

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİLİS DUMANININ PORSELEN SEKTÖRÜNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Met. ve Malz. Müh. Tuğrul Can ASLAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZ. MÜH.**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Recep ARTIR**

**Bu tez 25 / 08 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Jüri Başkanı**

**Üye**

**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Recep ARTIR Prof. Dr. Cuma BİNDAL Yrd. Doç. Dr. Zafer TATLI**

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİLİS DUMANININ PORSELEN SEKTÖRÜNDE  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Met. ve Malz. Müh. Tuğrul Can ASLAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZ. MÜH.**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Recep ARTIR**

**AĞUSTOS 2006**

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana fikir ve görüşleriyle destek veren danıőman hocam Yrd. Doç. Dr. Recep ARTIR 'a, bölüm baőkanımız Sn. Prof. Dr. Cuma BİNDAL' a ,Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca benden desteğini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Őenol YILMAZ' a, ve laboratuvar çalıőmalarımda bana yardımcı olan Sn. Ersan DEMİR' e ve arkadasım Bülent SÜMER' e son olarak öğrenim hayatım boyunca bana destek veren aileme teőekkürü bir borç biliyorum.

Tuğrul Can ASLAN

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2.	
SERAMİKLER ve SERAMİK HAMMADDELER .....	2
2.1. Seramik Hammaddeleri .....	3
2.1.1. Özlü seramik hammaddeleri (Killer) .....	4
2.1.1.1. Killerin kullanım alanlarına göre sınıflandırılması.....	4
2.1.1.2. Killerin mineorolojik sınıflandırması.....	8
2.1.1.3. Killerin kullanım alanları ve teknolojisi.....	10
2.1.2. Özsüz seramik hammaddeleri.....	10
2.1.2.1. Kuvars.....	11
2.1.2.2. Feldspat.....	12
2.1.2.3. Kireç taşı ve dolomit.....	13
2.1.2.4. Talk.....	14
2.1.2.5. Magnezit.....	15
2.2 .Üretim Yöntemleri.....	16
2.2.1. Presle şekillendirme .....	16
2.2.2. Plastik şekillendirme .....	16
2.2.3. Dökümle şekillendirme .....	16
2.2.4. Pişirme.....	17



2.2.5. Su uzaklaştırma, yanma ve bozunma tepkimeleri .....	17
2.3. Seramiklerin sınıflandırılması .....	18
2.3.1. Geleneksel Seramikler .....	19
2.3.2. İleri Teknoloji Seramikleri .....	19
BÖLÜM 3.	
PORSELEN .....	21
3.1. Porselenin Tanımı ve Tarihçesi.....	21
3.2. Porselenin Sınıflandırılması .....	25
3.2.1. Sert Porselen .....	27
3.2.2. Yumuşak Porselen.....	31
3.3. Porselen Üretimi .....	34
3.3.1. Porselen çamurun hammaddeleri.....	34
3.3.2. Porselen Çamurun Şekillendirilmesi.....	36
3.3.3. Porselenin Kurutulması .....	36
3.3.4. Porselenin Bisküvi Pişirimi .....	37
3.3.5. Porselenin Sırlanması.....	37
3.3.6. Porselenin Pişirilmesi.....	39
BÖLÜM 4.	
SİLİS DUMANI VE KULLANIM YERLERİ.....	45
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	46
5.1. Deneysel Programı.....	46
5.2. Toz ve Bileşim Hazırlama.....	46
5.3. Şekillendirme .....	49
5.4. Kurutma ve Pişirme .....	49
5.5. Sinterlenmiş numunelerin karakterizasyonu .....	50
5.5.1. Toplu ağırlık kaybı, toplu pişme ve hacimsel küçülmenin Hesaplanması.....	50
5.5.2. Bulk yoğunluk ve görünür gözenek miktarının tespiti.....	50

5.5.3. Su emme testi.....	51
5.5.4. Mikro Yapı İncelemesi ve numune hazırlama.....	52
5.5.4.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları.....	52
5.5.4.2. X-ışınları difraksiyon analizi (XRD).....	52
<b>BÖLÜM 6.</b>	
<b>DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>54</b>
6.1. Toplu boyut Küçülmesi .....	54
6.2. Görünür Gözenek, Su Emme, Bulk Yoğunluk ve toplu ağırlık Kaybı ve toplu hacimsel değişim.....	56
6.3. Numunelerin XRD grafikleri.....	63
6.4. Numunelerin SEM görüntüleri.....	70
6.5. Numunelerin EDS analizleri.....	78
<b>BÖLÜM 7.</b>	
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>92</b>
7.1. Sonuçlar.....	92
7.2. Öneriler .....	93
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>94</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>96</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. .	Kaolen kristallerinin SEM fotoğrafı	5
Şekil 2.2.	Feldspat çeşitlerinin birbirlerine kademeli geçişleri	13
Şekil 2.3.	MgCO <sub>3</sub> miktarına bağlı olarak dolomite dereceli geçiş	14
Şekil 3.1.	Kaolen –feldspat-kuvars üçlü denge diyagramında Gilchrest ve Klinefelter porselen alanları sınıflandırılması	41
Şekil 5.1.	Deneyisel çalışmalarda takip edilen prosedür	46
Şekil 5.2.	Deneylerde kullanılan a) çelik kalıp ve pistonlar b) üretilen numunelerin şematik gösterimi	49
Şekil 6.1.	1150 °C sinterlenen numunelerin sinterleme sıcaklığı ve silika dumanı ilavesine göre renk değişimi	54
Şekil 6.2.	1200 °C sinterlenen numunelerin sinterleme sıcaklığı ve silika dumanı ilavesine göre renk değişimi	54
Şekil 6.3.	1250 °C sinterlenen numunelerin sinterleme sıcaklığı ve silika dumanı ilavesine göre renk değişimi	54
Şekil 6.4.	Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) toplu boyut değişimi	56
Şekil 6.5.	Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) görünür gözenek miktarı değişimi	58
Şekil 6.6.	Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) su emme değişimi	59
Şekil 6.7.	Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) toplu ağırlık kaybı değişimi	60
Şekil 6.8.	Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak bulk yoğunluk( gr/cm <sup>3</sup> ) değişimi	60
Şekil 6.9.	Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) toplu hacimsel küçülme değişimi	61

Şekil 6.10	Şekil 6.10. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	63
Şekil 6.11	Şekil 6.11. 1150 °C de sinterlenen % 5 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	64
Şekil 6.12	Şekil 6.12. 1150 °C de sinterlenen % 10 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	64
Şekil 6.13	Şekil 6.13. 1150 °C de sinterlenen % 20 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	65
Şekil 6.14	Şekil 6.14. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	65
Şekil 6.15	Şekil 6.15. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	66
Şekil 6.16	Şekil 6.16. 1250 °C de sinterlenen % 5 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	66
Şekil 6.17	Şekil 6.17. 1250 °C de sinterlenen % 10 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	67
Şekil 6.18	Şekil 6.18. 1250 °C de sinterlenen % 20 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	67
Şekil 6.19	Şekil 6.19. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni	68
Şekil 6.20	Şekil 6.20. 100, 600, 1000, 1100 ve 1200 °C ısıtılma işlemi görmüş silika dumanı örneklerinin XRD paternleri	69
Şekil 6.21	Şekil 6.21. 1150 °C de sinterlenmiş % 0 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	71
Şekil 6.22	Şekil 6.22. 1150 °C de sinterlenmiş % 5 silika dumanı	

	ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	71
Şekil 6.23	Şekil 6.23. 1150 °C de sinterlenmiş % 10 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	71
Şekil 6.24	Şekil 6.24. 1150 °C de sinterlenmiş % 20 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	71
Şekil 6.25	Şekil 6.25. 1150 °C de sinterlenmiş % 25 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	71
Şekil 6.26	Şekil 6. 26.1250 °C de sinterlenmiş % 0 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	72
Şekil 6.27	Şekil 6. 27. 1250 °C de sinterlenmiş % 5 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	72
Şekil 6.28	Şekil 6.28. 1250 °C de sinterlenmiş % 10 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	72
Şekil 6.29	Şekil 6.29. 1250 °C de sinterlenmiş % 20 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	72
Şekil 6.30	Şekil 6. 30. 1250 °C de sinterlenmiş % 25 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	72
Şekil 6.31	Şekil 6.31. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	73
Şekil 6.32	Şekil 6.32. 1150 °C de sinterlenen % 5 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	73
Şekil 6.33	Şekil 6.33. 1150 °C de sinterlenen % 10 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	74
Şekil 6.34	Şekil 6.34. 1150 °C de sinterlenen % 20 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	74
Şekil 6.35	Şekil 6.35. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	75
Şekil 6.36	Şekil 6.36. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	75
Şekil 6.37	Şekil 6.37. 1250 °C de sinterlenen % 5 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	76
Şekil 6.38	Şekil 6.38. 1250 °C de sinterlenen % 10 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	76

Şekil 6.39	Şekil 6.39. 1250 °C de sinterlenen % 20 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	77
Şekil 6.40	Şekil 6.40. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	77
Şekil 6.41	Şekil 6.41. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	79
Şekil 6.42	Şekil 6.42. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 1 numaralı EDS analizi	79
Şekil 6.43	Şekil 6.43. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 2 numaralı EDS analizi	80
Şekil 6.44	Şekil 6.44. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	80
Şekil 6.45	Şekil 6.45. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 1 numaralı EDS analizi	81
Şekil 6.46	Şekil 6.46. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 2 numaralı EDS analizi	81
Şekil 6.47	Şekil 6.47. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 3 numaralı EDS analizi	82
Şekil 6.48	Şekil 6.48. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 4 numaralı EDS analizi	82
Şekil 6.49	Şekil 6.49. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	83
Şekil 6.50	Şekil 6.50. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 1 numaralı EDS analizi	84
Şekil 6.51	Şekil 6.51. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 2 numaralı EDS analizi	84
Şekil 6.52	Şekil 6.52. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 3 numaralı EDS analizi	85
Şekil 6.53	Şekil 6.53. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 4 numaralı EDS analizi	85
Şekil 6.54	Şekil 6.54. 1250 °C de sinterlenen %25 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı	86

Şekil 6.55	Şekil 6.55. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 1 numaralı EDS analizi	86
Şekil 6.56	Şekil 6.56. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 2 numaralı EDS analizi	87
Şekil 6.57	Şekil 6.57. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 3 numaralı EDS analizi	87
Şekil 6.58	Şekil 6.58. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 4 numaralı EDS analizi	88
Şekil 6.59	Şekil 6.59. 1250 °C de sinterlenmiş % 0 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	89
Şekil 6.60	Şekil 6. 60. 1250 °C de sinterlenmiş % 0 silika dumanı ilaveli bileşimdeki fiberlerin EDS analizi	89
Şekil 6.61	Şekil 6. 61. 1250 °C de sinterlenmiş % 25 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikroyapısı	90
Şekil 6.62	Şekil 6. 62. 1250 °C de sinterlenmiş % 25 silika dumanı ilaveli bileşimdeki fiberlerin EDS analizi	90

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Bentonitin yüzde olarak kullanım alanları.....	7
Tablo 2.2.	Talk'ın kullanım alanları.....	15
Tablo 3.1	Porselenlerin bileşim ve pişme sıcaklıklarına göre sınıflandırılması.....	26
Tablo 3.2	Sert Porselen Harmanı.....	30
Tablo 5.1.	Hammaddelerin kimyasal analizleri.....	47
Tablo 5.2	Deneylerde kullanılan bileşimlerin oranları.....	47
Tablo 5.3.	Hazırlanan numunelerin bileşimlerine göre içerdığı oksit ve elementler .....	48
Tablo 6.1.	Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak şekillendirme ve pişme sonrası ortalama numune ölçümleri .....	55
Tablo 6.2.	Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) toplu boyut değişimi.....	55
Tablo 6.3.	Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak (%) görünür gözenek miktarı değişimi	57
Tablo 6.4.	Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak (%) su emme değişimi	57
Tablo 6.5.	Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak bulk yoğunluk ( $gr/cm^3$ ) değişimi	57
Tablo 6.6.	Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak % toplu ağırlık kaybı	57



Tablo 6.7.	Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak (%) toplu hacimsel küçülme	61
Tablo 6.8.	1150 ve 1250 °C de sinterlenen numunelerin bileşimlerine göre XRD ile tespit edilen fazlar ( fazlar miktar olarak büyük olandan küçük olana doğru sıralanmıştır.)	68

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Porselen, Silis Dumanı, Atık

Bu çalışmada Antalya Elektrometalurji Tesislerinin atık baca tozu olan silika dumanı geleneksel seramik ürünlerden olan porselen üretiminde değerlendirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için porselen reçetesindeki kuvars yerine silika dumanı ile sistematik olarak yer değiştirilmiştir.

Yapılan çalışmada kaolen miktarı ağırlık olarak % 45, feldspat % 30, silika %0-25 arası değişmekte olup ilave edilen silika dumanı ise % 0-25 aralığındadır. Kuru presleme yöntemiyle silindirik olarak şekillendirilen numuneler önce kurutulmuş ve 1150 – 1200 ve 1250 °C de 1 saat sinterlenmiştir.

Sinterleme sonrası yapılan karakterizasyonda pişme küçülmesi, ağırlık kaybı, bulk yoğunluk, porozite ve su emme teknikleri kullanılmıştır. Mikroyapı karakterizasyonu ise optik mikroskop ve SEM ile gerçekleştirilmiştir. Faz tayini için ise XRD tekniği kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre artan normal porselenlere göre daha düşük sıcaklıkta sinterleme gözlenmiştir. Sinterleme sıcaklığı ile ağırlık kaybında ve % pişme küçülmesi ve toplu küçülmede artma meydana gelmiştir. Buna bağlı olarak sinterleme sıcaklığının artışı ile ortaya çıkan camsı fazın etkisiyle porozite ve su emme değerlerinde azalmaya karşılık bulk yoğunlukta artış gözlenmiştir.

Sonuç olarak ticari porselen ürünlerle benzer deneysel sonuçlar elde edilmiş olup silika dumanın atıklarının porselen üretiminde değerlendirilebileceği gösterilmiştir.

## **SUMMARY**

### **INVESTIGATION OF UTILISATION OF SILICA FUME IN PORCELAIN PRODUCTION**

Keywords: Porcelain, Silica Fume, Recycling of waste material

The main aim of this study is to investigate the usage of waste silica fume, which is originated from Antalya Ferrochrome Plant in the production of porcelain. Quartz was systematically replaced by silica fume addition.

Silica fume was obtained from. and incorporated into kaolin and potassium feldspar body mixture followed by dry pressing the body mixture to produce cylindrical ceramic specimens. Compositions of specimens are ranging 45 % kaolin and 0-25 % quartz, 30 % feldspar and 0-25 silica fume. After pressing, specimens were dried at 110 °C and sintered at various temperatures from 1150 up to 1250 °C for one hour. Characterization of samples was performed including firing shrinkage, weight loss, bulk density, porosity and water absorption. Microstructural characterisation of samples were carried out by optical and SEM. Phase identifications were also performed by XRD technique.

Results showed that silica fume added porcelain samples could be sintered at low temperatures. Very similar properties were obtained, such as lower water absorption and very low porosity comparing with commercial porcelain and vitrified ceramic bodies. Firing shrinkage and weight loss values were both increased with raising firing temperatures for all compositions as expected due to glassy phase formation leading to densification on firing.

Promising results were obtained by the production of fume silica added porcelain bodies, which indicated that it could be used for the production of some porcelain body formulation.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ**

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak artan sanayi tesislerinin atıklarının değerlendirilmesi son zamanlarda üzerinde çok çalışılan konuların başında gelmektedir.

Gerek çevre duyarlılığının artması gerekse yeni ve ileri özellikte malzemelere duyulan ihtiyaç araştırmaların atık malzemeler üzerine yoğunlaşmasına neden olmuştur. Demir-çelik yüksek fırını ve kupol ocağı cürufları, termik santral uçucu külleri, hidrometalurjik tesislerinin atıkları, filtre tozları ve doğal volkanik kayaçların üretim ve kullanıma yönelik bir çok araştırma yapılmaktadır.

Endüstriyel atıklar içerisinde en büyük atık gruplarından birisi olan baca tozlarının ekonomik değerlendirilmesine yönelik çalışmalar gelişmiş batı ülkelerinde uzun süredir devam etmektedir. Ülkemizde ise baca tozlarının endüstriyel olarak değerlendirilmesi çevre sorunları ve ekonomiye büyük katkılar sağlamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan silis dumanının günümüze kadar çimento ve beton sektöründe kullanılabilirliği ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır.

Silis dumanı veya diğer bir deyişle mikrosilika, silis ve ferrosilis endüstrilerinin bir yan ürünüdür; 1950'lerden beri betonun özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ise Antalya Etibank Elektrometalurji Tesislerinde tutulan silis dumanlarının geleneksel seramik üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir.

## **BÖLÜM 2. SERAMİKLER ve SERAMİK HAMMADDELER**

Seramik kelimesi, Yunanca pişirilmiş eşya manasına gelen “keramos” kelimesinden gelmektedir. Seramik üretimi eski çağlardan beri gerçekleştirilmekte olup arkeolojik buluntular seramik üretimini M.Ö 6500 yıllarına kadar dayanabileceğini ortaya koymuştur [1].

Yüzyıllar önce çömlekçilik olarak başlayan seramik çalışmaları, günümüzde birçok sanayi dalının üretim teknolojisine önemli katkısı olan bir bilim dalıdır. Seramik, doğada bileşikleri halinde bulunan elementlerin, uygun karışımlarının, ısı enerjisinden yararlanarak ürün elde etmek, şeklinde tanımlanabilir. Bu tanım çömlek, yapı malzemeleri, porselen refrakter ürünler, yalıtkan malzemeler, cam, çimento, emaye, abrasif (aşındırıcı), kesici, kapasitör ve piezo-elektrik (kuvars kristalleri ile ultra ses eldesi) malzemeleri kapsar [2].

Seramik malzemeleri çok eski zamandan beri var olmalarına rağmen, bilimsel olarak araştırmaları yakın zamanlarda yapılabilmektedir. Bu malzemelerin yapıları metallere oranla çok karışıktır. Tekniğinde ilerlemesiyle ancak içinde bulunduğumuz yüzyılın ikinci yarısından itibaren seramik alanında büyük gelişmeler olmuştur. Bu gelişmenin nedenlerini şöyle sıralayabiliriz.

1. Son zamanlarda, seramik konusunda çalışma koşulları geliştirilmiş, araştırmalar artmış ve en önemlisi araştırma sonuçları yayınlanmıştır. Çağdaş araştırma gereçleri seramik konusunda kullanılmaya başlanmıştır. (XRD analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM), diferansiyel termal analiz (DTA), termal gravimetri (TG) gibi)

2. Hızla gelişmekte olan elektronik, tıp, nükleer enerji ve uzay çalışmaları alanlarında seramik malzemelere duyulan gereksinimin çok olması araştırmacıları zorlamıştır.

Jeoloji, mineroloji, kimya, fizik, fiziko-kimya, yüksek sıcaklık kimyası bilimleri ile seramik bilimindeki teoriler açıklanmıştır. Faz diyagramları ile oksitlerin ısıl davranışı belirlenmiştir.

Seramik malzemelerin birçok özelliklerinin standart ölçülere dayandırılarak üretilmesi zorunluluğu çalışmaları yoğunlaştırmıştır.

Bütün bunlardan anlaşılacağı üzere, çok uzun geçmişine rağmen seramiğin dünyada özellikle ülkemizde çok yeni bir bilim dalı olduğu söylenebilir. Fakat Türk seramik sektörü, sanayisinin de 1980’li yıllardaki gelişmesi ile Dünya seramik pazarında söz sahibi olma başarısını göstermiş ve Türkiye bugün seramik konusunda dünyanın en büyük 3. ihracatçı ülkesi konumuna gelmiştir [3].

“Günümüzde seramik malzemelere ilginin artmasının sebepleri aşağıda belirtilmiştir. Teknolojik seramikleri önemli kılan üstün özelliklerden bazıları;

- 1-Yüksek sıcaklıkta dayanımları,
- 2-Kimyasal kararlılığın yüksek oluşu,
- 3-Sertliklerin yüksek oluşu,
- 4-Metallere göre daha hafiflik,
- 5-Hammadde kaynaklarının tabiatta bol miktarda bulunması,
- 6-Aşınmaya karşı dayanıklı olmaları,
- 7-Sürtünme katsayılarının düşük olması,
- 8-Isıl genleşme katsayılarının düşük olması olarak sıralanabilir.

Bu üstün özelliklerin yanı sıra seramik malzemelerde birtakım dezavantajları mevcuttur. Bunların en önemlisi gevrek karakterde olmaları yani kırılganlıklarıdır. Kırılğan olmalarının nedeni ise yapılarında meydana gelen gözenek ve katmanlarından dolayıdır” [1].

## **2.1. Seramik Hammaddeleri**

Seramik endüstrisinde çok çeşitli hammaddeler kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak; kaolen, feldspat, kuvars, kıltaşı, talk, barit, profillit, magnezit vs. sayılabilir.

Seramik hammaddeleri genel olarak özlü ve özsüz seramik hammaddeleri olarak ayırabiliriz. Su ile çamurlaştırılıp kurutulduğunda dağılmayan türdeki seramik hammaddeleri özlü seramik hammaddeleri olarak adlandırılırken, su ile çamurlaştırılıp kurutulduğunda dağılan türdeki yani şekillendirilmesi için ilave malzeme katılması gereken hammaddeleri özsüz seramik hammaddesi olarak adlandırılır [2].

### **2.1.1. Özlü seramik hammaddeleri (Killer)**

Bu grubu kil mineralleri oluşturmaktadır. Kil kelimesi tane boyu ölçüsü, petrografik ve mineorolojik bakımdan üç farklı anlam taşımaktadır. Tane boyutu olarak 2 ila 0,2 mikron arasındaki partiküller, petrografik olarak kohezif topraklar, kohezyonlu malzeme veya çok ince taneli sedimanter kayalar, mineorolojik olarak da bir mineral grubu anlamlarında kullanılmaktadır. Kil mineralleri kompleks alüminyum silikatlar olup, alüminyum, silis ve suyun farklı kompozisyonlarından oluşmuşlardır. Sayıları çok az olan ve az bulunan birkaç kil mineralinin dışında tüm kil mineralleri monoklinik veya triklinik sistemde kristalleşir. Killer ıslatılınca çok yumuşar ve parçalanmadan şekil değiştirebilir, yani plastik özellik kazanırlar. Bu sebeple elle veya aletle istenilen şekle sokulabilirler. Tekrar kurutulduklarında veya pişirildiklerinde çok sertleşir suyu ve elektriği geçirmediği gibi yüksek sıcaklıklara karşıda dayanıklı hale gelirler [4].

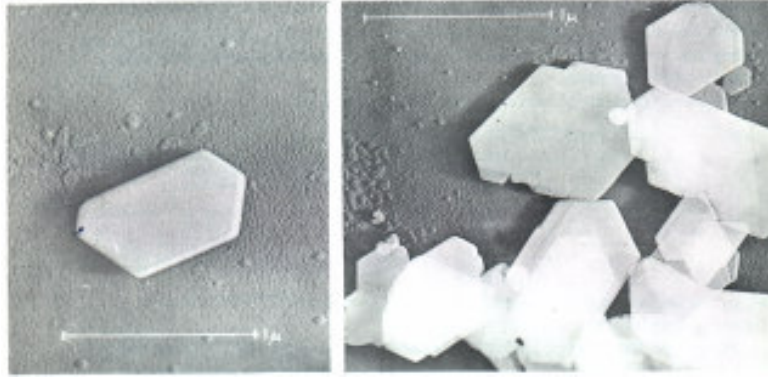
#### **2.1.1.1. Killerin kullanım alanlarına göre sınıflandırılması**

Killer, kullanım alanlarına göre çok değişik özellikler dikkate alınarak farklı şekilde sınıflandırılabilir. Kaba bir sınıflandırma ile kaolen, plastik killer, ateş kili, saksı kili, döşeme ve künk killeri ve tuğla/kiremit killeri (toprakları) olmak üzere 6 gruba ayırmak mümkündür [4].

Kaolen: Belli ortam ve koşullarda, yeraltı ve yerüstü sularının veya termal eriyiklerin andezit, dasit, porfir gibi volkanik kayaları bozuşmaya uğratması (alterasyon) sonucu oluşan alüminyum-hidrosilikat bileşiminde bir hammaddedir. Saf kaolen'in

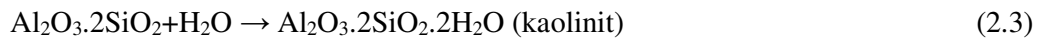
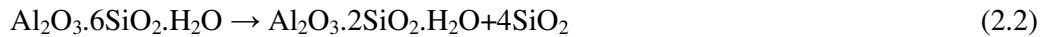
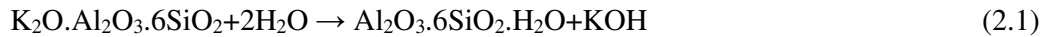
ergime derecesi 1760°C 'dir. Yüksek kaliteli kaolenlerin 0,002 mm' den küçük tane boyutuna sahip kısmı %90'dan fazladır. Plastiklik derecesi düşük veya ortadır [5].

Kaolenin üretimi şirketten şirkete değişir. Her şirketin kendi ekipmanları ve metodları vardır. Farklı noktalarda üretim süreci boyunca benzer metodları kullanabilirler [8]. Yüksek kaliteli killerin çoğunluğu genelde kaolen mineralinden oluşur. Bu mineral elektron mikroskopuyla alınan Şekil 2.1'deki mükemmel mikroyapı fotoğrafında görüldüğü gibi kabataslak, kaba olarak hegzagonal küçük düz tabakalardan oluşur. Ortalama tane boyutları yaklaşık 0,7 mikron çapta ve yaklaşık 0,05 mikron kalınlığındadır [6].



Şekil 2.1. Kaolen kristallerinin SEM mikroyapısı [9]

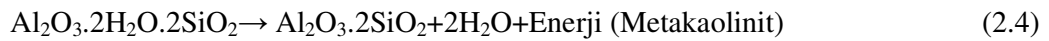
Kaolenin hammaddesini oluşturan en önemli mineral Kaolinit ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) olup alüminyum hidro silikat bileşimli bir kil mineralidir. Kristal yapılarına göre yapılan kil sınıflandırmalarında, eş boyutlu ve bir yönde uzamış olanlar kaolinit grubu olarak diğerlerinden ayrılmaktadır. Oluşum itibarıyla, feldspat içeren granitik veya volkanik kayaların feldspatlarının altere olarak kaolinit mineraline dönüşmesi sonucu kaolinler oluşmaktadır [4].



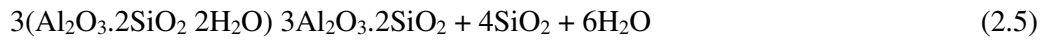


Bu oluşum modeline göre altere olan ana kayacın taşınmadan yerinde kalması sonucu kaolinit yatakları oluşur. Ana kayaçların bozunma öncesi taşınıp, taşındıktan sonra depolanması veya bozunma sonucu taşınıp sedimanter yataklarda depolanması sonucu kaolinit bileşimli kil yatakları oluşur [4].

Kaolinit, bir kil minerali olup, 2 tabakalı ve eş boyutlu özelliğinden dolayı diğer kil minerallerinden ayrılmaktadır. Bu ayrılma kristal yapısı dikkate alınarak yapılan bir mineralojik sınıflamadır. Fiziksel özellikleri ve bulunduğu ortam şartı nedeniyle kaolinleşme, orijinal ana kayacın alterasyon (bozunma) işleminin yerinde gerçekleşmesiyle oluşan cevherleşmedir. Yani bir kaolin yatağını bir kil yatağından ayıran en önemli fiziksel faktör, cevherleşme ile orijinal kayacın aynı yerde olmasıdır. Kil yatakları ise taşınarak depolanmış yataklardır. İster kaolin yatağında ister kil yatağında ana mineral kaolinit olması halinde, kaolin olarak sınıflandırılabilir. Kil yatağında orijinal birincil mineralin başka mineral olması halinde kaolinden ayrılarak halloysit, illitik kil, montmorillonitik kil v.s gibi isimlerle orijinal kaynaktan itibaren ayrılmaktadır. Depolanma farkından dolayı, kaolinleşme ile orijinal mineralleri kaolinitten oluşan kil yatağı arasında kaolinit minerallerinde de bazı küçük farklılıklar olmaktadır. Kaolinit minerali, seramik yapımında ısıtıldığında 200°C'nin altında higroskopik suyunu bırakır. 500-600°C'de kimyasal formüldeki bağıl suyunu bırakarak metakaolinite dönüşür [7,8].



1000°C de metakaolinit, mullit ve silise (kristobalit) dönüşür.



Ateş(şamot) killeri: Alüminyum yüzdesi yüksek olan sert yapıda killerdir. Kömür yataklarının katmanlarında bu tür killere rastlanır [4]. Sakin göl ortamlarında suyun tabanında bulunan feldspatça zengin volkanik kayaçların ayrışmasıyla oluşurlar. Genellikle açık bej, kurşuni ve açık kahve renklerinde olurlar. Pişme renkleri daha açıktır. Plastik olmaları ve suda hemen dağılmaları ile tanınırlar. Kurduğunda parmaklar arasında kolayca ufalanıp dağılmaktadır [9].

Bentonit: Esas olarak montmorillonitten (smektit) meydana gelir. Düşük miktarlarda kuvars, feldspat ve diğer kil minerallerinin içerir. Şişme ve plastik özellikleri çok yüksektir. Bentonitleri alkali (Na-Bentonit), yarı alkali (Ca-Na-Bentonit), toprak alkali (Ca-Bentonit), toprak alkali yarı bentonit ve aktifleştirilmiş bentonit olarak beş gruba ayırabiliriz. Kullanım alanlarının yüzdelik olarak dağılımı Tablo 2.1’de görülmektedir [10].

Tablo 2.3. Bentonitin yüzde olarak kullanım alanları [11]

Kullanım Alanı	%
Sondaj çamuru	40
Döküm kumu bağlama	30
Yağ ağartma	15
Diğer alanlar	15

Bağlama killeri: Refrakter ve plastik killerdir. Şamotun şekillendirilmesinde kullanılır. Bağlama kiline bindeten de denir [4]. Bünyelerinde bol miktarda organik madde bulundurlar. 1350°C’de erir ve tarçın rengini alırlar. Gri renkli olan bağlama killerinin taban kısımları demirce zengindir.[12].

Şeyl’ler: Kil ve silt tanelerinden meydana gelen, tabakalanmaya paralel yapraklanma gösteren, diyajenez geçirmiş ve diyajenezden sonra mineralojik değişmeye uğramamış kayaçlara “şeyl” denir. Şeyl’lerin esas mineralojik bileşimini illit oluşturur [4].

Tuğla, kiremit ve kalıp killeri: Kaolinit ve/veya illit ve/veya klorit ile bazen düşük oranlarda montmorillonit, kuvars, feldspat, kalsit, dolomit ve anatas’tan meydana gelir. Orta veya yüksek derecede plastiktir. Kalıp killerinin ise plastisitesi yüksek olmalıdır. Kalıp killeri demirce zengin olduklarından kahve veya sarı renklidir. Bir miktar kum ve düşük karbonat içermeleri kalitelerini etkilemez. Demirce zengin killer metalurjide akışkanlığı arttırıcı olarak kullanılırlar [4].

Halloysitik ve seramik killeri: Bu tür killerde bir miktar kuvars, feldspat, mika, karbonat mineralleri eşlik eder. Tane boyları plastik kaolenlerdeki gibi olup orta derecede plastiktirler [4].

Seramik killeri: Kaolinit grubu minerallerinden oluşmakta ve en çok fayans, seramik, iç yapı elemanı ve renkli malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Seramik sanayinde tüketilecek kilin eşit tane boyutuna sahip ve ince öğütülmüş olması gerekir. Seramik killeri piyasada fayans kili, seramik kili, döküm kili ve kumlu kil olarak dört alt gruba ayrılır [4].

