

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bergama Altın Mad. Atık. Camı San. Değ.

Yüksek Lisans Tezi

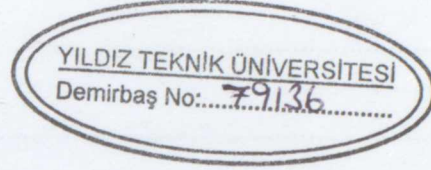
İNSAN TÜRKAL

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R 361-491

Kayıt No : 3469
Geldiği Yer : F.B.F.
Tarih : 09.02.07
Fiyat : 6.86
Fatura No :
Ayrıntı No : 1-1
Ek :

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



XIV - 117

**BERGAMA ALTIN MADENİ ATIKLARININ CAM
SANAYİSİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Çevre Müh. İhsan Mert TÜRKKAL

F.B.E. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimya Mühendisliği Programında
Hazırlanan

691

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sabriye PIŞKİN
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nurcan TUĞRUL

Tez Jürisi: Prof. Dr. Ahmet EKERİM
Tez Jürisi: Prof. Dr. Ülker BEKER

Skay
Demirbaş
S. Ekerim
Yrd. Doç. Dr. Nurcan Tuğrul

İSTANBUL, 2006

X

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ARITMA ÇAMURLARININ ÖZELLİKLERİ.....	2
2.1 Arıtma Çamurunun Sınıflandırılması	3
2.1.1 Hidrofilik organik çamur	3
2.1.2 Hidrofilik inorganik çamur	3
2.1.3 Yağlı çamur	3
2.1.4 Hidrofobik inorganik çamur	3
2.1.5 Hidrofilik-hidrofobik inorganik çamur	4
2.2 Arıtma Çamurunun Yapısı.....	4
2.3 Arıtma Çamurunun Genel Özellikleri	5
2.3.1 Fiziksel özellikleri	5
2.3.1.1 Özgül ağırlığı.....	5
2.3.1.2 Katı madde içeriği.....	5
2.3.1.3 Tane irilik dağılımı	6
2.3.2 Kimyasal özellikler.....	6
2.3.2.1 Isıl değeri	6
2.3.2.2 Gübre değeri	7
2.3.2.3 Besin değeri	7
2.3.3 Biyolojik özellikler	7
2.4 Çamur Arıtımı.....	7
2.4.1 Çamur stabilizasyonu.....	8
2.4.2 Çamur susuzlaştırma.....	8
2.5 Arıtma Çamurunun Uzaklaştırılması.....	9
3. DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE BAZI ARITMA TESİSLERİNİN ÇAMUR UZAKLAŞTIRMA ÖRNEKLERİ	11
3.1 Dünyada Bazı Arıtma Tesislerinde Çamurun Uzaklaştırılması.....	11
3.2 Ülkemizde Bazı Arıtma Tesislerinde Çamurun Uzaklaştırılması	13
3.2.1 Bazı evsel atıksu arıtma tesisleri.....	13
3.2.2 Bazı endüstriyel atıksu arıtma tesisleri	14

3.3	Kullanım ve Uzaklaştırılma Yöntemlerine Göre Endüstriyel Arıtma Çamuru Miktarı	15
3.3.1	Sanayi gruplarına göre endüstriyel arıtma çamuru miktarı	16
3.4	Bergama-Ovacık Altın Madeninde Arıtma Çamuru Oluşumu.....	17
4.	CAM SANATI	20
4.1	Camın Tarihi	20
4.1.1	Osmanlı Devletinden - Türkiye Cumhuriyetine cam sanatı	23
4.1.1.1	1300 – 1600 yılları arasında Osmanlı Devletinde cam sanatı	23
4.1.1.2	1600–1908 yılları arasında Osmanlı Devletinde cam sanatı	24
4.1.1.3	1908’den sonrası ve günümüz cam sanatı	24
4.2	Camın Tanımı	25
4.3	Camın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	25
4.3.1	Kimyasal dayanıklılık	25
4.3.2	Fiziksel özellikleri	25
4.3.2.1	Viskozite	25
4.3.2.2	Yüzey gerilim	26
4.3.2.3	Özgül ağırlık	26
4.3.3	Mekanik özellikler	26
4.3.4	Elektriksel özellikler	26
4.3.5	Optik özellikler	26
4.4	Cam (Hammaddeleri) Bileşimleri.....	27
4.5	Cam Bileşimlerinin Sınıflandırılması	27
4.6	Camdaki Bileşenlerin İşlevleri	27
4.6.1	Silisyumdioksit (SiO_2)	27
4.6.2	Sodyumoksit (Na_2O).....	28
4.6.3	Kalsiyumoksit (CaO)	28
4.6.4	Potasyumoksit (K_2O)	28
4.6.5	Lityumoksit (Li_2O)	28
4.6.6	Boroksit (B_2O_3)	28
4.6.7	Alüminyumoksit (Al_2O_3)	28
4.6.8	Magnezyumoksit (MgO)	29
4.6.9	Çinkooksit (ZnO).....	29
4.6.10	Kurşunoksit (PbO).....	29
4.6.11	Baryumoksit (BaO).....	29
4.7	Camın Renk Veren Maddeler	29
4.8	Cam Üretimi Aşamaları.....	30
4.8.1	Karışımın hazırlanışı.....	30
4.8.2	Eritme ve arıtma	30
4.8.3	Şekillendirme	32
4.8.4	Soğutma ve tavlama.....	32
4.8.5	Bitirme işlemi	33
4.9	Cam Türleri.....	33
4.9.1	Silika camı	37
4.9.2	Su camı	37
4.9.3	Şişe ve düz cam	37
4.9.4	Kristal camı.....	38
4.9.5	Borosilikat camları.....	38
4.9.6	Alüminosilikat camlar	40
4.9.7	Optik camlar	41
4.9.8	Cam elyafı.....	41

4.10	Camda Renk Oluşumu ve Kontrolü.....	42
4.10.1	Renksizleştirme (Decolourising)	44
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	46
5.1	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Enstrümental Analiz Cihazları, Deneysel Sistem, Kimyasal Malzemeler ve Hammaddeler.....	46
5.1.1	Malzemelerin karakterizasyonunda kullanılan enstrümental analiz cihazları	46
5.1.1.1	X-Işını difraktometre cihazı (XRD).....	46
5.1.1.2	Fourier transform infrared spektrofotometre cihazı (FT-IR).....	46
5.1.1.3	Taramalı elektron mikroskobu cihazı (SEM)	46
5.1.1.4	X-Işını flüoresans spektrometre cihazı (XRF).....	46
5.1.2	Deneysel sistem	47
5.1.3	Deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddeler ve kimyasal malzemeler.....	49
5.1.3.1	Bergama atığı.....	49
5.1.3.2	Sodyum karbonat (Na_2CO_3)	49
5.1.3.3	Boraks atığı.....	50
5.1.3.4	Magnezyum sülfat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$).....	50
5.1.3.5	Borik asit (H_3BO_3)	51
5.1.3.6	Alüminyum oksit (Al_2O_3).....	51
5.1.3.7	Kalsiyum karbonat (CaCO_3).....	52
5.2	Deneysel Yöntem.....	52
5.2.1	Bergama atığının karakterizasyonu	52
5.2.2	Cam türleri üretimi	53
5.2.2.1	Teknik (Pyrex) cam üretimi.....	53
5.2.2.2	Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi	53
5.2.2.3	Düz cam üretimi	54
6.	DENEYSEL SONUÇLAR	55
6.1	Çamur Atığın Karakterizasyonu	55
6.1.1	Çamur atığın XRD diyagramı.....	55
6.1.2	Çamur atığın FT-IR spektrumu	57
6.1.3	Çamur atığın SEM görüntüleri	59
6.1.4	Çamur atığın XRF sonuçları.....	60
6.1.5	Çamur atığın kimyasal gravimetrik analizi.....	62
6.1.6	Kızdırma kaybı analizi.....	62
6.2	Bergama Atığı'ndan Değişik Cam Türlerinin Üretimi.....	62
6.2.1	Teknik (Pyrex) cam üretimi ve deneysel sonuçları	62
6.2.1.1	I. Teknik (Pyrex) cam karışımı.....	63
6.2.1.2	II. Teknik (Pyrex) cam karışımı.....	67
6.2.1.3	III. Teknik (Pyrex) cam karışımı	69
6.2.1.4	Teknik (Pyrex) cam numunelerinin FT-IR sonuçları	71
6.2.1.5	Teknik (Pyrex) cam numunelerinin XRF sonuçları	75
6.2.2	Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi ve deneysel sonuçları	78
6.2.2.1	I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımı	78
6.2.2.2	II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımı.....	83
6.2.2.3	III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımı	85
6.2.2.4	Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunelerinin FT-IR sonuçları	87
6.2.2.5	Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunelerinin XRF sonuçları.....	91
6.2.3	Düz cam üretimi ve deneysel sonuçlar	94
6.2.3.1	I. Düz cam karışımı.....	94
6.2.3.2	II. Düz cam karışımı	96

6.2.3.3	III. Düz cam karışımı	100
6.2.3.4	Düz cam numunelerinin FT-IR sonuçları	102
6.2.3.5	Düz cam numunelerinin XRF sonuçları	106
6.2.4	Camın yoğunluk hesabı	109
6.2.5	Üretilen camların gözenekli yapılarının ve renklerinin sınıflandırılması.....	111
7.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR.....		114
ÖZGEÇMİŞ.....		117

KISALTMA LİSTESİ

BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
E-CAM	Elektrik yalıtımı ve elyaf destekli plastikler için kullanılan cam türü
FTIR	Fourier transform infrared spektrofotometresi
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
OSB	Organize sanayi bölgesi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	X-Işınları difraktometresi
XRF	X-Işını flüoresans spektrometresi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Arıtma sisteminde çamur çıkış noktaları.....	2
Şekil 2. 2 Arıtma çamurundaki suyun dağılımı.....	5
Şekil 2. 3 Arıtma çamurundaki su-katı madde dengesi.....	9
Şekil 3. 1 Kullanım ve uzaklaştırılması yöntemlerine göre endüstriyel arıtma çamuru miktarı	16
Şekil 3. 2 Sanayi gruplarına göre endüstriyel arıtma çamuru miktarı.....	17
Şekil 3. 3 Bergama –Ovacık Altın Madeninin tesis akım şeması.....	18
Şekil 3. 4 Bergama-Ovacık Altın Madenini tesis ve kimyasal bozundurma akım şeması.....	19
Şekil 4. 1 Çeşm-i Bülbül resimleri.....	24
Şekil 5. 1 Yüksek sıcaklık fırınının a) dış görünümü b) iç görünümü c) baca gazı çıkışı.....	47
Şekil 5. 2 Farklı ergitme potaları.....	48
Şekil 6. 1 Çamur atığının XRD diyagramı.....	56
Şekil 6. 2 Çamur atığının FT-IR spektrumu.....	58
Şekil 6. 3 Çamur atığının SEM görüntüsü (X200).....	59
Şekil 6. 4 Çamur atığının XRF grafiği.....	61
Şekil 6. 5 1081°C’de I. teknik (Pyrex) camın malzeme ilave ediliş görüntüsü.....	65
Şekil 6. 6 1350°C’de I. teknik (Pyrex) camın ergime sürecinin tamamlanış görüntüsü.....	65
Şekil 6. 7 I.Teknik (Pyrex) camın soğuduktan sonraki görüntüsü (galvaniz saça dökülerek)	66
Şekil 6. 8 I.Teknik (Pyrex) camın soğuduktan sonraki görüntüsü (su içine boşaltılarak).....	66
Şekil 6. 9 II. Teknik (Pyrex) cam üretiminde 740°C’deki yüzeydeki tabakalaşma görüntüsü.	68
Şekil 6. 10 II. Teknik (Pyrex) cam numunesinin soğuduktan sonraki görüntüsü.....	69
Şekil 6. 11 III. Teknik (Pyrex) camın soğuduktan sonraki görüntüsü.....	70
Şekil 6. 12 I. Teknik (Pyrex) camın FT-IR spektrumu.....	72
Şekil 6. 13 II. Teknik (Pyrex) camın FT-IR spektrumu.....	73
Şekil 6. 14 III. Teknik (Pyrex) camın FT-IR spektrumu.....	74
Şekil 6. 15 I.Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimindeki 1160 °C’de ki durumu.....	80
Şekil 6. 16 1270°C’de I. yüksek alüminalı (Supremax) camın ergitme kabının yüzeyi.....	80
Şekil 6. 17 1300°C’de I. yüksek alüminalı (Supremax) camın ergime görüntüsü.....	81
Şekil 6. 18 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin soğuma görüntüsü.....	81
Şekil 6. 19 I. Yüksek alüminalı (Supremax) camın soğuduktan sonraki görüntüsü.....	82
Şekil 6. 20 I. Yüksek alüminalı (Supremax) camın kontrollü soğuduktan sonraki görüntüsü.	82
Şekil 6. 21 II. Yüksek alüminalı (Supremax) camın soğuduktan sonraki görüntüsü.....	84
Şekil 6. 22 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin FT-IR spektrumu.....	88
Şekil 6. 23 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin FT-IR spektrumu.....	89

Şekil 6. 24 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin FT-IR spektrumu.....	90
Şekil 6. 25 1282°C 'de I. düz camın ergime sürecinin tamamlanış görüntüsü.....	95
Şekil 6. 26 Üretilen I.düz camın soğuduktan sonraki görüntüsü (galvaniz saça dökülerek)....	96
Şekil 6. 27 Üretilen I. düz camın soğuduktan sonraki görüntüsü (su içine boşaltılarak)	96
Şekil 6. 28 1215°C 'de II. düz cam numunesi	98
Şekil 6. 29 II. Düz cam numunesinin 1250°C 'deki galvaniz saça dökülüş görüntüsü	98
Şekil 6. 30 Galvaniz saça dökülen II. düz camın soğuduktan sonraki görüntüsü	99
Şekil 6. 31 Galvaniz saça dökülen II. düz camın kontrollü soğuduktan sonraki görüntüsü.....	99
Şekil 6. 32 1250°C 'de III. düz cam üretiminde soğuduktan sonraki görüntüsü.....	101
Şekil 6. 33 I. Düz cam numunesinin FT-IR spektrumu.....	103
Şekil 6. 34 II. Düz cam numunesinin FT-IR spektrumu	104
Şekil 6. 35 III. Düz cam numunesinin FT-IR spektrumu	105

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3. 1 Japonya-Tokyo arıtma tesisleri ve uzaklaştırılması yöntemleri	11
Çizelge 3. 2 Almanya arıtma tesisleri ve uzaklaştırılması yöntemleri	12
Çizelge 3. 3 ABD- Indianapolis arıtma tesisleri ve uzaklaştırılması yöntemleri	12
Çizelge 3. 4 Singapur arıtma tesisleri ve uzaklaştırılması yöntemleri	12
Çizelge 3. 5 Ankara ASKİ biyolojik atıksu arıtma tesisi ve uzaklaştırılması yöntemleri	13
Çizelge 3. 6 Tuzla İSKİ biyolojik atıksu arıtma tesisi ve uzaklaştırılması yöntemleri	14
Çizelge 3. 7 İstanbul-Tuzla deri OSB atıksu arıtma tesisi ve uzaklaştırılması yöntemleri	14
Çizelge 3. 8 İzmir-Atatürk OSB atıksu arıtma tesisi ve uzaklaştırılması yöntemleri.....	15
Çizelge 4. 1 Bazı antik camların bileşimleri.....	22
Çizelge 4. 2 Cama renk veren maddeler.....	30
Çizelge 4. 3 Cam üretiminde kullanılan bazı oksitlerin işlevsel sınıflandırılması	34
Çizelge 4. 4 Çeşitli ticari camların bileşimleri	35
Çizelge 4. 5 Çeşitli borosilikat camı bileşimleri	39
Çizelge 4. 6 Özel borat camı (N51a) bileşimi	39
Çizelge 4. 7 Nötr cam bileşimleri	40
Çizelge 4. 8 Çeşitli alüminosilikat camları bileşimleri.....	41
Çizelge 4. 9 Çeşitli e-camı bileşimleri.....	42
Çizelge 4. 10 SiO ₂ esaslı camlarda renk oluşumu.....	43
Çizelge 4. 11 Kolloidal metal ve yan iletken partiküllerince cam içinde oluşturulan renkler..	44
Çizelge 5. 1 Bergama atığının kimyasal bileşimi.....	49
Çizelge 5. 2 Sodyum karbonat kimyasal bileşimi	49
Çizelge 5. 3 Sodyum karbonat partikül büyüklüğü dağılımı.....	50
Çizelge 5. 4 Boraks atığının kimyasal analizi	50
Çizelge 5. 5 Magnezyum sülfat (MgSO ₄ . 7 H ₂ O) eser madde içeriği	50
Çizelge 5. 6 Borik asidin fiziksel ve kimyasal özellikleri	51
Çizelge 5. 7 Alüminyum oksit'in eser madde içeriği	51
Çizelge 5. 8 Kalsiyum karbonat (CaCO ₃) eser madde içeriği	52
Çizelge 5. 9 Üretilmek istenen teknik (Pyrex) cam'ın bileşimi	53
Çizelge 5. 10 Üretilmek istenen yüksek alüminalı (Supremax) cam'ın bileşimi	54
Çizelge 5. 11 Üretilmek istenen düz cam bileşimi	54
Çizelge 6. 1 Bergama çamur atığının XRD pik değerleri.....	55
Çizelge 6. 2 Çamur atığın XRF sonuçları	60

Çizelge 6. 3 Çamur atığın kimyasal bileşimi.....	62
Çizelge 6. 4 I. Teknik (Pyrex) cam üretimi için kullanılan hammaddeler ve miktarları.....	63
Çizelge 6. 5 I. Teknik (Pyrex) cam karışımının bileşimi	63
Çizelge 6. 6 I. Teknik (Pyrex) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler	64
Çizelge 6. 7 II. Teknik (Pyrex) cam üretimi için kullanılan hammaddeler ve miktarları	67
Çizelge 6. 8 II. Teknik (Pyrex) cam karışımının bileşimi	67
Çizelge 6. 9 II. Teknik (Pyrex) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler	68
Çizelge 6. 10 III. Teknik (Pyrex) cam üretimi için kullanılan hammaddeler ve miktarları	69
Çizelge 6. 11 III. Teknik (Pyrex) cam karışımının bileşimi.....	69
Çizelge 6. 12 III. Teknik (Pyrex) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler.....	70
Çizelge 6. 13 I. Teknik (Pyrex) camın XRF sonuçları	75
Çizelge 6. 14 II. Teknik (Pyrex) camın XRF sonuçları.....	76
Çizelge 6. 15 III. Teknik (Pyrex) camın XRF sonuçları	77
Çizelge 6. 16 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için kullanılan hammaddeler	78
Çizelge 6. 17 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımının bileşimi.....	78
Çizelge 6. 18 Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler.....	79
Çizelge 6. 19 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için kullanılan hammaddeler	83
Çizelge 6. 20 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımının bileşimi	83
Çizelge 6. 21 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretiminde deneysel sonuçlar.....	84
Çizelge 6. 22 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için kullanılan hammaddeler.....	85
Çizelge 6. 23 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımının bileşimi	85
Çizelge 6. 24 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler.....	86
Çizelge 6. 25 III. Yüksek alüminalı (Supremax) camın soğuduktan sonraki görüntüsü.....	86
Çizelge 6. 26 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam XRF sonuçları	91
Çizelge 6. 27 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam XRF sonuçları	92
Çizelge 6. 28 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam XRF sonuçları.....	93
Çizelge 6. 29 I. Düz cam üretimi için kullanılan hammaddeler	94
Çizelge 6. 30 I. Düz cam karışımının bileşimi	94
Çizelge 6. 31 I. Düz cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler	95
Çizelge 6. 32 II. Düz cam üretimi için kullanılan hammaddeler.....	97
Çizelge 6. 33 II. Düz cam karışımının bileşimi.....	97
Çizelge 6. 34 II. Düz cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler.....	97
Çizelge 6. 35 III. Düz cam üretimi için kullanılan hammaddeler	100
Çizelge 6. 36 III. Düz cam karışımının bileşimi	100
Çizelge 6. 37 III. Düz cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler	101

Çizelge 6. 38 I. Düz cam XRF sonuçları.....	106
Çizelge 6. 39 II. Düz cam XRF sonuçları.....	107
Çizelge 6. 40 III. Düz cam XRF sonuçları.....	108
Çizelge 6. 41 Tipik camların yoğunlukları.....	109
Çizelge 6. 42 Bileşenlerin yoğunluk sabitleri.....	109
Çizelge 6. 43 Üretilen numunelerin yoğunlukları ve yüksek orandaki bileşenleri.....	110
Çizelge 6. 44 Numunelerin gözeneklilik ve renk kıyaslanması.....	111

ÖNSÖZ

Bergama-Ovacık Altın Madeni atıkları içerdiği yüksek miktardaki SiO₂ sebebiyle, hem atıkların değerlendirilmesi hemde çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla cam sanayinde hammadde olarak kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında Bergama-Ovacık Altın Madeni arıtma tesisinden açığa çıkan arıtma çamurunun cam sanayinde değerlendirilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla X-ışını difraktometre, Fourier transform infrared spektrofotometre cihazı, Taramalı elektron mikroskobu ve X-ışını flüoresans cihazları kullanılarak atığın karakteristik özellikleri incelenmiş ve yapılan denemeler sonucunda atığın cam üretiminde hammadde olarak kullanılabilirliği saptanmıştır. Bergama-Ovacık Altın Madeni atıklarına kimyasal maddeler ilave edilerek, teknik (Pyrex) cam, yüksek alüminalı (Supremax) cam ve düz cam üretilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca hiçbir konuda desteğini esirgemeyen, yaratıcı fikirleriyle bana yol gösteren, başarısıyla ve kişiliğiyle kendime örnek aldığım, tez çalışmamın her aşamasında karşılaştığım zorlukları aşmamı sağlayan, teşvik ve önerileriyle bana her konuda yardımcı olan hayatım boyunca sevgi ve saygıyla hatırlayacağım kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Sabriye Pişkin'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmalarım esnasındaki yardımlarından ve desteğinden dolayı Prof. Dr. Ahmet Ekerim'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmalarımın her aşamasında büyük emekleri geçen, hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Emek Möröydor Derun ve Yrd. Doç. Dr. Nurcan Tuğrul'a teşekkürlerimi sunarım.

Ergitme aşaması boyunca yardımcı olan sevgili Remsan Refrakter Malzeme Sanayi A.Ş. personeline ve özellikle laboratuvar ve ArGe şefi Fehmi Kula'ya çok teşekkür ederim.

Tezimin yazımı sırasında büyük yardımları olan sevgili arkadaşlarım Arş. Gör. Aysel Kantürk'e, Arş. Gör. Müge Sarı'ya, Kimya Müh. Nilay Üstün'e, Kimya Müh. Murat Eslek'e, Teknisyen Cem Çakmak, Teknisyen Davut Bozkurt ve Teknisyen Ferdi Erol'a çok teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, bana her zaman güvenen ve inanan, sevgilerini ve anlayışlarını benden esirgemeyen, hayatımın sonuna kadar yanımda olacaklarını bildiğim ve her şeyden çok sevdiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bütün insanların kirlenmemiş, temiz bir ortamda yaşama arzuları doğuştan getirdikleri bir özelliktir. Topulukların bu arzuları doğrultusunda temiz bir çevrede faaliyet göstermeleri en tabii haklarıdır ve hiç kimsenin dikkatsizlik, ihmal veya kasıtlı olarak bu ortamı bozmasına izin verilmemelidir.

Teknolojinin ilerlemesiyle beraber atıkların uzaklaştırılması ile ilgili problemler de giderek artmaya başlamıştır. Fakat ülkelerin gelişebilmesi ve modern çağa ayak uydurabilmesi amacıyla sanayileşmesi gerekmektedir. Bu sebepten atıklar sahip oldukları bazı özelliklerden dolayı tekrar kullanılabilir veya atıkların başka bir amaç için kaynak gösterilebilirliği araştırılmalıdır.

Bu çalışmada, Bergama-Ovacık Altın Madeni arıtma tesisi arıtma çamurunun fiziksel, kimyasal özellikleri ve cam sanayinde değerlendirme olanağı araştırılmıştır. Bergama-Ovacık altın saflaştırma tesisinde üretim sırasında her yıl 277882 ton arıtma çamuru oluşmaktadır. Bu arıtma çamurunun kimyasal özellikleri araştırıldığında cam üretiminde hammadde olarak kullanılabileceği ispatlanmıştır. Ek kimyasal maddeler ilavesiyle cam türlerinden teknik (Pyrex) cam, yüksek alüminalı (Supremax) cam ve düz cam üretilmiştir. Atığın karakteristik özelliklerinin üretilen camlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Arıtma çamuru, cam üretimi, değerlendirme, cam türleri

ABSTRACT

The people's desire of living in an unpolluted environment is an inborn feature. It is the right of the people to be active in an unpolluted environment and they should not allow anyone to damage this environment deliberately.

The problems about the disposal of the wastes began to increase with the development of technology. However, countries should be industrialized in order to develop and attune the modern age. For this reason, wastes can be recycled due to some features that they own or we should research the usag of the waste as a raw material for another purpose.

In this study, physical and chemical features of the treatment sludge in Bergama-Ovacık Gold Mine treatment plant and the facility of utilization in glass industry were analyzed. Every year in Bergama-Ovacık treatment plant 277882 ton sludge was produced during production. When we think about the chemical features of this sludge, it is proved that we can use this as a raw material in glass production. By adding chemical substances pyrex glass, supremax glass and flat glass were produced. The characteristic features of the waste on the glasses that are produced were observed.

Keywords: Treatment sludge, glass production, utilization, glass types

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun çeşitli faaliyetleri nedeniyle oluşan evsel ve endüstriyel atık suyun fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemlerle arıtılması sonucu; kullanılan prosese ve işletme şartlarına bağlı olarak ağırlıkça yaklaşık %0.25-12 katı madde içeren katı atık açığa çıkmakta ve bu atık arıtma çamuru olarak adlandırılmaktadır (Orhon, 1997). Bu çamur içerdiği patojen ve toksit bileşenler yüzünden ciddi çevre problemlerine yol açmakta, ayrıca önemli depolama ve uzaklaştırma problemleri oluşturmaktadır,

Arıtma tesislerinde toplam yatırım maliyetinin yaklaşık %50'sini açığa çıkan çamurun uzaklaştırılması ile ilgili birimler oluşturmaktadır (Winkler, 1993). Günümüzde arıtma çamurunun çevreye zarar vermeden uzaklaştırılması ve değerlendirilmesi konusunda özellikle A.B.D., İngiltere, Fransa, Almanya, Hollanda, Danimarka ve Japonya gibi ülkelerde önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de gelişen sanayi ve artan nüfus yoğunluğundan dolayı konuyla ilgili çeşitli çalışmalar ve araştırmalar özellikle son yıllarda büyük önem kazanmaya başlamıştır.

