



**POMZA VE ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN
KOMBİNASYONLARINDAN
VİTRİFİYE SERAMİK
ÜRETİM İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI**

Kazım KOCA

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

**POMZA VE ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN
KOMBİNASYONLARINDAN VİTRİFİYE SERAMİK
ÜRETİM İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI**

Kazım KOCA

**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

POMZA VE ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN KOMBİNASYONLARINDAN
VİTRİFİYE SERAMİK ÜRETİM İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ danışmanlığında, Kazım KOCA tarafından hazırlanan bu çalışma 12/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı – Üretim Metalurjisi Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BOYRAZLI

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 18/07/2019 tarih ve 29/65 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

POMZA VE ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN KOMBİNASYONLARINDAN VİTRİFİYE SERAMİK ÜRETİM İMKÂNLARININ ARAŞTIRILMASI

Kazım KOCA

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

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ

Bu tez çalışmasında pomza, boksit ve ferrokrom cüruf atıklarının farklı kompozisyonlarının vitrifiye seramik üretimi için uygunluğu araştırılmıştır. 150 mikron boyut altına indirilen pomza ve endüstriyel atıklardan ikili ve üçlü kombinasyonlar olmak üzere iki farklı şekilde üretim gerçekleştirilmiştir. İkili kombinasyonlar 1000, 1100, 1200 ve 1250°C’de pişirilmiştir. Kil matris olmak üzere ferrokrom cürufu, boksit ve pomza farklı oranlarda katılarak ikili karışımlar gerçekleştirilmiştir. Üçlü kombinasyonlar ise 1100, 1200 ve 1250°C’de pişirilmiştir. Kil, pomza matris olup ferrokrom cürufu ve boksit farklı oranlarda katılarak üçlü karışımlar gerçekleştirilmiş ve slip döküm yapılmıştır. 1000°C’de üretilen ikili kombinasyonların çok fazla kırılma olduğu görülmüştür. Su emme oranları üçlü kombinasyonlarda çok düşük oranlarda çıkmıştır. İkili karışımlarda yapıya boksit katılınca hematit, rutil ve potasyum silikat fazları, ferrokrom cürufu katılınca ise forsterit, magnezyum oksit ve kordiyerit fazları oluşmuştur. İkili karışımlarda kullanılan boksit, silikanın polimorfu olan tridimit ve kristobalit fazlarını da oluşturmuştur. Pomza 1100°C pişirme sıcaklığından sonra camsı faza geçtiği için pomza ile üretilen bütün numunelerde amorf fazı görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda pomza ile beraber kullanılan ferrokrom cürufu ve boksitin vitrifiye seramikte kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

2019, 127 sayfa

Anahtar Kelimeler: Vitrifiye seramik, Pomza, Ferrokrom cürufu, Boksit, Endüstriyel atıklar

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF VITRIFIED CERAMIC PRODUCTION SUPPLIES FROM COMBINATIONS OF PUMICE AND INDUSTRIAL WASTES

Kazım KOCA

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

Supervisor: Asst. Prof. Dr Yunus Emre BENKLİ

In this thesis, the suitability for the production of vitrified ceramics by using bauxite and ferrochrome slag wastes was investigated. Pumice was reduced to 150 microns in size and industrial wastes were produced in two different ways: double and triple combinations. The binary combinations were cooked at 1000°C, 1100°C, 1200°C and 1250°C. Ferrochrome slag including clay matrix, bauxite and pumice were added to the mixture in different ratios. The triple combinations were cooked at 1100°C, 1200°C, and 1250°C. Clay pumice matrix and ferrochrome slag and bauxite were added in different proportions and triple mixtures were realized. Slip casting was made by using plaster molds. Binary combinations produced at 1000°C were found to be very fragile. Water absorption rates were very low in triple combinations. Hematite, rutile and Potassium Silicate phases were formed when bauxite was added to the structure and Forsterite, Magnesium Oxide and Cordierite phases were formed when ferrochrome slag was added. The bauxite used in the binary mixtures also formed the tridimite and Cristobalite phases, the polymorph of silica. As the pumice passed to glassy phase after 1100°C cooking temperature, amorphous phase was observed in all samples produced by pumice. As a result of the experimental studies, it has been shown that ferrochrome slag and bauxite used together with pumice can be used in vitrified ceramics.

2019, 127 pages

Keywords: Vitrified ceramic, Pumice, Ferrochrome slag, Bauxite, Industrial waste

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmamın gerçekleŐtirilmesinde, iki yıl boyunca değerli bilgilerini benimle paylaŐan, hiçbir desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ' ye, çalıŐmam boyunca maddi ve manevi her zaman arkamda olan öz abim Hamza KOCA' ya, gerek laboratuvar çalıŐmalarım gerekse de tez yazım aşamasında her zaman yanımda olan oda arkadaşlarım Süleyman Hilmi TUNA, Abdulkerim YILDIZ ve Fatih KAPAKÇI' ya sonsuz teŐekkürlerimi sunarım

Kazım KOCA
Temmuz 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1. Boksit.....	5
2.1.1. Boksitin dünya üretimindeki yeri	5
2.1.2. Boksitin kullanım alanları	6
2.2. Ferrokrom cürufu	8
2.2.1. Elazığ Ferrokrom cürufun özellikleri ve üretimi.....	9
2.2.2. Ferrokrom cürufun kullanım alanları	10
2.3. Pomza	11
2.3.1. Türkiye’de pomza.....	12
2.3.2. Pomzanın tanımı ve özellikleri.....	12
2.3.3. Pomza üretim yöntemi.....	15
2.3.4. Pomzanın kullanım alanları.....	16
2.4. Seramikler	21
2.4.1. Seramiğin tarihçesi	21
2.4.2. Seramiğin Türkiye’deki konumu.....	22
2.4.3. Seramiğin tanımı ve özellikleri	23
2.4.4. Seramiklerin sınıflandırılması	24
2.4.5. Seramik hammaddeleri.....	30
2.4.6. Seramik endüstrisinde çamur hazırlama.....	38
2.4.7. Seramiklerin şekillendirilmesi.....	40
2.4.8. Seramiklerin kurutulması ve sinterlenmesi	49
2.5. Vitrifiye seramik.....	53

2.5.1. Vifrikiye seramiklerin (sağlık gereçleri) ülkemizdeki yeri.....	54
2.5.2. Virifiye seramiklerin üretim prosesi.....	55
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	58
3.1. Hammaddelerin Kimyasal Analizleri	58
3.2. Uygulanan Yöntem Ve Kullanılan Cihazlar	59
3.2.1. Öğütme işlemi	60
3.2.2. Kalıp hazırlama işlemi.....	61
3.2.3. Çamur Hazırlama işlemleri	62
3.2.4. Kurutma işlemi	66
3.2.5. Pişirme işlemi	66
3.3. Analiz Yöntemleri	67
3.3.1. Ateş zayıtı oranının tespiti	67
3.3.2. Pişme küçülmesi oranının tespiti.....	68
3.3.3. Su emme oranı ölçüm deneyi	68
3.3.4. X-Işınları kırınımı (XRD)	69
3.3.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM ve EDS)	70
4. ARAŞIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	71
4.1. Kuru Küçülme Oranı Deneyi	71
4.2. Pişme Küçülme Oranı Deneyi.....	71
4.2.1. İkili Karışımların pişme küçülmesi oranları.....	71
4.2.2. Üçlü Karışımların pişme küçülmesi oranları.....	76
4.3. Ateş zayıtı ölçüm sonuçları	81
4.3.1. İkili karışımların ateş zayıtı oranları.....	81
4.3.2. Üçlü karışımların ateş zayıtı oranları.....	83
4.4. Su emme oranı ölçüm deneyini	85
4.4.1. İkili Karışımların su emme oranları	86
4.4.2. Üçlü karışımların su emme oranları	88
4.5. X- Işınları Kırınımı (XRD).....	90
4.5.1. İkili Karışımların XRD sonuçları	91
4.5.2. Üçlü karışımların XRD sonuçları	96
4.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM ve EDS).....	100
4.6.1. İkili karışımların SEM ve EDS analizleri.....	100

4.6.2 Üçlü karışımların SEM ve EDS analizleri	106
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	113
KAYNAKLAR	117
EKLER.....	120
EK 1.	120
ÖZGEÇMİŞ	128



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

C	Ferrokrom cürufu
B	Boksit
P	Pomza
K	San-B kil
Mpa	Megapaskal
EDS	Enerji Dağılımlı Spektrometre
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X- ışını Difraksiyonu
%	Yüzde

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Seramiklerin sınıflandırılmasının şematik görünümü	25
Şekil 2.2. Kaolitin kristal yapısı.....	32
Şekil 2.3. Montmorillonitin kristal yapısı	33
Şekil 2.4. Soğuk izostatik presin şematik görünümü.....	42
Şekil 2.5. Ekstrüzyon yönteminin şematik görünümü	45
Şekil 2.6. Enjeksiyon yönteminin şematik görünümü	46
Şekil 2.7. Sıvı faz sinterlemesi aşamaları	52
Şekil 3.1. Deneysel çalışmaların akım şeması	60
Şekil 3.2. Öğütmenin yapıldığı bilyeli değirmen.....	61
Şekil 3.3. Dökümün yapıldığı alçı kalıp	62
Şekil 3.4. P20K80 (Pomza %20, Kil %80) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü	63
Şekil 3.5. P60K40 (Pomza %60, San-B Kil %40) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü	63
Şekil 3.6. B60K40 (Boksit %60, San-B Kil %40) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü	64
Şekil 3.7. C60K40 (Ferrokrom cürufu %60, San-B Kil %40) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü	64
Şekil 3.8. P20B30K50 (Pomza %20, Boksit %30, San-B kili %50) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü	65
Şekil 3.9. P40B10K50 (Pomza %40, Boksit %10, San-B kili %50) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü	65
Şekil 3.10. P20C30K50 (Pomza %20, Ferrokrom Cürufu %30, San-B kili %50) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü	65
Şekil 3.11. P40C10K50 (Pomza %40, Ferrokrom Cürufu %10, San-B kili %50) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü	65
Şekil 3.12. Kurutmanın yapıldığı laboratuvar tipi kurutma cihazı (Etüv).....	66
Şekil 3.13. Pişirmenin yapıldığı laboratuvar tipi pişirme fırını	67
Şekil 3.14. X-Işımları kırınımı cihazı (XRD)	70

Şekil 3.15. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	70
Şekil 4.1. P20K80 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği	72
Şekil 4.2. P60K40 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği	73
Şekil 4.3. B60K40 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği	74
Şekil 4.4. C60K40 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği	75
Şekil 4.5. P20B30K50 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği	77
Şekil 4.6. P40B10K50 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği	78
Şekil 4.7. P20C30K50 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği	79
Şekil 4.8. P40C10K50 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği	80
Şekil 4.9. İkili karışımların ateş zayıyatı oranının sıcaklık ile değişim grafiği	82
Şekil 4.10. Üçlü karışımların ateş zayıyatı oranının grafik ile gösterimi	85
Şekil 4.11. İkili karışımların 1000, 1100, 1200 ve 1250°C su emme oranları karşılaştırılması	87
Şekil 4.12. Üçlü karışımların 1100, 1200, 1250°C su emme oranları karşılaştırması	90
Şekil 4.13. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P20K80 numunesine ait XRD paterni	91
Şekil 4.14. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P60K40 numunesine ait XRD paterni	92
Şekil 4.15. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş B60K40 numunesine ait XRD paterni.....	93
Şekil 4.16. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş C60K40 numunesine ait XRD paterni.....	95
Şekil 4.17. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P20B30K50 numunesine ait XRD paterni....	96
Şekil 4.18. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P40B10K50 numunesine ait XRD paterni....	97
Şekil 4.19. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P20C30K50 numunesine ait XRD paterni....	98
Şekil 4.20. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P40C10K50 numunesine ait XRD paterni....	99
Şekil 4.21. P20K80 numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri.....	101

Şekil 4.22. P60K40 numunesinin 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri.....	102
Şekil 4.23. B60K40 numunesinin 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri.....	104
Şekil 4.24. C60K40 numunesinin 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri.....	105
Şekil 4.25. P20B30K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri.....	107
Şekil 4.26. P40B10K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri.....	108
Şekil 4.27. P20C30K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri.....	110
Şekil 4.28. P40C10K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C ve pişirme sıcaklıklarına ait SEM görüntüleri	112
EK 2. Üçlü karışımla oluşturulan numunelere ait XRD verileri.....	124

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Dünya alüminyum üretimi ve boksit rezervinin değerlerinin kıtalara göre dağılımı	6
Çizelge 2.2. Elazığ bölgesinden çıkarılan Ferrokrom cürufunun kimyasal ve fiziksel özellikleri	9
Çizelge 2.3. Asidik ve bazik pomzanın kimyasal bileşimleri.....	13
Çizelge 2.4. Pomzanın fiziksel özellikleri	14
Çizelge 2.5. Türkiye’de pomza üretiminin bölgelere göre kimyasal bileşiminin oranları	16
Çizelge 3.1. Pomzanın kimyasal bileşimi	58
Çizelge 3.2. Ferrokrom cürufunun kimyasal bileşimi	59
Çizelge 3.3. Boksitin kimyasal bileşimi	59
Çizelge 3.4. San-B kili yanında kullanılan hammaddelerin ikili karışım oranları.....	63
Çizelge 3.5. Kullanılan hammaddelerin üçlü karışım oranları	64
Çizelge 4.1. P20K80 (%20 Pomza, %80 San-B) pişme küçülmesi oranı.....	72
Çizelge 4.2. P60K40 (%60 Pomza, %40 San-B kil) pişme küçülmesi oranı.....	73
Çizelge 4.3. B60K40 (%60 Boksit, %40 san-b kil) pişme küçülmesi oranı.....	74
Çizelge 4.4. C60K40 (%60 Ferrokrom cürufu, %40 san-b kil) pişme küçülmesi oranı	75
Çizelge 4.5. P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kil) pişme küçülmesi oranı.....	76
Çizelge 4.6. P40B10K50 (%40 pomza, %10 Boksit, %50 San-B kil) pişme küçülmesi oranı.....	77
Çizelge 4.7. P20C30K50 (%20 Pomza, %30 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kil) pişme küçülmesi oranı	78
Çizelge 4.8. P40C10K50 (%40 Pomza, %10 Ferrokrom cürufu, %50 San-b kil) pişme küçülmesi oranı	79
Çizelge 4.9. P20K80 (Pomza %20, San-B kili %80) ateş zayıyatı ölçümü.....	81
Çizelge 4.10. P60K40 (Pomza %60, San-B kili %40) ateş zayıyatı ölçümü.....	81
Çizelge 4.11 . B60K40 (Boksit %60, San-B kili %40) ateş zayıyatı ölçümü.....	82

Çizelge 4.12. C60K40 (%60 Ferrokrom cürufu , %40 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü	82
Çizelge 4.13. P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü	83
Çizelge 4.14. P40B10K50 (%40 Pomza, %10 Boksit, %50 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü	84
Çizelge 4.15. P20C30K50 (%20 Pomza, %30 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü	84
Çizelge 4.16. P40C10K50 (%40 Pomza, %10 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü	84
Çizelge 4.17. P20K80 (%20 pomza , %80 kil) su emme oranı	86
Çizelge 4.18. P60K40 (%60 pomza, %40 San-B kil) su emme ölçümü.....	86
Çizelge 4.19. B60K40 (%60 boksit, %40 kil) su emme oranı ölçüm deneyi	87
Çizelge 4.20. C60K40 (%60 ferrokrom cürufu, %40 kil) su emme oranı ölçüm deneyi	87
Çizelge 4.21. P20B30K50 (%20 pomza, %30 boksit, %50 kil) su emme oranı ölçüm deneyi	88
Çizelge 4.22. P40B10K50 (%40 pomza, %10 boksit, %50 kil) su emme oranı ölçüm deneyi	89
Çizelge 4.23. P20C30K50 (%20 pomza, %30 ferrokrom cürufu, %50 kil) su emme oranı ölçüm deneyi	89
Çizelge 4.24. P40C10K50 (%40 pomza, %10 ferrokrom cürufu, %50 kil) su emme oranı ölçüm deneyi	89
Çizelge 4.25. P20K80 (%20 Pomza, %80 San-B kil) numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri.....	100
Çizelge 4.26. P60K40 (%60 Pomza, %40 San-B kil) numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri.....	102
Çizelge 4.27. B60K40 (%60 Boksit, %40 San-B kil) numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri.....	103
Çizelge 4.28. C60K40 (%60 Ferrokrom cürufu ,%40 San-B kil) numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri.	105

Çizelge 4.29. P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kil) numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri	106
Çizelge 4.30. P40B10K50 (%40 Pomza, %10 Boksit, %50 San-B kil) numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları bölgesel EDS analiz sonuçları	108
Çizelge 4.31. P20C30K50 (%20 Pomza, %30 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kil) numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları bölgesel EDS analiz sonuçları	109
Çizelge 4.32. P40C10K50 (%40 Pomza, %10 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kil) numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları bölgesel EDS analiz sonuçları	111

1. GİRİŞ

Vitrifiye (sağlık gereçleri) seramikler kaolin, kil, feldspat ve kuvars gibi inorganik hammaddeler birbirleriyle belirli oranlarda su yardımıyla karıştırılarak çamur hale getirilir. Daha sonra sentetik reçine veya alçı kalıplara dökülerek şekillendirilir. Şekillendirilen döküm çamuru belirli sıcaklık aralıkların da (1100-1300°C) pişirilerek son ürün haline gelir ve buna vitrifiye seramik denmektedir. Vitrifiye seramikler günümüzde en çok kullandığımız banyo, klozet, tuvalet, tuvalet taşı ve pisuar gibi sırandıktan sonra parlak, beyaz hale getirilen sağlık ürünlerine verilen isimdir.

Ülkemizde vitrifiye seramik sektörü yakın geçmişte üretime başlamıştır (1960). Ülkemizde Eczacıbaşı yılda 3000 ton üretim kapasitesiyle sağlık gereçler üreten ilk firma konumunda yerini almaktadır. Her geçen gün artan ihtiyaçlar üzerine kapasite ihtiyaçlara paralel olarak genişletilip, birçok yeni tesis kurulmuştur. Ülkemiz şuan dünya sağlık gereçleri üretiminde gerek Avrupa ülkeleri gerekse dünya çapında üretim kapasitesi ve ürün kalitesi olarak ilk sıralara gelmiştir. Türkiye dünya sıralamasında vitrifiye seramik (sağlık gereçleri) üretiminde dördüncü sırada yer almaktadır. Avrupa'da ise en büyük vitrifiye seramik üreticisi konumundadır.

Vitrifiye seramiklerde kullanılan kaolen, feldspat, kuvars, albit gibi hammaddelere alternatif olarak pomza ve diğer endüstriyel atıkların kullanımı üzerine de araştırmalar yapılmaktadır. Pomza ve atıkların kullanılabilirliği vitrifiye seramik sektöründeki hammadde arayışını azaltmış olacaktır. Hem de kullanılan atıkların geri dönüşümü ülke ekonomisi ve çevresel zararlar yönünden büyük avantaj sağlamış olacaktır.

Ülkemizde pomzanın üretimi yüksek miktarlarda seyretmektedir. Ortalama dünya rezervinin %40'ını ülkemiz sağlamaktadır. Türkiye'de pomza rezervi daha çok İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmaktadır.

Pomza işletmeciliğinde birden fazla renk çeşitliliği ve pomza kalitesi bakımından yüksek pazarlama şansına sahiptir. Dünya genelinde çok sayıda endüstriyel alanda kullanımı söz konusudur. Türkiye’de ise en çok inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Son 10 yıl içerisinde ise seramiklerde ve sıra yapımında kullanımı söz konusudur.

Pomzanın seramik sektöründe kullanıma üzerine yapılan araştırmaların en önemlisi ülkemizdeki rezerv miktarlarının çok oluşudur. Türkiye’nin 2017 pomza ihracat verilerine bakıldığında 2016 yılına göre %14,56’lık bir artış olduğu görülmektedir. MTA’nın verilerine göre;

Çizelge 0.1. Pomzanın 2017 yılı ihracat ve ithalat verileri

<i>Endüstriyel Hammadde</i>	<i>İhracat</i>		<i>İthalat</i>	
	<i>Miktar (Kg)</i>	<i>Değer (\$)</i>	<i>Miktar (Kg)</i>	<i>Değer (\$)</i>
<i>Pomza</i>	<i>260.785.925</i>	<i>16.589.111</i>	<i>6.844.957</i>	<i>142.072</i>

Pomzanın kullanımı yanında endüstriyel atıkların kullanımı da incelenmiştir. Dünyanın en büyük sorunu haline gelen doğal hammaddeler her geçen yıl azalmaktadır. Sürekli endüstriyel faaliyetler, çevre mevzuatına tabi olan artan miktarlarda atık ve alt ürün üretmektedir. Bu atıkların geri dönüşümünü sağlamak hem ülke ekonomisine katkı sağlamak hem de doğal kaynakların tükenmesinin önüne geçmek için büyük önem arz etmektedir. Bazı atıklar, seramik üretiminde kullanılan doğal hammaddelerin bileşimiyle benzerdir ve çoğunlukla imalat işleminde de faydalı olan malzemeler içerir.

Bu nedenle, endüstriyel atıkların alternatif hammaddelere yükseltilmesi hem teknik hem de ekonomik açıdan ilgi çekicidir. Atık, sahibi veya yapımcısı elden çıkarmak, imha etmek isteyen ve değeri sifıra yakın olan herhangi bir şey veya maddedir. Bununla birlikte bir atık malzeme genel olarak inert ve tehlikesiz olduğu düşünüldüğünde bile, basitçe atılmamalı ve en azından bir atık depolama sahasına atılmalıdır.

Diğer endüstrilerin atıklarını tüketmek veya yeniden kullanmak söz konusu olduğunda, seramik endüstrisi listenin başında yer almaktadır. Kil bazlı seramik ürünlerin imalatında kullanılan doğal hammaddeler çok çeşitli kompozit varyasyon gösterir ve elde edilen ürünler çok heterojendir. Bu nedenle, bu tür ürünler daha fazla kompozisyon dalgalanmalarına ve hammadde değişikliklerine tolerans gösterebilir ve seramik endüstrisi, özellikle çeşitli atık malzemeleri dahil etme yeteneğine sahiptir.

Son 20 yılda, seramik üretiminde atık geri dönüşümü ile ilgili birçok araştırma çalışması yayınlanmıştır. Ferrokrom cürufu ve boksit atıkların çoğu birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde Elazığ ve Antalya'da bulunan önemli iki ferrokrom cürufu atığı oluşturan krom yatakları mevcuttur. Elazığ'da bulunan ferrokrom tesisinde her yıl 100.000 ton civarı atığın açığa çıktığı belirtilmektedir.

Ferrokrom cürufu atığı en çok inşaat sektöründe, yol ve kaldırım yapımında kullanılmaktadır. Batı İsveç'teki Vargön Alaşımları, Avrupa'nın en büyük ferrokrom cürufu üreticilerinden biri haline gelmiştir. Ferrokrom cürufu paslanmaz çelikte önemli bir bileşen olan ferrokrom üretiminden elde edilen bir yan üründür. Vargon alaşımlarından elde edilen ferrokrom cürufunun fiziksel özellikleri üzerinde kapsamlı testler yapılmış ve yol yapım malzemesi olarak oldukça uygun olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan ferrokrom cürufun çevreye olan etkisi üzerine araştırmalar yapılmış ve ferrokrom cürufundan toprağa düşük miktarda parçacıkların göç ettiğini dolayısıyla yer altı suyuna sızmanın da düşük olduğunu göstermiştir. Ancak bitkiler tarafından Cr alımı önemli miktarda arttığı gözlemlenmiştir (Lind *et al.* 2001).

Ferrokrom cürufunun seramikte, vitröz seramik karolarının geliştirilmesi üzerine yapılan bir çalışmada, diğer seramik hammaddeleri ile birlikte ağırlıkça %30-40 civarında kullanılmıştır. Daha sonra 1100-1150°C aralığında pişirme gerçekleştirilmiştir. Pişirilen ürünler daha kısa ateşleme aralığı ve iyi mukavemet özellikleri ile nispeten daha yüksek yoğunluk göstermişlerdir.

Ülkemizde üretimi yüksek miktarda olan diğer bir atık ise boksittir. Boksit bayer prosesi döngüsünde atık olarak ortaya çıkar. Depolama ve çevre kirliliği gibi ciddi sorunlara neden olur.

Yukarıda verilen bilgiler neticesinde seramiklerde kullanılan hammaddelerin her geçen yıl azalması, yeni hammadde arayışına yöneltmiştir. Bu yeni hammaddelere alternatif olarak, ülkemizin rezerv miktarında üst konumlarda yer alan pomza kullanımı amaçlanmıştır. Bunun yanında ferrokrom cürufu ve boksit kullanılarak endüstriyel atıkların geri kazanımı amaçlanıp vitrifiye seramikte (sağlık gereçleri) kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Boksit

Bor elementi, yer kabuğunda az miktarlarda olmak üzere bitki, hayvan ve insanların yaşadığı ortamlarda bulunur ve metal olmayan bir elementtir. Doğada serbest element olarak bulunmayan bor, oksijenle bileşik halde (boksit olarak) bulunur (Demirel ve nasıroğlu 2017).

Boksitin sertlik değeri 1-3 ve yoğunluğu 2,5-3,5 gr/cm³ arasındadır. Boksit, diyasropit (Al₂O₃.H₂O), böhmit [AlO(OH)], gipsit (Hidarjilit)[Al(OH)₃] minerallerinin bir karışımıdır ve genel olarak silis, TiO₂ ve demir oksit içermektedir. Rengi, içerdiği demir miktarı ile orantılı olarak kahverengi, sarı ve kırmızı olabileceği gibi kirli beyazdan, griye kadar değişmektedir. Boksitler üç grupta sınıflandırılmaktadır.

- Böhmitik boksitler (Al₂O₃.H₂O)[AlO(OH)]
- Gipsitik boksitler (Al₂O₃.3H₂O)[Al(OH)₃]
- Diasporitik boksitler (Al₂O₃.H₂O)[AlO(OH)]

Fiziksel görünümleri daha çok toprağımsı ve kirlidir. Bunların yanında masif, sert ve parlak yapıdakilerde bulunmaktadır (Ülgen 2007).

2.1.1. Boksitin dünya üretimindeki yeri

Dünyada, alümina üretiminin hemen hemen tümü Bayer Prosesi ile gerçekleştirilmektedir. Bayer Prosesinde, boksit cevheri hammadde olarak kullanılmaktadır. Bayer Prosesi ile elde edilen alüminanın çoğunluğu da alüminyum üretiminde tüketilmektedir. Dünya alüminyum ve boksit cevheri üreten ülkelere bakıldığında oldukça ilginç bir durumla karşılaşmaktadır. Alüminyum üretiminde önde gelen ülkelerin çoğu boksit üretimi bakımından terslik oluşturan bir durumla karşı karşıya

gelmektedir (Girgin 1984). Aşağıdaki Çizelge 2.1’de alüminyum üreten ülkelerin boksit rezervinin kıtalara göre dağılımı verilmiştir.

Çizelge 2.1. Dünya alüminyum üretimi ve boksit rezervinin değerlerinin kıtalara göre dağılımı

Kıta	Boksit Rezervi (%)	Alüminyum Üretimi (%)
Afrika	33	2,6
Okyanusya	33	2,9
Orta ve Güney Amerika	20	2,3
Avrupa	6	39,1
Asya	5	16,0
Kuzey Amerika	5	37,1

İl sınırları içerisinde alüminyum kaynağı olarak 8 boksit yatağı bulunmaktadır. Seydişehir-Morçukur ve Doğan kuzu sahaları boksit tenörü bakımından en zengin yerleridir ve buralarda %50-69 Al_2O_3 tenörlü 38 milyon ton civarında boksit rezervi bulunmaktadır (Ülgen 2007). Seydişehir-Morçukur Sahası: %50 Al_2O_3 , %16,25 Fe_2O_3 , %6,40 SiO_2 , %2,55 TiO_2 , Seydişehir (Doğankuzu) Sahası: %65-69 Al_2O_3 , %9-8 SiO_2 (Girgin 1984).

2.1.2. Boksitin kullanım alanları

Yıllık olarak üretilen 2-4,5 milyon ton aralığında boksitin kullanıldığı tahmin edilmektedir. Ancak ekonominin değiştiği ve bazı kullanımlar içsel olduğu için ve yıldan yıla belirgin bir şekilde dalgalandığı için güvenilir verilerin elde edilmesi güçtür (Ülgen 2007). Boksitin kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Çimento sektöründe yıllık 500.00 ile 1.500.000 ton
 - Demir çelik üretiminde hammadde / katkı maddesi 200.000-1.500.000 ton
 - Yol yapımında
 - Depolama sahası kapaklarında
 - İnşaat malzemeleri (Tuğlalar, fayans, seramik vb.) 100.000-3000.000 ton
 - Diğer (refrakter, adsorban, asit madeni drenajı (Virotec), katalizör vb.)- 300.000 ton.
- Boksitin kullanıldığı bu sektörler aşağıda açıklanmıştır.

I. Çimento

Boksit kalıntısı, sıradan portland çimentosu klinkerinin üretiminde demir ve alümina değerleri sağlayabilir ve üretim sırasındaki karbon dioksit emisyonlarını önemli ölçüde azaltma avantajına sahiptir. Ek olarak, harç veya beton karışımlarında kullanılan ek bir çimentolu malzeme gibi davranabilir. Bunun yanı sıra daha iyi mekanik özellikler, kaynakların eskisine göre daha verimli kullanılabilirlik, düşük karbon dioksit emisyonu gibi birçok avantaj sağlamaktadır.

II. Demir ve çelik

Boksit tortusunun çelik üretiminde kullanımı 70.000-100.000 ton / yıl seviyesindedir. Normal olarak demir çelik imalatında kullanılan demir cevherleri tipik olarak %55-70 oranında bir demir içeriğine sahiptir ve %66'sı birçok kaliteli kaynaktan temin edilebilir. Boksit kalıntıları %3-42 demir aralığına sahiptir.

III. Metal kurutma

Diğer metallerin, örneğin titanyum ve alüminyumun eşzamanlı olarak geri kazanılması, çelik üretiminde demir geri kazanımında boksit kalıntısı ekonomi için önemli yer tutmaktadır.

IV. Depolama kapakları

Belediye, atık depolama alanlarının kapatılması için boksit kalıntısının kullanılması Fransa'da gerçekleştirilmiştir ve ABD'de denenmiştir. Boksit tortusu, kamuya açık yollarda, kamyonlarda güvenli ve kolayca taşınabilecek bir biçimde olmalıdır. Asidik, kumlu topraklarda toprak değişikliği ve saç kremi olarak kullanımı; Yüksek fosfor seviyelerini kontrol etmede güvenli ve faydalı olduğu gösterilmiştir (Evans 2016).

V. Refrakter Sanayi

- Sentetik mullit,
- Yüksek alüminalı ateş tuğlası,
- Döküm maddeleri olarak kullanılmaktadır

VI. Kimya Sanayi

- Sodyum alüminat,
- Su arıtmasında kullanılan alüminyum sülfat,
- Ham petrol tasfiyesinde Alüminyum hidrat ve Al-klorür olarak kullanılır.

VII. Aşındırıcılar

Zımpara kağıdı, tozları ve zımpara taşı silindirleri, bileme için zımpara taşı olarak kullanılır (Ülgen 2007).

2.2. Ferrokrom cürufu

Ferrokrom cürufu, paslanmaz çelikte önemli bir bileşen olan ferrokromun üretim sürecinde ortaya çıkan bir atık maddedir. Her yıl üretilen masif ferrokrom cürufu önemli miktarda depolama alanı oluşturur ve sızabilir ağır metallerin, özellikle de kromun

varlığından dolayı çevreyi kirletir. Bu nedenle cürufun etkin kullanımı esastır. Ferrokrom cürufunun kullanımı çevre kirliliği ve ülke ekonomisi için çok önemlidir. Cürufun çoğu, beton, tuğla gibi geleneksel inşaat malzemeleri için kullanılır. Ferrokrom cürufu kordiyerit ile benzer bir kimyasal bileşime sahiptir. Her ikisi de esas olarak Silisyum (Si), Mangan (Mg) ve Alüminyum (Al) içerir. Cüruf ayrıca demir (Fe), titanyum (Ti) gibi metalik elementler ve krom (Cr), kobalt (Co) ve Nikel (Ni) gibi ağır metaller içerir (Liu *et al.* 2016). Dünyadaki ferrokromun çoğu Güney Afrika, Kazakistan ve Hindistan'da üretilmektedir. Yüksek karbonlu ferrokrom karbotermik indirgeme işlemiyle üretilir. Ferrokrom üretim oranı, üretilen ferrokrom metalinin 1.1 ila 1.5 katıdır. Küresel ferrokrom cürufu üretimi yılda yaklaşık 12-16 milyon tondur. Cüruf bileşimi ferrokrom eritme teknolojisinde önemli bir parçasıdır. Ferrokrom cürufunun büyük çoğunluğu atılır ve yıllar boyunca çok büyük bir atık birikintisi yaratacak olan toprak dolgusu için gönderilir (Sahu *et al.* 2016)

Ülkemizin belirli bölgelerinde krom yatakları mevcuttur. Bunlardan en önemli iki büyük tesis, Elazığ ve Antalya da bulunmaktadır. 2003 yılı dahil olmak üzere Elazığ'daki ferrokrom tesisinde 700.000 ton civarı atıl cüruf olduğunu ve her yıl 100.000 ton civarı cüruf açığa çıktığı belirtilmektedir (Liu *et al.* 2016).

2.2.1. Elazığ Ferrokrom cürufun özellikleri ve üretimi

Çizelge 2.2. Elazığ bölgesinden çıkarılan Ferrokrom cürufunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Analiz					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+0,65K ₂ O
45,62	31,9	1,95	2,25	16,8	1,48
Fiziksel Analiz					
Birim (gr/cm ³)	ağırlık	Su emme(%)		Özgül ağırlık(gr/cm ³)	
1,06		13,63		2,86	

Elazığ Eti krom fabrikasının verilerine göre ferrokrom cürufunun birim ağırlığı 1.06 gr/cm³, özgül ağırlığı 2,86 gr/cm³ tür. Bileşenleri ise Çizelge 2.2'de gösterilmektedir. Ferrokrom cürufu 4-5 cm boyutlarında siyah, mavi ve düzensiz şekillidir. Yardımcı madde olarak metalürjik kok (5-25mm), kuvarsit (5-75mm), boksit (5-75 mm) ve soderberg elektrod pastası kullanılmaktadır. Metalürjik kokun görevi krom cevheri içerisindeki oksijeni karbon monoksit gaz fazına çevirerek bünyeden uzaklaştırmaktır. Ark direnç fırınlarında 1700-1800°C gibi yüksek sıcaklıklarda hammadde ve yardımcı maddeler ergitilir. Sonuç olarak ferrokrom, krom cevheri ve indirgeyici vazifesi gören kokun yüksek sıcaklıkta ergitilip kalıplanması ile elde edilir (Tümen *et al.* 1991).

2.2.2. Ferrokrom cürufun kullanım alanları

Ferrokrom cürufunun kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Seramik ve Refrakter uygulamalarında
- Yol ve bina inşaat uygulamalarında
- Tehlikeli hexavalent Cr tedavisinde

i. Seramik ve refrakter uygulamaları

Ferrokrom cürufunun kimyasal bileşimi refrakterin bileşimine yakındır. Ferrokrom cürufu kalsiyum, alüminyum, krom ve demir oksitleri ile zenginleştirilmiş spinel, forsterit ve düşük erime fazları gibi enstatit ve silisli cam gibi yüksek refrakter fazları içerir. Düşük erime fazlarının varlığı, cürufun erime sıcaklığını azaltır. Ferrokrom üretim işlemi sırasında üretilen erimiş cürufa istenen katkı maddelerinin eklenmesi, eritilmesi için gereken enerjiden tasarruf sağlamış olacaktır. Bu, özel bir cüruf eritme fırınında çift yönlü işleme mümkün olabilir. Bu yöntemde erimiş cürufa çok derin katkı zenginliği, işlemin artan miktarda katkı maddesiyle birlikte artması, ilave çözülme için yüksek çözünme ısısının gerekmesiyle sınırlıdır. Bu yöntemle elde edilen malzemeler refrakter yapmak için kaynaşık tane olarak kullanılabilir. Hava soğutmalı ferrokrom cürufu asit dayanıklıdır ve mukavemet özellikleri bakımından granitten üstündür.