Sepiyolitik ve atapulgitik killeri: Değişik oranlarda montmorillonit, feldspat, kuvars ve mikayla karışım halinde ortaya çıkarlar. Şişme ve plastik özellikleri bentonite benzer [4].

Refrakter killeri ve plastik kaolen: Yüksek sıcaklıktaki işlemlere dayanıklı killerdir ve daha çok ağır sanayi fırınlarının tuğlalarının yapımında kullanılırlar. Alümina oranı yüksek olan killerdir. Demir oksit ve alkali oksitleri bu türü killerde bulunmamalıdır. Kaolinit ile illit veya mika karışımından oluşurlar. Bazen kuvars da bulunabilir. Yüksek derecede plastiktirler.  $Fe_2O_3$  oranları çok düşük (%0,7-3),  $Al_2O_3$  oranları yüksek (%50-70) olmalıdır. Plastik kaolenlerde ise zayıf kristal yönelmesi vardır. Değişik oranlarda feldspat, mika, illit ve bazen organik materyal bulundurulur. Normal kaolenden daha ince tanelidir. Plastiklik derecesi orta veya yüksektir [4].

#### **2.1.1.2. Killerin mineorolojik sınıflandırması**

Killeri mineorolojik sınıflandırmada, amorf killeri ve kristalli killeri olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür. Kristalli killerde tabaka yapılarına göre kendi aralarında beş sınıfa ayrılır [4,8].

1. Amorf Killer :

Allofan (Yüzey ayrışması ürünü)

2. Kristalli Killer :

i-İki tabakalı killer (kaolinit grubu)

Kaolinit (Yüzey ayrışması ürünü)

Dikit (Hidrotermal ayrışma ürünü)

Nakrit (Hidrotermal ayrışma ürünü)

Anoksit (Hidrotermal ayrışma ürünü)

Halloysit (Yüzey ayrışması ürünü)

Endellit (Yüzey ayrışması ürünü)

ii-Genişleyen kafesli üç tabakalı killer (montmorillonit grubu)

Montmorillonit (Hidrotermal ayrışma ürünü)

Nontronit (Hidrotermal ayrışma ürünü)

Saponit (Hidrotermal ayrışma ürünü)

Baydellit (Hidrotermal ayrışma ürünü)

Hektonit (Yüzey ayrışması ürünü)

Vermikülit (Yüzey ayrışması ürünü)

iii-Genişlemeyen yapılı üç tabakalı killer (illit grubu)

İllit (Yüzey ayrışması ürünü)

Profilit (Yüzey ayrışması ürünü)

iv-Zincir yapılı killer

Atapulgit (Yüzey ayrışması ürünü)

Sepiyolit

v-Karışık tabakalı killer (klorit grubu)

Kaolinit Grubu Killer: Ana mineral olarak kaolinit ( $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$ ) içerirler. Doğada saf kaolinit yatakları bulunmaz. Genellikle demiroksit, silisyum oksit, silika türünde mika gibi yabancı maddeler içerirler.

Smektit Grubu Killer: Bu gruba giren killerin mineral yapıları kaolinit gibi alüminyum silikat olmalarına karşılık çok farklı bir görünüm içerisinde dirler. Yapılarında magnezyum, kalsiyum, demir, sodyum gibi elementler içerirler. Montmorillonit, saponit, stevensit vb. bu grupta yer alır.

İllit Grubu Killer: Smektit grubu killerden farklı olarak potasyum içermeleridir. Killerin bu grubuna mika grubu da denir. ( $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 + 2H_2O = \text{Muskovit}$ )

“Klorit Grubu Killer: Bu grup killeri ince taneli ve yeşil renklidirler. Bu grup killer bol miktarda magnezyum, demir (II), demir (III) ve alümina içermektedirler” [4,12].

### **2.1.1.3. Killerin kullanım alanları ve teknolojisi**

Bir kilin değeri kimyasal, mineorolojik ve teknolojik özelliklerinden anlaşılmaktadır. Killerin kimyasal bileşimi: Killerin analizinde  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$  ve  $MgO$  değerlerine bakılır.  $Al_2O_3$  oranının %20-40 arasında olması istenir. Bu değer seramik killerde düşük, refrakter killerde yüksektir.  $Fe_2O_3$  oranı seramik killerde %1'in, diğer killerde %3'ün altında olmalıdır.  $SiO_2$  oranı yüksek ise serbest kuvarsın varlığını gösterir.  $CaO$  ve  $MgO$  toplamı ile  $K_2O$  ve  $Na_2O$  toplamı ayrı ayrı %1'in olmalıdır. Bunların yüksek olması ateş zayıflığını artırır [4].

Dünya piyasasında, 1994 yılı itibariyle kurutulmuş yumrulu killer, yerinde yığın teslimi olarak 32-60\$/ton, yumrulu rafine kil nodülleri ise yine yığın teslimi olarak 65-90\$/ton üzerinde işlem görmüştür. 2000 yılı itibari ile dilimlenmiş ve hava ile kurutulmuş yumrulu killer yığın olarak teslim şartıyla 36-64 \$/ton, yumrulu rafine kil nodülleri yığın olarak teslim şartıyla 78-100\$/ton, havayla ayrılmış yumrulu toz killer ise torbalanmış teslim şartıyla 115-185\$/ton fiyatları uygulanmıştır [4].

### **2.1.2. Özsüz seramik hammaddeleri**

Özsüz seramik hammaddelerini kısaca su ile çamurlaştırılıp kurutulduğunda dağılan türdeki yani şekillendirilmesi için ilave malzeme katılması gereken hammaddeler olarak tanımlayabiliriz. Bunlara örnek olarak; kuvars, feldspat, magnezit, dolomit vb. sayılabilir.[6]

### 2.1.2.1. Kuvars

SiO<sub>2</sub> veya diğeri adı silis, kuvars halinde doğada bol miktarda bulunur. SiO<sub>2</sub> bileşiminde olan kuvarsın içinde teorik %46,7 Si ve %53,3 O bulunur. En saf kuvars bile eser miktarda Li, Na, K, Al, Fe, Mn, Ti bulundurulur. Sertliği 7 mohs özgül ağırlığı 2,7 gr/cm<sup>3</sup> tür. Kuvarsın 4 modifikasyonu vardır” [7]. Saf kuvars renksizdir. Mangan içerikli amatist adı verilen mineral pembe renkli bir kuvarsdır. Doğada en çok gri, sarı ve beyaz renklerde bulunur. En çok rastlanan minerallerden biridir. Eridiği ortamlarda genleşme katsayısını düşürücü bir etki yapar. Tam olarak erimemesi durumunda, aksine genleşme katsayısını yükseltir. Erimemiş kuvarsın genleşme katsayısı, erimişe göre 150 kat büyüktür. Kuruma ve pişme küçülmesini azaltır. Seramik yapılarda iskelet görevini yapar ve deformasyonu önler. Asitlere dayanıklılığı artırır. Kuvarsın kristalin yapısı tetra hedral düzendedir. Tetrahedral düzenli dizilirse silis minerali oluşur. Silis mineralinin katı halde üç kristal yapısı vardır.

- a- Kuvars
- b- Tridimit
- c- Kristobalit

Bu üç kristalden yalnız kuvars doğada bulunmaktadır. Diğer ikisine ise yalnızca gök taşlarında rastlanmıştır. Tridimit ve kristobalit polimorfizm sonucu oluşur. Bu dönüşüm sıcaklığın etkisiyle gerçekleşir, dönüşüm hızı çok yavaştır. Kristobalit haline geldikten sonra, kristal yapıları soğumayla tersinir dönüşümlü bir karakterdedir. Dönüşümler kabaca, α-kuvars 573°C, β-kuvars 870°C, tridimit 1470°C tersinir kristobalit 1723°C kuvars camı şeklinde oluşur. Dönüşümlerde teoriye göre Si-O<sub>2</sub> arası bağlar kopmakta, tetrahedralar bozularak daha sonra farklı şekilde bir araya gelmektedir. Kuvars içerikli mineraller doğada küçük ya da büyük boyutta kristaller halinde bulunurlar. Küçük kristalli mineraller daha sert ve dayanıklıdır. Kalsedon, agat, sileks türü kayalar küçük minerallidir [2].

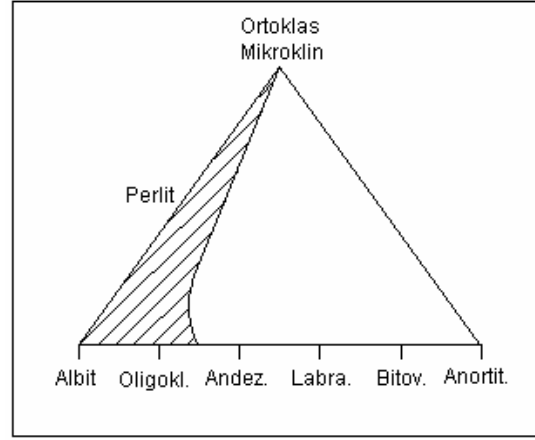
Kuvars başta agat olmak üzere kuvarsların birçoğu mil yatağı koruyucuları, saat taşları, hassas terazi yatakları ve havan yapımında kullanılmaktadır. Kuvarsa yeterli

bir basınç uygulandığı zaman bir elektrik şarjı meydana getir. Bunu tersine kuvars bir elektrik alanında bırakılırsa mekanik olarak deforme olur. Buna piezo elektrik özelliği denir. Gaz basınçlarını belirleyen radarlarda, mikrofonlarda, televizyon parçalarında, saatlerde, telefon santrallerinde yaygın biçimde kristal kuvars tüketilmektedir. Seramik sanayinde kullanılan kuvarsın ise %97-98 SiO<sub>2</sub>, %0,25-0,50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, en fazla % 0,25 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,5-1,0 Ca ve %0,5–1,0 MgO bileşimi istenir. Kuvars doğrudan veya silisyum karbür elde edilerek aşındırıcı ve parlatici olarak da değerlendirilir [2].

### **2.1.2.2. Feldspat**

Potasyum, sodyum ve kalsiyum alümina silikat bileşimli bir mineral grubuna “feldspat” denilmektedir. Bu minerallerin yapılarını birkaç metal oksitten oluşan kompleks silikatler oluşturur. Yeryüzünde en çok bulunan kristal mineralidir. Taşıdıkları alkali oksitlere göre isimlendirilirler. Feldspatın en çok rastlanan cinsi ortoklas veya potasyum feldspat olup, formülü K<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6SiO<sub>2</sub>'dir. Bunun dışında albit veya sodyum feldspat, Na<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6SiO<sub>2</sub>, celsian veya baryum feldspat, BaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6SiO<sub>2</sub>, pegmatit veya sodyum-potasyum feldspat'lar bulunur. Uzun zaman doğa koşullarında kalan feldspat, karbonik asitli sularla temas ettiğinde ayrışarak, potasyum karbonat, kaolen, silise dönüşür [2,4].

Özellikle geleneksel seramik ürünler için en önemli hammaddelerden birisidir. Bu hammaddelerin seramik hamurunda kullanılmasının sebebi, seramik ürünlerin bileşiminin K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, CaO, bileşiklerini kazandırmaktır. Seramik yapıdaki cam faz bu oksitlerin yardımıyla sağlanmaktadır. Bu oksitlerin eriticilik özelliklerinden yararlanılır. Pişme sürecinde kuvars ile birlikte camsı fazı oluşturur [4]. Olügoklastan daha kalsik olan feldspatların hammadde olarak az bulunması, kullanma alanının sınırlı olması (sadece cam sanayi) ve aynı amaçla kullanılabilen hammaddeler göre maliyetinin yüksek olması sebebiyle ekonomik önemleri daha azdır. Feldspatların en önemli kullanım alanı seramik endüstrisidir. Feldspat çeşitlerinin birbirlerine kademeli geçişleri Şekil 2.2'de görülmektedir [4].



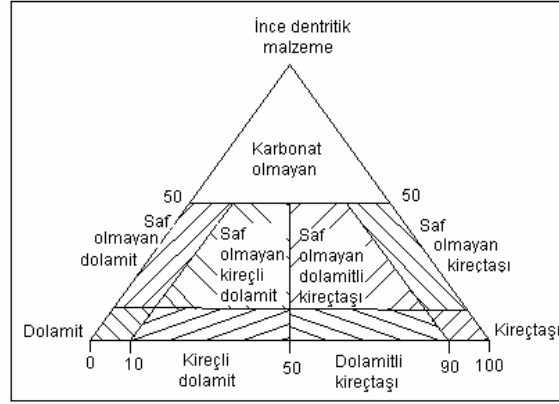
Şekil 2.2. Feldspat çeşitlerinin birbirlerine kademeli geçişleri [4]

### 2.1.2.3. Kireç taşı ve dolomit

Kalsiyum karbonatın ( $\text{CaCO}_3$ ) en çok bulunan şekli kalsittir. Çok saf kristal halde bulunan kalsiyum karbonata kalsit adı verilir. Mermer ise kalsiyum karbonatın diğer bir çeşidi olup ısı ve basınç ile değişmesinden oluşmuştur. Düşük sıcaklıktaki ( $950^\circ\text{C}$ )  $\text{CO}_2$  uçarak geriye  $\text{CaO}$  kalır. Bileşiminde %50 den daha fazla  $\text{CaCO}_3$  bulunduran kimyasal, biyo-kimyasal veya dentritik çökelimli sedimanter kayalara “kireçtaşı”  $\text{MgCO}_3$  oranı yüksek olan kireçtaşlarına da “dolomit” denir. Sinterleşmeye yardımcı olur. Sır ile çamur arasında ara tabakanın daha iyi oluşmasını sağlar [2].

Kalsitin bünyesinde %56  $\text{CaO}$  ve %44  $\text{CO}_2$  bulunur. Özgül ağırlığı  $2,3 \text{ gr/cm}^3$ , sertliği 3 tür. Saf dolomit ise kayacı ile aynı adı taşıyan ve  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  bileşimli dolomitten oluşur. Teorik olarak monolit %30,4  $\text{CaO}$ , %21,7  $\text{MgO}$  ve %47,9  $\text{CO}_2$  bileşimindedir. Özgül ağırlığı  $2,8 \text{ gr/cm}^3$ , sertliği 3,5-4 arasındadır. Ticari saflıktaki dolomitin ergime noktası  $1925\text{-}2485^\circ\text{C}$  dir. Kireç taşları bileşimine giren kil ve silt boyu malzemeye bağlı olarak marn ve şeyle,  $\text{MgCO}_3$  miktarına bağlı olarak ta dolomite dereceli geçiş gösterirler (Şekil 2.3) [2].





Şekil 2.3.  $MgCO_3$  miktarına bağlı olarak dolomite dereceli geçiş [4]

Kireçtaşı ve dolomit en yaygın kullanılan hammaddelerden biridir. Genel olarak kullanım alanları çimento sanayi, metalurji, kırma taş, tarım, kireç yapımı, cam sanayi, yapıtaşı, kâğıt sanayi, şeker sanayi, kimya sanayi, seramik ve tuğla yapımı, matbaacılık, meyve suları ve oto lastiği üretimi olarak sayılabilir. Ayrıca dolomit yüksek kaliteli refrakter yapımında ve asbestle birlikte yalıtım maddelerinin üretiminde kullanılmaktadır [4].

#### 2.1.2.4. Talk

Talk, bir sulu magnezyum silikat minerali olup,  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_4$  teorik formülü ile ifade edilen bileşime sahiptir. Saf halde iken  $3MgO.4SiO_2.H_2O$  açık formülü ile belirtilir. Tali olarak demir ve daha az oranlarda Al içerebilir. Ticari anlamda talk cevherinin bileşimi hiçbir zaman teorik bileşime ulaşamaz ve işletilen talk cevherleri arasında çok önemli farklılıklar vardır. Sertliği düşük olup en yumuşak mineraldir. Kaygan olduğundan elle dokunulduğunda sabun hissi verir. Özgül ağırlığı  $2.58-2.83 \text{ gr/cm}^3$  tür. Asitlerden etkilenmez, yüksek sıcaklıkta sertleşir ve  $800-860^\circ\text{C}$  sıcaklıkta enstatit ve amorf silise dönüşür. Kullanım alanları Tablo 2.2'de verilmektedir.

Tablo 2.4. Talk'ın kullanım alanları [4]

KULLANMA ALANI	1980	2000
	(%)	(%)
Seramik sanayi	34	27
Boya sanayi	18	18
Haşerat ilaçları	7	2
Çatı kaplamaları	9	8
Kauçuk yapımı	4	8
Asfalt dolgusu	3	1
Kağıt sanayi	3	22
Kozmetik sanayi	2	4
Tekstil sanayi	2	1
Diğer alanlar	15	10

#### 2.1.2.5. Magnezit

Magnezit, romboedrik karbonatların kalsit grubundan bir mineraldir. Kristalin (spatik magnezit) ve amorf (kriptonkristalin veya jel magnezit) olmak üzere iki şekilde bulunur. Kimyasal bileşimi  $MgCO_3$  olan magnezit saf halde iken %47,8 MgO ve %52,2  $CO_2$ 'den meydana gelir. Magnezit kalsit benzer şeffaf kristaller oluşturabilir. Magnezitin kristalin formunun rengi beyazdan siyaha kadar değişir. Mavi, yeşil veya kırmızı olanları da vardır. Kristalin tane boyu 0,1-10 mm arasındadır. Amorf veya kriptonkristalin magnezitlerin rengi beyaz, portakal sarısı, veya açık kahve rengidir. Tane boyutu 0,004-0,01 mm arasındadır. Dolomit ve magneziti birbirinden ayırmada en pratik kriter, seyreltik HCl'de kalsitin köpürerek, dolomitin az köpürerek, magnezitin hemen hemen köpürmeyecek kadar yavaş reaksiyon vermesidir. Magnezit ısıtıldığında  $400^\circ C$ 'den itibaren MgO ve  $CO_2$  bileşenlerine ayrılmaya başlar. Isıtılmaya devam edilirse  $680^\circ C$  sıcaklıkta bozunma tamamlanarak periklaza (MgO) dönüşür. Kalsine magnezitin hemen hemen hepsi refrakter sanayinde tüketilmektedir. Demir çelik sektöründe yüksek fırın duvarları yapımı ve kaplamasında kullanılır. Kostik magnezitin en önemli kullanım alanı magnezyum oksiklorit ve oksisülfat çimentolarının yapımıdır [4].

## **2.2. Seramik Üretim Yöntemleri**

### **2.2.1. Presle şekillendirme**

Nem miktarı % 4-10 arasında olan hamur presteki kalıba otomatik olarak beslenir. Yeterli basınç altında kuru halde olan hamur kalıptaki boşluklara doğru akma gösterir. Nem içeriği çok düşük olduğundan küçülmede çok küçük olur. Kurumada deformasyon, çatlama gibi bozukluklar olmaz. Basınç kalıpların ebatlarına göre gerekirse artırılır. Genellikle refrakterler, karolar, fayansları ve elektro porselenler bu yöntemle şekillendirilir [2].

### **2.2.2. Plastik şekillendirme**

Yeterli ölçülerde kil minerali içeren hamurlarda su ile istenen plastiklik elde edilebilir. Kil oranının düşük olduğu yüksek dereceli hamurlarda ise organik bağlayıcılarda kullanılır. Su plastikliği arttırdığı ölçüde küçülmeyi de artırır. İstenen kıvamda hazırlanan hamur dönen tablaların üzerine konarak el ile veya şablon ile şekillendirilir. Suyu daha aza indirilmiş plastik çamur (%20-30) boru gibi uzun malzemelerin yapımında havası iyice alındıktan sonra bir sonsuz vida yardımıyla kalıpların içine basılarak şekillendirilir [2].

### **2.2.3. Dökümle şekillendirme**

Diğer yöntemler ile şekillendirmenin olanaksız olduğu karmaşık yapıların şekillendirilmesi bu yol ile yapılır. Hazırlanan döküm çamuru istenen şekle uygun alçı kalıplara dökülür. Suyu emen alçının yüzeyinde çamur tanecikleri tabakalaşarak istenen et kalınlığı elde edildikten sonra kalıptaki çamur boşaltılır. Kuruduktan sonra kalıptan çıkarılıp çapakları temizlenir ve pişirilir. Bu yöntemde verimliliğin sağlanabilmesi için dikkat edilecek en önemli nokta mümkün olan en az su ile çamurun akışkan hale getirilmesidir. Buda litre ağırlıklarının 1680gr/lt-1720gr/lt olması ile mümkündür. Fakat çamur bu kıvamda oldukça koyu olacağından  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  %0,1 ile  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  %0,4 gibi elektrolitlerin süspansiyona katılmasıyla akışkanlık

sağlanır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da alçı kalıbın gözenekliliğidir. Gözeneklilik ise alçı/su ile sağlanır. En uygun oran 100/75'dir [2].

#### **2.2.4. Pişirme**

Şekillendirilmiş seramik çamurları suya ve kimyasal maddelere dayanıklı, kararlı bünyelere dönüştürülebilmeleri için bileşimine ve niteliklerine göre 700 – 2000°C arasında en az bir kere pişirilir. İkinci kez sır üstü dekorlanacaksa boyaların cinsine ve olgunlaşma derecelerine göre üçüncü ve dördüncü kez pişirilebilir.

Pişme süresini belirleyen etkenler :

- a- Bünye cinsi
- b- Fırınları doldurma sıklığı
- c- Malzeme kalınlığı
- d- Sıcaklığın fırının ortasını etkileme süresi (ısı homojenliği)
- e- Fırının hacmi

Bileşime bağlı etkenler :

- a- Serbest ve kimyasal suyun uzaklaştırılması
- b- Organik safsızlıkların yanması
- c- Kükürt bileşiklerinin yanması
- d- Pişirme ve soğutma süreçlerinde dönüşmelere bağlı ani hacim değişiklikleri [2].

#### **2.2.5. Su uzaklaştırma, yanma ve bozunma tepkimeleri**

Su uzaklaştırma: Yapıda üç tür su bulunur. Bunlar serbest su, higroskopik su, kimyasal bağlı su olarak sayılır. Serbest su, pişirme öncesi kurutularak bir kısmı uzaklaştırılır. Higroskopik su, kurutma esnasında uzaklaştırılmayan higroskopik su bünyesinin fiziksel ve mineral yapısına bağlı olarak ısıtma hızı ve sıcaklıkla uzaklaştırılır. Bu işlem genellikle 200°C'de yapılır. Kimyasal bağlı su, yaklaşık 450–550°C'de kil mineralleri kimyasal bağlı sularını kaybetmek üzere bozunmaya başlar ve higroskopik suyun uzaklaşması sırasında bünyede oluşan gözeneklerden kolayca çıkar [2].

Yanma ve bozunma tepkimeleri: Karbonun tepkimelerine bakacak olursak, gerek killerde bulunan karbonlu bileşikler, gerekse bazı hallerde şekillendirmeyi kolaylaştırmak için katılan organik bileşiklerde ki karbonun yanarak veya bozunarak ortamdan uzaklaştırılmaları gerekir. Su buharı uzaklaştırılıp gözeneklerden oksijen girmeye başladıktan sonra karbon yanmaya başlar. Bu işlemin sinterleşmeden önce tamamen bitmesi gerekir [2]

Karbonatların tepkimelerine bakarsak, 400–1000°C arasında bozunarak CO<sub>2</sub> gazını çıkararak oksitlere dönüşürler. MgCO<sub>3</sub> 400°C’de gaz çıkarmaya başladığı halde, CaCO<sub>3</sub> 900°C’den itibaren gaz çıkarmaya başlar. Sülfatların tepkimelerine bakacak olursak, bozunma sonucu SO<sub>2</sub> gazı çıkararak metal oksitlere dönüşürler. Pişirme hızının yüksek olduğu 500–550°C’de bozunma başlar. Sırlarda camlaşma başladıktan sonra bozunma devam ederse kabarma ve krater oluşur. Diğer sülfatlara oranla bozunma süresi daha uzun olan CaSO<sub>4</sub> anlaşılacağı gibi daha uzun süre SO<sub>2</sub> gazı çıkarır. Piritin tepkimelerine bakacak olursak, ısı etkisi ve yeterli O<sub>2</sub> ile bozunarak Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SO<sub>2</sub> gazı verir. Bozunma 425°C’de başlar ve 510°C’de büyük bir kısmı uzaklaşır. Ortamda oksijen olmasa bile pirit bozunur.  $FeS_2 \rightarrow FeS + S$  kükürt buharı çıkar, demir sülfid kalır [2].

### **2.3. Seramiklerin sınıflandırılması**

Seramikleri geleneksel ve yeni seramikler diye iki genel kategoride sınıflandırmak mümkündür. Geleneksel seramikler kapsamına kil, çimento ve cam gibi “Silikat Sanayi” mamülleri; yeni seramikler kapsamına da tek kristaller, sentetik kristaller, ferroelektrikler (BaTiO<sub>3</sub>) sermetler, saf oksitler (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, BeO gibi) ve nükleer malzemeler girmektedir [13].

### **2.3.1. Geleneksel Seramikler**

Seramik; Fransızca *c ramique*, ve Yunanca *keramos* kelimelerinden türetilmiŐ olup su ile karıştırılarak hamur haline getirilen killerin (*kerameikos*) yüksek sıcaklıklarda pişirilerek çanak ve  omleğin üretilme sanatı olarak bilinir. Bağlayıcıları  imento, kireç veya kil olan yapılar geleneksel seramikler olarak bilinir ve pişmiş hamurun (*terra cotta*) yapısına göre gözenekli seramikler ve gözeneksiz (geçirimsiz) seramikler olarak iki gruba ayrılırlar. Geleneksel seramiklerin temel yapı malzemesi; plastikleŐtirici ve  zl leŐtirici ögelere sahip kildir. Kilin yapı taŐlarından biri olan kaolin beyaz seramik, ince fayans ve porselende kullanılır.

Seramiklerin ısıya ve kötü hava koŐullarına karşı gösterdikleri dayanıklılık çeşitli uygarlıklar tarafından gözlemlenmiŐ ve ilk kez YenitaŐ Döneminde Tuna bölgelerinde Őeritli kabartma, bezekli ve perdahlı (sırlı ve bezekli  omleklere sıvı halinde ince bir metal tabaka sürülerek elde edilen seramik; Palafitta ve Cortailod seramiği) olarak yapımına başlanmıştır. Seramiği su geçirmez hale getirmek üzere kili saydam ya da ışık geçirmez bir tabakayla kaplama fikri Antikçağda doĐmuŐtur. Fayansın ortaya çıkmasına yol açan beyaz ya da ışık geçirmeyen kalaylı sır Ortadoğu'da kullanılmaya baŐlandı. İlk kez Çin'de üretilen porselen Avrupa'daki (Aue) kaolin yataklarının bulunmasının ardından 1709 tarihinde Saksonyada (Meissen)  retildi. Anadolu'da seramik yapımına Yeni taş döneminde (Çatalhöyük, Hacılar, Beycesultan, Demircihöyük v.b.) baŐlanılmıŐtır [14].

### **2.3.2. İleri Teknoloji Seramikleri**

Geleneksel seramik üretim ve satıŐ açısından önemli bir yer tutmakta beraber son çeyrek asırda bir takım süper özelliklere sahip yeni seramikler geliştirilmiştir. İŞte bu seramikler günümüzde "ileri teknoloji seramikleri, teknolojik seramik, mühendislik seramiği, yeni seramikler veya ince seramik" gibi isimlerle bilinmektedir. Mükemmel özelliklerde malzeme arayıŐları son dönemlerde ilgiyi tamamen ileri teknoloji seramikleri üzerine toplamıŐtır. İleri teknoloji seramikleri, alıŐılmıŐ seramiklerin aksine oldukça basit yapıdadır. Saf halde metal oksit, karbür ya da

nitürden oluşurlar. Teknolojik seramikler genel olarak oksit ve oksit olmayan olarak sınıflandırılırlar [1].

Teknolojik seramikler toz metalurjisi üretim tekniği kullanılarak üretilmektedir. Teknolojik seramikler günümüzde en yaygın olarak kullanılan çeliklere göre sertlikleri, aşınma ve oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve ısıl mekanik özellikleri daha iyi olan malzeme grubunu oluşturmaktadır. Sahip oldukları özelliklerden dolayı üstün performans gerektiren uygulamalar için geliştirilmiş mühendislik malzemeleri olarak kabul edilmektedir [4].

## BÖLÜM 3. PORSELEN

### 3.1. Porselenin Tanımı ve Tarihçesi

Porselen, günlük yaşamımızda çok yaygın olarak kullandığımız geleneksel seramik malzemelerinde birisidir. ASTM tanımlamasına göre, porselen, porselen üretim prosesleriyle üretilen ve teknik amaçlı; kimyasal, mekanik, yapısal, ve termal ürünler olarak kullanılan, camlaşmış veya camlaşmamış malzemeler olarak tarif edilir. [15]

Porselen sözcüğü, porselene benzeyen bir cins midyenin İtalyanca adı olan " Porcella "kelimesinden türetilmiştir. Bilindiği kadarıyla ilk kez bu kelimeyi Marco Polo Çin'den getirilen bu tür ürünler için kullanmıştır. Genellikle porselen için kullanılan "Çin" ismi, XVII. Yüzyıl İngiltere'sinin parlak fikridir. Fakat porselen sözcüğünün kökü İtalyanca bir kelime olan "PORCELLA"ya dayanmaktadır. İtalyanca olan bu kelime bir çeşit beyaz, tropikal deniz kabuğu anlamına gelmektedir.

Porselen; tümü killi topraktan yapılmış veya daha açık bir deyimle kil ihtiva eden ham maddelerden üretilmiş ürünlerin oluşturduğu büyük seramik grubunun bir elemanıdır.

Seramik grubunun ilk ve en ilkel ürünü; balçık tuğla veya kerpiç tuğladır. Bu aşamada söz konusu olan basit, kaba seramiktir daha sonra ise üretim aşamaları sıralamasına göre sırasıyla toprak çanak çömlekler, majorka çinisi (elvan çini) fayans, taş eşya, taştan oyma kap, seramik gelmekte ve porselenle grup en üstün ve en mükemmel formuna ulaşmış olmaktadır.

Birleşik bir bütün gibi görünmesine rağmen iç yapısında bileşik bir gövde oluşturması nedeniyle "porselen" deyiminin kesin bilimsel bir tanımını yapmak zordur. En iyisi porseleni iki kısımdan Bisküvi (Gövde ) ve sır - oluşan bir kitle olarak tanımlanmaktadır.



Porselenin sırrı bileşimi açısından cama benzemektedir. Gövde veya pişirilmiş şekliyle daha anlamlı bir deyim olarak bisküvi yaklaşık % 70 - 80 oranlarında içine başka kristaller eklenmiş olan camdan oluşmaktadır. Sözü edilen cam benzeri hamuru, aynı zamanda porselenin transparan (ışık geçirgenlik) olmasının da nedeni olmaktadır. Zaten porseleni seramik veya toprak eşyalardan ayıran da bu ışık geçirgenlik özelliğidir.

Bisküvi şekillendirilmiş, kurutulmuş veya pişirilmiş, ancak henüz sırlanmamış seramik ürünlere verilen addır. Bitmiş üründeki çeşitli maddeler, cam ve camla birleştirilmiş diğer kristaller, ancak pişirmekle birleşmektedir.

Porseleni en emin ve en çabuk tanımanın yöntemi; ışık geçirgenlik özelliğinin (trasparanlık veya ışığa tutulduğu zaman şeffaflaşma) test edilmesidir. Bu herkesin her yerde kolaylıkla uygulayabileceği bir testtir. Diğer özellikleri ise yüzeyinin belirgin göze batan parlaklığı; vurulduğunda temiz kulağa hoş gelen çınlama sesi ve bugün teknik gelişim sayesinde mavi - beyazdan belirgin bir fildişi rengine kadar değişebilen çok çeşitli tonlardaki temiz rengidir.