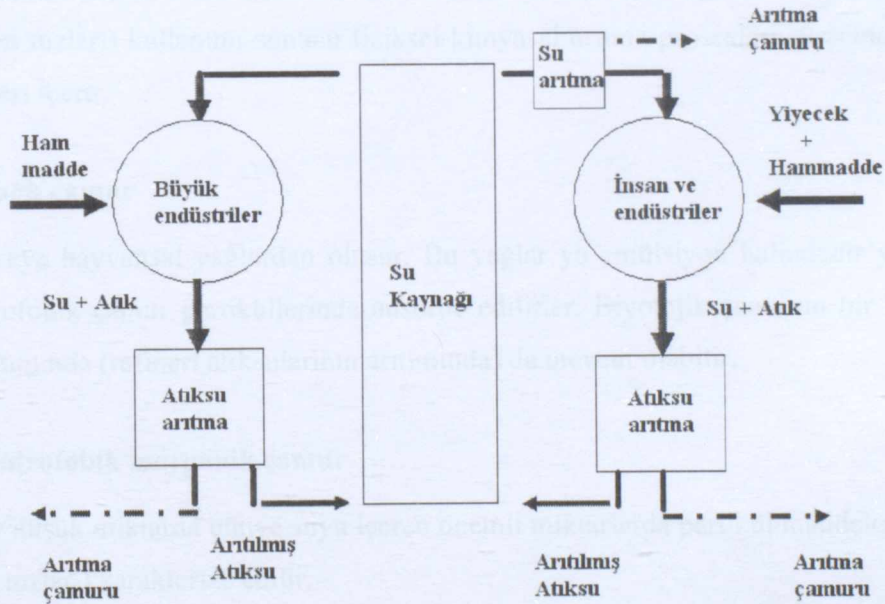
Atıksu arıtma tesislerinin ürettikleri çamurun kurulacak yeni arıtma tesislerinin de devreye girmesi ve hızla artan nüfus nedeniyle büyük miktarlara ulaşacağı, dolayısıyla arıtma çamuru sorununun önümüzdeki yıllarda daha da önemli boyutlara ulaşacağı açıktır. Örneğin; ülkemizde sadece endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden yılda yaklaşık 3 milyon ton çamur açığa çıkmaktadır (DİE, 1994). Oysa bu atıkların uygun bir proses ile değerlendirilmesi ile mevcut problemler önemli oranda azalacak ve özellikle endüstriyel üretimlerde hammadde veya yakıt olarak kullanılması ile hem çevre yönünden, hem de ekonomik yönden fayda sağlanacaktır.

Bu çalışmada, Bergama-Ovacık Altın Madeni arıtma tesisinden açığa çıkan çamurun karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve cam sanayinde hammadde olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. ARITMA ÇAMURLARININ ÖZELLİKLERİ

Atıksuların fiziksel, kimyasal veya biyolojik yöntemlerle arıtılması sonucu sıvı veya yarı katı, kokulu ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0.25-12 oranlarında katı madde içeren atık açığa çıkar ve bunlar atıksu arıtma çamuru olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle atıksuyun su akımı arıtmaya tabi tutulup sınır değerlerin altında kalacak şekilde temizlenirken başka bir kirletici akımın doğmasına yani atıksu çamuru probleminin oluşmasına neden olur. Ön arıtmada kullanılan basit çöktürme, kimyasal çöktürme ve biyolojik çöktürme birimleri ayrı ayrı özelliklerde ve kalitede çamur birirmektedir (Orhon, 1991).

Biriken bu çamurun su arıtma akımından alınması ve genellikle teknik yöntemlerle zararsız hale getirilerek uzaklaştırılması zorunludur. Arıtma çamurunun insanoğlunun gerek evsel gerekse endüstriyel olmak üzere gerçekleştirdiği çeşitli faaliyetler sonucu ortaya çıkış noktaları Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 1 Arıtma sisteminde çamur çıkış noktaları (Alfa Laval, 1997)

2.1 Arıtma Çamurunun Sınıflandırılması

Uygulanabilir arıtma yönteminin seçilmesi ve kullanılacak ekipmanın performansının tahmin edilmesi için çamurun sınıflandırılması gerekmektedir. Kaynağına ve özelliklerine göre çeşitli çamur türleri sınıflandırılmaktadır. Buna göre atıksu arıtma çamurlarını 5 ana grupta toplamak mümkündür (Degremont, 1991).

2.1.1 Hidrofilik organik çamur

En önemli sınıflardan birisini oluşturmaktadır. Çamurun susuzlaştırılmasında karşılaşılan zorluklar büyük miktardaki hidrofilik kolloidlerin varlığından kaynaklanmaktadır. Atıksuyun biyolojik arıtılmasından açığa çıkan ve uçucu katı içeriği toplam kuru katı içeriğinin %90'ı kadar olabilen (örneğin gıda sanayi, organik kimya sanayi gibi) tüm arıtma çamuru türleri bu gruba girer.

2.1.2 Hidrofilik inorganik çamur

Bu çamur ham sudaki metal iyonların (Al, Fe, Zn ve Cr) veya organik flokülantların (demir ve alüminyum tuzları) kullanımı sonucu fiziksel-kimyasal arıtma prosesleri sürecinde oluşan metal hidroksitleri içerir.

2.1.3 Yağlı çamur

Mineral veya hayvansal yağlardan oluşur. Bu yağlar ya emülsiyon halindedir ya da hidrofilik veya hidrofobik çamur partiküllerinde adsorbe edilirler. Biyolojik çamurun bir kısmı son aktif çamur arıtımında (rafineri atıksularının arıtımında) da mevcut olabilir.

2.1.4 Hidrofobik inorganik çamur

Bu çamur düşük miktarda bünye suyu içeren önemli miktarlarda partikül maddelerle (kum, cüruf, kristalize tuzlar) karakterize edilir.

2.1.5 Hidrofilik-hidrofobik inorganik çamur

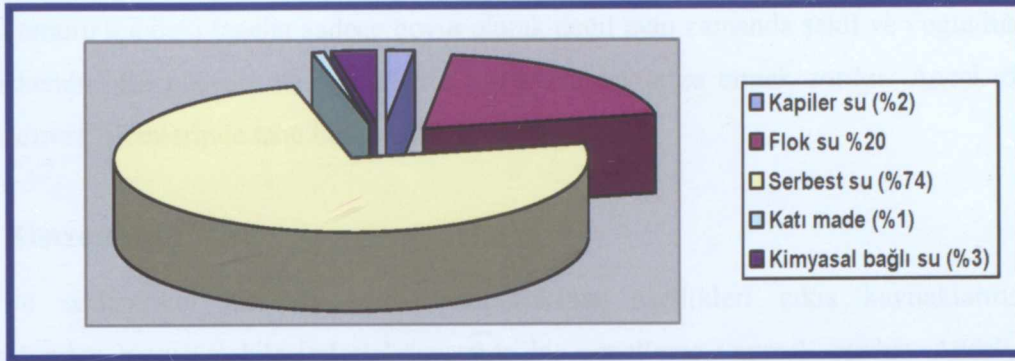
Bu çamur genelde hidrofobik maddelerden oluşur ancak çamur susuzlandırıldığında baskın bir şekilde negatif etki yaptığından önemli miktarlarda hidrofilik maddeler içerir. Bu hidrofilik maddeler çoğunlukla metalik hidroksitler (koagülantlar)'dir.

2.2 Arıtma Çamurunun Yapısı

Arıtma çamurunun yapısını belirleyen faktörler şunlardır (Degremont, 1991):

- Kuru katı içeriği: Litre başına gram veya ağırlıkça (%) miktarı olarak açıklanır.
- Uçucu katı içeriği: Kuru katı içeriğinin ağırlıkça yüzdesi olarak açıklanır.
- Element içeriklerinin ağırlığı (özellikle organik çamur durumunda)
 - C ve H elementel analiz (çamurun net kalorifik değerini belirlemek için)
 - N ve P elementel analiz (çamurun tarımsal değerini belirlemek için)
 - Ağır metallerin belirlenmesi (inorganik çamur durumunda Fe, Mg, Al, Cr, karbonatlar, sülfatlar ve silisyum).
- Suyun kompozisyonu (çözünmüş maddeler; KOI, BOI₅, pH)
- Suyun yapısı: Arıtma çamurundaki suyu dört grupta toplamak mümkündür. Bunlar;
 - Serbest su: Çamur partiküllerine bağlı olmayıp, graviteli çökelme ile kolayca ayrılır.
 - Flok (yumak) suyu: Floklar içindeki hapsedilmiş su olup, yumakla birlikte hareket ederler. Mekanik su alma işlemleri ile giderilebilirler.
 - Kapiler su: Partiküller üzerinde, bağlı (yapışık) halde bulunur ve bu partiküllerin sıkıştırılarak deformasyonları sonucu uzaklaştırılabilir.
 - Kimyasal bağlı su: Partiküller içinde kimyasal olarak bağlanmış sudur.

Tipik bir arıtma çamurundaki suyun dağılımı Şekil 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2. 2 Arıtma çamurundaki suyun dağılımı (Filibeli, 1996, Gray, 1998)

2.3 Arıtma Çamurunun Genel Özellikleri

2.3.1 Fiziksel özellikleri

2.3.1.1 Özgül ağırlığı

Birim hacimdeki çamur ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı şeklinde tanımlanan özgül ağırlık birçok çamur örneği için yaklaşık 1.0 g/cm^3 'tür. Bir başka ifadeyle çamurun özgül ağırlığı hemen hemen suyunkine yakındır.

2.3.1.2 Katı madde içeriği

Çamurun katı ve sulu kısımları arasındaki ilişki katı madde konsantrasyonu olarak birim hacme düşen ağırlık olarak tanımlanır ve mg/L veya % katı-kuru-madde olarak belirtilir. Çamurdaki toplam katı maddeler, askıda ve çözülmüş katı maddelerin toplamına eşittir. Bu üç tür katı maddenin (toplam, askıda ve çözülmüş) her biri uçucu ve sabit kısımlara sahiptir.

Arıtma çamurunu katı madde konsantrasyonuna göre üç grupta değerlendirmek mümkündür (Sanger ve ark., 2001). Bunlar:

- > %80 katı madde içeriği kuru çamur
- %30-55 katı madde içeriği ön-kurutma çamuru
- < %20-40 katı madde içeriği mekanik susuzlaştırılmış (yaş) çamur (keki)

2.3.1.3 Tane irilik dağılımı

Aritma çamuru içindeki taneler sadece boyut olarak değil aynı zamanda şekil ve yoğunluk olarak da değişkendir. Bu nedenle tane iriliği ile çamuru karakterize etmek zordur. Ancak özellikle susuzlandırma işlemlerinde tane boyut analizi yapılmalıdır.

2.3.2 Kimyasal özellikler

Evsel ve endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının özellikleri çıkış kaynaklarına bağlı olduğundan kimyasal bileşimleri konusunda bir genelleme yapmak zordur. Ancak, arıtma çamurunun kimyasal bileşiminin bilinmesi uzaklaştırılma yönteminin seçilmesi ve çamurdan yararlanma imkânlarının değerlendirilmesi açısından önemlidir. Ayrıca yine yakma ve arazide uzaklaştırılma yöntemleri de düşünüldüğünde ağır metaller ve hidrokarbonların miktarının belirlenmesi önem kazanmaktadır (Toraman, 2002).

2.3.2.1 Isıl değeri

Aritma çamurunun ısıl değeri, bomba kalorimetre testleri ile tanımlanır ve çamurun türüne, toplam organik karbon ve uçucu katı madde içeriğine bağlıdır. Buna göre;

- Arıtılmış ham ön çökeltim çamurunun ısıl değeri, özellikle önemli miktarda yağ ve gres içeriyorsa, oldukça yüksektir.
- Mutfak öğütücülerinin kullanıldığı yerlerde çamurun uçucu madde içeriği ve dolayısıyla ısıl değeri yüksek olacaktır.
- Anaerobik çürütülmüş çamur uçucu madde içeriği azaldığı ve yanmayan inert madde içeriğini arttırdığı için ham çamurdan daha düşük ısıl değere sahiptir.

Fiziksel-kimyasal arıtma çamurları inert madde içeriğinden dolayı düşük ısıl değere sahiptirler. Genellikle ham çamurun ısıl değeri yaklaşık 4180 kcal/kg kuru katı madde iken çürütülmüş çamurda bu değer 2500 kcal/kg kuru katı madde olabilmektedir (Werther ve Ogada, 1999).

Çamurun tipik ısıl değeri ise 5250-6450 kcal/kg kuru katı madde arasındadır (Hudson, 1995). Çamurun ısıl değeri bazı düşük kaliteli kömürlerin ısıl değerine eşdeğerdir. Arıtma çamuru belli oranlarda su içerdiğinden ve katı maddelerin sadece bir kısmı yanıcı olduğundan yakıt değeri 550 kcal/kg çamur kadardır. Çamurdaki 0.5 kg suyu buharlaştırmak için ise yaklaşık 475-600 kcal/kg

ısı gerekmektedir. Arıtma çamurunu yakabilmek için genellikle fuel-oil gibi yardımcı yakıt gereklidir (Toraman, 2002).

2.3.2.2 Gübre değeri

Evsel atıksu çamurunun gübre olarak değeri içerdiği N, P ve K miktarlarına bağlıdır. Bu maddelerin arıtma çamurundaki miktarı genellikle iyi bir kimyasal gübrede aranan değerlerden daha düşüktür (Toraman, 2002).

2.3.2.3 Besin değeri

Arıtma çamuru bazen besin kaynağı olarak da kullanılabilir. Kentsel-evsel- atıksu arıtma tesislerinden gelen çamurlar oldukça yüksek oranlarda protein içerirler. Örneğin aktif çamurun, protein miktarı %35 civarında olduğundan, hayvan yemi olarak kullanılması mümkündür (Velioglu, 1980).

2.3.3 Biyolojik özellikler

Atıksu arıtımında meydana gelen çamurlarda iki önemli husus toksonomi (organizmaların sınıflandırılması) ve patojen (hastalık yapan) organizmaların varlığıdır. Bir çamur kütesinin pek çok farklı kaynağı olabileceğini ve her bir kaynaktan gelen besin ile değişik organizmaların bu kütlede yer alacağı düşünülürse, bu kütlede patojen organizmaların üremesi mümkündür. Bunların türünün ve miktarının tespiti zor olduğundan kimyasal özellik gibi biyolojik ve biyokimyasal özelliklerinde çamur için bir genellemesini yapmak zordur.

2.4 Çamur Arıtımı

Çamur arıtımının amacı, esasen, uzaklaştırılması gereken hacmi azaltmak, çamurdaki kirleticileri nispeten zararsız hale getirmektir. Çamur arıtma ve uzaklaştırma işlemleri, atıksu arıtma tesislerinin toplam maliyetinin büyük bir kısmını (%25-40) oluşturduğu düşünülecek olursa, bu tesislerin projelendirilmesinde ve ekonomik analizinde önemli bir rol oynadığı açıktır.

Çamur arıtımı ve uzaklaştırılması aşağıdaki sebeplerden dolayı zorunlu olmasının yanı sıra oldukça da güçtür (Toraman, 2002) :

- Arıtılmamış atıksuyun estetik (gerek koku ve gerekse görünüm) açıdan rahatsız edici kesimini çamur oluşturur.
- İhtiva ettiği organik maddelerden dolayı çamurda biyolojik çözünmeler söz konusudur.
- Çamurdaki mevcut katı madde yüzdesi oldukça düşük olduğundan artırılması ve/veya uzaklaştırılması gereken çamur hacmi oldukça yüksektir.

Çamur arıtımında çamur stabilizasyonu ve katı madde içeriğinin artırılması amacıyla çeşitli yöntemler uygulanır. Aşağıda bunlardan bahsedilmektedir (Toraman, 2002).

2.4.1 Çamur stabilizasyonu

Arıtma tesislerinde katı maddelerin çöktürülmesi sonucunda oluşan çamurların katı madde içerikleri düşük olduğundan, bu oranı artırmak amacıyla çamur yoğunlaştırma işlemi uygulanır. Yoğunlaştırılan çamurun stabilizasyonu şu şekilde gerçekleştirilir:

Kimyasal stabilizasyon: Kimyasal madde ilavesi ile gerçekleştirilmektedir.

Biyolojik stabilizasyon: Aerobik (oksijenli), anaerobik (oksijensiz) çamur stabilizasyonu veya kompostlaştırma işlemi ile yapılır.

2.4.2 Çamur susuzlaştırma

Susuzlaştırma, arıtma çamurlarının arıtımındaki en önemli adımlardan birisidir. Stabilize edilmiş çamurun nem içeriğinin azalması amacıyla uygulanır.

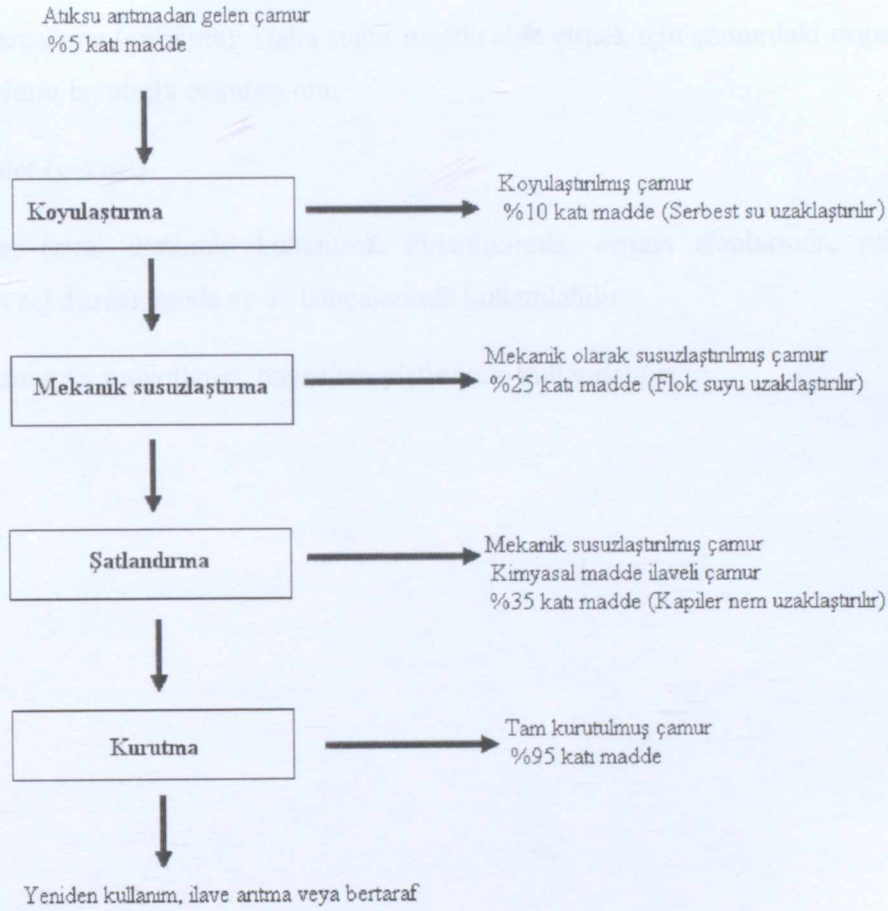
Yoğunlaştırılmış çamurun doğrudan araziye uygulanabildiği ve doğrudan yakıldığı istisnai durumlar dışında, susuzlaştırma, her çamur arıtma prosesinin vazgeçilmez bir parçasıdır.

Susuzlaştırma ile iki temel fayda elde edilir:

- Sulu çamurun suyunun büyük kısmının giderilmesiyle çamur hacminde büyük bir azalma meydana gelir.
- Akıcı haldeki sulu çamur, katı olarak taşınabilir bir çamur kekine dönüşür.

Arıtma çamurları genellikle yoğunlaştırma sonrasında susuzlaştırmaya tabi tutulur. Kolay süzülebilir bazı inorganik çamurlar dışında bütün arıtma çamurlarının süzülebilirliklerini

arttırmak üzere şartlandırılmaları, susuzlaştırmanın çok önemli ve ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilir.



Şekil 2. 3 Arıtma çamurundaki su-katı madde dengesi (Manzel, 1989)

2.5 Arıtma Çamurunun Uzaklaştırılması

Atıksuların arıtılmasında zor ve pahalı işlemlerden birisi, oluşan çamurlara uygulanan işlemler ve uzaklaştırılma yöntemleridir. Günümüzde çok farklı çamur uzaklaştırma işlemleri mevcuttur. Bunlar;

- Düzenli depolama (tek başına veya evsel katı atıklarla birlikte depolama)
- Araziye gömme

- Araziye boşaltma
- Okyanusa boşaltma
- Anaerobik parçalama (çürütme): Daha stabil madde elde etmek için çamurdaki organik veya uçucu maddelerin biyolojik oksidasyonu.
- Termal işlemler (yakma)
- Toprak ıslahı (zirai üretimde kullanım): Fidanlıklarda, orman alanlarında, rekreasyon alanlarında, peyzaj düzenlemede ve ev bahçelerinde kullanılabilir.
- Bozulmuş alanlarda, otoyollarda, havaalanı pistlerinde kullanılabilir.

Yıl	İşletme Tutarı (15 adet)
2011	520,000 TL
2012	120,000 TL
2013	205
İşletme Yöntemi	Acıbağ Çiftliği çamurunu 2750 rakımlık bir alanda, çamurun 1000 tonunu, kalınlık 10 cm'de Tokyo Kâğıt Sanayi boşaltma tesisine taşınmıştır.
İşletme Yöntemi	1500 m ² çamur

3. DÜNYADAVE ÜLKEMİZDE BAZI ARITMA TESİSLERİNİN ÇAMUR UZAKLAŞTIRMA ÖRNEKLERİ

3.1 Dünyada Bazı Arıtma Tesislerinde Çamurun Uzaklaştırılması

Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde 1990 yılında 7 milyon ton (kuru) evsel atıksu arıtma çamuru açığa çıkmaktadır (Aitken, 1995).

Arıtma çamurunun başlıca uzaklaştırılma yöntemi %48 ile düzenli depolamadır. Bunu %32 ile araziye uygulama, %13 ile yakma ve %5 ile denize boşaltma uygulamaları izlenmektedir. Çamur uzaklaştırılması her ülkede farklılıklar göstermektedir. İrlanda, İspanya ve İngiltere 1999 yılında yürürlüğe giren arıtma çamurunun denize boşaltılması yasağından özellikle etkilenmektedir. Ayrıca düzenli depolama için uygun alanlar azalmakta ve çamur yakmadaki sınırlamalar tartışılmaktadır.

Çizelge 3. 1 Japonya-Tokyo arıtma tesisleri ve uzaklaştırılması yöntemleri (Toraman, 2002)

Yeri	Japonya-Tokyo (15 adet)
Tesis kapasitesi	5,300,000 m ³ /gün
Çamur miktarı	120,000 m ³ /gün
Çamur katı oranı	% 0.5
Uzaklaştırılma yöntemi	Açığa çıkan çamurun %75'i yakılarak uzaklaştırılmakta, geri kalan yanma ürünü, küllerle birlikte Tokyo Körfezine boşaltılmaktadır.
Susuzlaştırılan çamur miktarı	3,300 m ³ /gün

Çizelge 3. 2 Almanya arıtma tesisleri ve uzaklaştırılması yöntemleri (Viebusch ve ark, 1997)

Yeri	Almanya (16 adet)
Tesis kapasitesi	50 milyon ton/yıl
Çamur miktarı	200,000 t/yıl
Çamur katı oranı	% 4-5
Susuzl. çamur miktarı	45 t/gün
Uzaklaştırılma yöntemi	Yakma sonucunda 10-13 t/gün kül açığa çıkmaktadır.

Çizelge 3. 3 ABD- Indianapolis arıtma tesisleri ve uzaklaştırılması yöntemleri (Toraman, 2002)

Yeri	ABD- Indianapolis (2 adet)
Tesis kapasitesi	930,000 m ³ /gün
Uzaklaştırılma yöntemi	Yakma (çok gözlü fırın). Yakma sonucu 132 t/gün kül açığa çıkmakta olup bu küller lagünlere veya terkedilmiş aktif karbon tanklarına boşaltılmaktadır.

Çizelge 3. 4 Singapur arıtma tesisleri ve uzaklaştırılması yöntemleri (Toraman, 2002)

Yeri	Singapur (6 adet)
Tesis kapasitesi	800,000 m ³ /gün
Uzaklaştırılma yöntemi	Açığa çıkan çamur bitki ve ağaçlar için toprak şartlandırıcı olarak uygulanmakta veya düzenli depolama alanlarına boşaltılmaktadır.

3.2 Ülkemizde Bazı Arıtma Tesislerinde Çamurun Uzaklaştırılması

Ülkemizde özellikle son yıllarda yasal düzenlemelerle birlikte atıksu arıtma tesislerinin sayısında önemli artışlar sağlanmış ve beraberinde de açığa çıkan çamurlar büyük miktarlara ulaşmıştır. Ülkemizde çamur uzaklaştırılma genellikle katı atıklarla birlikte depolama veya araziye gömme şeklinde gerçekleşmektedir. Bu yöntemler ucuz olmalarına karşılık, kullanılacak alanların azalması ve taşıma masrafları dolayısıyla alternatif yöntemler aranmaktadır.

3.2.1 Bazı evsel atıksu arıtma tesisleri

Ülkemizdeki bazı evsel arıtma tesislerinin çamur miktarları ve uzaklaştırılma yöntemleri Çizelge 3.5 ve 3.6' da verilmiştir.

Çizelge 3. 5 Ankara ASKİ biyolojik atıksu arıtma tesisi ve uzaklaştırılması yöntemleri

(Toraman, 2002)

Tesis adı	Ankara ASKİ biyolojik atıksu arıtma tesisi
Tesis kapasitesi	700,000 m ³ /gün
İşletmeye alındığı tarih	1997
Çamur miktarı	400 ton/gün
Çamur katı oranı	%25-30
Susuzlaştırma yöntemi	Belt pres
Uzaklaştırılma yöntemi	Ham çamur çürütme tanklarından (8 adet) geçirilerek, oluşan biogaz (%70 CH ₄ , %30 CO) enerjiye dönüştürülmekte (1.7 M W) ve arıtma tesisinin enerji ihtiyacının önemli kısmı (%90) karşılanmaktadır. Geri kalanı TEDAŞ'a satılmaktadır. Çamur keki kamyonlarla Sincan-katı atık düzenli depolama alanına boşaltılmakta ve kısmen de yöredeki tarımsal arazilerde gübre olarak kullanılmaktadır (dönüm başına yaklaşık 1.5 kamyon çamur uygulanmaktadır).

Çizelge 3. 6 Tuzla İSKİ biyolojik atıksu arıtma tesisi ve uzaklaştırılması yöntemleri

(Toraman, 2002)

Tesis adı	Tuzla İSKİ biyolojik atıksu arıtma tesisi
Tesis kapasitesi	225000 (I)+ 450000 (II)+ 900000 (III) m ³ /gün
Çamur miktarı	200 ton/gün
Çamur katı oranı	%25-30
Susuzlaştırma yöntemi	Santrifüj
Uzaklaştırılma yöntemi	Çamur keki kamyonlar ile uzaklaştırılmaktadır. Çamurların yakılması amacıyla Avrupa yakasında Balta limanı ve K.Çekmece'de, Asya yakasında ise Riva ve İstanbul-Tuzla'da sabit ve akışkan yataklı çamur yakma tesisleri planlanmaktadır.

3.2.2 Bazı endüstriyel atıksu arıtma tesisleri

Ülkemizdeki bazı endüstriyel arıtma tesislerinin çamur miktarları ve uzaklaştırılma yöntemleri Çizelge 3.7 ve 3.8' da verilmiştir.

