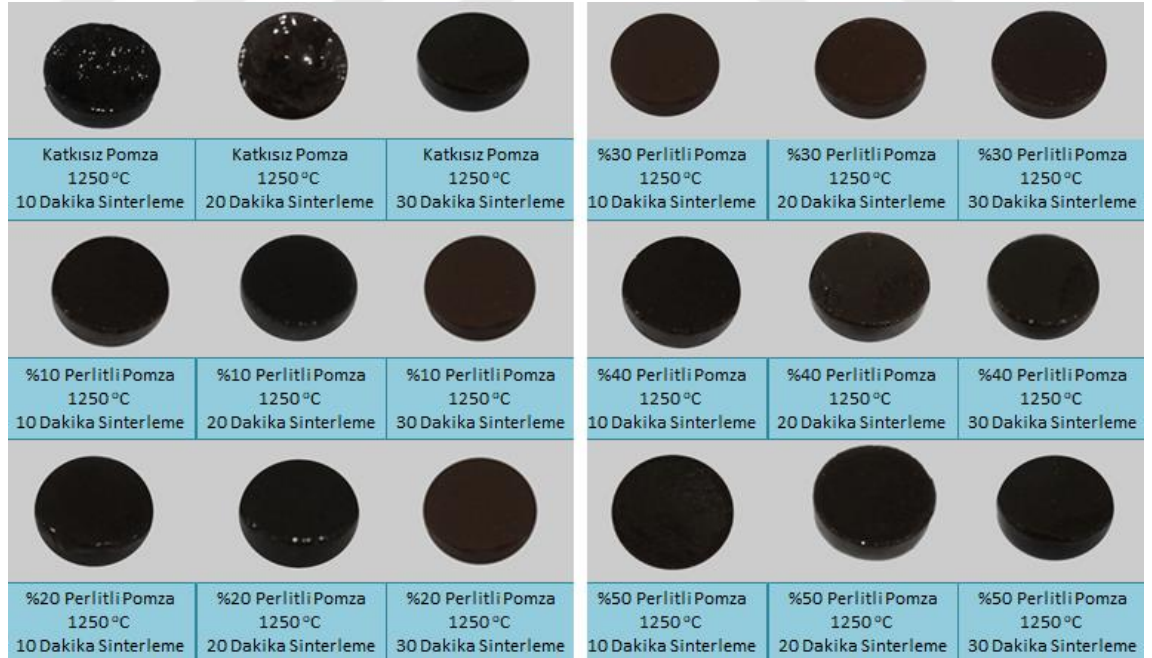
Çizelge 4.14. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin renk skalası (1050°C)

1050 °C		L	a	b
Sinter Öncesi	0	63	0	0
10 Dakika	0	48	17	37
	10	49	21	9
	20	49	21	9
	30	62	-6	27
	40	62	-6	27
	50	62	-6	27
20 Dakika	0	28	23	11
	10	28	23	11
	20	28	23	11
	30	42	-6	29
	40	42	-6	29
	50	42	-6	29
30 Dakika	0	28	23	11
	10	28	23	11
	20	28	23	11
	30	42	-6	29
	40	42	-6	29
	50	42	-6	29

**Şekil 4.22.** Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin rengi (1150°C)

Çizelge 4.15. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin renk skalası (1150°C)

1150 °C		L	a	b
Sinter Öncesi	0	63	0	0
10 Dakika	0	20	-5	0
	10	20	-5	0
	20	20	-5	0
	30	21	0	0
	40	21	0	0
	50	21	0	0
20 Dakika	0	20	-5	0
	10	20	-5	0
	20	20	-5	0
	30	21	0	0
	40	21	0	0
	50	21	0	0
30 Dakika	0	20	-5	0
	10	20	-5	0
	20	20	-5	0
	30	21	0	0
	40	21	0	0
	50	21	0	0

**Şekil 4.23.** Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin rengi (1250°C)

Çizelge 4.16. Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin renk skalası (1250°C)

1250 °C		L	a	b
Sinter Öncesi	0	63	0	0
10 Dakika	0	0	0	0
	10	0	0	0
	20	0	0	0
	30	7	26	11
	40	7	26	11
	50	7	26	11
20 Dakika	0	0	0	0
	10	0	0	0
	20	0	0	0
	30	7	26	11
	40	7	26	11
	50	7	26	11
30 Dakika	0	0	0	0
	10	0	0	0
	20	0	0	0
	30	7	26	11
	40	7	26	11
	50	7	26	11

Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'daki L*, a*, b* değerlerine bakıldığında zaman pomza içerisine ilave edilen perlit miktarındaki artış sonucu yapı içerisindeki renk yoğunluğu koyudan açığa doğru bir değişim göstermektedir. Yapılan EDS analizlerinden de görüldüğü üzere perlit miktarı arttıkça yapıdaki demir oranındaki azalmanın renk yoğunluğunu koyudan açığa doğru değiştirdiğini söyleyebiliriz. Bu durumda açık renkli bisküvi üretimi amacıyla pomza içerisine artan oranlarda perlit ilavesinin faydalı olabileceği söylenilebilir.

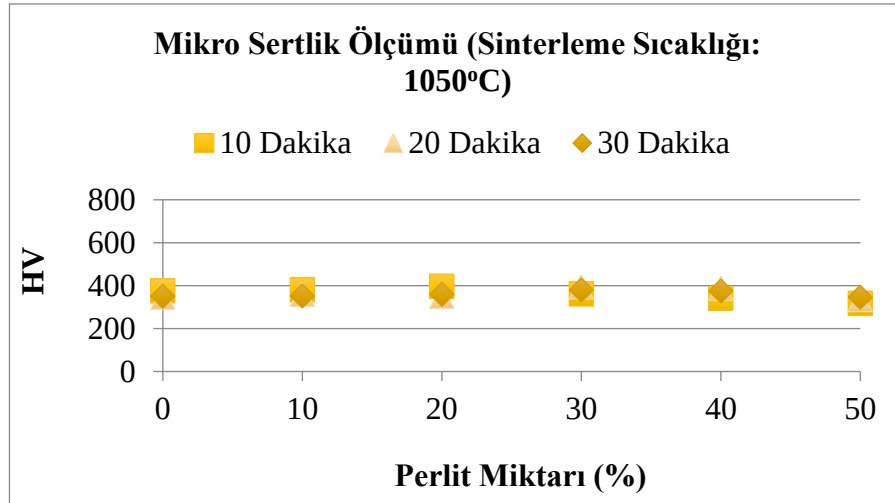
Sabit sinterleme sıcaklığında sinterleme süresinin belirlendiği deneysel çalışmalarda sürenin artmasıyla birlikte rengin koyulaştığı görülmektedir. Yine bu durumda seramik bisküvisi üretimi için sinterleme süresinin düşük tutulması gerekmektedir.

4.8. Mikro Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümleri için numune yüzeyleri 120µm SiC zımparadan başlayarak 3µm elmas parlatma ile hazırlanmıştır. Sertlik ölçümleri 980mN/10sn HV şartlarında yapılmıştır.

Çizelge 4.17. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1050°C)

% Perlit	Sinterleme Süresi 30 Dakika	Sinterleme Süresi 20 Dakika	Sinterleme Süresi 10 Dakika
0	351	346	375
10	352	360	380
20	360	350	398
30	380	394	361
40	375	387	341
50	346	335	318

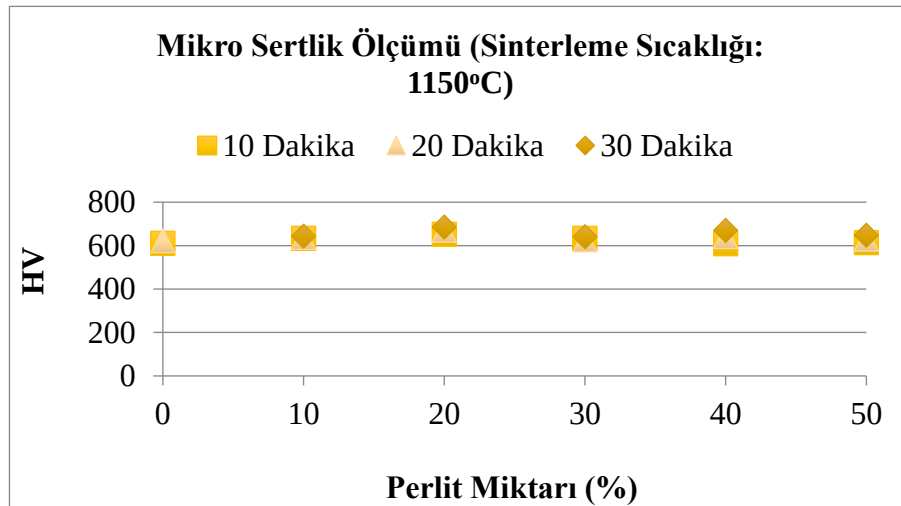


Şekil 4.24. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1050°C)

1050°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin sertlik ölçümleri sonuçlarına bakıldığında, perlit miktarındaki artışın numunenin sertliğini herhangi bir şekilde etkilemediği görülmektedir. Sertlik değerleri 351 kg/cm² ile en fazla 398 kg/cm² değerleri arasında okunmuştur(Çizelge 4.17 ve Şekil 4.24). Sertlik açısından bakıldığında cam ve seramiklerin sahip olduğu sertlik değerlerine nazaran oldukça düşük seviyelerdedir.

Çizelge 4.18. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1150°C)

% Perlit	Sinterleme Süresi 30 Dakika	Sinterleme Süresi 20 Dakika	Sinterleme Süresi 10 Dakika
0	638	623	611
10	643	638	634
20	685	671	652
30	641	627	634
40	670	642	609
50	648	630	614

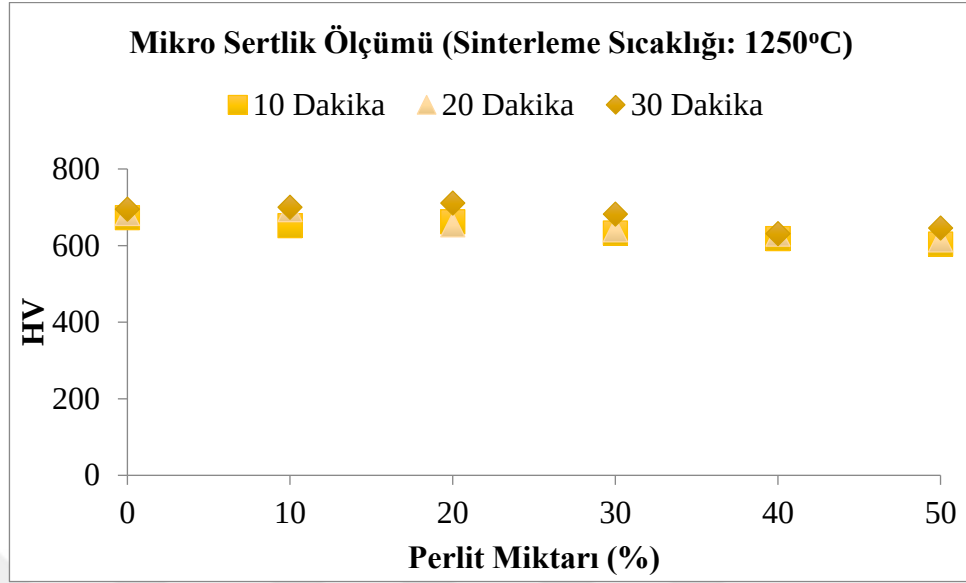


Şekil 4.25. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1150°C)

1150°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin sertlik ölçümleri sonuçlarına bakıldığında, bu sıcaklıkta da perlit miktarındaki artışın numunenin sertliğini herhangi bir şekilde etkilemediği görülmektedir. Sertlik değerleri 623 kg/cm² ile en fazla 685 kg/cm² değerleri arasında okunmuştur (Çizelge 4.18 ve Şekil 4.25). Sinterleme sıcaklığının artması numunelerin sertliğini hemen hemen iki katına kadar çıkartmıştır. Sertlik açısından bakıldığında cam malzemelerin sahip olduğu sertlik değerlerine nazaran yakın değerler 1150°C sıcaklıkta elde edilmiştir.

Çizelge 4.19. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1250°C)

% Perlit	Sinterleme Süresi 30 Dakika	Sinterleme Süresi 20 Dakika	Sinterleme Süresi 10 Dakika
0	695	684	673
10	700	694	652
20	711	654	662
30	682	641	633
40	631	630	618
50	646	615	604



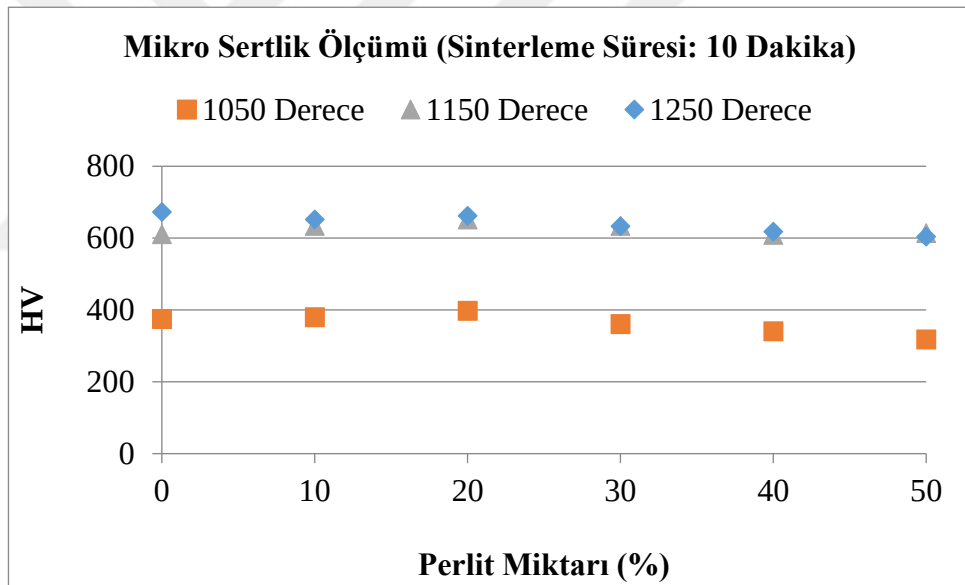
Şekil 4.26. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme sıcaklığı: 1250°C)

1250°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin sertlik ölçümleri sonuçlarına bakıldığında, bu sıcaklıkta da perlit miktarındaki artışın numunenin sertliğini herhangi bir şekilde etkilemediği görülmektedir. Sertlik değerleri 695 kg/cm² ile en fazla 711 kg/cm² değerleri arasında okunmuştur (Çizelge 4.19 ve Şekil 4.26). Sinterleme sıcaklığının artması 1150°C sıcaklığa nazaran numunelerin sertliğini çok azda olsa arttırmaya yetmiştir.