Ferrokrom cürufuna kromik oksit ilavesi, demir oksit ve manganez oksitleriyle karşılaştırıldığında erime sıcaklığını düşürdüğü ve kap camının çalışma özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Bu cam üretiminde düşük maliyetli bir hammaddeden biri olarak ferrokrom cürufunun eklenmesinin önünü açmıştır. Ferrokrom cürufu serbest krom oksit içermez ve ferrokrom cürufunun tüm bileşenleri cam eriyiklerinde kolayca çözünür (Tümen *et al.* 1991).

ii. Yol ve bina yapım uygulamasında

Literatürde yapılan çalışmalarda, Ferrokrom cürufunun, çevreye asgari düzeyde zarar verecek şekilde yol yapı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Cr'nin ferrokrom cürufundan yer altı suyuna dökülmesi çok düşüktür, ancak önemli miktarda Cr ve diğer ağır metaller bitkiler tarafından emilebilir. Ferrokrom cürufunun fiziksel özellikleri, karayolları Genel Müdürlüğü (GDTH) ve Türk Standartları Enstitüsü (1999) tarafından belirlenen şartnamelere göre çok iyi bir potansiyel yol yapım malzemesi olduğunu açıklamaktadır. Beton kaldırımında agrega olarak kullanılan ferrokrom cürufu, magmatik kaynaklı standart pahalı taşlardan daha ekonomiktir. Hava soğutmalı ferrokrom cürufu, kaba agrega olarak yüksek mukavemetli betonda kullanılabilirken, su soğutmalı granül ferrokrom cürufu, beton işlerinde ince agrega olarak uygun şekilde kullanılabilir. Ferrokrom cürufu agrega betonunun özellikleri ile kırılmış kireç taşı ile karşılaştırıldığında, ferrokrom cürufunun takviyeli agregalarının kireçtaşı agregalarından daha iyi olduğunu açıklamaktadır (Sahu *et al.* 2016).

2.3. Pomza

Pomza, esasen az miktarda kristalli bileşen içeren volkanik camdan oluşan, oldukça veziküler, köpüklü bir volkanik kayadır. Yapısal özelliklerinden ötürü, pomza eskiden beri aşındırıcı olarak kullanılmıştır ve kazılan atölye tesislerinde varlığının kanıtlandığı gibi, Bronz Çağı kadar eski bir zamanda istenen bir ticaret hedefi haline gelmişti. Üstelik su üzerinde yüzmesini sağlayan çok düşük yoğunluğa sahiptir. Bu sebeple antik çağda Akdeniz bölgesindeki cenaze yerlerinde ortaya çıkmıştır (Steinhauser *et al.* 2010). Çok

eskilere dayanan pomzanın kullanılabilirliği bugün tekstil, tarım, inşaat ve kimya sanayisi gibi birçok alanda tercih edilen önemli endüstriyel hammadde olup, tuğla-seramik, filtrasyon gibi sektörlerde de kullanılmaya başlanmıştır. İri boyutlardan, ince boyutlara kadar geniş ürün yelpazesi ve tüketim alanı sunan pomza, günümüzde çok sayıda sanayi dalına hizmet etmektedir. Son birkaç yılda artan talepler doğrultusunda sektörel gelişmelere bağlı olarak, Türkiye’de pomzaya olan yönelim başlamıştır. Pomza, özgün ve özellikli ürünler yaratmasının yanında kullandığı sektörlerde ekonomik ve teknolojik yönden önemli yenilikler sağlamaktadır. Pomzanın dünya genelinde kullanımı yeni olmasa da Türkiye’ye sağladığı katma değer oldukça yenidir. Türkiye’nin geniş pomza rezervlerine sahip olması şimdiden yaygın olarak kullanıldığı, rezervi bitmekte olan pek çok ülkenin ihtiyacını karşılamaktadır. Türkiye’de ki rezervin çok olması pek çok değerli araştırmacı, pomzanın kullanılan sektörlerin dışında kullanılabilirliğinin araştırılmasını sürdürmektedir ve madenciliğin gelişmesine önemli katkılar sağlamaktadırlar (Kılınç 2005).

2.3.1. Türkiye’de pomza

Pomza üretimi yapan ülkelerden İtalya ve Türkiye en üst sıraları almaktadır. Dünya pomza rezervinin yaklaşık %40’ı Türkiye’dedir. Türkiye geneline bakıldığında en çok üretim Doğu Anadolu Bölgesinde görülmektedir. Türkiye 2008-2011 yıllarında üretim miktarını arttırarak birinci sırada yer almıştır. 2010 yılında Türkiye’nin üretim miktarı 4.000.000 ton iken (%23) , İtalya 2,956.000 ton (%17) dur (Kılınç 2005).

2.3.2. Pomzanın tanımı ve özellikleri

Amorf alüminyum silikat olarak tanımlanan Pomza, volkanik faaliyetler sonucu oluşmuştur. Volkanik bir cam yapısında, süngerimsi bir kayaç türüdür. Pomza, oluşum sırasında ani soğuma ve gazların bünyeyi aniden terk etmesi nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçüğe kadar çok fazla gözenek içermektedir. Bu sebeple pomza, oldukça gözenekli ve amorf yapıdadır. Pomzadaki gözenekler birbiriyle bağlantısız boşluklardır. Her bir gözenek diğerinden cam yapıda bölmeye ayrılmıştır (Ceylan, B.T. 2019). Bu

gözeneklerin sayısız derecede olması yapıyı oldukça hafif ve gözeneklerin birbirinden bağlantısız olması da permeabilitesini (Geçirgenliği) düşük, ısı ve ses yalıtımı da oldukça yüksektir. Geçirgenliğinin düşük olması ise su üzerinde uzun süre yüzebilmesini sağlamaktadır. Pomzadaki gözeneklerin boyutları 1 mm den daha küçüktür. Bu gözenekler küresel, düzensiz, oval ve uzamış boru şeklindedir. Mohs ölçeğine göre Pomzanın sertliği 5-6 civarında, spesifik yoğunluğu ise $2,5 \text{ gr/cm}^3$ dür. Pomza yapısında, %75'e varan silis ihtiva etmektedir. Kimyasal ve fiziksel etmenlere karşı dayanıklıdır. Pomza içerisindeki porozite miktarı %45-70 arasında değişmektedir. Sudaki çözünürlüğü çok düşük, Ph'ı 7 civarında ve toksik özellik göstermemektedir. Asitte çözünen madde miktarı en fazla %2,9'dur ve hidroflorik asit (HF) haricinde hiçbir asitle tepkimeye girmemektedir.

Hidroflorik asit (HF) ile tepkimesi sonucu tetraflorit gazı oluşturmaktadır. Bu gaz toksik özelliklidir. Pomzanın, katyon değişim kapasitesi 5 me/100 gr'dır ve çözünebilir katyon değişim kapasitesi ise düşük olduğu belirtilmektedir (Kılınç 2005). Volkanik magmanın asidik ve bazik olması pomzanın "asidik pomza ve bazik pomza" olarak iki farklı tip oluşmasına neden olmaktadır. Çizelge 2.3'de asidik ve bazik pomzanın kimyasal bileşimleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Asidik ve bazik pomzanın kimyasal bileşimleri

Bileşim	Asidik Pomza	Bazik Pomza
%SiO ₂	60-70	45-50
%Al ₂ O ₃	13-17	15-15
%Fe ₂ O ₃	1-3	6-10
%CaO	1-2	8-11
%MgO	0,5-2,5	6-9
%Na ₂ O+%K ₂ O	7-9	5-8
%Ateş Kaybı	3	1

Asidik pomza beyaz ve kirli beyaz renğinde yoğunluğu ise $0,5-1 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Bazik pomza ise, siyah veya kahverenginde, yoğunluğu $1-2 \text{ gr/cm}^3$ 'dür.

Asidik mağmanın yoğunluğu bazaltik mağmanın yoğunluğundan daha düşüktür. Asidik ve bazik pomzanın sertlik değerleri aynı olup 5-6 mohs'tur. Pomzanın ergime sıcaklığı 1343°C'dir ve 760°C'nin altında herhangi bir hacim değişikliğine uğramaz. Pomza, kendisine özgü özellikleri ile obsidyen, pekstayn ve perlit gibi volkanik kayalardan ayrılır. Rengi, kristal suyunun olmaması ve gözenekliliği ile pratik olarak ayrılmaktadır. Özellikle en yakın volkanik kayaç olan perlit ile karıştırılmakta olup, bazı durumlarda ayırt edilebilmesi zor olmaktadır. Pomzayı perlitten ayıran en önemli özelliği gözenekli yapısıdır. Diğer ayırt etme yöntemi ise bünyesinde ihtiva eden su miktarıdır. Perlitin bünyesinde pomzadan farklı olarak %2-5 civarında su ihtiva etmesidir. Pomzanın fiziksel özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Pomzanın fiziksel özellikleri

Özellik	Açıklama
Renk	Asidik pomza: Beyaz/Kirli beyaz Bazik pomza: Kahverengi/Siyah
Yığın Yoğunluğu (gr/cm ³)	0,5-1 (asidik pomza) 1-2 (bazik pomza)
Özkütle (gr/cm ³)	2,5
Sertlik (Mohs)	5-6
Gözeneklilik (%)	45-70
PH	7
Suda Çözünen madde miktarı (%)	Düşük
Asitte çözünen madde miktarı	2,9
Toksik özellik	Yok

Zeolit örneklerinin Sr⁺² iyonlarını 1,03-2 meq/g aralığında soğurduğunu, pomzanın da Sr⁺² iyonlarını zeolit gibi soğurduğu bulunmuştur. Fakat pomzanın adsorpsiyon kapasitesinin Ph=10'da gerçekleştiğini ve çözelti konsantrasyonu arttıkça, azalma gösteren adsorpsiyon özelliğine sahip olduğu saptanmıştır (Kılınç 2005).

2.3.3. Pomza üretim yöntemi

Pomza madenciliği ülkemizde, yatakların oluşum şekli ve dekapaj (kanalların açılması işlemi) oranları dahilinde açık işletme metoduyla üretilmektedir. İşlem, pomzanın dekapajının paletli veya loder yükleyici ile alınması ile başlar. Dekupaj işlemi özenli bir şekilde yapılmadığı zaman cevher üst örtü ile karışır ve pomzanın kalitesini düşürür. Ocaktan ilk işletme aşaması olarak değerlendirilen ham pomzanın elde edilmesi büyük yatırım gerektirmez.

Ocağın nitelikleri, konumu, dekapaj, cevher zonunun şekli ve kaldırılan örtü malzemelerinin yerlerinin belirlenmesi aşamalarından sonra üretime kolay bir şekilde geçilebilir. Pomza ocaktan çıkarıldıktan sonra boyut küçültme işlemine tabi tutulur. Çekiçli ya da çeneli kırıcılarla küçük boyutlara indirilir. Hangi sektörde kullanılacaksa onların istediği boyuta indirilir. İnşaat malzemesinde farklı boyutlarda üretim yapılmaktadır. Bunlar; (-5+3), (-3+2), (-2+1), (-1) mm aralıklarıdır. Pomza içerisindeki volkanik kayaç parçacıkları ve organik bileşenler, üretimi önemli şekilde etkilemektedir. Pomzanın yoğunluğunun düşük olması durumunda havuzda yüzdürülerek, organik bileşenler ve dibe çöken kayaç parçalarından kolaylıkla ayrılabilir (Kılınç 2005).

Türkiye'nin farklı yerlerinden çıkaran pomzanın kimyasal bileşenlerinin oranları farklılık göstermektedir. Çizelge 2.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Türkiye’de pomza üretiminin bölgelere göre kimyasal bileşiminin oranları (Özkan, Tuncer *et al.* 2001).

Bileşim (%)	Nevşehir	Van	İstanbul	Hatay	Kayseri	İzmir	Isparta	Erzurum
SiO ₂	71,00	58,50	55,00	61,50	68,00	71,00	57,35	70,50
Al ₂ O ₃	13,20	14,30	3,60	11,20	15,10	1,30	17,50	13,60
K ₂ O	4,30	5,30	0,90	3,10	2,60	0,20	5,65	4,65
Na ₂ O	2,00	4,70	0,70	4,60	4,00	12,00	5,41	3,60
CaO	1,20	1,50	2900	8,50	3,00	8,00	5,03	0,80
BaO	0,16	0,16	-	-	0,06	-	-	-
MgO	0,60	0,30	0,50	1,20	1,00	3,00	1,70	0,20
TiO ₂	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30	0,08	0,59	0,20
MnO	0,10	0,10	0,07	0,10	0,10	0,03	-	0,10
Fe ₂ O ₃	1,10	4,00	0,90	2,30	3,00	0,50	4,65	1,90

2.3.4. Pomzanın kullanım alanları

Pomza, yapısal özellikleri nedeniyle her geçen gün yeni kullanım alanı bulmakta ve üstün teknolojik özellikler yaratan endüstriyel hammaddedir. Pomzanın üretim maliyetinin düşük oluşu ve üretildikten sonra ek işlem gerektirmemesi kullanıldığı sektörlerde ekonomik avantaj sağlamaktadır. Eski tarihlerden günümüzde kadar birçok uygarlıklar ve ülkelerde kullanılmıştır ve her geçen gün kullanım alanı yaygınlaşmaktadır. Günümüzde pomzanın kullanım alanlarını şu şekilde aktarılmıştır (Kılınç 2005).

I. İnşaat sektöründe kullanımı

Pomza, dünyada ve ülkemizde inşaat sektöründe hafif beton agregası olarak kullanılmaktadır. Düşük birim hacim ağırlığı, ses izolasyonu ve yüksek ısı, elastikiyeti ve alternatiflerine göre ekonomik oluşu inşaat sektöründe yerini almasını sağlamıştır.

Gözenekli ve düşük yoğunluklu pomzanın agrega olarak kullanımı, normal betonda ısı ve izolasyonu daha yüksek, hafif beton üretebilmektedir. Pomza betonun hafif oluşu, zemin mekaniği yönünden temele iletilen yüklere bakıldığında inşaat demirinden %17 civarında tasarruf sağlarken, üretimin kolay oluşu sayesinde işçilikten %30 civarında tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca pomzanın deprem yüklerine karşı pomzasız betondan daha elastik davranış göstermiştir. Yangına dayanımı yönünden %20 civarında emniyet sağlaması, dondan etkilenmemesi yönünden inşaat sektöründe kullanımı her geçen gün artmaktadır. İri boyutlu ve gözenekli yapılı pomza kullanılarak üretilen beton, normal betona göre daha fazla ses ve ısı yalıtımı sağlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı çatı ve döşemelerde doğal izolasyon malzemesi olarak (daha çok Akdeniz bölgesi) kullanılmaktadır. Ses yalıtımın gerekli olduğu konutlar, tiyatro, konser ve sinema gibi ayrıca kültürel mekanlar ve havaalanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Pomza agregası, yüksek teknolojik özellikli hafif harç ve sıva yapımında yapı izolasyonuna ısı ve ses yönünden arttırması sebebiyle pek çok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Pomzanın yol ve zemin stabilizasyonundaki etkisi üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Yüksek plastisiteli bir kilin mühendislik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Yaptığı araştırma sonucunda %20-30 oranında pomza katkılı, zamana bağlı oturma problemi olan killerde ve yüksek plastisiteli killerde şişme probleminin azaldığını saptamıştır (Kılınç 2005).

II. Tuğla sektöründe kullanımı

(Çelik ve Yılmaz 2018), yaptıkları çalışmalarda farklı miktarlarda ve farklı tane boyutlarındaki Isparta yöresine ait pomza katkısının tuğla üretimine etkilerini araştırmışlardır. Pomzanın kilin plastiklik suyu miktarını değiştirmediğini, toplam küçülme değerini, tuğlanın kuruma küçülmesi, birim hacim ağırlığını ve ateş zayıyatını azalttığını saptamışlardır. Pomza katkısının su emme oranını arttırdığı, ancak pomzanın tane boyutunda ve su emme oranında azalma olduğunu belirlemişlerdir. Bu araştırma sonucunda pomza katkısının tuğlanın mukavemet değerlerini arttırdığı, tane boyutunun azalması ile mukavemet değerinin daha da arttığını bulmuşlardır. Tane boyutu (-3+2 m)

olan pomza ile hazırlanan tuğlanın karkas yapılarda dolgu duvar olarak, tane boyutu (-1 mm) olan pomza ile hazırlanan tuğlada ise hem yığma yapı sistemlerinde hem de karkas yapılarda taşıyıcı duvar olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir (Kılınç 2005).

Kılınç (2004) yaptığı çalışmada, Osmaniye-Ceyhan ve Adana yöresine ait bazik pomza katkısının tuğla üretimine etkisini araştırmıştır. Bazik pomza katkısı, plastiklik suyunun azaldığı, toplam küçülme değerlerinde ve dona karşı dayanımlarında önemsiz değişme olduğunu belirtmiştir. Pomza ilavesinin su emme oranını arttırdığını ve kullanılan pomzanın daha iri boyutlu olması bu oranın daha fazla olduğunu göstermiştir. Tane iriliğinin ve pomza ilavesinin azalması ile birim hacim ağırlığı azalmış, mukavemet değeri artmıştır. Bazik pomzanın tuğlada kullanımıyla üretilen tuğlaların mekanik özelliklerinde sınır değerler içerisinde kaldığı saptanmıştır. İnşaat sektöründeki hafif yapı malzemelerinin gelişmesi ile tuğla sektörünün yanında kiremit sektöründe de hafif ve kaliteli ürünlerin üretilmesine ihtiyaç vardır. Bu sebeple, son yıllarda açık por ihtiva etmeyen, hafif yapılı ve düşük su emme oranına sahip kiremit üretme çalışmaları devam etmektedir (Kılınç 2005).

III. Tekstil sektöründe kullanımı

Ülkemiz endüstrisinde en önemli paya sahip olma konumuna gelmiştir. Tekstil sektörünün bazı dallarında pomza aranılan, azımsanmayacak miktarlarda tüketilen hammaddelerden biri haline gelmiştir. En çok kot taşlama olarak bilinen işlemden, yani kumaşların renklerinin açılmasında ve kumaşların yumuşatılmasında kullanılmaktadır. Pomzanın tekstil sektöründeki kullanım amaçlarından başka bir yöntemi ise yıkamanın (kar taşlama) susuz yapılmasıdır.

Potasyum permanganat (%3-6) ve Sodyum hipoklorit gibi kimyasal karışımlar, gözenekli pomzaya emdirilerek kumaşla tamburlanır. Tamburlanma ile pomzaların kolayca toz haline gelmesi istenir. Tamburlanmadan sonra kimyasal maddeleri taşıyan bu tozların kotların üzerinde çökeldiği yerlerde renk açılması meydana gelir (Kılınç 2005).

IV. Tarım sektöründe kullanımı

Pomza içerisindeki gözeneklerin sayısı fazla olduğundan toprağın hava almasını sağlayarak, çim ve köklenmenin ideal ortamda gelişmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu gözenekler pomzanın yüksek su tutma kapasitesine sahip olmasını ve bünyesindeki suyu ortama vererek ortamın nemini dengelemekte ayrıca suyla beraber köklere taşınan gübre ve minerallerin kaybını en aza indirgemesini sağlamaktadır. Bu sebeple su problemi yaşayan bölgelerde killi, ağır bünyeli, şişme özelliğine sahip, fazla sıkışabilir toprak içeren tarımsal alanlarla çimlenme ve kök gelişiminde elverişsiz seralar için pomzanın kullanımı çok önemlidir. Pomza bünyesinde fazla miktarda su bulundurduğu için tarımda;

- Fide yetiştirme,
- Köklendirme ortamı olarak,
- Sera sebzeleri ile süs bitkileri yetiştiriciliğinde,
- Süs bitkilerin soğanların saklanması
- Çok iri pomzanın toprakta havalandırmayı arttırmasında kullanımı yaygınlaşmıştır.

V. Kimya sektöründe kullanımı

Pomzanın kimya sektöründe kullanımı eski uygarlıklara kadar dayanmaktadır. Günümüzde halen yeni kullanım alanları bulmaktadır. Kimya sektöründe özellikle pomza tozları kullanılmaktadır.

- Kişisel bakım malzemesi olarak,
- Ayak, cilt bakımında,
- Parfüm sektöründe,
- Aşındırıcı olarak,
- Gübrenin topaklaşmasını önleyici olarak,
- Diş hekimliğinde ve diş macunlarında parlatma keki olarak,
- Absorban malzeme olarak,

- Deterjan ve temizlik sanayisinde,
- Özel tip boyalarda pomza yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özmen (2007) ve Çilek (2005) yaptıkları araştırmaya göre Isparta dan aldıkları pomza örnekleri ile nükleer tıpta kullanılan radyoaktif Tc-99m'nin (izotop olarak) adsorpsiyonunda daha iyi bir adsorpsiyon sağladığı ve nükleer tıpta radyoaktif atıkların adsorpsiyonunda pomza örneklerinin kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

VI. Filtrasyon sektöründe kullanım alanları

Gözenekli yapıya sahip olması, Özgül yüzey alanının büyük olması, birim hacim ağırlığının düşük olması, kimyasal olarak inert olması, toksik özellik içermemesi, sulu ortamda deforme olmaması, düşük maliyetle ve kolay emilebilmesi gibi özellikleri sebebi ile filtrasyon sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır..

VII. Abrasif sektöründe kullanımı

Sertlik değeri Mohs ölçeğine göre 5-6 arası olan kırılğan yapılı pomza abrasif sektöründe kullanımı yaygındır. Orta sertlikte olan pomza doğal ve sentetik metalik olmayan hammaddelerin, gümüş gibi yumuşak metallerin temizlenmesinde ve parlatılmasında kullanılmaktadır.

- Pomza tozu cam sanayisinde cilalama ve kesik camları taşlamada,
- Ahşap mobilya ve plastik sanayinde temizleme,
- Doğal ve ya doğal olmayan yumuşak metallerin cilalanmasında,
- Süs taşlarının parlatılmasında,
- Elektronik malzemelerin temizlenmesinde,
- Matbaa baskı tabletlerinin temizlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

VIII. Diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda kullanımı

- Televizyon tüpleri, elektronik devre ve çiplerin üretiminde (temizleme maddesi olarak),
- Yol tutucu-kaymaz tip oto lastikleri üretiminde,
- Asfalt kaplamalarda yüzeye kusmayı engelleyici katkı maddesi olarak,
- Karayollarında buzlanmaları kontrol altına almada yaygın kullanımı söz konusudur (Özmen 2007).

2.4. Seramikler

2.4.1. Seramiğin tarihçesi

Seramiğin üretilebilmesi için ateş içerisinde sinterlenmesi gereklidir. Bunun için seramik ateş ile bağlantılı olduğundan ateşin kullanılmaya başlandığı dönemlerden sonra bulunmuştur. İlk seramiğin MÖ 10–9. binlerde yapıldığı bilinmektedir. En eski bulgulara Türkistan'ın Aşkava Bölgesinde (MÖ 8000) ve Mezopotamya olarak adlandırılan bölgede rastlanmıştır. Çok ince taneli, koyuca kıvamlı çamur birikintileri seramiğin ilk hammaddesi olarak adlandırılmaktadır.

İlk olarak kullanılan seramik kaplar da, bu balçık ile sıvanmış sepetlerdi. Sonra bu balçık ile oluşturulan sepetler ateş ile bir araya getirilerek seramik kaplar, kullanışlı kap kaçakları oluşturdular. Balçığa daha az özlü toprak karıştırılarak ve nehir kumları ile harmanlanarak seramik çamurunun özsüzleştirilmesi ateşten daha başarılı bir şekilde çıkması sağlandı. MÖ 6– 5. yıllarda ise seramik eşyalar sır ile kavuştu. Seramiğin dekorlanması ise seramiğin bulunmasından önceki devirlere kadar uzanmaktadır. Günümüzde dekorlar makine ile yapılırsa da eski zamanlarda bu dekorlar ilk olarak insan elleriyle yapıldı. Çanakları parmakların hareketiyle, kazıyarak süsleyen insan, sonraları renkli toprakları kullanarak astar tekniğine ulaştı.

Sırın bulunmasıyla renkli sırlar dekor araçları olarak kullanılmaya başlandı. Seramik çamurunun hazırlanması ilk olarak yoğurma, çiğneme ve dövme yöntemleriyle oluyordu. Kurutma ise açık alanlarda güneşin ısıyla doğal olarak yapılmaktaydı. Çamur şekillendirme yöntemi ise el ile serbest şekillendirmeydi. Daha sonraları icat edilen tornalar kullanılmaya başlandı. Bu tornalar el ile çevriliyordu. El ile çevrilen tornaların yerini ayak tornalarına bıraktı. Pişirme işlemi açık ateşte yapılmaktaydı. Fırınlara icat edildikten sonra açık ateşte pişirme işlemi fırınlarda yapılmaya başlandı. Böylelikle büyük aşama kaydedilmiş oldu. Bu fırınlar odun ile ısınmaktaydı. Seramik günümüzde ne kadar teknolojik yöntemlerle yapılsa da bu ilkel yöntemler (hazırlama, kurutma, pişirme) doğallıkları nedeniyle halen kullanılmaktadır (Çevikel 2010).

2.4.2. Seramiğin Türkiye'deki konumu

8000 yıl önce Anadolu topraklarında seramik üretimi başlamış olup, 20.yy'dan itibaren sanayi boyutuna taşınmıştır. 1990 yılından sonra yaptığı yatırımlar ile Türk seramik kaplama malzemeleri sektörü dünya seramik karo üretiminde önemli bir konuma gelmiştir. Avrupa'nın üçüncü, dünyanın ise altıncı seramik karo üreticisidir (220 milyon m²).

- Türkiye seramik ihracatında dünya dördüncüsü büyük ihracatçı ülkesidir. (104 milyon m² den fazla)
- 160 milyon m² civarındaki yurtiçi Pazar büyüklüğü ile seramik karo tüketiminde dünya onbirincisidir.
- Vitrifiye seramikte ise (sağlık gereçleri) 17 milyon adet üretimi ile Avrupa'nın en büyük vitrifiye seramik üreticisidir.
- Türkiye 8 milyon adet vitrifiye seramik (sağlık gereçleri) ihracatı ile Avrupa'nın bir numaralı konumundadır.
- Türkiye'de seramik kaplama malzemesi üreten firmalar 113 ülkeye, vitrifiye seramik üreten firmalar ise 95 ülkeye ürünlerini ihraç etmektedirler (Çevikel 2010).

2.4.3. Seramiğin tanımı ve özellikleri

Seramiğin tarihte ilk kullanılan adı pişmiş toprak veya eşya anlamındaki Yunancadan gelen “keramos” kelimesinden türemiştir. Seramiğin bilimdeki tanımı ise organik olmayan malzemelerin çeşitli yöntemler ile şekil verildikten sonra sırlama işlemi yapılarak veya yapılmayarak pişirilmesinden sonra sertleşip ve dayanıklılık kazanması ile meydana gelen yapıya bilim ve teknolojisidir. Günümüzde ise metal ve alaşımları dışında kalan, inorganik olarak sayılan tüm mühendislik malzemeleri ve bu mühendislik malzemelerin ürünlerinden olan her şey olarak da tanımlanmaktadır (Çevikel 2010).

i. Fiziksel dayanım özelliği:

- Aşınmazlar ve kolay çizilmezler.
- Birçok hammadde birleşimiyle oluştukları için sertlik değerleri yüksektir.
- Aşındırıcı amaçla üretilen seramikler, diğer metal ve malzemeleri kesme ve aşındırmada kullanacak kadar serttirler. (sentetik elmas, korund gibi)
- Darbelere karşı kırılğan, mekanik dayanıklılığı ise fazla değildir.
- Cam fazı yüksek olan porselen gibi seramikler yarı saydamlık kazanmışlardır.
- Vitrifiye seramikte kullanılan seramiklerin (sağlık gereçleri) yüzeyleri sır denilen camsı tabaka ile kaplanmıştır. Bu sırlı yüzeyler parlak ve gözeneksizdirler. Kir tutmazlar, mikrop barındırmaz ve kolay temizlenirler.
- Basınçlara ve ısı değişimleri sonucu olan şoklamalara dayanıklıdır.

ii. Seramiğin kimyasal dayanım özelliği:

- Asitlerden
- Bazlardan
- Alkalilerden
- Korozyondan etkilenmezler.

iii. Seramiğin elektriksel özelliği:

Elektrik iletimleri çok düşüktür. Bu özellikleri nedeni ile seramikler alçak gerilim hatlarında ve yüksek gerilim hatlarında kullanılırlar.

iv. Seramiğin refrakter özelliği:

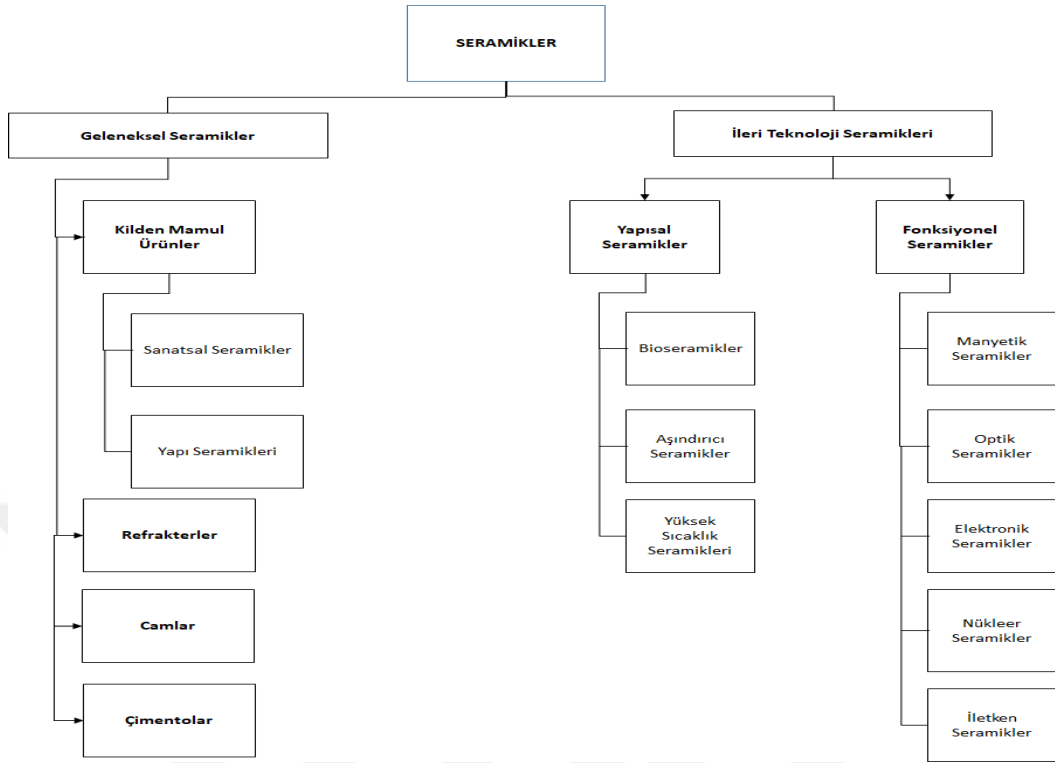
Refrakter özellikli malzemeler yüksek sıcaklıklardan kolaylıkla etkilenmezler. Seramikleri bu alanda da kullanmak mümkündür. Fırın, şömine, soba ve sanayi fırınlarında sadece seramik malzeme kullanılır.

v. Seramiğin şekillendirme özelliği:

- qYarı yaş, kuru, yaş ve sulu olmak üzere çeşitli metotlar ile şekillenebilme özelliklerine sahiptirler. Seramikler bu özellikleri nedeniyle her türlü şekil verebilen bir malzemedir (Çevikel 2010).

2.4.4. Seramiklerin sınıflandırılması

Seramikler genel olarak tanımlandığında, metalik ve organik olmayan tüm malzemeleri almak mümkündür. Bu bakımdan, doğada bol miktarda bulunan metal oksitleri başta olmak üzere karbürler, nitrürler, camlar, cam seramikler, silikatlar ve çimento türündeki malzemeler seramik sınıfına girmektedir. Ayrıca seramik malzemelerin kendi aralarında yaptıkları karışımlar ile “ kompozit malzemeler” oluşturmaları mümkündür (Uçar 2008). Seramik malzemeleri Geleneksel ve İleri Seramik malzemeler olarak iki grupta incelemek mümkündür.



Şekil 2.1. Seramiklerin sınıflandırılmasının şematik görünümü (Uçar 2008)

1. Geleneksel seramikler

Kuvars, feldspat ve kaolen olmak üzere bileşenlerden oluşmaktadır. Kuvars (SiO_2), feldspat (K_2O veya Na_2O , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), kaolen ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve diğer mineraller ile bir araya gelerek oluşturdukları kombinasyonlar sonucu geleneksel seramikleri oluşturur. Kilin içerisinde MgO , CaO , K_2O , Ve Fe_2O_3 gibi oksitli minerallerde bulunur.

a) Kilden mamul ürünler

Seramik denilince akla ilk gelen ve seramiğin ana bileşeni olan kildir. Kil seramiğin pişirme sırasında sertleşmeden önceki işlenebilirliğini sağlar. Kilden mamul ürünler yapı seramikleri ve sanatsal seramikleri (ince seramikler) olmak üzere iki grupta incelenir. Yapı seramikleri kullanımı eski devirlere kadar dayanan insanoğlunun ilk kullandığı seramikler olan kiremit ve tuğlalardır. Sanatsal seramikler (ince seramikler) ise kilin çeşitli aşamalardan geçirilip, şekillendirilmesi ile elde edilen çanak, çömlek, süs ve

dekorasyon eşyaları, saksı ve benzeri ürünlerdir. Sanatsal seramiklerin (ince seramiklerin) en önemlisi ise günümüzde her geçen gün talep ve üretimi artan, Türkiye'deki konumu dünyada en üst sıraları alan vitrifiye (sağlık gereçleri) seramikleridir (Çevikel 2010).

b) Refrakterler

Refrakterler Isısal yalıtımda, kalıp ve ısıtma elemanları olarak, metal üretim malzemeleri olarak, potalarda ve fırınlarda kaplama olarak önemli uygulamaları olan seramik malzemelerdir. İçerdikleri minerallere göre farklı grup ve tiplere ayrılmaktadırlar. Bunlar;

- Zirkon esaslı (%66 ZrO₂, %33 SiO₂),
- Süper refrakterler (%55-95 SiC, kuvars kil),
- Spinel (%72 Al₂O₃, %28 MgO),
- Fosferit (%57 MgO, 54.3 SiO₂),
- Magnezit (%80-90 MgO, Fe₂O₃ ve Al₂O₃)
- Krom magnezit esaslı (%60 MgO, Fe₂O₃ ve Cr₂O₃) (Çevikel 2010)

c) Camlar

Camın ana maddesi silisyumdur (SiO₂). Cam alkali ve toprak alkali metal oksitleri ile diğer metal oksitlerin çözülmesinden oluşmaktadır. Cam akışkan bir maddedir. Camlar üretim sırasında hızlı soğuduklarından amorf yapı oluştururlar. Camların amorf yapılı olması saydamlık ve sağlamlık özelliğini kazandırır. Camların bileşiminde 3 madde vardır. Bunlar; cam haline gelebilen stabilizatörler, eriticiler ve oksitlerdir. Bunlar soda-kum-kireç olarak da adlandırılabilirler. Bu ana maddelerin dışında cama farklı özellikler kazandırmak ve üretimi kolaylaştırmak için yardımcı bileşenler de vardır (Çevikel 2010).

d) Çimentolar

Genelde kalsiyum silikatlardan oluşan çimentolar yapı tasarımında kullanılmaktadır. Diğer bileşenleri; $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$, $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ ve bunlara ilave MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve SO_3 içerir. Çimentoyu oluşturan bu bileşenlerin su ile reaksiyona girmesi sonucu sertleşme meydana gelir. Yüksek sıcaklık gerektiren yapılarda fosfatlı çimentolar veya kalsiyum alüminat çimentoları kullanılır. Çimento ve benzeri malzemeler arasında alçı, kireç, doğal çimento, puzalan, yüksek alümina çimentosu, Portland ve kalsiyum alüminat çimentosu bulunmaktadır ve Portland dünyanın en büyük çimento üretimine sahiptir (Uçar 2008).