Porselen kırıldığında kırık yüzey düzgün, sıkı (sık dokulu ) ve su geçirmezdir. Bu çok basit bir deneyle de test edilebilir. Dil hafifçe kırık yüzeyde gezdirilir. Dil yüzeye yapıştığı takdirde söz konusu olan seramik veya herhangi bir başka seramik benzeri üründür. (Çini - fayans - pişme toprak gibi) . Aksine dil kırık yüzeyde kayar gider ve kırık gövde yinede ışık geçirgenliğini korursa söz konusu olan porselendir.

Esas olarak porselen ikiye ayrılır.

- a ) Sert porselen
- b) Yumuşak porselen

Sert porselen genellikle Avrupa Kıtası'nda; Yumuşak porselen ise Çin'de, Japonya'da ve İngiltere'de üretilir. Almanya ve Avrupa Kıtasında üretilen porselen sert porselendir. En önemli özellikleri yüksek kaolen özellikleri ( % 50 ) ve ancak 1400 - 1500 °C de eriyen feldspat sırrıdır. Söz konusu sıcaklıkta sırrın altındaki porselen gövde de külçeleşmektedir. Bunun sonucu olarak da gövde gibi sırrın da olağanüstü yüzey sertliği ve dayanıklılığı ortaya çıkmaktadır.

Sert porselenin bisküvisi (gövdesi) ve sırrı çeşitli metal oksitlerin uygun eklemeleriyle boyanabilir. Böylece fildişi porselen, kobalt porseleni (mavi boyalı ), seladon porseleni (yeşilimsi boyalı), pembe porselen ve hatta siyah porselen elde edilebilir. Daha sonrada birçok kez değinileceği gibi sert porselenin yüksek sır pişirimi sıcaklığı sır altı dekorlama şansını kısıtlamaktadır.

Yumuşak veya kemik porseleni adını; harmanında % 50 - 65 oranlarında bulunan kemik tozu veya fosfattan almaktadır. Kalan %15 - 30 'u ise kuartz ve Felspattan oluşan pegmatit ve kaolin oluşturmaktadır. Pegmatit İngiltere'de Cornwell - Helston' da Cornish -Stone adıyla çıkarılmaktadır. Kaolin oranının da sert porselene oranla bir hayli az olması nedeniyle daha düşük bir bisküvi pişirimi sıcaklığı kütleleşmeyi sağlamakta yeterli olmaktadır. Ancak yumuşakla sert porselen arasındaki tek fark değişik harman yapıları değildir. Daha ilk bisküvi pişiriminde ( 1200 - 1280 °C ) tam pişmiş olmaktadır. Genellikle kurşun ve Bor karışımlarını ihtiva eden sır ise, daha sonraları 920 - 1125 °C 'da pişirilmektedir.

Yumuşak porselenin sert porselene kıyasla oldukça düşük olan pişirim sıcaklığının sert porselenin mekanik sertliğine; sağlamlığına ve darbe dayanıklılığına ulaşmamasına yol açması doğaldır. Ancak dekorlama ve renk seçimine olanak tanımaktadır. Yumuşak porselen Batı Dünyasında özellikle İngiltere'de üretilmekte ve "Bone China " ticari adıyla piyasaya sürülmektedir. Son bilgilere göre Sovyetler Birliğinde de yumuşak porselen üretimi konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Sevres: Bu ürün kuartz, potasyum nitrat, tuz, killi toprak, soda ve alçıdan oluşan bir eriyikten yapılmaktadır. Bu karışıma öğütüldükten sonra kireç ve tebeşir (kireç karbonatı) katılmaktadır. Sırrı da yine kuvars , potas (kalsiyum karbonat ) ve sodadan oluşan bir eriyiktir. [14]

Batı'da porselen "Çin" olarak adlandırılır. Çin'de parlak, sert porselen Tang Hanedanlığı döneminde yapıldı. XVI. yüzyılda ticari gemiler milyonlarca parça porseleni öncelikle Ming, daha sonra Qing Hanedanlığında Batı'ya taşıdı. XVIII. yüzyıl başlarında Avrupalılar kendilerine ait ilk gerçek porseleni yaptılar. Böylece porselen, Doğu'dan Batı'ya uzun ve yorucu yolculuklar sonucunda taşınmış oldu. İngilizler, XVIII. Yüzyıl ortalarına dek sert porselen yapımının sırrını keşfedemediler.. Ama İngiltere gelişmişlik seviyesi bakımından Almanya'nın yarım yüzyıl gerisinde kalmasına rağmen, ilk orijinal porselen üreten Avrupa ülkesi olmuştur.[15]

18. yüzyılda Avrupa'da kurulmaya ve gelişmeye başlayan porselen sanayinin en genci Danimarka'da kurulan Royal Copenhagen firması. Çin'den geldiği tahmin edilen çok etkili ve pahalı bir teknikle yapılan porselenlerde sadece üç renk kullanılmaktadır; mavi, kahverengi ve yeşil. Diğer renkler 425 °C fırınlanınca solduğu için bu renkler öne çıkmaktadır.

Bugün de 200 yıl önce yapıldığı gibi aynı özenle ortaya çıkartılan porselenler arasında en popüler olanı 1779'da üretilmeye başlanan "Blue flower" modelidir. Eski Çin porselenlerinin motiflerinden esinlenerek dizayn edilmiştir. Deseni basit görülmekle birlikte her bir tabak 100'den fazla fırça darbesi içerir.[16]

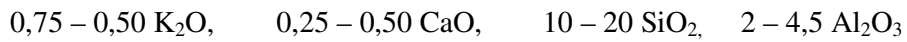
Ülkemizde porselen; ilk ciddi çalışma, İstanbul'da Ahmet Fethi Paşa tarafından, 1845 yılında Eyüp, Balat ve Beykoz çevresindeki küçük imalâthanelerde çalışan ustalar bir araya toplanarak, Beykoz'da çini fabrikası kurulmasıdır. Fabrikada tabak, sürahi, kase, kapaklı sahan gibi günlük kullanım eşyası yanında duvar çinisi de imal edilmiştir. Günlük kullanım kaplarının beyaz zeminli olanlarının üzerinde

19. yüzyılda Avrupa porselenlerinde görülen renkli iri çiçeklerle bezeme vardır ve bazılarında çiçeklerin üzeri yıldızla boyanmıştır. Sürahi ve sahanların kapaklarının tutamakları çiçek, meyve ve sebze formunda yapılmıştır. Bunun yanında zemini kreme kaçan beyaz renkte olan sahan ve tabaklar da bulunmaktadır. Tabaklar sepet örgüsü motifli ve ajur tekniğinde, sahanların kapakları ise kabartma çiçeklerle bezenmiştir. Eser-i İstanbul porseleni olarak tabir edilen bu eserlerin en belirgin özelliği, diplerinde soğuk damga olarak elips çerçeve içinde veya çerçevesiz olarak siyah, yeşil, kırmızı ve mavi ile yazılmış Osmanlıca Eser-i İstanbul damgasının bulunmasıdır. Fabrika maddi sıkıntılar ve bakımsızlık nedeniyle 20-30 sene sonra kapanmak zorunda kalmıştır. İhtiyaç büyüdüğü için II.Abdülhamit tarafından 1892'de Yıldız Sarayı'nın dış bahçesine Yıldız Çini Fabrikası kurulmasına karar verilmiştir. Fabrika'nın kuruluş amacı öncelikle saray ve çevresinin ihtiyacını karşılamaktır. Yıldız Çini Fabrikası'nda imal edilen ilk porselenler salon ve duvarları süslemek için yapılan, üzerlerinde padişah portresi ve İstanbul panoramaları bulunan büyük vazolar, duvar tabakları ve levhalardır. Resimlerin üzerinde çoğunlukla ressamın imzası bulunur. Bunun yanında günlük kullanım kapları olan sahan, tatlılık, aşurelik ve tabaklar imal edilmiştir. Bunlar Avrupa'da Osmanlı pazarı için üretilmiş porselenler örnek alınarak Türk anlayışı içinde iç ve dış yüzeyleri renkli çiçek demetleri ve yıldızla süslenmiştir. Tutamakları gül, meyve ve sebze formundadır. Fincan ve tabaklarda genellikle dönemin padişahının tuğrası veya adının baş harfleri vardır. Porselenlerin arkalarında ay-yıldız, tarih, yapıldığı senenin iki rakamından oluşan damga bulunmaktadır. [17]

### **3.2. Porselenin Sınıflandırılması**

Porselen literatürde üç ayrı şekilde sınıflandırılır. Porselenlerin bileşim ve pişme sıcaklıklarına göre sınıflandırılması tablo 3.1' da gösterilmiştir.

1. Seger'e göre; 1230 - 1460 °C arasında olgunlaşan ve aşağıda verilen moleküller formüle uygun seramik bünyeleridir.



## 2. pişme Metodlarına göre

### a. Yumuşak Porselen

- Bisküvi Pişirimi → Oksidatif
- Sır Pişirimi → Oksidatif
- Tek Pişirim → Değişken

### b. Sert Porselen

- Bisküvi Pişirimi → Oksidatif
- Sır Pişirimi → Redüktif

## 3. Genel Sınıflandırma

### a. Sert Porselen

- Yüksek sıcaklık porseleni
- Alçak sıcaklık porseleni

### b. yumuşak Porselen

Seğer Porseleni, Amerikan Sofra Eşyası Çinisi, İngiliz Elektriksel Porseleni, Frit Porseleni, Amerikan İnce Çinisi, Dantel Porseleni, Parian, Jaspas, Bazer, Kemik Çini

Tablo 3.1 Porselenlerin bileşim ve pişme sıcaklıklarına göre sınıflandırılması[18]

<b>Porselen</b>	<b>Kaolen(%)</b>	<b>Feldispat(%)</b>	<b>Kuvars(%)</b>	<b>Pişme Sıcaklığı(°C)</b>
Sert Porselen	40-60	18-30	12-35	1400-1500
Yumuşak	30-40	25-40	30-40	1280-1350
Elektro Porselen	40-50	20-28	22-40	1300-1350
Steatit Porselen	10-20	75-85	5-10	1280-1350
Frit Porselen	30-50	25-35	25-35	1200-1300
Kemik Porselen	20-30	25-30	25-50	1220-1250
Sağlık gereçleri	25-40	30-36	25-45	1230-1280
Laboratuar	60-65	15-30	10-15	1450-1500
<i>Diş Porselen</i>	<i>20-30</i>	<i>50-60</i>	<i>10-20</i>	<i>1200-1280</i>

### 3.2.1. Sert Porselen

Daha ziyade Avrupa ülkelerinde üretilmekte olup, yumuşak porselene göre daha fazla kaolinit ve  $Al_2O_3$  içerdiğinden yüksek derecelerde pişirilmektedir. Daha yüksek derecelerde pişen sert porselen bünyesinde oluşan kristal yapı, darbelere dayanıklı olup, üzerindeki sır ile tam bir bütünlük sağlayarak yüzeylerindeki sırnın, gövdesi kadar sert ve çizilmez bir üstünlük kazandığı görülür. [19]

En önemli özellikleri yüksek kaolen özellikleri ( % 50 ) ve ancak 1400 - 1500 °C eriyen feldspat sırrıdır. Söz konusu sıcaklıkta sırnın altındaki porselen gövde de külçeleşmektedir. Bunun sonucu olarak da gövde gibi sırnın da olağanüstü yüzey sertliği ve dayanıklılığı ortaya çıkmaktadır.

Sert porselenin bisküvisi (gövdesi) ve sırrı çeşitli metal oksitlerin uygun eklemeleriyle boyanabilir. Böylece fildişi porselen, kobalt porseleni (mavi boyalı ), seladon porseleni (yeşilimsi boyalı), pembe porselen ve hatta siyah porselen elde edilebilir. Daha sonrada birçok kez değinileceği gibi sert porselenin yüksek sır pişirimi sıcaklığı sır altı dekorlama şansını kısıtlamakta ve büyük önem kazandırmaktadır.[16]

Çoğunlukla kap – kacak ve elektro porselen ürünler sert porselenler grubunda yer alır. Bu ürünün pişme sıcaklığı normal olarak 1400 °C dolayında bulunur. Özellikle elektronik amaçlar için kullanılan çamurlarda  $Al_2O_3$  oranı, kalsine kaolen veya çok ince öğütülmüş korund ile yükseltilir. Bu tür çamurların sıcaklık değişimlerinde direnci de yüksek olur.

Yüksek gerilim izolatörlerinin çamurlarının yapısında %10-30 oranında korund yer alması ile yüksek mekanik dirence de erişilir. Bu direncin elde edilmesinde ki diğer bir koşul, korundun çamurda çok ince (60 mikronun altında ) öğütülmesi ile yer almasıdır.

Elektro porselen üretiminde eskiden kullanılan, kil cevheri yönünden zayıf kuvarsça zengin çamurlar ile de yüksek mekanik dirençler elde edilebiliyordu. Bu çamurların sakıncası, dar olan pişme intervalleri (aralıkları) idi. Kil cevheri yönünden zengin ve korund içeren çamurlar ise, bu açıdan daha avantajlı olup daha geniş bir pişme aralığına sahiptirler. Teknik porselen çamurlarında kuvars, kısmen veya tümünden zirkon oksit veya zirkon silikat ile yer değiştirilebilir. Bu 'zirkon porseleni', kaolen-feldspat-kuvars porselenlerine oranla daha büyük mekanik dirence sahiptir.

Doğada ender olmakla birlikte, gerektiğinde yapay olarak üretilen Baryum feldspat (Celsine) ile ateşe dayanıklı porselen türü günümüzde bazı ülkelerde üretilmektedir.

İzolator çamurlarında feldspatın % 1-10 arasında ki oranı, sabun taşı ile yer değiştirilirse, küçük çapta kordiyerit oluşumlu bir çamur elde edilir. Bu çamurun ise sıcaklık genleşmesi oldukça düşüktür.

Normal bir sert porselen çamurunun kübik genleşme katsayısı,  $220-225 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$  değerleri arasında bulunur. Pişme sıcaklığı  $1320-1460 ^\circ\text{C}$  arasında değişir, imalat proseslerindeki teknolojik hatalardan en fazla etkilenen bir bünye tipidir. imalatta aşağıda belirtilen faktörler üzerinde son derece dikkatle durulması gereklidir.

- a . Hammadde kompozisyonların, özellikle  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  yüzdeleri
- b . Hammadde rutubet yüzdesi
- c . Tane iriliği
- d . Suda eriyen tuzlar. pH değeri
- e . Hamurun su muhtevası.

Hammadde reçeteleri değişkendir. Hammadde genel karakterleri farklılıklar gösterir. Bu değişme ve farklılıklar nedeniyle imal edilen porselenin kalitesi ve özelliği de değişik olur. [6]

%50 Zetlrite kaolini + % 25 hohembuck kumu + % 25 Norveç feldspatı kompozisyonunda hazırlanan harmanda % 3 oranında çeşitli maddeler ilave ederek aşağıda ki neticeleri bulmuştur.

1 . CaO: PCE-23 (1590°C). SK-10 (1300°C) 'da dikkate değer bir deformasyon görülüyor. Elastik mukavemeti düşük, çarpma-eğilme mukavemetine yüksek bir değer veriyor ve bunların neticesi olarak termal genleşme katsayısı ve termal şok mukavemeti oldukça düşüyor. Saydamlık zayıf olup mikroskopta fazla miktarda erimemiş kuvarsın mevcut olduğu görülüyor.

2 . MgO: MgO, PCE' nı çok düşürüyor. Bünyenin yumuşama ve ergimesi arasında 280°C gibi çok dar bir ara sıcaklık aralığı kalıyor

3. Talk: Yumuşama ve ergime sıcaklığı arasında 420°C bir fark bulunuyor. Elastik mukavemeti esas bünyeden daha yüksek bir değer veriyor. Çarpma eğilme mukavemeti tecrübe edilen bünyeler içinde en yüksek değere erişiyor.

4 . Dolomit: Talk gibi netice vermektedir.

5 . Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Camlaşma çok küçük bir sıcaklıkta başlıyor (1150°C) yumuşama ve ergime sıcaklıklar arasında ki fark çok geniş olup yaklaşık olarak 470 °C'dır. (çarpma eğilme mukavemeti ve termal çok mukavemeti çok düşük ve saydamlık zayıftır.

6 . ZnO: PCE' ı esas bünyeden daha yüksek. Yumuşama ve erime sıcaklıkları arasında ki fark çok geniş olup çarpma eğilme mukavemeti düşüktür. En küçük termal genleşme katsayısına ve dolayısıyla iyi bir termal şok mukavemetine sahiptir. Mikroskopta kuvars tanelerinin hemen hemen tamamen ergidiği görülür.



7.  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ : Sinerleşme gecikir.'1200 °C' nin üzerinde PCE'ı 32 çıkar (1700°C). diğerlerinde az miktarda da olsa bir düşme gösterir. Elastik mukavemeti ve çarpma-eğilme mukavemetlerinin özellikle  $Al_2O_3$  bünye de oldukça yükseldiği görülür.  $ZrO_2$  'lı bünyenin saydamlığı çok düşük,  $TiO_2$  'lı bünye de ise saydamlığı kalmadığı görülür. [6]

Bu bünyeler deformasyon nedeniyle farklı sıcaklıklarda pişirilmişlerdir. Porselen harmanında kullanılan hammaddelerin yalnız kimyasal analizleri değil aynı zamanda mineralojik yapıları da porselenin özellikleri üzerinde çok önemli etkilerde bulunur. Bunu Hirsch'in %50 kaolen ve kil + %30 kuvars ve + %20 feldspat harmanını alarak kuvars olarak değişik mineralojik yapıya sahip hammaddeler kullanarak yapmış olduğu araştırma göstermektedir. Hirsch araştırmasında 4 tip kuvars taşı, 3 çeşit kum, ham ve kalsine flint kullanmış olup, neticeleri şunlardır.

Sert porselen harmanı (genel) Tablo 3.2' de gösterilmiştir.

a-Saydamlık gerçek kuvars kullanıldığında en iyi neticeyi verir.

b-Basınca mukavemette en iyi değerleri kalsine flint ve kumlardan biri verir.

c-Çarpma-eğilme mukavemetinde en iyi sonucu kaolen yıkama kumu verir.

d-Çekme mukavemetinde en iyi sonucu kaolen yıkama kumu, ikinci olarak kalsine flint verir.

e-Delinme mukavemetinde kalsine flint ve kum en yüksek, ham flint en düşük değeri verir. [6]

Tablo 3.2 Sert Porselen Harmanı (Genel)

Hammadde	Normal Reçete %	Aralık	Ortalama
Kaolen	50	42 – 66	54
Potas Feldspatı	25	14 – 37	27
Kuvars	25	12 – 30	21

### 3.2.2. Yumuşak Porselen

Yumuşak veya kemik porseleni adını; harmanında % 50 - 65 oranlarında bulunan kemik tozu veya fosfattan almaktadır. Kalan %15 - 30 'u ise kuartz ve Feldspat' dan oluşan pegmatit ve kaolin oluşturmaktadır. Kaolin oranının da sert porselene oranla bir hayli az olması nedeniyle daha düşük bir bisküvi pişirimi sıcaklığı kütleleşmeyi sağlamakta yeterli olmaktadır. Ancak yumuşakla sert porselen arasındaki tek fark değişik harman yapıları değildir. Yumuşak porselenin sert porselene kıyasla oldukça düşük olan pişirim sıcaklığının sert porselenin mekanik sertliğine; sağlamlığına ve darbe dayanıklılığına ulaşmamasına yol açması doğaldır. Ancak korlama ve renk seçimine olanak tanımaktadır. Yumuşak porselen Batı Dünyasında özellikle İngiltere'de üretilmekte ve "Bone China " ticari adıyla piyasaya sürülmektedir.

Sert porselene göre hamur reçetesi daha fazla feldspat ve daha az kaolinit içerdiğinde daha düşük derecelerde pişirilebilir. Çin Japonya, İngiltere de üretilmektedir. Sert ve yumuşak porselen genellikle önce alçak derecede (900 – 1000 °C) pişirilip daha sonra yüksek derecede sırlı pişme yapılırken bazı yumuşak porselen tiplerinde ilk pişme yüksek derecede yapıp sırsız olarak porselen özelliğinde ürün elde edildikten sonra alçak derece sırları ile sırlanır. Ve 1050 – 1150 °C de sırlı olarak ikinci defa pişirilir.

Bu metotla alçak derecelerde renkleri bozulmayan sır altı dekorları yapabilme imkanı elde edilmiş olur. Oysa ikinci pişirmeleri yüksek derecelerde yapılan yumuşak ve sert porselenlerde sır altı dekor imkanı kullanılmaz.

Dekorlama için alçak derecelerde sır üstü dekor veya 1000 – 1200 °C sıcaklıkta derin sır üstü dekor diye adlandırılan porselen üstünde hiç bir surette aşınmayacak dekorlar kullanılabilir. Ayrıca porselen hamurunu renklendirmek Çin'lilerin dünyaca meşhur Salden porselenleri veya Fildişi, Mavi, lacivert, pembe, siyah renkli sırlı veya sırsız porselenler yapılabilmektedir. Sofra ve süs eşyası olarak üretilen sert veya yumuşak porselenler beyaz ve şeffaflığının fazla olması ile kıymet kazanır. Şeffaflık incelik ile daha fazla olduğunda ince üretilmeye çalışılır. Ancak ince porselende kolay deforme olacağından bu üç önemli özelliği (beyazlık, şeffaflık, ve incelik) bir araya getirebilmek çok güçtür. Böyle üretilmiş bir porselen eşyanın tınası (tırnakla veya metal ile vurulduğu zaman çıkan ses) farklı bir ses verir. Yumuşak grubunda olan porselen malzemeler aşağıda verilmiştir.

**Elektro Porselen:** Elektrik iletim direklerinde ve yüksek gerilim elektrik hatlarında izolasyon sağlamak amacıyla kullanılırlar

İzolatörleri, PTT hatlarında alçak gerilim izolatörleri, elektrik sigortası porseleni. elektrik anahtar ve şalter porselenleri. elektrik izolasyon boru ve boncuk porselenleri bu gruba örnek olarak gösterilebilir.

Termik, hidroelektrik ve nükleer enerji santrallerinde elde edilen enerjinin dağıtımında kullanılan yüksek gerilim izolatörlerinin izolasyon özelliklerinin yanı sıra dağıtım şebekesi ağını taşıma fonksiyonlarından dolayı çekmeye de dayanımlarını yüksek olması gerekmektedir. Hayati işlevleri olan yüksek gerilim izolatörlerinin hepsi tek tek özel hazırlanmış gerilim test laboratuvarlarında kontrol edilmeden kullanılmazlar.

**Steatit Porselen:** Kristal yapısındaki özellikle düşük cam faza sahip olması nedeni ile steatitler elektro porselene göre daha yüksek elektriksel izolasyon ve mekanik dayanım gücüne sahiptirler. Elektroteknik sanayinde daha ziyade alçaka gerilim yüksek güç sahalarındaki sigortalarda, sanayi tipi bıçaklı şalter ve sigortalarda alçak ve orta gerilim kesicilerinde kullanılır.

Frit Porselen: Düşük derecelerde şeffaflıyet fazla porselenler elde etmek için feldspat yerine frit kullanılarak elde edilir. Düşük ısıda piştiği için diğer porselenlere göre daha az mekanik sağlamlığa sahip olmalarına rağmen ince ve şeffaflıyet iyi olan porselenlerdir.

Kemik Porselen: Porselen bünyesindeki cam fazı oluşturan feldspat yerine temizlenmiş sığır kemiklerinin 800-1000 °C sıcaklıkta kalsine edilip, 4-6 hafta kadar su içinde yaşlandırılmış ve kurutulmuş hali kullanılır.

Kemik bünyesindeki CaO ve tri kalsiyum fosfat hamurdaki kaolen ve korniş taşıdaki alümino silikatlar ile birleşerek kemik porselenini meydana getirir.

Kemik porselenleri özel beyazlığı ve oldukça yüksek şeffaflıyetleri nedeniyle beğeni kazanır. Su emmeleri yok denecek kadar azdır.

Sağlık Gereçleri Porseleni: Hacimce oldukça büyük olan sağlık gereçleri porselenleri hijyenik olma gereği ile mesanelerinin en fazla %1 'e kadar su emebilecek kadar vitrifiye olacak şekilde üretilirler. Diğer porselenler gibi sifıra yakın su memesi olmaması büyük formların deforme olmadan pişirilebilmeleri içindir. Böylelikle bakteri ve mikroplar ürünün bünyesinde barınamayacağı gibi kullanım için gerekli mekanik dayanımda sağlanmış olur.

Laboratuar Porseleni: Isıl şoklara ve asitlere dayanıklı laboratuar kaplardır. Kroze, kapsül, kayıkçık, küp şeklinde üretilen kaplar bu gruba girer.

Diş Porseleni: Daha önceleri kullanılan çeşitli metallere göre çok farklı üstünlükler göstermesi nedeni ile en sağlam ve sağlıklı diş malzemesi porselen olarak tespit edilmiştir. [19]

### **3.3. Porselen Üretimi**

Porselen üretiminde hammaddelerin çok temiz ve pişme renkleri beyaz olmak zorundadır. Doğadan elde edilen hammaddeler de genellikle istenen temizlik ve renk bulunmadığı için hammaddeler temizleme ve zenginleştirme proseslerinden sonra kullanılır.

Dolgu malzemeleri genellikle bir porselen bünyenin kaba parçacık büyüklüğünde bulunan bölümleridir. Bu malzemeler birkaç işlevi yerine getirir. Kaba parçacıklarının büyüklüğü kırma esnasında çatlamaya karşı direnç, ve plastik deformasyonunu azaltmak için pişirme sırasında iskelet örgüsüne karşı dayanıklılık sağlar. [20]

#### **3.3.1. Porselen çamurun hammaddeleri**

Porselen çamurlarında kullanılan feldspatların genelde gaz kabarcığı çıkarmaksızın ergimeleri ve demir lekeleri göstermemeleri gerekir. Bazı feldspat türleri camsı saydam, bazıları ise beyaz opak bir erime gösterirler. Dış porseleni dışında feldspatların ergimelerindeki saydamlık veya örtücülüğünde çamur ve sır içinde etki olarak bir farklılığı yoktur.

Porselen çamurunun saydamlığının feldspat oranının yükseltilmesi ile artırılması istenirse, bu işlem için saf potasyumla feldspatların kullanılması yararlıdır. Aynı şekilde elektro porselende de bazı elektriksel özellikler, sodyumlu feldspat yerine potasyumlu feldspatların kullanılması ile geliştirilebilir. Porselen çamurlarının bileşiminde kullanılan kaolen ve killerin beyaz pişmesi, kil cevheri oranının yüksek olması ve kaolenitik mineral yapıya sahip olmaları gerekir.

Diğer kil mineralleri, örneğin halloysit ve montmorillonit minerallerini içeren kil ve kaolenler, genel olarak porselen çamurlarında fazla oranda kullanılamazlar. Ancak

bazı özel durumlarda porselen çamuruna özlülük kazandırmak amacı ile % 1- 5 arasında bentonit katkısından yararlanır.

Doğada kullanılabilir nitelikte bol sayıda kaolen bulunmaktadır. Porselen üretimine elverişli karakteristik kaolenlere ise pek sık rastlanmamaktadır. Çoğunlukla kaolenler saf ve beyaz olmakta ancak yeterince özlülük göstermemektedirler. Bu nedenle, zorunlu olarak, az da olsa beyaz pişen özlü killer kaolenlere katılarak, onların belli bir plastikliğe ulaşmaları sağlanır.

Plastik olmayan kaolenlerin yer aldığı porselen çamurlarına kil katkısı ile özlülük kazandırmada katkı oranının % 2-10 arasında yer alması uygun olur. Bu kil katkısı, elektro porselen, teknik porselen, ateşe dayanıklı porselen çamurlarında %15 ' e kadar yükseltilebilir.

Porselen çamurunda kilin yer alması ile birlikte, çamurun kuru direncinde de belirgin bir artış olur. Diğer yandan porselen kırığının saydamlığı ve beyaz rengi kilden gelen demir ve titan nedeni ile geriye gider.

Çamurdaki kaolen oranının % 0,3'ü oranında  $TiO_2$  ve % 0,5 - 0,7 'si oranındaki  $Fe_2O_3$  in varlığı, saydamlığın belirgin bir şekilde bozulmasına neden olur. Kil ve kaolenlerdeki bu demir - titan ikilisinin renk bozucu etkisi pişme sırasında ortaya çıkan " ilmenit " (  $FeTiO_3$  ) oluşumu ile açıklanır.

Porselen üretimine uygun olan ve doğada sık rastlanabilen killer yüksek plastiklik gösterirler, 1300°C de beyaz veya beyaza çok yakın renkte pişerler. Döküm çamuru olarak üretilen porselen çamurlarına gereken durumlarda yapılacak olan kil katkısına kilin elektrolitler ile iyi bir akışkanlık göstermesi de gerekir.

Porselen çamurlarında yer alacak olan  $SiO_2$  nin saf kuvarsit veya saf beyaz pişen kuvars kumu formunda olması istenir. Doğadaki  $SiO_2$  rezervleri feldspatlara oranla daha fazladır. Porselen çamurlarında en iyi saydamlığa saf kristal kuvarsla

erişilebilir. Çok safta olsa kuvars kumu ile kuvarsit ve geysirit ile elde edilen saflığa erişilemez.

### **3.3.2. Porselen Çamurun Şekillendirilmesi**

Seramik üretiminde bilinen her türlü şekillendirme yöntemi porselen ürünlerin şekillendirilmesinde de kullanılabilir. Örneğin, sulu metot (döküm, yarı yaş metot (torna, şablon torna, iç yontma, dış yontma, vakum pres), kum metot (pres. isostatik pres) gibi yöntemler ile çok çeşitlilik arz eden porselen ürünler şekillendirilir. Kuru pres çamuru ile % 5-7 nemlilikte yapılan şekillendirme ile başta küçük elektrik yalıtım parçaları olmak üzere çeşitli plaka formları, oval ve yuvarlak tabaklar, çeşitli mutfak eşyaları üretilebilir.

Pres çamurunun nemliliği % 12 - 15'e çıkarılarak ve belli oranda kalıp yağı ile karıştırılarak gene elektrik yalıtım parçaları, bu kez daha karmaşık formlarda üretilebilirler. İzolatör adını alan diğer elektrik yalıtım malzemeleri, özellikle yüksek gerilim izolatörleri, çoğunlukla ön şekillendirilmesi yapılmış, deri sertliğinde çamurun tornalarda bıçaklar ile şekillendirilmesi ile üretilirler. [19]

### **3.3.3. Porselenin Kurutulması**

Tornalarda iç ve dış sıvama yöntemi ile şekillendirilen parçalar, içinde veya üzerinde şekillendirildikleri alçı kalıplar ile birlikte kurutulurlar. Bu kurutma sıcaklığının alçı kalıplara zarar vermemesi için 60 °C nin üzerine çıkmamasına dikkat edilir. Bu türdeki şekillendirmeye uygulanabilecek en uygun kurutma yöntemi salıncaklı kurutuculardır. Hızlı ve sağlıklı çalışması nedeni ile büyük işletmelerde kullanılırlar. Porselene uygulanan diğer kurutma şekilleri sürekli ve periyodik çalışan kurutma odaları, kurutma bant ve kanalları olabilir. Kalın olarak üretilen izolatör gibi parçaların kurutulmaları kuruma çatlaklarını önlemek amacıyla yavaş ve özenli olarak yapılmalıdır. [19]

### **3.3.4. Porselenin Bisküvi Pişirimi**

Kurutulmuş ve rötuşu yapılmış olan parçalar çeşitli tipteki fırınlarda bol havalı ve oksitleyici bir atmosferde yapılmak koşulu ile, 800 – 950 °C arasında bisküvi pişirimine sokulurlar. Parçalar kamara veya tünel fırınlarda rafsız olarak üst üste dizilerek pişirilebilirler. Bisküvi pişirim sıcaklığının yetersiz oluşu veya aşılması sonucu sırlamada bazı aksaklıklar ortaya çıkar. Çamurun yapısında yer alan tüm kuvars oranı bisküvi pişirimi sonunda da çamurun içinde aynı oranda serbest formda bulunur. Buda bisküvinin yüksek sıcaklık genleşme katsayısı değerine sahip olması demektir. Soğuma sırasında kuvarsça zengin çamurların "soğuma çatlağı" göstermesi kuvarsça zayıf olanlara oranla daha fazladır. Kuvarsça zengin bir elektroporselen çamurunda 900 °C' deki sıcaklık genleşme katsayısı değeri, 1400 °C deki değerden yaklaşık iki kat daha büyüktür. Kap - kacak porseleninde bu fark % 20, kaolence zengin ateşe dayanıklı porselen ve laboratuvar porseleninde ise % 10 dolayındadır.