Sinterleme süresinin sertlik üzerine etkisini inceleyebilmek amacı ile hazırlanan Çizelge 4.20, Çizelge 4.21 ve Çizelge 4.22 ile Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'daki veriler sinterleme süresinin tıpkı perlit katkı oranının artmasındakine benzer şekilde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

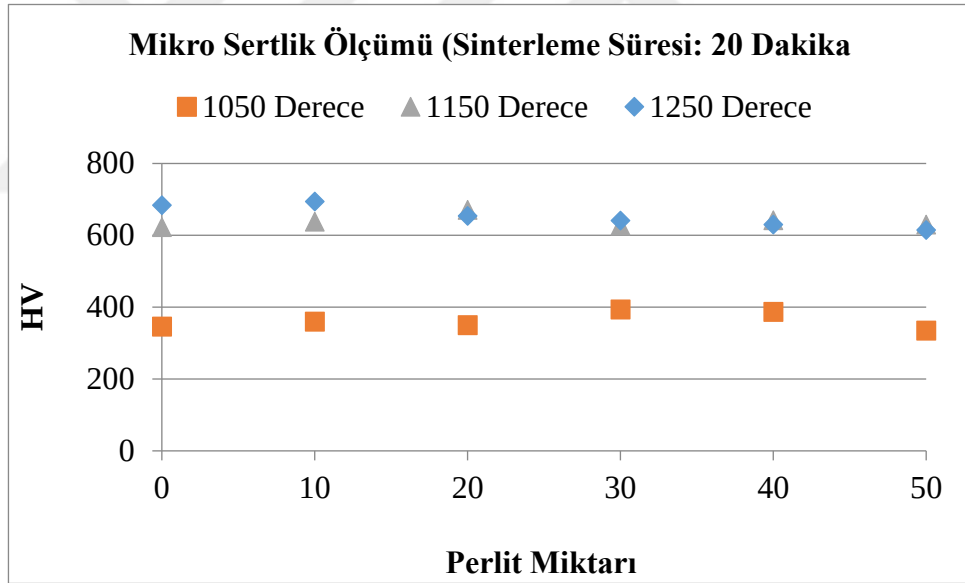
Çizelge 4.20. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 10 dakika)

% Perlit	Sinterleme Sıcaklığı 1050°C	Sinterleme Sıcaklığı 1150°C	Sinterleme Sıcaklığı 1250°C
0	375	611	673
10	380	634	652
20	398	652	662
30	361	634	633
40	341	609	618
50	318	614	604

**Şekil 4.27.** Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 10 dakika)

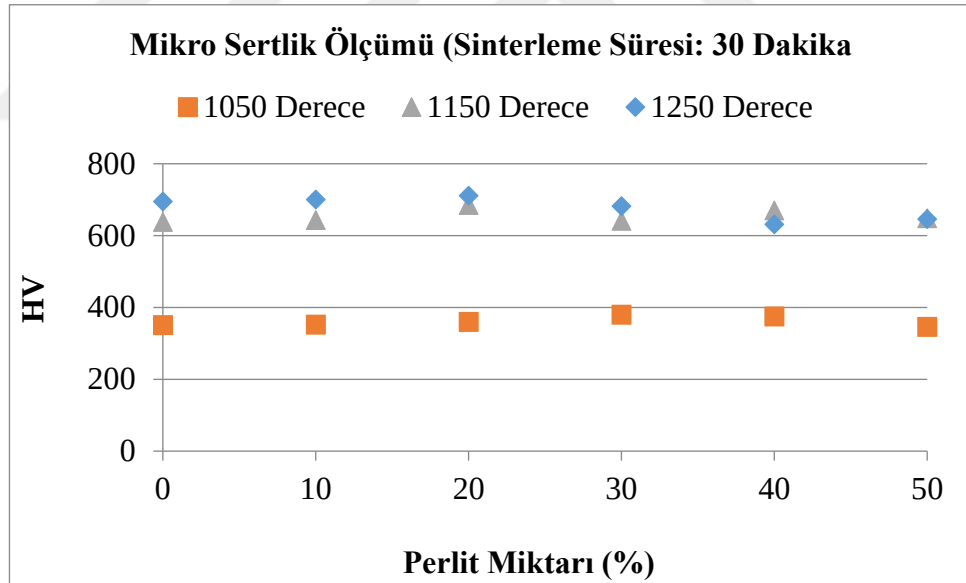
Çizelge 4.21. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 20 dakika)

% Perlit	Sinterleme Sıcaklığı 1050°C	Sinterleme Sıcaklığı 1150°C	Sinterleme Sıcaklığı 1250°C
0	346	623	684
10	360	638	694
20	350	671	654
30	394	627	641
40	387	642	630
50	335	630	615

**Şekil 4.28.** Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 20 dakika)

Çizelge 4.22. Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 30 dakika)

Sinterleme Süresi 30 Dakika			
% Perlit	Sinterleme Sıcaklığı 1050°C	Sinterleme Sıcaklığı 1150°C	Sinterleme Sıcaklığı 1250°C
0	351	638	695
10	352	643	700
20	360	685	711
30	380	641	682
40	375	670	631
50	346	648	646

**Şekil 4.29.** Mikro sertlik ölçümü (Sinterleme süresi: 30 dakika)

Sonuç olarak deneyler esnasında elde edilen veriler, sinterleme süresinin ve perlit katkı oranındaki artışın, ürünün sertliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ancak sinterleme sıcaklığındaki artışın sertlik değerlerini artırdığını ortaya koymaktadır. 1050°C sıcaklıkta 300 kg/cm² civarında olan sertlik değeri 1150 ve 1250°C sıcaklıklarda 600 kg/cm² -700 kg/cm² değerlerine ulaşmıştır. Bu değerler seramik malzemelerin

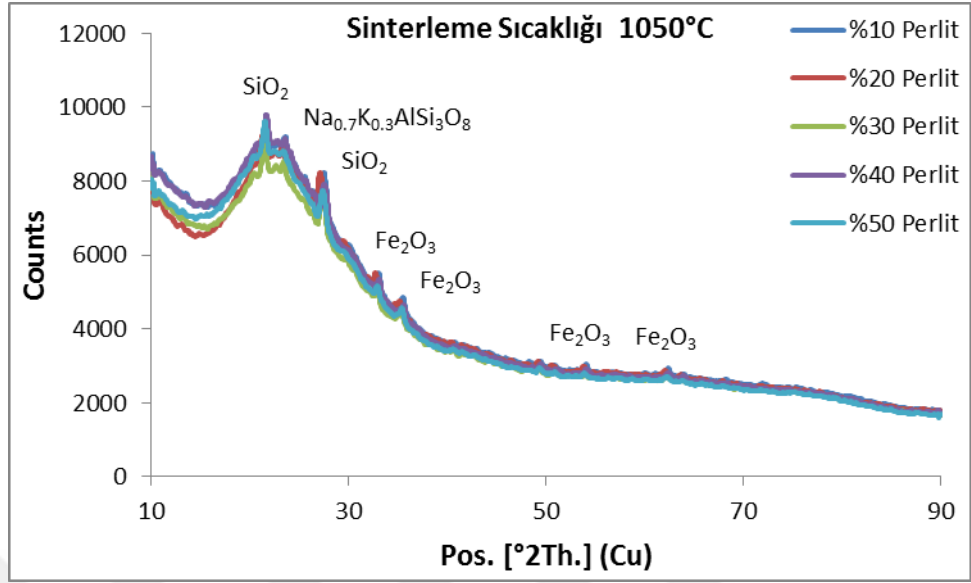
sertlik değerlerine göre kısmen küçük kalmakla beraber cam malzemelerin sertlik değerlerinin üstündedir.

Her ne kadar malzemenin sertlik değerleri geleneksel seramik malzemelere göre düşük çıkmış olsa bile bu durum malzemenin işlenebilirliğini kolaylaştırması açısından iyi bir yaklaşım olarak kabul edilebilir. Elde etmiş olduğumuz numunelerin talaşlı şekillendirilmeleri, torna işlenmesine müsait bir yapıda olması, yüzeyindeki çarpıklıkların zımparalama ile kolayca giderilebilmesi gibi faktörleri bir avantaj olarak karşımıza çıkartmaktadır.

4.9. X- Işınları Kırınımı (XRD)

Sinterleme sonrasında oluşan kristal fazların türünü tespit etmek, numunelerin farklı sıcaklıklarda ve aynı sıcaklıklarda sinterlenmesi sonucunda kristal gelişimini incelemek ve kristal miktarını relatif olarak (pik şiddetlerinden) karşılaştırmak için numuneler üzerinde XRD ile kalitatif faz analizleri yapılmıştır.

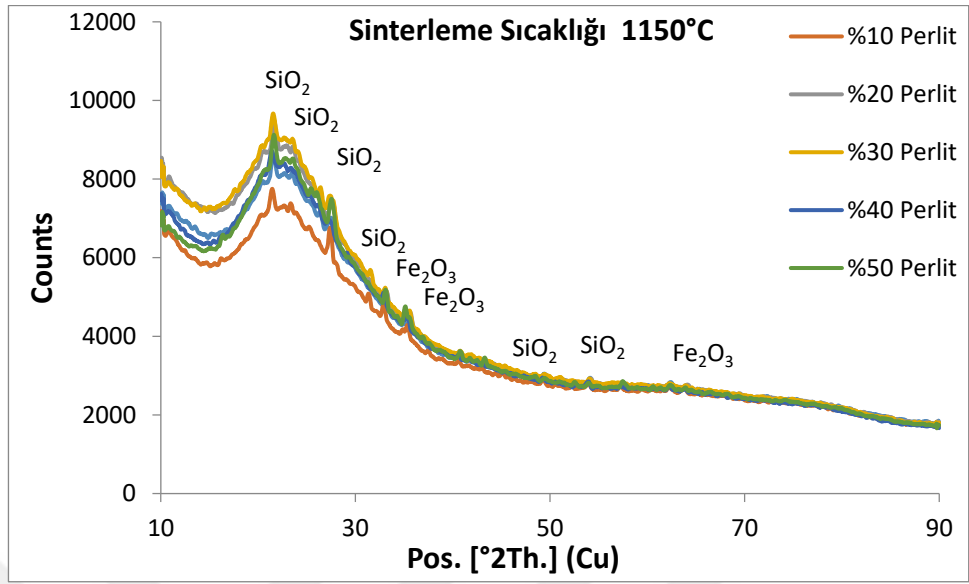
1050°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinin XRD modellerinin birleştirilmiş gösterimi şekil 4.30’da verilmektedir.



Şekil 4.30. 1050°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş katkısız ve %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinin XRD modellerinin birleştirilmiş gösterimi

Şekil 4.30'da görüldüğü üzere birleştirilmiş XRD modelleri birbiriyle örtüşmektedirler. Perlit katkılı pomza numunelerinde kristal fazların varlığı $2\theta = 21.0^\circ$, 24.0° , 27.0° , 33° , 36° , 55.0° ve 62.0° 'de piklerde kendini göstermiştir. $2\theta = 15$ ve 35 arasındaki gözlemlenen yükselti, 5 numunenin tamamında da amorf fazın var olduğunu göstermektedir. Aralarında çok büyük bir fark olmamakla birlikte, yükseltilerin birbiri aralarındaki büyüklük (yani yükseltinin alanı) amorf fazın büyüklüğü ile alakalıdır.

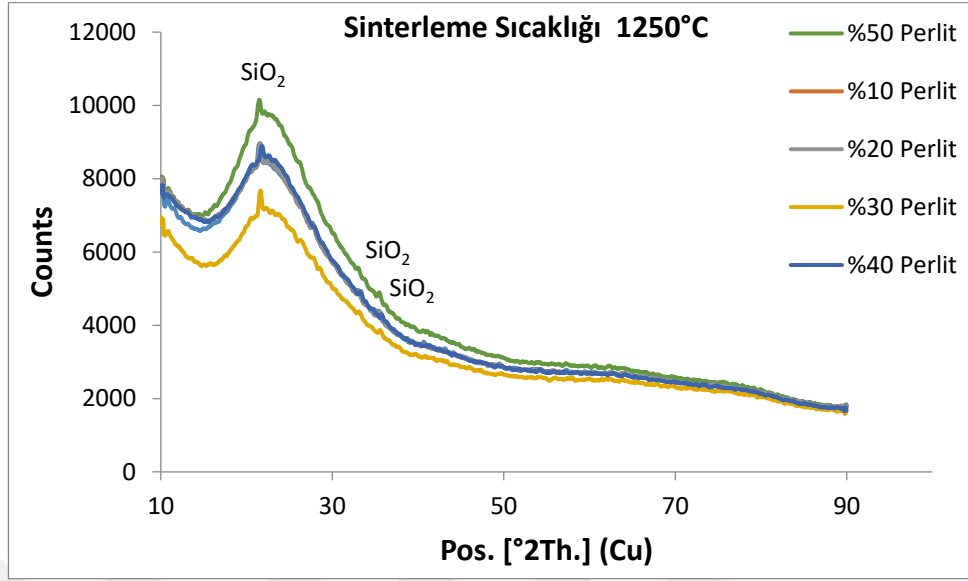
XRD sonuçlarına göre 1050°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinde hakim faz kuvars fazı (SiO_2) olmakla birlikte anortoklaz ve sodyum alümina silika fazları ile demir elementlerini içeren hematit faz oluşumları gözlemlenmektedir. 1150°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş katkısız ve %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinin XRD modellerinin birleştirilmiş gösterimi Şekil 4.31'de verilmektedir.



Şekil 4.31. 1150°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş katkısız ve %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinin XRD modellerinin birleştirilmiş gösterimi

Şekil 4.31’de görüldüğü üzere 1150°C sıcaklıktaki birleştirilmiş XRD modelleri 1050°C sıcaklıktaki verilere benzer tarzda birbirleriyle örtüşmektedirler. Perlit katkılı pomza numunelerinde kristal fazların varlığı $2\theta = 21.0^\circ, 23.0^\circ, 27.0^\circ, 31^\circ, 33^\circ, 35.0^\circ, 43.0^\circ, 54^\circ$ ve 62° ’de piklerde kendini göstermiştir. $2\theta = 15$ ve 35 arasındaki gözlemlenen yükselti, 5 numunenin tamamında da amorf fazın var olduğunu göstermektedir.

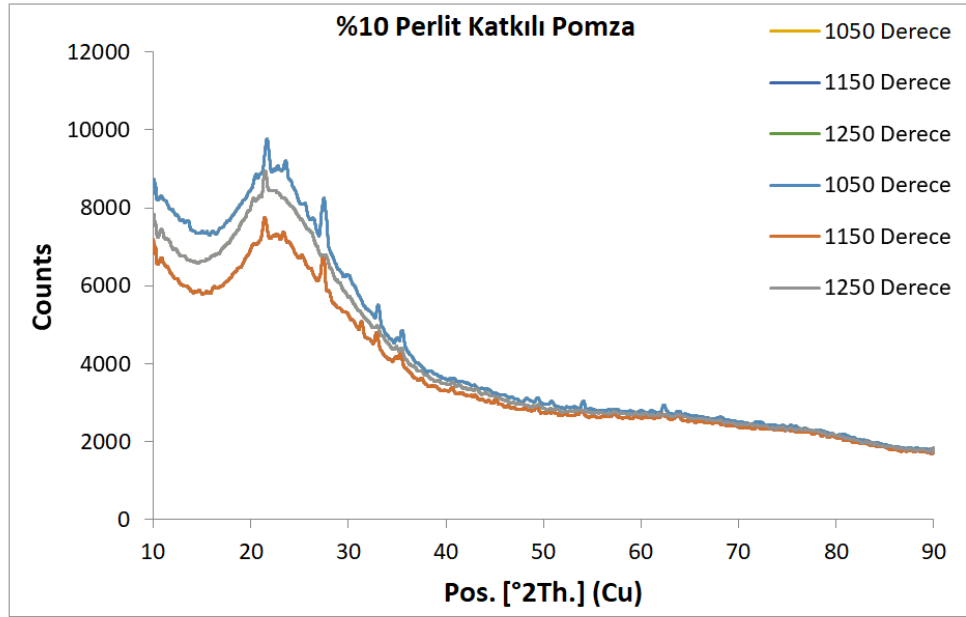
XRD sonuçlarına göre 1150°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinde hakim faz kuvars fazı (SiO₂) olmakla birlikte diğer fazlar potasyum ağırlıklı ortaklas, kalsilit tarzı oluşumlar ile alüminyum silikat, demir silikat, ve demir oksit faz oluşumlarıdır. 1250°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinin XRD modellerinin birleştirilmiş gösterimi Şekil 4.32’de verilmektedir.