2. İleri teknoloji seramikler

Çok özel yerlerde kullanılan ileri teknoloji seramikleri karbürlerin, oksitlerin ve nitrürlerin saf bileşenlerinden oluşur. Teknolojinin ilerlemesiyle yeni çarpıcı bilimsel gelişmeler sonucu ortaya çıkmıştır. Yüksek sertlik, mukavemet, rijitlik, yüksek sıcaklık ve kimyasal etkilere dayanıklılık ve boyutlarda kararlılık gibi özellikleri ile önemli yeri olan uçak ve uzay endüstrisinde kullanılmaktadırlar. Son yıllarda elektronik endüstrisinde dielektrik, piezoelektrik, süper iletkenlik ve manyetik gibi özelliklerinden dolayı yaygın kullanım alanı bulmaktadırlar. İleri teknoloji seramikleri yapısal ve fonksiyonel olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür.

a) Yapısal seramikler

Seramik malzemelerin aşınma direnci ve kırılma dayanımı gibi mikro yapısal değişkenlerinden etkilenen yoğunluk, ısıl dayanım, sertlik, yüksek elastik modül gibi atomlar arası bağlanma ve kristal yapısı gibi özelliklerin önemli olduğu uygulamalarda kullanılan seramiklere “yapısal seramikler” denmektedir. Bu grupta üçlü, çiftli veya tek tek bileşenlerin karışımı ile oluşmaktadır. Bunlar; ZrO_2 , SiC , Al_2O_3 , B_4C , Kübik BN, TiB_2 , TiC , AlN , TiN . Yapısal seramiklerin kullanım alanları;

- Tekstil sektöründe aşınmaya dayanıklı sentetik iplik kılavuzlarında,

- Torna tezgahlarında kesici seramik takımlarda,
- Otomobil sektöründe araçlara hızlı ivme sağlayan turbo yükleyicilerde,
- Madencilik sektöründe,
- Çimento sektöründe,
- Zırlı araçların koruyucu kaplamalarında,
- Muslukların modern olanlarında (aç-kapa mekanizmalarında),
- Spor malzemelerinde

Yapısal seramikler grubuna aşındırıcı seramikler, bioseramikler ve yüksek sıcaklık seramikleri girmektedir (Duman 2009).

- **Bioseramikler**

Seramiklerin üstün aşınma ve erozyon özelliklerine sahip olmaları bu alanda kullanımı yaygın olmasının nedenidir. Diş hekimliği ve tıpta genellikle metal ve polimer malzemeler kullanılmakta olup son on yılda bioseramikler implant malzeme olarak geliştirilmiştir (Geçkinli 1991).

- **Aşındırıcı seramikler**

Seramiklerin önemli özelliklerinden biri aşınma direncinin yüksek olmasıdır. Alüminanın mekaniksel dayanımı ve yüksek sertliği, mühendislik malzemelerini ve aşınmaya maruz kalan makine elemanlarının kullanımını ön plana çıkarmıştır. Aşındırıcı seramik olarak; Zımpara taşları, sentetik elmas ve zımpara tozları sayılabilir. (Geçkinli 1991).

- **Yüksek sıcaklık seramikleri**

Seramiklerin sürtünme ve mukavemet değerleri metallere göre oldukça yüksektir. Bu sürtünme ve mukavemet değerleri yüksek sıcaklıkta çalışabilecek, daha verimli olabilecek türbinleri ve motorları mümkün kılmaktadır. Seramiklerin oksidasyon

dirençleri de oldukça yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda sahip oldukları yüksek sertlik değerleri, rulman ve contalara iyi aşınma direnci vermektedir. Bu değerlerin yüksek olması, sahip oldukları kovalent bağın metalik bağa oranla üstün olmasından kaynaklanmaktadır.

b) Fonksiyonel seramikler

Maddenin elektronik yapısını (elektriksel, ısı yalıtkanlık, elektriksel, manyetik ve iletkenlik vb.) ortaya koyduğu ve özelliklerin kullanıldığı uygulamaları “fonksiyonel amaçlı seramikler” olarak tanımlamak mümkündür. Fonksiyonel seramik grubuna; optik, manyetik, iletken seramikler ve elektronik seramikler girmektedir.

• Optik seramikler

İyonik katılarak katkı elemanları enerji aralığı içine elektron delikleri veya yüksek enerjili elektronlar yerleştirilebilir. Bu durumda enerjisi düşük olan radyasyon dalgaları emilerek geçişi engellenmiş olur. Mesela Al_2O_3 kristali saydam bir malzemedir. İçerisine krom +3 (Cr^{+3}) iyonları katılır. Bu Cr^{+3} iyonları kırmızı renginin üstündeki dalgaları emer, sadece kırmızı ışık geçer. Bunun sonucunda yakut kristali kırmızı renge görünür. Yine aynı şekilde Ti iyonları katıldığında mavi renkli safir, Klor (Cl) iyonları katıldığında ise yeşil renkli zümrüt elde edilir. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen seramikler içerisinde boşluklar bulunduğundan ışık büyük ölçüde yansıma ve kırılmaya uğradığından opak olur (Duman 2009).

• Manyetik seramik

Manyetik seramikler denilince akla ilk gelen demir, nikel ve kobalt gibi manyetik özellikli malzemelerdir. Demir oksit (Fe_2O_3) içeren seramikler; nikel, kobalt ve demir gibi manyetik özellikli malzemeler ile benzer manyetik özelliklere sahiptirler. Bu tür demir oksit tabanlı seramik malzemeler ferritler olarak adlandırılmaktadır. Ferritler elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmede önemli rol oynarlar. Elektrik

motorunda, elektrik akımı, mıknatıs vasıtasıyla oluşturulan manyetik alandan geçirilir. Elektrik akımının manyetik alandan geçme oranına bağlı olarak motorun bobini döner ve sonucunda mekanik enerji oluşur (Duman 2009). Ferritler metal mıknatıslardan farklı olarak elektrik akımını yüksek frekanslarda iletmezler. Ferritlerin diğer bir kullanım alanı ise mikrodalga, radyo ve video teçhizatlarıdır. (Duman 2009).

- **Elektronik seramikler**

Elektronik seramikler, ileri teknoloji seramiklerin en fazla kullanılan uygulama alanını oluşturmaktadır. Elektronik seramikler olarak kullanılacak malzemelerin çok iyi bir şekilde karıştırılması ve yüksek saflıkta olması gerekmektedir. Ayrıca bileşimin, tane sınırlarının, kristal yapısının, yüzey yapısının ve boşluk miktarının da kontrol edilmesi gerekmektedir.

- **İletken seramikler**

Seramikler içerdikleri bileşenler ve bunların karışımları ile yalıtkan, iyi iletken, yarı iletken ve çok iyi iletken olarak kullanılırlar. Yalıtkan yapımında Alüminyum oksit (Al_2O_3) gibi elektriği iletmeyen seramikler kullanılır. Özellikle iletim direklerinde, yüksek voltaj güç hatlarında kullanılan simit diskler Alüminyum oksit içerikli seramiklerden yapılmaktadır. Aynı şekilde mikroçip yapımında, yüksek frekanslı akımlara maruz kaldığında bile elektriksel ve kimyasal kararlılığını koruduğu için kullanılır. Yarı iletken olarak baryum titan oksit ($BaTiO_3$) ve stronsiyum titan oksit ($SrTiO_3$) esaslı malzemeler kullanılır. Bunlar yarı iletken mikroçipler, transistör ve elektronik araçların küçük boyutlara indirilmesinde önemli yere sahiptir. Daha çok bilgisayar, televizyon ve diğer elektronik ürünlerin yapımında kullanılmaktadırlar (Duman 2009).

2.4.5. Seramik hammaddeleri

Seramik hammaddeler özlü ve özsüz olmak üzere iki grupta incelenir.

A. Özlü seramik hammaddeleri

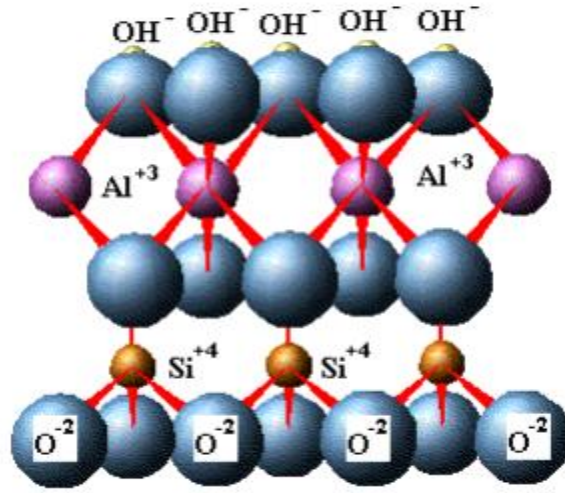
Bünyesine su katıldığında yoğurulabilen, dağılmadan kolaylıkla şekil verilebilen ve kurdukları zaman parçalanmayıp şekli muhafaza edebilen hammaddelere özlü seramik hammaddeleri denir.

Birincil magmadan çıkan kayaçların (granit, pegmatit, feldispat, grays ve syenit) doğa olaylarıyla veya fiziksel ve kimyasal etkenler ile aşınıp, dağılıp, ufalanıp ve sürüklenmeleri sonucu killer ve kaolin oluşmuştur. Kayaçların değişikliğe uğramasında rüzgarlar, su, sıcaklık-soğukluk değişimleri, CO₂, yer kabuğu hareketleri, kükürt asitleri, humus asit, hidrojen ve flor gibi etkenler rol oynamıştır. Özlü seramik hammaddeleri üç grupta incelenir.

1. Seramiğin en önemli ana maddesi olan kaolin
2. Montmorilonit
3. İllit ve glimmer grubu

I. Kaolin grubu

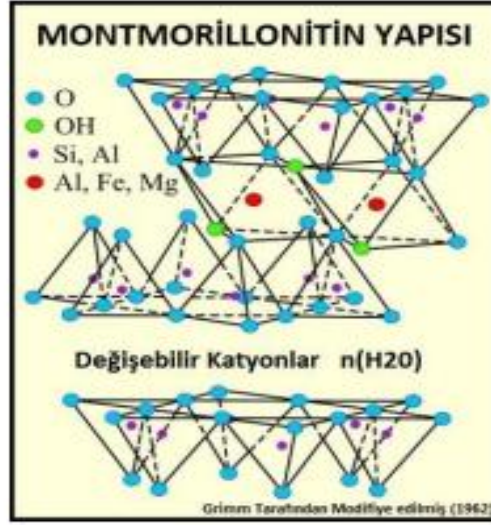
Çoğu seramik hammaddelerin ana minerali kaolinittir. Kaolinit bileşimi alüminyum silikattan oluşur. Kaolinitler $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ yapısındadır. Diğer minerallerinden arındırılmış çığ haldeki kaolinit %39,50 Al₂O₃, %46,55 SiO₂ ve %13,95 H₂O içerir. Pişirme sırasında ortamdan H₂O uzaklaşır ve %13,95 oranında bir ateş kaybı gerçekleşir. Kaolitin kristal yapısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kaolitin kristal yapısı (Şahin 2013)

II. Montmorilonit grubu

Montmorilonit Al_2O_3 ve SiO_2 yapısındadır. Pişirilmeden önce %28,2 Al_2O_3 , %6,8 SiO_2 ve %5 H_2O şeklinde olup, pişirildikten sonra ortamdan H_2O uzaklaşır ve %2,8 Al_2O_3 , %70,2 SiO_2 olarak belirlenir. Yapısında yüksek oranda Al_2O_3 ve MgO içeren montmorilonit, beidelit olarak adlandırılır. Fe_2O_3 formuna ise nontronit denir. Montmorilonit hücreleri birbirine zayıf Van der Waals bağlarıyla tutulur. Bu bağların zayıf olmasından dolayı tabakaların ayrılması diğer kil minerallerinden daha kolaydır. Diğer kil gruplarından ayıran diğer önemli özelliği ise su ile şişmesidir. Suyun tabakalar arasında adsorplanmasından kaynaklanmaktadır. Bu özelliğiyle madencilik, endüstri, tarım ve mühendislik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca düşük maliyetli, bulunabilirliğinin kolay olması ve plastiklik özelliğinin yüksek oluşu kullanımını arttırmaktadır (Şahin 2013).



Şekil 2.3. Montmorillonit'in kristal yapısı (Şahin 2013)

III. İllit ve glimmer grubu

Alkali içeren grup olarak da adlandırılır. Yüksek kil oranlarına sahip illitler; biotit ($K_2O \cdot 4MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 6Si_2O \cdot H_2O$) ve muskovit ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6Si_2O \cdot 2H_2O$) olarak glimmerlerden oluşur. İllitler glimmerlere göre daha fazla sulu olup alkali oranları daha azdır. Kiremit ve tuğla hammaddelerinde bol miktarda kullanılırlar (Berberoğlu 2015).

B. Özsüz seramik hammaddeleri

Çok ince öğütülseler bile su ile harmanlandığında kolayca şekil almayan, şekil alsa dahi her hangi bir dış etken ile kolaylıkla şeklini kaybedebilen malzemelerdir. Özsüz seramik hammaddeler çamurun kuru küçülme, pişme küçülmesi, kuru direncini azaltırlar ve su emmeyi arttırlar.

I. Kuvars (SiO₂)

Yeryüzümüzün %25'ini oluşturur. Oksijenden sonra en çok silisyumun bir bileşimi olan kuvarsa rastlanır. Özgül ağırlığı 2,56 gr/Cm³, sertliği Mohs değerine göre 7'dir. Sert bir

malzemedir. Doğada amorf ve kristal olarak bulunur. Kristal olarak amethyst, kuvars, dağ kristali ve kristal kuvars kumu olarak bulunur. Amorf olarak ise sileks ve flint taşları, kizelgur şeklinde bulunur. Kuvars kristali elektro teknik alanında önemli kullanım alanına sahiptir. Kristale çekme ve basınç gibi mekanik etkiler uygulandığında kristalin elektrik ile yüklenmesine neden olur. Bu mekanik etkiler ortadan kaldırıldığında, elektik yükü de kalkar. Bu olay “piezoelektrik” konusuna girer. Piezoelektriğin seramikle olan ilgisi kuvars dışında $BaTiO_3$ ile de bağlantısı vardır. $BaTiO_3$ çıkış maddesi olarak alındığında geliştirilen seramiğe “piezoelektrik seramik” adı verilmektedir. Silisyum dioksitin seramikte kullanımı çok önemlidir. Sırlarda ve seramik çamurunda geniş kullanım alanı bulmaktadır. Seramik sektöründe SiO_2 'i en çok kaya kuvarısı ve kuvars kumu olarak kullanılmaktadır. Doğada yaygın olarak kullanılan ince kumlar demir, toksik ve diğer zararlı malzemeleri içermiyorsa, kırma ve öğütme yapılmadan seramik endüstrisinde öncelikle kullanılır (Arcasoy 1988).

Kuvars döküm çamuruna şu etkileri gösterir;

- Döküm çamurunda kuvars oranı arttıkça yapının kuru direncini ve bağlayıcı özelliğini düşürür.
- Çamurun pişmesi halinde yapının gözenekliliğini ve su emmesini arttırır.
- Pişme esnasında deformasyona uğramadan gaz çıkışına izin verir.
- Yapıya katılan kuvars miktarı az olduğunda kuru ve pişme küçülmesi oranlarında azalma olurken, katılan kuvars miktarı arttırıldığında pişme küçülmesi yerine büyüme görülür.

II. Feldspat

Feldspat özsüz bir hammadde olup seramik çamurunda kullanıldığı gibi sırlarda da kullanılır. Çamurlarda belirli bir pişme sıcaklığına çıkıldığında, çamurları pekiştirir ve eriticilik özelliği kazandırır. Seramik döküm çamurundaki kullanım amaçları;

- Çamurun pişme esnasında ergimesini sağlar bu da camsı faza geçişi kolaylaştırır.

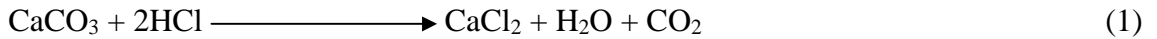
- Sinterlenme sıcaklığını düşürür, camlaşmayı sağlar.
- Feldspat fazla oranlarda kullanıldığında piropplastik deformasyonu artırır.
- Daha çok vitrifiye seramikte kullanılır (%20-25 civarlarında) (Drescher and Kaden 2013).

III. Pegmatit ve feldspatlı kum

Pegmatitler kuvars ve potasyum feldspat içerirler. Feldspat kumu ise pegmatitin ince taneli halidir. Feldspat kumu yer karosu, klinker gibi ürünlerin üretildiği sert çini çamurların bileşimine büyük oranda katılır. Kuvars (7 Mohs) feldspata (6 Mohs) göre sert bir malzemedir. Öğütme işleminde feldspat kuvarsa göre daha ince öğütülür ve siklonlar yardımı ile birbirinden ayrılır. Feldspat yönünden zengin hale gelen pegmatitler ise kaba ve ince seramik çamurlarında ve sır yapımında kullanılır (Sekulić *et al.* 2004).

IV. Kalk

Kalk kalsiyum karbonat (CaCO_3) bileşiminden oluşup, Mohs sertliği 3 tür. Doğada mermer, tebeşir ve kalsit (kalk taşı) olarak bulunur. Kalk taşı olarak kullanıldığında kireç ve çimento üretiminde hammadde olarak kullanılır. Seramik endüstrisinde ise silika tuğlaların üretilmesinde kullanılır. Mermer ise seramik sektöründe sır bileşiminde ve çamurda kullanılır. Kalkın doğada kendi halinde veya diğer materyallerin içerisinde olup olmadığını bulabilmek için hidroklorik asit veya diğer kuvvetli bir asit ile araştırılması yapılır.



1 numaralı denklemde, reaksiyon sonucunda ortaya çıkan CO_2 , asidin maddeye damlatıldığı noktada köpürmeye ve kabarcıklanmaya yol açar. Kalkın çamur içerisindeki diğer bir sorunu; çamur içerisinde iri taneli ve iyi dağılmadığında hatalara yol açar. Pişme sonrası 2 numaralı denklemde CaO ortamdan hızlı bir şekilde su çeker ve hacmini %20 oranında büyütür.



Bu durum çamurun geride oyukların kalmasına ve yer yer atmasına neden olur. Bazen bu görünüm kabuk görünümlü çatlaklar olarak ortaya çıkar. Alınacak önlemlerin en başında kalkın çok ince öğütülmesi çamurun içerisine homojen bir şekilde dağıtılması gerekir. Başka bir önlem ise CaCO_3 miktarının %10'nun altında olduğu çamurlarda kalk mineralinin kalsine edildikten sonra katılması şeklinde olur. Bu durumda CaO , çamurda ince öğütülmüş SiO_2 ile reaksiyona girer ve su ile başka bir reaksiyon oluşturulmaz (Peyk 1994).

V. Magnezit

Magnezit MgCO_3 bileşiminde olup sert parçalar halinde, amorf ve kristal olarak bulunur. Seramik çamurunda CaCO_3 ile aynı etkiyi yapar. Sırlarda ise MgO olarak kullanılır sırların artistik dokuların ve eriticiliğin oluşmasını sağlar. Saf haldeki MgCO_3 un erime ve sinterleşme noktaları birbirinden uzakta bulunur. Bu özelliğinden dolayı MgCO_3 'tan ateşe dayanıklı kromit ve magnezit tuğlalar yapılır (Peyk 1994).

VI. Dolomit

Magnezyum karbonat ile kalsiyum karbonatın doğadaki aynı molekül oranlardaki şekline dolomit denir. $\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$ bileşiminde %56 CaCO_3 , %44 MgCO_3 oranında yer alır. Doğada büyük kayalar halinde bulunan bir mineraldir. Dolomitler birincil oluşum alanlarında çökerek meydana gelmiştir. İkincil alanlarda da oluşan dolomitler mevcuttur. Bunlar yumuşak, poröz ve saf olmasıyla birincil oluşmuş dolomitlerden ayrılır. Magnezite benzer şekilde dolomitten ateş tuğlaları üretilir. Endüstriyel seramik çamurlarında CaCO_3 ile benzer şekilde kullanılan dolomit ile ak çini çamurları elde edilir (Peyk 1994).

VII. Wollastonit

Kullanımı yakın geçmişe kadar dayanan wollastonit, lifli kalsiyum silikattır. Wollastonitin bileşimi CaO.SiO_2 şeklindedir. Mohs sertlik değeri 4,5-5 dolayındadır. Teorik bileşimi %48,25 CaO (kalsiyum oksit) ve %51,25 SiO_2 (silisyum dioksit) tir. Wollastonitin seramik çamurundaki etkileri;

- Çamurlara eritici özellik vererek, pişme sıcaklığını düşürür.
- Çamurun pişme esnasında herhangi bir gaz çıkartmadığından, tek pişirim çamurlarında düşük sıcaklıklarda kullanılır.
- Ayrıca wollastonit kullanıldığı zaman çamuru sıcaklık değişikliklerine karşı korur.

VIII. Korund

Korund doğal ve yapak olmak üzere ikiye ayrılır. Saf hali kristalize Al_2O_3 tir. Doğada demir ile birlikte bulunan korundlar damarlar şeklindedir. Doğada elmadan sonra bilinen en sert doğal malzeme olup, Mohs sertlik değeri 9 dur. Özgül ağırlığı $4.0-4,1 \text{ gr/cm}^3$ tür. Korundun sertliğinden yararlanılarak genelde zımpara yapımında kullanılır. Yapay korundlar ise boksitin içerisindeki demir oksitin ayrılması, Al(OH)_3 çöktürülmesi ve Al_2O_3 in kalsine edilmesi ile elektrik arkında 2000°C de eritilerek elde edilir. %53,4 alüminyum, %46,6 oranında oksijen içerir (Steinhauser *et al.* 2010).

IX. Talk, sabuntaşı

Talk ve sabuntaşı minerallerinin kimyasal bileşimleri aynı olup kristal yapıları farklıdır. Talk ve sabuntaşı $3\text{MgO.4SiO}_2.\text{H}_2\text{O}$ yapısındadır. Talk yaprakçıklar halinde, sabuntaşı hacimsel tanecik doku halinde oluşur. Mohs sertlik değerleri düşük olup 1-1,5 arasında, yoğunlukları ise $2,6-2,8 \text{ gr/cm}^3$ tür. Talk ve sabuntaşı seramik çamurunda ve sırlarda kullanılır. Sertlik değerlerinin çok düşük olması kolayca çok ince tanelere ufalanmasını sağlar ve hiçbir katkı maddesi olmadan şekillendirilip pişirilirlir (Arcasoy 1988).

2.4.6. Seramik endüstrisinde çamur hazırlama

Seramik hammaddeleri doğada hiçbir zaman doğrudan doğruya çamur yapımında kullanılacak şekilde bulunmazlar. Bu nedenle ocaktan çıkarılan hammaddelerin içerisindeki zararlı maddelerin ayıklanması ve istenilen boyuta indirilmesi için kırılıp ufalanması gereklidir. Ayrıca plastik hammaddelerdeki özlü ve bağlayıcı kısımların ayrılması o hammaddeye plastiklik ve bağlayıcılık özellik kazandırması gerekir. Karıştırma işlemi yapılarak, kullanılacak çamuru oluşturan özlü ve özsüz hammaddelerin bir araya gelmesi sağlanır.

Özlü seramik hammaddeleri su ile karıştırıldığında kolayca parçalandığı için ufalama işlemlerine gerek duyulmaz. Ancak özsüz seramik hammaddeleri sert ve farklı tane boyutlarında olduklarından ufalama ve tane büyüklüklerine göre zenginleştirme işlemleri yapılır. Çamur hazırlama yönteminin seçimi ve bu yöntemin uygulanmasının doğru yapılması gerekir. Yanlış seçim yapıldığında çamurun kuruma ve pişme esnasında hatalara sorun açar (Berberoğlu 2015). Çamur hazırlamadaki genel aşamalar 4 kategoride ele alınır.

1. Ayıklama

Seramik çamurunda kullanılacak hammaddelerin içerisindeki zararlı veya istenmeyen maddelerin uzaklaştırılması gerekir. Bunun için ocakta, hammadde damarının bulunduğu yerde veya çıkarıldıktan sonra taş ayıklayıcı valslerden geçirilerek zenginleştirilme işlemi yapılır.

2. Ufalama

Ocaktan çıkarılan hammaddelerin boyutları iri, kaba ve sert olabilmektedir. Bunların istenilen boyutlara öğütülmesi gerekir. Çeşitli kırıcı makineler kullanılarak kırma işlemi gerçekleştirilir. Özsüz seramik hammaddeleri basınçla ezildikleri zaman gevrek olurlar

ve kırılmaya meyilli hale gelirler. Kırma işleminde hammaddenin sertliği ve kristal yapısı önemli rol oynar.

3. Tane büyüklüğüne göre ayırma

Farklı tane büyüklüğüne sahip maddeler bir sınırdan geçtikten sonra toplanır. Elekler kullanılarak aynı boyuttaki taneler bir araya toplanarak ayırma işlemi yapılır.

4. Karıştırma

Çamur hazırlamanın son aşaması olup, hammaddeler istenilen tane büyüklüklerine geldikten sonra karıştırma işlemi yapılarak çamurun homojen dağılması sağlanır. Çamurun homojenliği seramik çamurun şekillendirilmesi, kuruması ve pişme sonrası oluşabilecek hataları en aza indirir.

- Çamurun vizkozitesi,
- Karışımın sulu, plastik ve kuru olarak yapılması,
- Plastik komponentlerin varlığı karıştırmayı etkileyen faktörlerdir.

Başarılı döküm çamurunda olması gerekenler;

- Çamura katılan hammaddelerin fiziksel, kimyasal, mineralojik ve reolojik özelliklerin bilinmesi gerekir.
- Döküm çamurunda istenilen mineralojik yapının, çamur içerisindeki tüm hammaddelerin kimyasal bileşiminden hesaplanması gerekir.
- Çamura katılacak suyun oranı, kimyasal ve fiziksel yapısı,
- Uygun elektrolitin kullanılacak miktarının belirlenmesi ve seçimi,
- Döküm çamurunu oluşturan özsüz hammaddelerin öğütülme süresi,
- Döküm çamurunun tane iriliği dağılımı,
- Döküm çamurunun vizkozitesi ve litre ağırlığı bilinmelidir (Uygun 2011).

2.4.7. Seramiklerin şekillendirilmesi

Şekillendirme, seramik tozların sıkıştırma yöntemleri kullanılarak son veya yarı ürün boyutlarında, belirli mukavemete sahip ürün üretme tekniği olarak adlandırılabilir. Seramik şekillendirme yöntemleri her geçen gün bir yenisini eklemektedir. İleri teknoloji seramikleri, klasik seramiklerden farklı olarak kil içermediklerinden su yerine bağlayıcı ve yağlayıcılara ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple ileri teknoloji seramikleri metal tozların şekillendirilmesinde kullanılan yöntemler ile üretilmektedir. Kullanılan yöntemler;

a) Kuru şekillendirme

- Soğuk izostatik presleme
- Sıcak izostatik presleme
- Kuru presleme

b) Yaş şekillendirme (slip döküm)

c) Yarı yaş şekillendirme

- El tornasında çevirme
- Serbest şekillendirme
- Yarı otomatik tornolar
- Otomatik tornolar
- Enjeksiyon
- Ekstrüzyon
- Şerit Döküm
- Presleme

d) Deri sertliğinde şekillendirme

e) Plazma sprej ile şekillendirme

a) Kuru şekillendirme

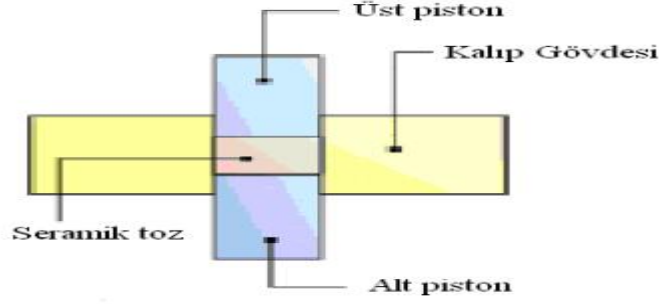
Seramik malzemeye şekli verilecek kalıp oluşturulur. Bu kalıp boşluklarına seramik tozları doldurulur, tek yönlü veya çift yönlü olarak basınç uygulanarak şekillendirme yapılır. Toz haline getirilmiş seramik tozları ile tozların daha kolay şekil alabilmesini sağlayan bağlayıcılar harmanlanır ve çelik kalıp boşluğuna yerleştirilir. Mekanik veya hidrolik preslerde alt ve üst pistonlar vasıtasıyla basınç uygulanarak istenilen şeklin alınması sağlanır. Presleme öncesi %1-8 arasında su + bağlayıcı karışımı ile tozlar rutubetlenir ve presleme yapılır. Kuru presleme yöntemi, genellikle basit ve küçük parçaların seri üretimi için kullanılmaktadır. Çeşitli süs eşyaları, elektro-porselen, yer ve duvar karolarının üretiminde bu yöntem kullanılmaktadır. Kuru presleme yöntemi seçiminde dikkate alınması gerekenler;

- Kalıbın ömrü,
- Seramik tozların yüksek sertlikte olduğu,
- Kalıplanan şeklin sürtünmesi ve boyut hassasiyeti.

Soğuk izostatik presleme [(Cold Isostatic Pressing)(CIP)]

Şekil ve kalitesinden dolayı kuru preslemede imkanı olmayan ürünlerin şekillendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Esnek bir malzemeden yapılan kalıplar içerisine seramik hammaddesi doldurulur ve hidrolik basınç uygulanarak malzemenin şekillendirilmesi sağlanır. CIP in çalışma prensibi; Üretim yapılmadan önce belirli bir basınçta (30 MPa'dan az) ön şekillendirilmenin yapılması gereklidir. CIP te kullanılan kalıplar dayanıklı esnek kauçuk ve sentetik malzemeden üretilir. Böylelikle uygulanan basıncın seramik tozların üzerine homojen bir şekilde dağılması sağlanır. Kalıp malzemesinin esnek oluşu, malzemenin yüzeyine hidrolik basınç uygulanarak homojen bir basınç sağlanır ve presleme gücü de arttırılmaktadır. Bu yöntemin diğer bir avantajı

ise kalıp yüzeyi ile hammadde arasındaki sürtünme kuvveti azalmış olur. Şekil 2.4’de soğuk izostatik presleme cihazının çalışma prensibi gösterilmektedir. (Bilen *et al.* 2011).



Şekil 2.4. Soğuk izostatik presin şematik görünümü

Sıcak izostatik presleme [(Hot Isostatic Pressing)HIP]

Sıcak izostatik presleme (HIP) çalışma prensibi soğuk izostatik (CIP) preslemeye benzer. CIP ten farklı olarak HIP eş eksenli olarak basınç uygular ve basınç kabı ısıtılarak tozların daha yüksek yoğunlukta ve daha az kuvvetle şekillendirilmesi sağlanır. Yani sıcak izostatik preslemede seramik tozların şekillendirilmesi ve sinterlenmesi aynı anda gerçekleşir. CIP ten diğer bir farkı ise basınç geçirici olarak kullanılan çeşitli sıvılar yerine inert gazlar kullanılmaktadır. Normal sinterleme işleminde yoğunluk, difüzyonun hızlı olduğu ergime noktasına yakın ve yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. HIP in dezavantajı seramik ve refrakter malzemelerin ergime sıcaklıklarının çok yüksek olması nedeni ile yüksek sıcaklıklarda sinterlemenin hem ekonomik hem de teknik açıdan mümkün olmamasıdır (Bilen *et al.* 2011).

b) Yaş Şekillendirme

Diğer bir adı ise slip döküm olarak adlandırılmaktadır. Slip döküm çok uzun bir kullanım tarihine sahip ve seramiğe has bir yöntemdir. Bu proste ince seramik tozu, su veya başka bir çözücü bilyeli değirmene doldurulur ve karıştırılarak çamur (slip) haline getirilir. Çamur hale geldikten sonra alçı kalıplara dökülmektedir. Alçının gözenekli oluşu çamurun içerisindeki suyun emilimini sağlar. Belirli bir süre beklenildikten sonra,

fazla su geriye boşaltılır ve daha sonra kalıbın şeklini alan slip kalıptan alınır. Slip dökümde kullanılan tozun özellikleri;

- Tozun tane dağılımı ve iriliğinin iyi kontrol edilmesi,
- Aglomerasyonun olmaması istenir.

Bunları sağlamak için çamurun ultrasonik işlemde geçirilmesi gerekir. Elektrolit ilavesi yapılarak uygun süspansiyonun elde edilmesi sağlanır. Bazen de slipe deflokulant ve cam suyu ilavesi yapılır. Bu yöntem basit olup her boyut ve şekildeki parça üretimi için uygun olmaktadır. Ancak, pişme sırasında çekme miktarı %25-30 civarında olduğu için nihai ürünün boyut tahmininin yapılmasında güçlük oluşturmaktadır. Diğer bir dezavantajı ise dökümden sonra kuruma için oldukça uzun bir zaman beklemek gerekmektedir (İpekoğlu *et al.* 1997).

Slip dökümün en büyük avantajı diğer şekillendirme yöntemleri kullanılarak üretilmeyen (şekilleri düzensiz olan malzemeler) her türlü parçanın şekillendirilmesi mümkündür. Yaş şekillendirme yöntemi ile üretilen parçalar;

- Karışık şekillerden oluşan sağlık gereçleri,
- Tornada şekillendirilmesi mümkün olmayan (yuvarlak) parçalar,
- Pres kalıplarının yapılması pahalı ve zor olan parçalar,
- Simetrik olmayan tabaklar,
- Özel rekrafterler,
- Kase, çaydanlık gibi sofrta takım parçaları,
- Vazo, biblo ve diğer süs eşyaları,
- Küvet, klozet, lavabo gibi sağlık gereçleri bu yöntem ile üretilir.

c) Yarı yaş şekillendirme

Yarı yaş şekillendirme adından da anlaşıldığı gibi, çamur yarı yaş şekilde hazırlanarak şekillendirme gerçekleştirilir

Serbest şekillendirme

Seri üretim amaçlı olmayıp günümüzde artistlik amaçlı yapılan çalışmalarda uygulanmaktadır. Hazırlanan plastik çamur sucuklar şeklinde yuvarlanarak veya plakalar şeklinde açılarak ve parçalar birbirine eklenerek şekil verme işlemi gerçekleştirilir.

El tornasında çevirme

Döner tabla üzerine kısmen havası alınmış çamur konarak merkezlenir ve eller ile şekil verilerek yapılan şekillendirme yöntemidir. Basit seramiklerin üretiminde bu yöntem kullanılır. Buna çanak, çömlek örnek verilebilir.

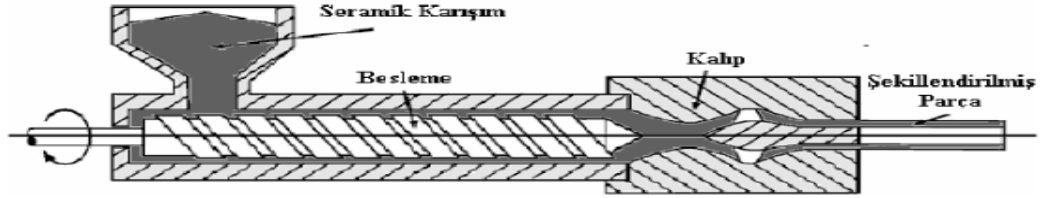
Yarı otomatik tornolar

El tornasından farklı olarak çamurun tamamen havası alınır ve nispeten otomasyonun sağlandığı bir yöntemdir. Çalışma prensibi; alçı kalıp şeklinde şablonlar hazırlanıp bu şablonlarla kalıp içerisine veya üzerine hem ezilip hem de kazınmak suretiyle şekillendirme yapılır. Bu şekillendirme yöntemiyle akçini, fincan, tabak, kase gibi diğer sofraya eşyası malzemeleri üretilir.

Otomatik tornolar

Yarı otomatik tornalardan farklı olarak sofraya eşyalarının seri üretiminde kullanılır. El tornalarından diğer farkı ise hem kalıp, hem de üst şablon otomatiktir. Kalıp ve şablonun otomatik oluşu hızlı üretim yapılabilmesini sağlamaktadır.