Çizelge 3. 7 İstanbul-Tuzla deri OSB atıksu arıtma tesisi ve uzaklaştırılması yöntemleri

(Toraman, 2002)

Tesis adı	İstanbul-Tuzla deri OSB atıksu arıtma tesisi
Tesis kapasitesi	36 000 m ³ /gün
İşletmeye alındığı tarih	1993
Çamur miktarı	160 t/gün
Çamur katı oranı	%25-30
Susuzlaştırma yöntemi	Belt pres
Uzaklaştırılma yöntemi	Çamur keki kamyonlarla belediyenin gösterdiği alana boşaltılmaktadır.

Çizelge 3. 8 İzmir-Atatürk OSB atıksu arıtma tesisi ve uzaklaştırılması yöntemleri

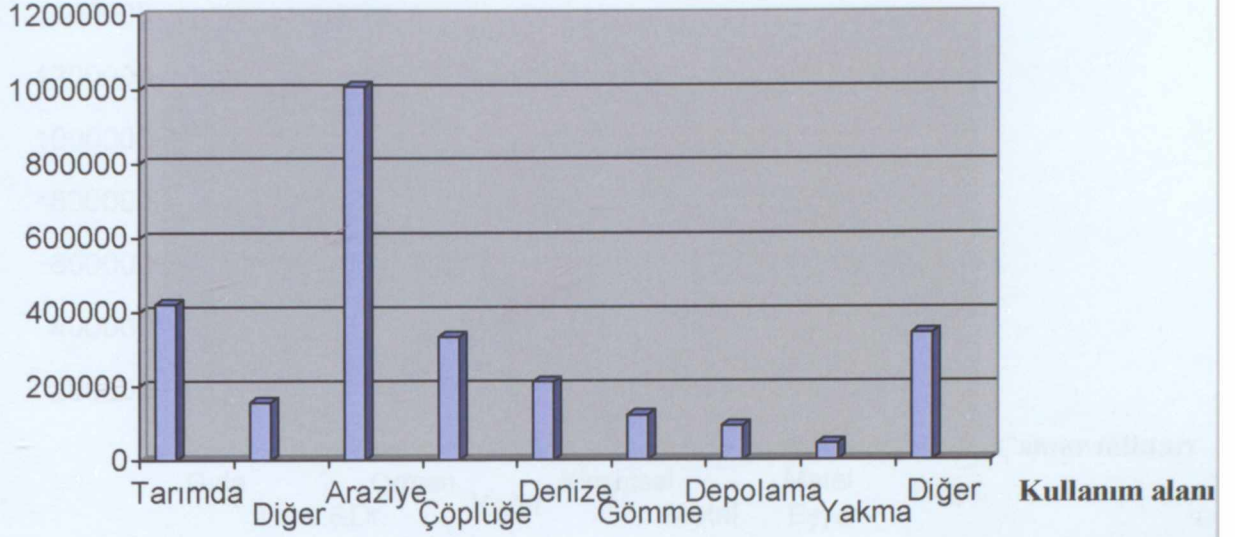
(Toraman, 2002)

Tesis adı	İzmir-Atatürk OSB atıksu arıtma tesisi
Tesis kapasitesi	12000 m ³ /gün (Maksimum 21000 m ³ /gün)
İşletmeye alındığı tarih	1991
Çamur miktarı	18-20 t/gün
Çamur katı oranı	%25
Susuzlaştırma yöntemi	Belt pres + kurutma yatağı
Uzaklaştırılma yöntemi	Günde 1-2 kamyon çamur keki bölgeye 1.5 saatlik mesafedeki tehlikeli atıkların toprağa gömme yoluyla imha edildikleri bir tesis olan İzmir Büyükşehir Belediyesine ait Harmandalı düzenli depolama alanında tehlikeli ve zararlı arıtma çamurları için gösterilen yere boşaltılmaktadır.

3.3 Kullanım ve Uzaklaştırılma Yöntemlerine Göre Endüstriyel Arıtma Çamuru Miktarı

Türkiye'de 65'i devlete 278'i özel sektöre ait olmak üzere toplam 343 adet endüstriyel atıksu arıtma tesisinde yılda yaklaşık 2.8 milyon ton arıtma çamuru açığa çıkmaktadır. Bu çamurun 421,000 tonu tarımda ve 156,000 tonu diğer amaçlarla kullanılırken; 1.08 milyon tonu araziye, 333,000 tonu belediye çöplüğüne, 211,000 tonu denize boşaltılarak, 121,000 tonu gömülerek, 91,000 tonu düzenli depolanarak ve 43,000 tonu yakılarak uzaklaştırılmaktadır (Şekil 3.1).

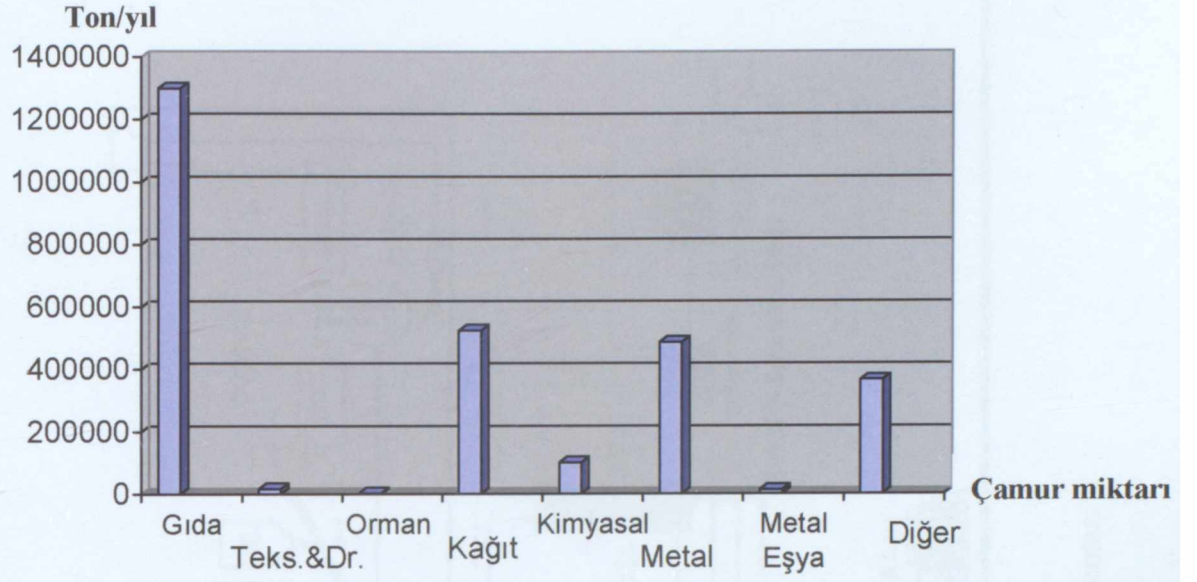
Ton/yıl



Şekil 3. 1 Kullanım ve uzaklaştırılması yöntemlerine göre endüstriyel arıtma çamuru miktarı
(DİE.,1994)

3.3.1 Sanayi gruplarına göre endüstriyel arıtma çamuru miktarı

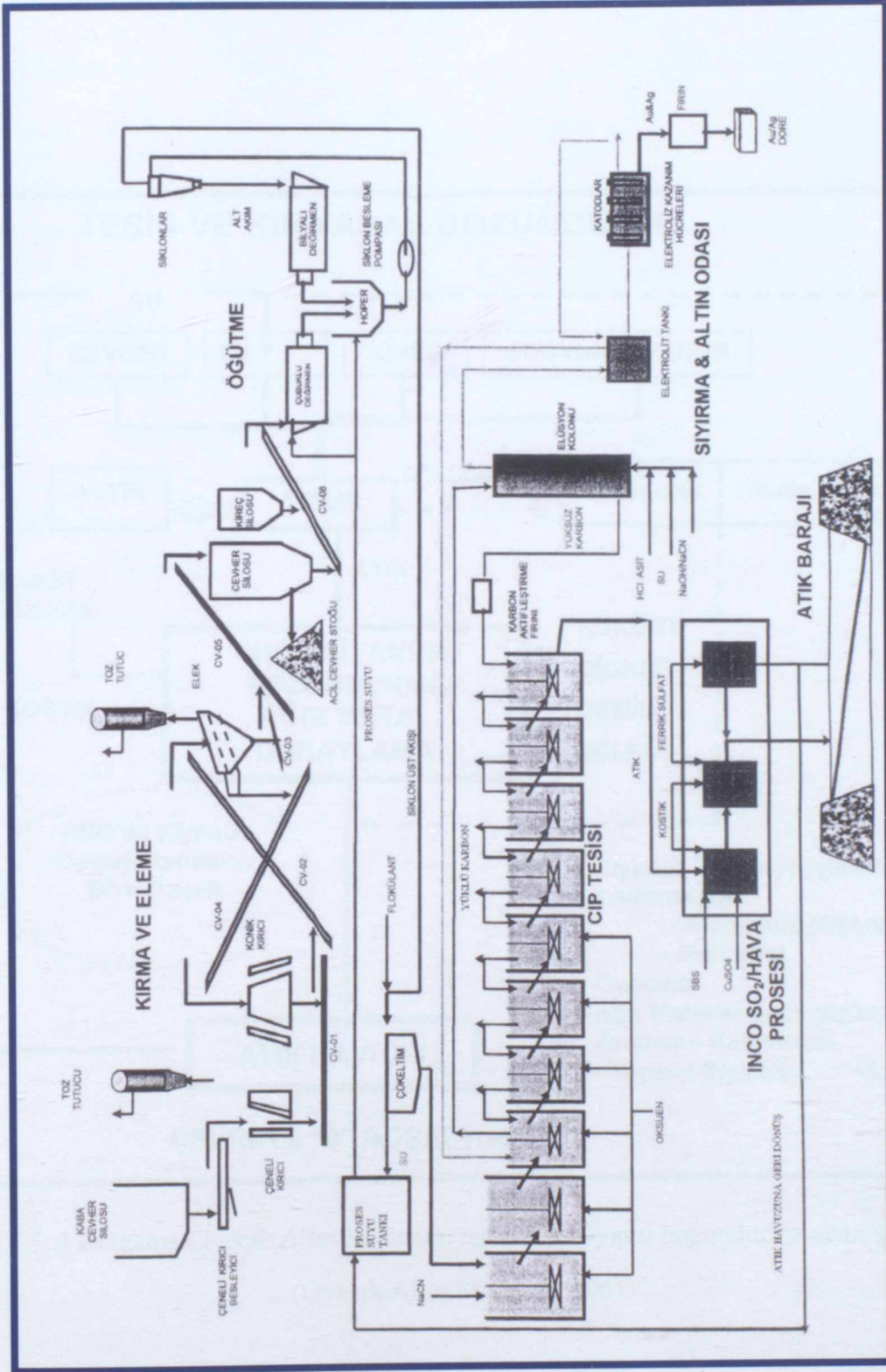
Sanayi grubuna göre endüstriyel atıksu arıtma çamurlarının miktarı Şekil 3.2'de verilmektedir. Buna göre 1.3 milyon tonu gıda esaslı olmak üzere, 524000 tonu kâğıt, 487000 tonu metal, 100000 tonu kimyasal, 16000 tonu tekstil ve deri, 13000 tonu metal eşya, 2400 tonu orman ürünleri esaslı sanayi grubundan açığa çıkmaktadır.



Şekil 3. 2 Sanayi gruplarına göre endüstriyel arıtma çamuru miktarı (DİE, 1994)

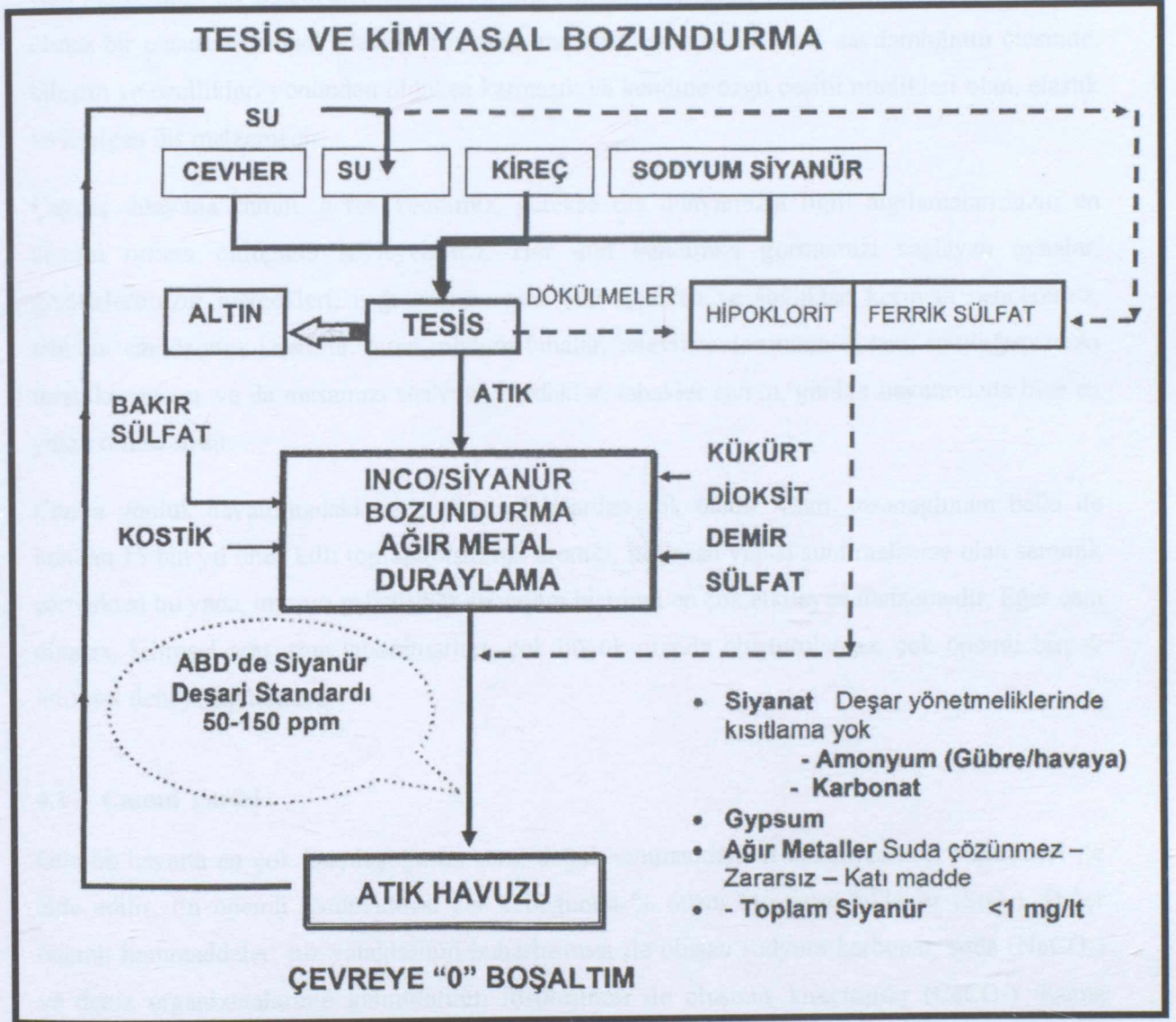
3.4 Bergama-Ovacık Altın Madeninde Arıtma Çamuru Oluşumu

Bergama-Ovacık Altın Madeninde yılda 277882 ton çamur oluşmaktadır. Aşağıda Bergama-Ovacık Madeninin tesis akım ve kimyasal bozundurma şemaları verilmiştir.



Şekil 3.3 Bergama –Ovacık Altın Madeninin tesis akım şeması

(Ovacık Altın Madeni, 2006)



Şekil 3. 4 Bergama-Ovacık Altın Madenini tesis ve kimyasal bozundurma akım şeması

(Ovacık Altın Madeni, 2006)

4. CAM SANATI

Cam, sokaktaki adam için şişeyi, pencereyi, bardağı çağrıştırabilir. Bir mühendis için, çağdaş bir yapı malzemesi, bir sistem elemanı, bir makine parçası, laboratuvar malzemesi gibi işinin olmazsa olmaz bir unsurunu temsil edebilir. Bir malzeme bilimcisi için ise cam, saydamlığının ötesinde, bileşim ve özellikleri yönünden oldukça karmaşık ve kendine özgü çeşitli nitelikleri olan, elastik ve kırılğan bir malzemedir.

Çağdaş dünyada camın, gerek kendimiz, gerekse dış dünyamızla ilgili algılarımızın en önemli ortamı olduğunu söyleyebiliriz. Her gün kendimizi görmemizi sağlayan aynalar, gözlüklerimizin mercekleri, ışığı geçiren ama bizi sıcaktan ve soğuktan koruyan penceremiz, tamamı camdanmış izlenimi veren modern binalar, televizyonlarımızın ekranı, mutfağımızdaki turşu kavanozu, ya da masamızı süsleyen bardaklar, tabaklar camın, günlük hayatımızda bize en yakın örnekleridir.

Camın günlük hayatımızdaki yeri, elbette bunlardan çok ötedir. Cam, insanoğlunun belki de bundan 15 bin yıl önce killi toprağı pişirerek ürettiğı, ilk insan yapısı suni malzeme olan seramik çömlerden bu yana, insanın geliştirdiğı ve yaşam biçimini en çok etkileyen malzemedir. Eğer cam olmasa, bilimsel araştırma laboratuvarları, çok büyük oranda oluşturulamaz, çok önemli birçok bilimsel deney yapılamazdı.

4.1 Camın Tarihi

Günlük hayatta en çok karşılaştığımız cam, doğal hammaddelerin karışımlarının ergitilmesi ile elde edilir. En önemli hammaddesi yer kabuğunun % 60'ını oluşturan silikadır (SiO_2). Diğer önemli hammaddeler; tuz yataklarının buharlaşması ile oluşan sodyum karbonat, soda (NaCO_3) ve deniz organizmalarının kalıntılarının fosilleşmesi ile oluşmuş kireçtaşıdır (CaCO_3). Kuma soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{Na}_2\text{O}$) ilavesi, normal olarak 1725°C 'de eriyen silikanın 900°C 'de bile ergitilebilmesini sağlar. Kireçtaşı ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO}$) ise, camın sertliğini ve kimyasal dayanımını artırır. İlk camlarda soda yerine deniz bitkilerinin külleri kullanılmıştır. Kireç taşının bilinçli olarak ilavesi ise, Roma imparatorluğu döneminden sonra başlamıştır. Daha önce yapılan camlarda bulunan kireç taşı, kullanılan kum ve bitki külünün bileşiminden geliyordu. Bazı antik camların kimyasal bileşimleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

İnsanın cam yapmayı ne zaman keşfettiğı tam olarak bilinmemekle beraber insanoğlunun,

bugünkü anlamda olmasa da camı kendi yararına kullanması, camın keşfinden çok daha eskilere dayanmaktadır. İlk kullanılan camlar, bizzat doğanın kendisi tarafından oluşturulmuş camlardı. Camı yapıda bir volkanik kayaç olan obsidien'i, avcı atalarımız balta, bıçak, ok ucu ve benzeri aletleri yapmak için kullanmışlardır. Bugün bunların kalıntılarına, arkeolojik kazılarda dünyanın birçok yerinde rastlanmaktadır.

İlk camın yapılmış olabileceği yerler arasında Anadolu, Mezopotamya, Mısır ve İran'ın adları geçmektedir (Kurkjian ve Prindle, 1998).

Camın ilk keşfedildiği yer neresi olursa olsun, en eski cam kalıntıları daha çok Mısır'da bulunmuştur ve bunlardan en eskilerinin yaklaşık 4000 yıl önce yapıldığı tahmin edilmektedir. İlk camın gelişmesinin seramiğin gelişmesi ile yakından ilişkili olabileceğini düşünülebilir. İlk seramik sırlarının bundan 12000 yıl önce Mısır'da, ilk sırlı seramiğin de yine M.Ö.4000 yıllarında Mısır'da üretildiği sanılmaktadır.

7	63.30	76.37	1.34	2.20	1.10	3.77	1.20	0.73	1.10
8	66.40	74.97	2.53	3.08	3.71	0.70	1.20	0.22	0.34
9	59.82	73.51	2.18	4.00	3.70	1.40	1.30	2.41	0.36
10	67.80	70.98	2.48	2.80	3.70	3.20	0.20	0.64	1.50
11	67.04	70.17	1.82	4.40	2.10	2.48	1.85	2.60	0.79
12	63.03	67.57	1.90	2.82	2.60	2.10	0.70	0.55	1.90
13	64.41	73.28	2.37	5.20	2.10	1.50	1.20	1.10	1.10
14	62.40	75.21	2.10	3.20	2.20	3.50	1.00	0.80	1.20

1. Kayıtları, yıl başı göre, M.Ö. 1400, Tabii Anıt

2. Heliopolis, yıl başı göre, M.Ö. 1300, Tabii Anıt

3. Sennet, yıl başı göre, M.Ö. 1400, Tabii Anıt

4. Heliopolis, yıl başı göre, M.Ö. 1300, Tabii Anıt

Çizelge 4. 1 Bazı antik camların bileşimleri (Morey, 1954)

No	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CuO	SO ₃
1	61.70	17.63	1.58	5.14	10.05	2.45	0.72	0.47	0.32	–
2	62.71	20.26	–	4.52	9.16	1.47	0.96	–	–	0.92
3	63.86	22.86	0.80	4.18	7.86	0.65	0.67	–	–	–
4	65.95	20.30	0.96	1.37	6.89	2.49	0.28	0.97	–	1.08
5	67.82	13.71	2.34	2.30	4.03	4.38	–	1.12	1.96	0.98
6	64.10	18.26	0.77	1.30	6.06	3.59	–	1.38	1.18	1.53
7	63.20	16.57	1.34	2.20	7.10	3.77	–	0.74	–	1.10
8	68.48	14.95	2.83	5.28	5.71	0.70	–	–	–	0.54
9	69.82	13.51	2.18	4.09	5.79	1.40	1.80	0.41	0.36	0.96
10	67.80	16.08	2.08	2.89	3.80	3.22	0.92	0.54	1.51	1.01
11	67.03	10.12	1.82	4.93	7.83	2.48	1.88	2.64	0.79	0.75
12	65.03	17.37	1.65	2.52	5.65	2.13	0.97	0.65	1.94	1.70
13	64.41	13.98	2.37	5.59	6.19	1.52	1.36	–	2.60	1.28
14	62.70	15.21	2.12	3.29	8.80	3.82	1.07	0.83	1.00	0.94

1. Koyu mavi, yarı şeffaf parça, M.Ö. 1400, Tell-el-Amarna
2. Hafif sarı, yarı şeffaf cam, M.Ö. 1400, Tell-el Amarna
3. Şeffaf kırmızı, renksiz, kabarcıklar içeriyor, M.Ö.1400, Tell-el-Amarna
4. Renksiz cam, dış yüzeyde büyük oranda bozunmuş, M.S.1-2. yy. Eiephantine

5. Koyu mavi, yan şeffaf, M.Ö.1500, Tebes
6. Koyu mavi, kısmen şeffaf, Roma dönemi camı, M.S. 2.yy. Aynı zamanda 1.59 FeO içeriyor.
7. Koyu yeşil, yarı şeffaf, M.Ö. 1500, Tebes, ayrıca 1.43 FeO; 1.96 SnO₂ içeriyor.
8. Pencere parçası, Samarra, M.S. 9yy., ayrıca 0.91 FeO; 0.95 PbO içeriyor.
9. Gül rengi parça, Nippur, M.Ö. 250
10. Koyu mavi, şeffaf, Mısır, M.Ö. 1500.
11. Derin mavi, şeffaf, Mısır, M.Ö. 1500, ayrıca 0.39 SnO₂ içeriyor.
12. Babil-Asur, Nippur, M.Ö. 1400, ayrıca 0.93 CaO, 0.19 PbO içeriyor.
13. Babil-Asur. Nippur, M.Ö. 1400, ayrıca 0.32 SnO₂ içeriyor.
14. Koyu mavi, şeffaf, Mısır, M.Ö. 1500, ayrıca 0.41 S₂O₂ içeriyor.

4.1.1 Osmanlı Devletinden - Türkiye Cumhuriyetine cam sanatı

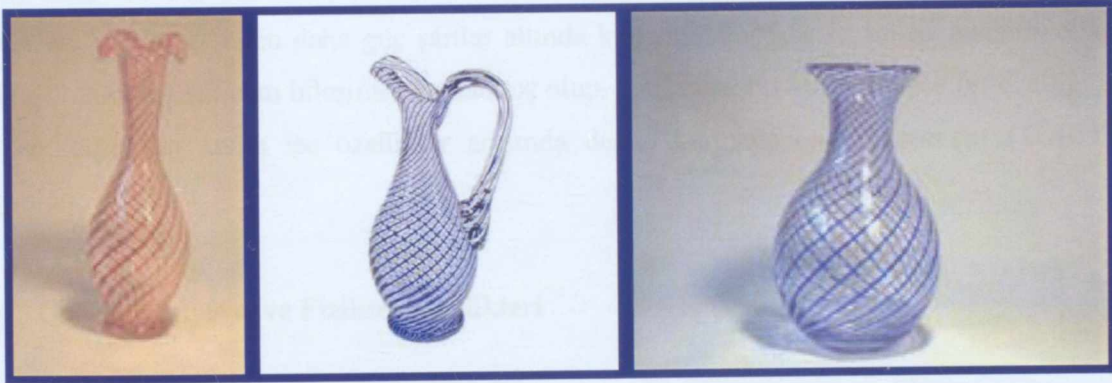
4.1.1.1 1300 – 1600 yılları arasında Osmanlı Devletinde cam sanatı

Osmanlı sanatında cam eşya yapımıyla ilgili bilgiler ve örnekler son dönemde yoğunlaşmaktadır. 17. yüzyılda bir meslek kolu olarak cam üretimi yapıldığına ait bilgiler yazılı kaynaklardan ve minyatürlerden çıkarılmaktadır. Sultan III. Murat'ın oğlu Mehmet'in 1582'de yapılan sünnet düğünü töreninde esnafın padişah önünde geçidini betimleyen Surname-i Hümayun minyatürleri arasında gezgin cara fırınları başında cam üfleyen ecimgeran (cam üreticileri) konu olarak ele alınmış ve ürettikleri eşyalar sergilenmiştir.

Kandiller, çiçek vazoları, güldanlıklar, su bardakları, kahve ve çay fincanları, aynalar, ecza şişeleri, lambalar, fenerlerin bu yüzyıllarda üretildikleri sanılmaktadır. Ayrıca Kanuni Sultan Süleyman zamanında Rodos savaşı sırasında cam kumbaraların kullanıldığı bölgede çıkan parçalardan anlaşılmaktadır. 1569 tarihli bir belgede ise Venedik'ten cam eşyanın dış alımının yapıldığı belirtilmektedir. Venedik'in yanı sıra Bohemiya ve Saksonya da Osmanlı İmparatorluğunun cam eşya merkezleridir. Dışarıda üretilen örneklerin Türk beğenisine göre hazırlandığı ve bu parçaların İstanbul'da satıldığı anlaşılmaktadır. Satılan mallar arasında cam kandilleri de bulunmaktadır (Ayla Ödekan,1995).