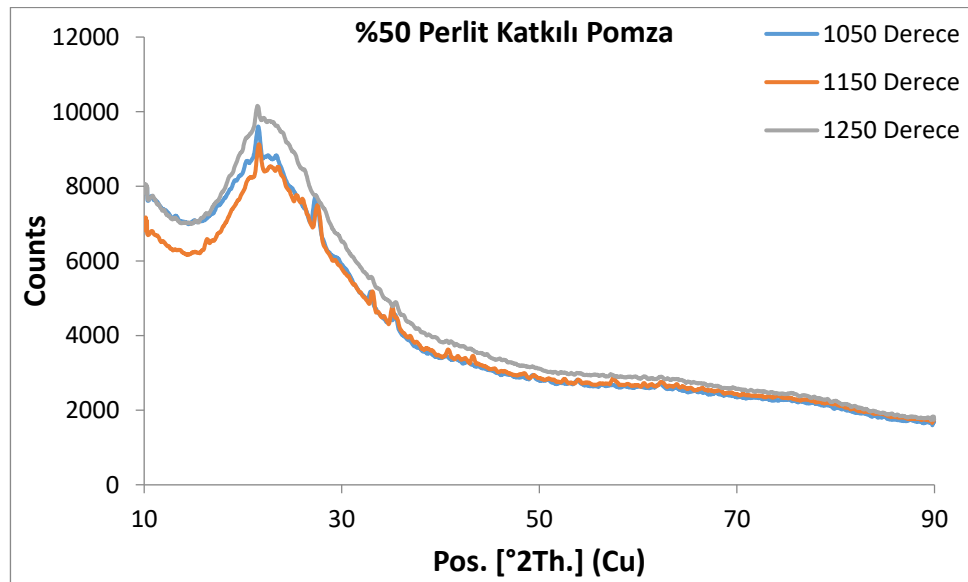
Şekil 4.32. 1250°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş katkısız ve %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinin XRD modellerinin birleştirilmiş gösterimi

Şekil 4.32’de görüldüğü üzere birleştirilmiş 1250°C sıcaklıkta perlit katkılı pomza numunelerinde kristal fazların varlığı $2\theta = 21.0^\circ$, 27.0° , 33° ve 35.0° ’de piklerde kendini göstermiştir. $2\theta = 15$ ve 35 arasındaki gözlemlenen yükselti, 5 numunenin tamamında da amorf fazın var olduğunu göstermektedir.

XRD sonuçlarına göre 1250°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinde hakim faz olarak SiO₂ fazı gözlemlenmektedir. 1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda elde edilen fazların toplu gösterimi %10 perlit için Şekil 4.33’de %50 perlit için Şekil 4.34’de verilmiştir. Arada kullanılan katkı oranlarında herhangi bir değişiklik olmadığı için burada göstermeye gerek duyulmamıştır.



Şekil 4.33. 1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda elde edilen fazların toplu gösterimi (%10 perlit için)

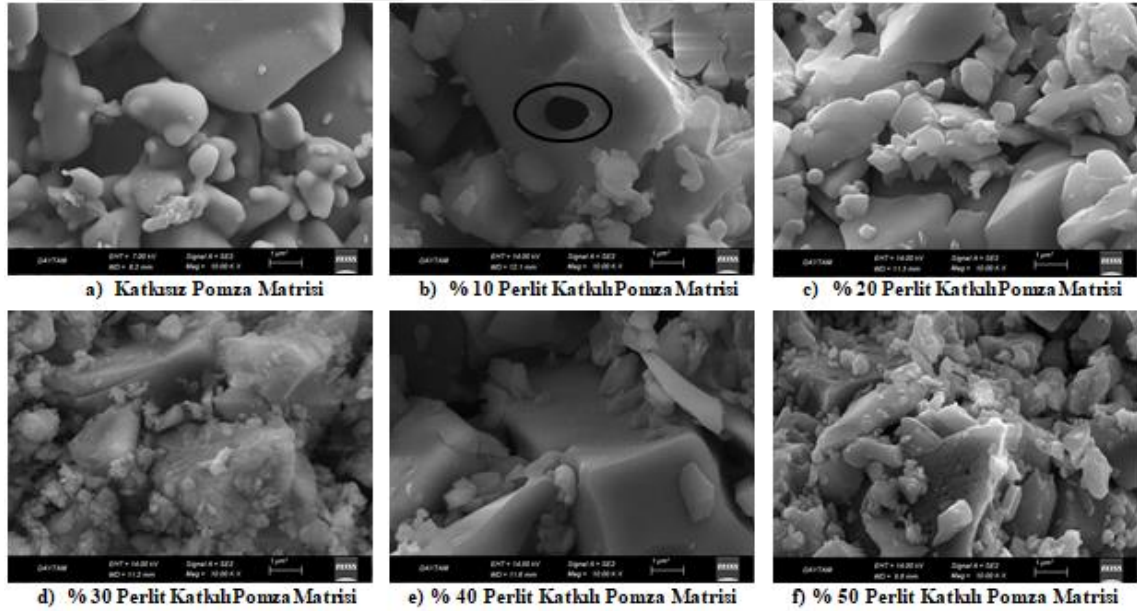


Şekil 4.34. 1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda elde edilen fazların toplu gösterimi (%50 perlit için)

4.10. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM ve EDS)

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen numunelerin mikro yapılarını belirleyebilmek amacı ile 1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda 10 dakika sinterleme işlemine tabi tutulan numunelerin SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza, %10 perlit ilaveli pomza, %20 perlit ilaveli pomza, %30 perlit ilaveli pomza, %40 perlit ilaveli pomza ve %50 perlit ilaveli pomza numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.35’de verilmiştir.

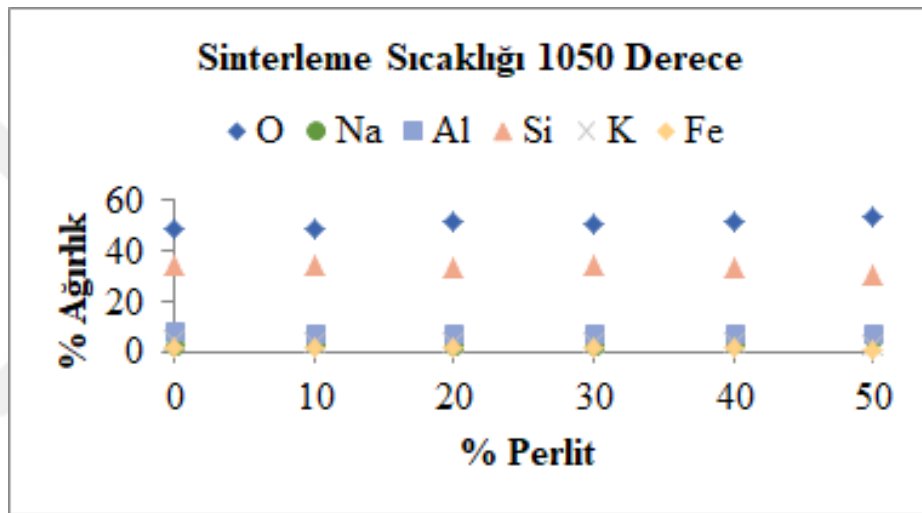


Şekil 4.35. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait SEM görüntüleri (10.00 KX Büyütme)

Şekil 4.35’de %10-%50 perlit içeren pomza ve katkısız pomza numunelerinin 1050 °C sıcaklıktaki sinterlenmesinde 10 dakikalık sürenin yeterli olduğu anlaşılmaktadır. SEM görüntülerinden de anlaşılabileceği üzere 400-38 mikron boyutları arasındaki irili ufaklı tanelere sahip karışımda, izostatik presin etkisi sonucunda ufak boyutlu taneler iri boyutlu tanelerin arasındaki boşluklara girerek gözeneklerin mümkün olduğu oranda kapatılmasını sağlamıştır. Ancak %10 perlit katkılı pomza matrisinin görüntüsünde (Şekil 4.35-b) daire içerisine alınan kısımdan da görüleceği üzere taneler arasındaki

boşluklar her ne kadar presleme ve irili ufaklı tanelerin iç içe girmesi sonucu kısmen kapanmış olsa da tanelerin kendi bünyesinde bulunan boşluklar kapanmadığı için sinterlenmiş numunede boşluksuz yapı elde edilmesi mümkün olamamıştır. SEM görüntülerinden taneler arasındaki boyun oluşumu ve sinterleşme görülebilmektedir.

SEM görüntüleri çekilen numunelerden bölgesel EDS analizleri alınmış ve analiz sonucu ise Şekil 4.36 ve Çizelge 4.23’de verilmiştir.



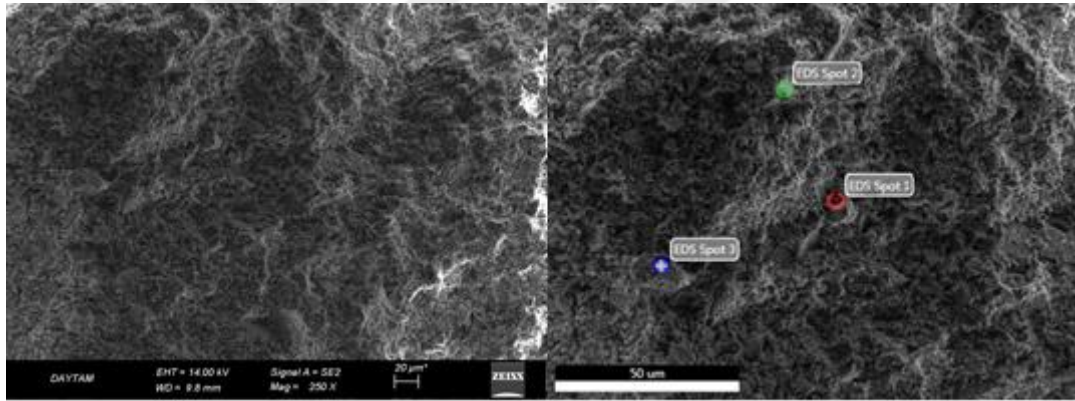
Şekil 4.36. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri (grafik gösterimi)

Çizelge 4.23. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri

Element	Katkısız Pomza	% 10 Perlit	% 20 Perlit	% 30 Perlit	% 40 Perlit	% 50 Perlit
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	48,87	48,8	50,99	50,23	51,1	53,21
Na	2,43	3,33	2,92	2,85	3,83	5,66
Al	7,9	7,84	7,24	7,67	7,34	7,65
Si	34,53	34,23	33,54	34,54	32,82	30,11
K	4,34	3,98	3,73	3,2	3,21	2,52
Fe	1,94	1,83	1,59	1,51	1,7	0,86

Bölgesel EDS sonuçlarının verildiği Şekil 4.36 ve Çizelge 4.23’de ki verilere göre numuneler ağırlıklı olarak Si, Al ve K elementlerinden oluşan oksitlerden oluşmuşlardır. Demir oksitler ise yapıda çok az miktarda bulunmaktadır. Sodyum ve potasyum yer yer oransal benzerlik göstermektedirler.

Pomza içerisine ilave edilen perlit miktarının elementel bazda yapıya olan etkisini belirleyebilmek için katkısız pomza ve %50 katkılı pomza numunelerinden noktasal EDS analizleri alınmıştır. Sonuçlar 1050°C sıcaklıkta sinterlenen katkısız pomza için Şekil 4.37 ve Çizelge 4.24’de, %50 katkılı pomza için ise Şekil 4.38 ve Çizelge 4.25’de verilmiştir.

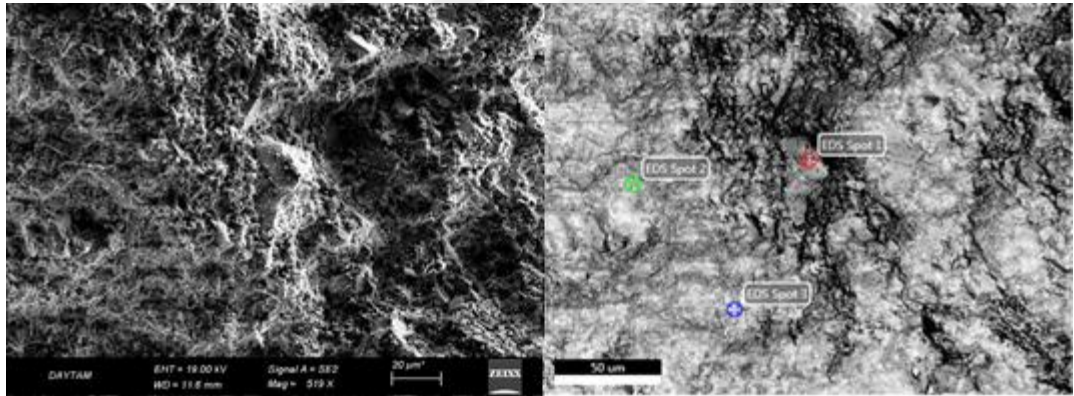


Şekil 4.37. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait SEM görüntüleri (250 X büyütme)

Katkısız pomza numunesi üzerinden 3 noktadan EDS alınmıştır. Noktalar Şekil 4.37’de görüldüğü üzere iri tane, ufak tane ve inklüzyon üzerinden alınmıştır. Çizelge 4.24’de görüldüğü üzere inklüzyon üzerinden alınan (Spot 1) değerinde yapıya S ve Cl elementleri inklüzyon olarak girmektedir. Kükürt ve klor elementlerinin yapıda mevcut olan alkaliler etkisi ile bünyeye girdiği düşünülmektedir. Spot 2 noktasından alınan ve ince tane olarak görülen bölgenin de Spot 1’e benzerliğinden dolayı inklüzyon içerdiği Spot 2 verilerinden anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.24. 1050 °C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri

Element	% Ağırlık (Spot 1)	% Ağırlık (Spot 2)	% Ağırlık (Spot 3)	Matris
O	23,8	27,55	57,36	48,87
Na	1,17	-	5,68	2,43
Al	8,39	4,80	9,04	7,9
Si	45,35	56,59	24,74	34,53
K	9,15	6,65	1,50	4,34
Fe	2,07	1,23	1,69	1,94
Cl	2,68	-	-	-
S	7,39	3,18	-	-