Ekstrüzyon



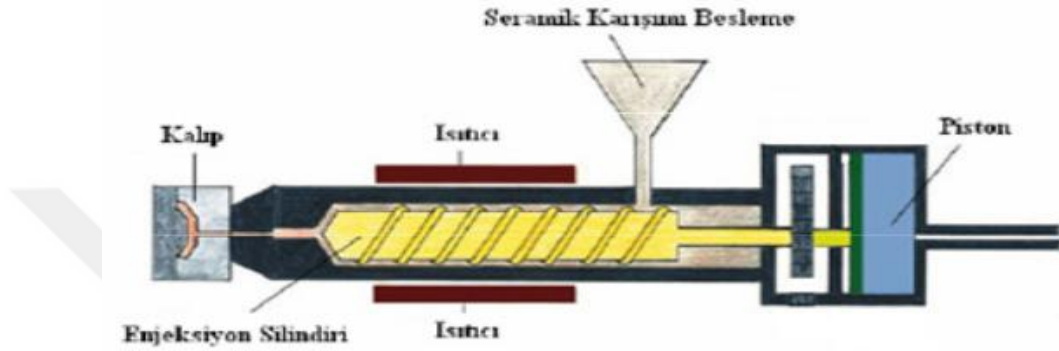
Şekil 2.5. Ekstrüzyon yönteminin şematik görünümü

Uzunluğu genişliğinden fazla olan tüp veya çubuk gibi parçaların şekillendirilmesinde kullanılır. Seramik tozları, yağlayıcı, bağlayıcı, dağıtıcı ve diğer katkı malzemeleri ile çamur oluşturulur. Bağlayıcılar sulu olabildiği gibi organik sistemlerden de oluşabilir. Gerekli plastisiteyi sağlamak için seramik tozları %25-30 mertebesinde katılır ve organik bağlayıcı eklenerek çamurun yapışkan hale gelmesi sağlanır. Nem ayarı yapıldıktan sonra homojen bir karışım yapılır, sonra kalıptan ekstrüze edilir. Bu yöntemdeki önemli parametre seramik tozudur. Seramik tozunun dağılımı ve tane iriliği, aglomerasyonu ve şekli çok önemlidir. Tane boyutu (1 um en üst mertebe) ne kadar küçükse verimde artmaktadır. Sulu sistemlerde kil esaslı bileşimler kullanılır. Filter preste çamurun suyu atılır ve bir kek oluşturulur. Bu kek kıvamındaki çamur Şekil 2.6'da gösterilen ekstrüzyon makinasına verilir. Yapılacak olan şeklin nozulü takılır ve üretim gerçekleştirilir (Uçar 2008).Ekstrüzyon yöntemiyle;

- Mullit, alumina ve zirkonyadan fırın tüpleri,
- Tüp şeklindeki kapasitörler,
- Yalıtım malzemeleri,
- Çubuk, fayans ve tuğla gibi sabit ve simetri özellikte olan ürünler üretilir.

Enjeksiyon

Enjeksiyon, ince cidarlı ve kompleks şekilli parçaların hızlı ve ekonomik olarak üretilmesini sağlayan plastik bir şekillendirme yöntemidir.



Şekil 2.6. Enjeksiyon yönteminin şematik görünümü

Seramik tozları ve bağlayıcı karışımı oluşturulur. Bağlayıcı eriyene kadar ısıtılır ve daha sonra parçanın istenilen şekli almasıyla yeniden katılaştığı kalıp boşluğu içerisine doldurulup basınç uygulanarak şekil verme işlemi gerçekleştirilir. Belli bir süre sonra kalıbın soğutulması ile katılaştırılan seramik polimer karışımından polimer kontrollü şekilde uzaklaştırılır ve sinterlenmeye hazır, nihai şekilli parçalar elde edilmiş olur. Enjeksiyon yönteminde kullanılan seramik tozların şu özelliklerde olması gerekir;

- Yüksek paketlenme yoğunluğu,
- Aglomeraya uğramamalı,
- Geniş partikül dağılımı,
- Hızlı sinterleme için düşük tane boyutu,
- Eş eksenli ve küresel partikül şekli,
- Düşük maliyet

Kalıplamadan sonraki en önemli aşama bağlayıcı giderme aşamasıdır. Herhangi bir hatanın yapılması sinterlemeden önce parçanın bozulup dağılmasına sebep olacaktır. Bağlayıcıların ortamdaki alınırken parçaya zarar vermeyecek şekilde çok dikkatli ve

birçok aşamada yapılmalıdır. Önceleri ısısal etkiyle gaz fazından yapılan uzaklaştırma ile bağlayıcı giderme yapıldı ve 300 saat gibi uzun süreler gerektirirdi.

Yeni geliştirilen zincirleri kolay kırılan ve kolay çözünebilen bağlayıcılar ile 2 saate kadar düşürülmektedir. Kalıpların şekillendirilmesinde uygulanan en son yöntem olmasına rağmen, küçük boyutlu parçaların fazla miktarlarda üretilmesi istendiğinde kuru presleme yöntemi yerine kullanılmaktadır. Tercih edilmesinin diğer bir nedeni ise yapıda oluşan homojen dağılım sinterlenme sonucunda ortaya çıkabilecek şekil bozukluklarının önüne geçmektedir. Enjeksiyon yöntemi ile üretilen malzemeler;

- Aşınma direnci yüksek olan nozüller,
- İzolasyon parçaları (ateşleme sisteminde),
- Seramik parçalar (elektrostatik toz boya sistemlerinde)

Sinterleme öncesi bağlayıcı giderme işleminin uzun olması, makine ve kalıp maliyetlerinin çok yüksek olması, pahalı elektronik sistemlerinin gerekliliği, çevre şartlarına olan hassasiyeti, sistemin tamiri için uzman personel gerektirmesi ve üretilen parça boyutlarının sınırlı olması bu yöntemin dezavantajlarıdır (Samal *et al.* 2013).

Şerit döküm

Plaka veya ince şerit halindeki seramiklerin üretiminde kullanılan bu yöntem elektronik seramik sektörünün en gözde yöntemidir. Bilgisayarlarda bulunan seramik malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Seramiğin saç halinde düz ve incecik olarak üretilebildiği bir yöntemdir. Bu yöntemde bileşim bağlayıcı, plastikleştirici, dağıtıcı, çözücü ve seramik tozlarından oluşmaktadır. İlk olarak dağıtıcı, yüzey ıslatıcı, çözücü ve seramik tozları 24 saat boyunca karıştırılarak düşük vizkoziteli çamur elde edilir. Daha sonra plastisiteyi arttırıcı bağlayıcı ve katkı maddeleri katılarak karıştırma işlemi 24 saat devam ettirilir. Bu iki aşamalı karıştırma bağlayıcı sisteminin özelliklerin bozulmasını önlemek ve dağılımın iyi olması için yapılır. Karışma bittikten sonra çamur ısıtılır ve havası alınarak düz bir yüzeye yayılır.

Daha sonra solvent uçurularak ortamdan uzaklaşması sağlanır. Bu işlemler hareketli bir konveyör vasıtasıyla hava üfleyen kurutma sistemi, ısıtıcı, döküm ünitesi ve şeridi saran bir makara ihtiva eden döküm makinesinde gerçekleştirilir. Kurutma yapıldıktan sonra şerit ya uygun boyutlarda kesilir ya da makaraya sarılır. Bu yöntem 0,01-1 mm inceliğinde elektronik devre altlıkları, çok tabakalı kapasitörlerin üretimi ve elektronik paketlerin üretiminde kullanılır (Wang and Liu 2012). Şerit döküm yönteminin dezavantajları;

- İki boyutlu olarak parça üretimi sağlaması,
- Parça yüzeyinde oluşan parlaklığının kontrolünün zor olması,
- Sinterlenme sırasında bağlayıcıların buharlaşarak yüzeyde pürüzler oluşturması.

d) Deri sertliğinde şekillendirme

Alçak ve yüksek gerilim izolatörlerinde kullanılan bu yöntem: Oluşturulan çamurun havası alınır ve çeşitli ölçülerde bloklara ayrılır. Daha sonra kesici bıçaklar ile döner bir tabla üzerinde dıştan şekillendirme yapılır (Uludağ 1997).

e) Plazma sprey teknolojisi ile şekillendirme

Plazma gazı içerisinden kaplama malzemesi geçirilerek ergimiş halde kaplanacak olan malzemenin üzerine püskürtülerek şekillendirme yapılır. Plazma sprey teknolojisinde kaplanacak olan toz gaz ile birlikte gönderilir. Plazmayla karıştırılan tozlar ergimiş hale geldikten sonra kaplanacak yüzeye püskürtülmektedir. Bu teknikte azot, hidrojen ve argon gibi soy gazlar kullanıldığı için kaplanacak malzemenin oksitlenme oranı en aza inmektedir. Yöntemin en büyük avantajı ergime sıcaklığı yüksek olan malzemelerin, plazmanın yüksek sıcaklığı sayesinde kaplamada kullanılmasına imkan vermektedir. Genellikle kaplama uygulamalarında, kaplama ile altlık arasında termal genleşme uyumu sağlanması amacıyla bağ tabaka kullanılır. Bağ tabaka kullanılmazsa oluşabilecek herhangi termal gerilmede kaplamada çatlamalara neden olur (Uludağ 1997).

2.4.8. Seramiklerin kurutulması ve sinterlenmesi

a) Kurutma

Seramiklerin şekillendirilmesinden sonra kurutma işlemi yapılır. Kuruma gözenekli bir malzemedeki buharlaşma ve taşıma yolu ile sıvının taşınması işlemidir. Bulk malzemelerin üretimlerinde özellikle döküm ile şekillendirilmiş veya plastik olarak şekillenmiş ürünlerde yüzey kaplamaları ve dekorasyonlarda pişirme sırasında suyun taşınmış olması malzemenin çatlamaması için büyük önem taşır. Kurutma işleminde üç aşama görülür;

- Kılcal göç
- Sızma
- Yayınım

Kılcal göç genellikle ısı işlem başladığında gözlemlenir. Kılcal kuvvetler bağlayıcının büyük gözeneklerin yerini küçük gözeneklere hareket etmesiyle olur. Sıvıyı buhar haline dönüştürecek bir basınç değeri oluşturur ve sıvının serbest kalmasını sağlar. Sızma ve yayınım ısı işlemi son aşaması olup bu aşamalarda çıkan gaz hareket biçimleridir. Sıvı bağlayıcı buharlaşmaya devam eder. Isıtmanın kontrollü olarak yapılması gerekir. Bu aşamada hızlı ısıtma yapılırsa malzemede çatlama ve şişmelere yol açabilir (Uçar 2008). Kuruma sırasında oluşabilecek hatalar;

- Çamurda kullanılan bileşenlerin kendilerine özgü özellikleri kurutma sırasında çekme yapmasına sebep olabilir.
- Yetersiz hava sirkülasyonu, nem dağılımının farklı oluşu, kurutma sırasında yüksek nem içeriğinin olması, kurutmada kullanılan altlıklardan kaynaklanan hatalarda olabilir (Palacı 2001).

b) Sinterleme

Seramik tozları belirli yöntemlerle şekillendirildikten sonra mukavemet vermek için yapılan ısıtma işlemine sinterlenme denmektedir. Isıtma işlemiyle tozlar birbiriyle bağlanarak daha kuvvetli bir yapı oluştururlar. Toz parçaları birbirine dokundukları noktalarda bağ oluştururlar. Bu bağlar gözeneksiz bir yapı meydana getirirler. Tozlar birbirlerine atomik hareketle bağlanır. Bu hareketin sebebi; tozlar ısınmanın etkisiyle serbest enerjisini düşürmek için yüzey enerjilerini azaltmalarıdır. Sinterleme işlemi tozların ergime sıcaklığının yarısından yüksek bir sıcaklıkta yapılır. Bu sıcaklığın altında sinterleme yapılabilmesi için tozların 1 mm' den küçük ve küre şeklinde olması gerekir (Palacı 2001). Sinterleme işlemi 3 aşamada gerçekleşir;

- Sinterlenen malzeme içerisindeki organiklerin yanması, oksidasyon ve gazların parçalanması,
- Sinterlenme
- Soğuma

Sinterleme katı hal ve sıvı faz sinterlemesi olarak 2 grupta incelenir.

Katı hal sinterlemesi

Katı toz taneciklerinin ikinci bir sıvı faz olmadan yoğunlaşması olayıdır. Katı hal sinterlemesi 4 aşamadan oluşmaktadır.

- Boyun oluşumu
- Başlangıç
- İleri aşama
- Son aşama

İlk aşama olan yapışmada tozlar arasında bağlar (boyun) oluşur. Başlangıç aşamasında birbiriyle bağlanan bu bağlar büyümeye başlar.

Üçüncü aşamada ise bağların birleşmesi ile gözenekler oluşur. Bu gözenekler birbiriyle yuvarlaklaşmaya başlar ve uzarlar (Özkal 2001). Son aşamada ise gözeneklerin yuvarlaklaşması, gözeneklerin küçülmesini sağlar ve yoğunlaşma olur. Bağ oluşturma işlemi sinterleme sıcaklığına ulaşmadan önceki ısıtmanın ilk zamanlarında gerçekleşir. Sinterlenen malzeme içerisindeki boyun büyümesi malzemenin taşınımını gerektirir, ancak gözeneklerde herhangi bir azalma meydana gelmez. Gözeneklerin devamlılığını etkilemez dolayısıyla büyüme gerçekleşmez. Gözeneklerin yuvarlaklaşması ve uzamasından sonra gözenek yüzeylerinden boyuna doğru malzeme taşınımı gerçekleşir. Bu taşınım sonrasında gözenekler daha da yuvarlaklaşmaya başlar ve kanallara doğru uzama olur. Daha sonra gözenekler tamamen kapanır ve sinterlenen parçanın haciminde küçülme meydana gelir.

Bu olayda katı malzemeler gözeneklere giderken, gözeneklerdeki gazlar da dış yüzeye hareket eder. Daha yüksek sıcaklıklarda sinterlenme yapılırsa, gözenek büyümesi ve tane büyümesi oluşur ama bu toplam gözenek yüzdesini değiştirmez. Gözenek yüzdesi değişmediği için yoğunlukta herhangi bir değişiklik meydana gelmez (Karagöz 2008).

Sıvı faz sinterlemesi

Sıvı faz sinterlemesinde, sinterleme sırasında fazlardan biri sıvı halde bulunur. Özellikle bu durum ergime sıcaklıkları birbirinden farklı malzemelerin sinterlenmesiyle olur. Sinterleme sırasındaki sıvı faz, katı halde bulunan tozları ıslatır. Tozlar arasında oluşan ince kanallarda basınç (kapiler) meydana gelir. Kullanılan tozların boyutları çok küçük olduğunda kapiler basınç miktarı daha fazla olur ve sinterleşmeyi kolaylaştırır. Sinterlemeye etki eden diğer bir parametre ise sıvı fazın ıslatma açısıdır ve ıslatma açısının olabildiğince küçük olması gerekmektedir. Sıvı faz sinterlemesi silikat içeren malzemelerin çoğunda geçerli olan bir sistemdir. Sinterleme sıcaklığında sıvı yüksek vizkoziteye ulaşır ve silikat bünyede bağlayıcı görevi görür. Camsı fazın oluşabilmesi

için mutlaka alkaliler ve SiO_2 olmalıdır. Alkaliler sinterleme sıcaklığını düşürürler ve flaks etkisi yaparak cam fazı oluştururlar. Bu camsı faz katı taneler arasında hareket eder ve taneleri sarar. Sinterlemenin çok iyi olabilmesi için sıvı fazın miktarının ve vizkozitesinin bünyeyi deformasyona uğratmadan yeterli zaman içinde sinterleşmeyi sağlayabilecek seviyede olması gerekmektedir (Aksöz *et al.* 2013). Sıvı faz sinterlemesinde gerekli olan koşullar;

- Sıvı faz içerisinde, katı fazın belirli oranda çözünmüş olması,
- Sinterleme sıcaklığında ise sıvı ve katı fazın uzun süre bulunması gereklidir.
- Tozların yeterince küçük olması gerekir (yoğunlaşmanın iyi olabilmesi için)
- Sinterleme sırasında sıvı fazın katı faz tanelerini tamamen çevrelemiş olması gerekir.



Şekil 2.7. Sıvı faz sinterlemesi aşamaları

İlk aşamada taneler sıvı faz içerisinde hareket etmeye başlar. Bu hareket sonucunda taneler tekrar düzenlenir ve yoğunlaşması gerçekleşir. Sıvı faz parçadaki gözeneklerin içerisine yayılır ve katı parçacıkları taşıyarak bu boşluklara yerleşir. Bu aşamada itici kuvvet yüzey gerilmeleri veya yüzey enerjileri yardımıyla sağlanır. Bu sırada sıvı katı parçacıkları ıslatır. İkinci aşamada ise yoğunlaşma meydana gelir, fakat yoğunlaşma hızında azalma meydana gelir. Katının toz boyutu küçüldükçe çözünürlüğü artar ve tozlar birbiriyle birleşerek daha büyük hale gelmeye başlar. Bu sırada küçük tozlar kaybolmaya başlar. Son aşamada ise sıvı faz katı fazı tamamen ıslatmışsa, katı taneler birbirlerine

değmeye başlar. Bu durumda katı faz iskelet oluşturmaya başlar. Bu durum ilk aşamada oluşursa yoğunlaşmayı önler ve ilk aşamayı engeller. Sinterlemeyi etkileyen nedenler;

- Toz boyutu küçüldüğünde hızlı sinterleme olur ancak maliyette o denli artar.
- Sinterleme süresinin uzun tutulması verimliliği düşürürken maliyeti artırır ve tanelerde büyüme meydana gelir,
- Sinterleme sıcaklığı fazla olursa tanelerde daha fazla büzülme meydana gelir ve tane büyümesi olur. Gözenekler büyür ve maliyet artar,
- Sinterlenecek olan malzemeye katkı maddesi katıldığında homojenlik problemi oluşturur ve yüksek pişirme sıcaklığına ihtiyaç duyulur.

2.5. Vitrifiye seramik

Genel ismi vitrifiye seramik (sağlık gereçleri) olan camlaşmış porselen veya sırlanmış ya da yarı porselen yapıdaki seramik malzemelerdir. Vitrifiye seramiğin bu sektörde kullanılmasının sebepleri;

- Kolay kolay kir tutmaması,
- Yüzeyinin kolay temizlenebilir oluşu,
- Hijyen etkisi,
- Estetik oluşu,
- İstenilen nitelikte ürünlerin elde edilebilmesi,
- Isıya, suya, kimyasal ve mekanik etkilere karşı dayanımı,
- Uzun kullanım ömrünün oluşu sağlık gereçleri sektöründe kullanılmasını sağlamıştır.

Vitrifiye seramiklerin genel hammaddeleri kaolin, kil, feldspat ve kuvarstır. Bu hammaddelerin elektrolit ve su ilavesiyle öğütme veya karıştırma ortamında homojen bir şekilde karıştırılarak reolojik özelliklere sahip çamur haline getirilir. Hazırlanan bu çamurun alçı kalıplarda döküm yolu ile şekillendirilip, suyun çekmesiyle kalıptan alınarak sonraki aşamalara hazır hale getirilmesi prensibine dayanmaktadır. Kalıptan

alınan numune sır sürülerek veya sürülmeden 1100-1300°C (sıcaklık aralığı çamurun bileşimindeki malzemelere göre değişir) sıcaklığı aralığında pişirilmesi ile sonuçlanır. Su emme oranları vitrifiye seramikler için %0,50'in altındadır. Üretimde kullanılan sırlar R2ORO-(ZrO₂)-B₂O₃-Al₂O₃-SiO₂ şeklindedir. Sağlık gereçleri; klozet, ayak, lavabo, rezervuar, hela taşı, duş teknesi ve pisuar gibi ürünlerdir. Bünyenin estetik görünmesinde ve bünye renginin örtülmesinde opak sırlar kullanılır. Pişirme sırasında oluşan camsı fazın içerisinde, camsı fazın veya kristalin dağıtılması ile sırda opaklık meydana gelir. Ana faz içerisindeki bu safsızlıkların ışığı yansıtması örtücülüğün derecesini vermektedir ve bu örtücülüğün boyutu, miktarı ve faz ile aralarındaki kırınım indisinin farkı opaklığı verir. Opaklık, sır içinde oluşan kabarcıklar ve partiküllerden dolayı ışınlar, difüzyona uğrayarak yansır ve kırılırlar bu olaya denir (Gajek *et al.* 2017).

Sinterlenme sırasında reaksiyonlar sonucu oluşan kuvars ve müllit gibi kristal fazlarla ve bu fazların etrafında oluşan camsı faz, vitrifiye seramiklerin mikro yapısını oluşturur. Vitrifiye seramiklerin mikro yapısının büyük bir kısmını camsı fazlar oluşturur (%60 civarı). Camsı fazın mevcut kuvarsın çözünme miktarı ve vizkositeyi etkileyen parametreler, pişmiş bünyede oluşan camsı fazın kompozisyonun belirlenmesi ile tespit edilebilir Literatürde yapılan çalışmalarda vitrifiye seramiklerin bünyelerinde camsı fazın farklı kompozisyonları ile pişirme sıcaklıklarına etkilerini araştırmışlardır. Vitrifiye seramiklerin standart kompozisyonlarında camların yumuşama noktaları 1238°C'dir. SiO₂+Al₂O₃ değeri sabit tutulduğunda yumuşama noktası 1174°C, SiO₂+Al₂O₃ değeri düşürüldüğünde ise ergime noktalarının sırasıyla 1150°C, 1190°C ve 1154°C olduğunu belirlemiştirlerdir. Dolayısıyla toprak alkali kullanıldığı zaman pişirme sıcaklığında düşüş meydana gelmektedir (Hasan ve Kuruma 2013).

2.5.1. Vitrifiye seramiklerin (sağlık gereçleri) ülkemizdeki yeri

Türkiye vitrifiye seramik sektöründe Avrupa'nın en çok üretim yapan ülkesi konumundadır. Senelik 21,3 milyon üretim adedi ile 320.000 tonluk üretimi ve ürettiği ürünlerin %60 civarını ihraç etmesi nedeniyle ülke ekonomisine önemli katkı sağlamaktadır. Bu üretimin yanında dezavantajları da mevcuttur. En büyük dezavantajı

üretim sırasında oluşan atıkların miktarıdır. Çevreye olan etkisi düşünüldüğünde bu atıkların değerlendirilmesi gerekmektedir. Üreticilerin en büyük sorunu, bu atıkları yaş olarak değerlendirseler bile sinterlendikten sonra oluşan ürünün değerlendirilmesi üretimin kısıtlayıcı nedenleri ile mümkün olmamaktadır (Açıkbaş ve Göçmez 2017).

2.5.2. Virifiye seramiklerin üretim prosesi

Vitrifiye seramiklerin şekillendirilmesinde alçı kalıplar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kalıpların gözenekli oluşu, dökülen çamurun içerisindeki suyu düzgün bir şekilde bünyesine alması ve 100 den fazla döküm yapılabilirliği sayesinde tercih edilmektedir. İlk olarak bileşenler istenilen boyutlara indirilir (150 mikron altı). Çamur oluşturulmadan önce istenilen şekil ve boyutta kalıplar hazırlanır. Alçı kalıplar tercih edilir. Çünkü alçı gözenekli bir yapıya sahiptir ve suyu bünyesine emerek şeklin oluşturulmasını sağlar. Alçı kalıpları 1 birim suya 1,35 oranında kullanılarak yapılır. Alçının donma süresi yaklaşık 30-35 dakika, bünyesinde kullanılan suyun sıcaklığı 22-27°C arasındadır. Karıştırma süresinin 300 devir ile 4 dakika olması gerekir.

Karıştırmanın düzgün yapılamaması kuruma veya pişirme sırasında malzemede gözenekli bir yapı ve çatlamalara neden olabilir. Alçı kalıbın et kalınlığı 6 cm civarındadır ama özel durumlarda az veya daha fazla olabilmektedir. Kullanılan alçıda katı parçacıklarının fazla olmayışı ve kalıptan numune çıkarılırken dikkatli olunması kalıp ömrünü 60 ile 120 döküm arasında dayanıklı hale getirmektedir. Malzeme kalıpta şekillendirildikten sonra alınır ve kurutma yapılır. Kurutma 150°C ile 200°C arasında değişmektedir. Kurutmadan sonra yüzeyde pürüzlülük veya küçük çatlaklar var ise rötuş yapılarak düzeltilme gerçekleştirilir. Hazır hale gelen numune pişirmeye gönderilir. Vitrifiye seramiklerin pişirme sıcaklığı değişkenlik gösterir. Bazı malzemelerin ergitici özellikleri (feldspat gibi) pişirme sıcaklığını düşürmektedir (Özmen 2007). Genel olarak bakıldığında pişirme sıcaklığı 1150-1300°C arasında değişmektedir. Pişirme sırasında bünyede gerçekleşen olaylar;

55-200°C kurutma 1-2 aralığın da yapılır ve nem uzaklaşır.

200-400°C çamur içindeki bileşenlerden gelen kimyasal suyun uzaklaştırılması gerçekleşir (1 saat).

400-650°C kaolinit metakaolenite ve α kuars β kuarsa dönüşümü gerçekleşir.

650-1200°C Malzemenin mukavemet kazanması yani sinterleşmesi gerçekleşir (4-4.5 saat).

Pişirme işlemi kontrollü şekilde 8-9 saat aralığında gerçekleşir. Hızlı sinterleşme yapıldığı zaman hacimsel genişleme bünyeye zarar verir. Sinterleşme işlemi bittikten sonra kontrollü soğutma işlemi yapılır. Soğutma işlemi; yavaş soğutma (2-2,5 saat 1200-650°C), normal soğutma (2 saat 650-400°C) ve ani soğutma (2 saat 400-1000°C) olarak 3 kademede yapılır.

Kristal değişikliği

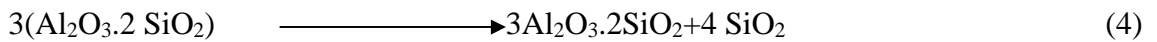
Seramik çamurunu oluşturan minerallerin türü, bunlara etki eden sıcaklık ve konsantrasyonuna göre farklı kristal yapıları oluşur. 500-600°C aralığında kaolinit 3 numaralı reaksiyon uyarınca metakolinite dönüşür. Bu sırada kaolinitte bulunan kristal su buharlaşır ve % 13.95'lik ateş zayıyatı ortaya çıkar.

500 – 600 °C



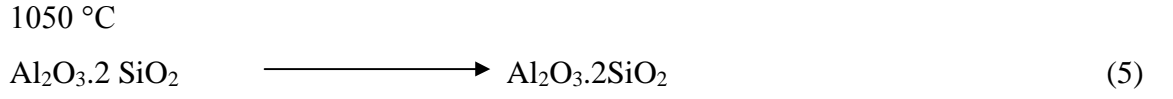
Oluşan metakolinit 830°C'nin üzerinde bir ekzoterm reaksiyon sonucu 4 numaralı denklemde gösterilen kristobalite (4SiO_2) ve mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) dönüşür. Mullit iğne şeklinde ve kristalleri serttir. Mullit oluşumu vitrifiye seramikler için çok önemlidir. Sır ile seramik çamuru arasında ara tabaka oluşturmaktadır. Böylelikle sır, çamur üzerine sağlam tutunmuş olur (Özmen 2007).

830°C-875°C



Mullit Kristobalit

1050°C’de metakaolinit ile mullit arasında bir reaksiyon daha gerçekleşir. Bu reaksiyon sonucu 5 numaralı denklemde gösterilen sillimanit oluşur.



Sillimanit

Gerçekleşen bu reaksiyonlar sonucunda oluşan SiO₂ diğer reaksiyonların oluşumunda rol oynar.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Seramiklerde kullanılan hammaddelerin her geçen gün azalması araştırmacıları yeni hammadde arayışına yöneltmiştir. Mühendislik, inşaat, alüminyum, demir-çelik gibi sektörlerde üretilen ürünlerin atıkları ise her geçen gün artmaktadır ve bu atıkların geri dönüşümü kolay olmamaktadır. Vitrifiye seramik sektöründe kullanılan feldspat, talk, albit, kuvars gibi hammaddelerin yerine diğer endüstriyel atıkların kullanımı hem hammadde arayışını ortadan kaldırmak hem de ülke ekonomisine katkı sağlamak için çok önemlidir. Pomzanın seramik ürünler, duvar ve yer karosu gibi alanlarda kullanımında albit gibi ergiticilik özelliğinden yararlanılmaktadır. Fakat vitrifiye seramikte diğer endüstriyel atıklarla beraber kullanımı söz konusu değildir. Bu çalışmada pomza, ferrokrom cürufu, boksit ve kilin (San-B) farklı şekilde kompozisyonları ile vitrifiye seramikte kullanımı araştırılmıştır.

3.1. Hammaddelerin Kimyasal Analizleri

XRF spektrometresi analiz sonuçları Çizelge 3.1, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Pomzanın kimyasal bileşimi (Erzurum’un pasinler ilçesinde bulunan Kalebloksbims fabrikasından temin edilmiştir.)

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

Çizelge 3.2. Ferrokrom cürufunun kimyasal bileşimi (Elazığ'ın merkezinde bulunan Eti Krom fabrikasından temin edilmiştir.)

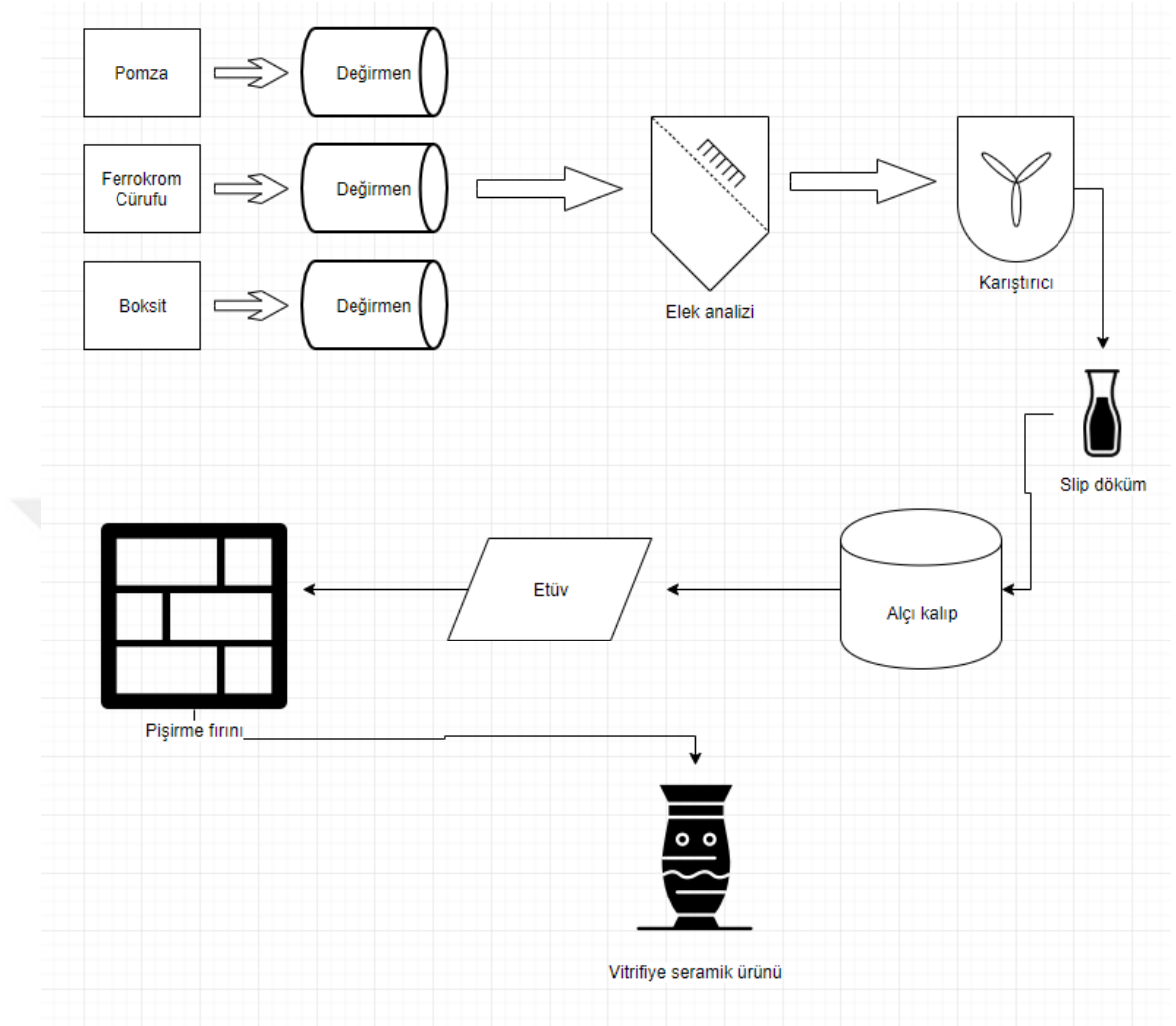
Bileşen	% Ağırlık
SiO ₂	45,62
Al ₂ O ₃	31,90
Fe ₂ O ₃	1,95
CaO	2,25
MgO	16,80
Na ₂ O+0.658K ₂ O	1,48

Çizelge 3.3. Boksitin kimyasal bileşimi (Konya'nın Seydişehir ilçesindeki Morçukur bölgesinde bulunan Seydişehir Eti Alüminyum fabrikasından temin edilmiştir.)

Bileşen	% Ağırlık
Al ₂ O ₃	50,0
Fe ₂ O ₃	16,25
SiO ₂	6,40
TiO ₂	2,55
Diğer	24,8

3.2. Uygulanan Yöntem Ve Kullanılan Cihazlar

Pomza ve endüstriyel atıkların (ferrokrom cürufu ve boksitin) vitrifiye seramikte kullanılabilirliği üzerine yapılan deneysel çalışmaların akım şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan cihazlar kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmaların akım şeması

3.2.1. Öğütme işlemi

Numuneler döküm çamurunda karıştırılmadan önce boyutlarını istenilen mikronun altına indirilebilmesi için öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Vitrifiye seramik çamurunda kullanılan hammaddelerin belirli boyutlara indirilmesi gerekmektedir. Tane iriliği homojen olmayan seramik çamurlarında;

- Kalıptan çıkarıldıktan sonra pürüzlü yüzey oluşumuna,
- Numuneler kuruma sırasında gözenekli bir yapıya bürünmesine,
- Sırlama yapıldığında yüzeye kolay tutunamaz ve sırlı yapının bünyeden atılmasına,

- Pişirme sırasında çatlamların oluşmasına ve malzemenin parçalanmasına neden olabilmektedir.

Şekil 3.2'deki bilyeli değirmen kullanılarak öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Öğütmenin yapıldığı bilyeli değirmen

Pomza, kırmızı çamur, ferrokrom cürufu ve boksitin öğütülme işlemi 12 saat kuru olarak yapılmıştır. 12 saat sonra numunelerin tamamı 150 mikronluk eleklerden geçirilerek elek altı oluşturulmuştur. Oluşturulan seramik çamurunda 150 mikron altı tane boyutları kullanılmıştır.

3.2.2. Kalıp hazırlama işlemi

Öğütme işleminden sonra numunelerin dökülebilmesi için alçı kalıplar hazırlanmıştır. Vitrifiye seramik çamurunun dökümünden önce, istenilen ölçüde, Şekil 3.3'de gösterilen kalıplar oluşturulmuştur. Kullanılan bu döküm kalıpları alçıdan yapılmıştır. Alçı, gözenekli oluşu ve suyu her kenarında eşit olarak emmesi yönünden tercih edilmektedir. Alçı oluşturulurken 1 birim suya 1,30 oranında alçı kullanılmıştır (91 gram alçıya 70 gram su). Bardak şeklindeki kalıplara dökülerek 1 saat kurutmaya alınıp, kurutmadan sonra 1

gün bekletilip kalıplar hazır hale getirilmiştir. Kalıplar oluşturulduktan sonra çamur hazırlama işlemine geçilmiştir.



Şekil 3.3. Dökümün yapıldığı alçı kalıp

3.2.3. Çamur Hazırlama işlemleri

Çamur hazırlama işlemlerinde ikili ve üçlü olarak kodladığımız döküm çamurları hazırlanmıştır. İkili ve üçlü karışımda su oranı %50-60 arasında kullanılmıştır. Çamur hazırlanırken dikkat edilen en önemli etken toz boyutunun homojen olarak dağılmış olmasıdır. Toz boyutu homojen dağılmayan, döküm çamurlarında su çekilirken kabarcıklar oluşmaktadır. Kullanılan suyun sıcaklığı da çok önemlidir. Döküm çamuruna katılan suyun sıcaklığı fazla (kullanılan oda sıcaklığı) olursa kalıp, suyu çekerken yanında kendi kendine buharlaşmada gerçekleştirecektir. Bu durumda istenilen et kalınlığı gerçekleşmeyecektir.

I. İkili karışımlar

İkili karışımlarda San-B kili yanında pomza, ferrokrom cürufu ve boksit farklı oranlarda kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanılan hammaddelerin oranları Çizelge 3.4’de verilmiştir

Çizelge 3.4. San-B kili yanında kullanılan hammaddelerin ikili karışım oranları

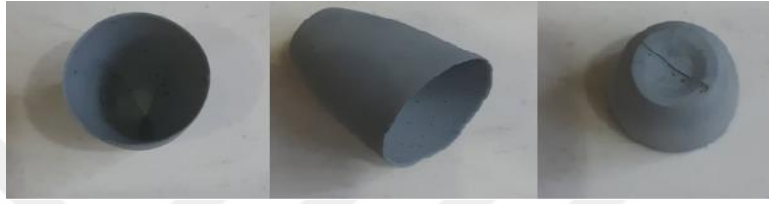
Pomza	Kil		Ferrokrom Cürufu	Kil		Boksit	Kil
%20	%80		%60	%40		%60	%40
%60	%40						

20 gram olarak hazırlanan numunelere su katılıp seramik çubuk ile 10 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi numune saklama kaplarında yapılmıştır. Bütün numunelerin kullanılan yüzde oranlarından 4 adet döküm çamuru oluşturulmuştur. Hazırlanan döküm çamurları 1000, 1100, 1200 ve 1250°C sıcaklıklarda pişirilmek üzere hazır hale getirilmiştir. Kalıptan çıkarılan ikili karışım numunelerin görüntüleri Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmiştir.