4.1.1.2 1600–1908 yılları arasında Osmanlı Devletinde cam sanatı

1716 fermanıyla Venedik'ten cam dış alımı yasaklanınca imparatorluk içinde cam yapılmaya başlamıştır. III. Murat zamanında Mehmet Dede (1789-1807) İtalya'ya gönderilmiş ve İtalya'da öğrendiği teknikleri uygulamıştır. I. Abdülmecit zamanında Çubuklu ve Beykoz'da cam yapım evleri kurulmuştur. Bakırköy Baruthane-i Amire'de cam yapımı gerçekleştirilmiştir. 19. Yüzyılda cam eşya çeşitleri çoğalmıştır. Yıldızla bezenmiş renksiz saydam cam, opal cam ve saydam olmayan kırmızı, lacivert ve mavi renkte "çeşm-i bülbül"ler en seçkin grubu oluşturmuşlardır. Kristal yapımına da bu dönemde geçilmiştir (Ayla Ödekan,1995) . Şekil 4.1'de Çeşm-i Bülbül resimleri verilmektedir.



(a) Vazo

(b) Sürahi

(c) Şişe

Şekil 4. 1 Çeşm-i Bülbül resimleri [1]

4.1.1.3 1908'den sonrası ve günümüz cam sanatı

Camcılık sanayileşme hareketi içinde yer alan geleneksel el sanatlarımızdan biridir. Cumhuriyet döneminde ilk kurulan fabrika 1933'de açılan bardak fabrikasıdır. 1935'te Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. kurulmuş ve 1936'da Paşabahçe'deki ilk fabrika üretime başlamıştır. 1960 yılına kadar camcılıkta belli bir gelişme görülmemiştir. 1960 sonrasında kalkınma planlarından aldığı destekle Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları büyük bir atılım yaparak teknolojisini yenilemiş ve yeni ürünler üretmişlerdir (Ayla Ödekan,1995).

Türk cam sanayi günümüzde de çağın teknolojik gelişmelerini takip ederek dünya piyasalarında rekabet edecek seviyelere gelmiştir.

4.2 Camın Tanımı

Cam kelimesinin, tozu geçmişte cam yapımında kullanılan, Latince adı "glastum" olan bir orman çiçeğinin adından türediği tahminleri yaygındır. Diğer bir yaklaşım ise "cam" teriminin İngilizce (galcede) "glas sun" kelimesinden, bu kelimenin söz konusu lisanlardaki anlamı olan "kehribar" dan geldiğidir (D.D.T. , 1988).

Cam, saydamlığı, kimyasal etkilere karşı büyük direnci, elektrik yalıtımında etkin oluşu ve vakum saklamadaki kabiliyeti sebebiyle, pek çok kullanım alanına sahiptir. Cam, gevrek bir maddedir ve gerilme direncine oranla, çok daha fazla sağlamlık gösterir. Büyük çoğunluğunda, yüzey sıkışması sağlamak üzere, ön gerilmenin söz konusu olduğu güçlendirme (sağlamlaştırma) teknikleri, bir öncekinden daha güç şartlar altında kullanılabilen cam tipleri geliştirmektedir. Yaklaşık 800 değişik cam bileşimi hazırlanmış olup, bunlardan bir kısmı sadece bir özelliği esas alırken, diğer bir kısmı ise özellikler arasında denge kurmaya önem vermiştir (TÜBİTAK Yayınları, 1994).

4.3 Camın Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

4.3.1 Kimyasal dayanıklılık

Camın temasta bulunduğu gaz, sıvı ve katı haldeki maddelerin etkilerine, bu maddeler tarafından camın bozulması, yenilmesi ve erimesi kimyasal dayanıklılık olarak tanımlanır. Kesin olmamakla birlikte çoğunlukla camdaki alkali oranının yüksekliği kimyasal dayanıklılığa yol açar. Bazı camlarda bor oksit, alüminyum oksit, çinko oksit ve zirkonyum oksit iyi kimyasal dayanıklılık sağlar (Boğaziçi Üniversitesi, 1981).

Kimyasal dayanıklılığı az olan camlar dahi diğer maddelere oranla uzun süreler özelliklerini muhafaza ederler.

4.3.2 Fiziksel özellikleri

4.3.2.1 Viskozite

Camın şekillendirilmesinde çok önemli etkenlerden biri de viskozitesinin sıcaklığına göre değişme hızı ve belirli sıcaklıklardaki cam viskozitesidir.

Cam şekillendirilmesi çok kere birbirini izleyen işlemlerle yapıldığından her işlemin süresince ve ayrıca işlemin başında ve sonunda camın istenilen bir viskozitede olması ve işlemler sonunda da verilen şekli saklayabilecek yüksek bir viskoziteye ulaşmış olması gereklidir. Viskozitenin sıcaklığa göre değişimi camın kimyasal bileşimine bağlı olduğundan herhangi bir sebepten camı şekillendirme işlemleri değişecek olursa camın bileşimini de değiştirmek zorunludur.

4.3.2.2 Yüzey gerilim

Yüzey gerilim, şekillendirme işlemlerinde çok önemli bir özellik olup erimiş camın çok ince deliklere girmesini ve bunları doldurmasını etkilemektedir. Silikat camların ön yüzey gerilimleri yaklaşık 300 din/arn'dır. Yüzey gerilimin yüksek olması camın yayılmasını güçleştirir.

4.3.2.3 Özgül ağırlık

Değişik camların özgül ağırlıkları 2.2 ile 7.2 gr/cm arasında değişebilmekle beraber çoğunlukla kullanılan pencere ve şişe camların değerleri 2.3 - 2.6 arasındadır.

4.3.3 Mekanik özellikler

Cam oda sıcaklığında sert aşınmaya dayanıklı ve gevrekli. Birçok madenin aksine cam kırılmadan eğilip bükülemez ve uzayamaz. Camın mekanik özellikleri; mukavemet, elastik özellikler, sertlik ve sürtünme katsayısı olarak özetlenebilir.

4.3.4 Elektriksel özellikler

Camın elektriksel özellikleri, genel kullanımı yanında elektrik ileten ve elektrikle çalışan aygıtlar yapımında geniş çapta kullanılmasından dolayı çok önemlidirler. Bunlar direnç ve dielektrik özellikleridir.

4.3.5 Optik özellikler

Camın optik özellikleri kırılma, yansıtma, geçirgenlik, gerilim optik (gerilim optik katsayıları) değişik yönlerde gerilim ve uzama gösteren camların, bu durumdan dolayı değişen ışın hızına katsayılarındaki farkları gösterir.

4.6.2 Sodyumoksit (Na_2O)

- Erimiş camın akıcılığını artırır.
- Camın ısısal genişmesini artırır ve bundan dolayı ısısal şoka karşı dayanıklılığını azaltır.
- Camın erime sıcaklığını düşürür.
- Camın suya karşı dayanıklılığını azaltır.
- Camın elektriksel dayanıklılığını düşürür.

4.6.3 Kalsiyumoksit (CaO)

- Camın suya karşı dayanıklılığını artırır.
- Fazla kullanıldığında kristalizasyona sebep olur.

4.6.4 Potasyumoksit (K_2O)

Etkisi sodyum okside benzer fakat tamamıyla Na_2O yerine kullanıldığında camın eritilmesi güçleşir. K_2O katkısı camın viskozitesini artırır.

4.6.5 Lityumoksit (Li_2O)

Sodyum oksit ve potasyumoksidin etkilerine benzer etkiler verir .

4.6.6 Boroksit (B_2O_3)

Na_2O gibi biraz eritici özelliği olmakla beraber silis gibi camlaştırıcı oksit olarak bilinir. Soda yerine kullanıldığında erime derecesini düşürür. Erime ve tasfiye sürelerini kısaltır. Camın ısısal genişmesini düşürür ve dolayısıyla termik şoka karşı dayanıklılığını artırır. Az miktarda B_2O_3 camın mekanik özelliklerini iyileştirerek işlenmesini kolaylaştırır ve üründeki cam dağılımının düzgün olmasını sağlar.

4.6.7 Alüminyumoksit (Al_2O_3)

CaO ve SiO_2 yerine az oranda kullanıldığı zaman eritmeyi kolaylaştırır. Fakat karışıma doğrudan konduğunda ters etki yapar ve viskoziteyi artırır. Buna ek olarak camın işlenmesini etkiler

kristalleşmeye engel olur. Termik ve mekanik şoka ve suyun etkilerine karşı dayanıklılığı artırır.

4.6.8 Magnezyumoksit (MgO)

Etkisi CaO'ya benzer fakat viskoziteyi daha fazla artırıp çabuk katılaşmaya yol açarak şişe makineleri gibi otomatik şekillendirme makinelerinin daha hızlı çalışmasını sağlar.

4.6.9 Çinkooksit (ZnO)

MgO'ya benzemenin yanında özellikle sıcaklığa dayanıklı camlarda özellikle borosilikat camların kabarcıksız elde edilmesi için kullanılır. Ayrıca camın suya karşıda dayanıklılığını artırır.

4.6.10 Kurşunoksit (PbO)

Daha düşük sıcaklıkta eriyebilen, daha akıcı, işlenmesi ve şekillendirilmesi kolay bir cam elde etmek için kullanılır. Ayrıca PbO camın ışınları kırma indisini ve ışın dağılımını (dispersiyon) artırır.

4.6.11 Baryumoksit (BaO)

PbO ve CaO gibi etkisi vardır. CaO yerine kullanıldığında kolay eriyebilen bir cam elde edilir. Bu sebeple daha çok pres camlarının parfümeri v.b. camlarının üretiminde ve optik camlarda kullanılır.

4.7 Cama Renk Veren Maddeler

Çizelge 4.2'de cama renk veren maddeler verilmiştir.

Çizelge 4. 2 Cama renk veren maddeler (Babcock, 1977).

Bakıroksit	Yeşil, türkuaz, kırmızı
Demiroksit	Yeşil, mavi, sarı yeşil - açık, koyu kahverengi
Kobaltoksit	Koyu mavi, açık mavi
Magnezyumoksit	Mor, eflatun
Gümüş	Koyu sarı
Altın	Pembe, kırmızı yakut
Mangan	Açık sarı, mor, şarabi, kahverengi, turuncu
Kadmiyum sülfid	Sarı

4.8 Cam Üretimi Aşamaları

Üretim işleminin önemli beş kısma ayrılması mümkündür:

4.8.1 Karışımın hazırlanışı

Karışıma giren ilk maddelerin cins ve miktarı, camın nerede kullanılacağına ve hangi malzemenin yapımına yarayacağına bağlıdır. Genel olarak, ilk maddelerin cinsine, saflığına ve iriliğine dikkat etmek gereklidir. Diğer maddelerin iriliği de kumunkine uydurulur. İlk maddelerin incelenmesi, seçilmesi ve uygun hale getirilmesinden sonra karıştırma işine geçilir. Karışımın homojen olması zorunludur; bunun için biraz nemli maddelerle çalışmak daha iyi sonuç verir (Artel, T. ve Dibağ, G., 1969).

4.8.2 Eritme ve arıtma

Fırının içindeki toz halindeki karışım yumuşayarak toplanır, eritilerek ağdalı bir hamur halini alır, fakat henüz saydam değildir. Sonra zamanla, akışkanlık artarak sıvı hale geçer ve kütle berraklaşır. Camın bazı kusurlarını, özellikle gaz ve hava kabarcıklarını yok etmek amacıyla arıtma işlemi yapılır. Bu işlem katkı maddesinin sıcaklığını artırmak, çalkalamak ve karıştırmak suretiyle yapılır.

Cam fırınları, pota veya tank fırınları olarak sınıflandırılabilirler. Yaklaşık 2 ton veya daha az bir kapasiteye sahip olan pota fırınları, özel camların ufak üretimleri veya erimiş camın, yanma ürünlerinden korunması gerektiği durumlar için, yararlı bir şekilde kullanılırlar. Gerçekte daha çok optik camların, sanat eserlerinin ve düz camların, döküm yoluyla üretimlerinde uygulama alanı bulurlar. Pota, özel kilden veya platinden yapılmış bir krozedir. Bu kaplarda ürünü kirletmeden veya kabın kendisini kısmen eritmeden camı eritmek çok güçtür. Platin kullanılması hali bunun dışındadır. Tank fırınında hammaddeler, refrakter bloklarından yapılmış büyük bir "tankın" bir ucundan beslenir. Bu tankların bir kısmında boyutlar 38 x 9 x 1,5 m olup kapasiteleri 1500 ton erimiş camdır. Cam, fırının orta yerinde bir havuz oluşturmakta ve fırının karşılıklı kenarlarında, sıra ile bekler (brülörler) yer almaktadır. Berrak cam, fırının diğer ucundan alınır ve üretim süreklidir. Bu tip fırınlarda, pota fırınlarında olduğu gibi, sıcak camın etkisi altında duvarlar zamanla aşınır. Camın kalitesi ve tankın ömrü, yapı bloklarının kalitesine bağlıdır. Bu sebeple, cam fırını refrakterlerine büyük önem verilir. Ufak tank tipi fırınlara "günlük tanklar" adı verilir ve 1-10 ton erimiş cam olarak, günlük gereksinmeyi karşılarlar. Gaz veya elektrikle (elektrotermal) ısıtılırlar.

Önceki tipler rejeneratif fırınlar olup, iki dizi göz göz bölmeli oda ile iki devreli olarak çalışırlar. Alev gazları, erimiş cam bulduran fırında, bir uçtan diğer uca geçerek ısılarını fırına verirler, açık bulunan kafes tuğla örgüsüne girerler. Burada, gazların duyulur ısısının büyük bir bölümü alınır. Kafes tuğla örgülü kamara girişinde sıcaklık 1540°C ve çıkışında 650°C'dir. Aynı anda hava, önceden ısıtılmış rejeneratif kamaradan geçirilerek, ön ısıtmaya sokulur ve yakılacak gaz yakıt ile karıştırılır. Meydana gelen alev sıcaklığı, ön ısıtmaya sokulmamış hava kullanımına oranla, çok daha yüksektir. 20-30 dakikalık düzenli aralıklarla, hava-yakıt karışımı yön değiştirir, önceden ısıtılmış kafes tuğla örgülü kamaralardan gönderilerek önce ısıtılır ve yanıştan sonra ise, zıt yöndeki aynı tip kamarayı ısıtmak için soğur. Bu rejeneratif prensip yardımı ile büyük miktarlarda ısı kazanılır ve daha yüksek sıcaklıklara eritilir.

Üretime başlayan bir fırının sıcaklığı, fırın yapımında kullanılan refrakterlerin cinsine bağlı olarak, her gün belirli bir miktar artırılır. Fırın bir kere ısıtıldı mı, çalışma süresince en az 1200°C'de tutulmalıdır. Eritme gideri her ton cam için altı veya daha fazla dolardır. Isının büyük bir kısmı, ışınma yoluyla kaybolur ve çok ufak bir kısmı cam eritmede tüketilir. Fırın duvarlarının, ışınma yoluyla bir miktar soğumasına izin verilmemesi halinde, sıcaklığı çok yükselir ve erimiş cam, bu duvarları hızlı bir şekilde aşındırır veya çözer. Erimiş camın bu etkisini azaltmak için,

fırın duvarları içerisine su soğutmalı borular yerleştirilir.

4.8.3 Şekillendirme

Camın şekillendirilmesi için kullanılan yöntemler malzemenin cinsine göre değişir. Çekme, üfleme, kalıplama şeklindeki eski yöntemler günümüzde gelişerek yerini makine ile şekillendirme yöntemlerine bırakmıştır. Makine ile şekillendirme de önemli faktör cam makinesi tasarımının, cam eşya birkaç saniyede tamamlanacak şekilde yapılmış olmasıdır. Oldukça az olan bu süre içerisinde cam, viskoz bir sıvıdan katı veya saydam bir şekle dönüşür. Bu nedenle ısı transferi, metallerin kararlılığı, yatak açıklığı gibi tasarım problemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Böyle bir makinenin geliştirilmesi, cam mühendislerinin en önemli sorunudur.

El yapımı camın işlenmesinde ve biçimlendirilmesinde birkaç temel araç vardır. Üfleme çubuğu, potadan cam alma çubuğu, makaslar, maşalar, kancalar ve bitmiş sıcak camı taşımak için tutucular. Cam üretiminde kullanılan araçlar için önemli bir özellik gerekir. Üzerinde çalışılan malzemenin sıcaklığı, biçimlendirmede kullanılacak araçların ısıya dayanıklı ya da cama karşı uygun nitelikli olmasını gerektirir.

Cam yapımının diğer el sanatlarına göre ayrıcalığı vardır. Çok sıcak bir malzemeye çalışılmaktadır, ayrıca hızla soğuduğu için katılaştıran bir malzeme olduğundan tasarımılanan biçimin bir anda ve kesinlikle ortaya çıkarılması gerekir.

4.8.4 Soğutma ve tavlama

Gerginlikleri azaltmak için, her türlü cam eşyanın tavlama gerekir. Bu, hem el ve hem de makine yardımıyla şekillendirilen eşyalar için doğrudur. Tavlama, kısaca iki işlemden oluşmaktadır : (1) bir cam kümesini, plastik akım yoluyla önceden belirlenmiş maksimum bir iç gerginliğe düşebileceği yeterli bir süre, belirli bir kritik sıcaklığın üzerinde tutmak ve (2) cam kümesini, bu maksimum gerilmenin altında tutmaya yeterli bir şekilde, yavaş yavaş oda sıcaklığına kadar soğutmaktan ibarettir. Tav fırını, dikkatli bir şekilde tasarlanmış ısıtılan bir odadan başka bir şey değildir ve soğuma hızı, daha önce açıklanan gereksimleri karşılayabilecek şekilde, kontrol edilebilmektedir. Gerilme ile gerilme tarafından oluşturulan kırılma arasında, kantitatif bir bağıntı kurulması, cam teknologlarının mekanik ve ısı gerginliklere dayanabilecek, cam tasarlama yöneltmiştir. Önceki bilgileri esas alan mühendisler sürekli bir tavlama cihazı üretmişlerdir. Otomatik sıcaklık düzenleme ve kontrollü dolaşım, daha az ürün kaybı ve daha

düşük yakıt gideri karşılığında daha iyi bir tavlama sağlamıştır.

Tüm cam üretme ve şekillendirme tekniklerinde sıcak, eriyik halde şekillendirilebilir cam kullanıldığı için şekillendirilmeleri biten cam mamuller makineleri sıcak ancak form almış şekilde terk eder. Bu mamullerin çevre ısısına soğutulması gerekir. Bu soğutma işleminin önemi çok fazladır. Sıcak haldeki bir cam çabuk soğuduğu takdirde, dış kısmı içi kısmından daha önce sertleşecek ve böylece değişik ısısal genleşmelerin etkisiyle gerilimler (tansiyon) ortaya çıkacaktır. Bu tansiyonlar hemen veya uzunca süre cam mamulün kırılmasına yol açacaktır.

Çoğu kez cam ürünler şekillendirme sırasında çok ve çabuk soğurlar ve bundan dolayı tansiyon kazanırlar. Büyük bir şans eseri camın belirli bir ısı aralığında, (gevşeme aralığı) kazandığı tansiyonları kendiliğinden tekrar dengelemek gibi bir özelliği vardır. Soda camı için gevşeme aralığı 450-550°C'dir. Kısa bir deyişle camın çevre ısısına soğutulması bir basınçtan arındırma işlemiyle bağlantılıdır.

Şekillendirilmesi biten mamul soğutma evresi sırasında önce gevşeme sıcaklığına getirilir ve bir süre bu sıcaklıkta bekletilir. Sürenin uzunluğu mamulün büyüklüğü ve almış olduğu tansiyonla bağlantılıdır. Gevşemeden sonra yavaş ve aynı oranlarda düşürülen sıcaklıklarla soğuma sürdürülür.

4.8.5 Bitirme işlemi

Her tip tavllanmış cam ürün, belirli bazı bitirme işlemlerine sokulmalıdır. Bunlar, oldukça basit olmalarına karşın, çok önemlidir. Temizleme, yüzey silme ve parlatma, kesme, kum püskürtme, emayeleme, sınıflandırma ve ölçme işlemleri bunun kapsamına girer. Bunların tümü her tip cam ürün için gerekli olmamakla beraber, bir veya birkaçı daima gereklidir (Doremus, R. H., 1973).

4.9 Cam Türleri

Birçok farklı kimyasal sistemlerle cam oluşturmak mümkündür. Bunlardan da en önemlileri, önem sırasına göre SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 ve GeO_2 'dir. Bu oksitler tek başlarına cam oluşturdukları gibi, bileşime başka çeşitli oksitlerin ilavesi ile de, çok çeşitli ve ekonomik değeri olan camlar elde edilebilir.

Camlarının bileşimine giren oksitler, camın oluşumundaki işlevlerine göre üç gruba ayrılırlar (Çizelge 4.3). Bunlardan birinci gruptakiler, camın oluşumu için zorunlu olup, camın ağ yapısını

oluştururlar ve "cam oluşturuçular - Glass formers" olarak adlandırılırlar. Camın bileşimine giren diğler sınıf oksitler ise, camısı yapının oluşmasındaki etkilerine göre ; "Ağ yapı düzenleyiciler - Network modifiers" ve "Aradakiler - intermediates" olarak sınıflandırılırlar.

Çizelge 4. 3 Cam üretiminde kullanılan bazı oksitlerin işlevsel sınıflandırılması
(Kocabağ, 2002).

Cam Yapıcılar	Aradakiler	Düzenleyiciler
B_2O_3	Al_2O_3	MgO
SiO_2	Sb_2O_3	Li_2O
GeO_2	TiO_2	CaO
V_2O_5	PbO	SrO
As_2O_3	BeO	Na_2O
	ZnO	K_2O
	ZrO_2	

Ağ yapı düzenleyiciler, ağ yapıyı bozarlar. Aradakiler ise ağ yapıyı bozucu etki yapabilecekleri gibi, camın bileşimine bağılı olarak ağ yapı içinde de yer alabilirler.

Çok farklı kimyasal sistemlerle cam oluşturmak mümkünse de, ticari olarak en çok üretilen camlar SiO_2 ve B_2O_3 esaslı camlar, özellikle SiO_2 camlarıdır. Çeşitli ticari camların bileşimleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4. 4 Çeşitli ticari camların bileşimleri (Hlavac, 1963)

N	CAM TİPİ	TİCARİ İSMİ	BİLEŞİM % AĞIRLIK										
			SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	PbO	SO ₃	Diğerleri
1	Düz cam		72.2	-	1.0	0.1	3.6	7.1	14.8	0.2	-	0.5	-
2	Düz cam		72.5	-	1.0	0.07	3.9	8.1	13.7	0.3	-	0.25	-
3	Renksiz şişe camı		72.4	-	1.7	0.05	1.7	9.6	13.8	0.6	-	0.13	0.2 NaO
4	Amber şişe camı		73.4	-	2.0	0.22	3.0	8.0	13.0	0.4	-	-	0.16 FeO
5	Yeşil şişe camı		72.0	-	1.9	0.15	1.4	9.2	14.4	0.6	-	0.2	0.2 BaO - 0.1 Cr ₂ O ₃
6	Nötr cam		70.2	7.0	7.5	-	-	1.8	9.5	1.0	-	-	3.0 BaO
7	Teknik cam	Pyrex	80.8	12.0	2.2	-	0.3	0.3	4.2	0.6	-	-	-
8	Teknik cam	Simax	80.8	12.8	2.3	-	-	-	3.5	1.2	-	-	-
9	Yüksek silika cam	Vycor	94.0	5.0	-	-	-	-	0.5	-	-	-	-
10	Termometre camı	16-III	67.5	2.0	2.5	-	-	7.0	14.0	-	-	-	7.0 ZnO
11	Enstrüman camı	Unihost	68.9	-	3.9	-	2.9	5.5	17.8	1.3	-	-	-
12	Elektrik ampulü camı		72.4	-	0.8	-	3.7	5.3	17.4	-	-	-	-
13	Bağlantı camı	KIA	57.1	1.5	-	-	-	-	4.9	7.0	29.4	-	-
14	Bağlantı camı	KS 51	67.7	18.9	3.6	-	-	-	0.4	8.4	-	-	0.9 Li ₂ O
15	Bağlantı camı	KS 50	75.0	11.6	4.0	-	-	1.5	5.9	1.6	-	-	0.4 BaO

Çizelge (4.4) devamı

N O	CAM TİPİ	TİCARİ	BİLEŞİM % AĞIRLIK											Diğerleri	
			SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	PbO	SO ₃			
16	Düşük kayıplı cam	LL	71.0	24.8	0.9	-	-	0.3	1.5	1.2	-	-	-	-	0.2 Li ₂ O
17	Yüksek alüminalı cam	Supremax	53.0	10.0	21.0	-	10.0	5.0	-	-	-	-	-	-	-
18	Optik billur camı	F 2	45.1	-	-	-	-	-	3.2	6.0	45.2	-	-	-	-
19	Optik göbek camı	BK 7	66.0	12.4	-	-	-	-	8.0	12.0	-	-	-	-	1.0 ZnO
20	Kurşun kristal camı		59.0	-	-	-	-	-	2.0	12.0	25.0	-	-	-	1.5 ZnO
21	Soda kristal camı		75.0	0.4	-	-	-	6.7	6.1	11.4	-	-	-	-	-
22	Pres züccaciye camı		75.6	-	0.4	0.02	2.6	3.7	13.5	4.1	-	-	-	-	-
23	Cam elyaf (e- camı)	Eutal	52.9	9.2	14.5	0.3	4.4	17.4	-	-	-	-	-	-	-
24	Cam elyaf	Mangal	59.0	-	7.0	0.3	3.5	6.5	-	-	-	-	-	-	2.9 MnO
25	Opal cam		66.9	-	6.9	0.08	0.4	4.8	13.3	2.2	-	-	-	-	1.6 BaO - 5.9 F
26	TV tüpü		67.0	-	5.0	0.08	-	-	7.0	8.3	-	-	-	-	11.7 BaO - 0.6 Li ₂ O
27	Selenyum rubi		69.8	-	0.5	-	-	3.2	10.7	8.3	-	-	-	-	7.2 ZnO
28	Sinyal yeşili		74.3	-	-	-	-	5.2	10.7	7.3	-	-	-	-	0.5 Cr ₂ O ₃ - 1.8 CuO
29	Opal mücevher camı		57.7	1.1	-	-	-	4.2	8.7	12.5	1.9	-	-	-	11.9 As ₂ O ₃

4.9.1 Silika camı

Silika camı, camsı durumdaki saf SiO_2 'dir. Silika, doğada kuvars minerali şeklinde bulunduğu için cam, aynı zamanda kuvars camı veya ergitilmiş kuvars (fused quartz) olarak da adlandırılır. Kuvars düzenli bir kristal yapısına sahip olduğu halde; kuvars camı camsı yani amorf bir yapıya sahiptir.

4.9.2 Su camı

Na_2O - SiO_2 sisteminde, 1-2 gramlık numunelerle % 59 Na_2O oranına kadar cam oluşturmak mümkündür. Oluşan cam suda çözüldüğü için su camı olarak adlandırılır. Ticari ürünlerde moleküler $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ oranı 2 – 3,3 arasında değişebilir. Bu, sırası ile % 66 ve % 76 SiO_2 ' ye eşdeğerdir. En yaygın kullanılan camlarda bu oran 3,2 - 3,3 olup, yaklaşık % 76 SiO_2 içerir. Bu oran, camın silikat modülü olarak da adlandırılır.