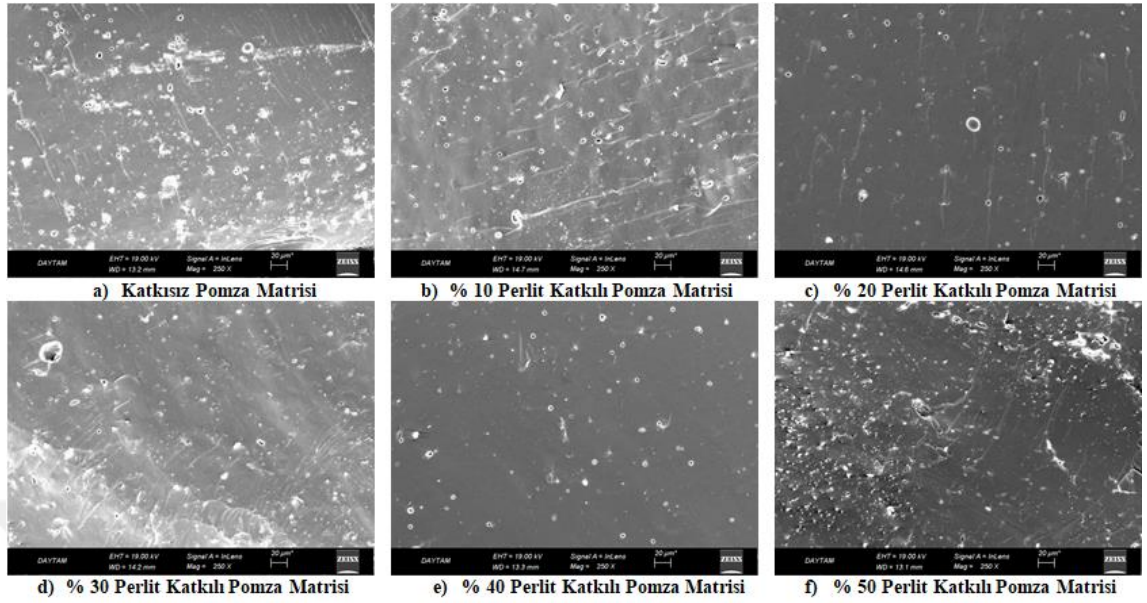
Şekil 4.38. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüleri (519 K büyütme)

Şekil 4.38’de görüldüğü üzere %50 perlit katkılı pomza numunesi üzerinden de 3 noktadan EDS alınmış sonuçlar Çizelge 4.25’te verilmiştir.

Çizelge 4.25. 1050°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri

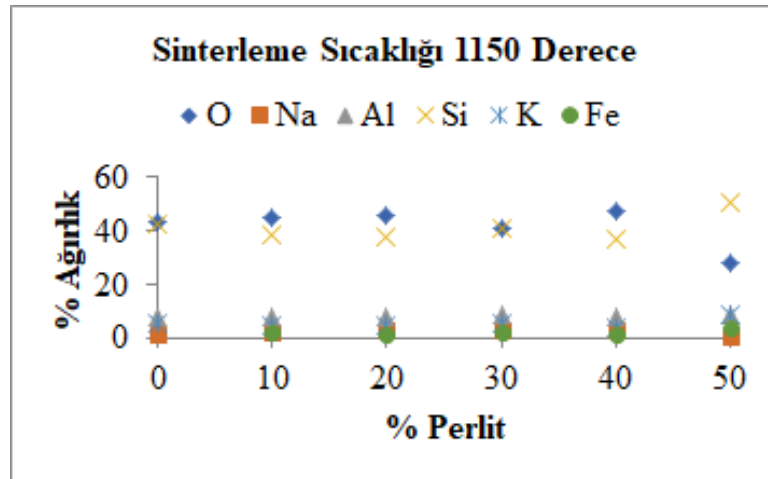
Element	% Ağırlık (Spot 1)	% Ağırlık (Spot 2)	% Ağırlık (Spot 3)	Matris
O	50.66	53.52	39.86	53,21
Na	0.57	3.66	0.40	5,66
Al	6.71	6.43	7.82	7,65
Si	36.14	33.12	42.98	30,11
K	4.32	2.39	7.18	2,52
Fe	1.60	0.88	1.76	0,86

1150 °C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza, %10, %20, %30, %40 ve %50 perlit ilaveli pomza numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.39’da, numunelerden alınan bölgesel EDS analizleri ise Şekil 4.40 ve Çizelge 4.26’da verilmektedir.



Şekil 4.39. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait SEM görüntüleri (250 X büyütme)

SEM görüntülerinden de görüldüğü üzere 1150°C sıcaklıkta numune yüzeyinde amorf yapı hakim faz haline geçmiştir. Yapı içerisinde oluşan boşlukların düzgün bir dağılıma sahip olmadığı görülmektedir (Şekil 4.39).



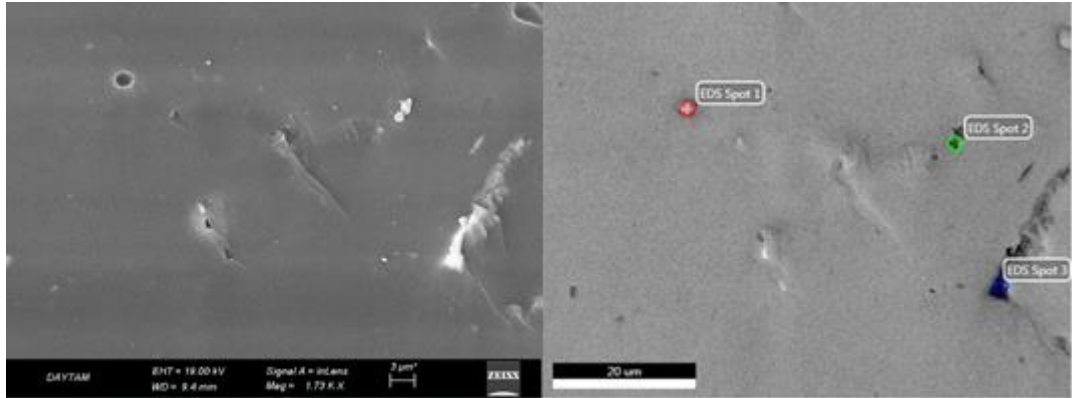
Şekil 4.40. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri (grafik gösterimi)

Çizelge 4.26. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri

Element	Katkısız Pomza	% 10 Perlit	% 20 Perlit	% 30 Perlit	% 40 Perlit	% 50 Perlit
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	43,27	44,62	45,49	40,39	47,51	28,2
Na	1	2,3	2,6	2,79	2,78	0,53
Al	8,08	8,18	8,01	8,75	7,61	8,53
Si	42,08	38,52	37,74	40,86	36,7	50,71
K	5,57	4,55	4,48	5,35	3,97	8,49
Fe	0,1	1,82	1,67	1,85	1,41	3,55

EDS analiz sonuçlarına göre numuneler ağırlıklı olarak Si, Al ve K elementlerinden oluşan oksitlerden oluşmuşlardır (Şekil 4.40, Çizelge 4.26).

Pomza içerisine ilave edilen perlit miktarının elementel bazda yapıya olan etkisini belirleyebilmek için katkısız pomza ve %50 katkılı pomza numunelerinden noktasal EDS analizleri alınmıştır. Sonuçlar 1150°C sıcaklıkta sinterlenen katkısız pomza için Şekil 4.41 ve Çizelge 4.27’de, %50 katkılı pomza için ise Şekil 4.42 ve Çizelge 4.28’de verilmiştir.

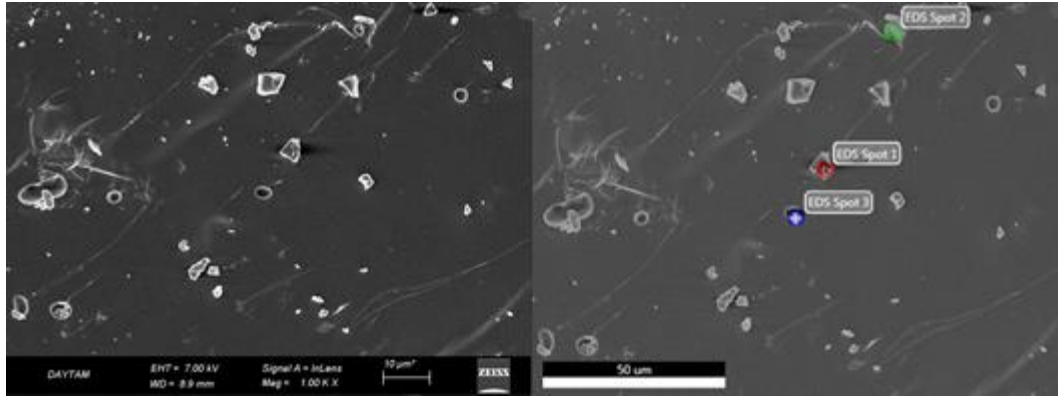


Şekil 4.41. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait SEM görüntüleri (1.73 KX büyütme)

Şekil 4.41’de gösterilen katkısız pomza numunesi üzerinde mevcut inklüzyon üzerinden alınan Spot 3 EDS sonucuna göre yapıda Ca, Mg ve Mn kalıntılarına rastlanılmıştır (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri

Element	% Ağırlık (Spot 1)	% Ağırlık (Spot 2)	% Ağırlık (Spot 3)	Matris
O	22,15	32,25	39,16	43,27
Na	0,00	0,29	1,14	1,00
Al	6,33	9,53	4,53	8,08
Si	53,26	47,47	33,50	42,08
K	11,71	7,27	33,50	5,57
Fe	6,54	3,19	2,17	-
Ca	-	-	7,14	-
Mg	-	-	4,2	-
Mn	-	-	0,5	-



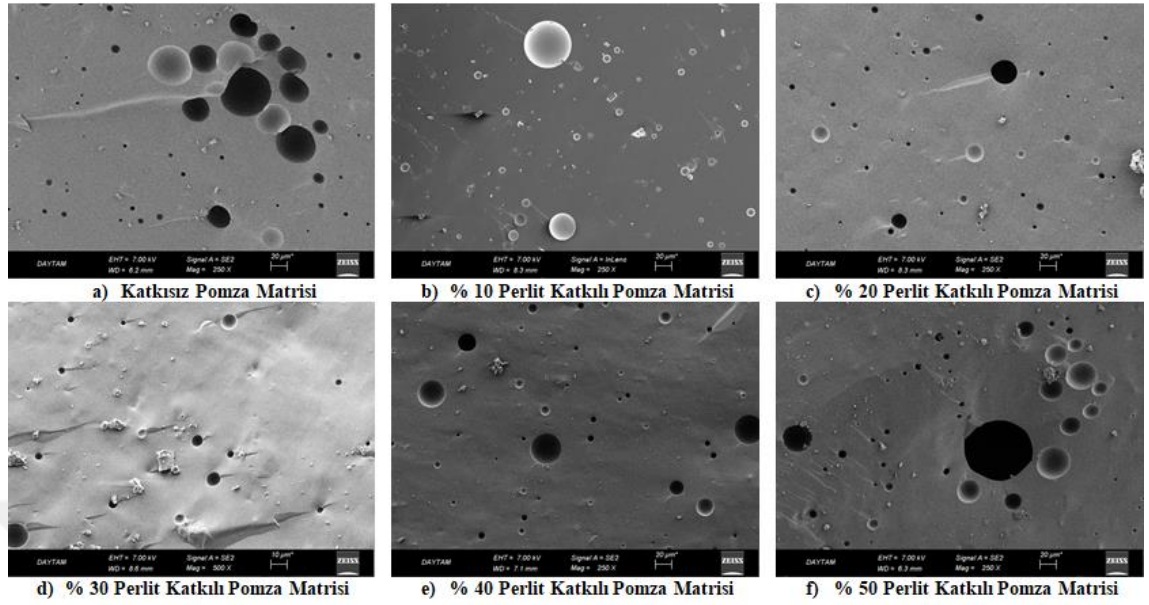
Şekil 4.42. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüsü (1.00 KX büyütme)

Şekil 4.42’de görüldüğü üzere %50 perlit katkılı pomza numunesi üzerinden de 3 noktada EDS alınmış sonuçlar Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. 1150°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri

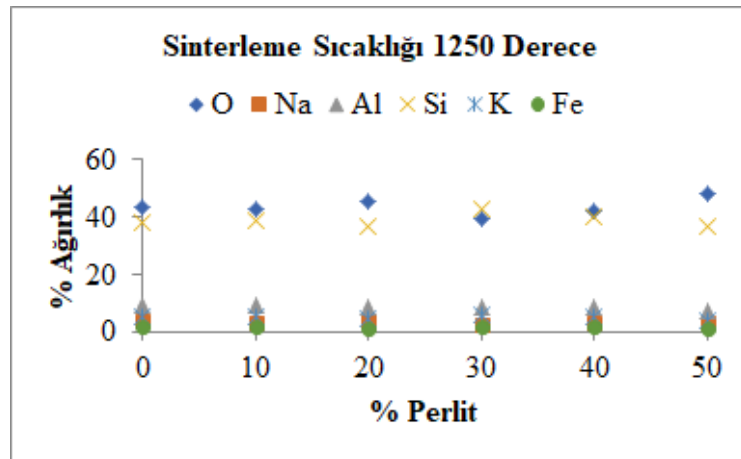
Element	% Ağırlık (Spot 1)	% Ağırlık (Spot 2)	% Ağırlık (Spot 3)	Matris
O	44,26	44,16	45,54	28,2
Na	1,99	1,76	3,56	0,53
Al	8,76	8,25	9,22	8,53
Si	38,11	38,96	35,80	50,71
K	5,12	5,03	4,62	8,49
Fe	1,77	1,85	1,25	3,55

1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza, %10, %20, %30, %40 ve %50 perlit ilaveli pomza numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.43’de, numunelerden alınan EDS analizleri ise Şekil 4.44 ve Çizelge 4.29’da verilmektedir.



Şekil 4.43. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait SEM görüntüleri (250 X büyütme)

SEM görüntülerinden de görüldüğü üzere 1250°C sıcaklıkta numune yüzeyinde 1150°C sıcaklıkta olduğu gibi amorf yapı hakim faz halindedir. Yapı içerisinde oluşan boşlukların ise düzgün küresel şekilli olduğu görülmektedir (Şekil 4.43).