**Şekil 3.4.** P20K80 (Pomza %20, Kil %80) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü**Şekil 3.5.** P60K40 (Pomza %60, San-B Kil %40) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü



Şekil 3.6. B60K40 (Boksit %60, San-B Kil %40) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü



Şekil 3.7. C60K40 (Ferrokrom cürufu %60, San-B Kil %40) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü

II. Üçlü karışımlar

Üçlü karışımlarda San-B kili toplam karışımda %50 değerinde sabit tutulup, pomza, ferrokrom cürufu ve boksit farklı oranlarda kullanılarak çamur hazırlanmıştır. Hammaddelerin kullanılan oranları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kullanılan hammaddelerin üçlü karışım oranları

	Kil (San-b)	Pomza	Ferrokrom Cürufu
1	%50	%20	%30
2	%50	%40	%10
	Kil (San-b)	Pomza	Boksit
3	%50	%20	%30
4	%50	%40	%10

İkili kompozisyonlardan tek farkı kullanılan hammaddelerin oranlarının değiştirilmesidir. Kullanılan kalıp, karıştırma süresi, kullanılan suyun sıcaklığı aynı tutulmuştur. Hazırlanan karışımlar alçı kalıplara dökülmüştür. Döküldükten sonra alçı kalıp 5 dakika içerisinde suyu tamamen bünyesine almıştır. Kalıptan çıkarılan ikili karışım numunelerin görüntüleri Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.8. P20B30K50 (Pomza %20, Boksit %30, San-B kili %50) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü



Şekil 3.9. P40B10K50 (Pomza %40, Boksit %10, San-B kili %50) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü



Şekil 3.10. P20C30K50 (Pomza %20, Ferrokrom Cürufu %30, San-B kili %50) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü



Şekil 3.11. P40C10K50 (Pomza %40, Ferrokrom Cürufu %10, San-B kili %50) numunesinin kalıptan çıkarıldıktan sonraki görüntüsü

Seramik çamuru 24 saat boyunca oda sıcaklığında kalıplarda bekletilip ardından kalıplardan çıkartılmıştır. Kalıplardan çıkartılan numunelerin ateş zayıyatının belirlenebilmesi için yanından ve altından düz çizgiler atılmıştır. Bu atılan çizgilerin değerleri kumpas ile ölçülmüştür. Pişme küçülmesinin belirlenebilmesi için kalıptan çıkartılan numunelerin ağırlıkları ise laboratuvar tipi hassas terazi ile ölçülmüştür.

3.2.4. Kurutma işlemi

Kurutma işlemi pişirme yapılmadan önceki son aşamadır. Kurutma yapılmayan numuneler bünyesinde bulundurduğu nem ile gözenekli bir yapı oluşmasına ve numunenin parçalanmasına yol açabilmektedir. Kurutma işlemi Şekil 3.12’de gösterilen Elektromag marka 250°C sıcaklığa çıkabilen kurutma cihazında (Etüv) yapılmıştır. Numuneler 205°C’de 1 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra numuneler pişirmek üzere pişirme fırınına alınmıştır.



Şekil 3.12. Kurutmanın yapıldığı laboratuvar tipi kurutma cihazı (Etüv)

3.2.5. Pişirme işlemi

Hazırlanan numunelerin şekillerini koruyabilmesi için Şekil 3.13’de gösterilen Protherm marka 1500°C’ye çıkabilen laboratuvar tipi pişirme fırınında 1000, 1100, 1250 ve 1250°C sıcaklıklarında numuneler pişirilmiştir. Pişirme işlemi kontrollü olup 8 saat sürmüştür.

Pişirme sıcaklıklarına ulaşıldıktan sonra kontrollü soğutmaya geçilmiştir. Soğutma işlemi ortalama 24 saat sŸrŸp fırın sıcaklığı 150-200°C aralığına geldiğinde numuneler fırından alınmıştır.



şekil 3.13. Pişirmenin yapıldığı laboratuvar tipi pişirme fırını

3.3. Analiz Yöntemleri

3.3.1. Ateş zayıatı oranının tespiti

Numunelerin ağırlık kayıplarını belirleyebilmemiz için seramik malzemelere uygulanan yöntemdir. Numunelerin kurutma sırasında bünyelerinden nem uzaklaşır ve pişirme sırasında bünyelerindeki kristal suyu kaybederler. Nem ve kristal sudan oluşan kayıpların belirlenebilmesi için kurutmadan ve pişirmeden sonra ölçŸlen değerler 6 numaralı formŸlde yerine koyularak ateş zayıatı belirlenmiştir.

Ateş zayıatı değerlerinin ölçŸlmesi için kullanılan formŸl;

$$\% \text{ Ateş Zayıatı} = \frac{M_k - M_p}{M_k} \times 100 \quad (6)$$

M_k değeri malzemenin kurutulduktan sonra, M_p değeri ise sinterlendikten sonraki ağırlık kaybını vermektedir.

3.3.2. Pişme küçülmesi oranının tespiti

Pişme küçülmesi, seramik malzemelerin pişirme sırasında oluşturdukları yeni fazlar (mullit gibi) ile bünyesinden uzaklaştırdığı kristal su, CO₂ gibi uçucu kimyasallar sonucunda boyutunda ve genişliğinde kayıplar meydana getirmesidir. Numunelerin yanına ve altına atılan düz çizgilerin kalıptan çıkarıldıktan ve pişirildikten sonra yeniden ölçülerek değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler aşağıdaki (7) numaralı formülde yerine koyularak pişme küçülmesi oranı belirlenmiştir.

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = \frac{l_k - l_p}{l_m} \times 100 \quad (7)$$

l_k değeri malzemenin kurutulduktan sonra, l_p değeri ise pişirildikten sonraki doğrusal çizgi uzunluğunu vermektedir.

3.3.3. Su emme oranı ölçüm deneyi

Su emme, seramik malzemenin içerebileceği su miktarının, seramik ağırlığına oranı olarak tanımlanmaktadır ve % (yüzde) olarak ifade edilmektedir. Seramik bünyelerde gözeneklilik ve su emme değerleri, pişme derecesi ile camsı faz oluşumlarına bağlı olarak paralel bir ilişki oluştururlar. Gözeneklilik ve su emme, küçülme ile ters orantılıdır. Seramik malzemelerin pişme sırasında küçülme miktarı arttıkça su emme ve gözeneklilik miktarı azalır. Su emmeyi etkileyen diğer bir faktör ise seramik çamurunda kullanılan tozların boyutlarıdır. İyi öğütülmeyen tozlar pişirme sırasında gözeneklilik miktarını arttıracaktır, dolayısıyla su emme oranı da aynı oranda artacaktır. Gözeneklilik miktarı %25'ten fazla olan seramik malzemelerin mukavemet değerleri oldukça düşüktür. Mukavemet değerlerini ve uygun gözenekliliğin belirlenebilmesi için numunelere su emme testi uygulanmıştır. Su emme testinin uygulama adımları şu şekildedir;

- Sinterlenen numuneler oda sıcaklığına gelindikten sonra hassas terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür.
- Ağırlıkları ölçülen numuneler beherlere koyulup, numunelerin tamamı su içerisinde kalacak şekilde su ilavesi yapılmıştır.
- Laboratuvar tipi ısıtıcı ile 3 saat kaynatılmıştır.
- Kaynatma işlemi bittikten sonra oda sıcaklığında 20 saat bekletilmiştir.
- Bekletme işleminden sonra beher içerisinden alınan numunelerin dış yüzeyinde bulunan fazla sular peçete yardımıyla silinip, hassas terazi ile tekrar ağırlıklarının ölçümü yapılmıştır.
- Ölçümler alındıktan sonra aşağıdaki (8) numaralı formülde yerine koyularak su emme değerleri belirlenmiştir.

$$\% Su Emme = \frac{M_s - M_k}{M_s} \times 100 \quad (8)$$

M_s = Kaynatıldıktan sonraki ağırlık değeri, M_k = Kaynatılmadan önceki ağırlık değeri.

3.3.4. X-Işınlari kırınımı (XRD)

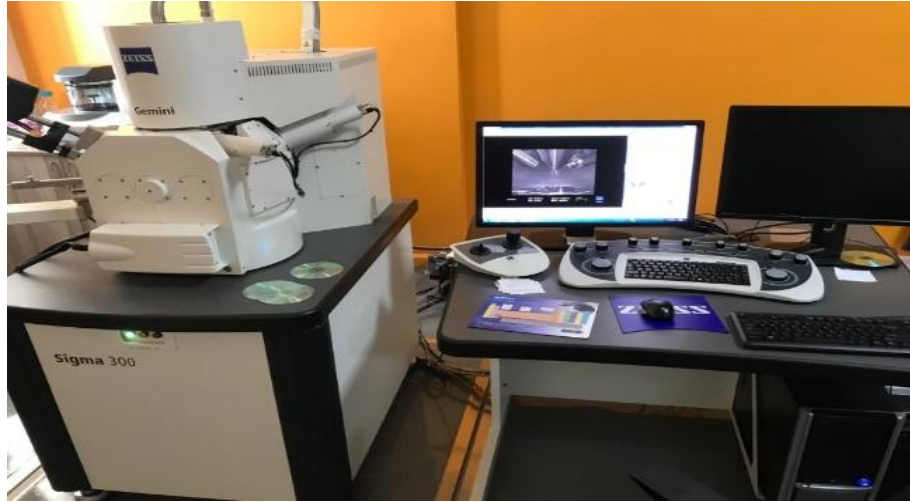
Sinterlenen vitrifiye seramik numunelerin kristal yapısının ve mineralojik bileşiminin belirlenebilmesi için Şekil 3.14’de gösterilen Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Araştırma Merkezinde (DAYTAM) bulunan Panalytical marka X-ışınımı kırınımı cihazı kullanılmıştır. Numunelerin analizleri, sinterlenmiş numunelerin belirli kısımları kırılarak, toz haline getirilip Cu tüpüne 40 mA akım ve 45 Kv gerilim uygulanarak belirlenmiştir. XRD cihazı 20 dakika ve 2θ açısıyla numune yüzeylerine tarama yapmıştır. Tarama bittikten sonra ölçümler alınmıştır.



Şekil 3.14. X-Işınları kırınımı cihazı (XRD)

3.3.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM ve EDS)

Sinterlenen vitrifiye seramik numunelerinin mikroyapısı ve elementel analizlerinin belirlenebilmesi için Şekil 3.15’de gösterilen DAYTAM’da bulunan Zeiss marka Sigma 300 modeli taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Numune yüzeylerine tarama işlemi 15 kV’da yapılmıştır.



Şekil 3.15. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

4. ARAŞIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Kuru Küçülme Oranı Deneyi

Numunelerin kurutma küçülmesi davranışlarının belirlenebilmesi için yapılmıştır. Numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra yanından ve altından çizikler atılmıştır. Etüvde 205°C’de 2 saat kurutulmasından sonra, numunelerin yanına ve altına atılan çiziklerin değerleri yeniden ölçüldüğünde herhangi bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Kurutma sırasında sadece bünyesindeki nemi uzaklaştırmıştır. Kuru küçülme olmamasının sebebi seramik çamurunda kullanılan kilin kalitesini göstermektedir.

4.2. Pişme Küçülme Oranı Deneyi

İkili ve üçlü karışımlar olarak oluşturulan numunelerin hepsine pişme küçülmesi deneyleri yapılmıştır. Numunelerin hacimsel küçülmelerin belirlenebilmesi için boyundan ve tabanından çizgi boyları atılmıştır. Numuneler pişirildikten sonra fırından alınıp kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Değerler ölçülerek 7 numaralı formülde yerine koyularak pişme küçülmesi yüzdeleri belirlenmiştir. Numunelerin kodlamaları şu şekildedir; P= Pomza, B= Boksit, C= Ferrokrom cürufu, K=San-B kili ve yanındaki değerler ise yüzdeyi (%) ifade etmektedir.

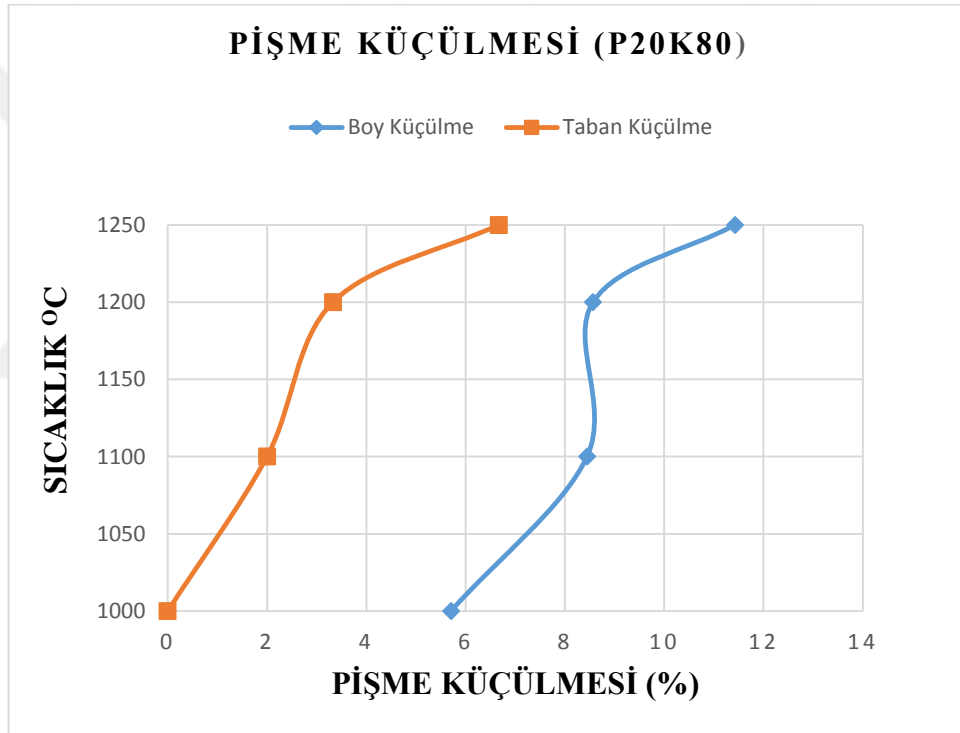
4.2.1. İkili Karışımların pişme küçülmesi oranları

İkili karışımlarla oluşturulan numunelerin pişme küçülmesi yüzdeleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de gösterilmiştir. İkili karışımlar 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarına uygulanmıştır. Pişme küçülmesi boy ve taban uzunluk yüzdeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. P20K80 (%20 Pomza, %80 San-B) pişme küçülmesi oranı

Sıcaklık (°C)	Pişme Küçülmesi Boy* (%)	Pişme Küçülmesi Taban* (%)
1000	5,71	0
1100	8,45	2,00
1200	8,57	3,33
1250	11,43	6,67

*Ham numunenin 205°C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluk değerleri

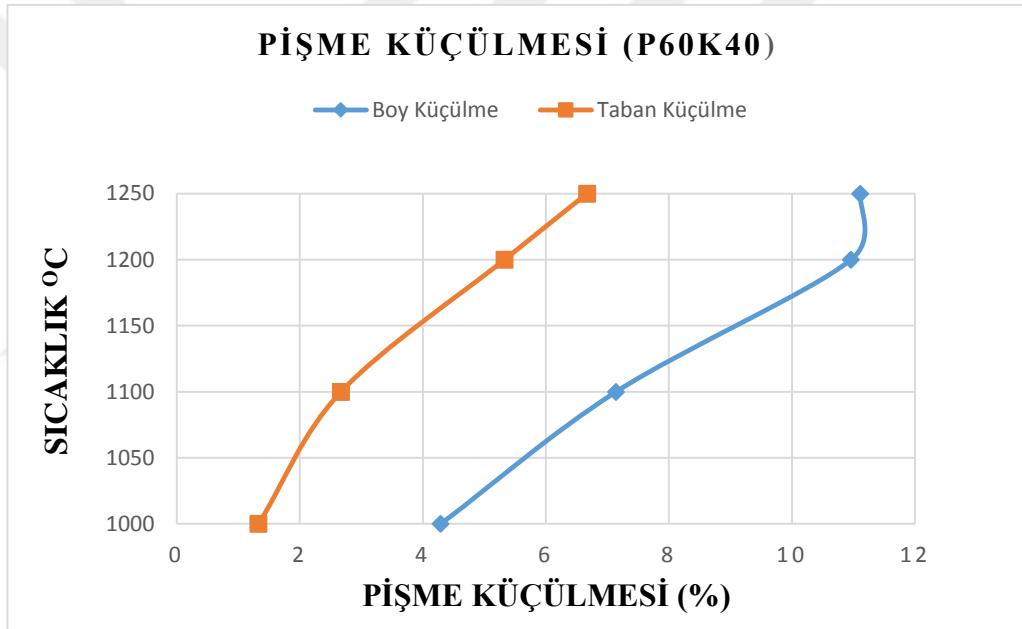
**Şekil 4.1.** P20K80 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği

P20K80 numunesinde artan pişirme sıcaklığı ile pişme küçülmesi değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Taban pişme küçülmesinde 1000°C’de pişme küçülmesi sıfır olarak gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2. P60K40 (%60 Pomza, %40 San-B kil) pişme küçülmesi oranı

Sıcaklık (°C)	Pişme Küçülmesi Boy* (%)	Pişme Küçülmesi Taban* (%)
1000	4,29	1,33
1100	7,14	2,67
1200	10,96	5,33
1250	11,11	6,67

*Ham numunenin 205°C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluk değerleri

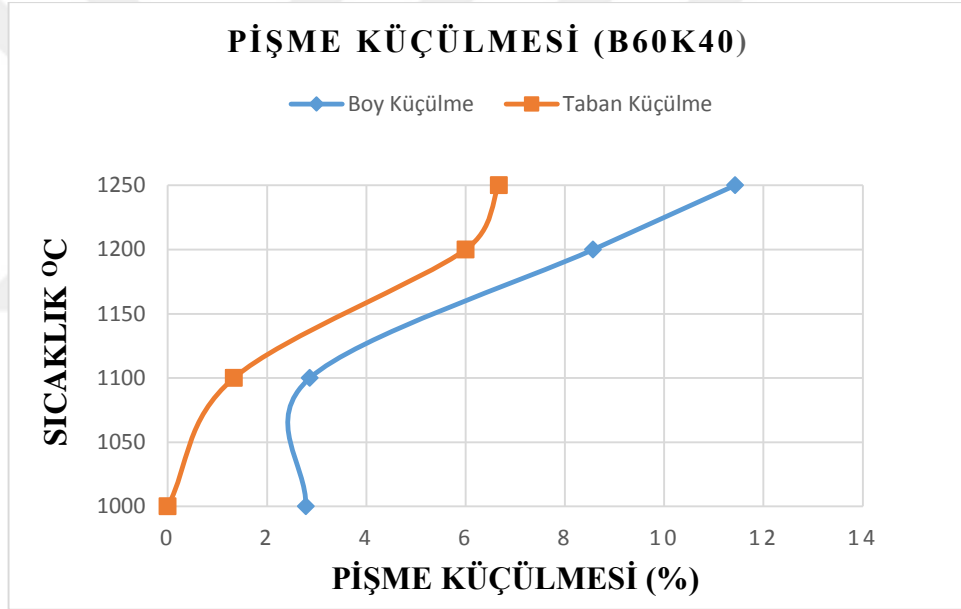
**Şekil 4.2.** P60K40 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği

P60K80 numunesinde artan pişirme sıcaklığı ile pişme küçülmesi değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında birbirine yakın pişme küçülmesi gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3. B60K40 (%60 Boksit, %40 san-b kil) pişme küçülmesi oranı

Sıcaklık (°C)	Pişme Küçülmesi Boy (%)	Pişme Küçülmesi Taban (%)
1000	2,78	0
1100	2,86	1,33
1200	8,57	6,00
1250	11,43	6,67

*Ham numunenin 205°C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluk değerleri

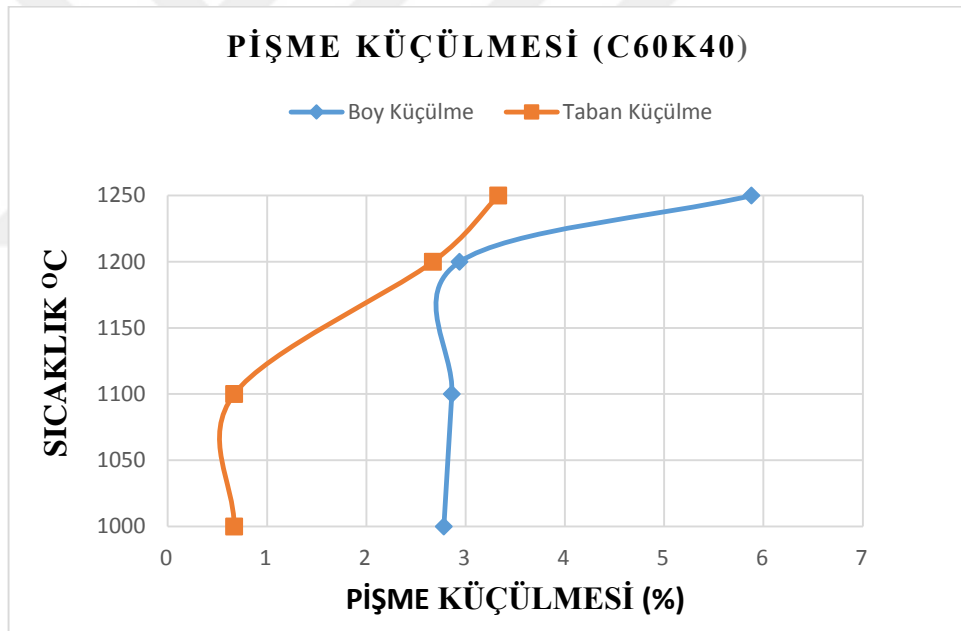
**Şekil 4.3.** B60K40 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği

B60K40 numunesinde artan pişirme sıcaklığı ile pişme küçülmesi değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Taban pişme küçülmesinde 1000°C’de pişme küçülmesi sıfır olarak gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4. C60K40 (%60 Ferrokrom cürufu, %40 san-b kil) pişme küçülmesi oranı

Sıcaklık (°C)	Pişme Küçülmesi Boy (%)	Pişme Küçülmesi Taban (%)
1000	2,78	0,67
1100	2,86	0,67
1200	2,94	2,67
1250	5,88	3,33

*Ham numunenin 205°C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluk değerleri

**Şekil 4.4.** C60K40 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği

İkili karışımlarda artan pişirme sıcaklıkları ile numunelerin boydan ve tabandan pişme küçülmesi oranının arttırdığı gözlemlenmiştir. Bütün numunelerde 1250°C’de en fazla pişme küçülmesi olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’ye bakıldığında pomzanın %20 ve %60 oranlarının 1250°C’ de birbirine benzer pişme küçülmesi oranı olduğunu, dolayısıyla pomza miktarının pişme küçülmesinde bir değişiklik meydana getirmediği anlaşılmaktadır. Çizelge 4.3’e bakıldığında B60K40 numunesinde boksitin

pomzaya benzer şekilde pişme küçülmesi gösterdiği gözlemlenmiştir. Çizelge 4.4'e bakıldığında ise ferrokrom cürufun 1250°C'de pomza ve boksite göre hem boydan hem tabandan daha az pişme küçülmesi oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

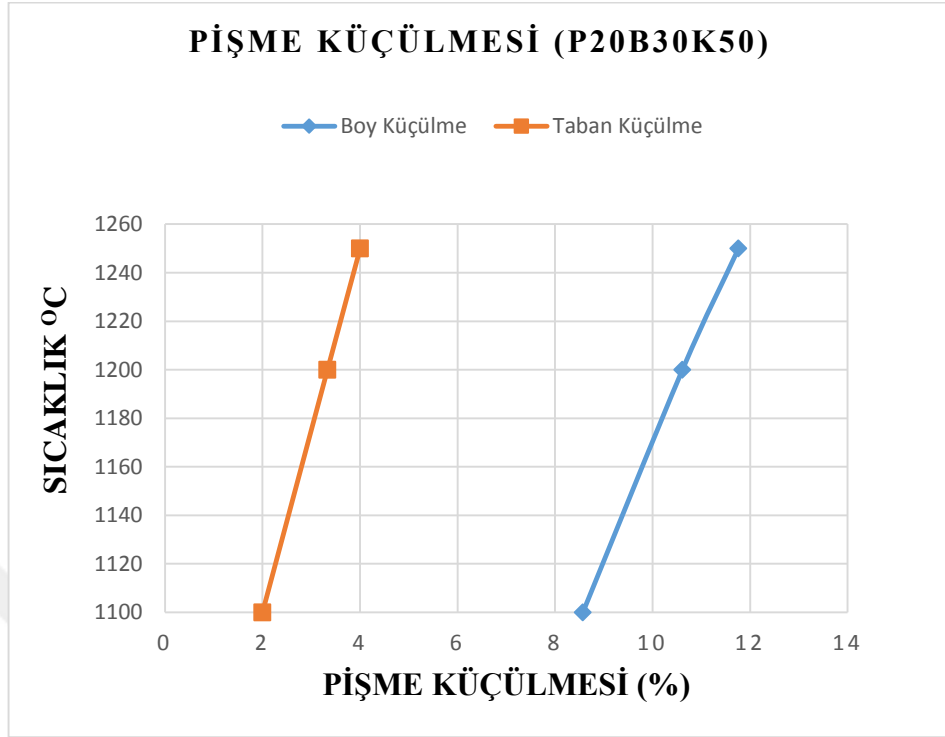
4.2.2. Üçlü Karışımların pişme küçülmesi oranları

İkili karışımlarda olduğu gibi numunelerin pişirildikten sonra boyundaki ve tabanındaki çizikler ölçülerek pişme küçülmesi yüzdeleri belirlenmiştir. Hesaplanan pişme küçülmesi yüzdeleri Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Üçlü karışımlar 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarına uygulanmıştır. Pişme küçülmesi boy ve taban yüzdeleri karşılaştırması Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kil) pişme küçülmesi oranı

Sıcaklık (°C)	Pişme Küçülmesi Boy (%)	Pişme Küçülmesi Taban (%)
1100	8,57	2,0
1200	10,61	3,33
1250	11,76	4,0

*Ham numunenin 205°C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluk değerleri



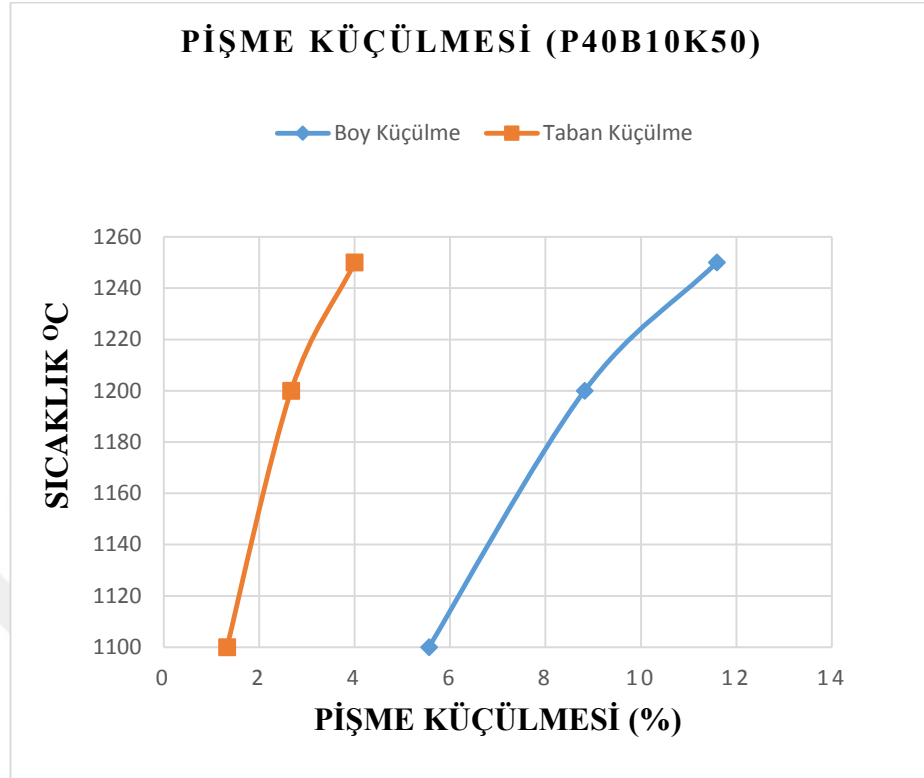
Şekil 4.5. P20B30K50 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği

P20B30K50 numunesinde ikili karışımlara benzer şekilde en fazla %11'lik pişme küçülmesi oranı gözlemlenmiştir. 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında birbirine yakın pişme küçülmesi oranları gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.6. P40B10K50 (%40 pomza, %10 Boksit, %50 San-B kil) pişme küçülmesi oranı

Sıcaklık (°C)	Pişme Küçülmesi Boy (%)	Pişme Küçülmesi Taban (%)
1100	5,56	1,33
1200	8,82	2,67
1250	11,59	4,0

*Ham numunenin 205°C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluk değerleri



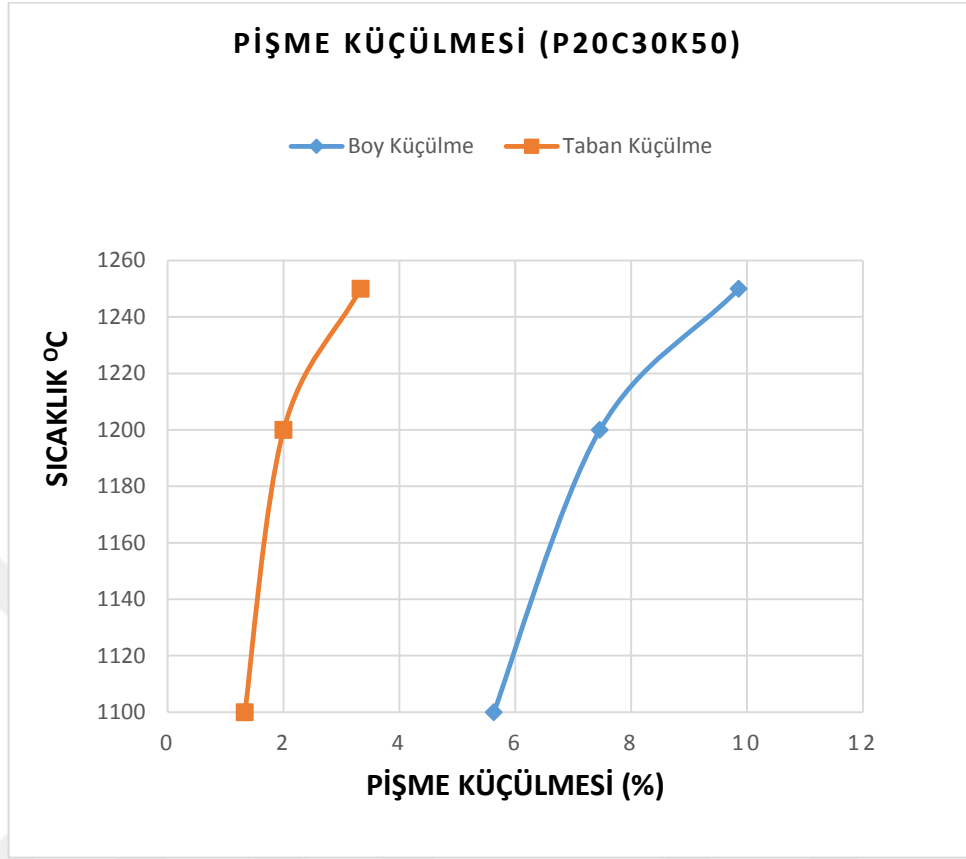
Şekil 4.6. P40B10K50 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği

P40B10K50 numunesinde pomzanın 1100°C pişirme sıcaklığından sonra camsı faza geçişi pişme küçülmesinde benzer oranları göstermiştir.

Çizelge 4.7. P20C30K50 (%20 Pomza, %30 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kil) pişme küçülmesi oranı

Sıcaklık (°C)	Pişme Küçülmesi Boy (%)	Pişme Küçülmesi Taban (%)
1100	5,63	1,33
1200	7,46	2,0
1250	9,86	3,33

*Ham numunenin 205°C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluk değerleri



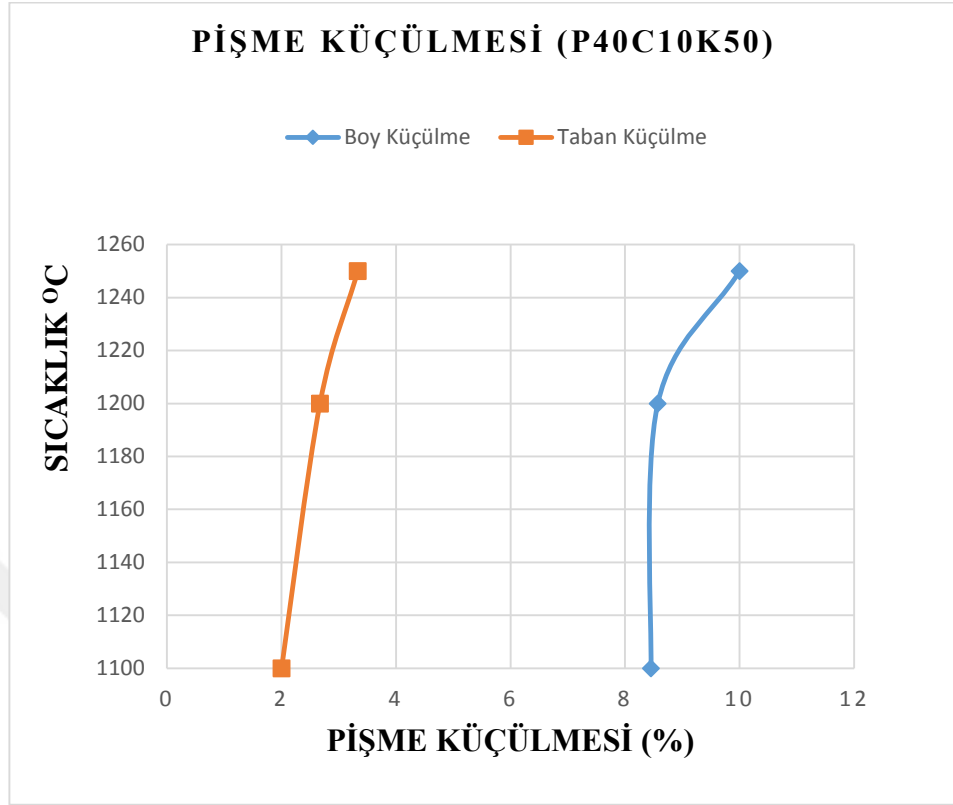
Şekil 4.7. P20C30K50 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği

P20B30B50 numunesinde %10'dan az pişme küçülmesi oranı görülmektedir. Pomzanın boksit ile karışımı pişme küçülmesi oranını düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.8. P40C10K50 (%40 Pomza, %10 Ferrokrom cürufu, %50 San-b kil) pişme küçülmesi oranı

Sıcaklık (°C)	Pişme Küçülmesi Boy (%)	Pişme Küçülmesi Taban (%)
1100	8,45	2,00
1200	8,57	2,67
1250	10,0	3,33

*Ham numunenin 205°C sıcaklıkta 2 saat kurutma sonrası ölçülen uzunluk değerleri



Şekil 4.8. P40C10K50 numunesinin, Pişme küçülmesi değerinin sıcaklık ile değişim grafiği

İkili karışımlarda pomza miktarının pişme küçülmesi oranında fazla bir değişiklik göstermediği gözlemlenmişti. Üçlü karışımlarda da aynı şekilde pomza ile oluşturulan numunelerde düşük pişme küçülmesi oranları gözlemlenmiştir. Üçlü karışımlarda Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'ya baktığımızda pomza miktarının ve yanında boksit miktarının da pişme küçülmesinde fazla bir değişiklik olmadığı anlaşılmaktadır. Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'e baktığımızda ferrokrom cürufunun artması ile pişme küçülmesi oranını azalttığı saptanmıştır. İkili karışımlarda da ferrokrom cürufunun artması ile en az pişme küçülmesi oranına sahip olduğu gözlemlenmişti. Buradan anlaşılacağı gibi ferrokrom cürufu seramik ürünü olarak kullanıldığında pişme küçülmesi oranını düşürerek boyutsal küçülmede fazla kayıplara neden olmamaktadır.