Tank fırınlarda ergitilen cam, su püskürtmek sureti ile granüle edilir. Çözelti halinde, endüstride yaygın bir şekilde bağlayıcı olarak kullanılır. Ayrıca madencilik ve seramik sanayinde sulu süspansiyonlarda, dispersan (açıcı) olarak da kullanılmaktadır.

4.9.3 Şişe ve düz cam

Günlük hayatta camla en çok pencere camı ve şişe olarak karşılaşırız. Her ikisi de Na_2O - CaO - SiO_2 sistemine dayalı camlardır. Bunlardan başka, camın özelliğini geliştirmek üzere bileşime MgO , Al_2O_3 gibi çeşitli oksitler ilave edilir. Bileşime CaO yerine ağırlık bazında 1: 1 oranında MgO ikame edilmesi, camın kristallenme hızını ve sıvılaşma sıcaklığını düşürür. Az miktarda Al_2O_3 ilavesi de camın dengeliliğini artırır

Tecrübeler ışığında şişe ve düz cam kompozisyonları büyük oranda standartlaşmış olup, bileşim; % 70 - 73,5 SiO_2 , % 0,6 - 2,0 Al_2O_3 , % 6-11 CaO , % 1,5- 4,5 MgO (veya % 12 $\text{CaO} + \text{MgO}$) ve % 13-15 Na_2O sınırları dahilinde değişir. Bazı örnekler Çizelge 4.4'de görülmektedir. Bileşimdeki az miktardaki değişimler; ergitme, şekillendirme ve kimyasal dayanımla ilgili farklı gereksinimlerden kaynaklanır.

Kullanılacak hammaddelerin saflık dereceleri çok önemlidir. Düşük kalite hammadde kullanıldığı zaman renksizleştirme gerekir. Son yıllarda düşük ağırlıklı, ince cidarlı ve aynı zamanda dayanıklı şişe yönündeki talep, camın homojenitesine daha fazla dikkat edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Renkli şişelerin bileşimi de benzer olup, sadece renk verici oksitler yönünden farklıdır.

4.9.4 Kristal camı

Çok saf kuvars kristalini çağrıştırdıkları için kristal camı olarak adlandırılırlar. Kurşun ve/veya potasyum oksit içerirler. K_2O - CaO - SiO_2 veya K_2O - PbO - SiO_2 sistemlerinde üretilirler. Bileşimlerinde ayrıca az miktarda Na_2O , BaO , ZnO , B_2O_3 ve MgO bulunabilir.

Kristal camları çok saf ve renksiz olup, parlaklık ve optik geçirimleri yüksektir.

4.9.5 Borosilikat camları

Borosilikat camları, nispeten düşük ısıl genleşmeye ve yüksek şok dayanımına sahiptirler. Ayrıca kimyasal dayanımları ve elektrik dirençleri de yüksektir. Yaygın olarak fırın kapları ve laboratuvar malzemesi yapımında kullanılırlar, iyi bilinen bir örneği pyrex camıdır.

Pyrex camı, normal kireç ve kurşun oksit camlarının ısıl şoku direncinin, yaklaşık üç katı dirence sahiptir; kimyasal dayanımları çok daha yüksektir ve mükemmel elektrik özelliklerine sahiptirler. Yaygın olarak; endüstriyel boru, laboratuvar kapları, cihazları ve fırın camı olarak kullanılırlar. Ayrıca, düşük genleşmeli metallere bağlantı camı olarak da önemlidirler.

B_2O_3 , kendisi cam yapıcı olduğu gibi, en önemlisi SiO_2 için ergitici işlevi görmesidir. Soda-kalsit camı ile karşılaştırıldığında bu, alkali içeriğinde önemli oranda azaltmaya imkân verir. Buna bağlı olarak da: kimyasal ve elektrik özelliklerinde önemli gelişmeler olduğu gibi, eritme sıcaklığında çok büyük bir artış olmadan, termal genleşmede çok büyük bir düşüş sağlanır. Bazı tipik bileşimler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

İsminin	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	PbO	FeO
N°12	74.7	1.4	2.6	—	—	2.4	—	—	—	—

Çizelge 4. 5 Çeşitli borosilikat camı bileşimleri (Philips, 1960)

Bileşen %	Düşük genleşmeli	Molibden bağlantısı	Kovar bağlantısı
SiO ₂	80.50	72.2	65.50
Al ₂ O ₃	2.20	3.00	2.20
B ₂ O ₃	12.90	15.00	16.90
Na ₂ O	3.80	3.50	4.10
K ₂ O	0.40	3.00	4.10
CaO	-	3.00	-
MgO	-	-	-
Li ₂ O	-	-	-

Bileşimdeki B₂O₃ oranının düşürülüp Al₂O₃ içeriğinin artırılması ile kimyasal dayanımı mükemmel özel borosilikat camları elde edilebilir: Buna bir örnek Çizelge 4.6.'da verilen ve laboratuvar camı olarak kullanılan N51a camıdır.

Çizelge 4. 6 Özel borat camı (N51a) bileşimi (Philips, 1960)

İSMİ	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SO ₃
N51a	74.7	9.6	5.6	-	-	0.9	6.4	0.5	2.2	0.5

Bu gruba giren bir diğer camda, ilaç sanayinde ve tıpta enjeksiyon ampulü, serum ve kan şişesi olarak kullanılan ve nötr cam olarak adlandırılan camdır. Bu camın temel özelliği 120°C de sterilize edildiği zaman, fizyolojik etkisi olabilecek, alkali ve başka iyonların çözeltiye geçerek şişe içindeki ilacı etkilememesidir. Çizelge 4.7'de çeşitli nötr cam bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 4. 7 Nötr cam bileşimleri (Biegler, 1978)

Bileşen	Analiz (%)			
	SiO ₂	76.0	80.7	80.0
Al ₂ O ₃	4.5	2.15	2.50	6.50
B ₂ O ₃	8.5	11.9	13.5	10.5
Na ₂ O	5.5	4.25	2.50	8.00
K ₂ O	1.0	0.25	-	-
CaO	0.3	0.30	1.5	-
BaO	4.0	-	-	-
AsO	0.3	0.22	-	-

4.9.6 Alüminosilikat camlar

Cam yapıcı oksitler olarak, ağırlıklı olarak SiO₂ ve daha az miktarlarda da B₂O₃ veya P₂O₅, yanında ilave olarak % 20 veya üzerinde Al₂O₃ içeren camlar, alüminosilikat camları olarak adlandırılırlar. Ergitilmeleri ve şekillendirilmeleri zor olmakla birlikte, daha pahalı kuvars camı ve % 96 silika camı hariç diğer bütün camlara göre deformasyon sıcaklıkları çok daha yüksektir, ilk defa yüksek alüminalı (Supremax) camı adı altında, laboratuarlarda kullanılmak üzere Almanya'da üretilmiştir. Termal genişmeleri oldukça düşük olduğu için, genellikle iyi termal şok direncine sahiptir. Ocak üstü pişirme kabı, yanma tüpleri, yüksek sıcaklık termometreleri, yüksek basınç buhar kazanları için gösterge camları ve yüksek basınçlı cıva boşalım lambaları için tüplerin yapımında kullanılırlar. Çizelge 4.8'de alüminosilikat cam bileşimi örnekleri verilmiştir.

Çizelge 4. 8 Çeşitli alüminosilikat camları bileşenleri (Philips, 1960)

Bileşen	Aygıt camı supremaks I (%)	Aygıt camı supremaks II (%)
SiO ₂	55.3	57.0
Al ₂ O ₃	0.60	1.00
B ₂ O ₃	0.40	-
Na ₂ O	4.70	5.50
K ₂ O	8.50	12.0
CaO	7.40	4.00
MgO	22.4	20.5

4.9.7 Optik camlar

Optik cihazların ve aletlerin yapımında kullanılan optik camlar için kırılma indeksi ve dağılım çok önemlidir ve iyi kontrol edilmek zorundadır. Arzu edilen diğer önemli özellikler ise yüksek fiziksel ve kimyasal homojenlik, renksizlik ve yüksek optik geçirimdir.

4.9.8 Cam elyafı

Yaygın olarak üretilen diğer bir cam grubu da, cam elyaflarıdır. Elektrik yalıtımı ve elyaf destekli plastikler için kullanılan sürekli elyaflar için, genellikle e-camı olarak bilinen ve alkali içermeyen (en fazla %1 Na₂O + K₂O) camlar kullanılır. e-camı SiO₂, Al₂O₃, CaO- MgO esaslı olup bileşimi ; % 50-55 SiO₂ , % 7-12 B₂O₃ , %15-20 CaO, 52-5 MgO, 513-15 Al₂O₃ ve %0-1 alkali oksit sınırları arasında değişebilir. Çizelge 4.9'da çeşitli e-camı bileşimleri gösterilmiştir..

Çizelge 4. 9 Çeşitli e-camı bileşimleri (Biegler, 1978)

Bileşen	Analiz					
	(%)					
SiO ₂	55.53	54.50	55.10	52.6	54.17	55.02
B ₂ O ₃	8.65	7.63	6.67	9.75	7.85	6.65
Al ₂ O ₃	14.25	14.53	14.75	13.73	14.62	14.19
BaO	-	-	-	-	-	-
CaO	17.02	14.95	16.85	21.00	22.20	21.75
MgO	4.40	4.73	4.90	0.17	0.10	0.59
Na ₂ O	0.35	0.68	0.50	0.50	0.63	0.65
Fe ₂ O	1.00	1.10	0.45	1.37	0.52	0.27
K ₂ O	-	-	0.20	-	-	0.28

4.10 Camda Renk Oluşumu ve Kontrolü

Renk, cam üzerine düşen bir ışık tayfının camla etkileşimi sonucu değişmesinden kaynaklanır ve yorumu, elektromanyetik spektrumun görünür ışık olarak gördüğümüz dar bandı içinde, camın kimyası ve bizim psikolojimiz arasındaki ilişkiye bağlıdır.

Camla etkileşim sürecinde, gelen ışığın bir kısmı cam yüzeyinden yansır, bir kısmı cam tarafından emilir (absorption), geriye kalan kısmı ise camdan geçer. Eğer cam ışığı görünür spektrumun bir kısmında diğer bölgelere göre daha çok emer veya dağıtırsa, spektrumun geri kalan kısmında camın ışık geçirimi daha fazla olacağı için, cam bu bölgeye tekabül eden ışığın renginde görünecektir.

İnsan gözü, sadece tayfın belli bir bölgesine duyarlıdır. En yüksek hassasiyet tayfın yeşil bölgesindedir. Dalga boyu ultraviole ve infrared uçlara doğru yaklaştıkça, gözün hassasiyeti azalır. Camdan geçen ışık miktarı fiziksel olarak ölçülebilir bir özellik olup, ölçümün hangi dalga boyunda yapıldığına bağlıdır.

Çizelge 4. 10 SiO₂ esaslı camlarda renk oluşumu (Babcock, 1977).

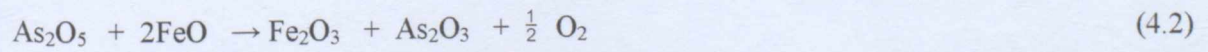
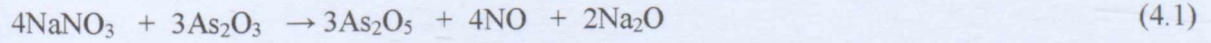
Renk	Renklendirici
Mor	Mangan-neodmiyum-nikel:K ₂ O camlarında
Mavi	Kobalt-bakır-sülfür: B ₂ O ₃ camlarında
Yeşil	Ti, Cr, Fe, ile krom-bakır; krom-uranyum-vanadyum-moliddenyum ile demir: P ₂ O ₅ camlarında
Sarı	Uranyum-kadmiyum-sülfid - seryum ve titanyum-gümüş
Turuncu	Kadmiyum sülfid artı kadmiyum selenid
Amber	Demir ve sülfür- mangan ve sülfür
Kahverengi	Mangan ve demir-titanyum ve demir ve nikel: Na ₂ O camlarında; demir ve selenyum-mangan ve titanyum-mangan ve seryum
Kırmızı	Kadmiyum sülfid + selenyum-altın-bakır-uranyum : PbO camlarında
Siyah	Kobalt, mangan, nikel, demir, bakır'ın kombinasyonu ve krom-demir sülfid - mangan ve kobalt: PbO camlarında

Çizelge 4. 11 Kolloidal metal ve yarı iletken partiküllerince cam içinde oluşturulan renkler
(Rawson, 1980)

Malzeme	Renk
Au	Yakut (rubi)
Ag	Sarı veya amber
Cu	Yakut (rubi)
Cu ₂ O	-
Se	Pembe
CdS	Sarı
CdSe	Yakut (rubi)

4.10.1 Renksizleştirme (Decolourising)

Renksizleştirme, cam içinde arzu edilmeyen, demirden kaynaklanan rengin giderilmesidir. Bunun için öncelikle; gerek hammaddelerden, gerekse sistemden gelebilecek demirin önlenmesi gerekir. Her şekilde cam içinde bulunabilecek demirin sebep olacağı renk ise iki yolla önlenir. Ferros demirin neden olduğu yeşil renk, ferrik demirin neden olduğu sarı tona göre daha az arzu edilir. Onun için öncelikle demirin Fe³⁺'e oksitlenmesi gerekir, Bunun için cam harmanına sodyum nitrat, arsenik oksit ve antimuan oksit gibi oksidan ajanlar katılır. Bu işlem, kimyasal renksizleştirme olarak betimlenir. FeO'nun Fe₂O₃'e oksitlenmesi aşağıdaki tepkimelere uygun olarak gerçekleşir.



Demiri oksitlemek için seryum oksit de kullanılabilir. Tamamen renksiz bir camın elde edilmesi ise, demirin arzu edilmeyen rengini bastırmak üzere çok az miktarda başka renklerin ilavesi ile sağlanır. Bu renksizleştirici renkler, görünür spektrumun demirin geçiren olduğu kısmında

soğuracak şekilde seçilirler. Bu, geçirimi düzenler ve görünür spektrumu dengeli hale getirir. Dikkat edilmesi gereken husus, bu ilave renklerin camın tamamı ile açık olmasını sağlayacak şekilde düşük oranlarda tutulması gereğidir. Demir seviyesinin çok yüksek olması, çok fazla renk gidericiyi gerektirir. Bu, bütün görünür geçirim eğrisinin büyük oranda düşmesine ve grimsi bir camın oluşmasına neden olur.

Renksiz bir cam elde edebilmek için, tayfsal bir dengelemenin zorunluluğu aşikârdır. Bunun için en yaygın uygulanan yöntem, Fe^{3+} haline oksitlenen demirin neden olduğu yeşilimsi sarı tonu dengelemek üzere cama çok az miktarda kobalt oksit ve selenyum ilave edilmesidir. Co_2O_3 çok güçlü bir şekilde kırmızıda soğururken, selenyum mavide emer. Dolayısı ile soğurum, bütün görünür spektrum boyunca düzenli hale gelir ve cam renksiz gözükür. Bu işlem fiziksel renksizleştirme olarak adlandırılır.

Çok dikkatli bir kimyasal ve fiziksel renksizleştirme ile tamamen renksiz bir cam elde etmek mümkündür. Cam içindeki Fe_2O_3 oranı % 0.05 'den az olduğu zaman çok iyi netice alınabilir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Enstrümental Analiz Cihazları, Deneysel Sistem, Kimyasal Malzemeler ve Hammaddeler

5.1.1 Malzemelerin karakterizasyonunda kullanılan enstrümental analiz cihazları

Malzemelerin karakterizasyonunda X-Işını difraktometre cihazı (XRD), Fourier transform infrared spektrofotometre cihazı (FT-IR), Taramalı elektron mikroskobu cihazı (SEM) ve X-Işını flüoresans spektrometre cihazı (XRF) kullanılmıştır.

5.1.1.1 X-Işını difraktometre cihazı (XRD)

Deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddelerin ve elde edilen ürünlerin kristal özellikleri, X-ışınlarının 45 kV ve 40 mA değerlerinde $\text{CuK}\alpha$ tüpünde üretildiği Philips Panalytical X'Pert Pro X-Işını difraktometre cihazıyla incelenmiştir.

5.1.1.2 Fourier transform infrared spektrofotometre cihazı (FT-IR)

Malzemelerin fonksiyonel grup özellikleri Perkin Elmer Spectrum One marka FT-IR Spektrofotometresinde incelenmiştir.

5.1.1.3 Taramalı elektron mikroskobu cihazı (SEM)

Deneysel çalışmalarda elde edilen ürünlerin ve referans NaBH_4 ' ün mikro yapıları JEOL marka taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir.

5.1.1.4 X-Işını flüoresans spektrometre cihazı (XRF)

Sinter ve ergitme camlarının element içerikleri Spektro X-LabPro marka spektrometre cihazıyla incelenmiştir.

5.1.2 Deneysel sistem

Cam türleri üretimleri için Remsan Refrakter Malzeme Sanayi ve Ticaret A.Ş. laboratuarında bulunan 1600°C sıcaklığa dayanıklı Conrad Naber marka yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. 1 Yüksek sıcaklık fırınının a) dış görünümü b) iç görünümü c) baca gazı çıkışı

Cam üretiminde kullanılmak üzere yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hazırlanan karışımla reaksiyon vermeyecek özellikte ergitme potaları tasarlanmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. 2 Farklı ergitme potaları

5.1.3 Deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddeler ve kimyasal malzemeler

5.1.3.1 Bergama atığı

Deneysel çalışmalarda, ana hammadde olarak Bergama-Ovacık altın işletme tesisinden temin edilen katı atık kullanılmıştır. Atığın özellikleri Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5. 1 Bergama atığının kimyasal bileşimi

SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	Na₂O	K₂O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
89.42	3.85	2.12	0.30	0.1	1.69	100

5.1.3.2 Sodyum karbonat (Na₂CO₃)

Deneysel çalışmalarda Beypazarı tesisinden temin edilen % 99,7 saflıkta sodyum karbonat kullanılmıştır.

Çizelge 5. 2 Sodyum karbonat kimyasal bileşimi [2]

NaCl	0.12 %
SO₄⁻²	280 ppm
Fe⁺³	0.25 ppm
SiO₂	0.9 ppm
Mg	2.3 ppm CaCO ₃
Ca	0.07 ppm CaCO ₃
Çözünmezlik	0.01 %
Toplam organik karbon	3.2 ppm
Kızdırma kaybı	0.04 %
Hacimsel yoğunluk	1.035 g/cm ³

Çizelge 5. 3 Sodyum karbonat partikül büyüklüğü dağılımı

Partikül büyüklüğü	+1000 μm	+600 μm	+425 μm	+150 μm	-75 μm
Miktar (%)	0 (%)	0.7 (%)	51.2 (%)	96.6 (%)	0.3 (%)

5.1.3.3 Boraks atığı

Etibank Bandırma Fabrikasında boraks üretiminde meydana gelen boraks atığı cam üretmek amacıyla 60 mesh'lik tane boyutuna getirilerek deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

Çizelge 5. 4 Boraks atığının kimyasal analizi

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	B ₂ O ₃	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
18.24	2.05	1.04	13.97	15.84	6.25	1.01	14.09	100

5.1.3.4 Magnezyum sülfat (MgSO₄. 7 H₂O)

Deneysel çalışmalarda 41503036 kod ve 442375/1 kazan numaralı Fluka marka % 99 saflıkta magnezyum sülfat (MgSO₄. 7 H₂O) tozu kullanılmıştır.

Çizelge 5. 5 Magnezyum sülfat (MgSO₄. 7 H₂O) eser madde içeriği [2]

Cl	Ca	Cd	Co	Cu	Fe	K	Na	Ni	Pb	Zn
(%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	(%)
≤0.01	≤0.02	≤0.005	≤0.005	≤0.005	≤0.02	≤0.05	≤0.01	≤0.005	≤0.005	≤0.005

5.1.3.5 Borik asit (H_3BO_3)

Deneysel çalışmalarda Beypazarı tesisinden temin edilen % 99,9 saflıkta borik asit kullanılmıştır.

Çizelge 5. 6 Borik asidin fiziksel ve kimyasal özellikleri [2]

Yapısal formülü	H_3BO_3
Formül ağırlığı	61.83 g/mol
Erime noktası	169°C
Özgül ağırlığı	1.44 g/cm ₃
Oluşum ısısı	-1089 kJ/mol
Çözünme ısısı	+22.2 kJ/mol
B_2O_3 içeriği	%56.3
Kimyasal bileşimi	%56.3 B_2O_3 , %43.7 H_2O

5.1.3.6 Alüminyum oksit (Al_2O_3)

Deneysel çalışmalarda TA467195 kod numaralı Merck marka alüminyum oksit (Al_2O_3) tozu kullanılmıştır.

Çizelge 5. 7 Alüminyum oksit'in eser madde içeriği [3]

%Cl	≤0.015
% SO_4^{-2}	≤0.05
% Fe^{+3}	≤0.005
% As	≤1.0

5.1.3.7 Kalsiyum karbonat (CaCO₃)

Deneyisel çalışmalarda 2069 kod numaralı Merck marka % 99 saflıkta kalsiyum karbonat (CaCO₃) tozu kullanılmıştır.

Çizelge 5. 8 Kalsiyum karbonat (CaCO₃) eser madde içeriği [3]

Cl	SO ₄	Ba	Mg	Cu	Fe	K	Na	Sr	Pb	Zn
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
≤0.01	≤0.02	≤0.005	≤0.005	≤0.005	≤0.0005	≤0.005	≤0.005	≤0.1	≤0.001	≤0.005

5.2 Deneysel Yöntem

5.2.1 Bergama atığının karakterizasyonu

Ana hammadde olarak kullanılan Bergama atığının kristal, fonksiyonel grup ve mikroyapısal özellikleri XRF, XRD, FT-IR ve SEM enstrümantal analiz cihazları kullanılarak incelenmiştir.

Atığın içerdiği suyu uzaklaştırmak için 105°C'lik etüvde kalsinasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Suyu uzaklaştırılan atık, agat havanda öğütme ve daha sonra eleme ön işlemleri uygulanarak karakterizasyon deneyleri için hazır hale getirilmiştir.

Atığın kızdırma kaybı hesabı ve kimyasal analizi gravimetrik yöntemle yapılmıştır.

Hammadde olarak kullanılan atığın kristal özellikleri 0–90° aralığında değişen difraksiyon açılarında incelenmiştir. Atığın XRD diyagramı ve pik listesi sırasıyla Şekil 6.1 ve Çizelge 6.1'de verilmektedir.

Atığın fonksiyonel grup özellikleri 4000 - 650 cm⁻¹ dalga boyu aralığında elde edilen FT-IR spektrumuyla incelenmiştir. Atığın FT-IR spektrumu Şekil 6.2'de verilmektedir.

Atığın mikroyapısal özellikleri ise taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Numune yapışkan bant yardımıyla cihazın örnek kabına sabitlenerek SEM analizi için hazır hale getirilmiştir. Atığın SEM görüntüleri Şekil 6.3'de verilmektedir.

5.2.2 Cam türleri üretimi

Deneyler sonucunda teknik (Pyrex) cam, yüksek alüminalı (Supremax) cam ve düz cam türleri üretilmiştir.

5.2.2.1 Teknik (Pyrex) cam üretimi

Teknik (Pyrex) cam üretimi için Bergama'dan gelen katı atığa gerekli miktarlarda H_3BO_3 ve Na_2CO_3 ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Karışımların her biri iki saat boyunca agat öğütücüde karıştırılmıştır. Teknik (Pyrex) cam üretimleri için hazırlanan karışımlara uygun olarak tasarlanan potalara boşaltılan malzemeler, yüksek sıcaklık fırınında ergitilmiştir. Ergitme sıcaklıkları belirli zaman periyotlarında kontrol edilerek, $1300-1350^\circ C$ olduğu tespit edilmiştir. Ergitilen camlar suyun içine veya galvaniz sacın üzerine dökülerek soğutulmuştur. Bundan dolayı kaynaklanan farklılıklar gözlenmiştir (Şekil 6.7, 6.8).

Çizelge 5. 9 Üretilmek istenen teknik (Pyrex) cam'ın bileşimi (Hlavac, 1983)

SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
80.8	12.0	-	1.78	0.3	4.2	0.6	100

5.2.2.2 Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi

Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için Bergama'dan gelen atığa değişik oranlarda boraks atığı, $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$, H_3BO_3 , $CaCO_3$ ve Al_2O_3 ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlar iki saat boyunca agat öğütücüde karıştırılmıştır. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimleri için hazırlanan karışımlar uygun olarak tasarlanan potalara boşaltılan malzeme yüksek sıcaklık fırınında ergitilmiştir. Ergitme sıcaklıkları belirli zaman periyotlarında kontrol edilerek, $1350-1300^\circ C$ olduğu tespit edilmiştir. Ergitilen camlar galvaniz sacın üzerine dökülmüştür. Ayrıca numune ikiye ayrılarak bir kısmı hava ortamında diğer bir kısmı $260^\circ C$ 'lik etüvde soğutulmuştur ve farklılıklar incelenmiştir (Şekil 6.13, 6.14).

Çizelge 5. 10 Üretilmek istenen yüksek alüminalı (Supremax) cam'ın bileşimi (Hlavac, 1983)

SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
53-57	7.4-4	21	12-8.5	4.7-5.5	0.6-1	0.4-0	100

5.2.2.3 Düz cam üretimi

Düz cam üretimi için Bergama'dan gelen atık çamura, Na₂CO₃, CaCO₃ ve MgSO₄.7 H₂O ilave edilerek belli oranlarda karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlar iki saat boyunca agat öğütücüde karıştırılmıştır. Düz cam üretimleri için hazırlanan karışımlara uygun olarak tasarlanan potalara boşaltılan malzeme yüksek sıcaklık fırınında ergitilmiştir Ergitme sıcaklığı belirli zaman periyotlarında kontrol edilerek, 1250-1290°C olduğu tespit edilmiştir. Ergitilen camlar suyun içine veya galvaniz sacın üzerine dökülerek soğutma farklılıkları gözlenmiştir (Şekil 6.16, 6.17).