İzolatör ve laboratuvar gereçleri gibi kalın ve ağır parçalar, iyice kurutulduktan sonra, çoğunlukla daldırma ve çok büyük parçalarda ise püskürtme ile sırlandıktan sonra tek pişirim yöntemi ile pişirilirlir. [19]

### **3.3.5. Porselenin Sırlanması**

Porselen ürünlerde özellikle sofrta ve süs porselenlerinde beyazlık çok Önemli bir özellik olması nedeni ile sırlın da beyaz olması gerekmektedir. Örtücü beyaz sır ise yine porselenin çok önemli bir özelliğı olan şeffaflıyeti azaltacağından porselen sırlarının şeffaf olması gerekmektedir. Dolayısı ile porselendeki beyaz renk hamurun renginden elde edilir. Sır ise bu beyazlığa şeffaf ve derin bir görüntü veren camsı parlak tabaka olmak görevini üstlenir.

Porselen sofrta eşyası sanayiinde uzun yıllardan beri son derece ucuz, kullanılabilir ve fazla ekipman gerektirmeyen daldırma metodu kullanılmaktadır. Bisküvi pişirimi yapılan ürünler gerek şekil olarak daldırmaya müsait olduğu için, bu şekilde sırlandıktan sonra dip kısımlar silinerek sırlı pişirime tabi tutulur. Bu sistemin verimli şekilde çalışabilmesi için, sırlın yoğunluğu, viskozitesi, tane dağılımı,



malzemenin porozitesi, kalınlığı, çalışma sıcaklığı ve işçinin tecrübesi çok önemlidir. Sistemde tank içine alınan sır sürekli elekten geçerek devir daim yapar. Tank içine işçi tarafından ürünler daldırılarak sırlama işlemi gerçekleştirilir.

Bu sistemin başlıca iki dezavantajı vardır. Birincisi istenilen verime ulaşmak zor olmakta, ikincisi sürekli aynı sırlama sonuçlarını almak kişiye bağımlı olduğu için mümkün değildir. Sistemin sağlıklı yürüyebilmesi tamamen çalışan insana bağlıdır. Bu nedenle üreticiler sistemin işçiye bağımlılığını kurtarmak için yeni arayışlar içine girmişlerdir.

Bunun sonucu son yıllarda çeşitli firmalar tarafından otomatik daldırma makineleri geliştirilmiştir. Bu sistemde de sır, tank içine alınarak sürekli elenip devir daim yaptırılır. İnsan yerine makine ile aynı anda 8-10 parça daldırılarak sırlanır, dipleri silinir ve bant yardımı ile yüklemeye gönderilir. Kişi 4.000-5.000 parça olan sırlama miktarı makine ile 8.000 - 10.000 parça arasına çıkarılır. Ayrıca diğer gerekli şartların yanında daldırma süresi ayarlandıktan sonra sürekli aynı sırlama garanti altına alınmış olmaktadır.[21]

Sağlık gereçleri porseleninde şeffaflık gerekli bir özellik olmadığı ve mekanik dayanım için hamur tabakasının da kaim olması gerektiğinden beyaz hamur yerine daha az beyaz renk hamur kullanılabilir. İşte bu rengi örtmek için örtücü beyaz veya çeşitli moda renklerle sulanarak hamur renginin etkisinden kaçınılır. İkinci ve sırlı pişirimi yüksek derecede yapılan porselenlerde ham sır, ilk pişirimi yüksek sır pişirimi düşük olan porselenlerde ise firitli sır kullanılır. Sırlama işlemi daldırma, püskürtme, elektrostatik gibi yöntemler ile yapılır.

Sağlık gereçleri, yüksek gerilim izolatörleri, elektro porselenler gibi kalın porselen ürünler ham iken sırlanabilir ve tek pişirimde pişirilerek nihai ürün haline getirilebilirler. [6]

Porselen türlerine göre sırlarında Seger formülleri şu sınırlar içinde bulunur:

Sert Porselen: 1,0 RO. 0,6- 1,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 0,6 - 10 SiO<sub>2</sub>

Yumuşak Porselen : 1,0 RO. 0,3-0,5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 3-5 SiO<sub>2</sub>

Bazik oksitler olarak alınabilecek oksitler ve bunların mol oranları da şu aralıklarda bulunabilirler:

Na<sub>2</sub>O: 0-0,5 K<sub>2</sub>O: 0-0,5 Li<sub>2</sub>O: 0-0,1 CaO: 0-0,9 MgO: 0-0,6 ZnO: 0-0,2  
BaO: 0-0,2

Uygulamada çoğu zaman Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / SiO<sub>2</sub> oranı 1 / 10 yerine 1 / 9 olarak alınır. Böylece sının ergime sıcaklığı daha kolay denetlenmiş olur.

Sert porselende 2-2,5 yumuşak porselende de 1,4 - 2 arasında olan asit sayısının sınırları dışına çıkılmamalıdır. Bu değerlerin sır ile birlikte öğütülen boyaların etkisi ile de değişmemesi gerekir.

Sonuç olarak, porselen sanayiinde kullanılan metod değişmemekle birlikte, insana bağımlılığı azaltmak ve verimi arttırmak için sistem modernize edilmiştir

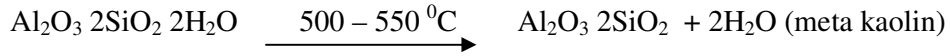
### **3.3.6. Porselenin Pişirilmesi**

Porselen camlaşmaya yakın noktaya kadar ısıtılarak elde edilen bir seramik türü olması nedeni ile pişirim öncesi ve pişirim sırasında diğer seramiklere göre çok daha fazla özen ve dikkat gerektirir. Porselen pişiriminde ulaşılan yüksek ısı camlaşma ile birlikte % 15 – 20 ye varan aşırı küçülme ve yumuşamaya sebep olur.

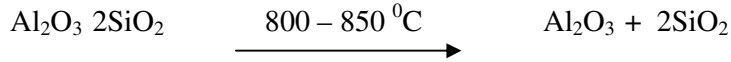
Yumuşama ise ürünün deformasyonunu oluşturur. Bu küçülme ve deformasyonlar önceden tahmin ve tespit edilerek ham ürünün küçülme oranı kadar büyük yapılması ve pişme sırasında deformeye karşı ters deformasyonların verilmesi ve ürünlerin özel refrakter parçalarla desteklenmesi gibi işlemler ile deformasyonların önlenmesi sağlanır. [6,19,21]

Bünye cinsi, fırınları doldurma sıcaklığı, malzemenin kalınlığı, sıcaklığın fırının ortasını etkileme süresi, fırının hacmi pişme süresini belirleyen etkenlerdir. Serbest ve kimyasal suyun uzaklaştırılması, organik safsızlıkların yanması, kükürt bileşiklerinin yanması, pişirme soğutma süreçlerinde dönüşmelere bağlı ani hacim değişiklikleri gibi etkenlerden dolayı da pişme süresini belirler.

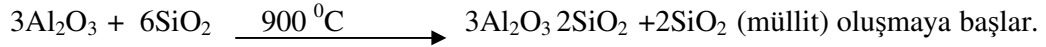
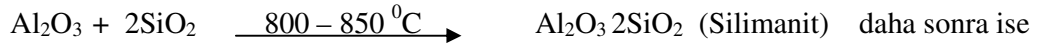
Pişirim olayında porselen ürün bünyesinde bulunan kaolenin ilk kimyasal değişikliğe uğraması 500 - 550°C endotermik bir reaksiyon sonucu bünyesindeki kimyasal suyun açığa çıkması ve meta kaolen'e dönüşmesi ile başlar.



Isı yükselmesi ile  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiO}_2$  amorf hale geçerler.

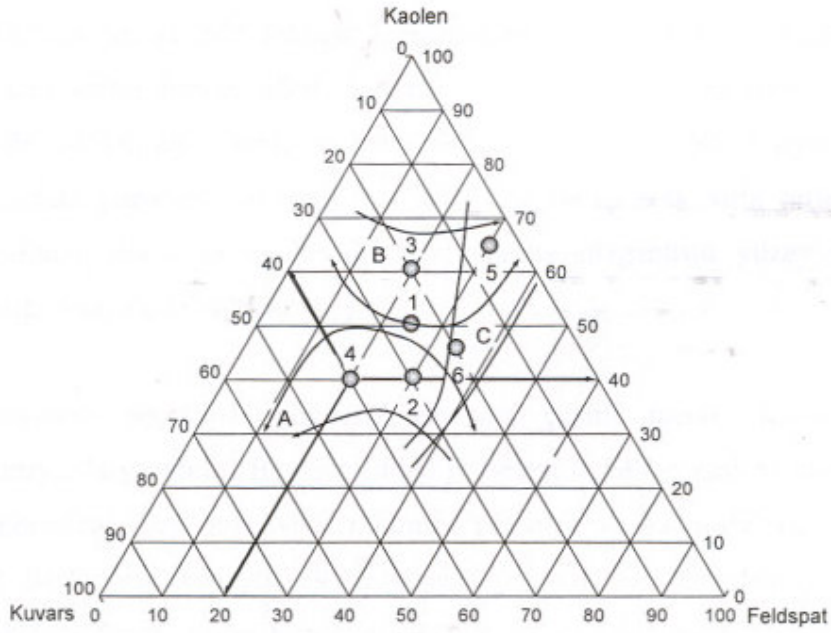


Isının yükselmeye devamı ile meydana gelen ekzotermik reaksiyonla önce



Aynı zamanda 950 °C den itibaren ergimeye başlayan feldspatın meydana getirdiği ergiyik, serbest kalan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiO}_2$  nin birbiri ile reaksiyona girmelerini sağlar. Oluşan İğne şeklindeki mullit kristalleri ısı yükseldikçe yoğunlaşarak porselenin mikro dokusu mullit kristalleri ile bir ağ gibi sarılır. Porselenin diğer seramiklere göre üstünlüğü daha yoğun mullit kristal yapısına sahip olması ve reaksiyona girmemiş olan kuvars tanelerinin bu mullit kristal ağı içine homojen olarak dağılmasından dolayıdır. Mullit kristalleri porselene mekaniksel kimyasal, termal şok ve elektriksel olarak üstün dayanım kazandırırken oluşan ağ içindeki erimiş serbest kuvars taneleri de porselenin mekanik dayanımının daha da artmasını sağlar.

İdeal bir porselen ürünün oluşması için kaolin, kuvars, feldspat oranının en uygun dengede bulunması gerekmektedir. Şekil 3.1 de porselen bileşimini oluşturan hammaddeler ve oluşturdukları porselen türleri görülmektedir. Özel porselenler hariç bu denge üçlü faz diyagramının orta bölgelerinde oluşmaktadır. Kaolin'in fazlalığı halinde porselenin pişme sıcaklığında gerekli pekişmenin olmadığı ve bünyede gözeneklilik giderilememekte ve pişme küçülmesi oranı düşmekte buna karşılık termal şoka dayanım artmaktadır. [6,19]



Şekil 3.1. Kaolen –feldspat-kuvars üçlü denge diyagramında Gilchrest ve Klinefelter porselen alanları sınıflandırılması [20]

Bileşimlerine göre porselen türleri:

1. Sert porselen,
2. Yumuşak porselen,
3. Teknik porselen,
4. Mekanik dirençli elektroporselen
5. Yalıtma güçlü elektro porselen
6. Sağlık gereçleri porseleni

Kuvars artması ile ergime halindeki hamurun akışkanlığı azalır. İstenen pekişmeyi sağlamak amacı ile ısının yükseltilmesi halinde kuvarsın ergimeye katılması ile denge yeniden sağlanır ve istenilen viskoziteye ulaşılır. Böyle bir hamurda ergime sıcaklık aralığı artar. Yani pekişmeye başlama ile ergime arasındaki ısı farkı artar. Bu da ürünlerin deformasyonunu azaltan bir özelliktir.

Reaksiyona girmeyerek çözünmemiş olan kuvarsın kristobalite dönüştüğü görülür. Bu durum ise termal şok dayanımını azaltan bir özellik kazandırır. Kuvarsı fazla olan porselenlerin mekanik dayanıklılıkları da artar. Isı yükselmesi ile bünyedeki kuvars reaksiyona girerek mullit kristallerinin artışı sağlanmış olur. Hamur bünyesinde feldspatın artması ile ergime ve cam fazı artacağından pişme sıcaklığı düşer. Cam fazın % 50' nin üzerine çıkması mekanik dayanımı azaltır. Buna karşılık cam faz mullit kristalleri doymuş olarak artmış bir porselende dielektrik özellik olumlu yönde gelişir. [20,21]

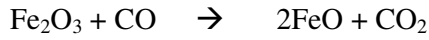
Yine cam fazın artışı ile çekmeye dayanım özelliği ve deforme olma özeliği olumsuz yönde etkilenirken şeffaflık özelliği olumlu yönde gelişir. Feldspat arttıkça küçülmede sıcaklığa paralel olarak artar. Söz konusu bu özellikler hammaddelerin tane iriliği ve pişme süreleri ile de önemli değişik özellikler gösterebilirler. Örneğin, kuvars yaklaşık % 15-40 cam faz içinde ergimektedir. Ancak kuvarsın tane iriliği küçüldükçe kuvarsın erime özelliği artacak ve bünyedeki serbest kuvars kristalleri azalacaktır. Pişme süresinin uzatılması ile çekme dayanımının arttığı, hızlı pişirmede ise birden bu özelliğin çok azaldığı, dielektrik özelliğin ise pişme uzadıkça artar. Porselen pişiriminde önemli bir unsurda fırın atmosferidir. Porselen pişirimi diğer seramiklere göre daha farklıdır. Diğer seramikler hep aynı fırın atmosferinde ısınıp pişirilip soğutulmasına rağmen porselen pişiriminde farklı ısılarda farklı atmosferler gerekmektedir.

Porselen pişirim safhaları:

Ön ısıtma bölümü	25-200 °C
Oksidasyon bölümü	200 – 1000 °C
Redüksiyon bölümü	1000 – 1450 °C
Nötr ve oksidasyon bölümü	1450- 1000 °C
Hızlı soğutma bölümü	1000-650 °C
Yavaş soğutma bölümü	650-400 °C
Normal soğutma bölümü	400-100 °C

1000°C ye kadar uygulanan oksidasyon bölümünde bol oksijenle temiz bir görüntü ile yanan alev istenir. Bundan amaç bu bölgedeki alev içinde karbon monoksitin bozulması ve zerreler halindeki karbonun porselen hamuru bünyesindeki porların içine girmesini önlemektir. Bu nedenle karbon tanelerinin tam yakılmasını sağlamak için çok oksidan bir atmosfer oluşturulur. [19,20]

1000°C den sonra gözeneklerin kapanması ile redüksiyon başlatılır yani ateş biraz dumanlı şekilde yanar, yanma atmosferi içinde oksijen azalırken buna karşılık CO, CO<sub>2</sub> fazlaşır. Bundan amaç porselen hamuru içinde bulunan ve oksidasyonla Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> haline gelmiş Fe nin verdiği istenmeyen sarımtırak rengi önlemektir. Renk veren 3 değerli Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> redüksiyonlu atmosferde indirgenerek 2 değerli FeO haline dönüşür.



2 değerli demir oksit ise silikatlar içinde açık mavi yeşil bir renk vererek porselen hamurunda istenen beyazlığı sağlar. Ayrıca, oksidan atmosferde, geniş olması arzu edilen pişme sıcaklık aralığının kısılması ile yüksek sıcaklıklarda açığa çıkan O<sub>2</sub> nin ve bünyede bulunan nitritin azota dönüşmesi ile çıkan gazların kapalı gözeneklerde toplanıp hava boşlukları doğurması ve sekonder porozite oluşturmasını önlemek için de redüktif atmosfer fayda sağlar. Redükleyici atmosferde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> indirgendiği için O<sub>2</sub> açığa çıkışı olmayacağı ve atmosferde O<sub>2</sub> nin olmaması ile nitrit oksijen olmayacağından gaz çıkışları oluşmayacaktır. [23,25]

Redükleyici atmosfer en yüksek sıcaklığa kadar devam ettirilir. Pişirim son bulduktan sonra porselenin ve üstündeki sırn cinsine göre soğutmada nötr veya oksidan bir atmosfer uygulanır. Örneğin, bazı izolatörlerde kullanılan kahverengi porselen sırlarının oksidan bir atmosferde soğumaları gerekir. [20,21]

## **BÖLÜM 4. SİLİS DUMANI VE KULLANIM YERLERİ**

Silika dumanı (silika füme) ferrokrom tesislerinin bacalarında tutulan ultra incelikteki silis tozlarıdır. Yaygın olarak çimento ve beton sektöründe kullanılmaktadırlar.

Özellikle beton üretiminde silis dumanı gibi ultra incelikteki tanelerin kullanımı, yoğunluğun artırılması dolayısıyla boşlukların azaltılması taze betonun stabilitesinin geliştirilmesi için önemlidir.

Böylece kararlılık iyileştirilir, dayanım yükseltilir ve istenen performans sağlanır. Silis dumanı veya diğer bir deyişle mikrosilika, aktif silika veya silika fume silis ve ferrosilis endüstrilerinin bir yan ürünüdür; 1950'lerden beri betonun özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bu tanelerin etkili olabilmesi için, beton içinde iyi bir dağılma gereklidir.

Silis dumanı yüksek performanslı beton ve harçların önemli bir bileşeni olup işlenebilmeyi artırır, kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki bağlanmayı artırır, sonuçta da betonun dayanımı ve kararlılığı artar. Ancak, silika dumanı'nın betonda kullanılmasındaki problem fiyatıdır; fiyatı, çimento fiyatının yaklaşık beş katıdır ve her yerde bulunması güçtür.

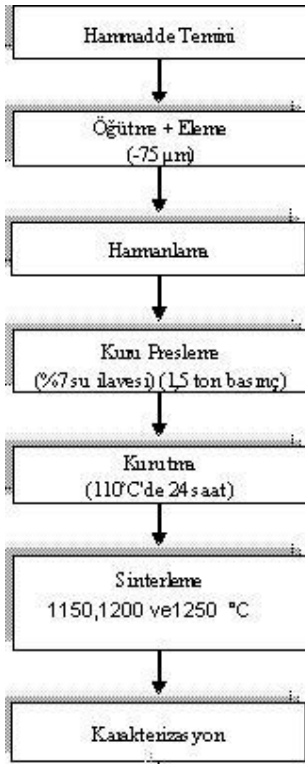
Betondaki çelik donatıların korozyonunu azaltıcı önlemlerin başında, geçirimsiz beton üretilmesi yer almaktadır. Bu amaçla beton içerisine ince taneli mineral katkıları ilave edilmektedir. Bu sebepten dolayı betonda kullanılan mineral esaslı katkıların arasında silis dumanı en başta gösterilebilir.



## BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Deney Programı

Bu çalışmada Antalya Etibank Elektrometalurji Tesislerinde filtrelerde tutulan silis dumanlarının geleneksel seramik malzemelerden olan porselen üretiminde kullanılması araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda kaolen, feldspat, kuvars ile silis dumanı karıştırılarak porselen bileşimi hazırlanmıştır.



Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda takip edilen prosedür

### 5. 2. Toz ve Bileşim Hazırlama

Çalışmalarda kullanılan silika dumanı Etibank Elektrometalurji A.Ş. Antalya Tesislerinden diğer hammaddeler (kaolen, feldspat ve kuvars) ise Adapazarı-Hendek arasında bulunan ÇELVİT firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan ve hammaddelerin temin edildiği kaynaklardan alınan hammaddelerin kimyasal analizleri Tablo 5.1. de verilmiştir.

Tablo 5.1. Hammaddelerin kimyasal analizleri.

Oksitler ve Elementler	Hammaddeler (%)			
	Kuartz	Potasyum-feldspat	Kaolen	Silika Dumanı
SiO <sub>2</sub>	99,72	65,61	54,50	84,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	19,65	42,01	2 - 5
Na <sub>2</sub> O	0,01	3,02	0,11	--
K <sub>2</sub> O	0,06	11,09	2,10	--
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,12	0,85	1 - 2,5
CaO	0,05	0,37	0,07	1 - 2
MgO	0,01	0,12	0,34	4 - 8
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,02	0,02	--
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	--	--	--	1 -4
C	--	--	--	1 -1,5
S	--	--	--	0,5 - 1,3

Bu çalışmada beş farklı bileşim hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan bileşimler ve kodlama sistemi Tablo 5.2 gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Deneylerde kullanılan bileşimlerin oranları

Hammaddeler	Numune Kodları ve Bileşimler (%)				
	1. Bileşim A	2. Bileşim B	3. Bileşim C	4. Bileşim E	5. Bileşim F
<b>Kaolen</b>	45	45	45	45	45
<b>Feldspat</b>	30	30	30	30	30
<b>Kuvars</b>	25	20	15	5	0
<b>Silika füme</b>	0	5	10	20	25

Deneyisel çalışmalarda üretilen numunelerin içerdiği oksit ve elementler Tablo 5.3 de belirtilmiştir.

Tablo 5.3. Hazırlanan numunelerin bileşimlerine göre içerdiği oksit ve elementler

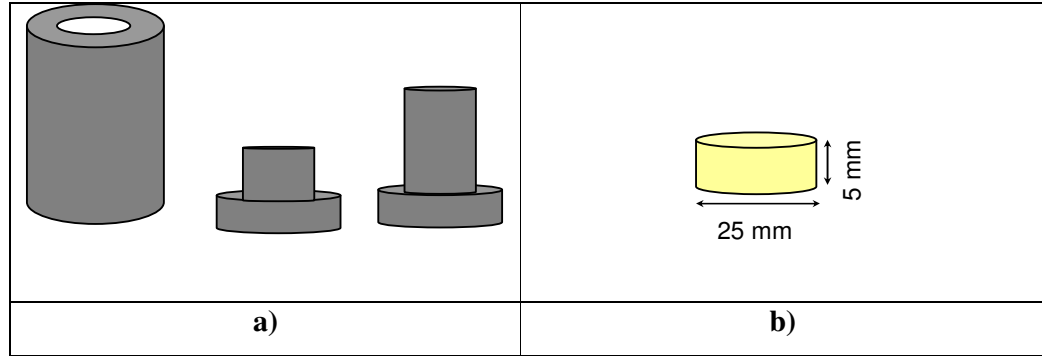
<b>Oksitler ve Elementler</b>	<b>A Bileşimi</b>	<b>B Bileşimi</b>	<b>C Bileşimi</b>	<b>E Bileşimi</b>	<b>F Bileşimi</b>
SiO <sub>2</sub>	69,13	68,3	67,648	66,166	65,425
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,9	24,96	25,212	25,704	25,85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,42	0,536	0,667	0,913	1,045
Na <sub>2</sub> O	0,95	0,95	0,94	0,94	0,935
K <sub>2</sub> O	4,72	4,72	4,718	4,715	4,715
CaO	0,15	0,25	0,347	0,542	0,64
MgO	0,18	0,582	0,981	1,78	2,18
TiO <sub>2</sub>	0,016	0,016	0,016	0,015	0,015
C	-	0,075	0,15	0,3	0,375
S	-	0,065	0,13	0,26	0,325
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,2	0,4	0,8	1

Kullanılan silika dumanının oldukça ince tane boyutuna sahip olmasından dolayı (% 80 -92 si – 38 µm ) öğütülmemiş olup sadece - 75µm luk elekten geçirilerek kullanılmıştır. Silika dumanına ait diğer fiziksel özellikler temin edildiği kaynak tarafından ölçülerek bildirilmiş olup, buna göre görünür yoğunluk 0,15-0,25 gr/cm<sup>3</sup> ve BET yüzey alanı 22,92 m<sup>2</sup>/gr dir.

Öğütme gerektiren hammaddeler ise bilyeli değirmende kuru olarak öğütülmüş, daha sonra 75 µm'luk elek ile elenerek elek altı hammaddeler kullanılmıştır. Eleme sonrası hammaddeler 1/10000'lik hassasiyette bir teraziyle tartılarak harmanlar oluşturulmuştur. Harmanların homojen karışımını sağlamak amacıyla, her bir harman 4 saat süreyle bilyeli değirmende kuru olarak karıştırılmış ve daha sonra ayrı bileşimler halinde torbalara konarak kodlama yapılmıştır.

### 5.3. Şekillendirme

Kodlama sonrası harmanların hassas tartı cihazında 4 gramlık tartımları yapılmış, % 7 su ilave edilerek 1.5 tonluk bir basınçla, tek yönlü presleme ile preslenip şekillendirilmiştir. Bu şekilde her bileşim için 12 adet numune olmak üzere toplam 48 adet numune hazırlanmıştır Şekil 5.2’de şekillendirme işleminde kullanılan çelik kalıp, pistonlar ve şekillendirilmiş numunelerin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 5.2. Deneysel süreçte kullanılan a) çelik kalıp ve pistonlar b) üretilen numunelerin şematik gösterimi

### 5.4. Kurutma ve Pişirme

Presleme yoluyla şekil alan numuneler kurutulmadan önce ağırlık, yükseklik ve çap ölçüleri alınarak Nüve marka etüvde 110 °C sıcaklıkta 24 saat kurutmaya tabi tutulmuştur. Kurutma esnasında şekillendirmede ilave ettiğimiz su ve nemin giderilmesi yoluyla numunelerdeki fiziksel suyun uzaklaştırılması sağlanmıştır. Kurutulan numuneler, hassas elektronik tartı cihazında tartılmış ve her numunenin kurutma öncesi ve sonrası ağırlık, çap ve yükseklik ölçümleri alınmıştır.

Kurutma sonrası sinterleme işlemi Heraus marka, elektrikle ısıtılan SiC dirençli kutu tip fırında 10°C/dk ısıtma hızıyla 1150, 1200 ve 1250 °C sıcaklıklarda 1 saatlik bekleme süresi uygulanarak, basınçsız olarak normal atmosferik şartlarda gerçekleştirilmiştir. Sinterleme sonrası numunelerin ağırlığı tartılmış ve boyutları ölçülmüştür.

## 5.5. Sinterlenmiş numunelerin karakterizasyonu

### 5.5.1. Toplu ağırlık kaybı, toplu pişme ve hacimsel küçülmenin hesaplanması

Numunelerde meydana gelen toplu ağırlık kaybı, toplu pişme küçülmesi ve toplu hacimsel küçülme aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Ölçümler ve hesaplamalar 10'ar numune üzerinden yapılmış ve aritmetik ortalamaları alınmıştır [22,23]. Ölçümlerde dijital kumpas ve 1/10000 hassasiyette terazi kullanılmıştır.

$$\text{Toplu Ağırlık Kaybı (\%)} = \frac{W_0 - W_p}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

$W_0$  = Presleme sonrası numune ağırlığı (gr),

$W_p$  = Sinterleme sonrası numune ağırlığıdır (gr).

$$\text{Toplu Pişme Küçülmesi (\%)} = \frac{h_0 - h_p}{h_0} \times 100 \quad (2)$$

$h_0$  = Presleme sonrası numune yüksekliği (mm),

$h_p$  = Sinterleme sonrası numune yüksekliği (mm),

$$\text{Toplu Hacimsel Küçülme (\%)} = \frac{V_0 - V_p}{V_0} \times 100 \quad (3)$$

$V_0$  = Presleme sonrası numune hacmi (mm<sup>3</sup>),

$V_p$  = Sinterleme sonrası numune hacmi (mm<sup>3</sup>). [23,26]

### 5.5.2. Bulk yoğunluk ve görünür gözenek miktarının tespiti

Etüvde 110°C'de 6 saat süreyle kurutulan numuneler tartılıp ( $W_a$ ), uygun bir cam beher içerisine konmuş numunenin yarısına kadar saf su ile doldurulmuş ve 5 dakika bekletilmiştir. Daha sonra numunelerin tümü su içerisinde kalacak şekilde behere su ilave edilerek bir ocak üzerinde ısıtmaya başlanmış ve kaynama anından itibaren

tekrar 5 dakika bekletilerek soğumaya alınmıştır. Oda sıcaklığına soğutulmuş numunelerin saf su içerisinde askıdaki ağırlığı ( $W_b$ ) tespit edilmiş, daha sonra sudan çıkarılan numunelerin yüzeyi nemli bir bez ile hafifçe silinerek ağırlığı ( $W_c$ ) ölçülmüştür. Bu tartımlar sonucunda aşağıdaki formüllerden yararlanılarak numunelerin bulk yoğunluğu,  $g/cm^3$  ( $d_b$ ) ve görünür gözenek yüzdesi bulunmuştur [22,23].

$$\text{Bulk Yoğunluk } (d_b) = \frac{W_a}{W_c - W_b} \times d_s \quad (4)$$

$$\text{Görünür Gözenek } (\%) = \frac{W_c - W_a}{W_c - W_b} \times 100 \quad (5)$$

Burada  $d_s$  tartımda kullanılan sıvının yoğunluğudur. Deneylerimizde sıvı olarak saf su kullanılmış olup, termometreyle saf suyun sıcaklığı ölçülerek o sıcaklıktaki yoğunluğu dikkate alınmıştır. Ölçümler her bileşim, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresi için 3'er numune test edilerek yapılmış ve aritmetik ortalamaları alınmıştır.

### 5.5.3. Su emme testi

110°C'de 24 saat süreyle etüvde kurutulan numuneler oda sıcaklığına soğutularak tartılmış ( $W_k$ ), daha sonra bir kaba konarak tamamı su içerisinde kalacak şekilde su ilave edilmiştir. 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra yüzeyleri nemli bir bezle kabaca kurulanmış ve ağırlıkları ( $W_d$ ) ölçülmüştür. Bu tartımlardan elde edilen değerler yardımıyla, su emme miktarı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır [22]. Ölçümler 3'er numune üzerinde yapılmış ve aritmetik ortalamaları alınmıştır.

$$\text{Su Emme } (\%) = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (6)$$

#### **5.5.4. Mikro Yapı İncelemesi İçin Numune Hazırlama**

Numune hazırlama, mikroyapı incelemelerinin başlangıcı ve en önemli kademelerinden birisidir. Çünkü doğru ve geçerli bir mikroyapı incelemesi yapmak ve detayları görmek ve görüntüleyebilmek; numune hazırlama kademesindeki başarı ile doğru orantılıdır [23].

Bundan dolayı bu çalışmada sinterleme sonrası silindirik numuneler ortadan ikiye kesilerek numune iç yüzeyleri önce zımparalanarak mikroyapı incelemesi için hazırlanmıştır.

Üretilen numunelerin mikroyapılarının SEM ile incelenebilmesi için geleneksel numune hazırlama prosedürü takip edilerek ilk önce zımparalama işlemi uygulanmıştır. Bu işlem, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 nolu SiC zımparalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Daha sonraki parlatma kademesinde parlatıcı olarak alumina solüsyon kullanılmış ve parlatma sonrası numuneler dağlanmadan ve % 10'luk HF asit çözeltisi ile kademeli olarak dağlanmış olarak SEM mikroyapı incelemeleri yapılmıştır

##### **5.5.4.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları**

Sinterleme sonrası nihai ürünün özelliklerini incelemek ve mikroyapı-özellik ilişkisini kurabilmek son derece önemli olduğundan SEM ile mikroyapı incelemesi ve EDS analizleri yapılmıştır. Bu çalışmalar Jeol JSM 5600 marka taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir.