4.3. Ateş zaiyatı ölçüm sonuçları

Numuneler pişme esnasında, bünyesinde kaybettiği kristal su ve yeni fazlar oluşturarak bünyesinden attığı gazlar ile belirli oranlarda hacimsel küçülmelere neden olurlar. Hacimsel küçülmelerin belirlenebilmesi için numuneler pişirildikten sonra fırından alınarak hassas terazi ile ölçülmüştür. Değerler bölüm 3.3.1’de belirtilen 6 numaralı formülde yerine koyularak ateş zaiyatı yüzdeleri belirlenmiştir.

4.3.1. İkili karışımların ateş zaiyatı oranları

İkili karışımlarla oluşturulan numunelere 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında ateş zaiyatı deneyleri uygulanmıştır. Ateş zaiyatı yüzdeleri Çizelge 4.9, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de verilmiştir. Bütün numunelerin ateş zaiyatı yüzdeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. P20K80 (Pomza %20, San-B kili %80) ateş zaiyatı ölçümü

Sıcaklık (°C)	Ateş Zaiyatı (%)
1000	8,40
1100	9,08
1200	9,60
1250	8,44

Çizelge 4.10. P60K40 (Pomza %60, San-B kili %40) ateş zaiyatı ölçümü

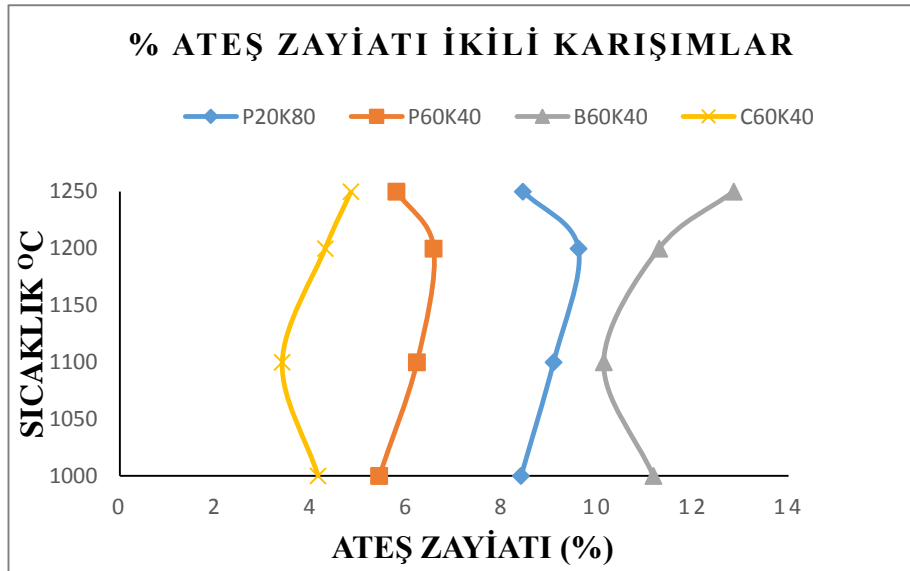
Sıcaklık (°C)	Ateş Zaiyatı (%)
1000	5,43
1100	6,22
1200	6,57
1250	5,79

Çizelge 4.11 . B60K40 (Boksit %60, San-B kili %40) ateş zayıatı ölçümü

Sıcaklık (°C)	Ateş Zayıatı (%)
1000	11,17
1100	10,13
1200	11,29
1250	12,85

Çizelge 4.12. C60K40 (%60 Ferrokrom cürufu , %40 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü

Sıcaklık (°C)	Ateş Zayıatı (%)
1000	4,15
1100	3,40
1200	4,30
1250	4,84



Şekil 4.9. İkili karışımların ateş zayıatı oranının sıcaklık ile değişim grafiği

İkili karışımların kurutulduktan (205°C’ de 2 saat) ve 4 farklı sıcaklıkta pişirildikten sonra (1000, 1100, 1200 ve 1250°C) ağırlıkları ölçülerek ateş zayıatı oranları belirlenmiştir. Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’a bakıldığında Pomzanın %20 ve %60 oranlarındaki karışımlarında 1000, 1100 ve 1200°C’de ateş zayıatı oranında artma gözlemlenirken, 1250°C’de azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum pomzanın 1200°C’den sonra camsı faza geçtiğini göstermektedir. Yapı içerisindeki boşluklar azalarak ateş zayıatında ki kayıp önlenmiştir. Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’ye bakıldığında sırasıyla boksit ve ferrokrom cürufunda 1000°C ile 1100°C sıcaklık geçişinde ateş zayıatı oranında düşme olduğu görülmektedir. Bu durum boksit ve ferrokrom cürufunun kil ile ikili oluşumlarında 1000°C’de pişirme sıcaklığının yetersiz olduğunu göstermektedir. 1100°C’den sonraki pişirme sıcaklıklarında ise ateş zayıatı oranının arttığı, pişirme sonrası oluşan reaksiyonlar sonucu kimyasal gaz kayıpların olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.12’deki ferrokrom cürufunun, pişme küçülmesinde olduğu gibi ateş zayıatı oranında da en düşük orana sahip olduğu gözlemlenmiştir.

4.3.2. Üçlü karışımların ateş zayıatı oranları

Üçlü karışımlarla oluşturulan numunelere 1100°C, 1200°C ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında ateş zayıatı deneyleri uygulanmıştır. İkili karışımlarda 1000°C değerlerinin yüksek çıkmasından dolayı üçlü karışımlara uygulanmamıştır. Ateş zayıatı yüzdeleri Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da verilmiştir. Bütün numunelerin ateş zayıatı yüzdeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü

Sıcaklık (°C)	Ateş Zayıatı (%)
1100	9,38
1200	11,05
1250	8,14

Çizelge 4.14. P40B10K50 (%40 Pomza, %10 Boksit, %50 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü

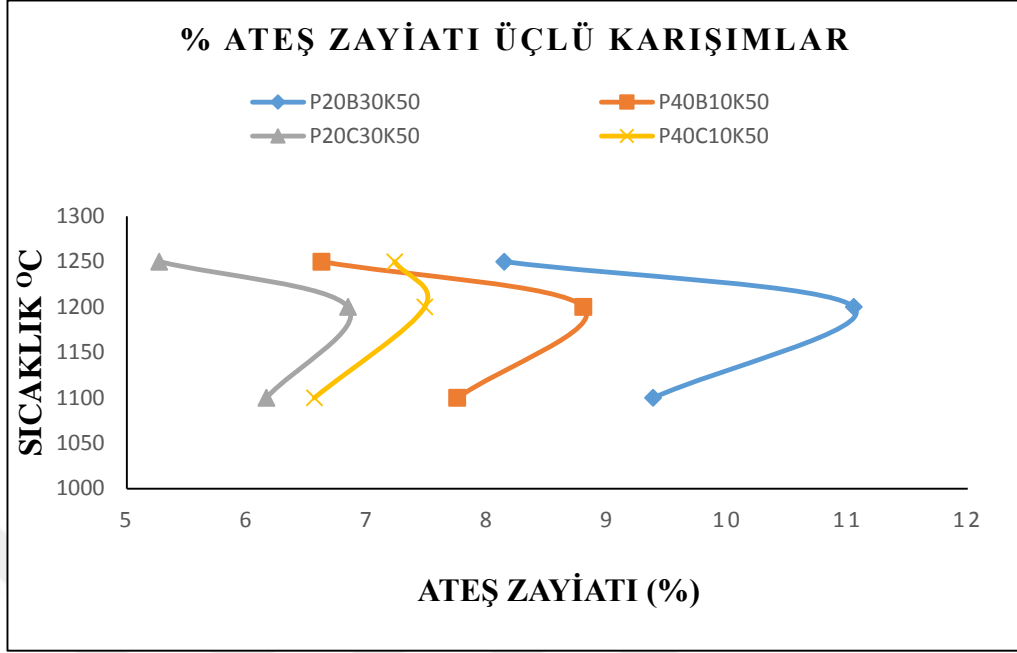
Sıcaklık (°C)	Ateş Zayıatı (%)
1100	7,75
1200	8,80
1250	6,62

Çizelge 4.15. P20C30K50 (%20 Pomza, %30 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü

Sıcaklık (°C)	Ateş Zayıatı (%)
1100	6,16
1200	6,84
1250	5,27

Çizelge 4.16. P40C10K50 (%40 Pomza, %10 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kili) ateş zayıatı ölçümü

Sıcaklık (°C)	Ateş Zayıatı (%)
1100	6,56
1200	7,48
1250	7,23



Şekil 4.10. Üçlü karışımların ateş zayıatı oranının grafik ile gösterimi

Üçlü karışımlarda 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları kullanılmıştır. Pomzanın ikili karışımlarda 1200°C pişirme sıcaklığından sonra ağırlık kaybında azalma olduğunu gözlemlenmişti. Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’de pomzanın boksit ile karışımında yine aynı şekilde 1200°C pişirme sıcaklığından sonra boyutsal ağırlık kaybına gidildiğini, boksit pomza karışımında birbirine benzer özellikler olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.16’ya baktığımızda ferrokrom cürufunun 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklığında birbirine yakın ağırlık kayıplarının olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.15’e bakıldığında en düşük hacimsel küçülmenin ferrokrom cürufunda olduğunu dolayısıyla ferrokrom cürufunun miktarı ile hacimsel küçülme oranı arasında ters orantı olduğu anlaşılmaktadır.

4.4. Su emme oranı ölçüm deneyini

Su emme oranları numunelerin gözenek oranının belirlenebilmesi için her numuneye tek tek uygulanmıştır. Bölüm 3.3.3’de belirtilen adımlar takip edilmiştir. İkili karışımlarda (Kil ve diğerleri), bütün pişirme sıcaklıklarındaki (1000, 1100, 1200, 1250°C) numunelere uygulanmıştır. Fakat 1000°C pişirme sıcaklığında yüksek su emme oranları belirlendiği için üçlü karışımlara 1000°C su emme oranı deneyi yapılmamıştır.

4.4.1. İkili Karışımların su emme oranları

1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklığında elde edilen ikili karışımlara su emme deneyleri yapılmıştır. İkili karışımların su emme yüzdeleri Çizelge 4.17, Çizelge 4.18, Çizelge 4.19, Çizelge 4.20’de gösterilmiştir. Su emme yüzdelerinin grafiksel karşılaştırılması Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. P20K80 (%20 pomza , %80 kil) su emme oranı

Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)
1000	19,07
1100	9,27
1200	5,56
1250	0,80

Çizelge 4.18. P60K40 (%60 pomza, %40 San-B kil) su emme ölçümü

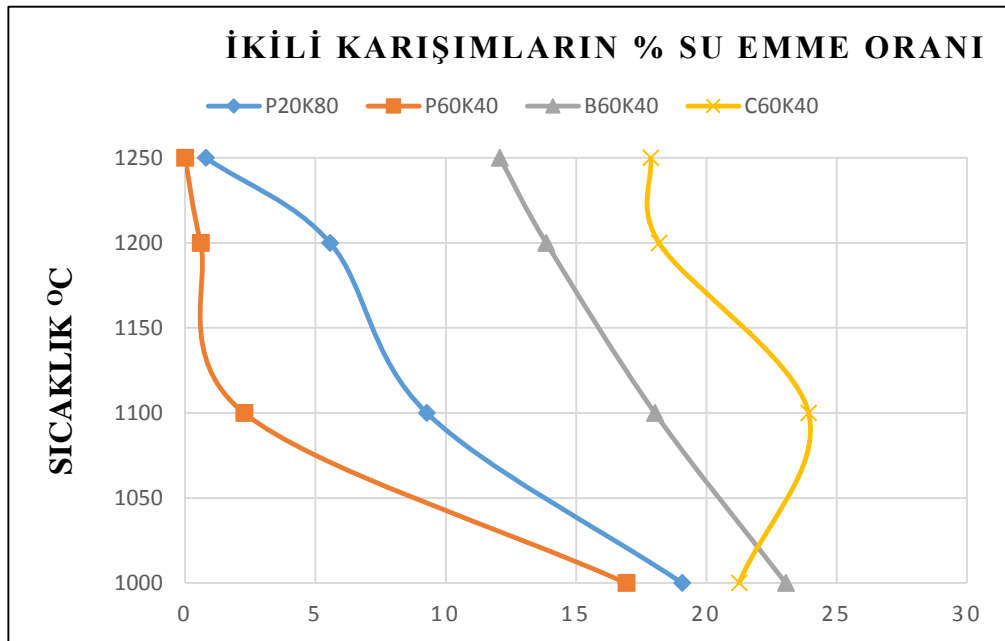
Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)
1000	16,93
1100	2,27
1200	0,60
1250	0

Çizelge 4.19. B60K40 (%60 boksit, %40 kil) su emme oranı ölçüm deneyi

Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)
1000	23,04
1100	18,02
1200	13,85
1250	12,07

Çizelge 4.20. C60K40 (%60 ferrokrom cürufu, %40 kil) su emme oranı ölçüm deneyi

Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)
1000	21,25
1100	23,92
1200	18,18
1250	17,86

**Şekil 4.11.** İkili karışımların 1000, 1100, 1200 ve 1250°C su emme oranları karşılaştırılması

İkili karışımlarla (kil ve diğer) oluşturulan numunelerin çizelgelerine bakıldığında su emme oranlarının gösterdiği değerler, pomzanın boksit ve cürufa göre pişirilme sıcaklıkları sonrası oluşturduğu gözenekli yapısının daha az olduğu anlaşılmaktadır. %20 pomza %80 san-b kil (Çizelge 4.17) ile %80 pomza %20 san-b kil (Çizelge 4.18) ile oluşturulan 2 farklı numuneye bakıldığında, pomza miktarı arttıkça su emme oranı azalmaktadır. Boksit (Çizelge 4.19) ve ferrokrom cürufu (Çizelge 4.20) kıyaslamasında ise boksitin su emme oranı ferrokrom cürufuna göre daha azdır. Yani boksitin vitrifiye seramikte kullanılabilirliği ferrokrom cürufuna göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Pomza ile oluşturulan vitrifiye seramik çamurunda boksit ve ferrokrom cürufuna göre gözeneklerin daha az olduğu ve 1000°C pişirme sıcaklığındaki numunelerde el ile kırılmalarda pomza daha dayanıklı çıktığı saptanmıştır. Artan pişirme sıcaklıkları (1000, 1100, 1200, 1250°C) oluşturulan her numunede su emme oranını düşürmüştür. 1000°C’de belirli fazların oluşumu sağlanmış fakat su emme oranları istenilenin altında kalmıştır. 1000°C’ de yapılan her numune için vitrifiye seramik üretimine uygun su emme oranı değerleri elde edilememiştir. Bu sebeple 1000°C pişirme sıcaklığı üçlü karışımlarda (Kil, pomza ve diğer) kullanılmamıştır.

4.4.2. Üçlü karışımların su emme oranları

Su emme oranı deneyi 1000, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında üçlü karışım ile oluşturulan numunelere uygulanmıştır. Çizelge 4.21, Çizelge 4.22, Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24’de su emme oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. P20B30K50 (%20 pomza, %30 boksit, %50 kil) su emme oranı ölçüm deneyi

Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)
1100	11,11
1200	5,81
1250	5,13

Çizelge 4.22. P40B10K50 (%40 pomza, %10 boksit, %50 kil) su emme oranı ölçüm deneyi

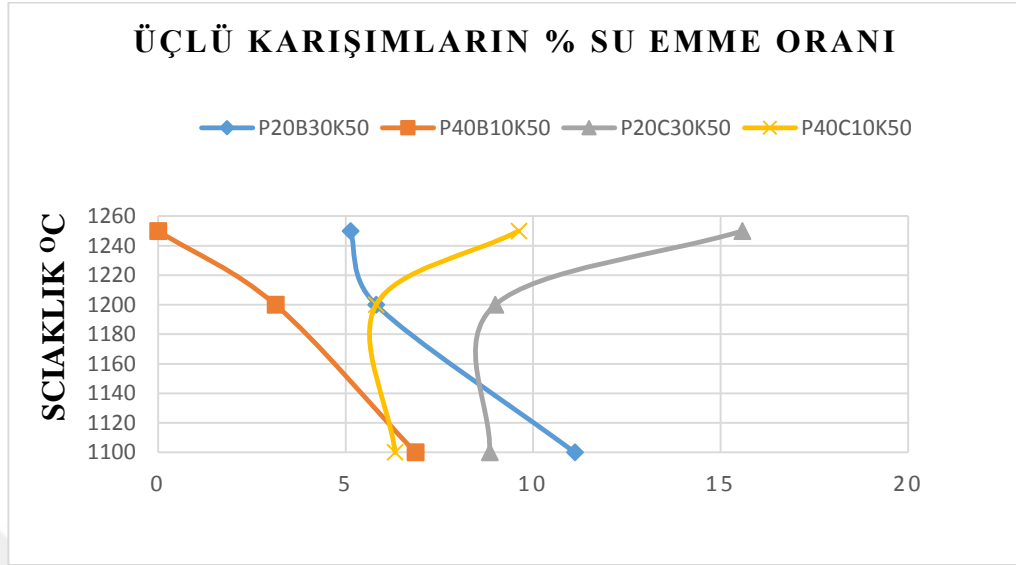
Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)
1100	6,86
1200	3,13
1250	0

Çizelge 4.23. P20C30K50 (%20 pomza, %30 ferrokrom cürufu, %50 kil) su emme oranı ölçüm deneyi

Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)
1100	8,84
1200	8,99
1250	15,58

Çizelge 4.24. P40C10K50 (%40 pomza, %10 ferrokrom cürufu, %50 kil) su emme oranı ölçüm deneyi

Sıcaklık (°C)	Su Emme (%)
1100	6,32
1200	5,81
1250	9,62



Şekil 4.12. Üçlü karışımların 1100, 1200, 1250°C su emme oranları karşılaştırması

Üçlü karışımlarda kil %50 sabit tutulup, pomza oranı %20 ve %40 kullanılmıştır. Boksit ve ferrokrom cürufu sırasıyla %10, %30 kullanılmıştır. Çizelge 4.21, Çizelge 4.22'ye bakıldığında pomza, boksit ve kil üçlüsünde pomzanın miktarı arttıkça su emme oranı da azalmaktadır. Pomza %40, boksit %10 ve %50 kil kullanılan numunede 1250°C' de su emme oranı %0 olarak gözlemlenmiştir. Bu numunenin gözenekli yapısının sıfıra yakın olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.23, Çizelge 4.24'e bakıldığında pomza, ferrokrom cürufu ve kil üçlüsünden artan sıcaklıklarda (1100, 1200, 1250°C) ferrokrom cürufun daha baskın olduğunu, su emme oranını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı ferrokrom cürufunun artması numuneyi gözenekli hale getirmektedir.

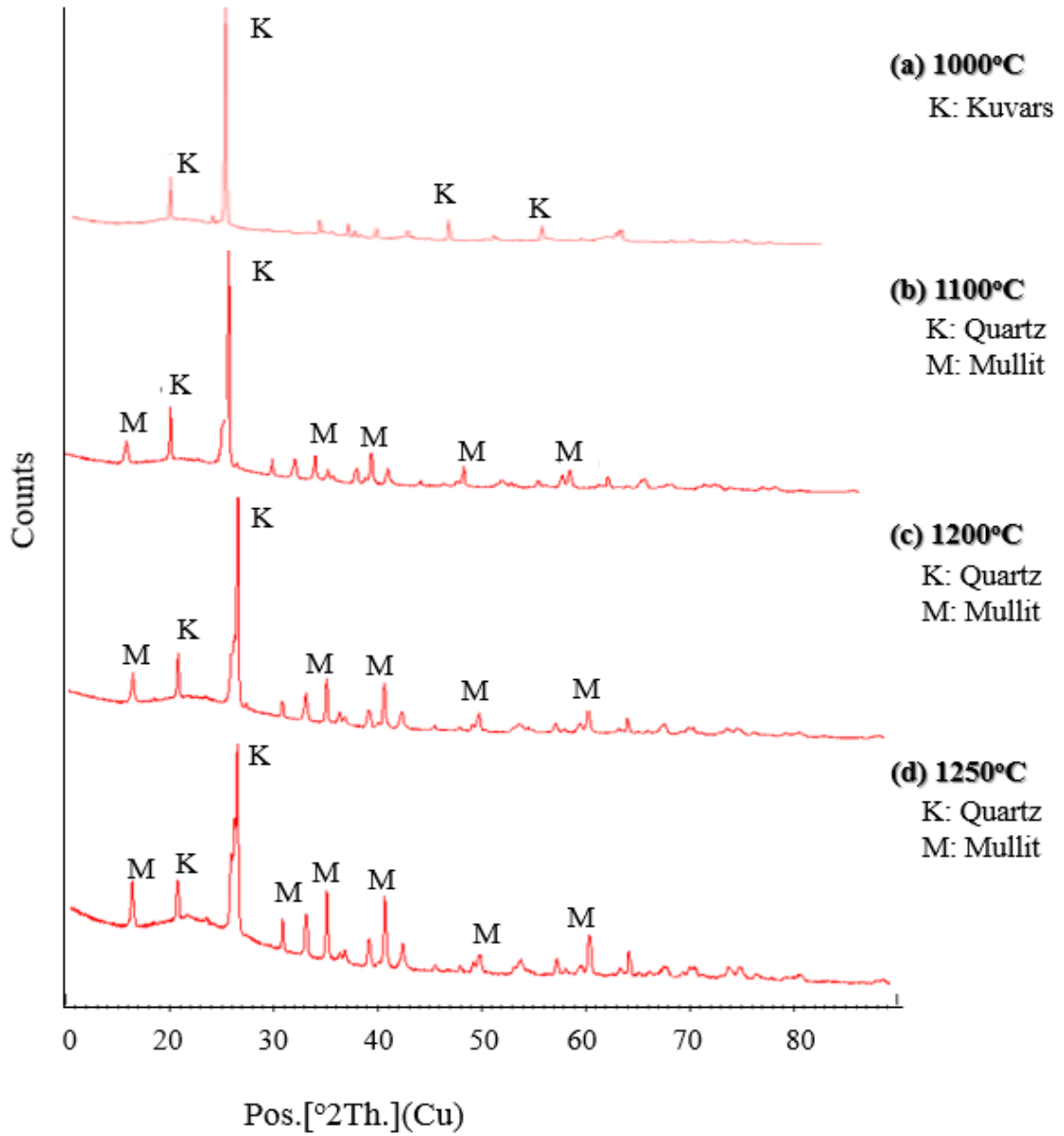
4.5. X- Işınları Kırınımı (XRD)

Vitrifiye seramiklere uygulanan en önemli testlerde biri X ışınları kırınımıdır. Kuvars, mullit ve kristobalit gibi fazlar seramiklerin yapısını oluşturmaktadır. Pişirme sonrası numunelerin yapısında oluşan kristal fazların türünü tespit etmek, farklı pişirme sıcaklıklarında oluşan kristal gelişimini incelemek ve pik şiddetlerini karşılaştırmak için X- Işınları kırınımı ile faz analizleri yapılmıştır.

4.5.1. İkili Karışımların XRD sonuçları

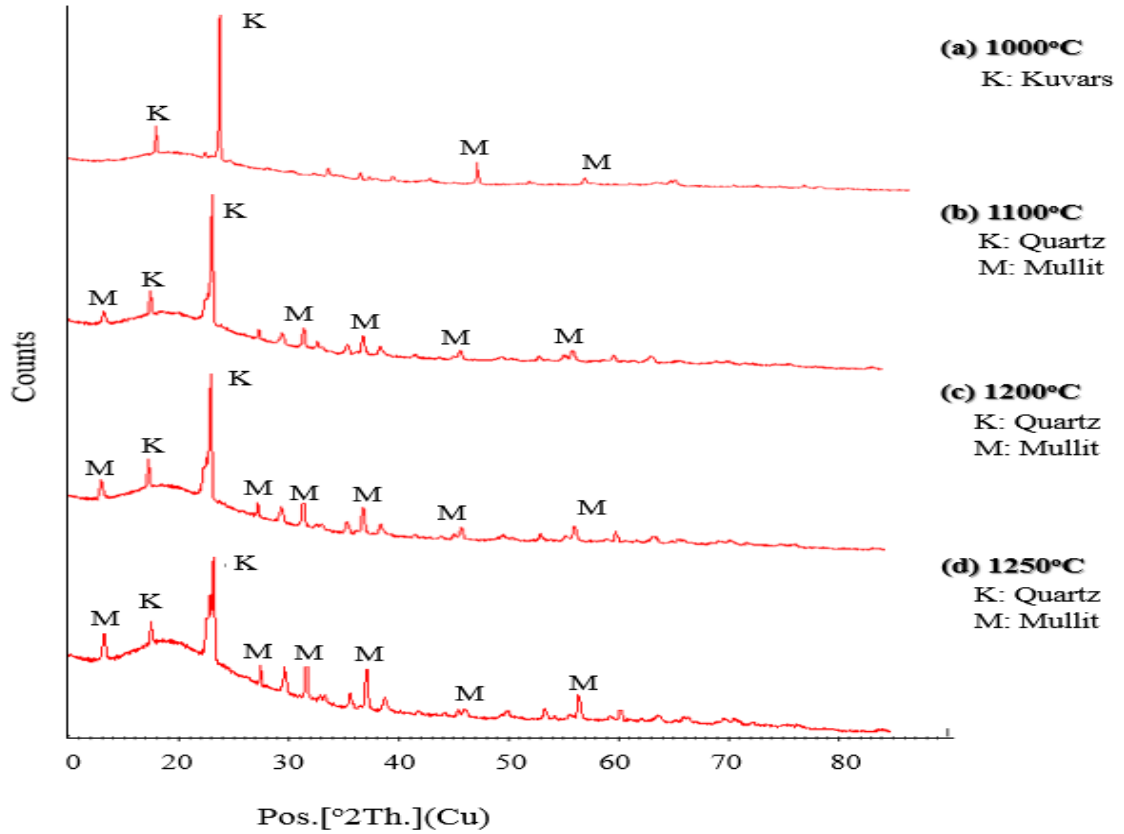
İkili karışımlar ile oluşturulan numunelere XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan XRD taraması sonuçları Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

İkili karışımlardan P20K80 (%20 Pomza, %80San-B kil) numunesine ait XRD sonuçları Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P20K80 numunesine ait XRD paterni

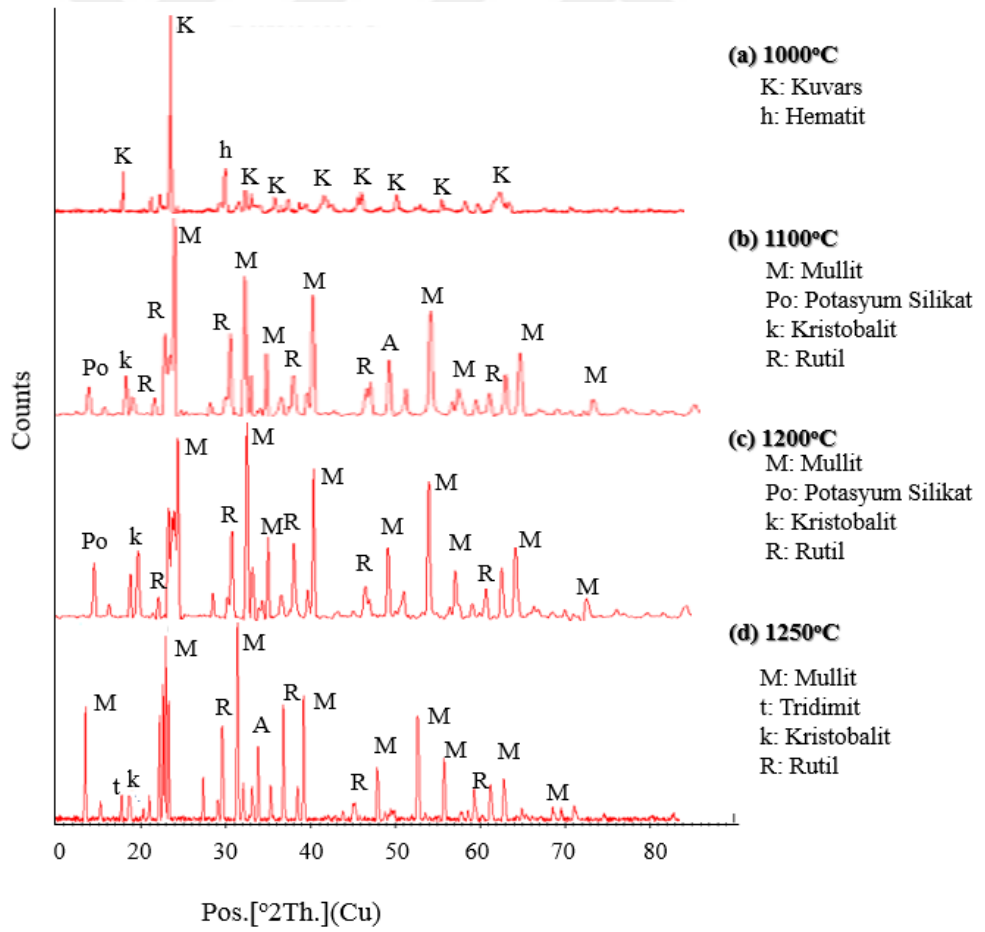
Pomza ve kilin SiO_2 ve Al_2O_3 içerikleri yüksek olduğundan dolayı sadece kuvars ve mullit piklerine rastlanmıştır. Vitrikiye seramikler için mullit, mukavemet değerlerini arttırmaktadır ve sırlama işleminde numune yüzeyine daha iyi tutunabilme özelliği sağlamaktadır. Saf mullit %78 Al_2O_3 ve %22 SiO_2 içerir. Mullit yapıya yüksek dayanıklılık kazandırır. Bu özelliği iğnemsî kristal yapısı sağlamaktadır. Büzülme direnci yüksek sıcaklıklarda oldukça fazladır (Hillig 1993). Şekil 4.13'e bakıldığında 1000°C 'de pişirilen P20K80 numunesinde sadece kuvars fazı gözlemlenmiştir. Kuvars kristal piki (SiO_2) $2\theta = 26.4^\circ$ 'de 1000°C , 1100°C , 1200°C ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının hepsinde en baskın pik olarak kendini göstermiştir. Artan sıcaklık (1000 , 1100 , 1200 , 1250°C) ile mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) pikinin daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. $2\theta = 18^\circ$ ile 28° arasında 1000 , 1100 , 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklığında amorf fazın olduğu görülmektedir. 1250°C 'de amorf fazın en fazla olduğu görülmüştür. İkili karışımlardan P60K40 (%60 Pomza, %40 San-B kil) numunesine ait XRD sonuçları Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P60K40 numunesine ait XRD paterni

P60K40 (Pomza %60, San-B kil %40) numunesine bakıldığında, P20K80 numunesinden farklı olarak pomzanın miktarının %40 artması fazlarda hiçbir değişiklik meydana getirmemiştir. Sadece amorf fazın daha fazla arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.14'te bakıldığında 1000°C pişirme sıcaklığında sadece kuvars pikin olduğu görülmektedir. 1100°C pişirme sıcaklığına geçildiğinde mullit fazının belirginleştiği görülmektedir. Mullit fazının belirginleşmesi yapıya dayanıklılık kazandırmıştır. Mullit seramiklerde oluşan en önemli fazlardan biridir. İğnemi şekli ve pişirildikten sonra tanelerin birbirine çok yakın oluşu mukavemet değerlerini arttırmaktadır.

İkili karışımlardan B60K40 (%60 Boksit, %40 San-B kil) numunesine ait XRD sonuçları Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



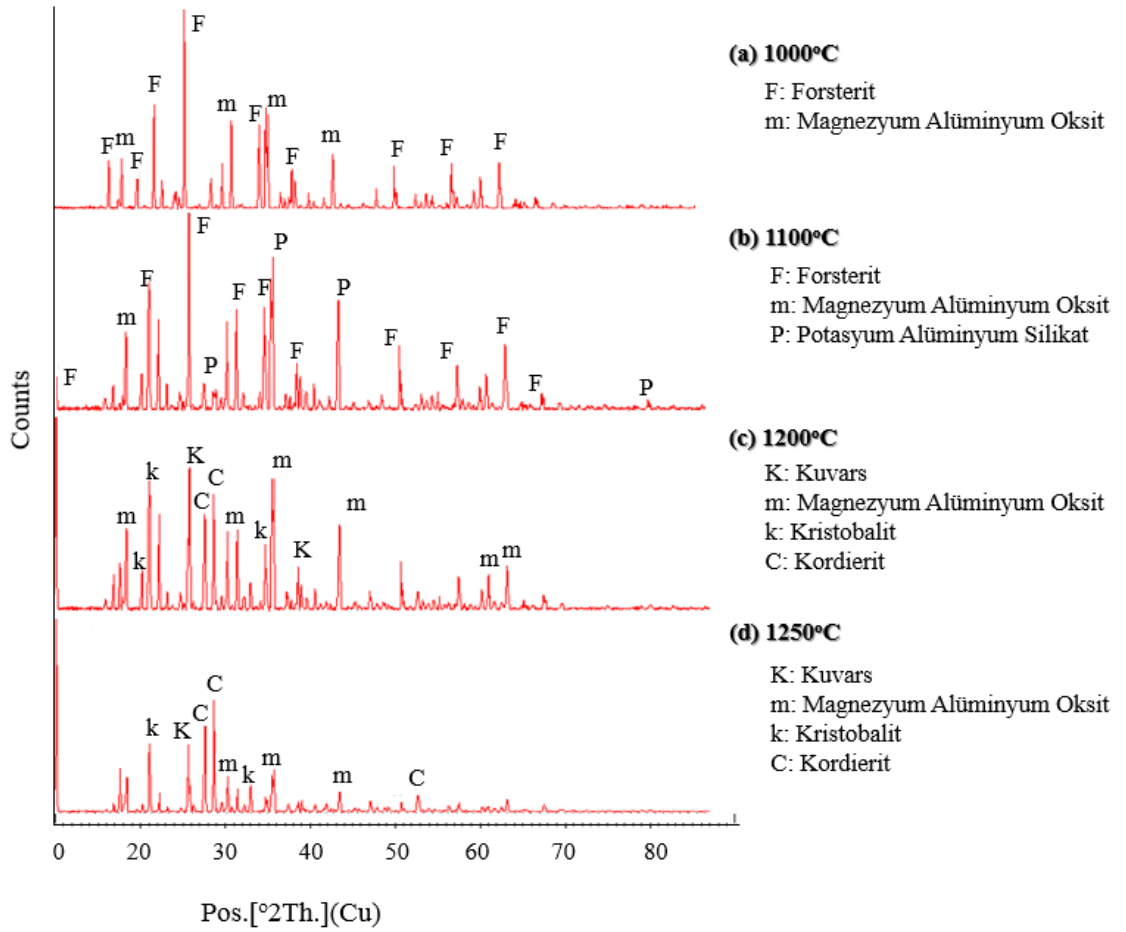
Şekil 4.15. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş B60K40 numunesine ait XRD paterni

B60K40 (Boksit %60, San-B kili %40) ikili karışımında Çizelge 4.27’de verilmiş olan EDS analiz sonuçlarında Al_2O_3 ve SiO_2 oksitleri yanında Fe_2O_3 ve K_2O oksitlerinin de var oluşu birçok fazın oluşumuna sebep olmuştur. Şekil 4.15’e bakıldığında $1000^\circ C$ pişirme sıcaklığında baskın faz kuvars olup FeO fazı da oluşmuştur. Artan sıcaklık (1100 1200 ve $1250^\circ C$) ile kuvars yerini farklı fazlara vermiştir. $1000^\circ C$ pişirme sıcaklığı B60K40 numunesi yeterli olmamıştır. Şekil 4.15’e baktığımızda $1100^\circ C$ pişirme sıcaklığında mullit, rutil, potasyum silikat ve kristobalit fazlarının olduğu görülmektedir. $1100^\circ C$ pişirme sıcaklığında kuvars yerini kristobalite vermiştir. Pomza ile olan numunelerde amorf faz görülmüştü fakat boksitin kil ile oluşumunda amorf fazına rastlanmamıştır. Kristobalit, metakaolinit ile mullit arasında $1050^\circ C$ ’ de gerçekleşen silika mineral polimorfudur. Kristobalit $1470^\circ C$ sıcaklığından sonra kararlı hale gelmektedir. Ancak $1200^\circ C$ pişirme gerçekleştirildiğinde kuvars, tridimite dönüşmeden kristobalit kristalleşmesi gerçekleşir. Kristobalit fazı termal genişleme katsayısını yükseltmektedir. $1250^\circ C$ pişirme sıcaklığında tridimit fazı oluşmuştur (Hillig 1993).