Çizelge 5. 11 Üretilmek istenen düz cam bileşimi (Hlavac, 1983)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
72.2	1.00	0.10	3.6	7.1	14.8	0.2	100

6. DENEYSEL SONUÇLAR

6.1 Çamur Atığın Karakterizasyonu

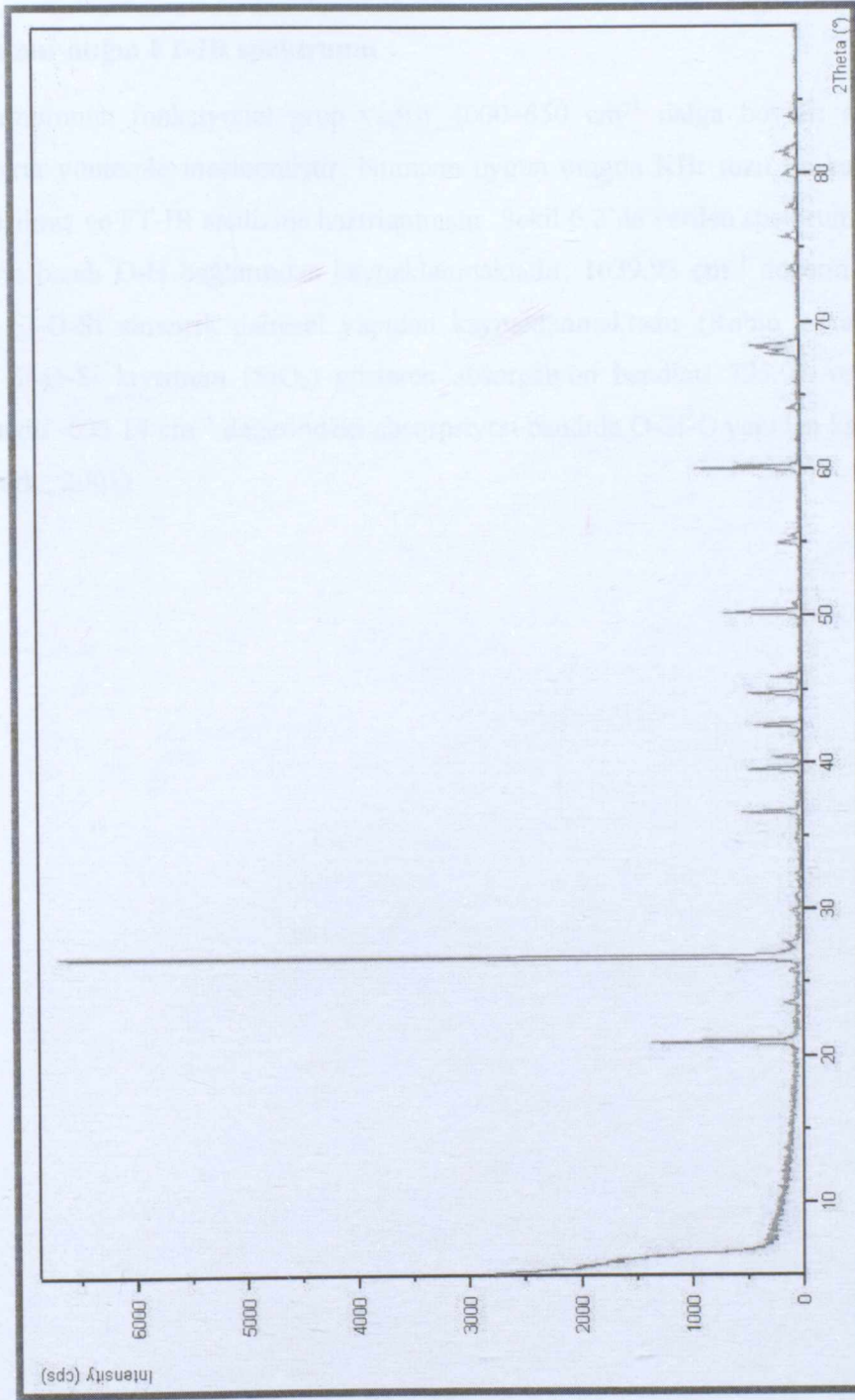
Atığın fonksiyonel grup ve mikro yapısal özellikleri XRD, XRF, FT-IR ve SEM enstrümantal analiz cihazları kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca atığın kimyasal analizi gravimetrik yöntemle yapılmıştır.

6.1.1 Çamur atığın XRD diyagramı

Şekil 6.1'de verilen XRD diyagramı 0–90° arasında değişen difraksiyon açılarında kaydedilmiştir. XRD diyagramına göre atığın karakteristik piklerinin yaklaşık olarak, 20°, 27° ve 60° difraksiyon açılarında olduğu görülmektedir. Atığa ait pik listesi Çizelge 6.1'de verilmektedir.

Çizelge 6. 1 Bergama çamur atığının XRD pik değerleri

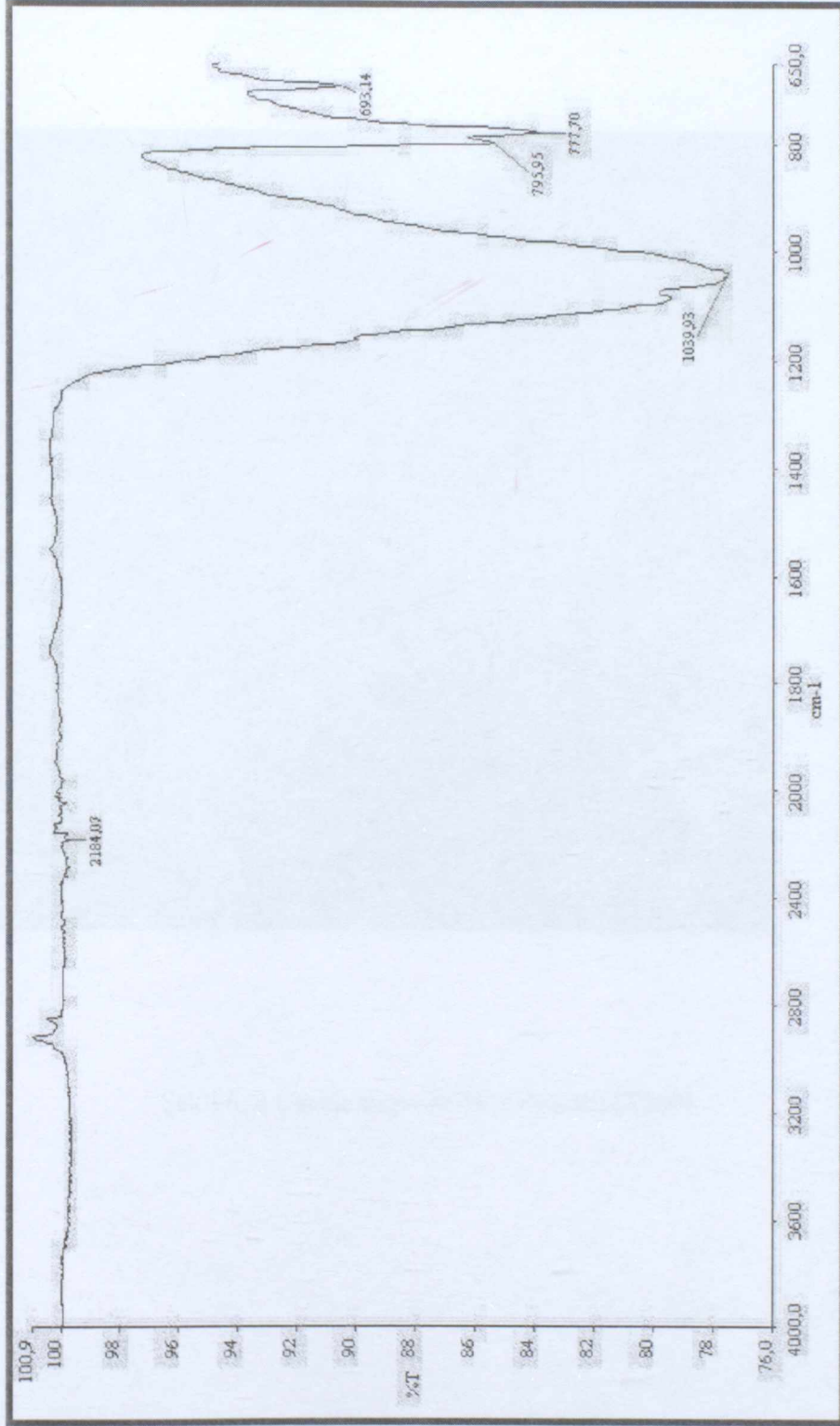
No	d [Å]	2θ [°]	I [%]	Bileşik	No	d [Å]	2θ [°]	I [%]	Bileşik
1	4.25770	20.8640	19.56	SiO ₂	12	1.45313	64.0238	1.41	SiO ₂
2	3.34565	26.6447	100.0	SiO ₂	13	1.38228	67.7339	4.09	SiO ₂
3	2.45977	36.5307	6.27	SiO ₂	14	1.37510	68.1360	5.44	SiO ₂
4	2.28354	39.4621	6.77	SiO ₂	15	1.37196	68.3133	6.19	SiO ₂
5	2.23809	40.2979	2.97	SiO ₂	16	1.28677	73.5437	0.73	SiO ₂
6	2.12863	42.4677	6.23	SiO ₂	17	1.25626	75.6377	1.96	SiO ₂
7	1.97948	45.8022	4.18	SiO ₂	18	1.22871	77.6462	1.16	SiO ₂
8	1.81853	50.1221	9.56	SiO ₂	19	1.20005	79.8954	1.72	SiO ₂
9	1.79645	50.7817	0.52	SiO ₂	20	1.18422	81.1542	1.56	SiO ₂
10	1.67233	54.8535	2.52	SiO ₂	21	1.18079	81.4397	2.09	SiO ₂
11	1.54146	59.9628	13.89	SiO ₂	22	1.15336	83.8066	1.14	SiO ₂



Şekil 6.1 Çamur atığının XRD diyagramı

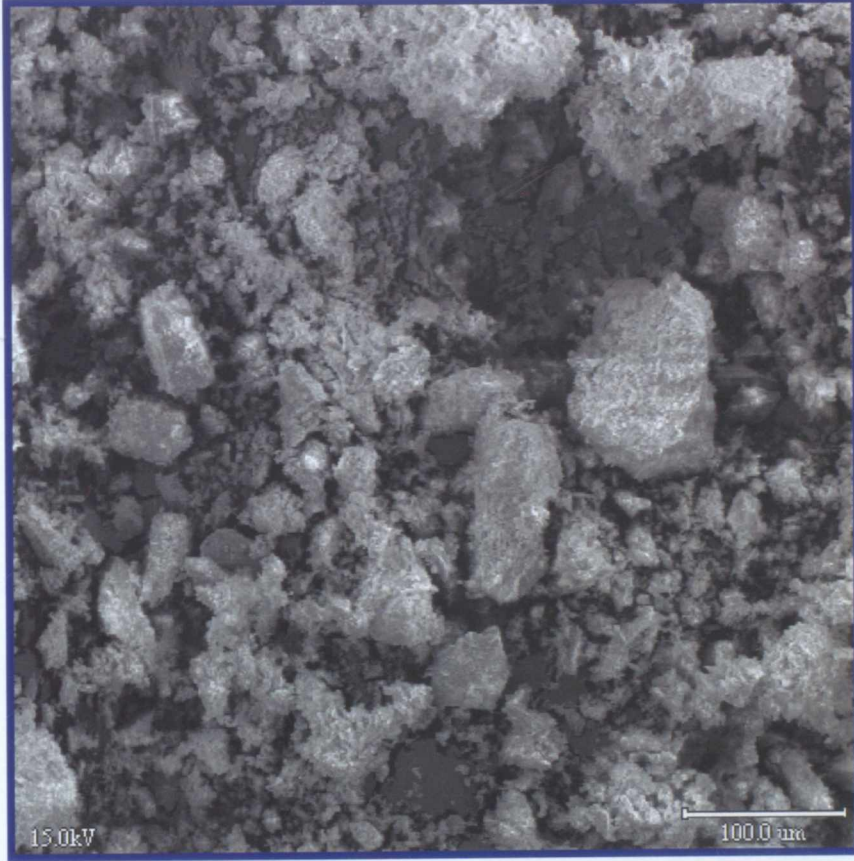
6.1.2 Çamur atığın FT-IR spektrumu

Arıtma çamurunun fonksiyonel grup yapısı 4000–650 cm^{-1} dalga boyları arasındaki FT-IR spektrometrik yöntemle incelenmiştir. Numune uygun oranda KBr tozu ile karıştırılarak tablet haline getirilmiş ve FT-IR analizine hazırlanmıştır. Şekil 6.2’de verilen spektruma göre 2184 cm^{-1} absorpsiyon bandı O-H bağlarından kaynaklanmaktadır. 1039.93 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998). SiO_4 asimetrik Si-O-Si kıvrımını (SiO_2) gösteren absorpsiyon bandları 795.95 ve 777.70 cm^{-1} ’de görülmektedir. 693.14 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandıda O-Si-O yapıdan kaynaklanmaktadır (Yang ve ark., 2001).



Şekil 6. 2 Çamur atığıın FT-IR spektrumu

6.1.3 Çamur atığın SEM görüntüleri



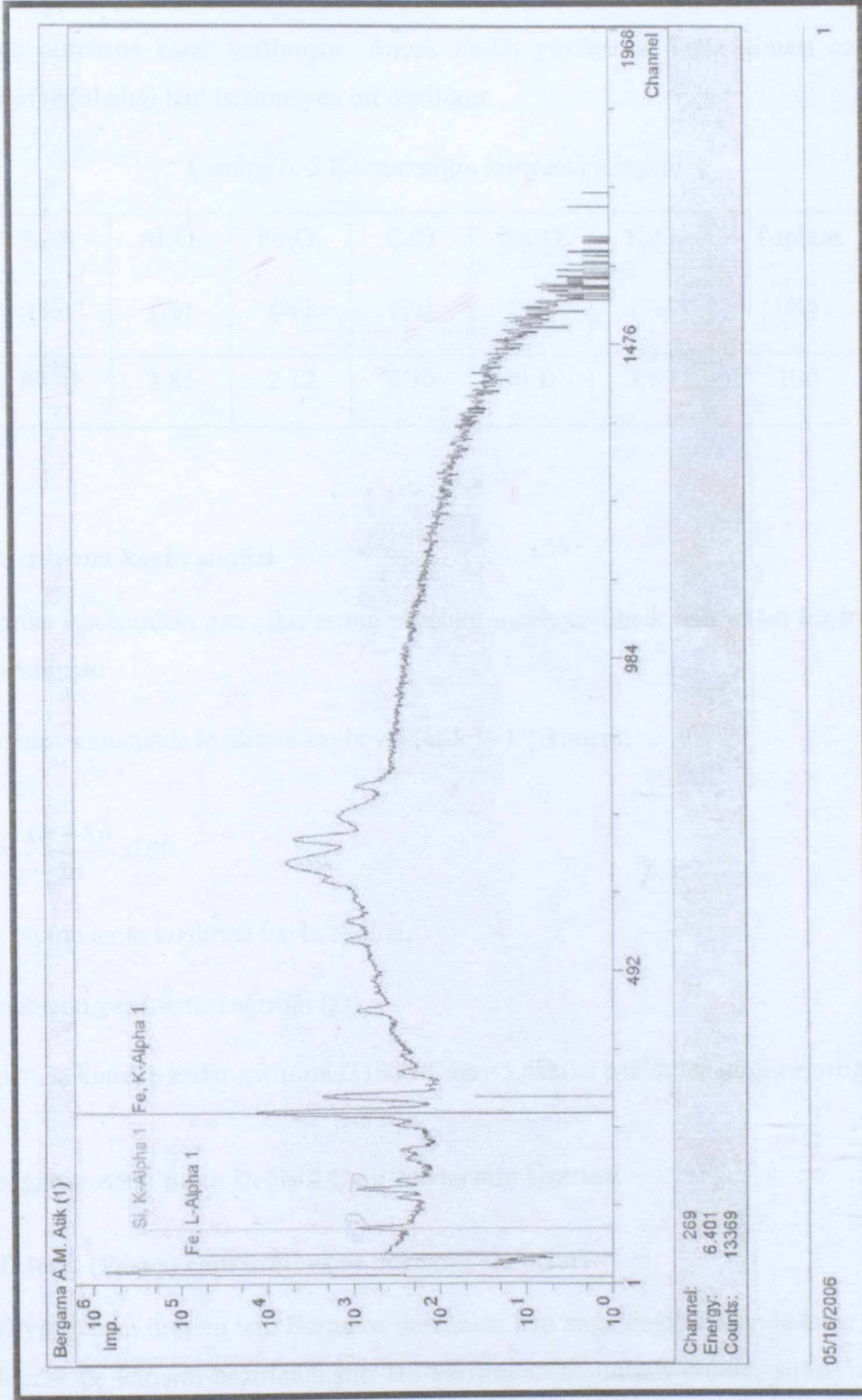
Şekil 6. 3 amur atığın SEM görüntüsü (X200)

6.1.4 Çamur atığın XRF sonuçları

Atığın elementel analizleri X-Işını Floresans cihazında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.2'de verilen Bergama'dan gelen arıtma çamuruna ait XRF sonuçları incelendiğinde, atığın için de yüksek miktarda Fe İyonu olduğu gözlenmiştir

Çizelge 6. 2 Çamur atığın XRF sonuçları

Çamur atığın XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	< 0.0069	In	< 0.030
V	< 0.0269	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	0.0312	W	< 0.025
Fe	1.48	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	0.050
Ni	< 0.015	Nb	0.1402
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.2527	Pb	< 0.020
Pd	0.02360	Rh	< 0.002
Ag	0.002	Zn	0.0100
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020



Şekil 6. 4 Çamur atığın XRF grafiği

6.1.5 Çamur atığın kimyasal gravimetrik analizi

Bergama atığının Çizelge 6.3’de verilen SiO₂ miktarı çok fazla olduğundan cam üretimi için hammadde olmasına karar verilmiştir. Ancak Fe₂O₃ yüzdesinin fazla olması camda renk oluşumlarını etkilediği için istenmeyen bir özelliktir.

Çizelge 6. 3 Çamur atığın kimyasal bileşimi

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
89.42	3.85	2.12	0.30	0.1	1.69	100

6.1.6 Kızdırma kaybı analizi

Cam ergitme esnasındaki gaz çıkışlarının sebebini inceleyebilmek için atığın kızdırma kaybı hesabı yapılmıştır.

Hesaplamalar sonucunda kızdırma kaybı yaklaşık % 1 çıkmıştır.

$$KK(\%) = \frac{Ya - Ka}{Ya} \times 100 \quad (6.1)$$

KK (%): Numunenin kızdırma kaybı analizi,

Ya: Numunenin yaş (nemli) ağırlığı (gr),

Ka: Değişmez kütleye kadar getirilmiş (1000°C de 45 dakika bekletilen atığın ağırlığı (gr),

6.2 Bergama Atığı’ndan Değişik Cam Türlerinin Üretimi

6.2.1 Teknik (Pyrex) cam üretimi ve deneysel sonuçları

Teknik (Pyrex) cam üretimi için Bergama’dan gelen katı atığa değişik oranda katkı maddeleri ilave edilerek üç karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlardan oluşan ürünler sırasıyla I. teknik (Pyrex) cam, II. teknik (Pyrex) cam, III. teknik (Pyrex) cam olarak adlandırılmışlardır. Üretilmek istenen Teknik (Pyrex) camların bileşimlerinin Çizelge 4.4 ’deki standart teknik (Pyrex) camın bileşim değerleri ile paralellik gösterdiği kimyasal hesaplama yöntemleriyle belirlenmiştir.

6.2.1.1 I. Teknik (Pyrex) cam karışımı

Teknik (Pyrex) cam üretimi için Bergama'dan gelen katı atıktan 90 gr, H_3BO_3 'den 22.71 gr ve son olarak 7.44 gr Na_2CO_3 ilave edilerek bir karışım hazırlanmıştır. Karışım $1350^\circ C$ 'de ergime sürecini tamamlamıştır. Ergime sonucunda oluşan numune I. teknik (Pyrex) cam olarak adlandırılmıştır. Cam oda sıcaklığında galvaniz saça veya su içine boşaltılarak şoklama yöntemiyle soğutulmuştur (Şekil 6.7, 6.8).

Çizelge 6. 4 I. Teknik (Pyrex) cam üretimi için kullanılan hammaddeler ve miktarları

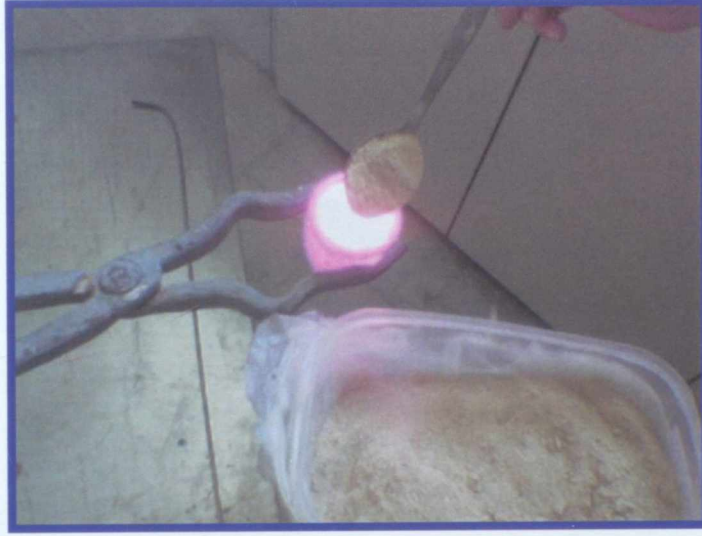
Madde	Atık	H_3BO_3	Na_2CO_3
Miktar (gr)	90	22.71	7.44

Çizelge 6. 5 I. Teknik (Pyrex) cam karışımının bileşimi

SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
75.2	11.9	3.2	1.78	0.25	4.2	1.42	100

Çizelge 6. 6 I. Teknik (Pyrex) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler

Süre(dk)	Sıcaklık °C	Numunenin değişimi
0	0	-
15	500	Değişiklik yok
70	900	Değişiklik yok
80	950	Ergime yok
95	1000	Ergime yok
125	1050	Cam faza geçiş
127	1055	Ergimeye devam ediyor
165	1081	Sıcaklığın artmasıyla yüzeyde camsı bir tabaka oluşmuştur. Karışım içindeki SO ₃ , CO ₂ gazlarının kabın yüzeyine basınç yapmasından dolayı kabarma gözlenmiştir.
165	1081	Gazın numuneden ayrılmasıyla potanın içindeki numune hacmi azalmıştır bu nedenle dışarıdan malzeme ilave edilmiştir (Şekil 6.5).
225	1300	Ergime gerçekleşmiştir.
270	1350	Ergime tamamlanmıştır (Şekil 6.6).



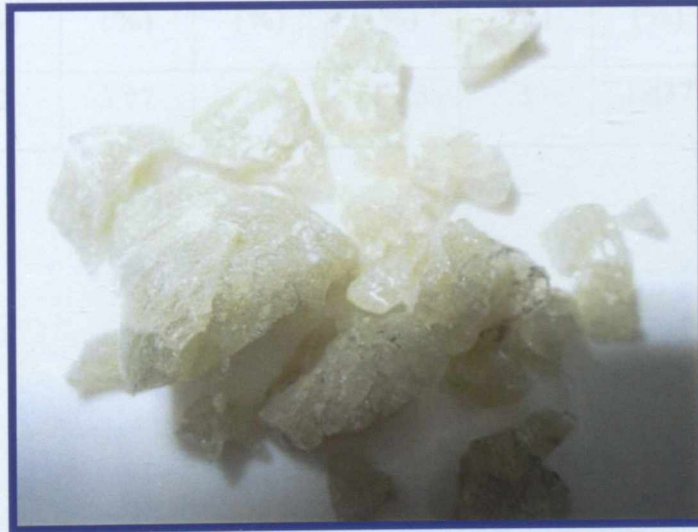
Şekil 6. 5 1081°C'de I. teknik (Pyrex) camın malzeme ilave ediliş görüntüsü



Şekil 6. 6 1350°C'de I. teknik (Pyrex) camın ergime sürecinin tamamlanış görüntüsü



Şekil 6. 7 I.Teknik (Pyrex) camın soğuduktan sonraki görüntüsü
(Oda sıcaklığında galvaniz saça dökülmüştür)



Şekil 6. 8 I.Teknik (Pyrex) camın soğuduktan sonraki görüntüsü
(Su içine boşaltılarak şoklama yöntemiyle soğutulmuştur)

6.2.1.2 II. Teknik (Pyrex) cam karışımı

Teknik (Pyrex) cam üretimi için Bergama'dan gelen katı atıktan 85 gr, H_3BO_3 'den 21.3 gr ve son olarak da 6.6gr Na_2CO_3 ilave edilerek bir karışım hazırlanmıştır. Karışım $1350^\circ C$ 'de ergime sürecini tamamlamıştır. Ergime sonucunda oluşan numune II. teknik (Pyrex) cam olarak adlandırılmıştır. Cam oda sıcaklığında galvaniz saça dökülerek soğutulmuştur (Şekil 6.10).

Çizelge 6. 7 II. Teknik (Pyrex) cam üretimi için kullanılan hammaddeler ve miktarları

Madde	Atık	H_3BO_3	Na_2CO_3
Miktar (gr)	85	21.3	6.6

Çizelge 6. 8 II. Teknik (Pyrex) cam karışımının bileşimi

SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
76	12	3.27	1.8	0.225	3	1.437	100

Çizelge 6. 9 II. Teknik (Pyrex) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler

Süre(dk)	Sıcaklık °C	Numunenin değişimi
0	0	-
20	230	Gaz çıkışı
55	525	Gaz çıkışı sona erdi
75	740	Yüzeyde tabakalaşma oluştu (Şekil 6.9).
140	1000	Numune merkezde toplanmıştır. Pota kenarlarında ergime başlamıştır.
195	1100	Malzeme ergimeye başlamıştır.
305	1250	Ergimeye devam ediyor
350	1350	Ergime tamamlanmıştır.



Şekil 6. 9 II. Teknik (Pyrex) cam üretiminde 740°C'deki yüzeydeki tabakalaşma görüntüsü



Şekil 6. 10 II. Teknik (Pyrex) cam numunesinin soğuduktan sonraki görüntüsü
(Oda sıcaklığında galvaniz saça dökülmüştür)

6.2.1.3 III. Teknik (Pyrex) cam karışımı

Teknik (Pyrex) cam üretimi için Bergama'dan gelen katı atıktan 80 gr, H_3BO_3 26.61 gr ve son olarak da 10.96 gr Na_2CO_3 ilave edilerek bir karışım hazırlanmıştır. Karışım $1325^\circ C$ 'de ergime sürecini tamamlamıştır. Ergime sonucunda oluşan numune III. teknik (Pyrex) cam olarak adlandırılmıştır. Cam oda sıcaklığında galvaniz saça dökülerek soğutulmuştur (Şekil 6.11).

Çizelge 6. 10 III. Teknik (Pyrex) cam üretimi için kullanılan hammaddeler ve miktarları

Madde	Atık	H_3BO_3	Na_2CO_3
Miktar (gr)	80	26.61	10.96

Çizelge 6. 11 III. Teknik (Pyrex) cam karışımının bileşimi

SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
71.5	15	3.08	1.7	0.24	5	1.35	100

Çizelge 6. 12 III. Teknik (Pyrex) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler

Süre(dk)	Sıcaklık °C	Numunenin değişimi
0	0	-
20	250	Gaz çıkışı
50	500	Gaz çıkışı sona erdi
70	700	Yüzeyde tabakalaşma oluşmuştur.
110	1000	Numune merkezde toplanmıştır. Pota kenarlarında ergime başlamıştır.
140	1100	-
200	1250	Ergimeye devam etmektedir.
260	1325	Ergime tamamlanmıştır.