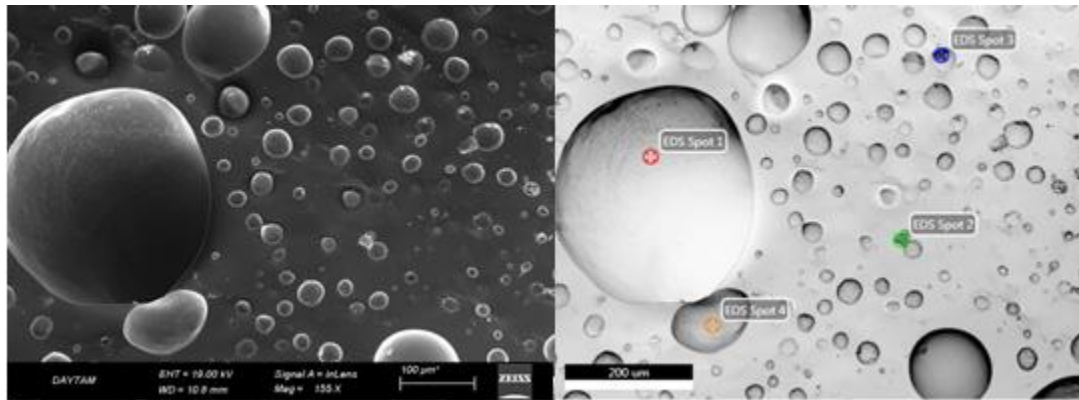
Şekil 4.44. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri (grafik gösterimi)

Çizelge 4.29. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait bölgesel EDS analiz verileri

Element	Katkısız Pomza	% 10 Perlit	% 20 Perlit	% 30 Perlit	% 40 Perlit	% 50 Perlit
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	43,48	42,83	45,29	39,04	42,18	47,65
Na	3,59	3,16	3,79	2,2	3,22	3
Al	8,88	8,88	8,49	8,75	8,47	7,49
Si	37,59	38,4	36,74	42,35	39,75	36,56
K	4,84	5,02	4,36	5,81	4,86	3,97
Fe	1,62	1,71	1,33	1,85	1,52	1,32

EDS analiz sonuçlarına göre numuneler ağırlıklı olarak Si, Al ve K elementlerinden oluşan oksitlerden oluşmuşlardır (Şekil 4.44, Çizelge 4.29).

Pomza içerisine ilave edilen perlit miktarının elementel bazda yapıya olan etkisini belirleyebilmek için katkısız pomza ve %50 katkılı pomza numunelerinden noktasal EDS analizleri alınmıştır. Sonuçlar 1250°C sıcaklıkta sinterlenen katkısız pomza için Şekil 4.45 ve Çizelge 4.30’de, %50 katkılı pomza için ise Şekil 4.46 ve Çizelge 4.31’de verilmiştir.

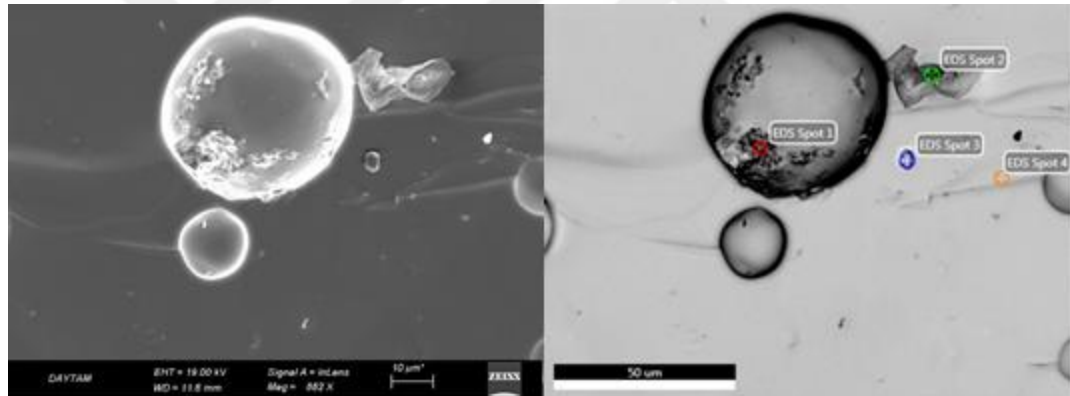


Şekil 4.45. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait SEM görüntüsü (155 X büyütme)

Şekil 4.45’de görüldüğü üzere katkısız pomza numunesi üzerinde mevcut inklüzyon üzerinde (Spot 2) Ca kalıntılarına rastlanılmıştır (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen katkısız pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri

Element	% Ağırlık (Spot 1)	% Ağırlık (Spot 2)	% Ağırlık (Spot 3)	% Ağırlık (Spot 3)	Matris
O	5,24	46,7	45,85	35,87	20,59
Na	0,00	1,07	2,94	0,53	2,68
Al	10,61	7,32	11,09	8,85	10,42
Si	65,08	35,72	34,46	43,26	51,96
K	13,87	4,24	4,00	8,37	8,5
Fe	5,19	2,2	1,67	3,12	2,04
Ca		2,41			



Şekil 4.46. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüsü (882 X büyütme)

Şekil 4.46’da görüldüğü üzere %50 perlit katkılı pomza numunesi üzerinden 4 noktada EDS alınmış sonuçlar Çizelge 4.31’de verilmiştir. Büyük gözenek içerisinde görülen inklüzyonlar üzerinden alınan EDS sonucu (Spot 1) inklüzyonların Fe yüzdelерinin çok yüksek olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.31. 1250°C sıcaklıkta 10 dakika boyunca sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait noktasal EDS analiz verileri

Element	% Ağırlık (Spot 1)	% Ağırlık (Spot 2)	% Ağırlık (Spot 3)	% Ağırlık (Spot 4)	Matris
O	15.01	23.88	48.16	45.03	47,65
Na	4.09	0.00	0.49	3.11	3
Al	3.19	5.42	30.15	9.31	7,49
Si	11.30	62.17	19.19	37.02	36,56
K	1.30	5,85	1.67	4.05	3,97
Fe	51,97	2,68	0,34	1,47	1,32
Ca	13,15				

4.11. Yüzey Alanı Ölçümü (BET)

Yüzey alanı ve gözeneklilik, katı fazlı gözenekli malzemelerin kalitesini ve karakterini etkileyen fiziksel özelliklerdir. Aynı ağırlığa ve hacme sahip olan malzemeler, yüzey aktivitesi ve adsorpsiyon hacminde sergiledikleri spesifik yüzey alanına göre farklılık gösterebilir.

Deney numunelerimize ait BET yüzey alanı, mikro gözenek boyut dağılımı gibi yüzey özelliklerini belirlemeye yönelik ölçümler 1050°C ve 1150°C sıcaklıklarda sinterlenen katkısız ve %50 katkılı numunelerden alınmıştır. Analizler öncelikle perlit katkısı olmayan numunelerin farklı sıcaklıklarında alınmıştır. Çizelge 4.32’de görüldüğü üzere

1050 °C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin BET yüzey alanı yaklaşık 23 m²/g iken 1150°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin yüzey alanı yaklaşık 25 m²/g olarak ölçülmüştür. Yüzey alanı sonuçları BJH ve D-H (adsorption, desorption) yüzey alanlarında da sıcaklık artışı ile birlikte düşüş göstermektedir. Aynı şekilde porların ortalama hacmi ve buna paralel olarak da por çapı sıcaklık artışı ile birlikte düşme eğilimindedir. Perlit ilavesinin por hacmi ve çapına etkisini belirlemek için bu sefer %50 katkılı perlit numunesinin 1150°C sıcaklıkta sinterlenen numunesi üzerinden BET

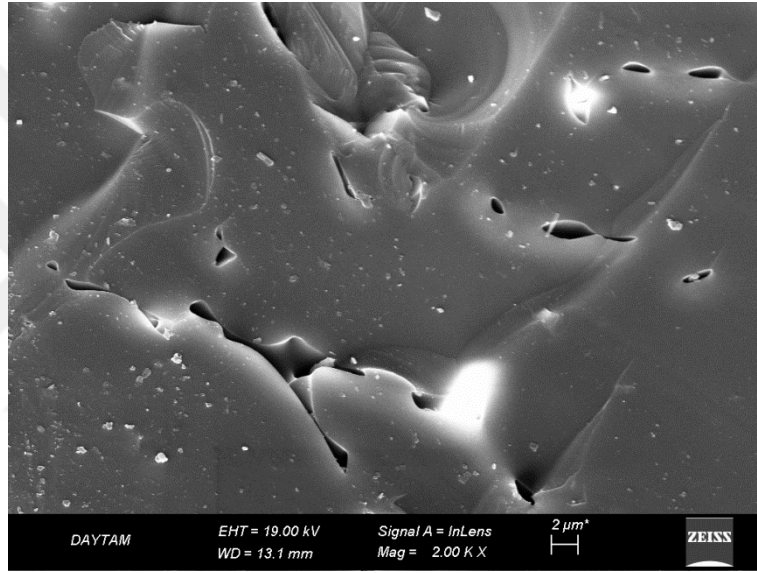
ölçümü yapılmıştır. Sonuçlara göre perlit katkısının pomza numunesi üzerinde por hacmini ve çapını önemli oranda azalttığı görülmüştür. Toplam por hacmi (Single point adsorption) %50 katkılı perlit için 0,02'den 0,0002 mertebelerine kadar düşmüştür.

Çizelge 4.32. Farklı sıcaklıklarda 10 dakika boyunca sinterlenen pomza numunesine ait BET yüzey alanı analiz verileri

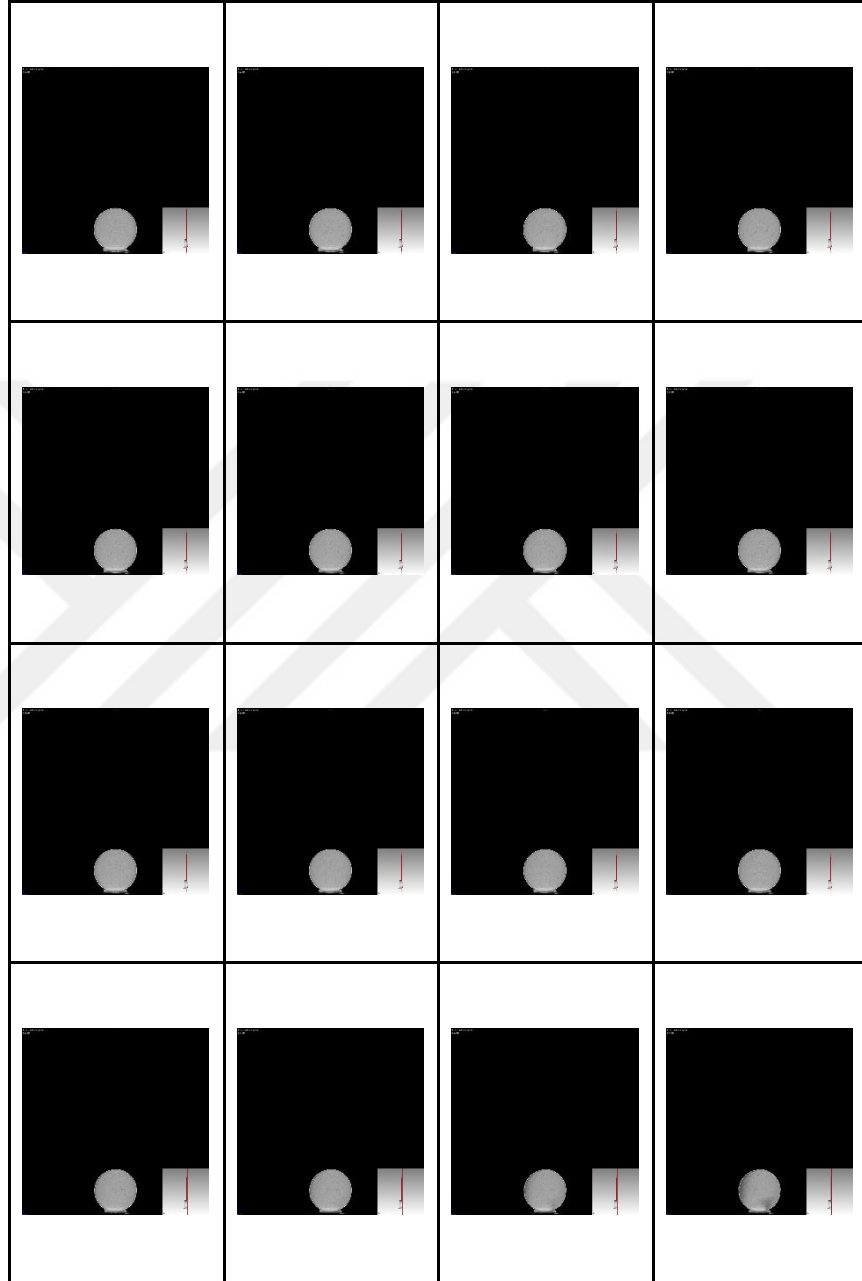
	1050 °C Katkısız	1150 °C Katkısız	1150 °C % 50 Perlit
BET Yüzey Alanı:	23,3631 m ² /g	24,9864 m ² /g	7,4455 m ² /g
Porların Toplam Yüzey Alanı (BJH Adsorption)	19,7040 m ² /g	16,8654 m ² /g	1,8612 m ² /g
Porların Toplam Yüzey Alanı (BJH Desorption)	22,9807 m ² /g	16,8981 m ² /g	2,6478 m ² /g
Porların Toplam Yüzey Alanı (D-H Adsorption)	28,7811 m ² /g	25,3180 m ² /g	3,1626 m ² /g
Porların Toplam Yüzey Alanı (D-H Desorption)	25,2444 m ² /g	27,3422 m ² /g	2,8601 m ² /g
Toplam Por Hacmi (Single point adsorption)	0,023931 cm ³ /g	0,019952 cm ³ /g	0,002566 cm ³ /g
Toplam Por Hacmi (Single point desorption)	0,024415 cm ³ /g	0,020068 cm ³ /g	0,002643 cm ³ /g
Toplam Por Hacmi (BJH Adsorption)	0,024042 cm ³ /g	0,019094 cm ³ /g	0,002508 cm ³ /g
Toplam Por Hacmi (BJH Desorption)	0,029365 cm ³ /g	0,018983 cm ³ /g	0,002819 cm ³ /g
Toplam Por Hacmi (D-H Adsorption)	0,032113 cm ³ /g	0,026508 cm ³ /g	0,003544 cm ³ /g
Toplam Por Hacmi (D-H Desorption)	0,033679 cm ³ /g	0,027688 cm ³ /g	0,003231 cm ³ /g
Ortalama Por Çapı (Adsorption)	4,0972 nm	3,1940 nm	1,3788 nm
Ortalama Por Çapı (Desorption)	4,1801 nm	3,2126 nm	1,4199 nm
Ortalama Por Çapı (BJH Adsorption)	4,8806 nm	4,5285 nm	5,3895 nm
Ortalama Por Çapı (BJH Desorption)	5,1113 nm	4,4935 nm	4,2591 nm
Ortalama Por Çapı (D-H Adsorption)	4,4631 nm	4,1879 nm	4,4826 nm
Ortalama Por Çapı (D-H Desorption)	5,3365 nm	4,0506 nm	4,5189 nm
Ortalama Nano Partikül Boyutu	256,8152 nm	240,1304 nm	805,8513 nm

4.12. Yüzey Tomografisi (CT Scan)

Pomza numunelerinin 1150°C sıcaklıkta sinterlenmesi sonucunda, elde edilen ürünlerin Şekil 4.47'deki SEM analiz sonucuna göre içyapıdaki boşlukların düzenli bir yapıya sahip olmadıkları görülmektedir. 1150°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkı numunenin içerisinde oluşan boşluklu yapıyı analiz edebilmek amacıyla numune CD Scan taramasına tabi tutulmuş olup, tarama sonuçları Şekil 4.48'de verilmiştir.