##### **5.5.4.2. X-ışınları difraksiyon analizi (XRD)**

Bu yöntemde çok kısa dalga boyuna sahip bir x-ışını demeti analiz edilecek numunenin üzerine gönderilir. Işın demeti maddenin üç boyutlu kristal kafeslerinden difraksiyona uğrar ve bu maddeye has difraksiyon patterni elde edilir. Bu patternlerin

standart mineral patternleriyle karşılaştırılması sonucu, numunenin mineral yapısı saptanmış olur. Standart olarak ASTM kartları kullanılır [23].

Çalışmalarımızda, sinterleme sonrası numuneler -75 µm elekten geçecek şekilde öğütölmüş ve XRD analizleri RİGAKU marka bir cihazla CuKα ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ) radyasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen diyagramlar üzerinde yapılan ölçme ve hesaplamalardan bulunan düzlemler arası mesafe (d) değerleri ASTM kartları ile karşılaştırılarak numunelerin mineralojik analizleri kalitatif olarak tespit edilmiştir.

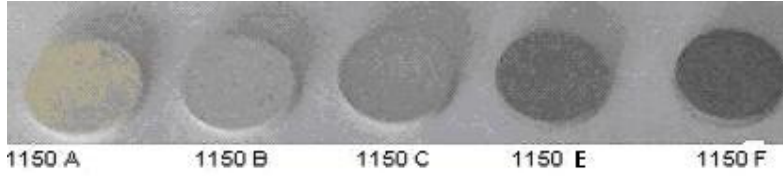


## BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

### 6.1. Toplu Boyut Küçülmesi

Tüm bileşimler 1150, 1200, 1250 °C sıcaklıklarında 1 saat süreyle sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin renk değişimleri ve dış görünüşleri Şekil 6.1., 6.2. ve 6.3. te görülmektedir. Sinterleme sıcaklığının ve silika dumanının artmasına paralel olarak sinterleme sonrası renkte koyulaşma gözlenmiştir.

Numunelerin her biri için pişme ve toplu küçülme değerleri kalıplama ve pişirme sonrası elde edilen boyut ve ağırlıklarının ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 6.1 de kalıplama ve pişme sonrası ortalama yükseklik ve ağırlıklar verilmiştir. Tablo 6.2. de silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak % toplu boyut küçülmeleri verilmiştir.



Şekil 6.1. 1150 °C sinterlenen numunelerin sinterleme sıcaklığı ve silika dumanı ilavesine göre renk değişimi



Şekil 6.2. 1200 °C sinterlenen numunelerin sinterleme sıcaklığı ve silika dumanı ilavesine göre renk değişimi



Şekil 6.3. 1250 °C sinterlenen numunelerin sinterleme sıcaklığı ve silika dumanı ilavesine göre renk değişimi

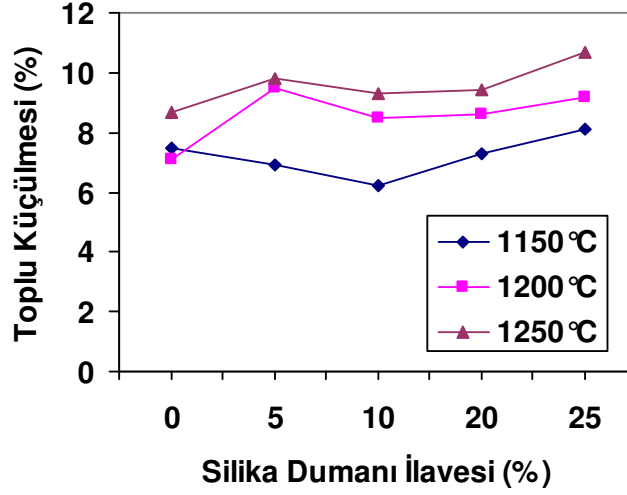
Tablo 6.1. Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak şekillendirme ve pişme sonrası ortalama numune ölçümleri

Bileşim	Sinterleme sıcaklığı (°C)	Şekillendirme		Pişme sonrası	
		Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)	Yükseklik (mm)	Ağırlık (gr)
A (% 0)	1150	4	4,171	3,7	3,852
	1200	4,2	4,219	3,9	3,878
	1250	4	4,003	3,65	3,715
B (%5)	1150	4,3	4,141	4	3,779
	1200	4,2	4,228	3,8	3,793
	1250	4,2	4,166	3,85	3,840
C (%10)	1150	4	4,176	3,75	3,740
	1200	4,2	4,101	3,8	3,673
	1250	4,3	4,116	3,9	3,709
E (%20)	1150	4,3	4,125	3,9	3,772
	1200	4,6	4,178	4,2	3,743
	1250	5,4	4,071	5	3,636
F (%25)	1150	4,4	4,123	4	3,681
	1200	5,4	4,198	4,9	3,630
	1250	5,6	4,119	5	3,615

Tablo 6.2. Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) toplu boyut değişimi

Bileşim	1150 °C	1200 °C	1250 °C
A (% 0)	7,5	7,1	8,7
B (%5)	6,9	9,5	9,8
C (%10)	6,2	8,5	9,3
E (%20)	7,3	8,6	9,4
F (%25)	8,1	9,2	10,7

Şekil 6.4 de silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak % toplu boyut küçülmelerinin değişimleri verilmiştir.



Şekil 6.4. Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) toplu boyut değişimi

Sinterleme sıcaklığının artmasına paralel olarak toplu küçülme değerlerinin genelde hem sinterleme sıcaklığı ile hem de silika dumanı ilavesi ile artış gösterdiği belirlendi toplu küçülmenin sinterleme sıcaklığı ile artış göstermesi sinterlenen tüm seramiklerde beklenen bir olay olup ( tanelerin birbirine yaklaşması ve bağlanması, aradaki boşlukların azalmasından dolayı ) sıcaklığın artması ile toplu küçülmede de artış gözlenmiştir. Silika dumanı ilavesinin artışı ile toplu küçülmede görülen yükselme eğiliminin nedeni çok ince tane boyutuna sahip olan silika dumanının sinterlemeyi kolaylaştırıcı özellik göstermesine bağlanabilir.

## 6.2. Görünür Gözenek, Su Emme, Bulk Yoğunluk ve toplu ağırlık Kaybı ve toplu hacimsel değişim

Tablo 6.3, Tablo 6.4, Tablo 6.5, Tablo 6.6, Tablo 6.7 da sırasıyla sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak; % görünür gözenek miktarı değişimi, % su emme değişimi, bulk yoğunluk değişimi, % ağırlık kaybı ve % hacimsel küçülme değişimleri verilmiştir.

Tablo 6.3. Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak (%) görünür gözenek miktarı değişimi

<b>Bileşim</b>	<b>1150 °C</b>	<b>1200 °C</b>	<b>1250 °C</b>
<b>A (%0)</b>	2,9	4,2	3,66
<b>B (%5)</b>	9,21	4,21	2,76
<b>C (%10)</b>	9,46	4,72	2,57
<b>E (%20)</b>	8,74	7,8	2,44
<b>F (%25)</b>	7,42	7,07	1,88

Tablo 6.4. Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak (%) su emme değişimi

<b>Bileşim</b>	<b>1150 °C</b>	<b>1200 °C</b>	<b>1250 °C</b>
<b>A (%0)</b>	1,99	3,14	1,44
<b>B (%5)</b>	4,81	3,22	0,90
<b>C (%10)</b>	4,8	3,47	1,11
<b>E (%20)</b>	4,52	4,32	1,51
<b>F (%25)</b>	3,4	3,76	1,12

Tablo 6.5. Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak bulk yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>) değişimi

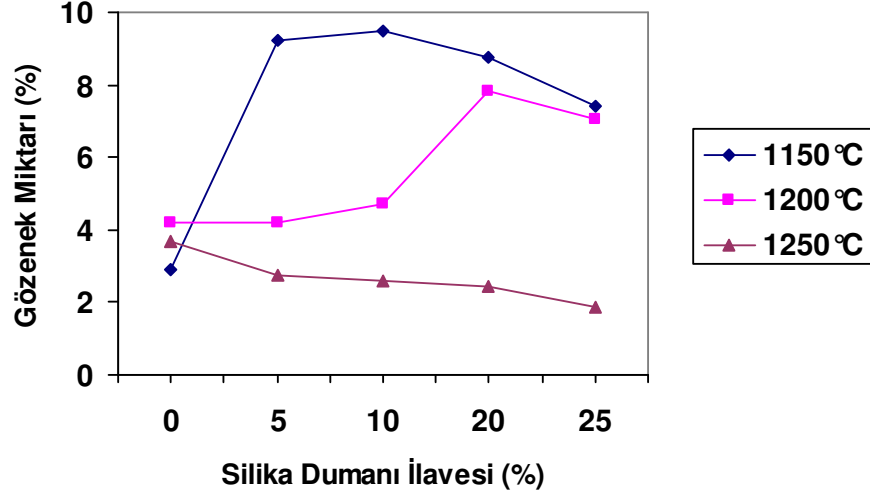
<b>Bileşim</b>	<b>1150 °C</b>	<b>1200 °C</b>	<b>1250 °C</b>
<b>A (%0)</b>	2,25	2,42	2,48
<b>B (%5)</b>	2,17	2,34	2,37
<b>C (%10)</b>	2,22	2,38	2,24
<b>E (%20)</b>	2,28	1,83	1,65
<b>F (%25)</b>	2,31	1,90	1,69

Tablo 6.6. Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak % toplu ağırlık kaybı

<b>Bileşim</b>	<b>1150 °C</b>	<b>1200 °C</b>	<b>1250 °C</b>
<b>A (%0)</b>	2,99	2,57	3,36
<b>B (%5)</b>	3,37	3,07	5,76
<b>C (%10)</b>	4,49	5,29	6,03
<b>E (%20)</b>	5,51	6,16	7,09
<b>F (%25)</b>	7,27	7,73	9,25

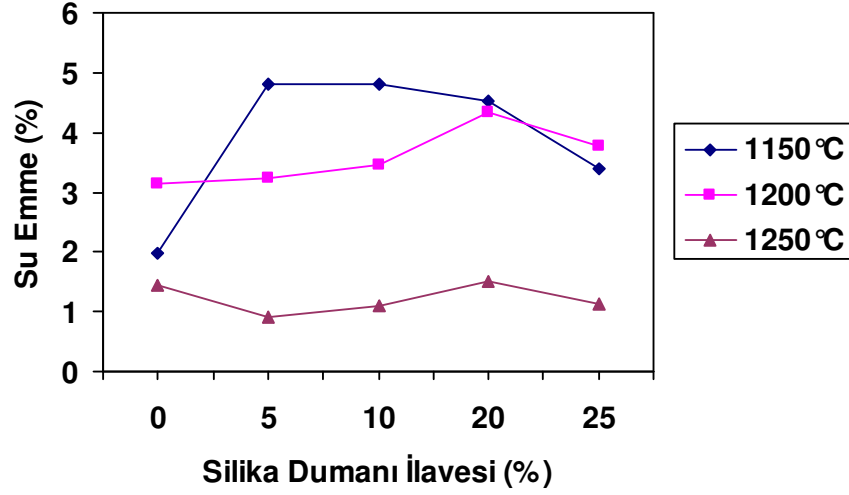
Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9 da Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) gözenek miktarı değişimi, (%) su

emme değişimi, (%) ağırlık kaybı değişimi, bulk yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) değişimi ve hacimsel klme değişimleri verilmiştir.



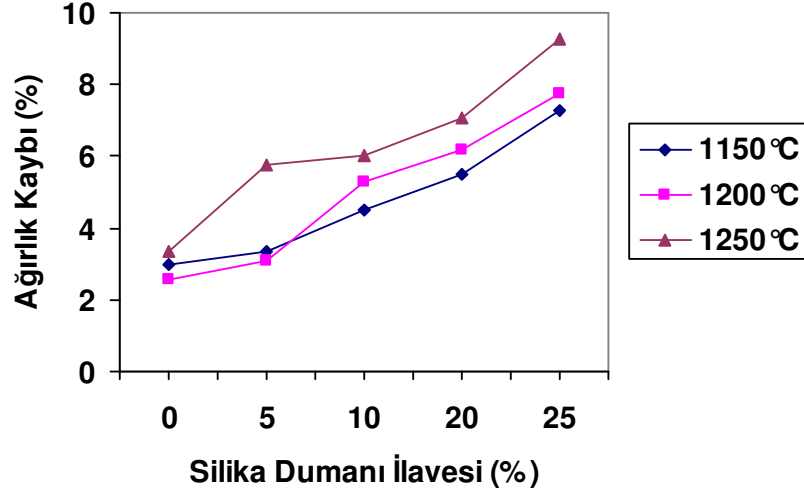
şekil 6.5. Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) görünür gözenek miktarı değişimi

şekil 6.5. de görüldüğü gibi silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak artan silika dumanı ilavesi ile düşük sıcaklıklarda (1150 C de % 10 a kadar ve 1200 C de ise % 20 silika dumanı ilavesine kadar ) gözenek miktarı artmış 1250 C de ise başlangıç bileşimine göre gözenek miktarında kararlı ve sürekli azalma gözlenmiştir. Burada llen görünür gözenek miktarı olup silika dumanın artışına paralel olarak düşük sıcaklıklarda gözenek miktarının artığı ve daha sonra bu gözeneklerin kapanma eğilimi göstererek poroziteyi azatlığı belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda ve düşük silika dumanı içeriğinde gözenek miktarının artmasının nedeni silika dumanında varolan C ve S gibi düşük sıcaklıklarda yanarak geriye gözenek bırakan elementlerin varlığının etkili olduğu düşünülmektedir. 1250 C de ise bu elementlerin etkisi yüksek sıcaklıklarda poroziteye direkt olarak etki etmemiş ve bir önceki davranışın aksine gözenekler kapanarak poroziteyi azaltmıştır. Genel olarak porselenlerde uygun bileşim ve uygun sinterleme sıcaklığının bir araya geldiği durumlarda porselen yüzeyinde bir sır tabakası oluşarak açık gözenekler kapanmakta ve dolayısı ile görünür gözenek miktarı azalmaktadır. [26]



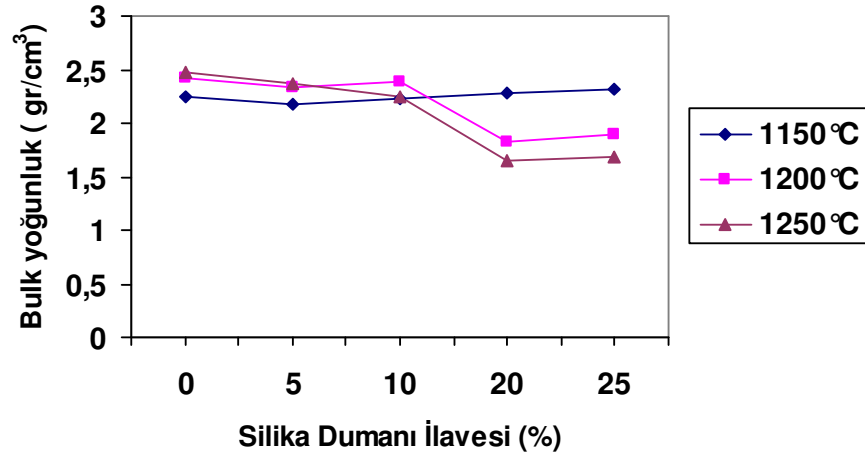
Şekil 6.6. Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) su emme değişimi

Şekil 6.6 de görüldüğü gibi silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak su emme miktarı özellikle düşük sıcaklıklarda önce bir artış sonra bir azalma eğilimi göstermiştir. 1250 °C de ise poroziteninde azalmasına paralel olarak su emme miktarı diğer sıcaklıklara nazaran oldukça düşük bir seviyede kalmış ve silika dumanı ilavesinin artışı ile çok önemli bir değişiklik göstermemiştir. Şekil 6.5 de belirtildiği gibi porselenin yüzeyinde oluşan ve gözenekleri kapatan sır tabakasının su emme oranını azalttığı burada da benzer şekilde gözlenmektedir. Porselenlerde % su emme miktarının max % 1 olarak istendiği düşünülecek olursa çalışmamızda bu değere oldukça yakın değerler elde edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.7. Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) toplu ağırlık kaybı değişimi

Şekil 6.7 de görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığının artışına bağlı olarak, silika dumanı ilavesinin de artışı ile ağırlık kaybında artış gözlenmiştir. Ağırlık kaybına neden olan faktörlerin başında şekillendirmeden itibaren kurutma ve sinterleme kademeleri göz önüne alınacak olursa fiziksel suyun buharlaşması, kaolenin kimyasal bağlı suyunun 500 – 600 °C civarında buharlaşması, silika dumanında bulunan C ve S gibi düşük sıcaklıklarda oksidasyonla okside olup sistemi terk eden emprüteler veya tüm karışımda bulunması muhtemel organiklerin yüksek sıcaklıklarda buharlaşması olarak ifade edilebilir.

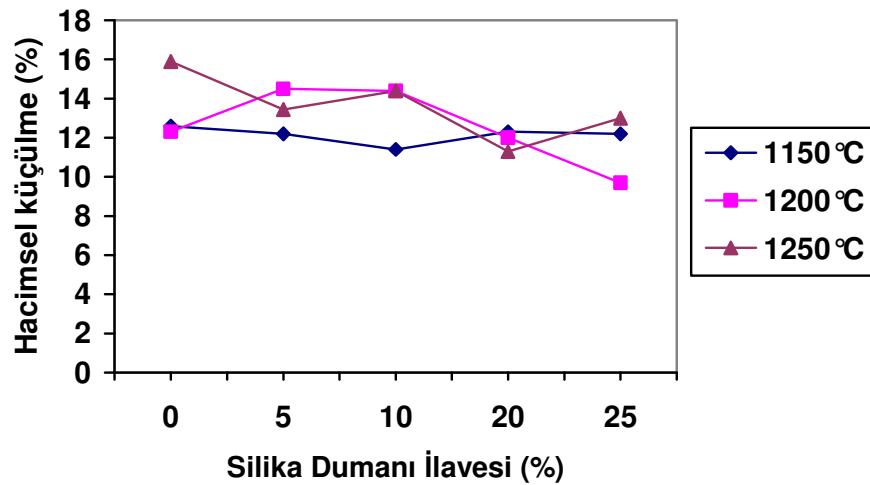


Şekil 6.8. Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak bulk yoğunluk ( $\text{gr/cm}^3$ ) değişimi

Şekil 6.8 de 1150 °C de bulk yoğunluğun değişmediği 1200°C çıkıldığında ise %10 silika dumanı ilavesine kadar bir öncekine göre biraz artış gösterip daha sonra azalma gösterdiği belirlenmiştir. Bu davranışa benzer bir davranış ise 1250 °C de gözlenmiş olup bulk yoğunluk silika dumanı ilavesinin artışıyla ters orantılı olarak azalma göstermiştir. Bu olayın sebebi bünyede meydana gelen parçalanma ve oksidasyon reaksiyonlarının doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan buhar ve gazların numune yüzeyinde meydana gelen sırlanma sonucu açık porozitelerin kapanması nedeni ile dışarı çıkmaya fırsat bulamaması ve içeride sıkışıp kalması ve kapalı gözenek oluşması sebebi iledir.

Tablo 6.7. Sinterleme sıcaklığına ve silika dumanı ilavesine bağlı olarak (%) toplu hacimsel küçülme

Bileşim	1150 °C	1200 °C	1250 °C
A (%0)	12,6	12,3	15,9
B (%5)	12,2	14,5	13,45
C (%10)	11,4	14,4	14,4
E (%20)	12,3	12	11,3
F (%25)	12,2	9,7	13



Şekil 6.9. Silika dumanı ilavesi ve sinterleme sıcaklığının değişimine bağlı olarak (%) toplu hacimsel küçülme değişimi



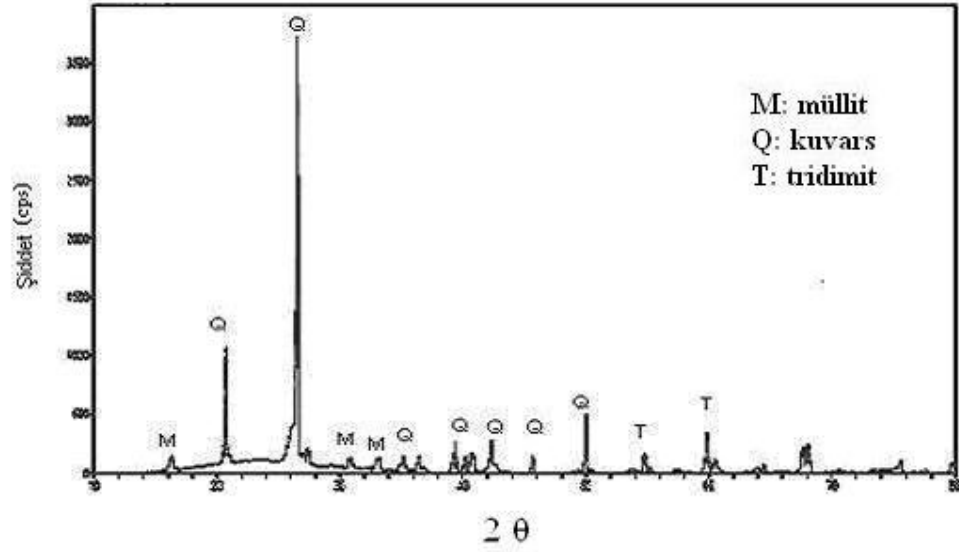
Şekil 6.9 de (%) toplu hacimsel küçülme değişimi verilmiştir. Burada 1150 °C de silika dumanı ilavesine bağlı olarak belirgin bir hacimsel değişime rastlanmamıştır. Artan sinterleme sıcaklığı ile 1200 °C de hacimsel küçülme sinterlemenin ilerlemesine ve silika dumanı artışına bağlı olarak önce artış göstermiş sonra ise azalmıştır. 1250 °C de ise beklendiği gibi en yüksek hacimsel küçülme değerine ulaşılmış olup, silika dumanı ilavesinin artışına bağlı olarak hacimsel küçülmede bir azalma tespit edilmiştir.

Normal sinterleme davranışında seramikler sinterleme sonrası hacimsel küçülme gösterirler. Burada ise dikkat çekici nokta hacimsel küçülmenin beklenenin aksine silika dumanı ilavesi ile azda olsa azalma göstermesidir.

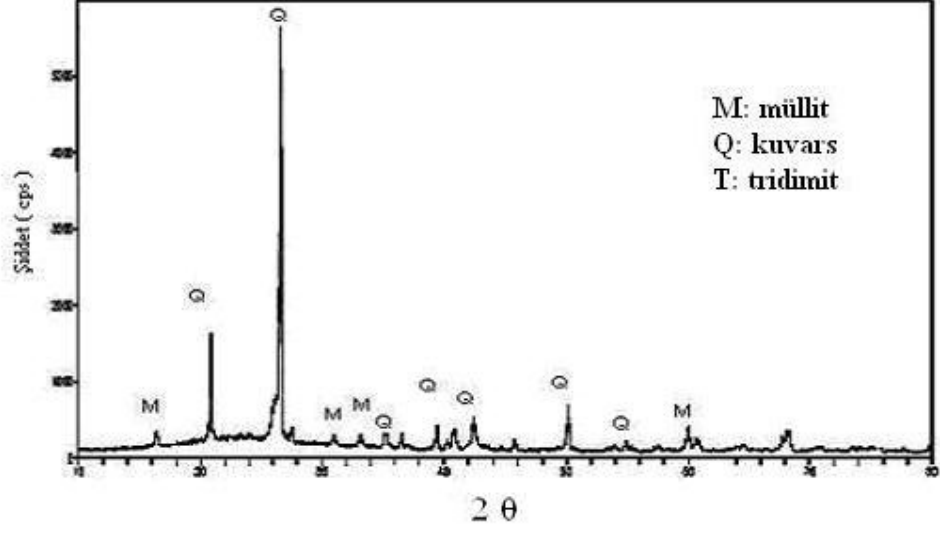
### 6.3. Numunelerin XRD grafikleri

Şekil 6.10-6.14 de 1150 °C de sinterlenen % 0, 5, 10 , 20 ve 25 silika dumanı içeren bileşimlerin XRD paternleri verilmiştir.

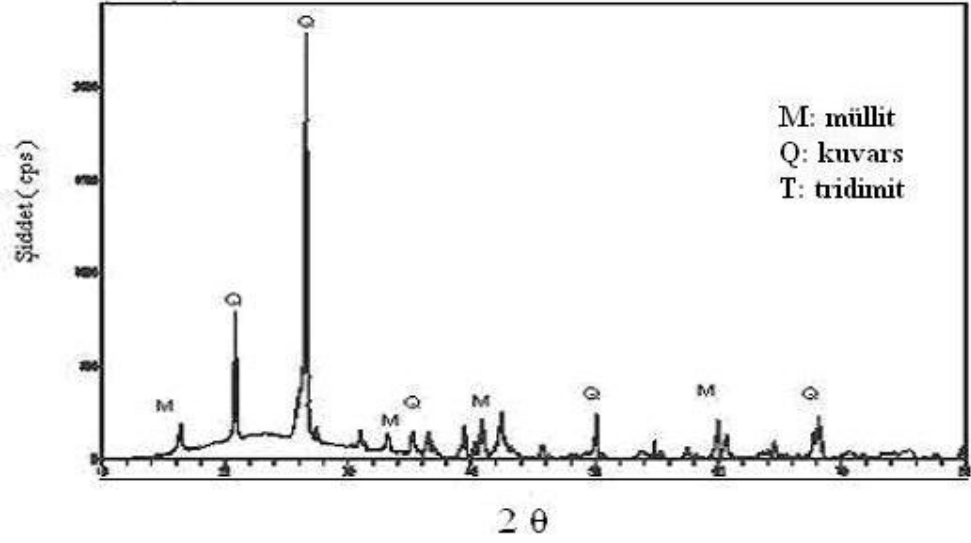
Şekil 6.15-6.19 da 1250 °C de sinterlenen % 0, 5, 10 , 20 ve 25 silika dumanı içeren bileşimlerin XRD paternleri verilmiştir.



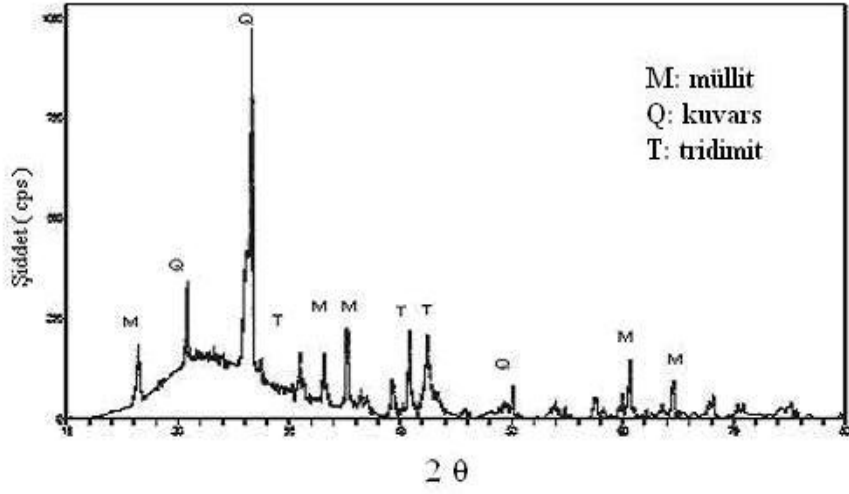
Şekil 6.10. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni  
( M: müllit Q: kuvars T: tridimit )



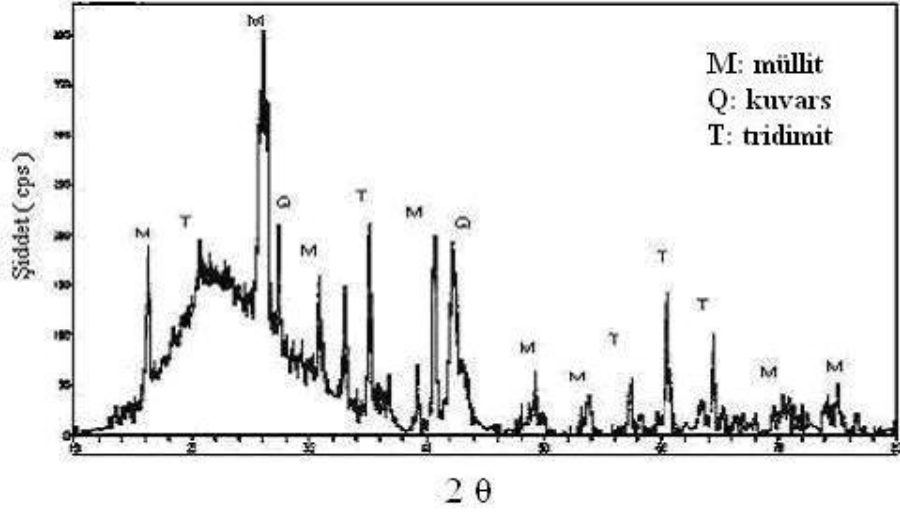
Şekil 6.11. 1150 °C de sinterlenen % 5 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni  
( M: müllit Q: kuvars T: tridimit )



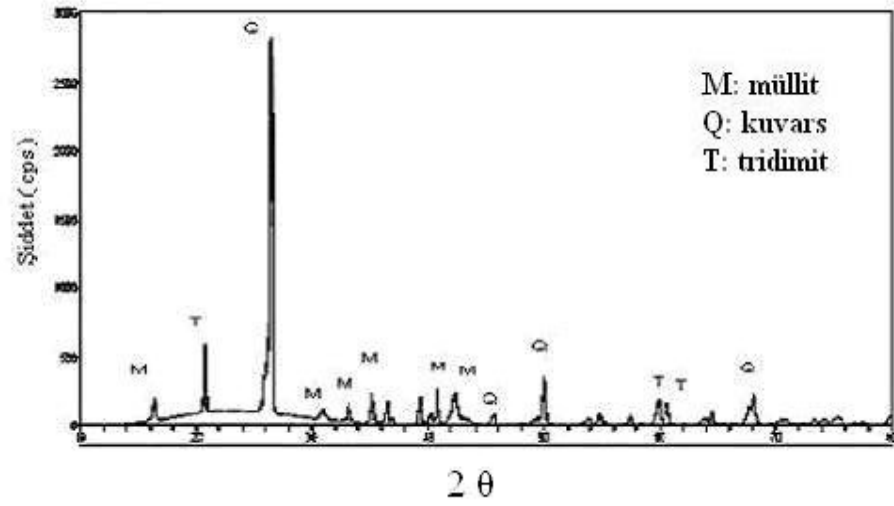
Şekil 6.12. 1150 °C de sinterlenen % 10 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni  
( M: müllit Q: kuvars T: tridimit )



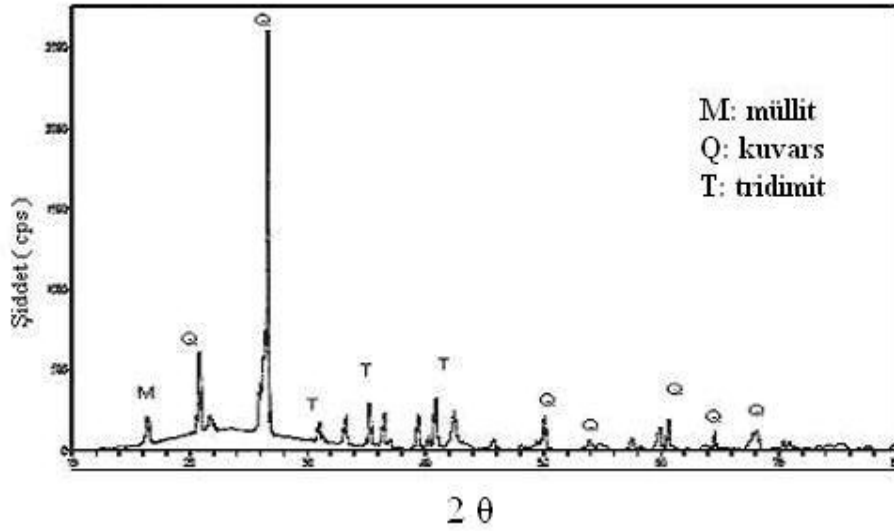
Şekil 6.13. 1150 °C de sinterlenen % 20 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni  
( M: müllit Q: kuvars T: tridimit )