Şekil 6. 11 III. Teknik (Pyrex) camın soğuduktan sonraki görüntüsü
(Oda sıcaklığında galvaniz saça dökülmüştür)

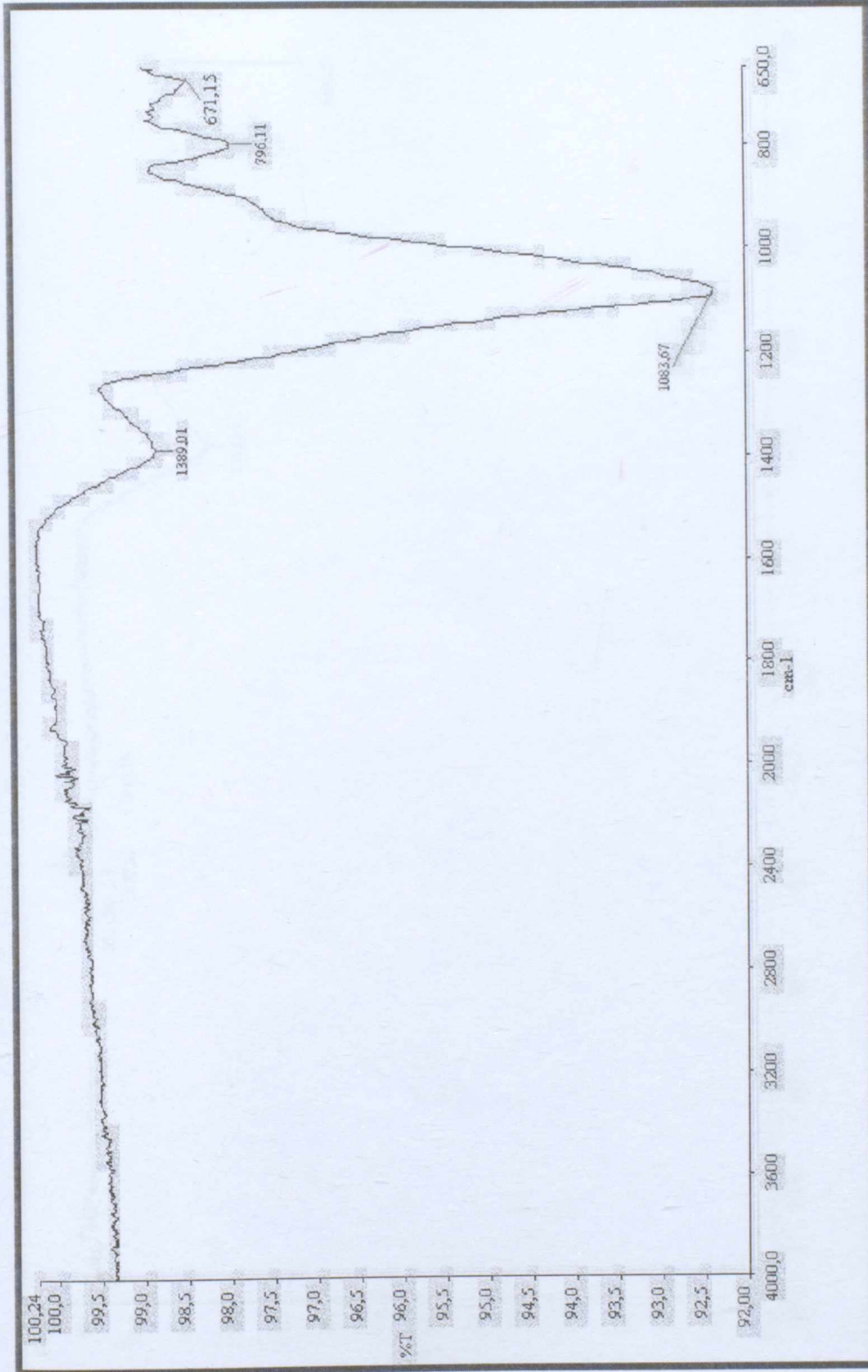
6.2.1.4 Teknik (Pyrex) cam numunelerinin FT-IR sonuçları

Elde edilen camların fonksiyonel bağ yapısı 4000–650 cm^{-1} dalga boyları arasındaki FT-IR Spektrometrik yöntemle incelenmiştir. Numune uygun oranda KBr tozu ile karıştırılarak tablet haline getirilmiş ve FT-IR analizine hazırlanmıştır.

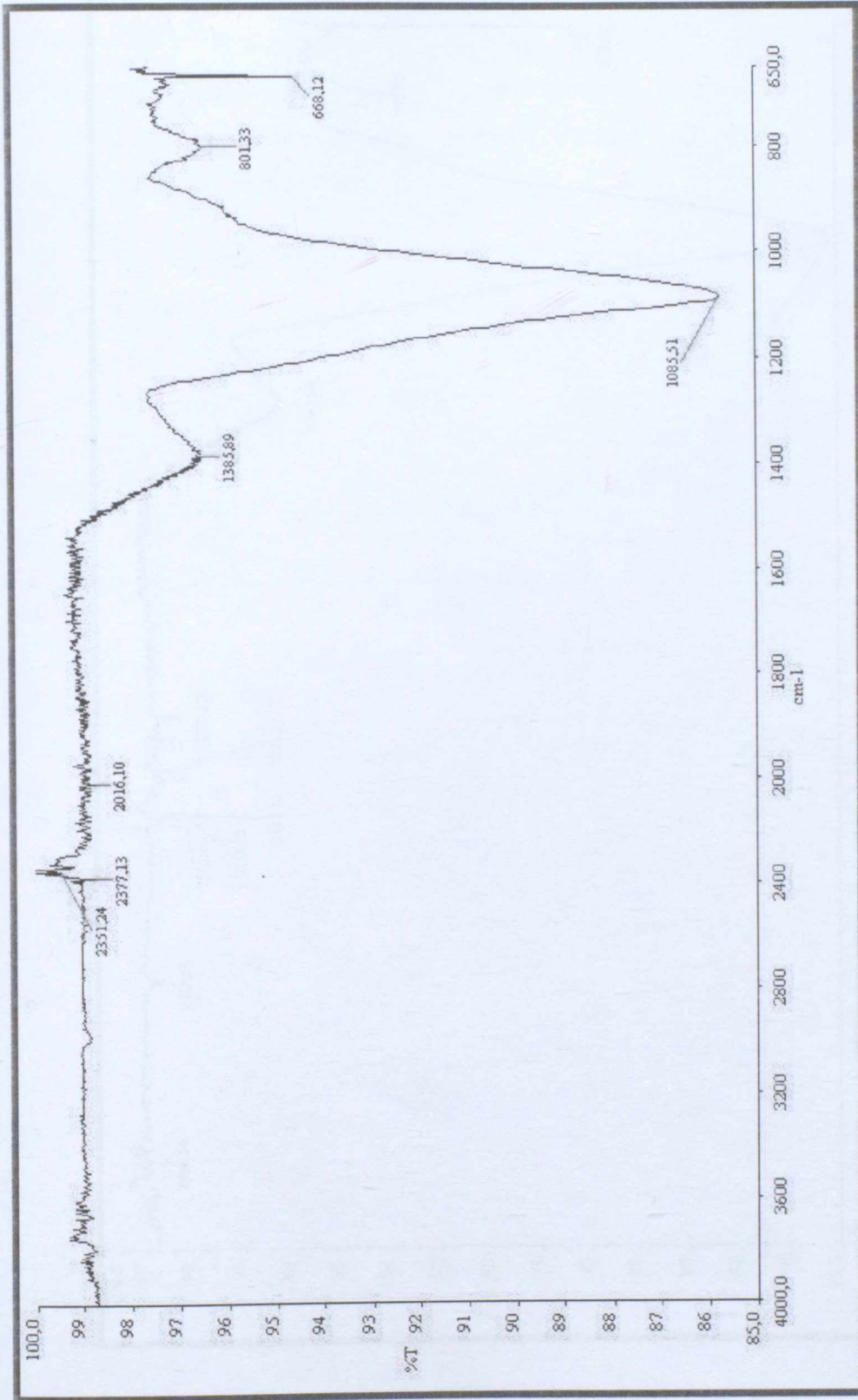
I. Teknik (Pyrex) cam numunesinin fonksiyonel gruplarının absorpsiyon bantları Şekil 6.12’de görülmektedir. 1389.01 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandında B-O’dan kaynaklanan gerilme titreşimleri çeşitli BO_3 gruplarından kaynaklanmaktadır (Kamitsos ve ark., 1989). 1083.67 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998). SiO_4 asimetric Si-O-Si kıvrımını (SiO_2) gösteren absorpsiyon bandı 779.11 cm^{-1} görülmektedir (Yang ve ark, 2001). B-O-B titreşiminden kaynaklanan absorpsiyon bandı ise 671.15 cm^{-1} de görülmektedir (Fuxi, 1991).

II. Teknik (Pyrex) cam numunesinin fonksiyonel gruplarının absorpsiyon bantları Şekilde 6.13’de görülmektedir. Verilen spektruma göre 3235.24, 2377.13, 2016.10 cm^{-1} aralığında O-H bağlarından, 1385.89 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandında B-O’dan kaynaklanan gerilme titreşimleri çeşitli BO_3 gruplarından kaynaklanmaktadır (Kamitsos ve ark., 1989). 1085.51 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998). SiO_4 asimetric Si-O-Si kıvrımını (SiO_2) gösteren absorpsiyon bandı 801.33 cm^{-1} görülmektedir (Yang ve ark, 2001). B-O-B titreşiminden kaynaklanan absorpsiyon bandı ise 668.12 cm^{-1} de görülmektedir (Fuxi, 1991).

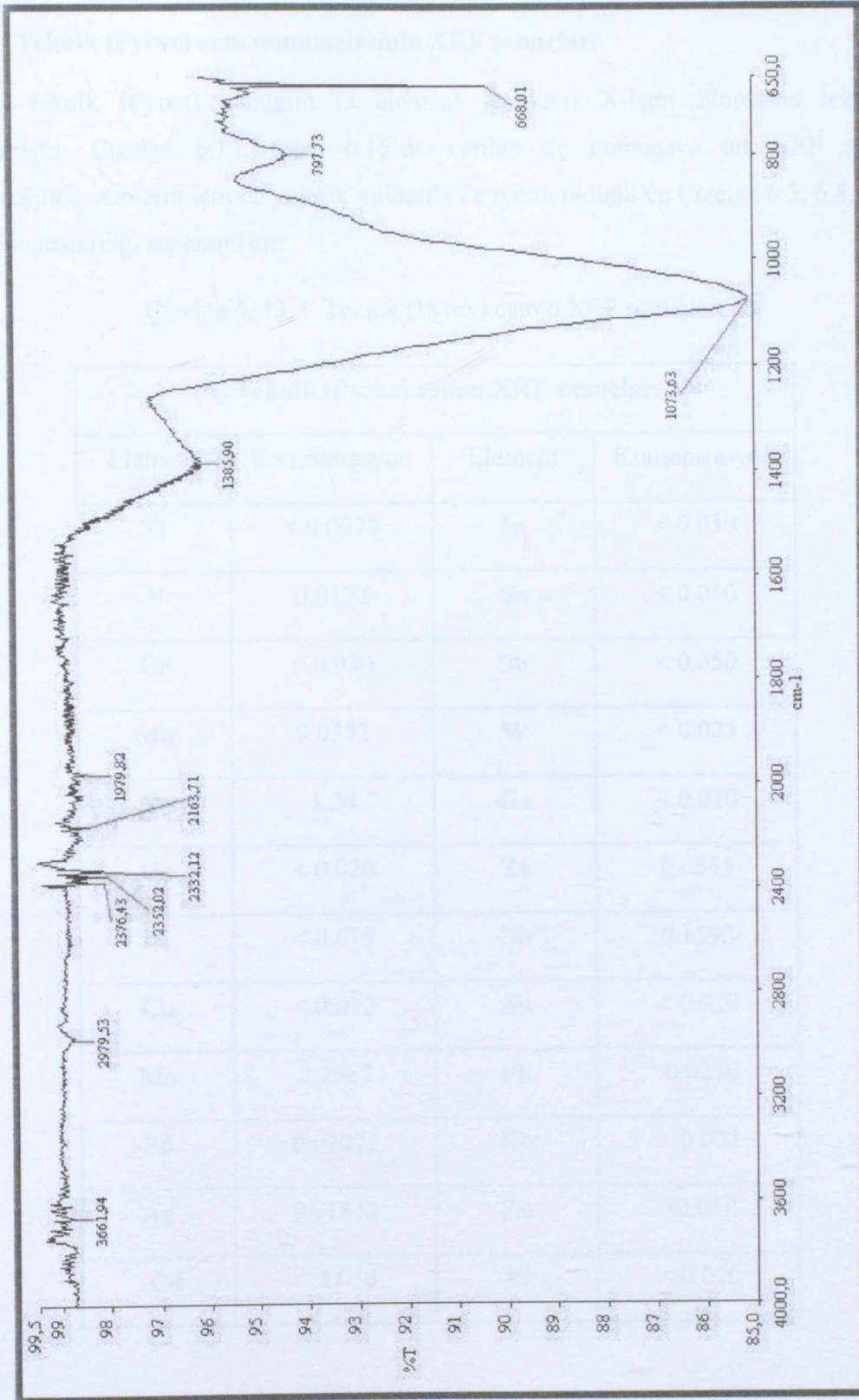
II. Teknik (Pyrex) cam numunesinin fonksiyonel gruplarının absorpsiyon bantları Şekilde 6.14’de görülmektedir. Verilen spektruma göre 3661.94, 2979.53, 2376.43, 2352.02, 2332.12, 2163.71, 1979.82 cm^{-1} aralığında O-H bağlarından, 1385.90 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandında B-O’dan kaynaklanan gerilme titreşimleri çeşitli BO_3 gruplarından kaynaklanmaktadır (Kamitsos ve ark., 1989). 1073.63 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998). SiO_4 asimetric Si-O-Si kıvrımını (SiO_2) gösteren absorpsiyon bandı 797.73 cm^{-1} görülmektedir (Yang ve ark, 2001). B-O-B titreşiminden kaynaklanan absorpsiyon bandı ise 668.01 cm^{-1} de görülmektedir (Fuxi, 1991).



Şekil 6. 12 I. Teknik (Pyrex) camın FT-IR spektrumu



Şekil 6. 13 II. Teknik (Pyrex) camın FT-IR spektrumu



Şekil 6. 14 III. Teknik (Pyrex) camın FT-IR spektrumu

6.2.1.5 Teknik (Pyrex) cam numunelerinin XRF sonuçları

Üretilen teknik (Pyrex) camların iz element içerikleri X-Işını Floresans tekniği ile incelenmiştir. Çizelge 6.13, 6.14, 6.15'de verilen üç numuneye ait XRF sonuçları incelendiğinde camların için de yüksek miktarda Fe iyonu olduğu ve Çizelge 6.5, 6.8, 6.11 ile paralellik gösterdiği saptanmıştır.

Çizelge 6. 13- I. Teknik (Pyrex) camın XRF sonuçları

I. Teknik (Pyrex) camın XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	< 0.0077	In	< 0.030
V	0.0172	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	0.0352	W	< 0.025
Fe	1.24	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	0.0555
Ni	< 0.015	Nb	0.1590
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.2687	Pb	0.0256
Pd	0.02071	Rh	< 0.002
Ag	0.01812	Zn	<0.010
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020

Çizelge 6. 14 II. Teknik (Pyrex) camın XRF sonuçları

II. Teknik (Pyrex) camın XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	< 0.0068	In	< 0.030
V	< 0.035	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	0.0242	W	< 0.025
Fe	1.26	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	0.05017
Ni	< 0.015	Nb	0.1125
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.2275	Pb	0.01842
Pd	0.01861	Rh	< 0.002
Ag	0.01850	Zn	<0.010
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020

Çizelge 6. 15 III. Teknik (Pyrex) camın XRF sonuçları

III. Teknik (Pyrex) camın XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	< 0.0074	In	< 0.030
V	0.0152	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	0.0326	W	< 0.025
Fe	1.19	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	0.05658
Ni	< 0.015	Nb	0.1473
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.2617	Pb	0.0222
Pd	0.02071	Rh	< 0.002
Ag	0.01945	Zn	< 0.010
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020

6.2.2 Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi ve deneysel sonuçları

Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için Bergama'dan gelen katı atığa değişik oranda katkı maddeler ilave edilerek üç karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlardan oluşan ürünler sırasıyla I. yüksek alüminalı (Supremax) cam, II. yüksek alüminalı (Supremax) cam, III. yüksek alüminalı (Supremax) cam olarak adlandırılmışlardır. Üretilmek istenen yüksek alüminalı (Supremax) camların bileşimlerinin Çizelge 4.4 'deki standart yüksek alüminalı (Supremax) camın bileşim değerleri ile paralellik gösterdiği kimyasal hesaplama yöntemleriyle belirlenmiştir.

6.2.2.1 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımı

Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için Bergama'dan gelen atıktan 60 gr, boraks üretimi atığından 40 gr, $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ 'den 8.736 gr ve Al_2O_3 'den 17.86 gr ilave edilerek bir karışım hazırlanmıştır. Karışım $1300^\circ C$ 'de ergime sürecini tamamlamıştır. Ergime sonucunda oluşan numune I. yüksek alüminalı (Supremax) cam olarak adlandırılmıştır. Cam oda sıcaklığında galvaniz saça dökülerek soğutulmuştur (Şekil 6.19).

Çizelge 6. 16 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için kullanılan hammaddeler

Madde	Atık	Atık2	Al_2O_3	$MgSO_4$
Miktar (gr)	60	40	17.87	8.736

Çizelge 6. 17 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımının bileşimi

SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
55.1	5.1	21.6	1.406	7.94	5.76	2.28	1.27	100

Çizelge 6. 18 Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler

Süre(dk)	Sıcaklık °C	Numunenin değişimi
0	0	-
15	500	Gaz çıkışı
25	650	Gaz çıkışı sona erdi
55	830	Değişiklik yok
75	900	Değişiklik yok
85	960	Değişiklik yok
95	1000	Değişiklik yok
190	1160	Kısmi ergime gerçekleşmiştir (Şekil 6.15).
240	1270	Üzerinde saydam ve sağlam bir yüzey oluşturdu. Buda malzemenin ergimesi açısından bazı sorunlarla karşılaşmasına neden oldu. Malzeme 625 °C'deki görsel gaz çıkışlarına bu sıcaklıkta da devam etmiş, maddenin dış yüzeyi saydam olduğundan dolayı gaz çıkışı engellenmiştir. Bu gaz basıncından dolayı köpük yapmış ve malzeme taşmaya başlamıştır (Şekil 6.14).
270	1300	Ergime tamamlanmıştır (Şekil 6.17).



Şekil 6. 15 I.Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimindeki 1160 °C'de ki durumu



Şekil 6. 16 1270°C'de I. yüksek alüminalı (Supremax) camın ergitme kabının yüzeyi



Şekil 6. 17 1300°C'de I. yüksek alüminalı (Supremax) camın ergime görüntüsü



Şekil 6. 18 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin soğuma görüntüsü



Şekil 6. 19 I. Yüksek alüminalı (Supremax) camın soğuduktan sonraki görüntüsü



Şekil 6. 20 I. Yüksek alüminalı (Supremax) camın kontrollü soğuduktan sonraki görüntüsü

6.2.2.2 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımı

Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için Bergama'dan gelen atıktan 60 gr, H_3BO_3 'den 17.74 gr, $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ 'dan 30 gr ve son olarak Al_2O_3 'den 20 gr ilave edilerek bir karışım hazırlanmıştır. Karışım $1350^\circ C$ 'de ergime sürecini tamamlamıştır. Ergime sonucunda oluşan numune II. yüksek alüminalı (Supremax) cam olarak adlandırılmıştır. Cam oda sıcaklığında galvaniz saça dökülerek soğutulmuştur (Şekil 6.21).

Çizelge 6. 19 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için kullanılan hammaddeler

Madde	Atık	H_3BO_3	Al_2O_3	$MgSO_4$
Miktar (gr)	60	17.74	20	30

Çizelge 6. 20 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımının bileşimi

SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
53.6	10	22.3	1.272	10	1.01	100

Çizelge 6. 21 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler

Süre(dk)	Sıcaklık °C	Numunenin değişimi
0	0	-
20	240	Gaz çıkışı
55	525	Gaz çıkışı sona erdi
75	740	Yüzeyde tabakalaşma oluştu.
140	1000	Kabarma meydana gelmiştir.
195	1100	Numune sert bir tabaka oluşturdu.
305	1250	Ergimeye devam ediyor
350	1350	Ergime tamamlanmıştır.



Şekil 6. 21 II. Yüksek alüminalı (Supremax) camın soğuduktan sonraki görüntüsü

(Oda sıcaklığında galvaniz saça dökülmüştür)

6.2.2.3 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımı

Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için Bergama'dan gelen atıktan 60 gr, H_3BO_3 'den 17.74 gr, $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ 'dan 30 gr, $CaCO_3$ 'den 8.92 gr ve Al_2O_3 'den 15 gr ilave edilerek bir karışım hazırlanmıştır. Karışım $1325^\circ C$ 'de ergime sürecini tamamlamıştır. Ergime sonucunda oluşan numune III. yüksek alüminalı (Supremax) cam olarak adlandırılmıştır. Cam oda sıcaklığında galvaniz saça dökülerek soğutulmuştur (Şekil 6.25).

Çizelge 6. 22 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretimi için kullanılan hammaddeler

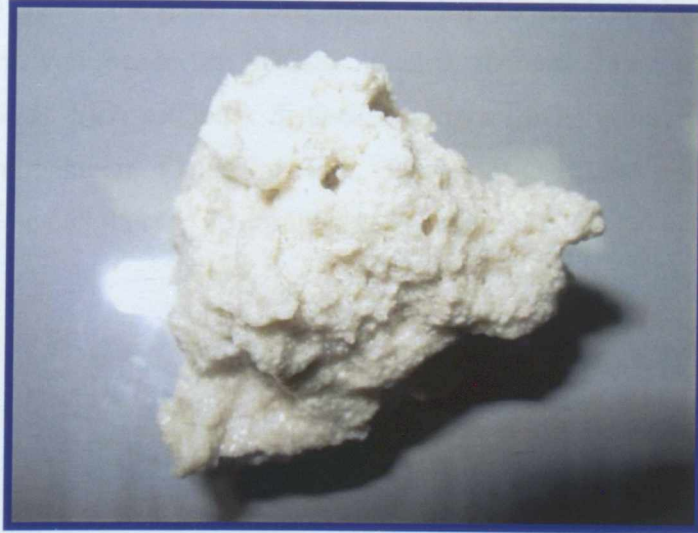
Madde	Atık	H_3BO_3	Al_2O_3	$MgSO_4$	$CaCO_3$
Miktar (gr)	60	17.74	15	30	8.92

Çizelge 6. 23 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam karışımının bileşimi

SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	CaO	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
53.6	10	17.3	1.272	10	1.01	5	100

Çizelge 6. 24 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler

Süre(dk)	Sıcaklık °C	Numunenin değişimi
0	0	-
20	250	Gaz çıkışı
50	500	Gaz çıkışı sona erdi
70	700	Yüzeyde tabakalaşma oluşmuştur.
110	1000	Sıcaklığın artmasıyla yüzeyde camsı bir tabaka oluşmuştur. Karışım içindeki SO ₃ ,CO ₂ gazlarının kabın yüzeyine basınç yapmasından dolayı kabarma gözlenmiştir.
140	1100	Kabarma devam etmiştir.
200	1250	Ergimeye devam ediyor
260	1325	Ergime tamamlanmıştır.



Çizelge 6. 25 III. Yüksek alüminalı (Supremax) camın soğuduktan sonraki görüntüsü
(Oda sıcaklığında galvaniz saça dökülmüştür)

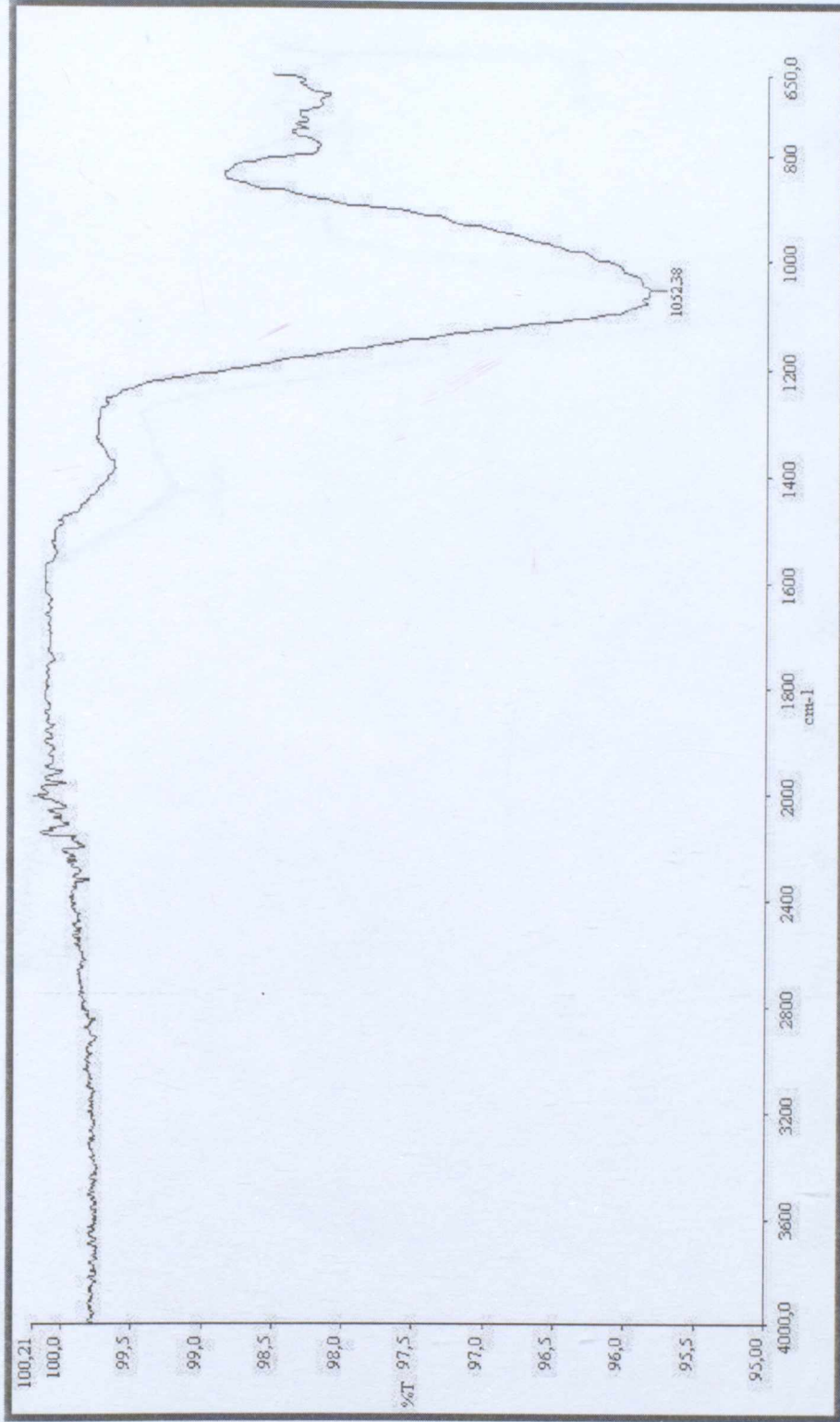
6.2.2.4 Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunelerinin FT-IR sonuçları

Elde edilen camların fonksiyonel bağ yapısı 4000–650 cm^{-1} dalga boyları arasındaki FT-IR Spektrometrik yöntemle incelenmiştir. Numune uygun oranda KBr tozu ile karıştırılarak tablet haline getirilmiş ve FT-IR analizine hazırlanmıştır.