Silikanın ikinci polimorfu tridimittir. Tridimitin endüstride fazla kullanım alanı yoktur. Genel olarak kristobalite benzemektedir ve silikanın düşük yoğunluklu halidir (Ateşer 2010).

Rutil fazı genellikle seramiklerde renk değişimini etkilemektedir. Boksitin numunelere kahverengimsi renk kattığı gözlemlenmiştir. $1250^\circ C$ pişirme sıcaklığında mullit en baskın fazdır. Yapının $1250^\circ C$ pişirme sıcaklığına yaklaştıkça dayanıklılığın arttığı anlaşılmaktadır.

İkili karışımlardan C60K40 (%60 Ferrokrom cürufu, %40 San-B kil) numunesine ait XRD sonuçları Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş C60K40 numunesine ait XRD paterni

C60K40 (Cüruf %60, Kil %40) ikili karışımında Çizelge 4.28'de verilmiş olan EDS analiz sonuçlarında Al₂O₃, SiO₂ ve MgO kristallerinin baskın olduğu görülmektedir. Şekil 4.16'da 1000°C pişirme sıcaklığında SiO₂ (kuvars) fazı gözlemlenmemiştir. 1000°C pişirme sıcaklığı C60K40 numunesi için yeterli olmamıştır. 1000°C pişirme sıcaklığında ürettiğimiz ürün, el ile kolay kırılmıştır. Şekil 4.16'ya baktığımızda sırasıyla 1200°C, 1250°C pişirme sıcaklıklarında MgO fazının daha ağırlıklı olduğu SiO₂ ve Al₂O₃ fazının MgO fazına oranla daha az olduğu gözlemlenmiştir. 1250°C pişirme sıcaklığında $2\theta = 28^\circ$ de en baskın pikin kordierit olduğu görülmektedir. Kuvars fazı 1200°C pişirme sıcaklığından sonra görülmektedir.

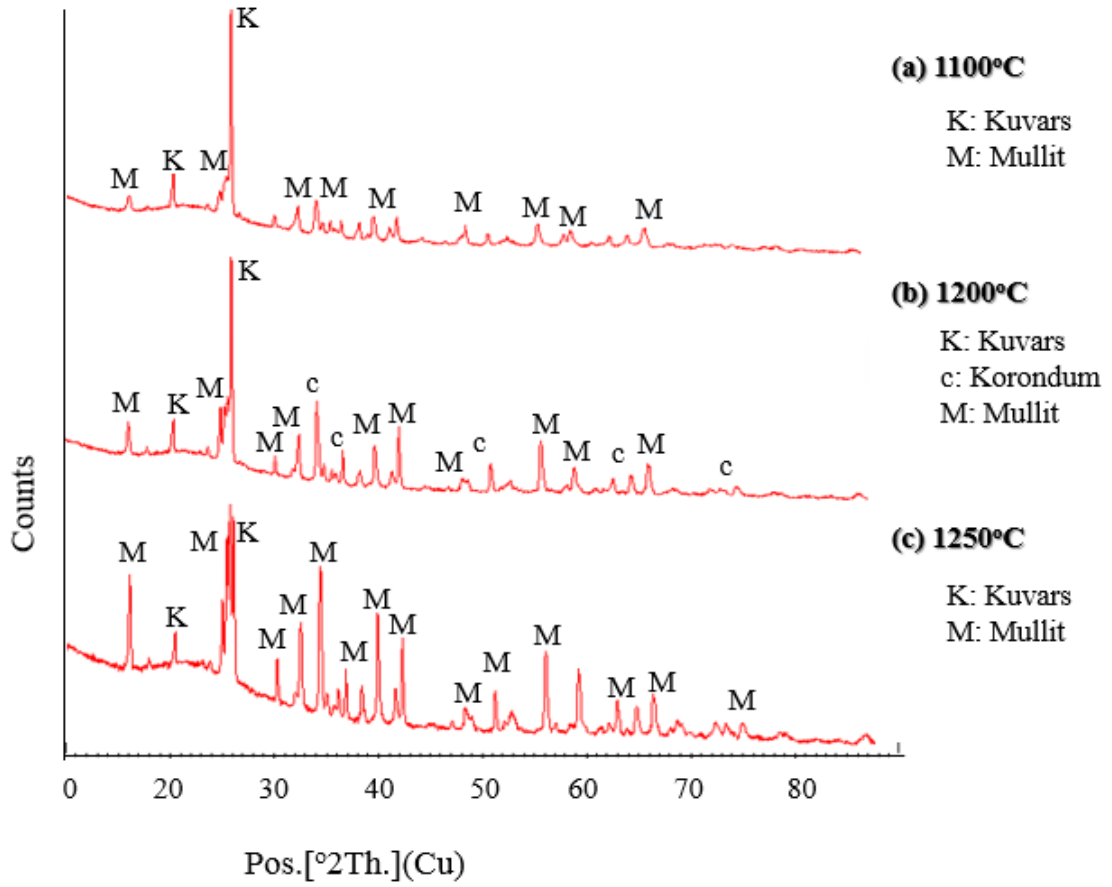
Kordieritin termal genleşme katsayıları düşüktür. Bu özellik seramiklere mekanik dayanım ve termal şok direnci kazandırmıştır. Kordierit fazı bu özelliklerinden dolayı

elektrikli ısıtıcıların kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedirler. Bunun yanında ısıtma elemanı taşıyıcısı olarak fırınlarda, elektrikli su ısıtıcılarında ve otomobillerde katalitik konvertörlerde kullanılmaktadırlar (Shackelford and Doremus 2008).

4.5.2. Üçlü karışımların XRD sonuçları

Üçlü karışımlar ile oluşturulan numunelere 3 farklı sıcaklıkta (1100, 1200, 1250°C) XRD analizleri yapılmıştır.

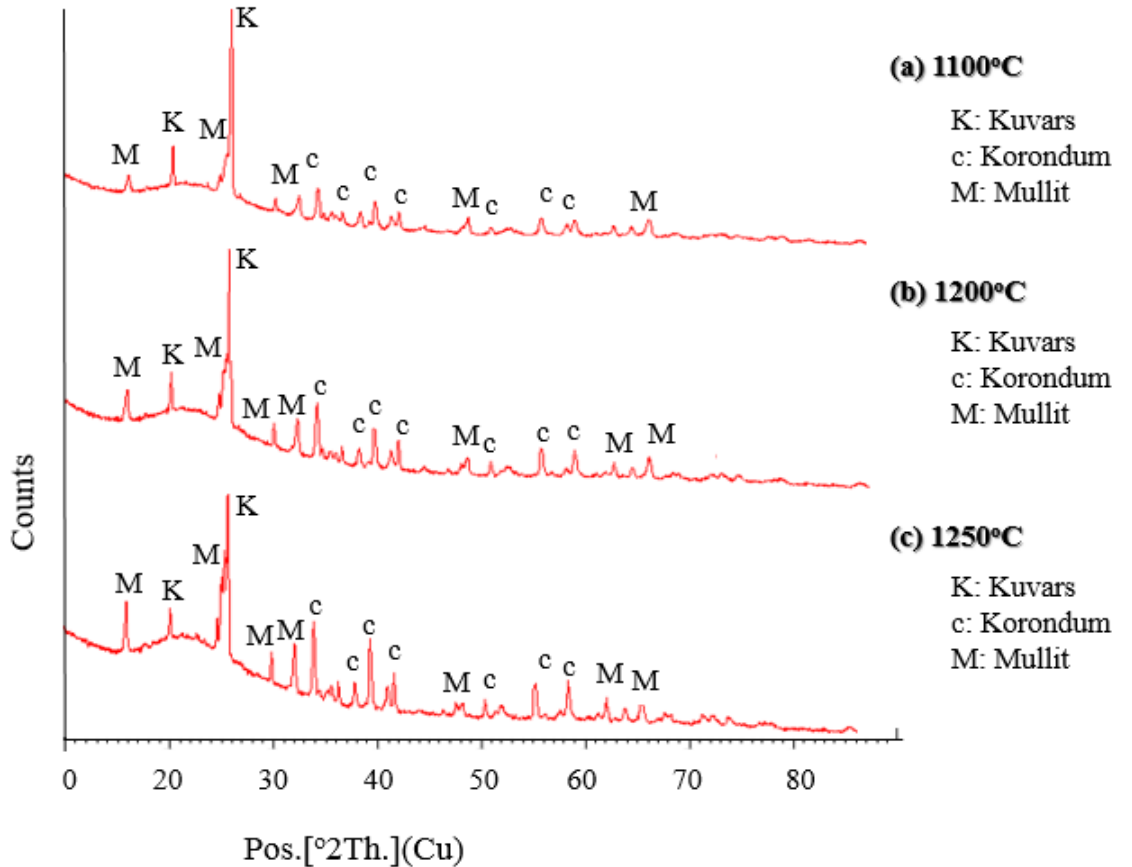
Üçlü karışımlardan P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kil) numunesine ait XRD sonuçları Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P20B30K50 numunesine ait XRD paterni

P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kili) üçlü karışımında Çizelge 4.29'da verilmiş olan EDS analiz sonuçlarında Al_2O_3 , SiO_2 oksitlerin oranları oldukça yüksektir. Şekil 4.17'de verilen XRD verilerinde pomza yapıya hafif amorf fazı katmıştır. Amorf fazı en fazla 1250°C pişirme sıcaklığında görülmektedir. Kuvars ve mullit baskın pikler olup, $2\theta = 26.4^\circ$ de en baskın pikin kuvars olduğu görülmektedir. Boksitin %16 oranında Fe_2O_3 içeriğinin etkili olmadığı görülmektedir. Sadece 1200°C pişirme sıcaklığında korundum fazı görülmektedir.

Üçlü karışımlardan P40B10K50 (%40 Pomza, %10 Boksit, %50 San-B kil) numunesine ait XRD sonuçları Şekil 4.18'de gösterilmiştir.

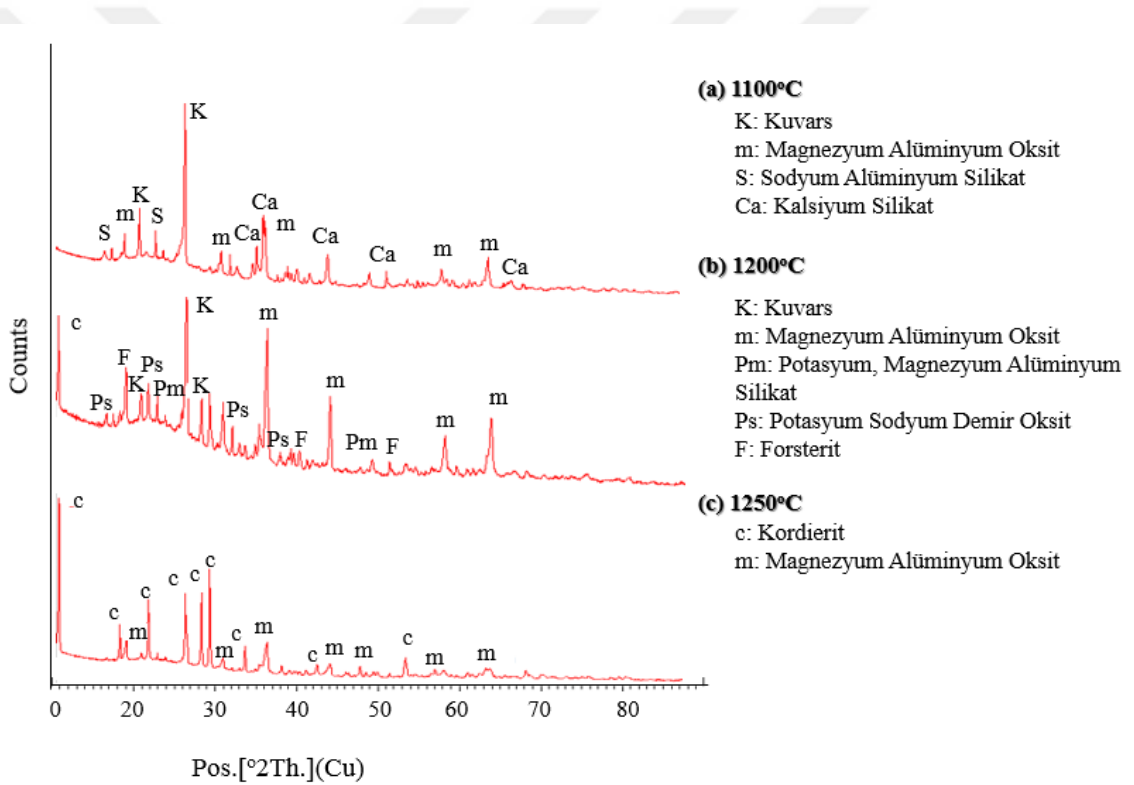


Şekil 4.18. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P40B10K50 numunesine ait XRD paterni

P40B10K50 (%40 Pomza, %10 Boksit, %50 San-b kili) üçlü karışımında Şekil 4.18'e bakıldığında bütün pişirme sıcaklıklarında kuvars, mullit ve korundum piklerinin olduğu

görülmektedir. Pomza 1100°C pişirme sıcaklığından sonra camı faza geçtiğinden dolayı yapıda amorf fazı oluşmuştur. En baskın pik $2\theta = 26.4^\circ$ 'de kuvars olduğu gözlemlenmiştir. Korundum, alüminyum oksitin amorf yapısından dönüşmüş halidir. Yapıya yüksek sertlik, yüksek dayanım, korozyon direnci ve elektrik yalıtımı özelliklerini katmaktadır (Jack 1983).

Üçlü karışımlardan P20C30K50 (%20 Pomza, %30 Ferrokrum cürufu, %50 San-B kil) numunesine ait XRD sonuçları Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

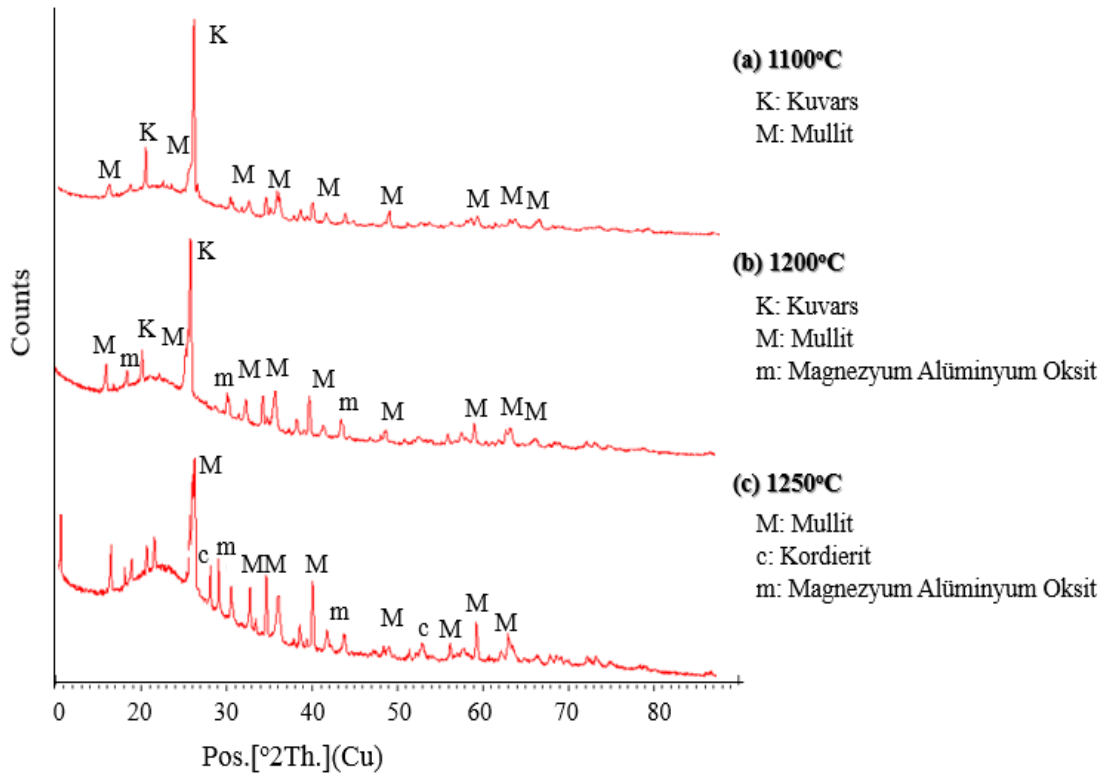


Şekil 4.19. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P20C30K50 numunesine ait XRD paterni

Ferrokrum cürufu %16 MgO ve %2.25 CaO içermektedir. Dolayısıyla bütün pişirme sıcaklıklarında MgO kristallerinin olduğu gözlemlenmiştir. P20C30K50 (Pomza %20, Ferrokrum cürufu %30, San-B kili %50) üçlü karışımında Şekil 4.19'ya bakıldığında 1100°C ve 1200°C pişirme sıcaklıklarında en baskın pikin kuvars (SiO₂) olduğu görülmektedir. 1100°C pişirme sıcaklığında $2\theta = 18 - 26^\circ$ arasında düşük amorf fazın olduğu görülmektedir. 1100°C ve 1200°C pişirme sıcaklığında kuvars fazı görülürken,

1250°C'ye pişirme sıcaklığında kuvars yerine kordiyerit fazı ağırlıklı hale geldiği görülmektedir. Şekil 4.19'da verilen XRD verilerinde 1200°C pişirme sıcaklığında amorf fazın en fazla olduğu görülmektedir.

Üçlü karışımlardan P40C10K50 (%40 Pomza, %10 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kil) numunesine ait XRD sonuçları Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Farklı sıcaklıklarda pişirilmiş P40C10K50 numunesine ait XRD paterni

P40C10K50 (Pomza %40, Ferrokrom cürufu %10, San-B kili %50) üçlü karışımında Şekil 4.20'de verilmiş XRD verilerinde 1000°C ve 1100°C pişirme sıcaklıklarında en baskın pikin kuvars (SiO₂) olduğu görülmektedir. Bütün pişirme sıcaklıklarında mullit fazı görülmektedir. 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklığında $2\theta = 18 - 26^\circ$ arasında amorf fazın olduğu görülmektedir. Bu amorf fazına en fazla 1250°C pişirme sıcaklığında rastlanılmıştır. 1250°C pişirme sıcaklığında kuvars fazının kaybolarak yerini kordiyerit fazının aldığı görülmektedir.

Kordiyerit mükemmel termal şok direnci, termal genleşme katsayısı, yüksek kimyasal dayanım, yüksek mekanik dayanım ve yüksek refrakterlik gibi özellikler katmaktadır (Shackelford and Doremus 2008).

4.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM ve EDS)

Numunelerin mikro yapı ve bölgesel element analizlerinin belirlenebilmesi amacıyla 1000, 1100, 1200 ve 1250°C sıcaklıklarında pişirme işleminden sonra EDS ve SEM analizleri yapılmıştır.

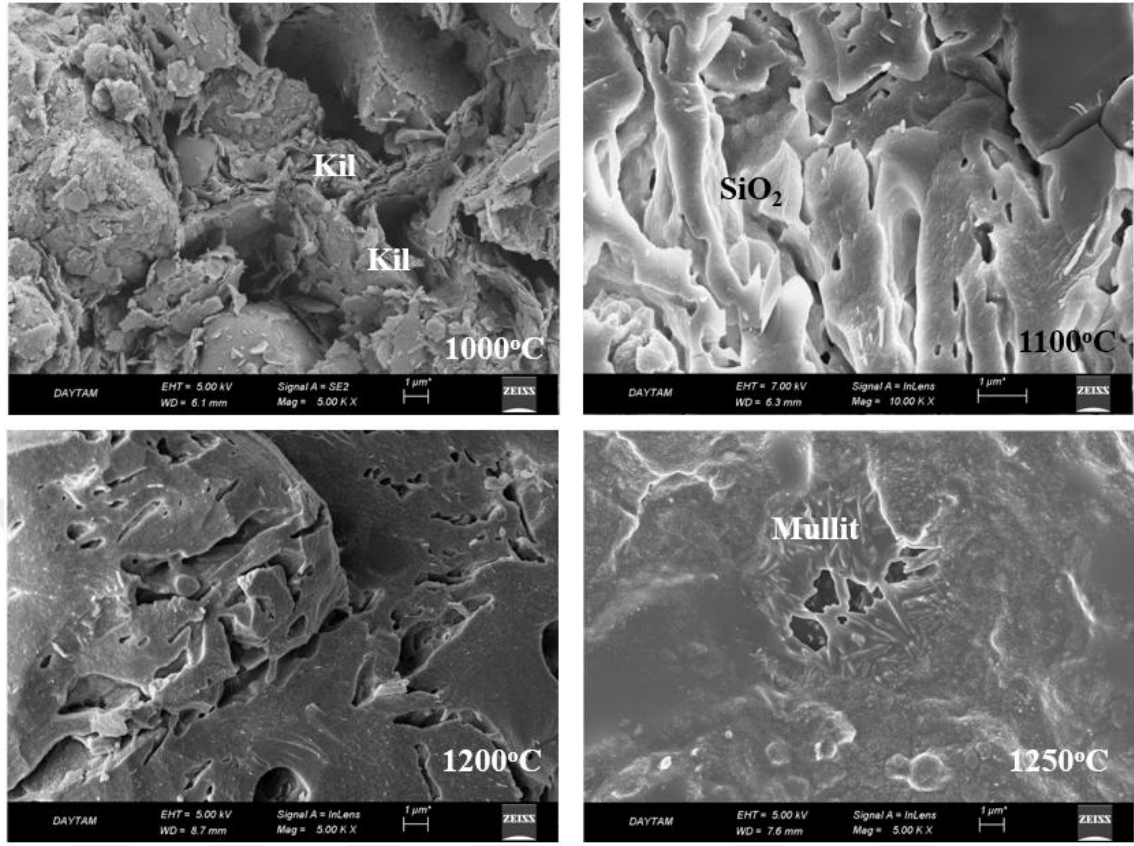
4.6.1. İkili karışımların SEM ve EDS analizleri

İkili karışımlarla oluşturulan numunelere 1000 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında bölgesel EDS analiz alınmıştır

P20K80 (%20 Pomza, %80 San-B kil) numunesi EDS analizleri Çizelge 4.25 SEM görüntüleri ise Şekil 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.25. P20K80 (%20 Pomza, %80 San-B kil) numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri

Element	1000°C	1100°C	1200°C	1250°C
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	43,5	50,98	37,59	40,43
Al	18,28	18,01	27,03	19,31
Si	30,74	27,07	20,63	33,5
K	2,4	1,35	0,88	2,76
Ti	1,15	-	1,32	0,9
Fe	3,93	1,64	12,55	2,83
Na	-	0,95	-	0,27



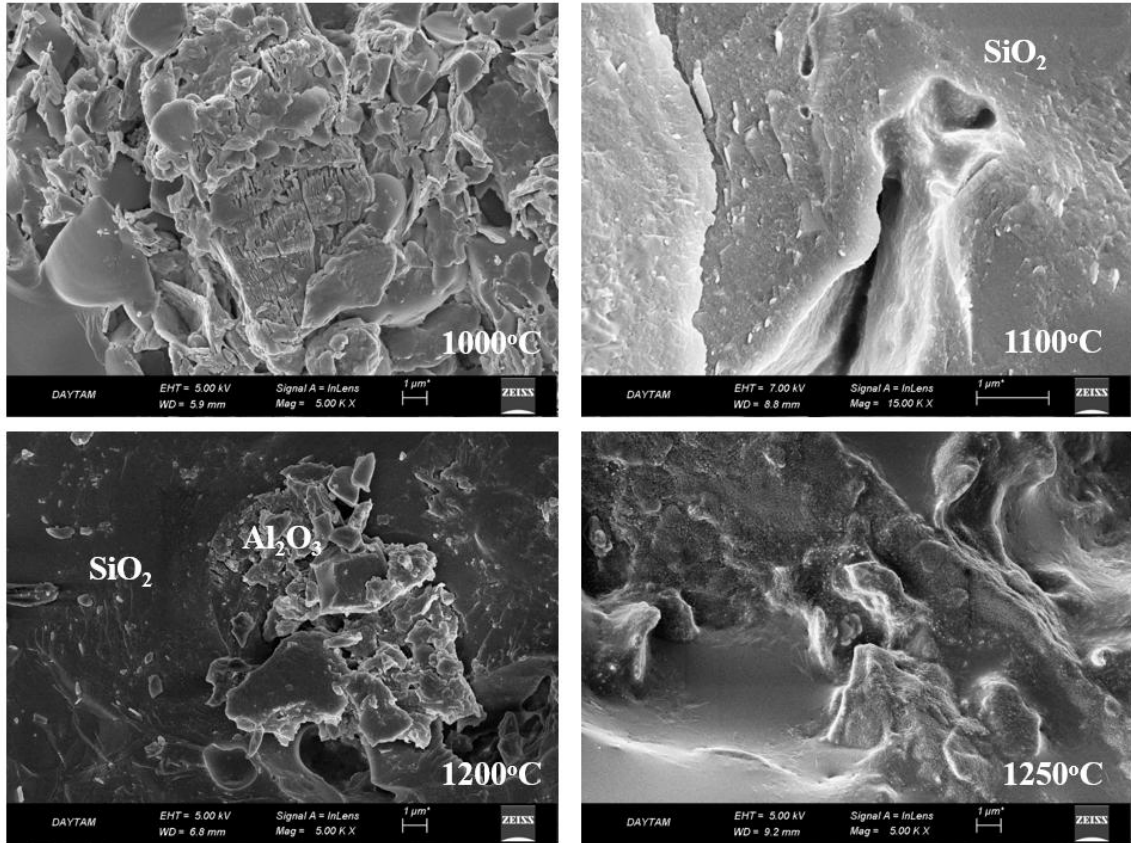
Şekil 4.21. P20K80 numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri

Çizelge 4.25’de P20K80 numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklarından alınan bölgesel EDS verilerine göre Al, Si ağırlıklı olarak görülmektedir. Bunun sebebi pomza ve kil içeriğinin yüksek miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içermesidir. Demir elementi ise yapıda az miktarda görülmektedir. 1200°C pişirme sıcaklığında demir oksit oranının arttığı görülmektedir. Şekil 4.13’te verilen P20K80 numunesinin XRD analizleri sonucunda 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında kuvars ve mullit fazlarının olduğu görülmüştü. Şekil 4.21’e bakıldığında 1000°C numunesinde killerin tabaka, tabaka olduğu görülmektedir. 1250°C pişirme sıcaklığında iğnemsisi olarak gözükken mullit fazının yapıya girdiği görülmektedir. Şekil 4.21’de verilmiş olan XRD verilerinde 1100°C pişirme sıcaklığında SiO_2 fazları görülmektedir.

P60K40 (%60 Pomza, %40 San-B kil) numunesi EDS analizleri Çizelge 4.26 SEM görüntüleri ise Şekil 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.26. P60K40 (%60 Pomza, %40 San-B kil) numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri

Element	1000°C	1100°C	1200°C	1250°C
	% Ağırlık	%Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	45,73	49,41	38,34	42,22
Al	12,3	8,93	14,05	12,81
Si	35,48	34,47	40,09	36,74
K	3,13	2,02	4,23	3,92
Ti	0,5	-	-	0,42
Fe	2,87	1,03	2,61	2,18
Na	-	3,10	0,69	1,7
Mg	-	1,03	-	-



Şekil 4.22. P60K40 numunesinin 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri

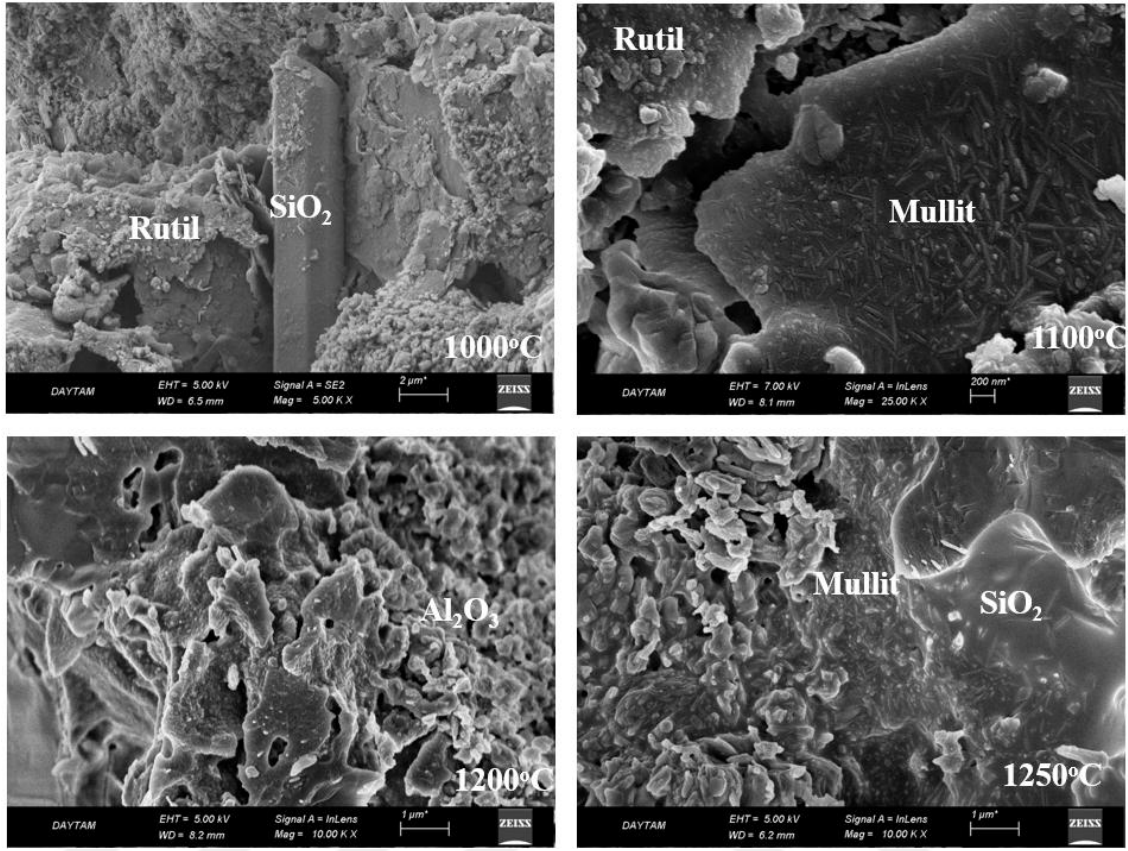
Çizelge 4.26'da görülen P20K80 numunesinin 1000, 1100, 1200°C ve 1250°C pişirme sıcaklarından alınan bölgesel EDS verilerine göre Al, Si ağırlıklı olarak görülmektedir.

Fe, Ti gibi elementler ise çok az miktarda görülmektedir. Pomza ve kilin yüksek miktarda SiO₂ ve Al₂O₃ içeriğinden dolayı Şekil 4.14’de verilen XRD pik sonuçlarında 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında kuvars ve mullit fazları görülmüştür. Artan sıcaklık ile (1000, 1100 1200 ve 1250°C) tanelerin birbirine daha sıkı bağlandığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.22’de 1200°C pişirme sıcaklığında verilen SEM görüntüsünde Al₂O₃ fazının SiO₂ fazı içerisinde dağılımı görülmektedir.

B60K40 (%60 Boksit, %40 San-B kil) numunesi EDS analizleri Çizelge 4.27 SEM görüntüleri ise Şekil 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. B60K40 (%60 Boksit, %40 San-B kil) numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri

Element	1000°C	1100°C	1200°C	1250°C
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	47,49	41,99	36,75	39,9
Al	26,34	39,55	18,6	26,43
Si	18,26	6,32	37,72	21,17
K	0,58	-	2,8	0,3
Ti	0,76	0,82	0,98	0,94
Fe	6,57	11,32	3,15	11,27

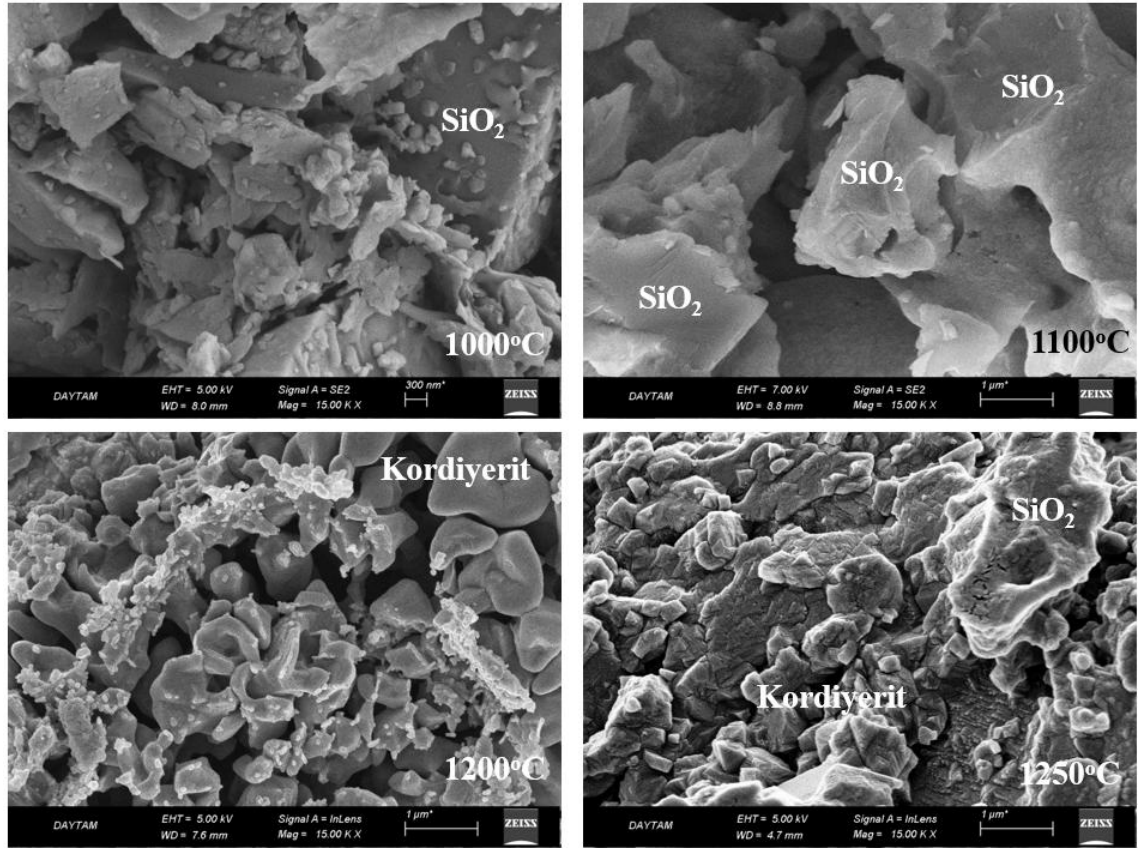


Şekil 4.23. B60K40 numunesinin 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri

Çizelge 4.27’de B60K40 numunesinin 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarındaki bölgesel EDS analiz sonuçları verilmiştir. B60K40 İkili karışımında Al, Si yüksek miktarlarda görülmüştür. Fe elementi bütün pişirme sıcaklıklarında görülmüştür. Artan sıcaklık (1000, 1100 1200, 1250°C) ile silikanın polimorfu olan kuvars, kristobalite ve tridimite dönüşmektedir. Kuvarstan tek farkı bağların yapısıdır. Kristobalit ve tridimite yapıya sertlik, mukavemet artışı ve yüksek termal şok direnci özellikleri katmaktadır. Şekil 4.23’te verilen SEM görüntüsünde 1000°C pişirme sıcaklığında rutil gösterilmiştir. 1200°C pişirme sıcaklığında Al_2O_3 fazlarının dağılımı, 1250°C pişirme sıcaklığında ise mullit ve SiO_2 fazları görülmektedir. C60K40 (%60 Ferrokrom cürufu, %40 San-B kil) numunesi EDS analizleri Çizelge 4.28 SEM görüntüleri ise Şekil 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. C60K40 (%60 Ferrochrom cürufu ,%40 San-B kil) numunesinin 1000, 1100 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri

Element	1000°C	1100°C	1200°C	1250°C
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	44,22	29,27	43,31	42,66
Mg	9,03	15,54	11,06	0,03
Al	16,32	20,88	17,65	13,81
Si	25,69	2,43	23,95	36,29
K	0,2		0,48	2,64
Ti	0,68		-	0,37
Cr	2,75	25,12	2,75	0,72
Fe	1,12	6,76	0,8	3,49



Şekil 4.24. C60K40 numunesinin 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri

Çizelge 4.28’de C60K40 numunesinin 1000, 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında alınan bölgesel EDS analiz sonuçları verilmiştir. Ferrochrom cürufu Al, Si elementi dışında Mg ve K elementlerini de içermektedir. C60K40 numunesinin Şekil

4.16’da verilen XRD verilerinde 1200°C ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında kuvars ve kuvarsın polimorfusu olan kristobalit fazına rastlanmıştır. 1200°C ve 1250°C sıcaklıklarında kordiyerit fazına da rastlanmıştır. Şekil 4.24’de verilen SEM görüntülerinde 1200°C ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında kordiyerit fazları gösterilmiştir. 1000, 1100 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında SiO₂ fazlarının dağılımı görülmektedir.