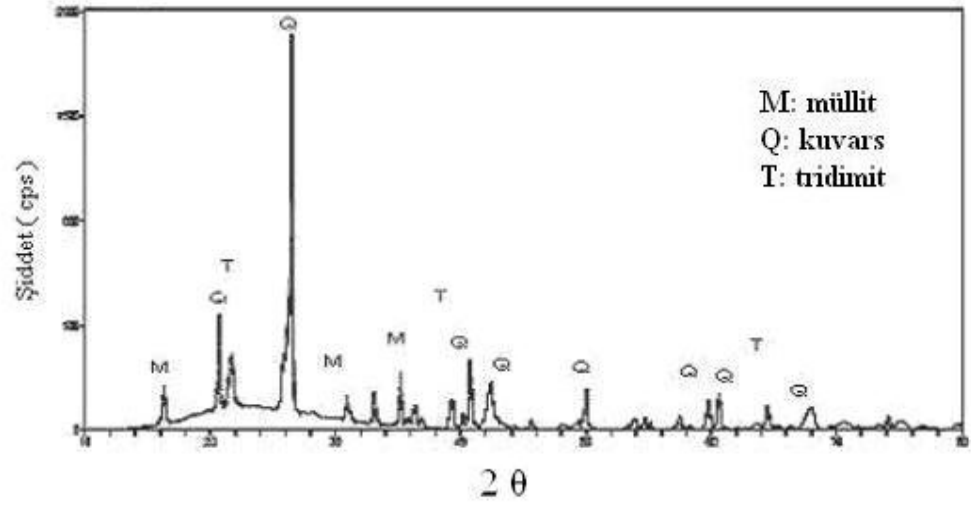
Şekil 6.14. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni  
( M: müllit Q: kuvars T: tridimit )



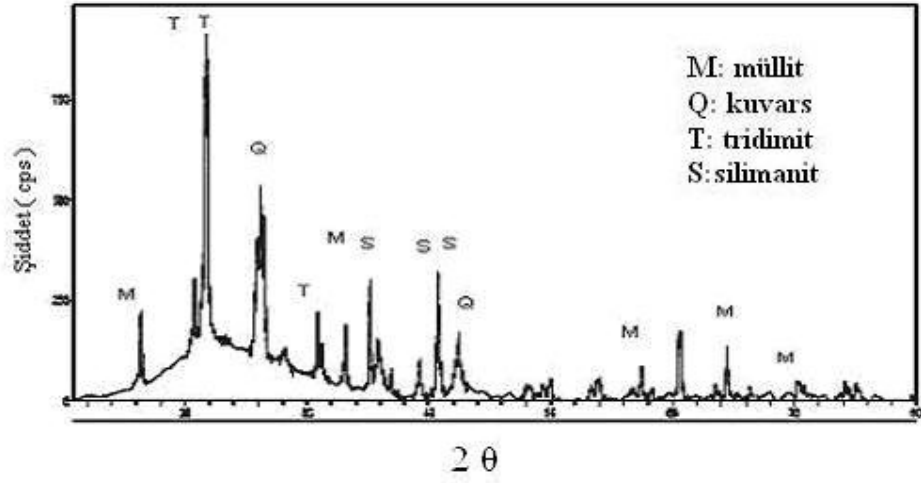
Şekil 6.15. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumani içeren bileşimin XRD paterni  
( M: müllit Q: kuvars T: tridimit )



Şekil 6.16. 1250 °C de sinterlenen % 5 silika dumani içeren bileşimin XRD paterni  
( M: müllit Q: kuvars T: tridimit )

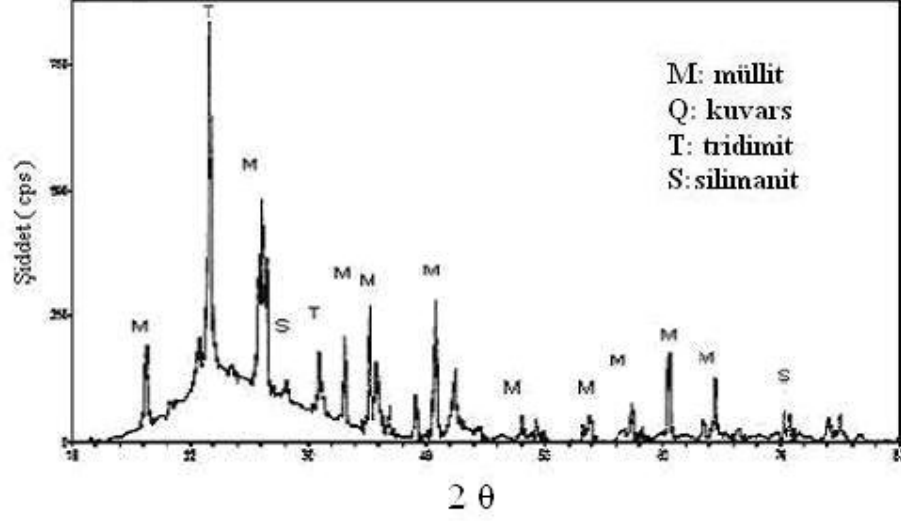


Şekil 6.17. 1250 °C de sinterlenen % 10 silika dumamı içeren bileşimin XRD paterni  
( M: müllit Q: kuvars T: tridimit )



Şekil 6.18. 1250 °C de sinterlenen % 20 silika dumamı içeren bileşimin XRD paterni  
( M: müllit Q: kuvars T: tridimit S:silimanit )

“



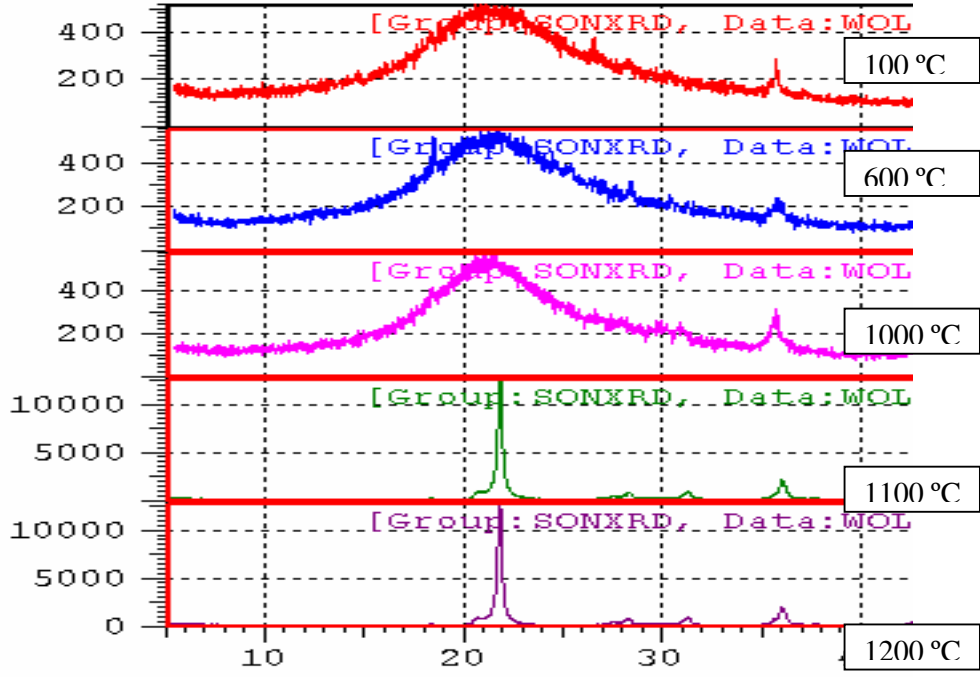
Şekil 6.19. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin XRD paterni ( M: müllit Q: kuvars T: tridimit S:silimanit )

Tablo 6.8. 1150 ve 1250 °C de sinterlenen numunelerin bileşimlerine göre XRD ile tespit edilen fazlar ( fazlar miktar olarak büyük olandan küçük olana doğru sıralanmıştır.)

BİLEŞİMLER	TESPİT EDİLEN FAZLAR	
	1150 °C	1250 °C
% 0	Kuvars, Mullit, Tridimit, Camsı faz,	Kuvars, Tridimit, Mullit, Camsı faz
%5	Kuvars, Tridimit, Mullit, Camsı faz	Kuvars, Mullit, Camsı faz
%10	Kuvars, Mullit, Tridimit, Camsı faz,	Kuvars, Mullit, Camsı faz
%20	Tridimit, Kuvars, Mullit, Camsı faz, Silimanit	Kuvars, Mullit, Tridimit, Camsı faz,
%25	Mullit , Tridimit, Camsı faz, Silimanit	Mullit , Tridimit, Camsı faz, kuvars

1150 °C de sinterlenmiş olan numunelerde belirgin olarak silika dumanı ilavesinin artışına bağlı olarak camsı fazın arttığı gözlenmiştir.% 0 ilave de az olan camsı fazın şiddeti silika dumanı artışı ile gittikçe artmış olup% 25 ilavede maksimuma

erişmiştir. Aynı gözlem 1250 °C de sinterlenmiş olan numunelerde de (Şekil 6.15-Şekil 6.19 da) belirgin olarak silika dumanı ilavesinin artışı ile gözlenmiştir. Bu olayın sebebi silika dumanının tabii olarak yapısının amorf olması olup ilave edildiği sistemde sıcaklığa ve diğer bileşenlere bağlı olarak yapıda camsı faz oluşturmasıdır.



Şekil 6.20. 100, 600, 1000, 1100 ve 1200 °C ısıtılmış silika dumanı örneklerinin XRD paternleri [25]

Gerek 1150 °C de ve gerekse 1250 °C de başlangıçta az olan müllit fazı silika dumanı ilavesiyle ve kuvarın gittikçe azalmasıyla artmıştır. Diğer dikkati çeken bir özellik ise 1250 °C deki sinterleme sonucunda müllit yerine bir ara geçiş fazı olan silimatın  $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$  nin oluşmasıdır.



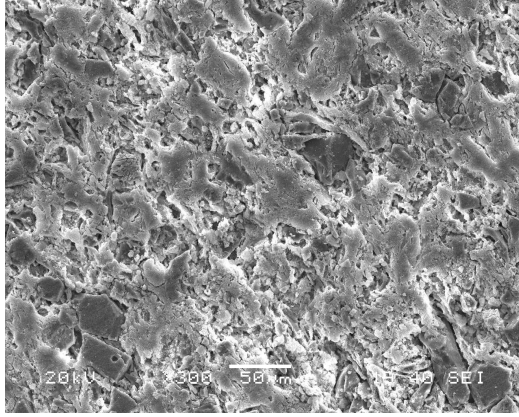
#### **6.4. Numunelerin SEM görüntüleri**

Şekil 6.21- 6.30 de 1150 °C ve 1250 °C sinterlenen % 0, 5, 10, 20 ve 25 silika dumanı içeren bileşimlerin X300 SEM mikroyapıları verilmiştir.

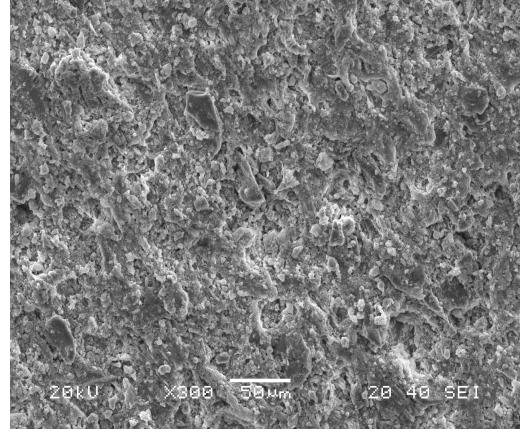
Şekil 6.31- 6.40 de 1150 °C ve 1250 °C de sinterlenen % 0, 5, 10, 20 ve 25 silika dumanı içeren bileşimlerin X 1000 SEM mikroyapıları verilmiştir.

SEM ile yapılan mikro yapı incelemelerinde 1150 °C de 1250 °C de sinterlenen numunelerin düşük büyütmede (X300) ve yüksek büyütmede (X1000) mikro yapıları alınıp detaylı incelemeye değer bulunan bazı bölgelerin ise daha yüksek büyütmelerde (X10000 ve X20000 ) resimleri alınarak EDS analizleri de yapılmıştır.

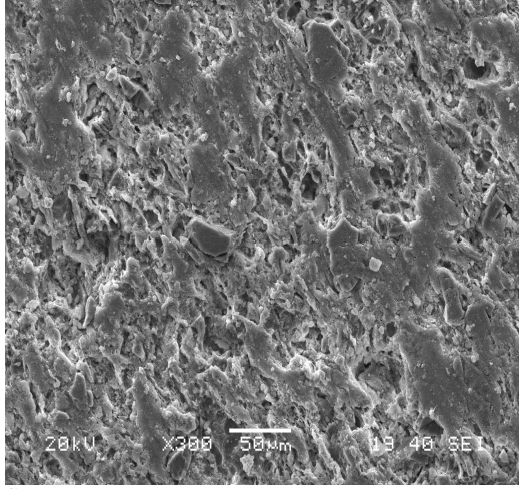
Yapılan incelemede gerek 1150 ve gerekse 1250 °C de artan silika dumanı ilavesi ile camsı fazın arttığı belirlenmiştir. Bu tespit referans olarak alınan silika dumanı ilavesiz bileşimin mikro yapısı ile karşılaştırılarak yapılmış olup ayrıca açık gözeneklerinde artan silika dumanı ilavesi ile arttığı gözlenmiştir.



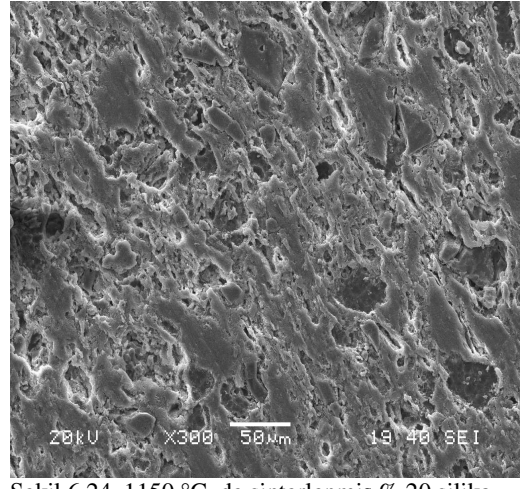
Şekil 6.21. 1150 °C de sinterlenmiş % 0 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



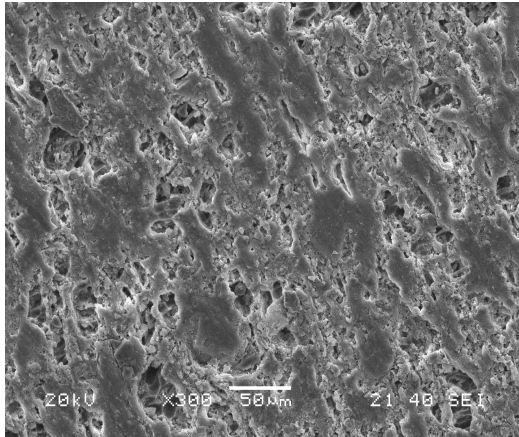
Şekil 6.22. 1150 °C de sinterlenmiş % 5 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



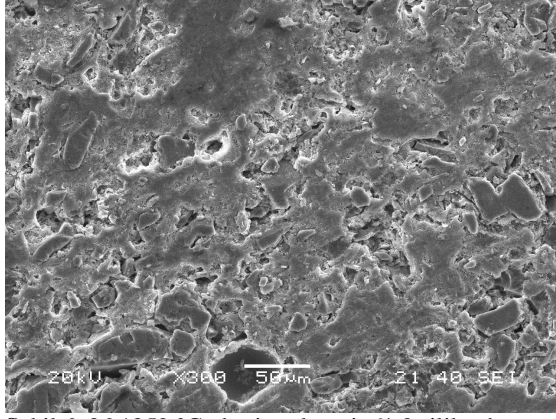
Şekil 6.23. 1150 °C de sinterlenmiş % 10 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



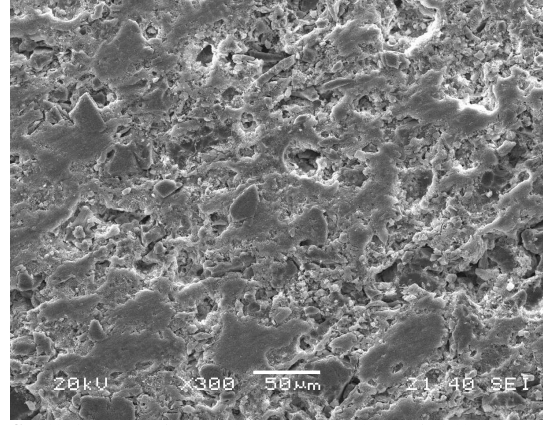
Şekil 6.24. 1150 °C de sinterlenmiş % 20 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



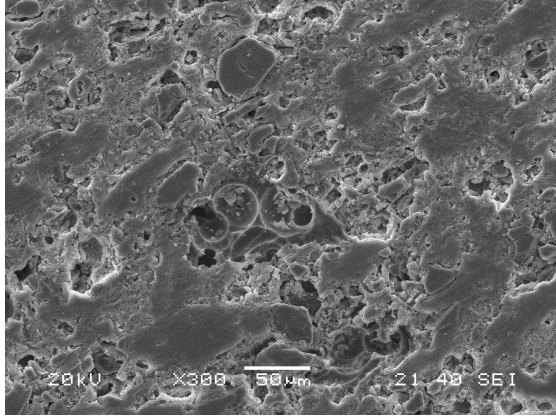
Şekil 6.25. 1150 °C de sinterlenmiş % 25 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



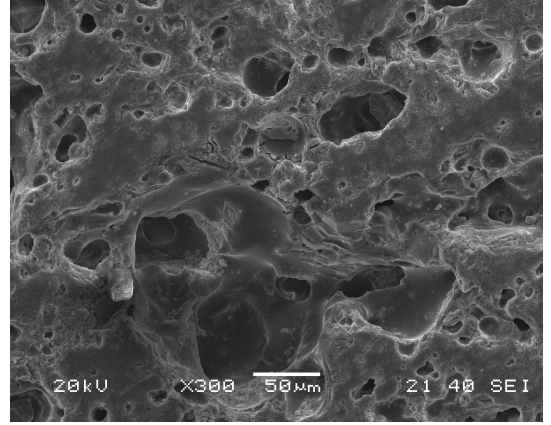
Şekil 6. 26. 1250 °C de sinterlenmiş % 0 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



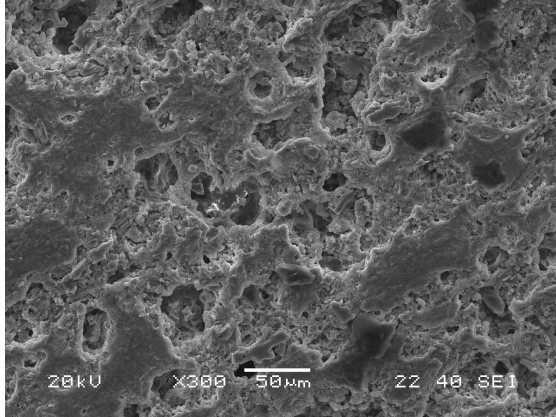
Şekil 6. 27. 1250 °C de sinterlenmiş % 5 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



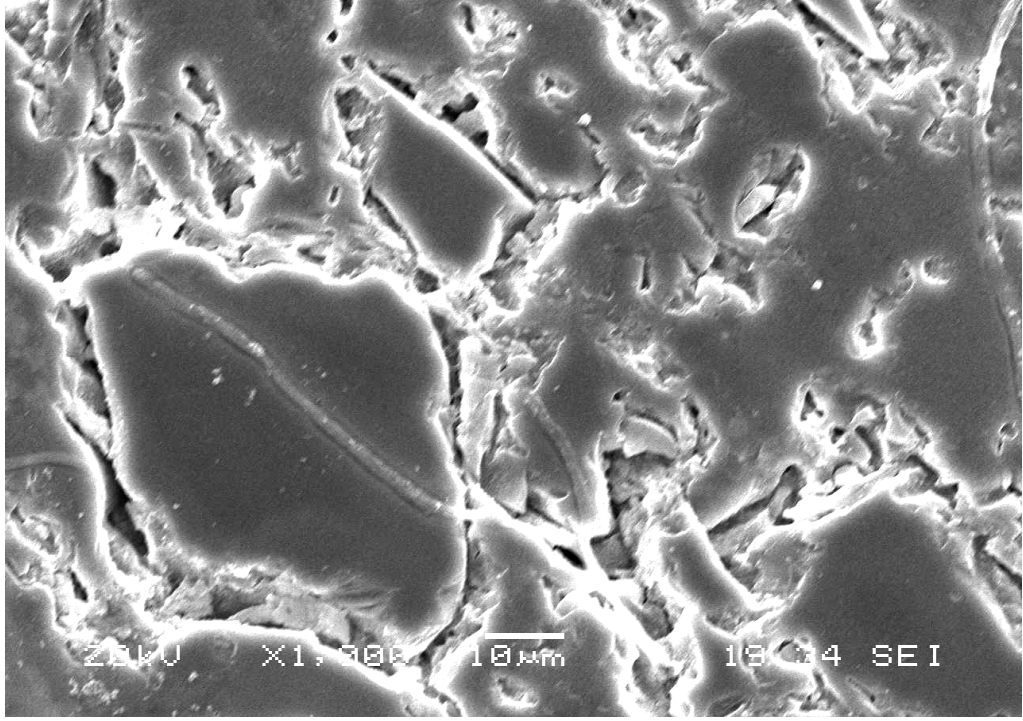
Şekil 6. 28. 1250 °C de sinterlenmiş % 10 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



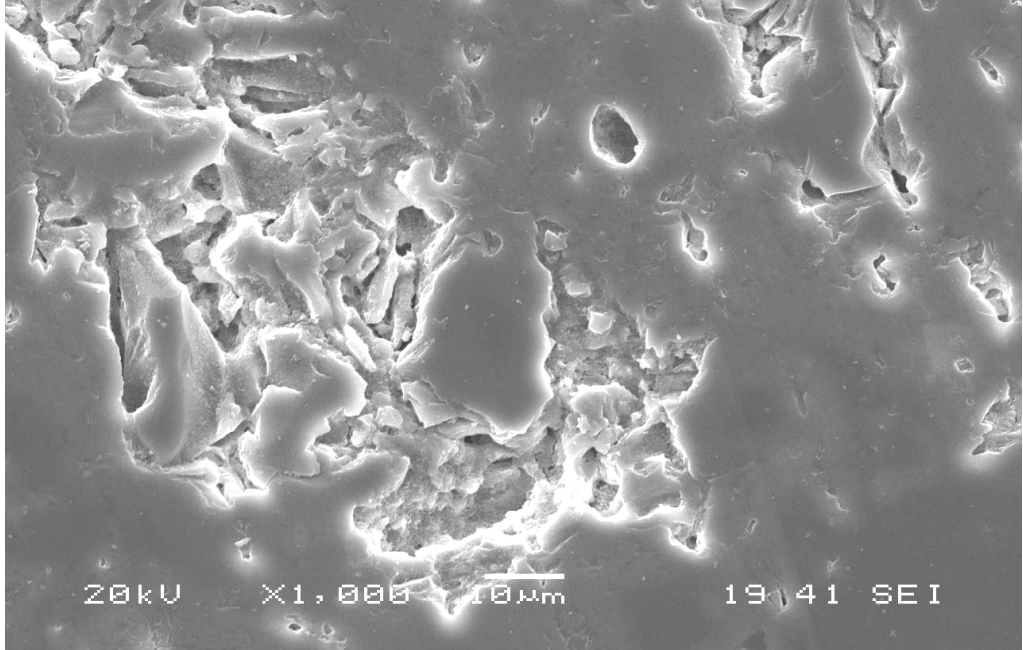
Şekil 6. 29. 1250 °C de sinterlenmiş % 20 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



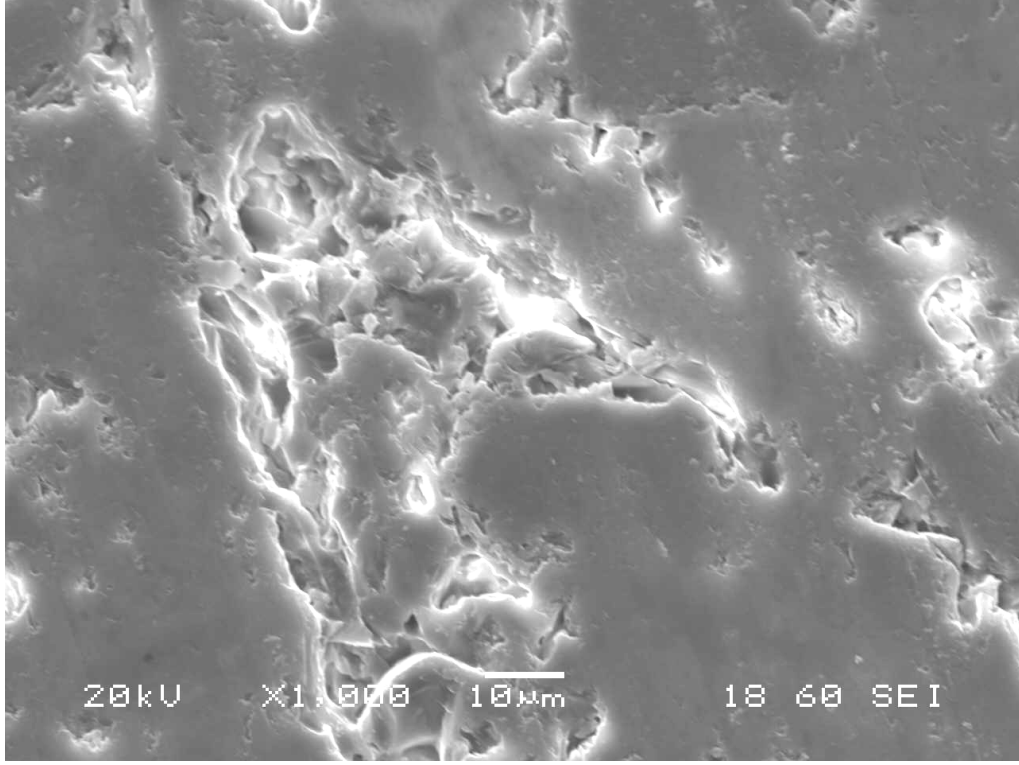
Şekil 6. 30. 1250 °C de sinterlenmiş % 25 silika dumani ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



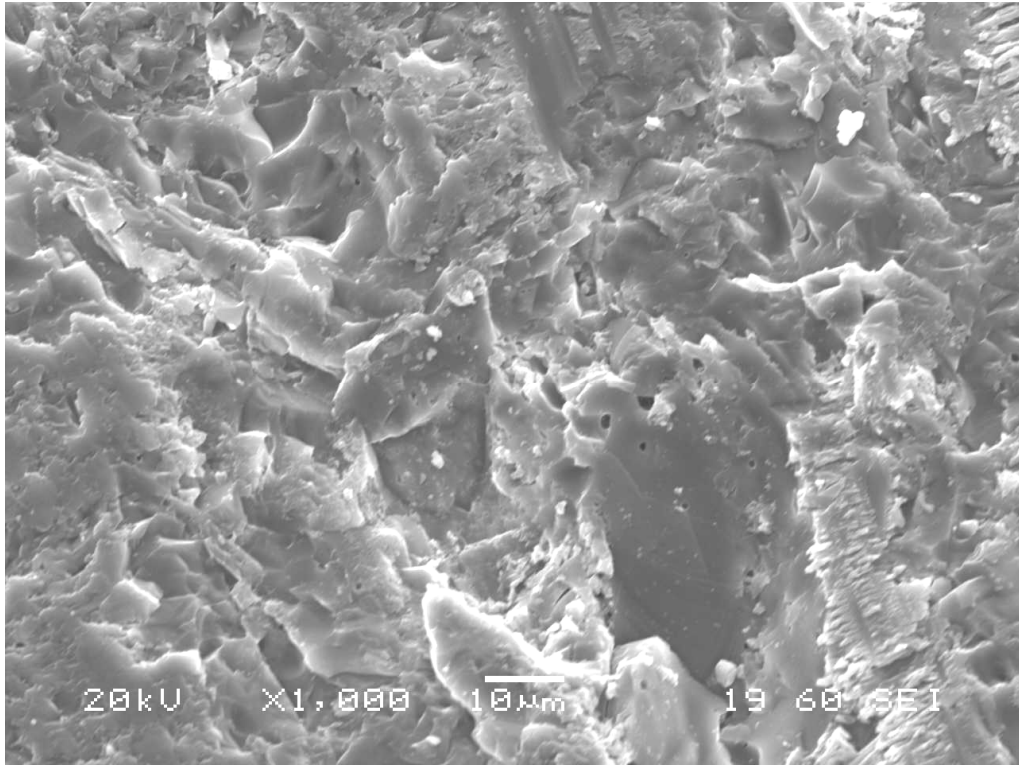
Şekil 6.31. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı



Şekil 6.32. 1150 °C de sinterlenen % 5 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı

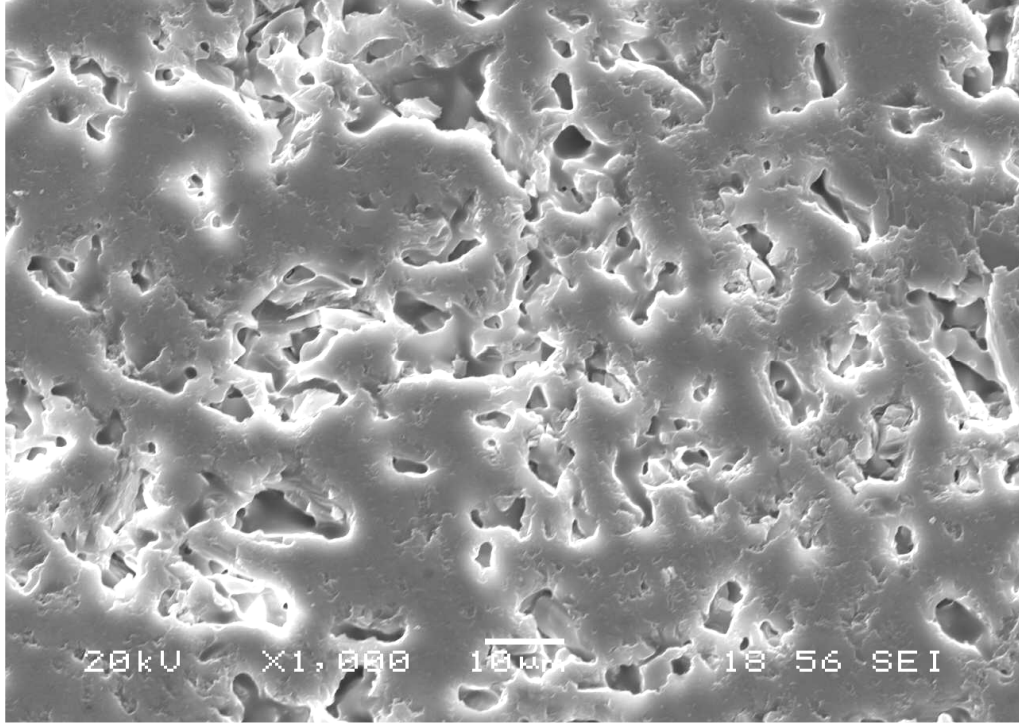


Şekil 6.33. 1150 °C de sinterlenen % 10 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı

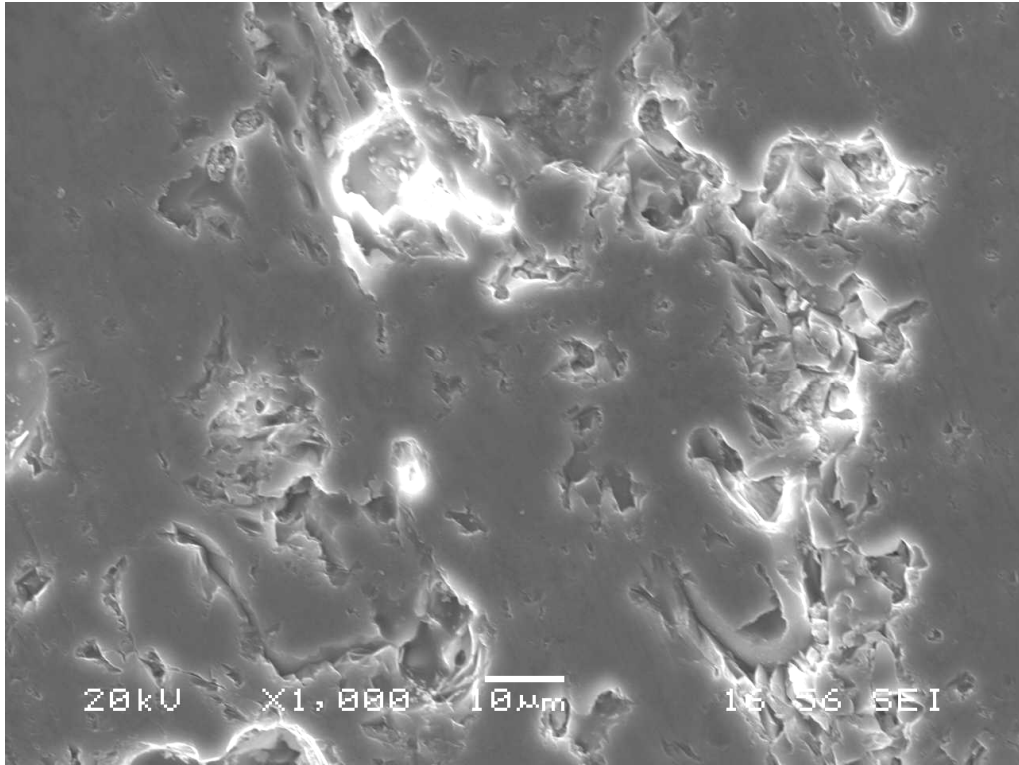


Şekil 6.34. 1150 °C de sinterlenen % 20 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı

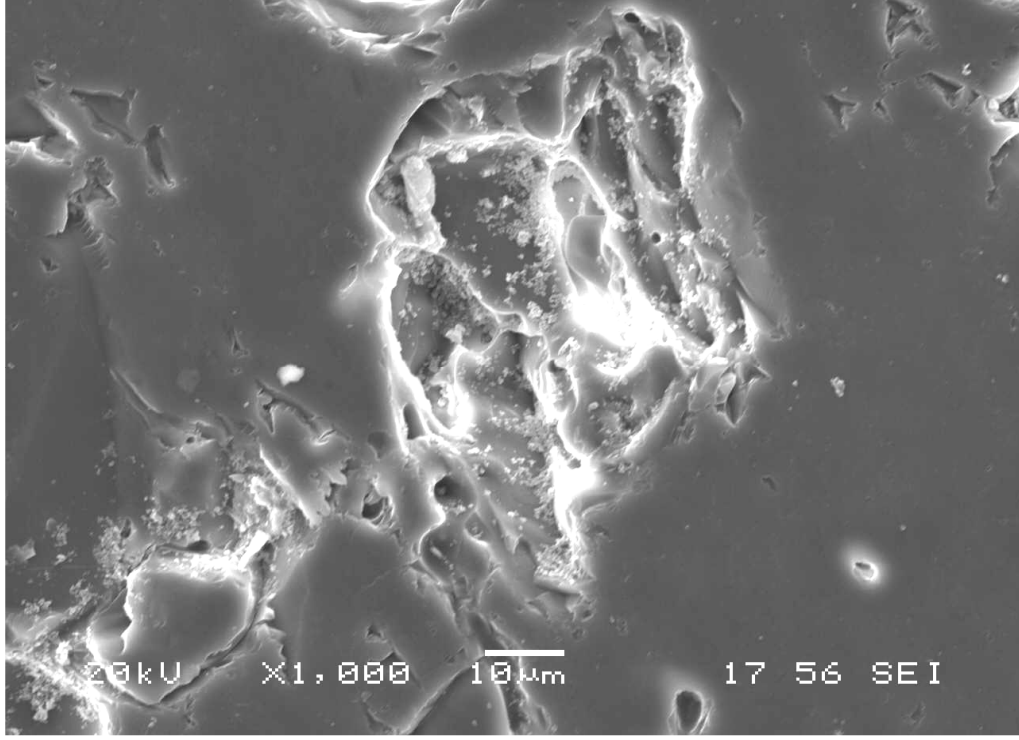




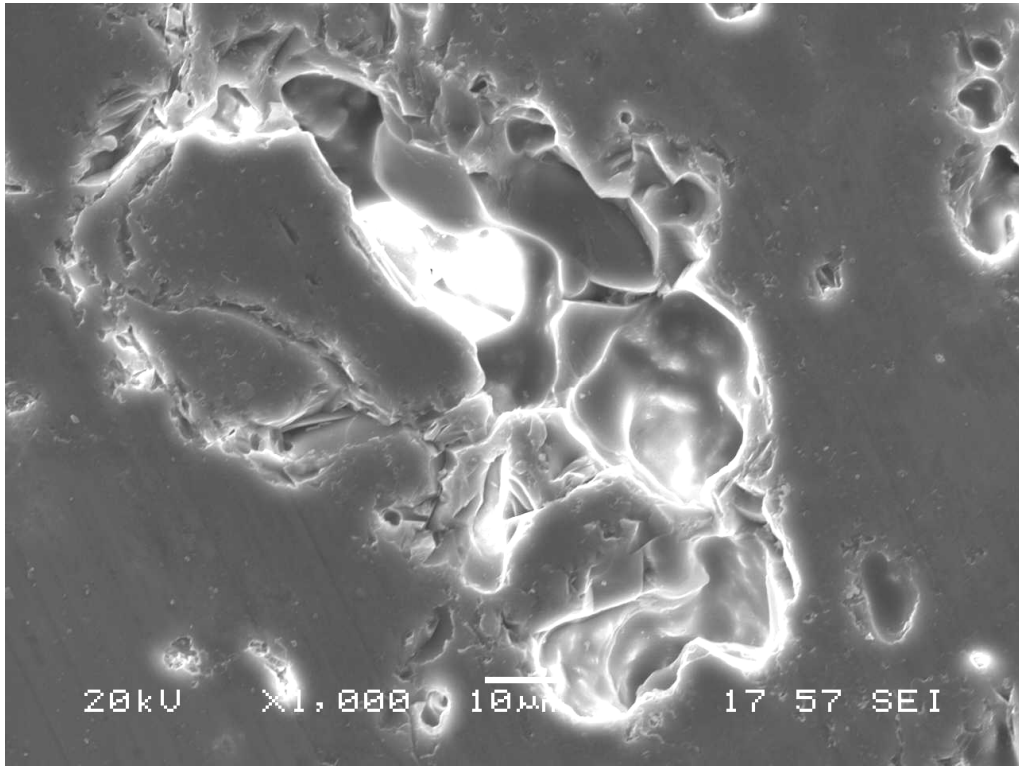
Şekil 6.35. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumani içeren bileşimin SEM mikroyapısı



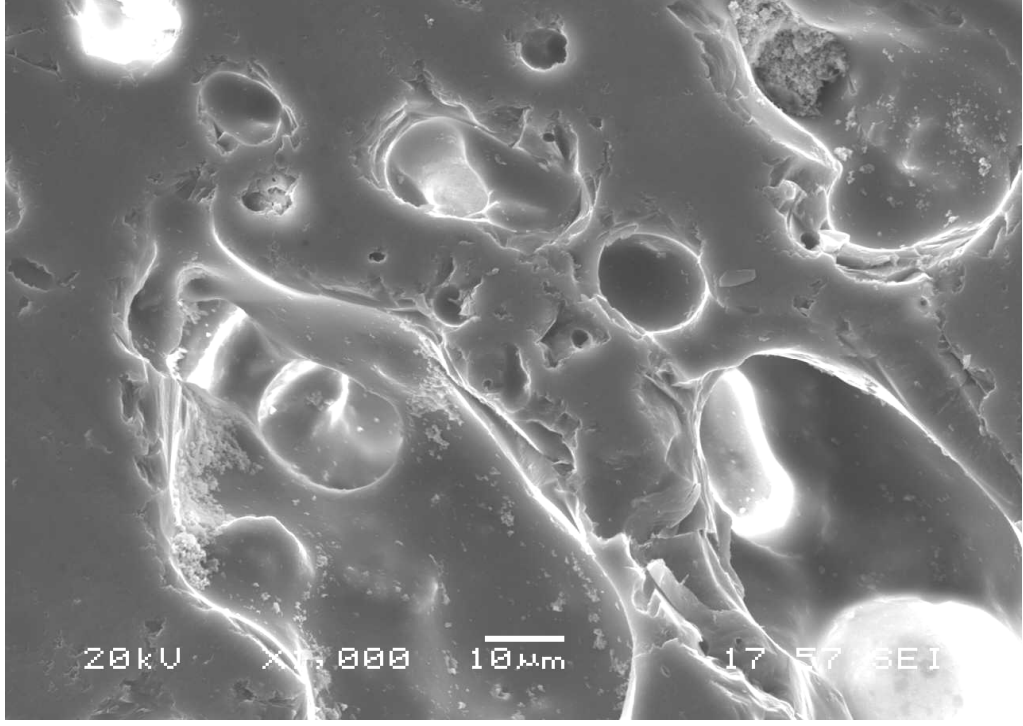
Şekil 6.36. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumani içeren bileşimin SEM mikroyapısı



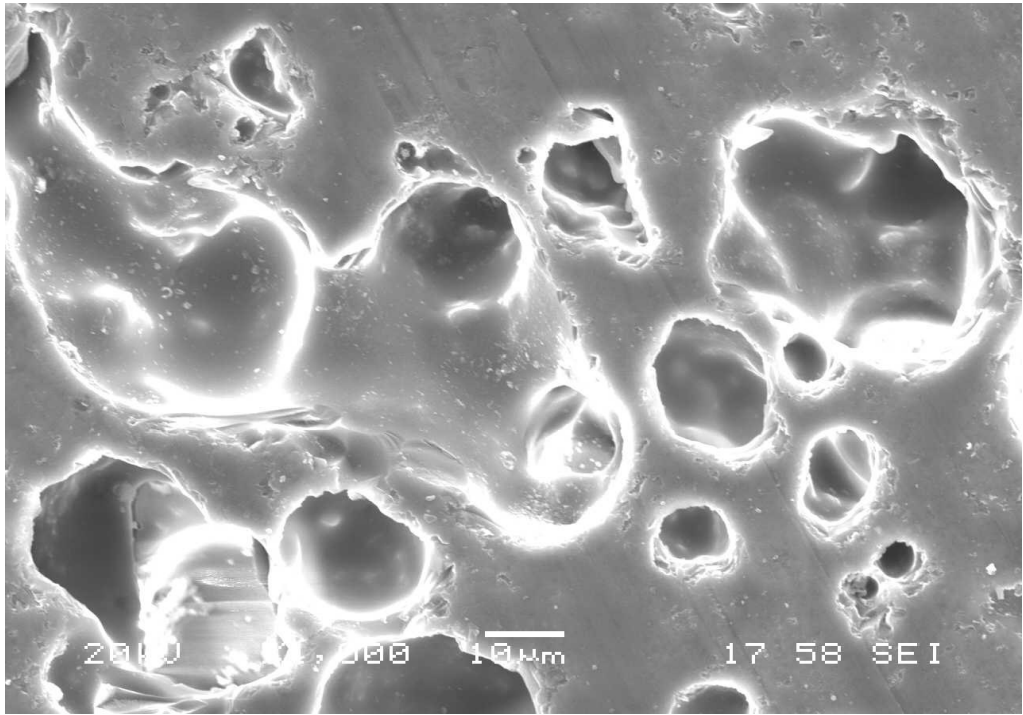
Şekil 6.37. 1250 °C de sinterlenen % 5 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı



Şekil 6.38. 1250 °C de sinterlenen % 10 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı



Şekil 6.39. 1250 °C de sinterlenen % 20 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı



Şekil 6.40. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı

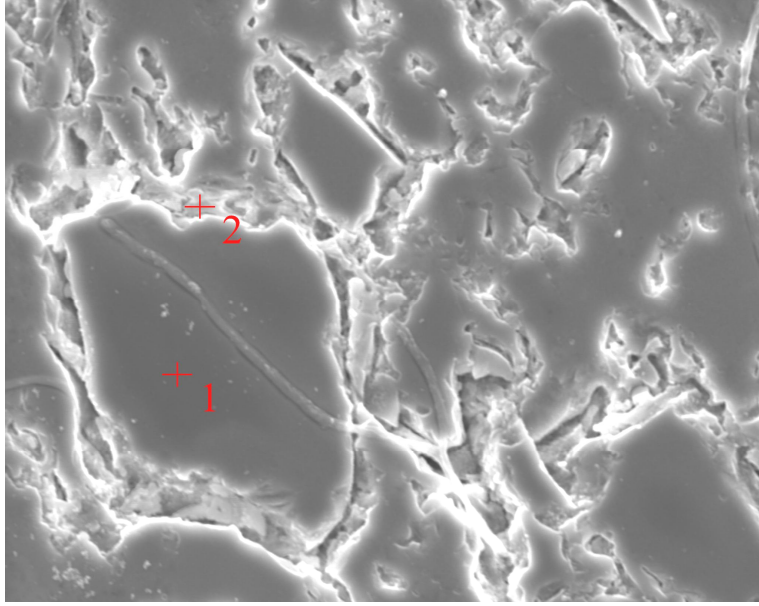


1150 °C de sinterlenen bileşimlerin yüksek büyütmedeki SEM incelemesinde sinterlemenin tam olarak gerçekleşmediği ve mikro yapının çok sayıda gözenek içerdiği tespit edilmiştir. Mikro yapıda düşük sıcaklıkta yapılan bu sinterleme esnasında yer yer bazı bölgelerde ergimemiş ve reaksiyona girmemiş kuvars partiküllerinin varlığı gözlenmiştir. Ayrıca bu kuvars partikülleri ile ana matris (cam faz) arasında çatlaklar tespit edilmiş olup bunların camsı faz ile silika partikülleri arasındaki termal genişleme uyumsuzluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. 1150 °C de artan silika dumanına bağlı olarak acık porozitelerin diğer silika dumanı ilavelerine göre mikro yapının yoğunlaşmasında ve gözeneklerin azalmasında daha etkili rol oynadığı belirlenmiştir.

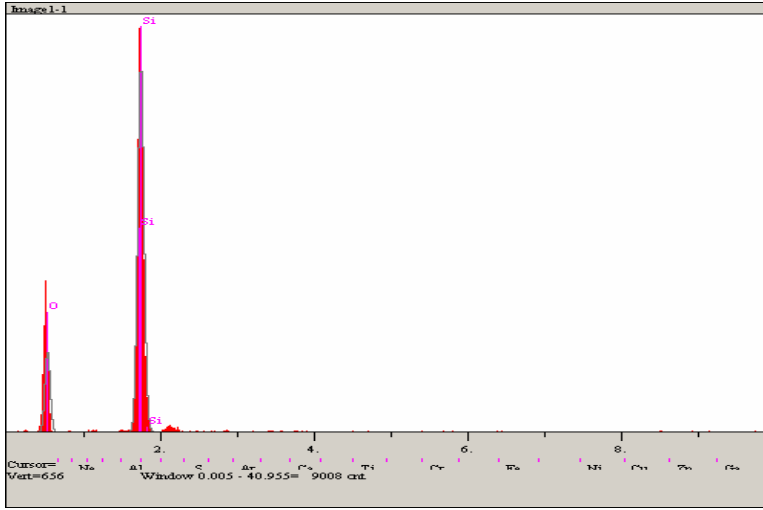
Sinterleme sıcaklığının 1250 °C ye çıkarılması ile mikro yapıda daha az gözenek ve daha yoğun bir yapı gözlenmiştir. 1150 °C deki mikro yapıya benzer şekilde yine yer yer reaksiyona girmemiş silika partiküllerinin varlığı tespit edilmiş olup yine silika partikülü ile matris arasındaki uyumsuzluk nedeni ile partikül etrafında çatlaklara rastlanmıştır. ( 1150 °C de sinterlenen mikro yapı ile 1250°C de sinterlenen mikro yapı karşılaştırıldığında gözenek çaplarının daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Burada gözenek çaplarının artan sıcaklıkla birlikte artmasının nedeni yapı içerisinde gerek okside olmuş ve gerekse buhar fazına geçmiş ve gaz olarak sistemi terk etmeye çalışan bileşenlerin yüksek sıcaklık da ulaştıkları yüksek gaz basıncı dolayısıyledir.

#### **6.5. Numunelerin EDS analizleri**

Şekil 6.41 ve 6.48 de 1150°C de sinterlenen % 0 ve 25 silika dumanı içeren bileşimlerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri verilmiştir. Şekil 6.49 ve 6.64 de 1250 °C de sinterlenen % 0 ve 25 silika dumanı içeren bileşimlerin SEM görüntüleri, Şekil 6.60- 68 de 1250 °C de sinterlenen % 0 ve 25 silika dumanı içeren EDS analizleri verilmiştir.

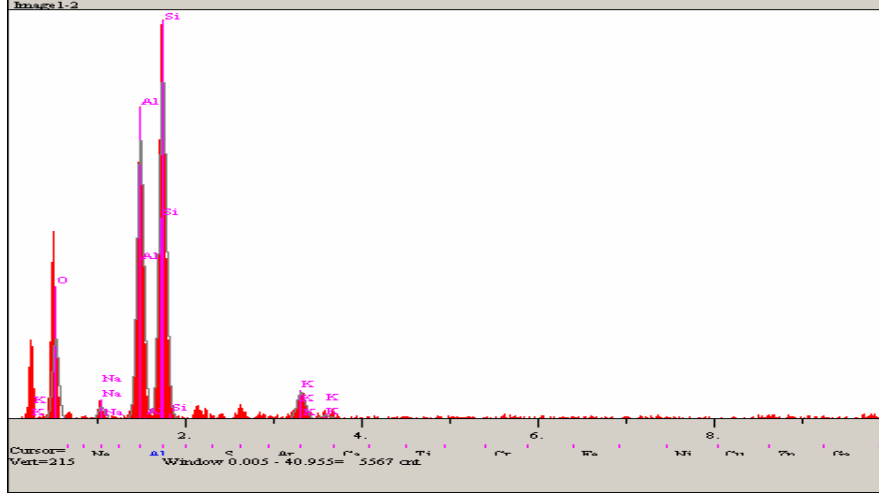


Şekil 6.41. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanaı içeren bileşimin SEM mikroyapısı



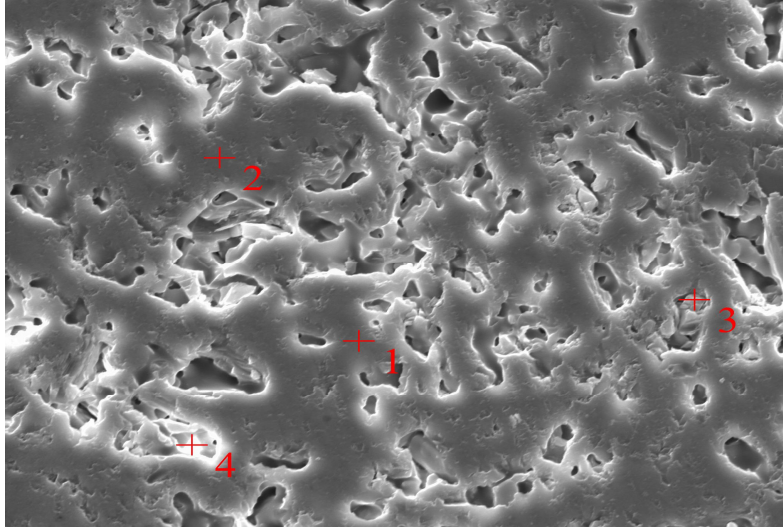
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	108.55	6.588	53.692	wt. %	
Si	Ka	601.16	15.504	46.308	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil 6.42. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanaı içeren bileşimin 1 numaralı EDS analizi

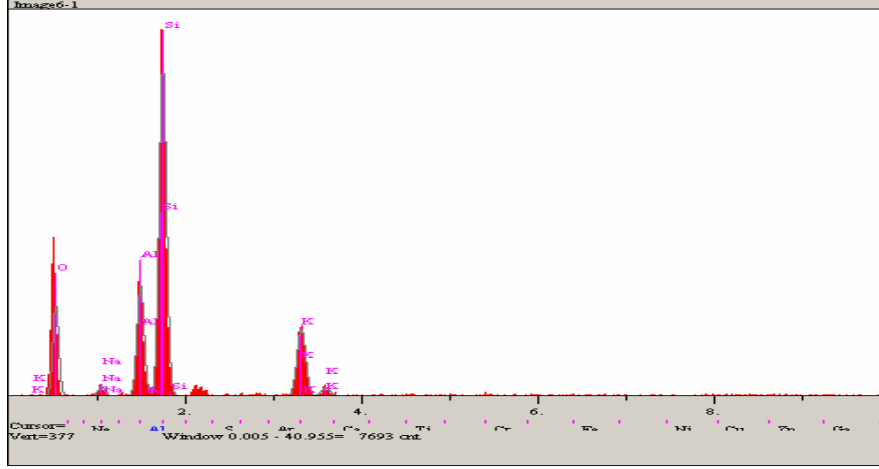


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	36.39	3.815	39.139	wt.%	
Na	Ka	5.82	1.526	1.442	wt.%	
Al	Ka	145.76	7.635	21.774	wt.%	
Si	Ka	187.96	8.670	34.246	wt.%	
K	Ka	16.97	2.605	3.399	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 6.43. 1150 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 2 numaralı EDS analizi

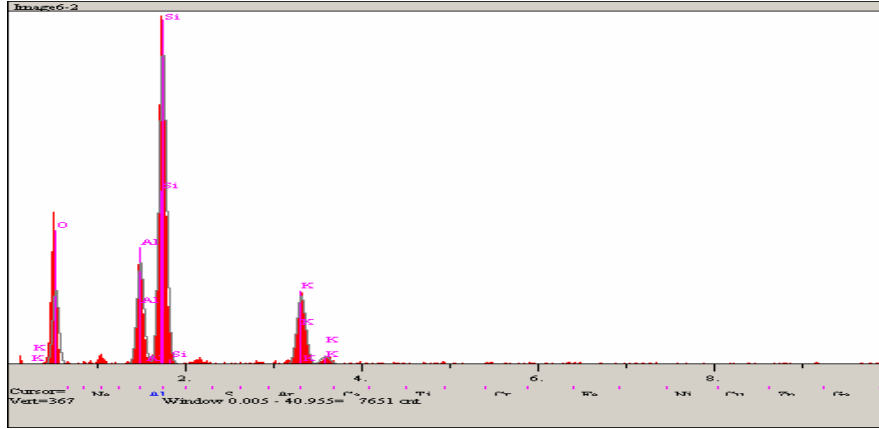


Şekil 6.44. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı



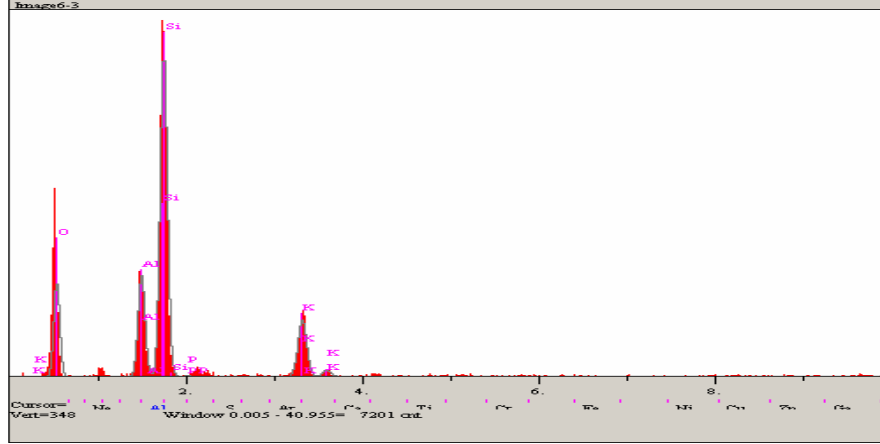
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	75.86	5.508	48.644	wt.%	
Na	Ka	8.92	1.889	1.444	wt.%	
Al	Ka	107.16	6.547	9.847	wt.%	
Si	Ka	333.36	11.547	31.079	wt.%	
K	Ka	81.09	5.695	8.986	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 6.45. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 1 numaralı EDS analizi



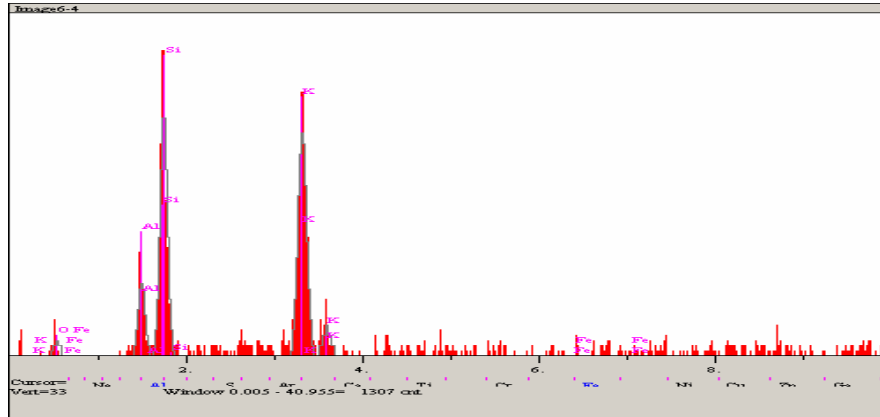
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	66.33	5.151	47.095	wt.%	
Al	Ka	105.18	6.486	9.890	wt.%	
Si	Ka	340.88	11.676	32.791	wt.%	
K	Ka	87.90	5.929	10.223	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 6.46. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 2 numaralı EDS analizi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	75.96	5.510	50.843	wt. %	
Al	Ka	95.53	6.179	9.409	wt. %	
Si	Ka	318.05	11.274	31.703	wt. %	
P	Ka	0.85	0.584	0.123	wt. %	
K	Ka	65.99	5.135	7.922	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

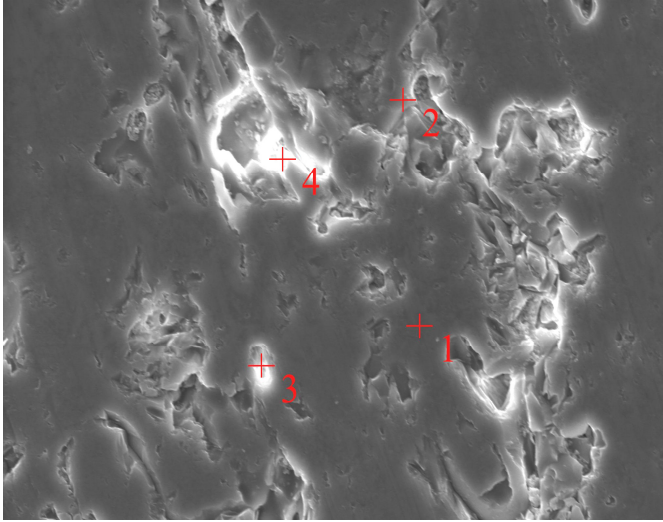
Şekil 6.47. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 3 numaralı EDS analizi



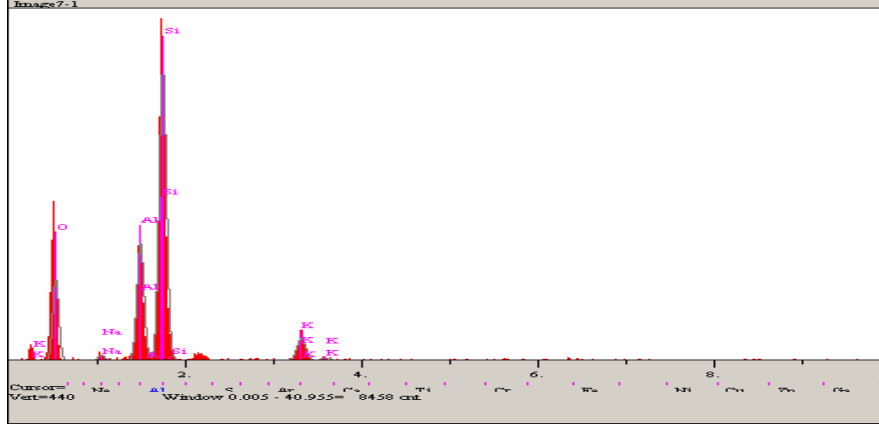
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	1.30	0.720	22.667	wt. %	
Al	Ka	7.24	1.702	8.584	wt. %	
Si	Ka	24.20	3.111	28.739	wt. %	
K	Ka	26.85	3.277	38.771	wt. %	
Fe	Ka	0.39	0.397	1.240	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil 6.48. 1150 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 4 numaralı EDS analizi

Şekil 6.41 ve 6.44 de 1150 °C de sinterlenen % 0 ve 25 silika dumanı içeren bileşimlerin SEM görüntüleri incelendiğinde yapının ilave edilen silika dumanının artmasıyla daha yoğunlaştığı gözlenmiştir. Sinterleme 1150 °C de yapıldığı için Şekil 6.42-48 de 1150 °C de sinterlenen % 0 ve 25 silika dumanı içeren EDS analizlerine bakıldığında çoğunlukla ergimemiş feldspat dan kaynaklanan  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  ve  $K_2O$  ya rastlanmıştır (Şekil 6.52-58).  $K_2O$  içeren feldspatların ergime sıcaklığının 1200°C ve üzerinde olduğundan bu olay tabiidir. Ayrıca reaksiyona girmemiş kuvarsında varlığı (şekil 6.41-6.42) belirgin olarak gözükmemektedir . Bu düşük sinterleme sıcaklığından dolayı nadiren camsı faza rastlanmıştır.