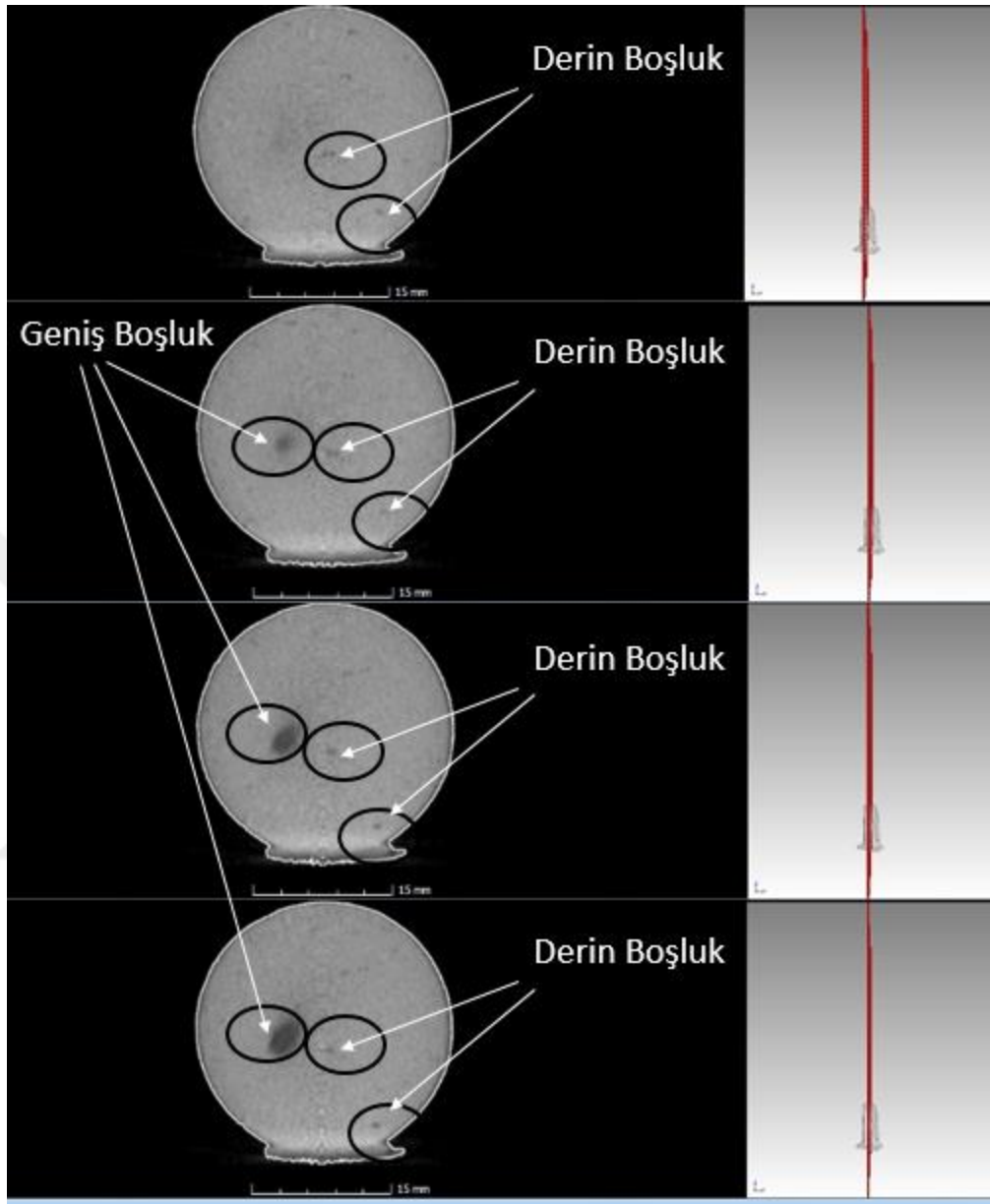


Şekil 4.47. 1150°C sıcaklıkta sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüsü (2.00 KX büyütme)



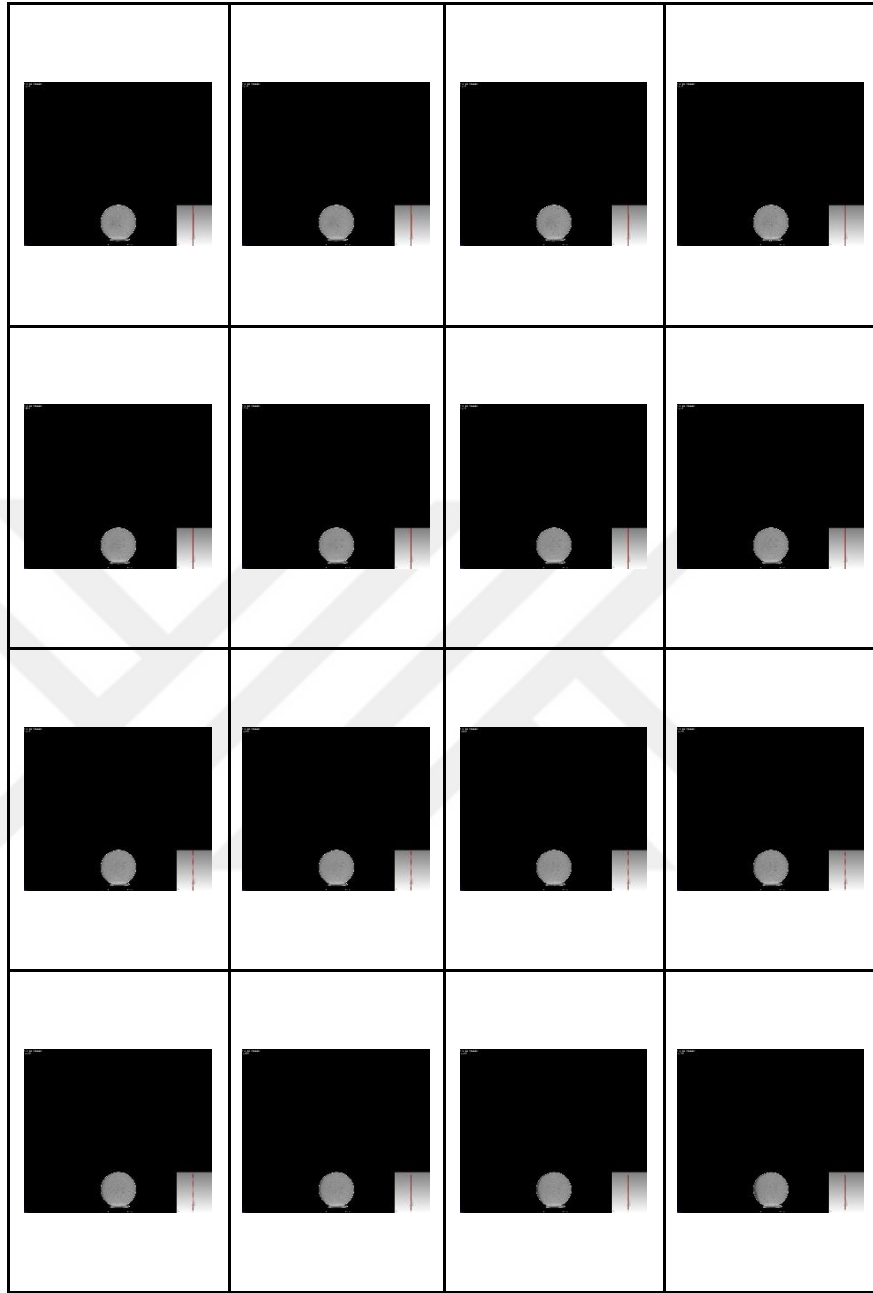
Şekil 4.48. 1150°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait CD Scan görüntüsü

Yapı içerisinde oluşan geniş boşluklu yapının daha iyi gözlemlenebilmesi amacıyla geniş boşluklu yapının başlangıç ve bitiş yerleri arasında alınan tarama sonuçlarının büyütülmüş hali Şekil 4.49’da gösterilmektedir.



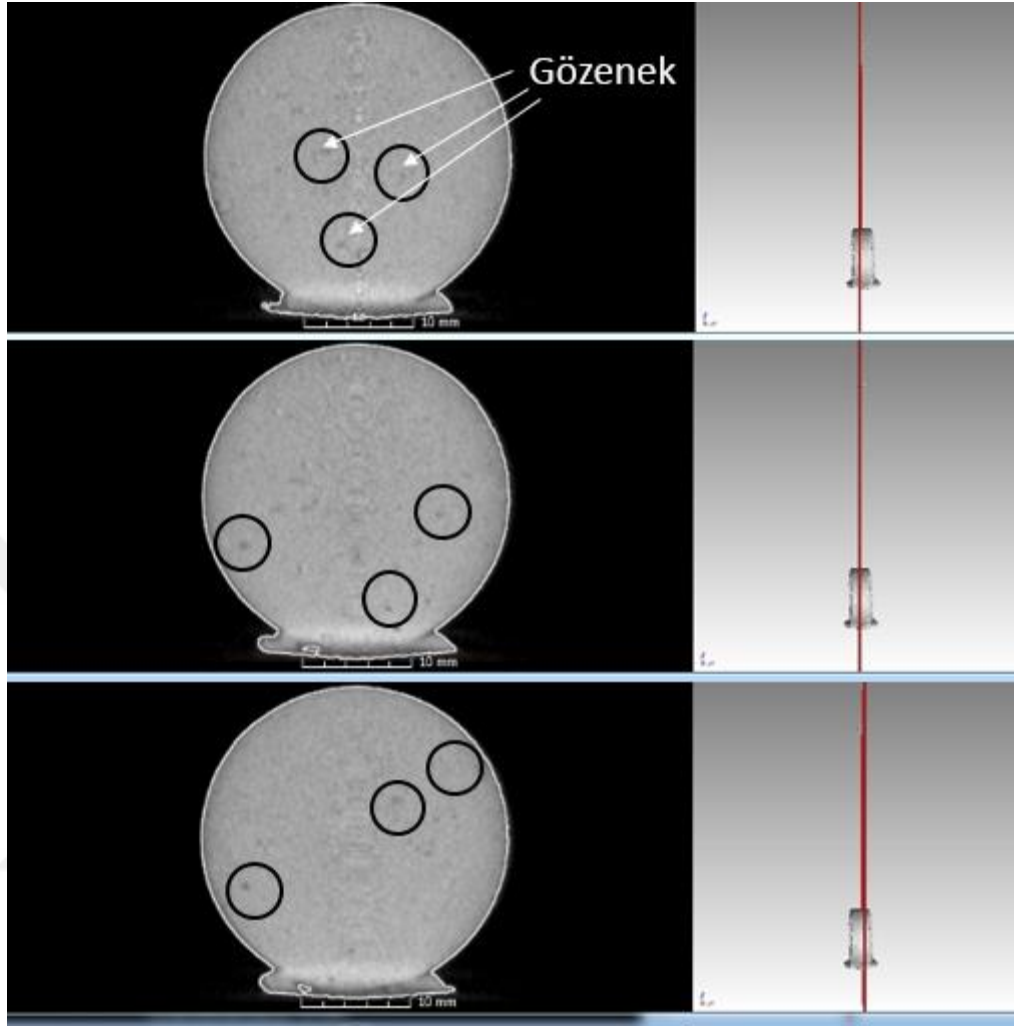
Şekil 4.49. 1150°C sıcaklıkta sinterlenen %50 katkılı pomza numunesine ait CD Scan görüntüsü (geniş gösterim)

Şekil 4.49'dan görüleceği üzere yapı içerisinde oluşan geniş boşluklu yapı yüzeye kadar ulaşmaktadır. Sıcaklık artışının düzensiz boşluk oluşumunu nasıl etkilediğini belirlemek amacı ile 1250°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesi CD Scan taramasına tabi tutulmuş olup, tarama sonuçları Şekil 4.50'de verilmiştir.



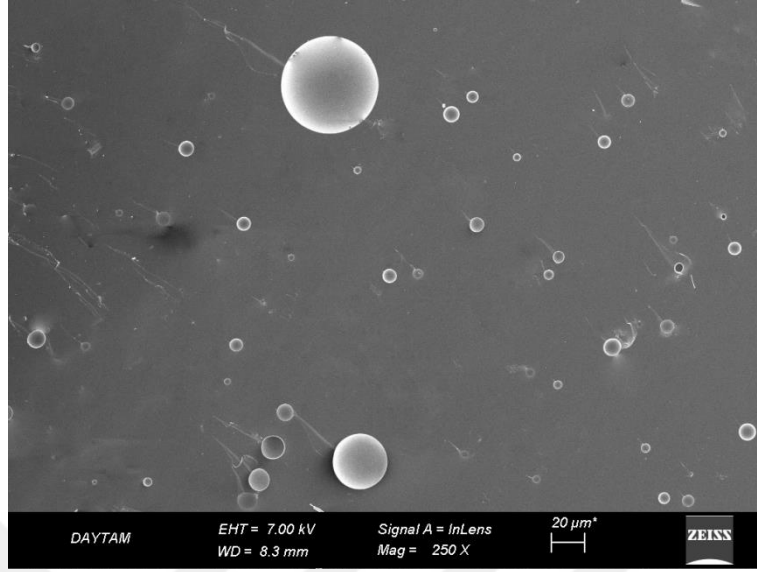
Şekil 4.50. 1250°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait CD Scan görüntüsü

Sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi amacı ile 3 farklı yerden alınan tarama sonuçlarının büyütülmüş hali Şekil 4.51’de gösterilmektedir.



Şekil 4.51. 1250°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait CD Scan görüntüsü (geniş gösterim)

Şekil 4.51’de görüldüğü üzere sinterlenmiş saf pomzanın içyapısındaki boşluklar devamlılık göstermemektedir. Bu da gözeneklerin kapalı por şeklinde olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. 1250°C sıcaklıkta sinterlenen numunenin içyapısında oluşan düzenli boşlukların görünümü Şekil 4.52’deki SEM görüntüsünde verilmiştir.



Şekil 4.52. 1150°C sıcaklıkta sinterlenen %50 perlit katkılı pomza numunesine ait SEM görüntüsü (250 X büyütme)

4.13. Numunelerin Sırlanması

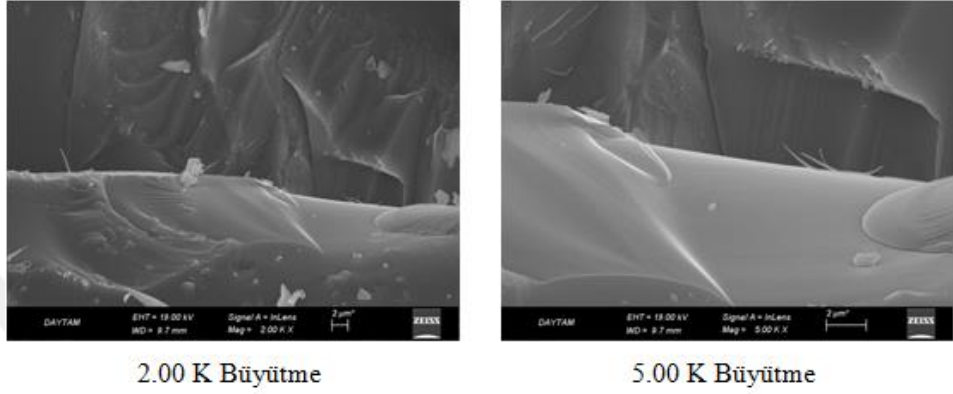
1050°C, 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda sinterlenen numunelerin sır tutma kabiliyetini ölçmek amacı ile üçüncü bölümde verilen sır kompozisyonu hazırlanarak her bir numunenin yüzeyine tek tabaka olarak sürülmüştür.