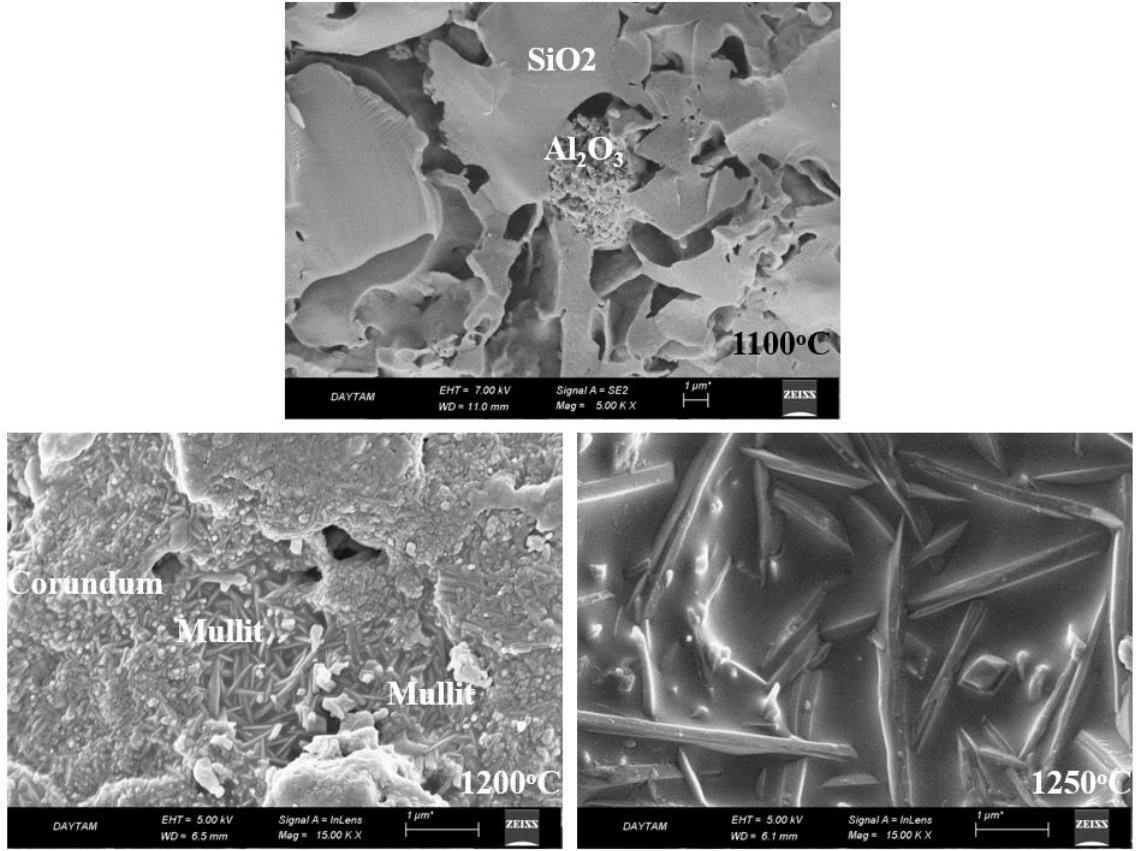
4.6.2 Üçlü karışımların SEM ve EDS analizleri

Pişme küçülmesi, ateş zayıyatı ve su emme oranları testlerinde ikili karışımlarda 1000°C pişirme sıcaklığında değerlerin yüksek çıkmasından dolayı 1000°C pişirme sıcaklığında üçlü karışımlar deneyleri yapılmamıştır. Bölgesel EDS analiz sonuçları Çizelge 4.29, Çizelge 4.30, Çizelge 4.31 ve Çizelge 4.32’de gösterilmiştir.

P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kil) numunesi EDS analizleri Çizelge 4.29 SEM görüntüleri ise Şekil 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.29. P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kil) numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarının bölgesel EDS analizleri

Element	1100°C	1200°C	1250°C
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	46,22	42,29	40,95
Al	11,39	20,6	19,13
Si	36,03	29,94	30,39
K	3,02	1,99	2,04
Ti	-	0,69	0,93
Fe	1,47	4,49	6,16
Na	1,86	-	0,39



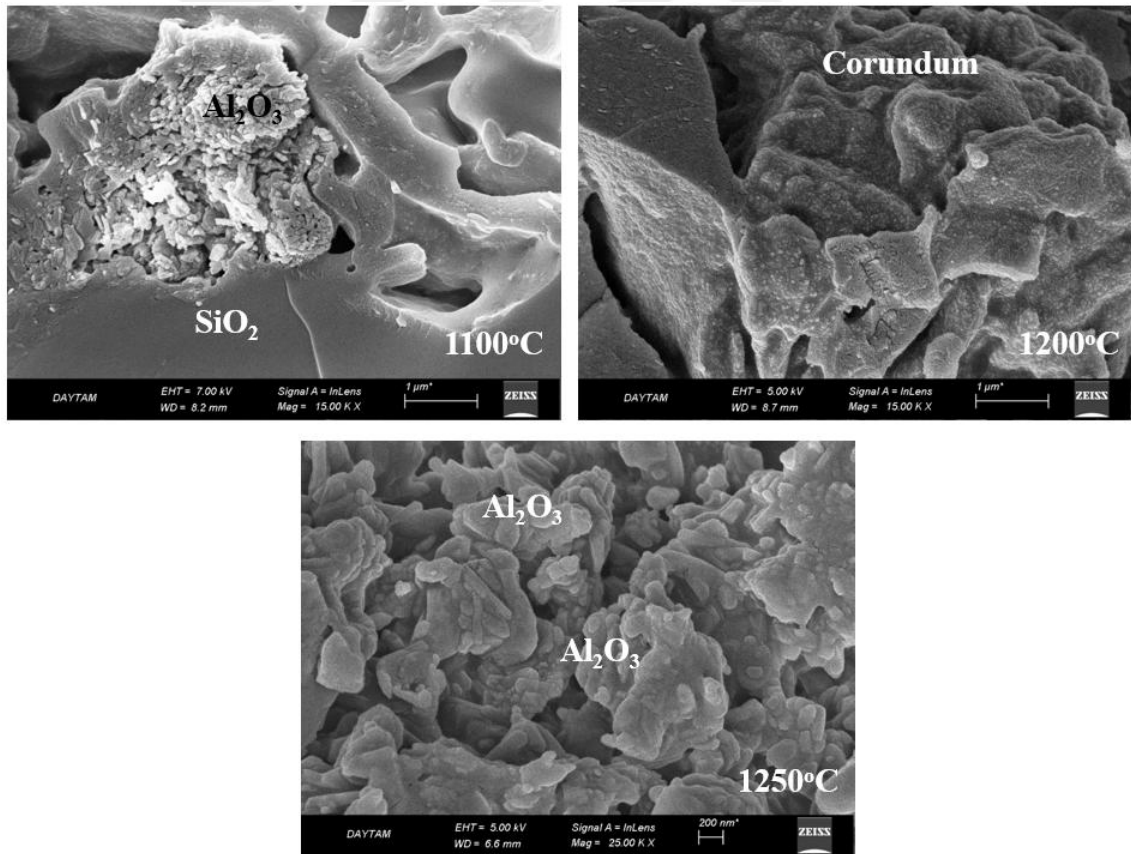
Şekil 4.25. P20B30K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri

Çizelge 4.29’da P20B30K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında bölgesel EDS analizleri verilmiştir. Al, Si elementinin yanında %4-6 arasında Fe elementinin olduğu görülmektedir. Şekil 4.17’ de verilen P20B30K50 XRD verilerinde 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında kuvars ve mullit fazlarının olduğu görülmektedir. 1200°C pişirme sıcaklığında korundum fazına rastlanmıştır. Şekil 4.25’de SEM görüntülerindeki parlak yapıdan da anlaşıldığı gibi XRD analizleri sonucunda amorf bir faz mevcuttur. Şekil 4.25’de 1200°C pişirme sıcaklığında mullit ve korundum fazları gösterilmiştir. 1250°C pişirme sıcaklığında iğnemsî yapıda olan mullitin yakından görünümü verilmiştir. 1100°C pişirme sıcaklığında Al₂O₃, SiO₂ fazları içerisinde topak halinde birikmiştir.

P40B10K50 (%40 Pomza, %10 Boksit, %50 San-B kil) numunesi EDS analizleri Çizelge 4.30 SEM görüntüleri ise Şekil 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. P40B10K50 (%40 Pomza, %10 Boksit, %50 San-B kil) numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları bölgesel EDS analiz sonuçları

Element	1100	1200	1250
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	45,02	32,61	47,57
Mg	-	27,69	3,12
Al	51,35	7,49	13,4
Si	1,74	27,70	32,55
K	-	2,27	1,12
Cr	-	4,05	1,23
Fe	1,89	0,43	1,01



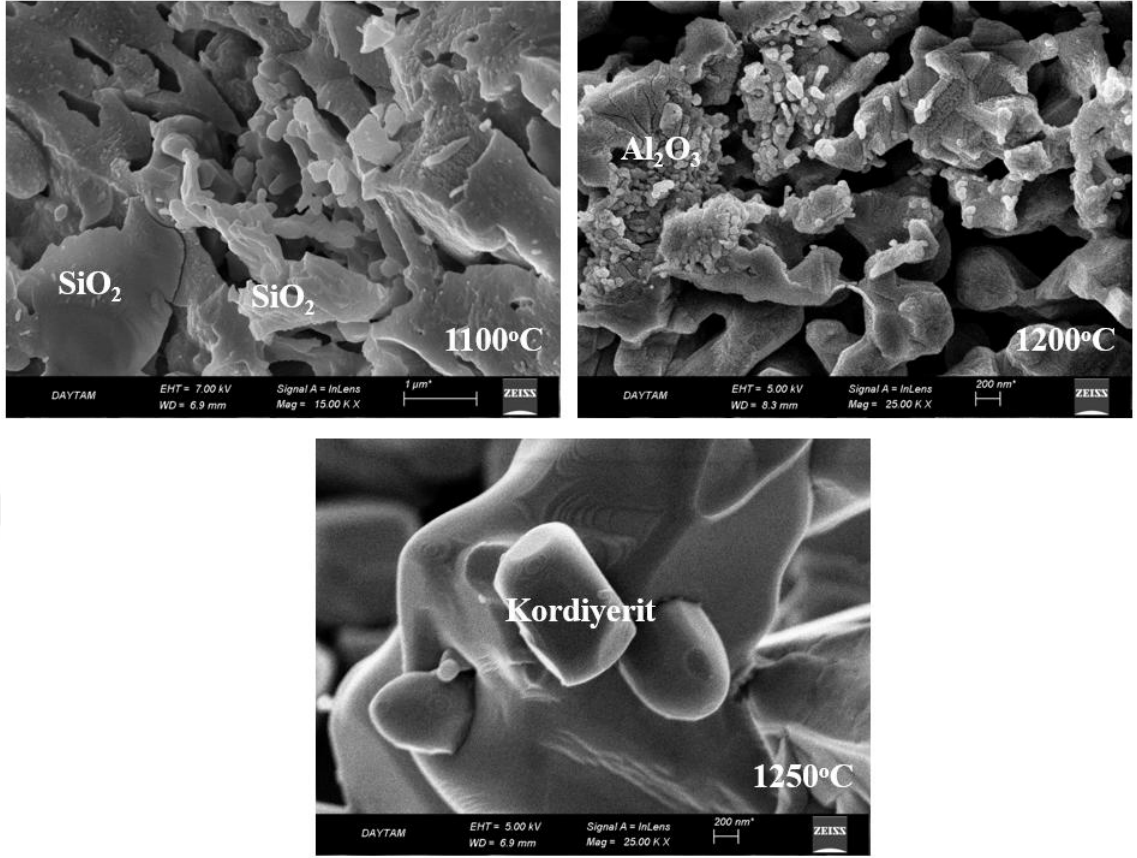
Şekil 4.26. P40B10K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri

Çizelge 4.30'da P40B10K50 bölgesel EDS analiz sonuçları verilmiştir. Al, Si ve Mg elementine rastlanmıştır. Şekil 4.18'de verilen XRD verilerine göre 1100°C pişirme sıcaklığında kuvars, mullit ve korundum fazlarına rastlanmıştır. Şekil 4.26' verilen SEM görüntüsünde 1100°C pişirme sıcaklığında SiO₂ fazlarının arasında Al₂O₃ fazı görülmektedir. P40B10K50 numunesinin 1200°C pişirme sıcaklığında korundum fazı gösterilmiştir. Şekil 4.30'ta verilen SEM görüntüsünde 1250°C pişirme sıcaklığında Al₂O₃ fazının yapı içerisindeki dağılımı görülmektedir.

P20C30K50 (%20 Pomza, %30 Ferrokrom Cürufu, %50 San-B kil) numunesi EDS analizleri Çizelge 4.31 SEM görüntüleri ise Şekil 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.31. P20C30K50 (%20 Pomza, %30 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kil) numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları bölgesel EDS analiz sonuçları

Element	1100°C	1200°C	1250°C
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	45,77	33,24	31,64
Al	8,61	9,35	16,03
Si	41,69	52,01	39,81
K	2,87	3,90	4,54
Ti	-	-	1,04
Fe	1,07	1,50	6,94



Şekil 4.27. P20C30K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları SEM görüntüleri

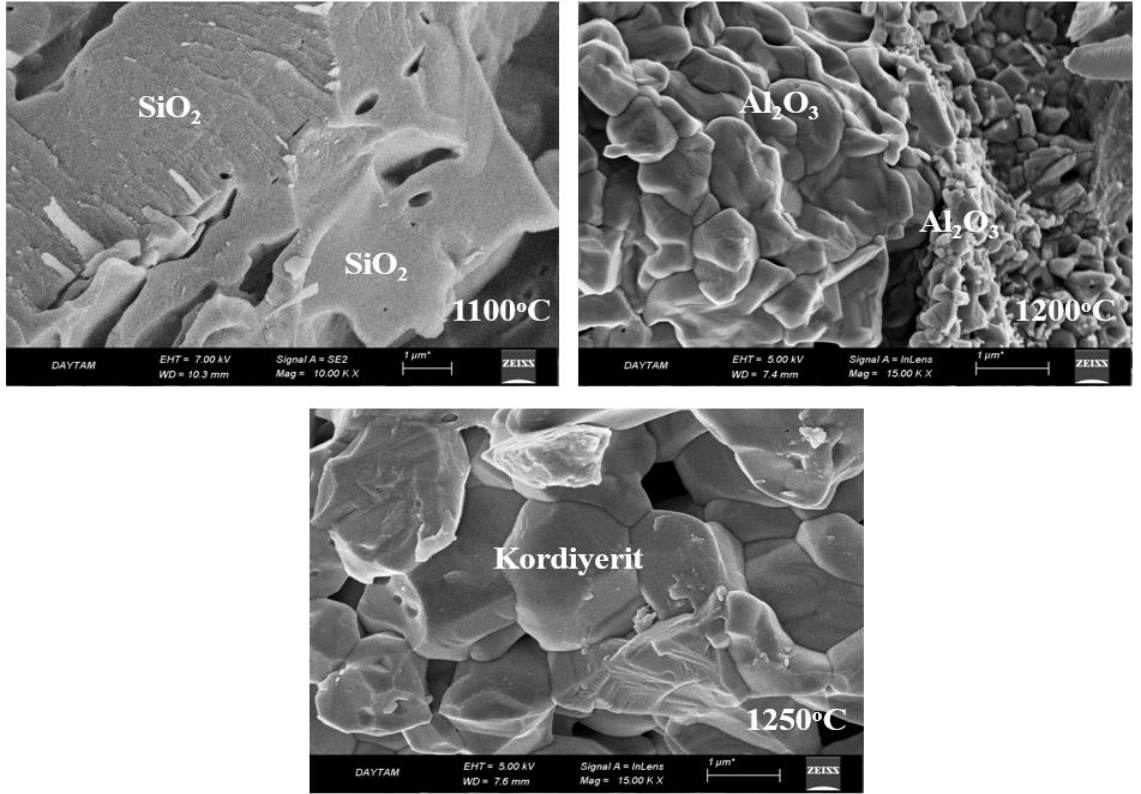
Çizelge 4.31’de P20C30K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıklarında bölgesel EDS analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 4.19’da verilen XRD sonuçlarına göre ferrokrom cürufunun magnezyum, kalsiyum ve sodyum elementlerinin var oluşu magnezyum alüminyum oksit, kuvars, sodyum alüminyum silikat ve kalsiyum silikat fazlarını oluşturmuştur. Şekil 4.27’te verilen 1100°C pişirme sıcaklığındaki SEM görüntüsünde SiO₂ fazlarının, 1200°C pişirme sıcaklığında ise Al₂O₃ fazlarının yapı içerisindeki dağılımı görülmektedir. Şekil 4.27’te verilen 25.00 KX büyütmedeki SEM görüntüsünde Kordiyerit tanecik halinde görülmektedir.

Kordiyerit seramiklere düşük termal genişleme katsayısı, mükemmel şok direnci, yüksek termal ve kimyasal kararlılı, yüksek frekans bölgesinde düşük dielektrik sabiti ve bulk gözenekli yapılarda geniş yüzey alanı gibi özellikler katmaktadır (Kobayashi, Sumi *et al.* 2000).

P40C10K50 (%40 Pomza, %10 Ferrokrom Cürufu, %50 San-B kil) numunesi EDS analizleri Çizelge 4.32 SEM görüntüleri ise Şekil 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.32. P40C10K50 (%40 Pomza, %10 Ferrokrom cürufu, %50 San-B kil) numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklıkları bölgesel EDS analiz sonuçları

Element	1100°C	1200°C	1250°C
	% Ağırlık	% Ağırlık	% Ağırlık
O	45,91	43,80	44,42
Mg	0,70	2,20	9,51
Al	22,85	7,95	16,4
Si	25,89	41,08	24,58
K	1,72	3,87	0,01
Cr	-	-	3,83
Fe	1,19	1,10	1,25



Şekil 4.28. P40C10K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C ve pişirme sıcaklıklarına ait SEM görüntüleri

Çizelge 4.32’DE P40C10K50 numunesinin 1100, 1200 ve 1250°C pişirme sıcaklığındaki bölgesel EDS analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 4.20’de verilen 1200°C’de pişirilmiş XRD analizleri sonucunda yapıda magnezyum alüminyum oksit, kuvars ve mullit fazları görülmektedir. Şekil 4.28’de verilen 15.00 KX de büyütülmüş SEM görüntüsünde Al_2O_3 fazlarının dağılımları görülmektedir. P40C10K50 1250°C’de pişirilen numunesinin XRD sonuçlarına göre kordiyerit ve mullit fazlarına rastlanmıştır. Şekil 4.28’de 15.00 KX de büyütülmüş SEM görüntüsünde kordiyerit fazının dağılımı görülmektedir.

Kordiyerit miktarı arttıkça karışımların pişme aralığı daralmaktadır. 1300°C altında kordiyerit fazının yüzdesi azalmaktadır. 1450°C’ye çıkıldığında mullit ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) ve forsterit ($2MgO \cdot SiO_2$) şeklinde bozunur. Kordiyeritin genleşme katsayısı düşüktür. Fakat forsterit ve mulliti yüksektir (Kalinçimen *et al.* 2015).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Türkiye'deki hammaddelerden pomza ve endüstriyel atık olan ferrokrom cürufu ve boksit kullanılarak farklı kompozisyonlar ile hazırlanmış karışımlardan slip döküm yapılarak 1000, 1100, 1200 ve 1250°C'de pişirilerek vitrifiye seramik numunelerin elde edilmesi ve elde edilen vitrifiye seramik numunelerin karakterizasyonu yapılmıştır.

- Pomza, ferrokrom cürufu ve boksit atıklarının toz boyutları 150 mikron altı kullanılmıştır. 150 mikron üstü kullanılan numunelerde homojen bir karışım olmadığından pürüzlü bir yüzey elde edilmiştir. Pişirme sırasında taneler birbirlerine düzgün bir şekilde bağlanmayacaktır. Dolayısıyla mullit, kuvars gibi vitrifiye seramikler için istenilen fazlar gerçekleşmeyecektir. Tane boyutları ne kadar indirgenebilirse döküm o denli güzel gerçekleşecektir.
- Alçı kalıp yapılırken en önemli etken; alçının su miktarı ve her yüzeyindeki et kalınlığının eşit olmasıdır. Su miktarı en ideal 1 birim suya 1,35 alçı dökülmesi ile elde edilmiştir. Et kalınlığının ise hazırlanan numune döküldüğünde yanlardan ve alttan eşit miktarlarda suyu çekmesi daha düzgün döküm yapılmasını sağlamıştır.
- Numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra alçı kalıpların etüvde kurutulması gerekmektedir. Kurutulmayan alçı kalıplar döküm sırasında bünyesine alacağı su miktarını daha yavaş nüfuz edecektir. Bu sebeple numunenin her yerinde et kalınlığı eşit olmayacaktır.
- Dökümde kullanılan su miktarının %50-%60 arasında olması istenilen boyuttaki et kalınlığının oluşmasını sağlamıştır. Daha az su kullanılan dökümlerde et kalınlığının az, daha fazla su kullanılan dökümlerde ise et kalınlığının daha fazla olduğu görülmüştür.
- Laboratuvar şartlarında karıştırma işleminin 10-15 dakika arası tutulması gerekmektedir. Karıştırma işlemi ilk başlarda 2, 3 dakika olarak yapılmıştır. Bunun neticesinde kalıplara dökülen numuneler suyu düzgün bir şekilde emmemekle birlikte gözenekli ve pürüzlü yüzeyler elde edildiği görülmüştür.

- Numuneler pişirme işleminde 3 saat süre ile istenilen sıcaklıklara çıkmıştır ve maksimum sıcaklığa ulaştığında 15, 30 ve 45 dakika bekletilmişlerdir. Bekletme sürelerinin ayrı ayrı etkisi sonucunda ateş zayıyatı, su emme oranı, pişme küçülmesi ve kuru küçülme oranlarında herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. Bu sebeple bekleme süreleri yapılmadan, istenilen sıcaklığa ulaştığında fırın kontrollü soğumaya alınmıştır. Dolayısıyla kontrollü olarak pişirilen vitrifiye seramik numunelerin pişirme sıcaklığına ulaştığında bekletilmesine gerek yoktur.
- İkili karışımlar ile oluşturulan numunelerde artan pişirme sıcaklığı (1000, 1100, 1200 ve 1250°C) ile pişme küçülmesi oranlarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.3'e bakıldığında sırasıyla P20K80 (Pomza %20, San-B kili %80), B60K40 (Boksit %60, San-B kili %40) 1000°C'de taban boy pişme küçülmesine rastlanmamıştır. Buradan anlaşıldığı üzere 1000°C pişirme sıcaklığı yetersiz olmuştur. Elde edilen numunelerde de kırılğan bir yapı elde edilmiştir. Çizelge 4.4'e bakıldığında ise ferrokrom cürufu ile oluşturulan vitrifiye seramikte küçülmenin en az olduğu görülmüştür.
- İkili karışımlardan 1000°C pişirme sıcaklığının yetersiz oluşundan dolayı üçlü karışımlarda 1000°C kullanılmamıştır. Artan pişirme sıcaklığı ile pişme küçülmelerinde orantılı olarak artma olduğu görülmüştür. Bütün numunelerde birbirine yakın pişme küçülmesi değerleri görülmüştür. Dolayısıyla üçlü karışımlarla oluşturulan vitrifiye seramik numunelerinde artan pişirme sıcaklığı ile reaksiyonların oluşumu ile yapıdan uzaklaşan gazlar, pişme küçülmesi oranını arttırmıştır.
- Ateş zayıyatı oranları da pişme küçülmesi ile benzerlik göstermiştir. Pişirme sıcaklığı 1000°C'de hiçbir deneyde istenilen değerler elde edilememiştir.
- Su emme oranlarında 1000°C'de bünyenin çok fazla gözenekli oluşu, yüzeyin su emmeye açık oluşu sebepleriyle su emme oranları da çok fazla olmuştur.
- Su emme testleri ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda %20 pomza kil karışımının 1250°C'de gözeneksiz bir yapı oluşturduğu gözlemlenmiştir. (Çizelge 4.17)
- %60 pomza kil karışımında su emme oranı 1250°C'de sıfır olarak görülmektedir. (Çizelge 4.18)

- Artan pomza miktarı yapıyı gözeneksiz hale getirmektedir. Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20'ye bakıldığında boksit ve ferrokrom cürufunun kil ile tek başına kullanımında su emme oranının çok yüksek çıkmasından dolayı uygun sonuçlar elde edilememiştir.
- Üçlü karışımlarla oluşturulan vitrifiye seramik numunelerinde, ikili karışımlara göre su emme oranlarında azalma olduğu görülmüştür. Çizelge 4.22'ye bakıldığında P40B10K50 (%40 pomza, %10 boksit, %50 kil) 1250°C pişirilen numunesinde su emme oranı sıfır olarak görülmektedir. Pomzanın boksit ile kullanımı yapıyı gözeneksiz hale getirmiştir.
- XRD sonuçlarında İkili karışımlarda pomza ile oluşturulan P20K80 (%20 pomza, %80 San-B kil) ve P6K60 (%60 pomza, %40 San-b kil) numunelerinde kil ve pomzadaki Al, Si elementlerinin miktarca yüksek olması yapıda sadece kuvars ve mullit fazlarının oluşmasını sağlamıştır.
- 1000°C pişirme sıcaklığı ile üretilen P20K80 ve P60K40 numunelerinde oldukça gözenekli bir yapı olduğundan dolayı kırılabilir durumdaydılar. Dolayısıyla 1000°C pişirme sıcaklığının bütün numunelerde çok dayanıksız olduğu anlaşılmıştır.
- Boksit ile oluşturulan ikili karışımların XRD sonuçlarında yapıda kuvars fazı ve polimorfu (fazların dönüşümü) olan kristobalite ve tridimite rastlanmıştır. Bu durum yapıyı daha sağlam hale getirmiştir. Laboratuvar şartlarında üretilen numuneler el ile hiçbir şekilde kırılmayıp zımparaya tutulduğunda bile uzun süre dayanmıştır. Yapıdaki Fe elementinin var oluşu numuneleri kahverengi sarı arası bir renge büründürmüştür. Bu renk seramiklerde genelde istenmez fakat vitrifiye seramik üretiminde sır sürülerek dış yüzey beyaz, parlak hale getirilmektedir.
- Ferrokrom cürufu ile oluşturulan ikili karışımların XRD sonuçlarında 1000°C ve 1100°C pişirme sıcaklıklarında sadece Mg ağırlıklı fazların görüldüğünü, artan pişirme sıcaklığı ile (1200°C ve 1250°C) kuvars fazların oluştuğunu gözlemlenmişti. Bu durumda ferrokrom cürufu için 1000°C ve 1100°C pişirme sıcaklıkları yetersiz olmuştur. 1250°C'de üretilen ferrokrom cürufu kuvars ve polimorfu olan kristobalit fazı ile vitrifiye seramikte üretime uygun olduğu anlaşılmıştır.
- P20B30K50 (%20 Pomza, %30 Boksit, %50 San-B kil) ve P40B10K50 (%40 Pomza, %10 Boksit, %50 San-B kil) üçlü karışım numunelerinde kuvars, mullit ve korundum

fazlarına rastlanmıştır. Pomza ve kilin yüksek Al, Si elementleri içeriği, boksitin ise yüksek Al içermesi kuvars ve mullit fazlarının oluşumunu sağlamıştır.

- P20C30K50 ve P40C10K50 üçlü karışım numunelerinde pomza, ferrokrom cürufu ve kilin yüksek Al, Si içerikleri yapıların hepsinde mullit fazının oluşmasını sağlamıştır. Sadece ferrokrom cürufun içerisinde %16 oranında MgO içeriğinin olması kordiyerit oluşumunu gerçekleştirmiştir. Mullit yapıya dayanıklılık, kordiyerit ise termal şoklara karşı dayanıklılık sağlamaktadır.
- Pomza 1100°C pişirme sıcaklığından sonra camsı faza geçtiği için pomza ile oluşturulan bütün numunelerde amorf fazı oluşmuştur.

Her geçen gün artmakta olan atıkların geri dönüşümünü sağlayabilmemiz için yola çıktığımız bu yüksek lisans tezinde, ferrokrom cürufu ve boksitin slip döküme elverişli olduğunu ve vitrifiye seramik üretiminde kullanılabilirliğinin uygun olduğu deneysel çalışmalar sonucunda ortaya çıkarılmıştır.

KAYNAKLAR

- Açıkbaş, G. ve Göçmez, H., 2017. "Polyester matrisli kompozit özelliklerine vitrifiye seramik sağlık gereci atık miktarının etkisi." Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 5(3): 138-145.
- Kılınç, E., 2005. İzmir-Menderes Yöresi Pomza Cevherinin Kullanımına Yönelik Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s278, İzmir.
- Aksöz, S., Özdemir, A.T. ve Çalın, R., 2013. "Sinterleme, Yaşlandırma Ve Kriyojenik Isıl İşlemlerinin AA2014-B4C Kompozit Yapısına ve Mekanik Özelliklerine Etkileri." Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 28(4).
- Arcasoy, A., 1988. Seramik teknolojisi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Ateşer, H.O., 2010. Amorf Silika Seramiklerin Andaluzit Katkısıyla Sinterlenme Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Aydoğan, U., Bilen, M. and Gürü M., 2011. "Anortit Seramik Malzeme Üretiminde Uçucu Kül Ve Borik Asitin Kullanılabilirliği." Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University 26(4).
- Berberoğlu, F. E., 2015. "Seramik Form ve Yüzeylerde Organik Doku Araştırmaları."
- Çelik, M.Y. ve Yılmaz, S., 2018. "Statik, tuzlu ve asidik sulu ortamların Afyonkarahisar yöresinde yapı taşı olarak kullanılan gözenekli yapıtaşlarının kılcal su emme potansiyeline etkisi." Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University 33(2).
- Çevikel, Ü. İ., 2010. Özel betonarme yüzme havuzlarında kaplama malzemesi olarak PVC, cam mozaik ve seramik karoların uygulama yönünden karşılaştırılması, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Demirel, B. ve Nasıroğlu, S., 2017. "Bor Mineralleri ve Atıklarının Çimentoda Kullanılma Stratejileri." Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 29(1): 95-100.
- Drescher F.K. and Kaden, F. K., 2013. Die Feldspat-Quarz-Reaktionsgefüge der Granite und Gneise und ihre genetische Bedeutung, Springer-Verlag.
- Ceylan, B.T., 2019 Erzurum Yöresinde çıkartılan Pomza ve Perlitin Seramik Sanayisinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Atatürk Ünivrsitesi, , Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Duman, Ş., 2009. Püskürtmeli Kurutma Tekniği İle Zno-pva Kompozit Tozlarının Hazırlanması Ve Bu Tozların Yüksek Sıcaklık Davranışlarının Etüdü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*/
- Evans, K., 2016. "The history, challenges, and new developments in the management and use of bauxite residue." Journal of Sustainable Metallurgy 2(4): 316-331.
- Gaje, M., Partyka, J., Rapacz-Kmita, A. and Gasek, K., 2017. "Development of anorthite based white porcelain glaze without ZrSiO4 content." Ceramics International 43(2): 1703-1709.

- Geçkinli, A. E., 1991. İleri teknoloji malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Girgin, İ., 1984. "Boksit dışı kaynaklardan alümina üretimi." *Bilimsel Madencilik Dergisi* 23(3): 7-14.
- Hasan, S. ve Kurama., 2013. "Seramik Sağlık Gereçleri Bünyelerinde Camsı Faz Kompozisyonunun Pişirim Sıcaklıklarına Etkisi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 28(3).
- Hillig, W. B., 1993. "A methodology for estimating the mechanical properties of oxides at high temperatures." 76(1): 129-138.
- İpekoğlu, B., Kurşun, İ., Bilge, Y. ve Barut, A., 1997. "Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış. 2." *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*. Köse H, Arslan V, 16-17.
- Jack, K., 1983. The Characterization of α' -Sialons and the α - β Relationships in Sialons and Silicon Nitrides. *Progress in Nitrogen Ceramics*, Springer: 45-60.
- Kalınçimen, G., Öztürk, A., Kaplan, G. ve Yıldız, S., 2015. "Seramik atıklarının çimento ikame malzemesi olarak kullanılması ve asit dayanıklılığının incelenmesi." 1(1): 9-16.
- Karagöz, Ö. G. S., 2008. Malzeme Bilgisi, Adnan Menderes Üniversitesi, AYMYO Yayınları Ders Notu No: 00, Aydın.
- Kobayashi, Y., Sumi, K. and Kato, E., 2000. "Preparation of dense cordierite ceramics from magnesium compounds and kaolinite without additives." 26(7): 739-743.
- Lind, B.B., Fallman, A.M. and Larsson, L.B., 2001. "Environmental impact of ferrochrome slag in road construction." 21(3): 255-264.
- Liu, C., Liu, L., Tan, K., Zhang, L., Tang, K. and Shi, X., 2016. "Fabrication and characterization of porous cordierite ceramics prepared from ferrochromium slag." *Ceramics International* 42(1): 734-742.
- Özkal, B., 2001. Bakır kaplanmış volfram tozlarının karşılaştırmalı sinterleme incelemeleri, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Özkan, Ş. G., Tuncer, G. ve Twicer, G., 2001. "Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış, 4." 18-19.
- Özmen, K., 2007. Pomzanın Vitrifiye Seramik Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Palacı, Y., 2001. Alüminanın özelliklerine şekillendirme yönteminin, katkıların ve sinterleme sıcaklığının etkisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Peyk, C. Ü., 1994. Sodor/Konya doğal magnezit atık tozlarının sinterlenme ve karakterizasyonu, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sahu, N., Biswas, A. and Kapure, G.U., 2016. "A Short Review on Utilization of Ferrochromium Slag." *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 37(4): 211-219.
- Samal, S., Ray, A.K. and Bandopadhyay, A., 2013. "Proposal for resources, utilization and processes of red mud in India—a review." *International Journal of Mineral Processing* 118: 43-55.

- Sekulić, Ž., Canić, C., Bartulović, Z. and Daković, A., 2004. "Application of different collectors in the flotation concentration of feldspar, mica and quartz sand." *Minerals engineering* 17(1): 77-80.
- Shackelford, J. F. and Doremus, R.H., 2008. "Ceramic and glass materials."
- Steinhauser, G., Sterba, J.H., Oren, E., Foster, M. and Bichler, M., 2010. "Provenancing of archeological pumice finds from North Sinai." *Naturwissenschaften* 97(4): 403-410.
- Şahin, Ö., 2013. Anhidrit İçeren Polimer Organo-Kil Nanokompozitlerinin Tasarımı, Sentezi ve Karakterizasyonu, 25-36.
- Tümen, F., Boybay, M., Cici, M. ve Bildik, M., 1991. "Elazığ Ferrochrom Fabrikası ve Keban Simli-Kurşun İşletmesi Katı Atıklarının Kirlilik Potansiyeli." 15: 464-448.
- Uçar, T., 2008. Sanatsal seramiklerin yapımında kullanılan çamura fiber katkısı sonucu ürün özelliklerinin incelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uludağ, K., 1997. "Seramik sanatının kimlik sorunu, Güzel Sanatlar Fakültesi, Eskişehir.
- Uygun, F., 2011. Seramik Çamurunda Kullanılan Silikat İçeriğinin Döküm Özelliklerine Etkisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ülgen, D., 2007. Madencilik Yatırımlarında Risk Analizi ve Bir Uygulama, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wang, P. and D.-Y. Liu., 2012. "Physical and chemical properties of sintering red mud and bayer red mud and the implications for beneficial utilization." *Materials* 5(10): 1800-1810.

ÖZGEÇMİŞ

04.04.1992'de Zonguldak merkezde doğdu. İlkokul ve ortaokul eğitimini Alaplı/Zonguldak ilçesi Tepekent İlk Öğretim Okulunda bitirdi. Lise öğrenimini Akçakoca/Düzce Anadolu Lisesinde tamamladı. 2012 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. Yine 2017 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Üretim Metalurjisi Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