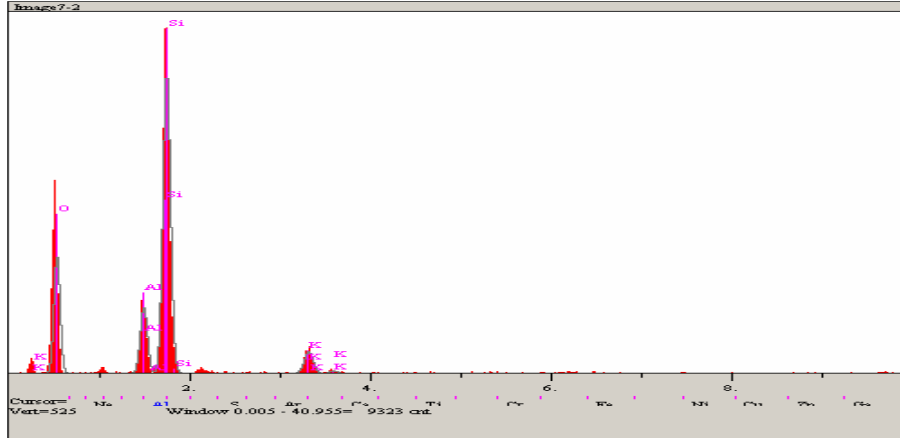


Şekil 6.49. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı



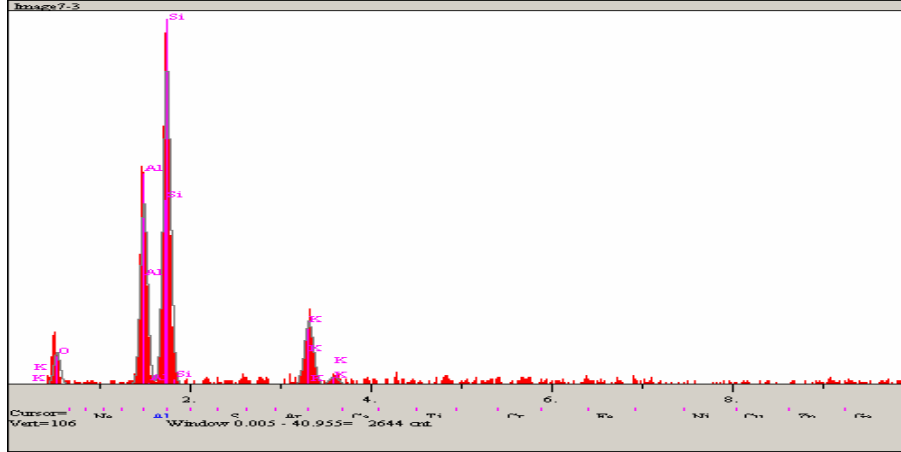
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	86.25	5.872	47.917	wt. %	
Na	Ka	6.25	1.581	0.941	wt. %	
Al	Ka	145.30	7.621	12.531	wt. %	
Si	Ka	379.04	12.309	34.828	wt. %	
K	Ka	34.70	3.725	3.784	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil 6.50. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 1 numaralı EDS analizi



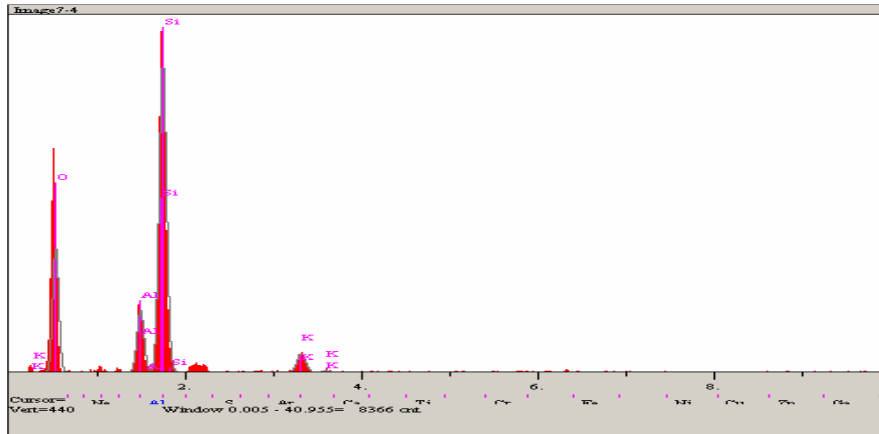
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	145.10	7.618	57.701	wt. %	
Al	Ka	95.68	6.186	6.924	wt. %	
Si	Ka	454.83	13.487	32.011	wt. %	
K	Ka	39.00	3.949	3.364	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil 6.51. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 2 numaralı EDS analizi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	7.86	1.773	28.905	wt. %	
Al	Ka	51.50	4.538	18.794	wt. %	
Si	Ka	94.27	6.139	41.105	wt. %	
K	Ka	21.68	2.944	11.196	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

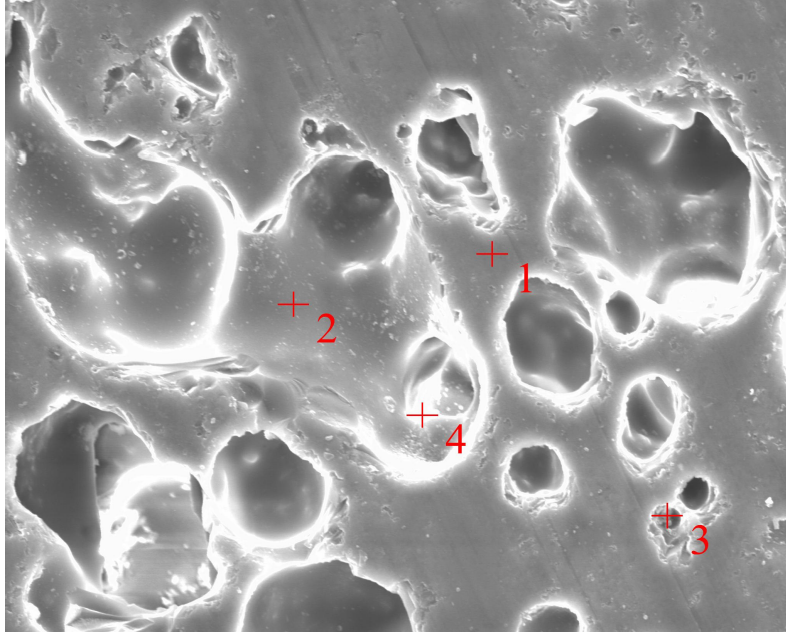
Şekil 6.52. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 3 numaralı EDS analizi



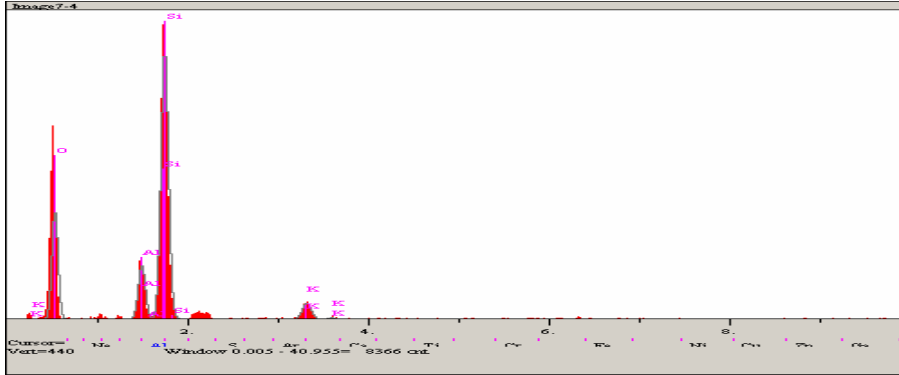
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	130.43	7.223	58.604	wt. %	
Al	Ka	75.70	5.503	6.373	wt. %	
Si	Ka	397.31	12.606	32.262	wt. %	
K	Ka	27.59	3.322	2.761	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil 6.53. 1250 °C de sinterlenen % 0 silika dumanı içeren bileşimin 4 numaralı EDS analizi



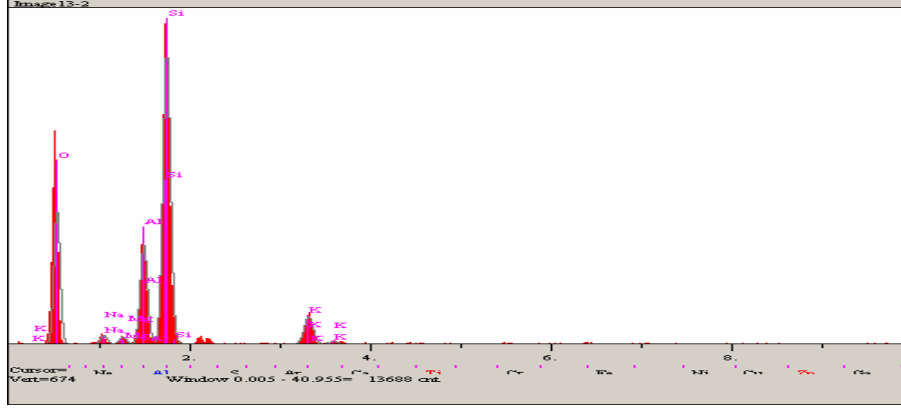


Şekil 6.54. 1250 °C de sinterlenen %25 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapısı



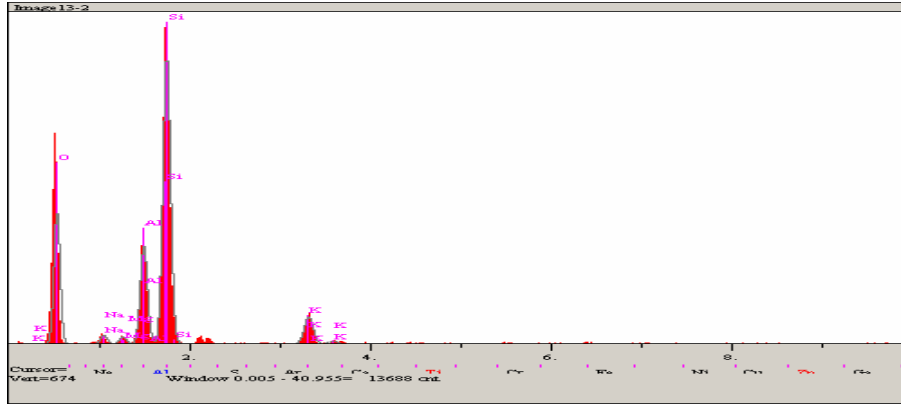
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	130.43	7.223	58.604	wt.%	
Al	Ka	75.70	5.503	6.373	wt.%	
Si	Ka	397.31	12.606	32.262	wt.%	
K	Ka	27.59	3.322	2.761	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 6.55. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 1 numaralı EDS analizi



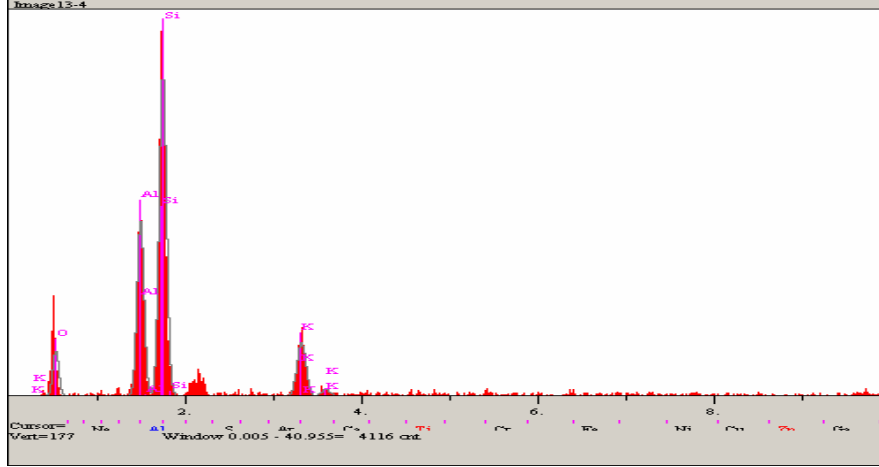
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	227.49	9.536	56.640	wt. %	
Na	Ka	16.14	2.540	1.336	wt. %	
Mg	Ka	14.18	2.381	0.791	wt. %	
Al	Ka	197.84	8.893	9.251	wt. %	
Si	Ka	608.83	15.601	28.324	wt. %	
K	Ka	67.56	5.197	3.657	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil 6.56. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 2 numaralı EDS analizi



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	227.49	9.536	56.640	wt. %	
Na	Ka	16.14	2.540	1.336	wt. %	
Mg	Ka	14.18	2.381	0.791	wt. %	
Al	Ka	197.84	8.893	9.251	wt. %	
Si	Ka	608.83	15.601	28.324	wt. %	
K	Ka	67.56	5.197	3.657	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

Şekil 6.57. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 3 numaralı EDS analizi



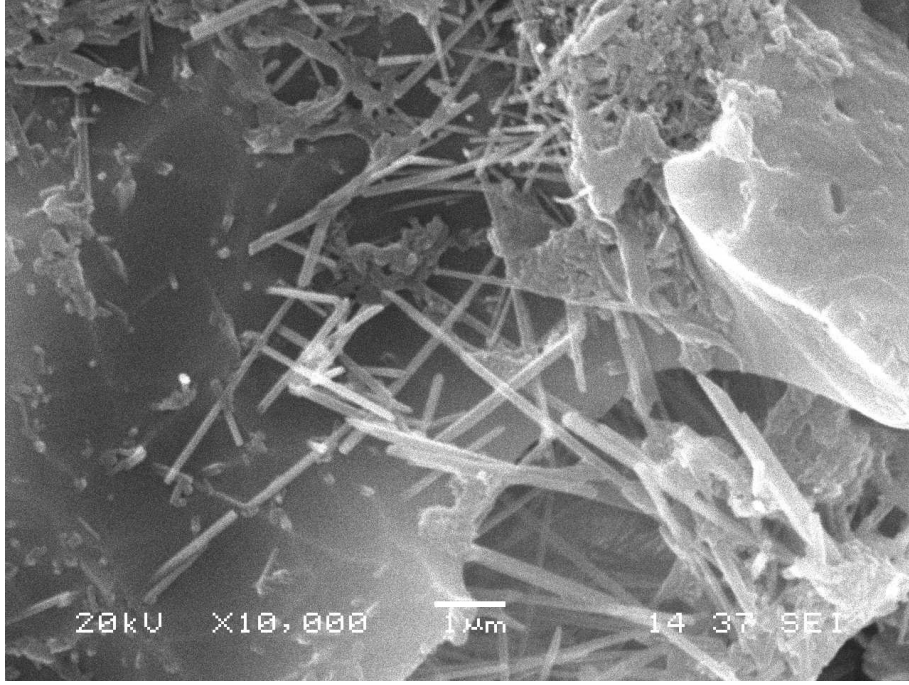
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	17.80	2.668	34.662	wt.%	
Al	Ka	79.91	5.653	17.374	wt.%	
Si	Ka	153.61	7.837	38.811	wt.%	
K	Ka	30.72	3.505	9.154	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

Şekil 6.58. 1250 °C de sinterlenen % 25 silika dumanı içeren bileşimin 4 numaralı EDS analizi

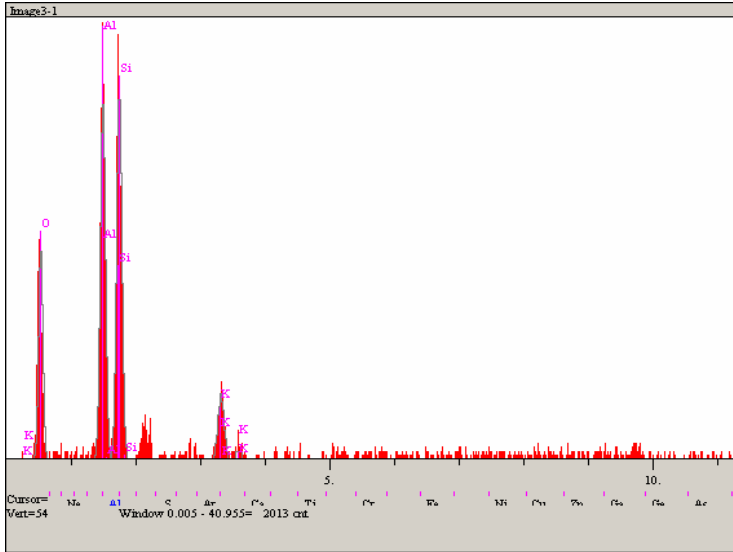
Şekil 6.49 ve 6.54 de 1250 °C de sinterlenen % 0 ve 25 silika dumanı içeren bileşimlerin SEM görüntülerinde ve EDS analizlerine bakıldığında ise daha fazla camsı faz ve müllit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) oluşumu belirlenmiştir.

Şekil 6.54 de görüldüğü gibi artan silika dumanı ile birlikte camsı fazın arttığı ve gözenekleri doldurmaya başladığı tespit edilmiştir. 1250 °C de sinterlenen %25 silika dumanı içeren bileşimin SEM mikroyapılarının de 2 nolu EDS noktasında bu durum görülmektedir.

Şekil 6.50-58 de 1250 °C de sinterlenen % 0 ve 25 silika dumanı içeren EDS analizlerinde ise silimanit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ) ve müllit oluşumunun yanında camsı fazda tespit edilmiştir. Bu sinterleme sıcaklığında artan sıcaklığa bağlı olarak 1150 °C de sinterlenen numunelerde gözlenen reaksiyona girmemiş kuvars miktarı iyice azalmış olup nadiren gözlenmiştir.

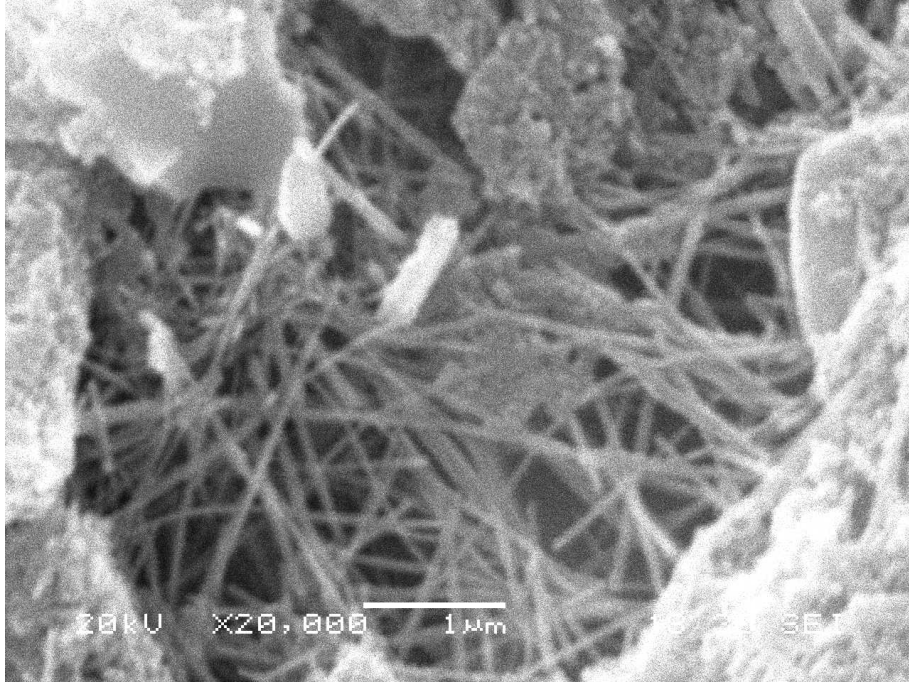


Şekil 6.59. 1250 °C de sinterlenmiş % 0 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı

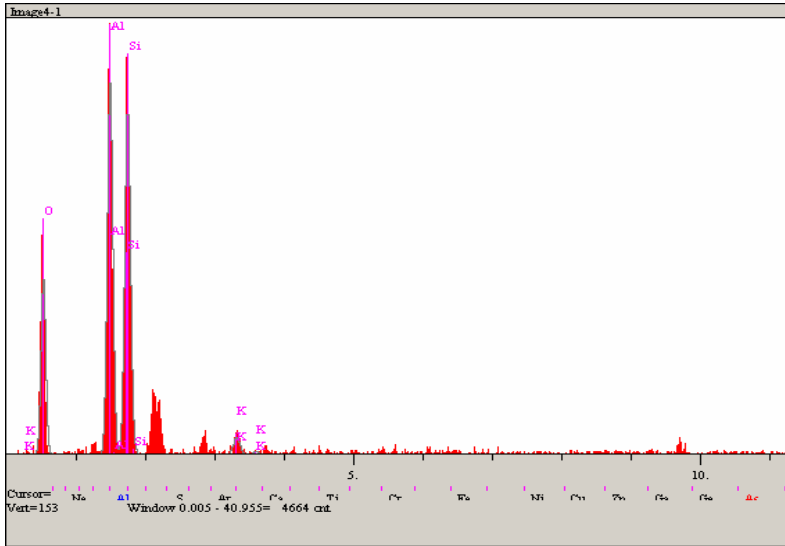


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
O	Ka	21.61	2.940	53.793	wt. %
Al	Ka	43.72	4.181	18.678	wt. %
Si	Ka	46.59	4.317	22.669	wt. %
K	Ka	9.45	1.944	4.859	wt. %
			Total	100.000	wt. %

Şekil 6. 60. 1250 °C de sinterlenmiş % 0 silika dumanı ilaveli bileşimdeki fiberlerin EDS analizi



Şekil 6. 61. 1250 °C de sinterlenmiş % 25 silika dumanı ilaveli bileşimin SEM mikro yapısı



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
O	Ka	52.91	4.599	50.839	wt.%
Al	Ka	130.16	7.214	21.974	wt.%
Si	Ka	126.50	7.112	25.690	wt.%
K	Ka	7.03	1.677	1.496	wt.%
			Total	100.000	wt.%

Şekil 6. 62. 1250 °C de sinterlenmiş % 25 silika dumanı ilaveli bileşimdeki fiberlerin EDS analizi

Yüksek büyütmelelerde dağlanmış numuneler de yapılan inceleme sonucunda XRD de varlığı tespit edilen fazlardan olan müllit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) fazına yaygın olarak rastlanmıştır (şekil 6.59 ve 6.61 ) . Müllit fazı şekillerdede görüldüğü gibi ince fiberler şeklinde oluşmuş olup fiber çapının tahminen 0,1-0,3 mikron arasında olduğu belirlenmiştir. Fiber uzunlukları ise değişken olup 1-3 mikron arası değişmektedir.

Fiberler üzerinde yapılan EDS analizinde ise mülliti oluşturan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiO}_2$  oksitleri tespit edilmiştir .(şekil 6.60 ve 6.62).

Müllit bu tür porselen yapılar da tespit edilen ancak çok dikkatli bir dağlama ve mikroyapı incelemesi sonucu gözlenen mikroyapının mukavemetini ve tokluğunu artıran bir fazdır. Morfolojisi fiber şeklinde olduğu için adeta sinterleme sonrası oluştuğu yapıyı seramik matrisli kompozit bir yapıya dönüştürmekte olup bu işlem tabii olarak gerçekleşmektedir. Bu gözlem literatürle de tam bir uyum göstermekte olup Ref [27] ve Ref [28] de aynı tür mikro yapısı gözlemişlerdir.

## BÖLÜM 7 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Numune dış görünüşlerine bakıldığında artan silika dumanı ilavesine bağlı olarak sinterleme sonrası rengin gittikçe değiştiği ve koyulaştığı gözlenmiştir. Bu olayın sebebi silika dumanının ihtiva ettiği renk verici özelliği olan krom oksit , demir oksit ve titanyum oksittir. Burada özellikle  $TiO_2$  ve  $Fe_2O_3$  ün varlığı % 1 in altında bile olsa renk verici özellikleri çok etkilidir.

Ayrıca silika dumanı ilavesiyle sinterleme sıcaklığının düştüğü gözlendi. Mesela 1150 °C de % 0 silika dumanı içeren bileşimde sinterlenme gözlenmezken % 25 silika dumanı içeren bileşimde sinterlenme gözlenmiştir. Dolayısıyla silika dumanı ilavesinin sinterlemeye katkıda bulunduğu söylenebilir. Silis dumanın çok ince tane boyutuna sahip olması ve orijinal yapısının amorf olmasından dolayı reaktif bir malzemedir. Dolayısıyla sıcaklık etkisi altında daha hızlı reaksiyona girdiği ve camsı faz oluşumunu hızlandırdığı söylenebilir.

Ayrıca % 25 oranında silika dumanı ilavesinin müllit oluşumunu teşvik ettiği gözlenmiştir.

Yapılan fiziksel özellik ölçümlerinde sinterleme sıcaklığı ve silika dumanının artması ile açık gözeneklilik ve su emme azalmıştır. Sinterleme sıcaklığını artması ile toplu boyut küçülmesi ve ağırlık kaybı artmış olup bu olay numunelerin ihtiva ettiği düşük buharlaşma sıcaklığına sahip empürütelerden dolayıdır. Bulk yoğunluk ise sıcaklık artışı ve silika dumanı ilavesinin artışı ile azalma eğilimi göstermiştir.

Yüzeyde sıcaklık artışı ile oluşan sır tabakasından dolayı dışarı çıkma şansı bulamayan gaz kabarcıklarının içeride bünyede sıkışması neticesinde iç bünyede gözenek hacmi ve çapı artmış olup bu da bulk yoğunluğun azalmasına yol açmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda silika dumanın geleneksel porselen üretiminde kullanılabileceği görüldü. İncelenen özellikler dikkate alındığında en uygun bileşim ve sinterleme sıcaklığı olarak 1250 °C de % 5 ve % 10 silis dumanı katkılı bileşim önerilebileceği düşünülmektedir. Zira daha yüksek ilave oranlarında özelliklerde istenmeyen sonuçlar gözlenmiş olup silika dumanı ilavesinin porselen bileşimindeki

kuvarsın yerine tamamen geçmesi yerine belli ve sınırlı bir oranda ilavesinin yararlı olabileceği söylenebilir.

Genel olarak sonuçlara ve sinterleme davranışlarına bakılarak bu çalışmanın sonucunda ürünün kullanılabilmesi uygulama konusunda bir değerlendirme yapmak gerekirse; porozitenin fazla olmasından ve yüzeydeki azda olsa bariz varlığından dolayı bu ürünün değerlendirme yeri ancak binalarda kullanılan iç ve dış duvar karosu olabilir. Çünkü dış duvar karosu yük taşıyan bir malzeme çeşidi olmadığından sadece dekoratiflik ve yüzey düzgünlüğü açısından sırlama yapılarak yüzey poroziteleri kapatılıp istenen renk ve desende karo imalatı için bu tür ürün değerlendirilebilir.

## 7.2. Öneriler

Bu çalışmada normal porselen reçetesinde mevcut olan silikanın yerine silika dumanı ilavesi ve özelliklere etkileri incelenmiş olup çalışmanın devamı olarak aşağıdaki öneriler yapılmıştır.

- 1- Bu çalışmada en yüksek 1250 °C de çalışılmıştır. Bu sıcaklık 1275 ve 1300 °C ye yükseltilecek mikroyapı ve özelliklere etkisi incelenebilir.
- 2-Bu çalışmada tane boyutu -75 µm olarak çalışılmış olup, tane boyutu azaltılarak ortaya çıkacak sonuçlar irdelenebilir.
- 3- İncelenen özelliklere ilave olarak mekanik ve elektriksel özellikler incelenebilir.
- 4- Üretilen numunelere uygun sır bileşimi ve sırlama çalışmaları yapılabilir.
- 5- Bu çalışmada numuneler kuru presleme tekniği ile şekillendirilmiş olup slip dökümle şekillendirme ve özellikleri incelenebilir. Ayrıca filter presde çamur hazırlayarak tornalama tekniği ile de numune üretimleri denenebilir.
- 6- Bu çalışmaya ilave olarak sinterleme kinetiği çalışılarak sonuçları irdelenebilir.



## KAYNAKLAR

- [1] GEÇKİNLİ, E., “İleri Teknoloji Malzemeleri” İ.T.Ü. Kimya- Metalurji Fakültesi Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul,1992, 1-9, 121-126
- [2] DOĞAN, Ş., “Seramik Teknolojisi” Birsen Yayınları, 2000, s.7-24, 29-44
- [3] [www.ege.seramik.com](http://www.ege.seramik.com)
- [4] TEMUR, T., Endüstriyel Hammaddeler”, Çizgi Kitabevi Yayınları, Eylül 2001
- [5] [www.etimaden.gov.tr/tr/madensozluk/II.htm](http://www.etimaden.gov.tr/tr/madensozluk/II.htm)
- [6] ÇALIŞKAN,F. “Çanakkale Kaolen Kil Mineralinin Teknoloji Seramiğine Dönüşüm Potansiyelinin İncelenmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ocak 2006
- [7] NORTON, F.H., Second Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1974, s.16 “Elements of Ceramics”
- [8] [www.madencilik.org/hm\\_masse/kaolen.doc](http://www.madencilik.org/hm_masse/kaolen.doc)
- [9] [www.ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik477c1.pdf](http://www.ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik477c1.pdf)
- [10] <http://www.serki.com/index.php?bolumsec=terimler&id=t86ora>
- [11] [www.kimyadersi.com/meraklisina/kimya%2520sanayi%2520ham%2520madeleri.htm](http://www.kimyadersi.com/meraklisina/kimya%2520sanayi%2520ham%2520madeleri.htm)
- [12] [www.ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik477c2.pdf](http://www.ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik477c2.pdf)
- [13] <http://www.migem.gov.tr/links/kaynakca/sozluk/sozluk-s.htm>
- [14] [www.fizik.mu.edu.tr/aras/seramik/tarih.htm](http://www.fizik.mu.edu.tr/aras/seramik/tarih.htm)
- [15] “Standart Definition of Terms Related to Ceramic Whitewares and Related products” ASTM Designation C 242, 1996 Anual Book of ASTM standarts, vol.15.02 American Society for Testing and mataterials,Philadelphia
- [16] [www.porland.com.tr/sikSORULANSORULARtext.htm](http://www.porland.com.tr/sikSORULANSORULARtext.htm) “porselen nedir ?”
- [17] [www.geosites.com/sinologi/yazi/prslen01/pors01htm](http://www.geosites.com/sinologi/yazi/prslen01/pors01htm) “porselenin uzun ve zahmetli yolculuğu”

- [18] [Arsiv.hurriyetim.com.tr/kelebek/turk/99/05/21/kelhab/05kel.htm](http://Arsiv.hurriyetim.com.tr/kelebek/turk/99/05/21/kelhab/05kel.htm)  
“200 yıllık porselenler”
- [19] [www.sadberkhanimmuzesi.org.tr/turkish/sanat/turk.htm](http://www.sadberkhanimmuzesi.org.tr/turkish/sanat/turk.htm)  
“Osmanlı dönemi türk porselenleri”
- [20] ARCASOY, A., “Seramik teknolojisi”, Marmara Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1983
- [21] W.M Carry and U.Senapati,”porcelain-Raw Metarials, processing, phase evolution, and Mechanical Behaviour”, J.Am. Ceram. Soc.81,3-20,1998
- [22] [www.metalurji.org.tr/source/dergi121](http://www.metalurji.org.tr/source/dergi121) MERCAN, M.” Sırlama teknikleri
- [23] GÜÇLÜ, Çavuş “Geleneksel Seramik üretiminde Pencere Camı atıklarının değerlendirilmesi” Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Eylül 2002
- [24] ARTIR,R. “Seramik malzemelerin karakterizasyonu”Sakarya üniversitesi mühentislik fakültesi metalurji ve malzeme müh.bölümü yüksek lisans ders notları 2005
- [25] S. Emrulloğlu, E.Gül, Ö.F. Emrulloğlu, "Kullanılmış SiC kasetlerden dökülebilir refrakter üretimi",1. End. Fırınlar ve refrakter Sempozyumu Bildiriler kitabı syf.158-165,Sakarya Üniversitesi 24-26 Mart 2005
- [26] A. Şükran DEMİRKIRAN,“Porselen Üretiminde Kuvars Yerine Zeolit İlavesi Etkisinin İncelenmesi ”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 2006
- [27] C.S. Prasad, K.N. Maiti, R. Venugopal “ Effect of silica fume addition on the properties of whiteware compositions” Ceramics International 28 (2002) 9-15
- [28] C.S. Prasad, K.N. Maiti, R. Venugopal “ Effect of substition of quartz by rice husk ash and silica fume on the properties of whiteware compositions Ceramics International 29 (2003) 907-914

## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Ordu' da doğan Tuğrul Can ASLAN, İlk öğrenimini Rize'nin Ardeşen ilçesinde Ortaokul ve Liseyi Samsun' un Bafra ilçesinde tamamladı. 1998 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Müh. Kazandı. 2002 yılında bölümünden başarıyla mezun olan ASLAN, 2003 yılında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği anabilim dalında öğrenimini sürdürmektedir.