Hazırlanan sır 1250°C sıcaklıkta sırlanma kabiliyetine sahip olduğundan dolayı numuneler hem ham halde hem de sinterlendikten sonra yüzeyleri sırlanarak 1250°C’de sır pişirime tabi tutulmuşlardır. Sonuç itibari ile her iki durumda da numuneler sır ile kaplanmışlardır.

1050°C’de sırsız hali ile mat olan yüzey üzerine sır sürülerek 1250°C’ de sır pişirimi yapıldığı zaman, elde edilen numune parlak siyah, üzerindeki sır ise parlak beyaz görünümünü almıştır.

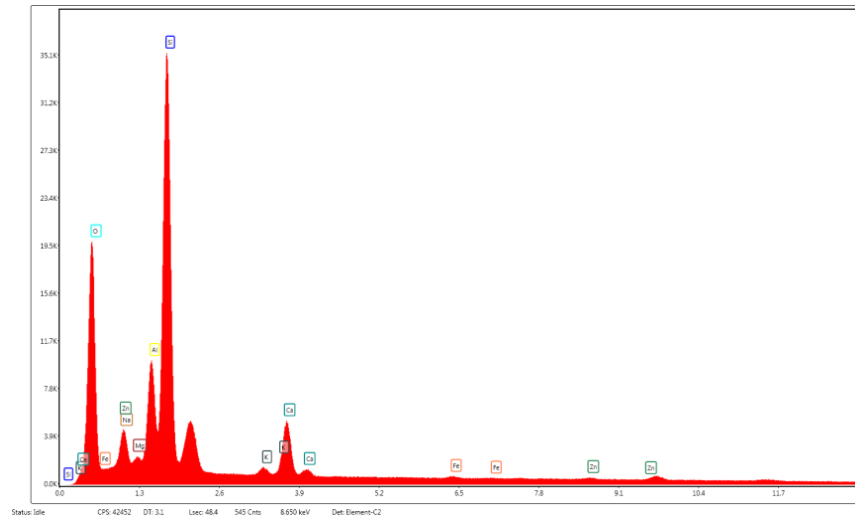
1250°C’de sırsız hali ile parlak siyah görünümünde olan yüzey üzerine sır sürülerek 1250°C’ de sır pişirimi yapıldığı zaman elde edilen numune parlak siyah, üzerindeki sır

ise parlak beyaz görünümünü almıştır. Sonuç itibari ile hem ham hali hem de sinterlenmiş hali ile elde edilen ürünlerin her ikisi de çok güzel bir şekilde yüzeyleri sır ile kaplanmıştır. Sırlı numunelerden alınan cros section görüntüsü Şekil 4.53’de verilmiştir.



Şekil 4.53. 1250°C sıcaklıkta sırlanan numunelerden alınan cros section görüntüsü

Sır üzerinden alınan bölgesel EDS analiz sonuçları ise Şekil 4.54 ve Çizelge 4.33’de verilmiştir.



Şekil 4.54. Sır üzerinden alınan bölgesel EDS analiz sonuçları (grafik gösterim)

Çizelge 4.33. Sır üzerinden alınan bölgesel EDS analiz sonuçları

Element	% Ağırlık
O	48,36
Na	0
Mg	0,4
Al	8,08
Si	33,49
K	0,6
Ca	7,92
Fe	0,18
Zn	0,97

Sonuçlardan da görüldüğü üzere sırsız yüzey ile sır arasında ara tabaka oluşumunu sağlamada yardımcı olan Ca miktarı yapıda % 8 mertebelerinde, sır yüzeyinde oluşması muhtemel çatlakların oluşumunu engelleyen Zn miktarı %0,9, Mg miktarı ise %0,4 mertebelerinde bulunmaktadır. Bütün sırlarda ortak olarak kullanılan ve sırlarda cam oluşturuca olarak görev yapan ve aynı zamanda sır çatlağını önlemeye yarayan silisyum dioksit, sırlarda önemli bir ergitici kaynağı olan potasyum ve sodyum oksitlerin kaynağı olarak ortoklas, albit, kaolen gibi hammaddelerin ana elementi olan Si elementinin %33 mertebelerinde yapıya girdiği görülmektedir. Yukarıdaki elementlerden oluşan oksitlerin eldesi ile deneysel çalışmalarda elde edilen bütün numunelerin yüzeyi sırla kaplanmış ve numunelerde genel renk olarak oluşan mat kahverengi, parlak kahverengi ve parlak siyah renkler sır tarafından tamamen kapatılarak beyaz görünümlü sır kaplı numuneler elde edilmiştir.

5. SONUÇ

- Pomza numunesinin öğütme davranışını belirlemek amacı ile pomza numunesi 45 dakika boyunca öğütülmüş ve öğütülmüş ürünün %80'i 0,56 mm elek boyutu altına geçmiştir (Şekil 4.1). Öğütülmüş ürünlerin 0,6 mm ve 2 mm boyutları arasında yığıldığı görülmektedir (Şekil 4.2). Bu sonuçlar ışığında numuneye uygulanan 45 dakikalık öğütme süresinin yeterli olmadığı ortaya çıkmıştır.
- Pomza numunesinin 2,5 saat boyunca öğütülmesi sonucunda öğütülmüş ürünün %80'i 0,4 mm elek boyutu altına geçmiştir (Şekil 4.3). 2 mm altında yığılım gösteren tüvenan pomzanın öğütülmesi sonucunda ise öğütülmüş ürünlerin yoğunlaştığı aralığın 0,4 mm altı olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). Bu öğütme süresinin, seramik malzemelerin sinterlenmesi için yeterli bir boyut sağladığı kabul edilmiş ve malzemenin tamamı bu boyut altına öğütülmüştür.
- Perlit numunesinin 5 saat boyunca öğütülmesi sonucunda öğütülmüş ürünün %80'i 0,12 mm elek boyutu altına geçmiştir (Şekil 4.5). 0,2 mm ve 1,2 mm boyutları arasında yığılım gösteren tüvenan perlitin öğütülmesi sonucunda ise öğütülmüş ürünlerin yoğunlaştığı aralığın 0,05 mm ve 0,5 mm boyutları arası olduğu görülmektedir (Şekil 4.6).
- Kurutma ve pişme küçülmelerinin ölçüldüğü deneylerde 1-3 saat aralığı boyunca kurutulan numunelerin şekil ve boyut yönünden çok kritik sayılabilecek bir değişime uğramadığı, en fazla %0,085 ortalama %0,08 boyut küçülmesine uğradığı görülmektedir. Bu durumda numunelerin sinterleme öncesi 200°C sıcaklıkta 1 saat boyunca kurutulmasının yeterli olacağı kararlaştırılmıştır.
- Pişme küçülmelerinin ise 1050°C, 1150°C, 1250°C sıcaklıklarda ortalama %2,66 seviyesinde olduğu görülmektedir. Şekilsel olarak numuneler incelendiğinde ve gerekli ölçümler yapıldığında boyut küçülmesinin sadece dikey eksen bölgesinde olduğu yatay eksen bölgesinde ise önemli bir küçülmenin olmadığı görülmüştür.
- Kurutma ve pişme işlemine tabi tutulmadan önce numuneler soğuk izostatik pres ile çok yönlü basınca tabi tutularak preslenmişlerdir. Bu preslenme esnasında toz parçacıklarının birbirine bağlanması amacı ile herhangi bir bağlayıcı kullanılmamıştır. Numunelerin kurutma ve pişirme aşamalarında meydana gelen kurutma ve pişme

küçülmesi oranlarının bu denli küçük seviyelerde olması soğuk izostatik presin, parçacıklar arası makro gözenekleri, büyük oranda giderdiğini göstermektedir.

- Numunelerin sinterlenmesi esnasında uygulanan sinter süresindeki artış, ağırlık kaybı üzerinde herhangi bir etki yapmamaktadır.
- Aynı özellikteki numune 1050°C sıcaklıkta 10 dakika pişirildikten sonra %6,35 seviyelerinde ağırlık kaybı oluşmuş, ancak 20 ve 30 dakika bekleme sürelerinde de ağırlık kaybı seviyesinde önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir (Şekil 4.11). Bu durum 1150°C ve 1250°C sıcaklıklar içinde ihmal edilebilir seviyelerdeki ufak sapmalar haricinde benzerlik göstermiştir (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13).
- 10 dakikalık pişme süreci içerisinde numunede hammadde kaynaklı bulunan mevcut organikler yanmakta ve yanma ürünleri ile birlikte boşluklarda sıkışan hava bünyeyi terk ederek numunede ağırlık kaybı oluşturmaktadır. Hava ve yanan organiklerin bünyeyi terk etmesi sonucu oluşan boşluklar yüksek sıcaklıklarda kısmen sıvılaştıran matris tarafından doldurularak yapıda dikey eksen boyunca az miktarda da olsa bir küçülme (çökme) meydana gelmektedir. Bu işlemler 10 dakika gibi kısa bir süre içerisinde meydana geldiği için pişme süresindeki artışın 10 dakika üzerine çıkartılması, ağırlık kaybı açısından numunede herhangi bir etki oluşturmamaktadır.
- Bütün deney numunelerinde standart olarak sinterleme işlemleri için numunenin fırına giriş ve çıkışı pişme sıcaklığında olmakta yani numuneye ön ısıtma ve yavaş soğutma işlemleri uygulanmamaktadır. Bu durumda numuneler ani bir şok etkisine maruz kalmaktadırlar. 1050°C sıcaklıkta işlem yürütüldüğünde (daha yüksek sıcaklıklara çıkılmadığında) bu ani şok etkisi ile yapıdaki yanma ürünleri ve gazlar hızlı bir şekilde bünyeyi terk ederken hızlı bir şekilde de sinterlenme gerçekleşmektedir.
- Sinterlenme sonucunda gözenekler kapanırken hızlı bir şekilde bünyeyi terk eden gazlar ağırlık kaybına sebep olmakta ve sinterlenmenin etkisi ile az miktarda da olsa yapıda çökme gerçekleşmektedir. Ve bu çökme gaz çıkış yönünün tersine yani dikey yönde meydana gelmektedir.
- 1150°C ve 1250°C sıcaklıklarda işlem yürütüldüğünde ise sinterlenmenin peşi sıra yüksek sıcaklık ve sodyum, potasyum gibi alkali oksitlerin etkisi ile matris çok hızlı bir şekilde amorf yapı haline dönüşmekte oluşan bu amorf yapı bünyedeki gaz çıkışını yani ağırlık kaybının daha az seviyelerde tutulmasını sağlamaktadır. Bu durum 20

dakika ve 30 dakika pişme sürelerinde meydana gelen ağırlık kaybı verileri içinde benzerlik göstermektedir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16).

- Matris içine katılan perlit oranındaki %10 - %50 oranındaki artış ise ağırlık kaybına sebep olacak önemli bir etki oluşturmamaktadır. Sadece perlit katkısız pomza numunesinden %50 perlit oranına doğru katkı miktarı arttıkça ağırlık kaybındaki azalış aralığı daralma göstermektedir.
- 1050°C sıcaklıkta sinterlenmiş olan numunelerin su emme oranlarının perlit katkı oranının artmasına paralel olarak %0,87 den %3,1'e doğru ciddi bir artış göstermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise numune yüzeyleri kendiliğinden sırla kaplandığı için su emme oranları 0 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.11 ve Şekil 4.17).
- Su emme oranının 10, 20 ve 30 dakikalarda gittikçe azalmaktadır. Perlit katkı oranındaki artış su emme oranını artırmaktadır (Çizelge 4.12 ve Şekil 4.18).
- Deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin, pişme sonrası asit ve baza karşı dayanımlarını belirlemek için yapılan deneylerde elde edilen gözlemsel veriler numunelerin asit ve baza karşı dayanıklı olduklarını göstermektedir. Numunelerde herhangi bir hasar veya lekelenme oluşturmamıştır.
- Sinterleme sıcaklığındaki artış pomzanın kendine has yoğunluğuna herhangi bir etki yapmamıştır (Çizelge 4.13, Şekil 4.20). Bu durum sinterlenmiş pomza numunelerin seramik ürünlere nazaran oldukça hafif bir yapıda şekillendiklerini göstermektedir.
- Pomza içerisine ilave edilen perlit miktarı arttıkça yapı içerisindeki renk yoğunluğu koyudan açığa doğru geçiş yapmaktadır. Yapılan EDS analizlerinden de görüldüğü üzere perlit miktarı arttıkça yapıdaki demir oranındaki azalmanın renk yoğunluğunu koyudan açığa doğru değiştirdiğini söyleyebiliriz. Bu durumda açık renkli bisküvi üretimi amacıyla pomza içerisine artan oranlarda perlit ilavesinin faydalı olabileceği görülmüştür.
- Sabit sinterleme sıcaklığında sinterleme süresinin belirlendiği deneysel çalışmalarda sürenin artmasıyla birlikte rengin koyulaştığı görülmektedir. Yine bu durumda seramik bisküvisi üretimi için sinterleme süresinin düşük tutulması gerekmektedir.
- 1050°C sıcaklıkta sinterlenen numune duvar ve yer karosu yapımında bisküvi olarak kullanılabilir. Ancak elde edilen bisküvi üzerine sürülecek sırn seçiminde

sırlaşma sıcaklığının 1050°C civarında olması veya daha düşük sıcaklıklarda olması gerekmektedir. Çünkü pomza 1150 ve üzerindeki sıcaklıklarda kendinden sırlaşabilmektedir. Dolayısıyla yüksek sıcaklıklarda sırlama işlemi yapılırsa bisküvide kendinden sırlanmış olacaktır.

- Sinterleme sıcaklığı 1150°C olduğu durumda sinterleme süresi arttırılınca numunenin kendinden sırlandığı görülmektedir. 10 dk sinterleme süresinde mat kahverengi bir görünüm edilirken süre 20 dk ya çıkartıldığında yüzeyin sırlandığı gözlemlenmiştir.
- Yüzeyin kendinden sırlanması sinterleme sıcaklığının artmasıyla da ortaya çıkmaktadır.
- 1050°C’de 30 dk sinterleme süresinde oluşan mat görünümlü yüzey 1150°C’de 20 dk sonunda parlak bir görünüm almıştır. 1250°C’de ise 10 dk sonunda parlak yüzeye ulaşılmıştır.
- 1150 ve 1250°C’de sinterlenen numuneler sırasıyla kahverengi ve siyah renk tonlarında elde edilmişlerdir ve kendinden sırlı parlak bir yüzeye sahiptirler. Bu numuneler kahverengi ve siyah renk tercihi açısından ele alındığı zaman karo ve benzeri seramik malzeme üretimi olarak herhangi bir sırlanmaya gerek kalmadan kullanılma imkanı bulabilirler.
- Sinterleme süresi ve perlit katkı oranındaki artış ürünün sertliği üzerinde önemli bir etki yapmamaktadır. Ancak sinterleme sıcaklığındaki artış sertlik değerlerini artırmaktadır. 1050°C sıcaklıkta 300 kg/cm² civarında olan sertlik değeri 1150 ve 1250°C sıcaklıklarda 600 kg/cm² -700 kg/cm² değerlerine ulaşmıştır. Bu değerler seramik malzemelerin sertlik değerlerine göre kısmen küçük kalmakla beraber cam malzemelerin sertlik değerlerinin üstündedir.
- Her ne kadar malzemenin sertlik değerleri geleneksel seramik malzemelere göre düşük çıkmış olsa bile bu durum malzemenin işlenebilirliğini kolaylaştırması açısından iyi bir yaklaşım olarak kabul edilebilir. Elde etmiş olduğumuz numunelerin talaşlı şekillendirilmeleri, torna işlenmesine müsait bir yapıda olması, yüzeyindeki çarpıklıkların zımparalama ile kolayca giderilebilmesi gibi faktörleri bir avantaj olarak karşımıza çıkartmaktadır.

- Perlit katkılı pomza numunelerinde kristal fazların varlığı $2\theta = 21.0^\circ, 24.0^\circ, 27.0^\circ, 33^\circ, 36^\circ, 55.0^\circ$ ve 62.0° ' de piklerde kendini göstermiştir. $2\theta = 15$ ve 35 arasındaki gözlemlenen yükselti, 5 numunenin tamamında da amorf fazın var olduğunu göstermektedir. Aralarında çok büyük bir fark olmamakla birlikte, yükseltilerin birbiri aralarındaki büyüklük (yani yükseltinin alanı) amorf fazın büyüklüğü ile alakalıdır.
- XRD sonuçlarına göre 1050°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinde hakim faz kuvars fazı (SiO_2) olmakla birlikte anortoklaz ve sodyum alümina silika fazları ile demir elementlerini içeren hematit faz oluşumları gözlemlenmektedir.
- 1150°C sıcaklıktaki birleştirilmiş XRD modelleri 1050°C sıcaklıktaki verilere benzer şekilde birbiriyle örtüşmektedirler. Perlit katkılı pomza numunelerinde kristal fazların varlığı $2\theta = 21.0^\circ, 23.0^\circ, 27.0^\circ, 31^\circ, 33^\circ, 35.0^\circ, 43.0^\circ, 54^\circ$ ve 62° ' de piklerde kendini göstermiştir. $2\theta = 15$ ve 35 arasındaki gözlemlenen yükselti, 5 numunenin tamamında da amorf fazın var olduğunu göstermektedir.
- XRD sonuçlarına göre 1150°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinde hakim faz kuvars fazı (SiO_2) olmakla birlikte diğer fazlar potasyum ağırlıklı ortaklas, kalsilit tarzı oluşumlar ile alüminyum silikat, demir silikat, ve demir oksit faz oluşumlarıdır.
- 1250°C sıcaklıkta perlit katkılı pomza numunelerinde kristal fazların varlığı $2\theta = 21.0^\circ, 27.0^\circ, 33^\circ$ ve 35.0° ' de piklerde kendini göstermiştir. $2\theta = 15$ ve 35 arasındaki gözlemlenen yükselti, 5 numunenin tamamında da amorf fazın var olduğunu göstermektedir.
- XRD sonuçlarına göre 1250°C sıcaklığında 10 dakika sinterlenmiş %10-%50 perlit katkılı pomza numunelerinde hakim faz olarak SiO_2 fazı gözlemlenmektedir.
- %10-%50 perlit içeren pomza ve katkısız pomza numunelerinin 1050°C sıcaklıktaki sinterlenmesinde 10 dakikalık sürenin yeterli olduğu anlaşılmaktadır. SEM görüntülerinden de anlaşılaacağı üzere 400-38 mikron boyutları arasındaki irili ufaklı tanelere sahip karışımda, izostatik presin etkisi sonucunda ufak boyutlu taneler iri boyutlu tanelerin arasındaki boşluklara girerek gözeneklerin mümkün olduğu oranda kapatılmasını sağlamıştır. Ancak taneler arasındaki boşluklar her ne kadar presleme ve irili ufaklı tanelerin iç içe girmesi sonucu kısmen kapanmış olsa da tanelerin kendi

bünyesinde bulunan boşluklar kapanmadığı için sinterlenmiş numunede boşluksuz yapı elde edilmesi mümkün olamamıştır. SEM görüntülerinden taneler arasındaki boyun oluşumu ve sinterleşme görülebilmektedir.

- Bölgesel EDS sonuçlarına göre numuneler ağırlıklı olarak Si, Al ve K elementlerinden oluşan oksitlerden oluşmuşlardır. Demir oksitler ise yapıda çok az miktarda bulunmaktadır. Sodyum ve potasyum yer yer oransal benzerlik göstermektedirler.
- CD Scan sonuçlarına göre sinterlenmiş saf pomzanın içyapısındaki boşluklar devamlılık göstermemektedir. Bu da gözeneklerin kapalı por şeklinde olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır
- Numunelerin sırla kaplanması aşamasında EDS verilerinde de görüleceği üzere sırsız yüzey ile sır arasında ara tabaka oluşumunu sağlamada yardımcı olan Ca miktarı yapıda % 8 mertebelerinde, sır yüzeyinde oluşması muhtemel çatlakların oluşumunu engelleyen Zn miktarı %0,9, Mg miktarı ise %0,4 mertebelerinde bulunmaktadır. Bütün sırlarda ortak olarak kullanılan ve sırlarda cam oluşturunca olarak görev yapan ve aynı zamanda sır çatlağını önlemeye yarayan silisyum dioksit, sırlarda önemli bir ergitici kaynağı olan potasyum ve sodyum oksitlerin kaynağı olarak ortoklas, albit, kaolen gibi hammaddelerin ana elementi olan Si elementinin %33 mertebelerinde yapıya girdiği görülmektedir.
- Yukarıdaki elementlerden oluşan oksitlerin eldesi ile deneysel çalışmalarda elde edilen bütün numunelerin yüzeyi sırla kaplanmış ve numunelerde genel renk olarak oluşan mat kahverengi, parlak kahverengi ve parlak siyah renkler sır tarafından tamamen kapatılarak beyaz görünümlü sır kaplı numuneler elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aldinger, L.W.F., 2000. Near-Net-Shape Forming of cCeramics. *Advanced Engineering Materials*, 110-113.
- Arcasoy, A., 1983. Seramik Teknolojisi. Marmara Üniversitesi, No: 457, 297s, İstanbul.
- Asgari, G., Rahmani, A.R., Barjasteh, A.F. and Godini, K., 2012. Catalytic Ozonation of Phenol Using Copper Coated Pumice and Zeolite as Catalysts. *Journal of Research in Health Sciences*, 12(2), 93-97.
- Barsoum, M.W., 2002. *Fundamentals of Ceramics*. CRC Press, 624s, USA.
- Bilal, F., 2016. Refrakterler. *Yalıtım*, 147, 44-45.
- Bilgin, A., 1987. Serçeme (Erzurum) Volkanitlerinin Mineralojisi. *Isparta Mühendislik Fakültesi*, 47-59.
- Bims Sanayicileri Derneği, 2006. Bims(Pomza) Alt Sektör Raporu. Türkiye Odalar Ve Borsalar Birliği Türkiye Toprak Sanayi Meclisi, Ankara.
- Bozkurt, N., 2013. The Effect of High Temperature on Concrete Containing Perlite Powder. *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 87-93.
- Civan, L., 2011. Pomzanın Sır Bileşeni Olarak Kullanımı ve İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Doğusan A.Ş., 2018. Perlit. Doğusan Boru Sanayi ve Ticaret A.Ş., <http://www.dogusanas.com.tr/perlit.pdf> (15.12.2018)
- D.P.T., 2001. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III, (Pomza-Perlit-Vermikülit-FlogopitGenleşen Killler) Çalışma Grubu. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları, 2617, 73s, Ankara.
- Duran, K., 1997. Tekstilde Taş Yıkama. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 47-51, Isparta.
- Elmastaş, N., 2012. Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı). *The Journal of The International Social Research*, 197-206.
- E.P.M.A., 2018. The MicroAnalytical Facility. Center For Advanced Materials Characterization In Oregon, <https://epmalab.uoregon.edu/semimages.html> (24.12.2018)
- Geçkinli, A.E., 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri. İTÜ Matbaası, 287s, İstanbul.
- German, R.M., 1994. *Powder Metallurgy Science*. Metal Powder Industry Federation, 297s, New Jersey.
- German, R.M., 1996. *Sintering Theory and Practice*. Wiley, 568s, New York.
- German, R.M., 2013. *Liquid Phase Sintering*. Rensselaer Polytechnic Institute, New York.
- Gündüz, L., 1998. Pomza Teknolojisi, (1) Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Gündüz, L., Rota, A. ve Hüseyin, A., 2001. Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. 175-188, İzmir.
- Gündüz, L., Şapçı, N. ve Davraz, M., 2005. Pomza Madenciliği Endüstrisi ve Türkiye Açısından Önemi (Gelişen Yeni Sektör). Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, 397-407, İzmir.
- Gündüz, L., Şapçı, N., Bekar, M. ve İsker, M., 2006. Erzurum Bölgesi Pomza Oluşumları ve Doğu Karadeniz Bölgesinde Endüstriyel Olarak Kullanımı. Doğu

- Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, 7-16, Trabzon.
- İnan, U., 2005. Farklı Sinterleme Sıcaklıklarının Ağırlıkça %2 MnO ve %2 TiO₂ Katkılı Alümina Seramiğinin Mikroyapısal ve Fiziksel Özelliklerine Olan Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati, D.B.F. and Villari, L., 1982. Tertiary And Quaternary Volcanism Of The Erzurum-Kars Area (Eastern Turkey): Geochronological Data And Geodynamic Evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 223-240.
- İyiel, A., 2009. Işığa Duyarlı Soda Kireç Camların Sentezi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karabay, D., 2006. Değişik Oranlarda Pomza, Talk ve Serpantin İlavelerinin Fayans Masse Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Kartal, A., Konuk, R. E. ve Evcin, A., 2004. Nevşehir Yöresi Pomzasının Yer Karosu Massesinde Kullanımı Üzerine Araştırmalar. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 110-113, İzmir.
- Kaşıkkara, P.N. ve Telefoncu, A., 1997. Pomzanın Fenol İçeren Endüstriyel Atık Suların Biyokimyadal Arıtımında Kullanılması. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 25-29, Isparta.
- Kaygun, O., 2006. Pres ve Döküm ile Şekillendirilen Seramik Ürünlerinde Oluşan Hatalar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Keskin, M., 1998. Erzurum-Kars Platosunun Çarpışma Kökenli Volkanizmasının Volcano-Stratigrafisi ve Yeni K/Ar Yaş Bulguları Işığında Evrimi, Kuzeydoğu Anadolu, Maden Tetkik ve Arama, 135-157.
- Kılınç A.E., Göcen, İ. ve Akar, A., 2016. Pomzanın Su Arıtımında Filtre Malzemesi Olarak Kullanımındaki Gelişmeler, *DergiPark*, 63-72.
- Komur, B., Lohse, T., Can, H. M., Khalilova, G., Geçimli, Z. N., Aydoğdu, M. O. and Gündüz, O., 2016. Fabrication of Naturel Pumice/Hydroxyapatite Composite for Biomedical Engineering, *BioMedical Engineering OnLine*, 15(81), 20.
- M.T.A., 2018. 2017 Yılı Maden Dış Ticareti. Maden Tetkik ve Arama, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/2017-yili-dis-ticaret> (24.12.2018)
- M.T.A., 2018. Erzurum İli Maden ve Enerji Kaynakları. Maden Tetkik ve Arama, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Erzurum_Madenler.pdf (06.12.2018)
- M.T.A., 2018. Perlit. Maden Tetkik ve Arama, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/perlit> (23.11.2018)
- Onar, A.N., Balkaya, N., ve Öztürk, B., 1997. Pomza Taşının Su Arıtım Teknolojisinde Kullanımı. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 31-38, Isparta.
- Önem, Y., 2000. Sanayi Madenleri Tanımları, Doğada Bulunuşları, Dünya ve Türkiye Rezervleri, Güncelleşmiş Yıllık Üretimleri ile İhraç ve İthal Miktarları, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Ankara.
- Özkan, Ş.G. ve Tuncer, G., 2001. Pomza Madencilğine Genel Bir Bakış. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 200-207, İzmir.
- Özmen, K., 2007. Pomzanın Vitrifiye Seramik Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

- Palacı, Y., 2001. Alüminanın Özelliklerine Şekillendirme Yönteminin, Katkıların ve Sinterleme Sıcaklığının Etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Rawson, H., 1991. Glasses and Their Applications. Institute of Metals, London.
- Richerson, D.W. and Lee, W.E., 2018. Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing and Use in Design. CRC Press, United Kingdom.
- Sarıışık, A. ve Şahin, B., 1997. Isparta Pomzasının Aşındırma - Parlatma Karakteristiğinin İrdelenmesi. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 53-60, Isparta.
- Sarıöz, K. ve Nuhoglu, İ., 1992. Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciligi. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Schutter, G.D., 2008. Final Report Of RILEM TC 205-DSC: Durability Of Self-Compacting. Materials and Structures, 225-233.
- Setz, J. and Heeg, P., 1996. Disinfection of Pumice. The Journal of Prosthetic Dentistry, 448-450.
- Tokel, S., 1979. Erzurum- Kars Yöresinde Neojen Çöküntüsüyle İlgili Volkanizmanın İncelenmesi, Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Toy, Ç. ve Baykara, T., 1994. Yüzyılın Malzemesi Seramikler. Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, 6-13.
- Tusun, E., 2011. Pomzanın Sır Bünyesinde (1200 °C) Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi. Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Ulusoy, G., 2004. Pomzanın İzole Monolitik Malzeme İmalinde Kullanılması. MTA, 89-96.
- Ünal, İ., 2007. Seramik-Metal Soğuk Birleştirmeler ve Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Vogel, W., Kreidl, N.J., and Lense, E., 1985. Chemistry of Glass, American Ceramic Society, Columbus, Ohio.
- Volf, M.B., 1990. Technical Approach To Glass, Elsevier Science Ltd., 392s, Amsterdam

ÖZGEÇMİŞ

11.02.1993 tarihi Çorlu/Tekirdağ doğumluyum. İlk, orta ve lise eğitimimi Çorlu'da bitirdim. 2011 yılında başladığım Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldum. Lisans eğitimim boyunca bölümümüz dergisi Metalhane' nin üç sayı editörlüğünü yaptım. Yine 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Üretim Metalurjisi Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimime başladım. 2018'de elektrikli otomobil firması Günsel'de çalıştım. 7.10.2018 tarihinde evlendim ve sonra tekrar okuluma dönerek aynı bölümde yüksek lisans eğitimime devam ettim.