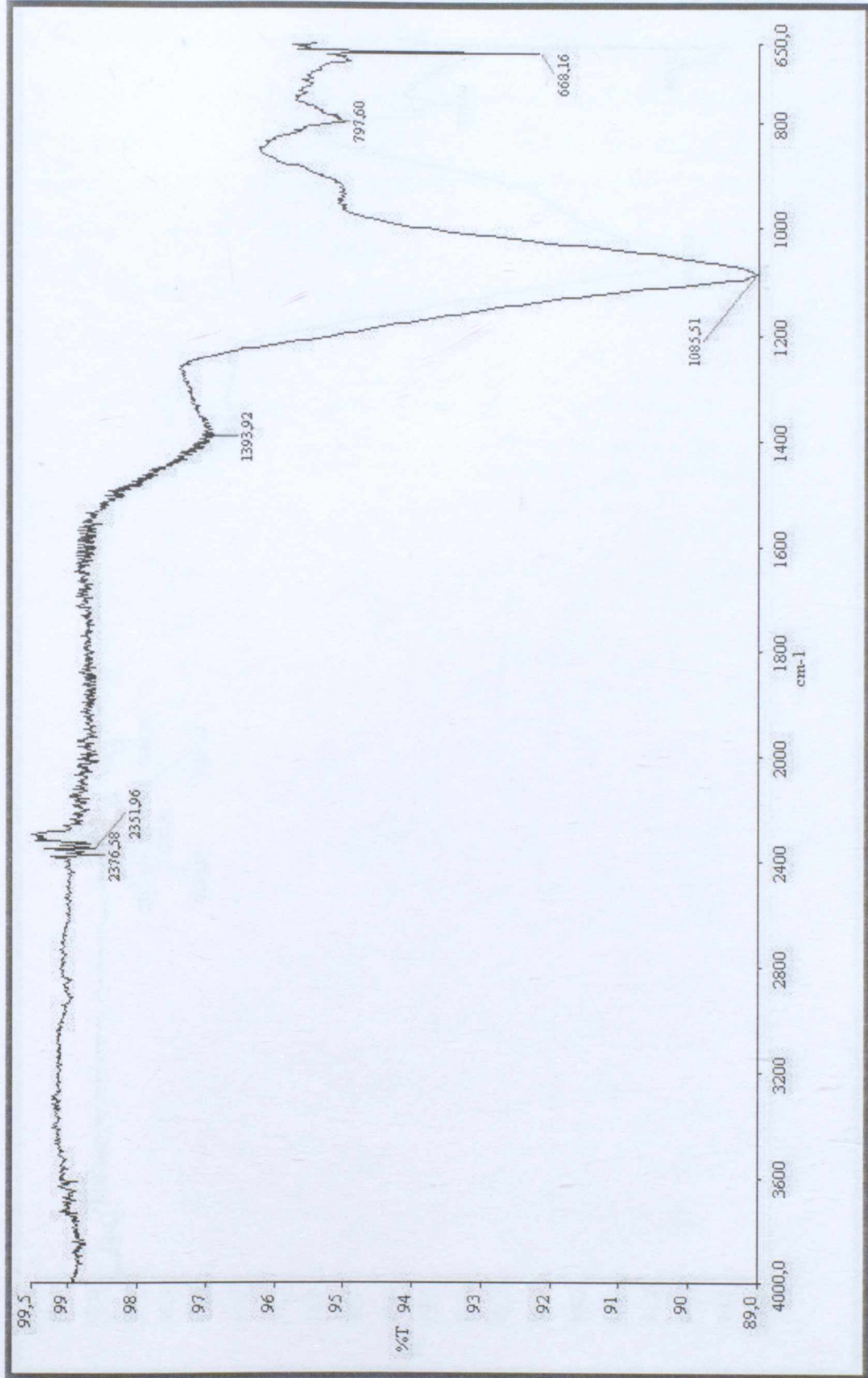
I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesindeki fonksiyonel grupların absorpsiyon bantları Şekil 6.22’de görülmektedir. 1052.38 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998).

II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin fonksiyonel gruplarının absorpsiyon bantları Şekilde 6.23’de görülmektedir. Verilen spektruma göre 2876.68, 2351.96 cm^{-1} aralığında O-H bağlarından, 1393.92 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandında B-O’dan kaynaklanan gerilme titreşimleri çeşitli BO_3 gruplarından kaynaklanmaktadır (Kamitsos ve ark., 1989). 1085.51 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998). SiO_4 asimetric Si-O-Si kıvrımını (SiO_2) gösteren absorpsiyon bandı 797.60 cm^{-1} görülmektedir (Yang ve ark, 2001). B-O-B titreşiminden kaynaklanan absorpsiyon bandı ise 668.16 cm^{-1} de görülmektedir (Fuxi, 1991).

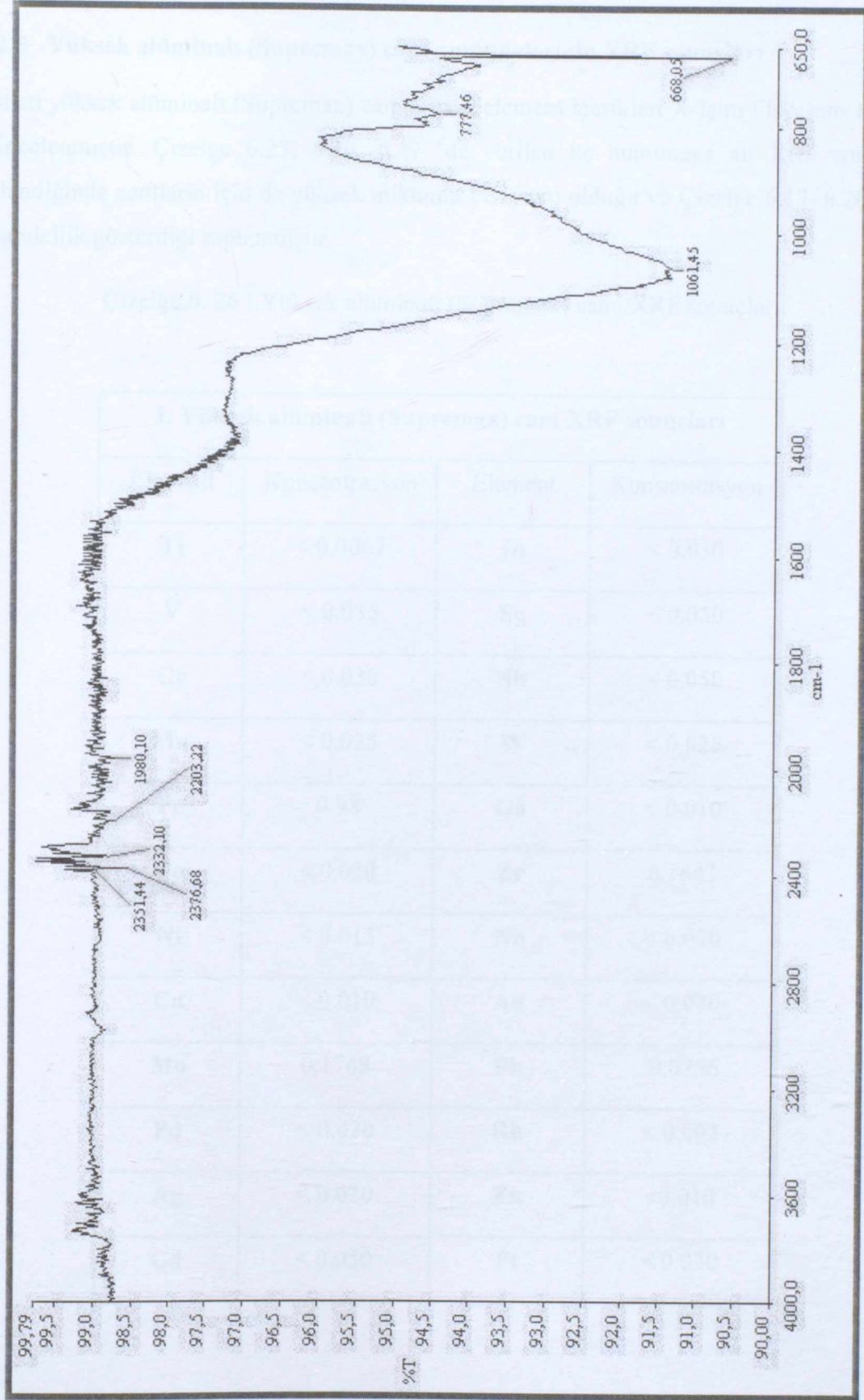
III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin fonksiyonel gruplarının absorpsiyon bantları Şekilde 6.24’de görülmektedir. Verilen spektruma göre 2351.44, 2376.68, 2332.10, 2203.22, 1980.10 cm^{-1} aralığında O-H bağlarından kaynaklanmaktadır. 1061.45 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998). SiO_4 asimetric Si-O-Si kıvrımını (SiO_2) gösteren absorpsiyon bandı 777.46 cm^{-1} görülmektedir (Yang ve ark, 2001). B-O-B titreşiminden kaynaklanan absorpsiyon bandı ise 668.05 cm^{-1} de görülmektedir (Fuxi, 1991).



Şekil 6. 22 I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin FT-IR spektrumu



Şekil 6.23 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin FT-IR spektrumu



Şekil 6. 24 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunesinin FT-IR spektrumu

6.2.2.5 Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunelerinin XRF sonuçları

Üretilen yüksek alüminalı (Supremax) camların iz element içerikleri X-Işını Floresans tekniği ile incelenmiştir. Çizelge 6.25, 6.26, 6.27 'de verilen üç numuneye ait XRF sonuçları incelendiğinde camların için de yüksek miktarda Fe iyonu olduğu ve Çizelge 6.17, 6.20, 6.23 ile paralellik gösterdiği saptanmıştır.

Çizelge 6. 26 I.Yüksek alüminalı (Supremax) cam XRF sonuçları

I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	< 0.0067	In	< 0.030
V	< 0.035	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	< 0.025	W	< 0.025
Fe	0.98	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	0.1643
Ni	< 0.015	Nb	< 0.020
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.1748	Pb	0.0256
Pd	< 0.020	Rh	< 0.002
Ag	< 0.020	Zn	<0.010
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020

Çizelge 6. 27 II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam XRF sonuçları

II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	< 0.0072	In	< 0.030
V	< 0.0138	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	< 0.0229	W	< 0.025
Fe	0.89	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	0.05851
Ni	< 0.015	Nb	0.1502
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.1748	Pb	0.01825
Pd	< 0.020	Rh	< 0.002
Ag	0.02349	Zn	<0.010
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020

Çizelge 6. 28 III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam XRF sonuçları

III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	< 0.0052	In	< 0.030
V	< 0.035	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	< 0.025	W	< 0.025
Fe	0.89	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	< 0.050
Ni	< 0.015	Nb	0.09989
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.1692	Pb	0.020
Pd	< 0.020	Rh	< 0.002
Ag	< 0.020	Zn	< 0.010
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020

6.2.3 Düz cam üretimi ve deneysel sonuçlar

Düz cam üretimi için Bergama'dan gelen katı atığa değişik oranda katkı maddeler ilave edilerek üç karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlardan oluşan ürünler sırasıyla I. düz cam, II. düz cam, III. düz cam olarak adlandırılmışlardır. Üretilmek istenen düz camların bileşimlerinin Çizelge 4.4 'deki standart düz camın bileşim değerleri ile paralellik gösterdiği kimyasal hesaplama yöntemleriyle belirlenmiştir

6.2.3.1 I. Düz cam karışımı

Düz cam üretimi için Bergama'dan gelen atık çamurdan 80 gr, Na_2CO_3 'dan 26.13 gr, CaCO_3 'dan 12.3 gr ve $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ 'dan 10.8 gr ilave edilerek bir karışım hazırlanmıştır. 1282 °C de ergime sürecini tamamlayan cam oda sıcaklığında galvaniz saça veya su içine boşaltılarak şoklama yöntemiyle soğutulmuştur (Şekil 6.27, 6.28).

Çizelge 6. 29 I. Düz cam üretimi için kullanılan hammaddeler

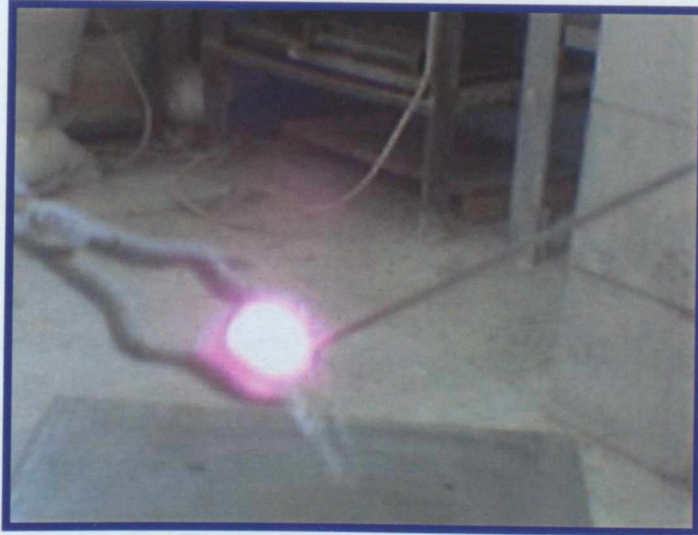
Madde	Atık	CaCO_3	Na_2CO_3	MgSO_4
Miktar (gr)	80	12.3	26.07	10.8

Çizelge 6. 30 I. Düz cam karışımının bileşimi

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
68.0	2.927	1.61	3.6	7.2	14.06	1.28	100

Çizelge 6. 31 I. Düz cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler

Süre(dk)	Sıcaklık °C	Numunenin değişimi
0	0	-
15	500	Değişiklik yok
70	900	Değişiklik yok
80	950	Ergime yok
95	1000	Ergime yok
125	1050	Cam faza geçiş başlamıştır. Sıcaklığın artmasıyla SO ₃ ve CO ₂ gaz çıkışları gözlenmiştir. Fakat yüzeyde oluşan camsı tabakanın gaz çıkışını engellediği görülmüştür.
127	1055	Ergime devam etmektedir.
165	1081	Yüzeyde oluşan camsı tabaka delinerek gazların dışarı çıkması sağlanmıştır. Malzeme ilave edilmiştir.
225	1282	Ergime tamamlanmıştır (Şekil 6.26).



Şekil 6. 25 1282°C 'de I. düz camın ergime sürecinin tamamlanış görüntüsü



Şekil 6. 26 Üretilen I.düz camın soğuduktan sonraki görüntüsü
(Oda sıcaklığında galvaniz saça dökülmüştür.)



Şekil 6. 27 Üretilen I. düz camın soğuduktan sonraki görüntüsü
(Su içine boşaltılarak şoklama yöntemiyle soğutulmuştur.)

6.2.3.2 II. Düz cam karışımı

Düz cam üretimi için Bergama'dan gelen atık çamurdan 85 gr ve Na_2CO_3 'dan 25.72 gr ilave edilerek bir karışım hazırlanmıştır. 1250 °C'de ergime sürecini tamamlayan cam oda sıcaklığında galvaniz saça boşaltılmıştır.

Çizelge 6. 32 II. Düz cam üretimi için kullanılan hammaddeler

Madde	Atık	Na ₂ CO ₃
Miktar (gr)	85.0	25.72

Çizelge 6. 33 II. Düz cam karışımının bileşimi

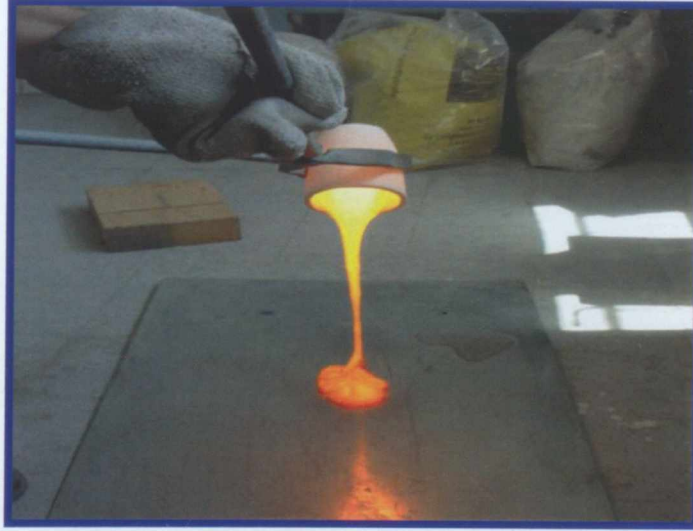
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
76.0	3.25	1.80	0.255	15.085	1.436	100

Çizelge 6. 34 II. Düz cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler

Süre(dk)	Sıcaklık °C	Numunenin değişimi
0	0	-
15	500	Değişiklik yok
25	650	Değişiklik yok
55	830	Değişiklik yok
75	900	Değişiklik yok
85	960	Değişiklik yok
95	1000	Malzemenin üst yüzeyi cam faza geçmeye başlamıştır.
110	1040	Ergime görülmeye başlamıştır.
190	1215	Eriyik faza tam geçmiştir (Şekil 6.23).
240	1250	Malzeme istenilen kıvama gelmiş kolay akabilen bir yapı oluşmuştur (Şekil 6.24).



Şekil 6. 28 1215°C 'de II. düz cam numunesi



Şekil 6. 29 II. Düz cam numunesinin 1250°C 'deki galvaniz saça dökülüş görüntüsü



Şekil 6. 30 Galvaniz saça dökülen II. düz camın soğuduktan sonraki görüntüsü



Şekil 6. 31 Galvaniz saça dökülen II. düz camın kontrollü soğuduktan sonraki görüntüsü

6.2.3.3 III. Düz cam karışımı

Düz cam üretimi için Bergama'dan gelen atık çamurdan 78 gr, Na_2CO_3 'dan 33 gr ve CaCO_3 'dan 12.5 gr ilave edilerek bir karışım hazırlanmıştır. 1250°C de ergime sürecini tamamlayan cam oda sıcaklığında galvaniz saça boşaltılarak soğutulmuştur (Şekil 6.33).

Çizelge 6. 35 III. Düz cam üretimi için kullanılan hammaddeler

Madde	Atık	CaCO_3	Na_2CO_3
Miktar (gr)	78	33	12.5

Çizelge 6. 36 III. Düz cam karışımının bileşimi

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	Toplam
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
70	3	1.65	7	15	1.31	100

Çizelge 6. 37 III. Düz cam üretiminde deneysel sonuç ve gözlemler

Süre(dk)	Sıcaklık °C	Numunenin değişimi
0	0	-
40	520	Değişiklik yok
70	700	Değişiklik yok
100	900	Numunede tabakalaşma görülmüştür.
120	1000	Değişiklik yok
140	1030	Değişiklik yok
200	1130	Viskozitesi artmıştır.
260	1200	Ergime süreci başlamıştır.
300	1250	Ergime tamamlanmıştır.(Şekil 6.20)



Şekil 6. 32 1250°C 'de III. düz cam üretiminde soğuduktan sonraki görüntüsü
(Oda sıcaklığında galvaniz saça dökülmüştür.)

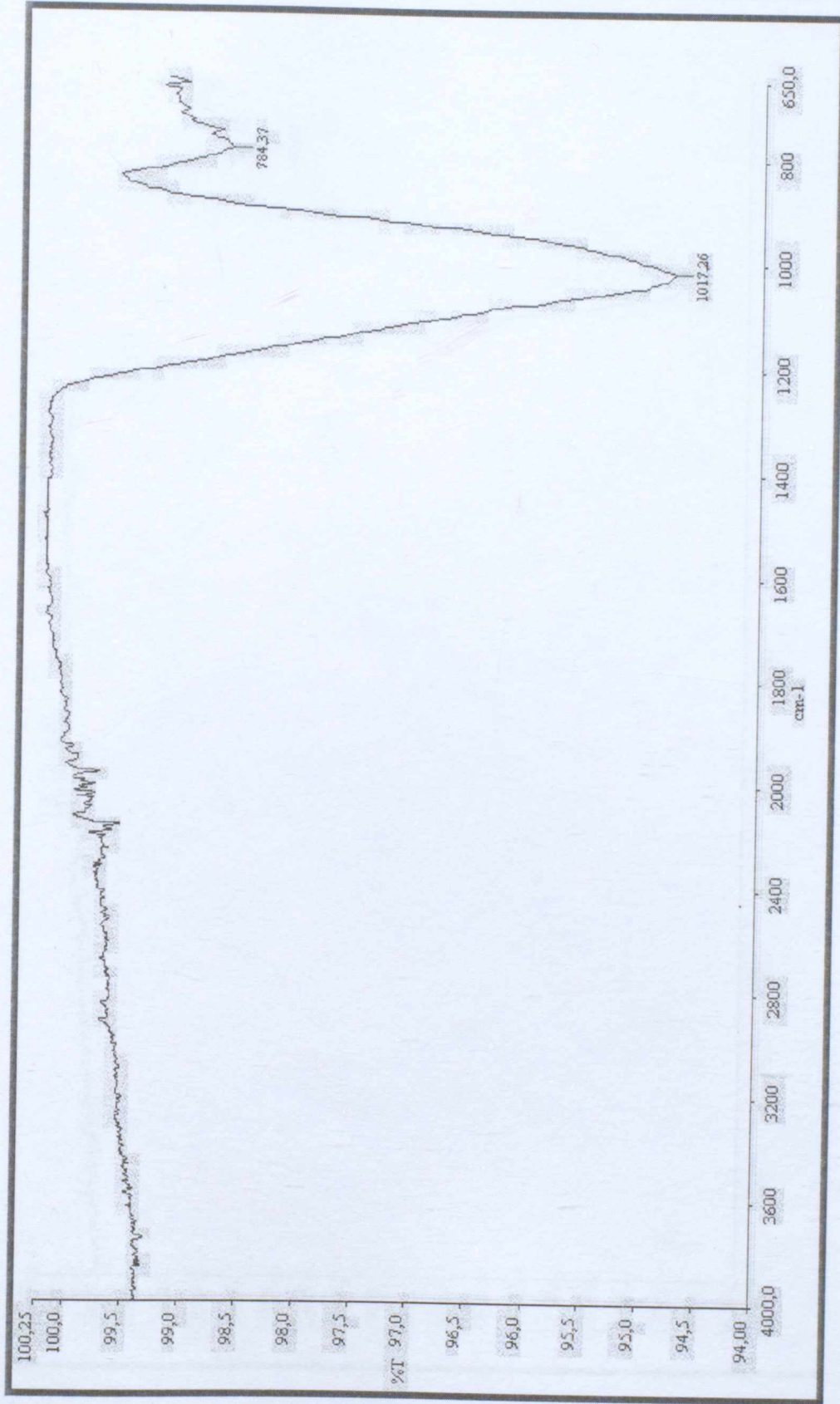
6.2.3.4 Düz cam numunelerinin FT-IR sonuçları

Elde edilen camların fonksiyonel bağ yapısı 4000–650 cm^{-1} dalga boyları arasındaki FT-IR Spektrometrik yöntemle incelenmiştir. Numune uygun oranda KBr tozu ile karıştırılarak tablet haline getirilmiş ve FT-IR analizine hazırlanmıştır.

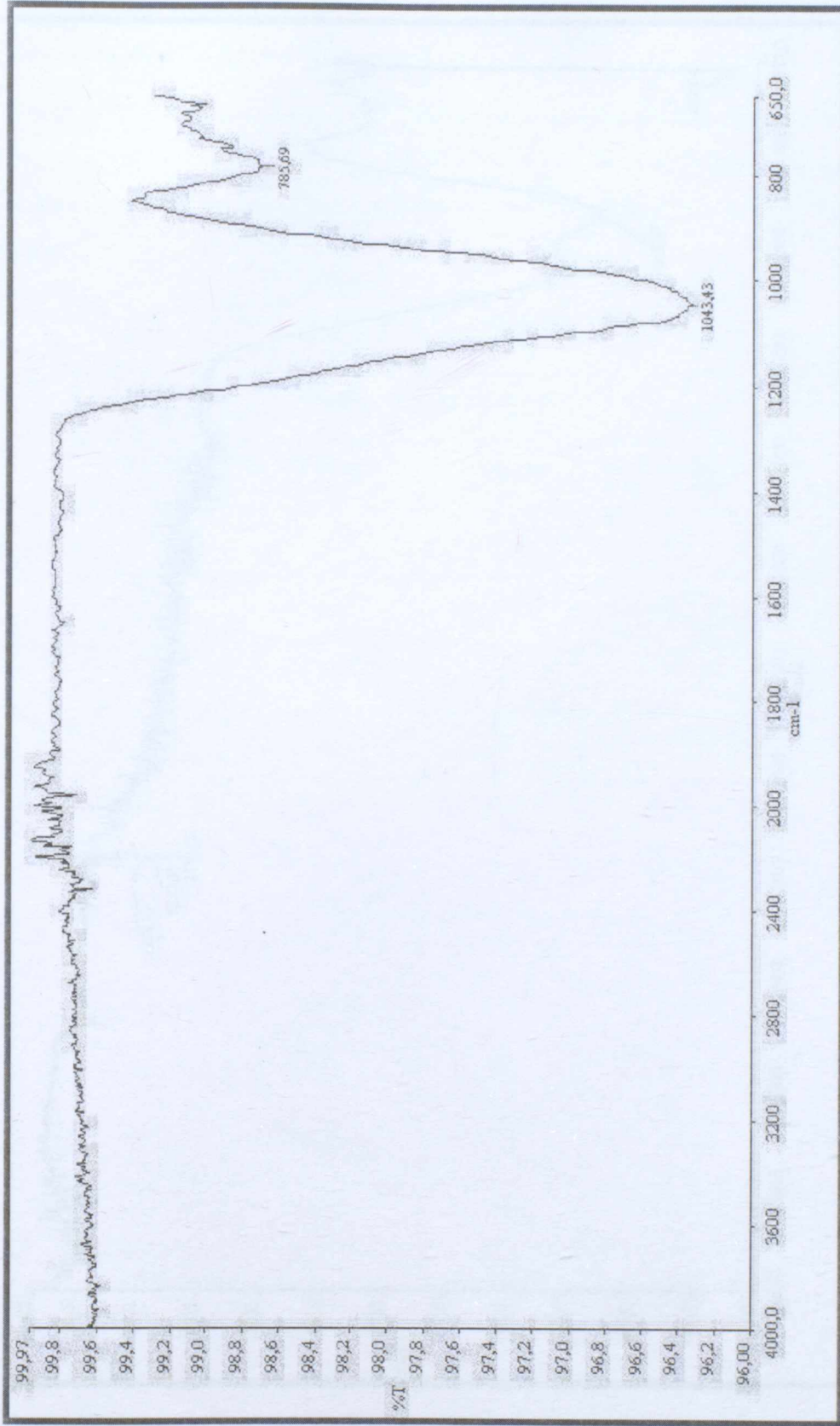
I. Düz cam numunesindeki fonksiyonel grupların absorpsiyon bantları Şekil 6.33'de görülmektedir. 1017.26 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998). SiO_4 asimetrik Si-O-Si kıvrımını (SiO_2) gösteren absorpsiyon bandı 784.37 cm^{-1} görülmektedir (Yang ve ark, 2001).

II. Düz cam numunesindeki fonksiyonel grupların absorpsiyon bantları Şekil 6.34'de görülmektedir. 1043.43 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998). SiO_4 asimetrik Si-O-Si kıvrımını (SiO_2) gösteren absorpsiyon bandı 785.69 cm^{-1} görülmektedir (Yang ve ark, 2001).

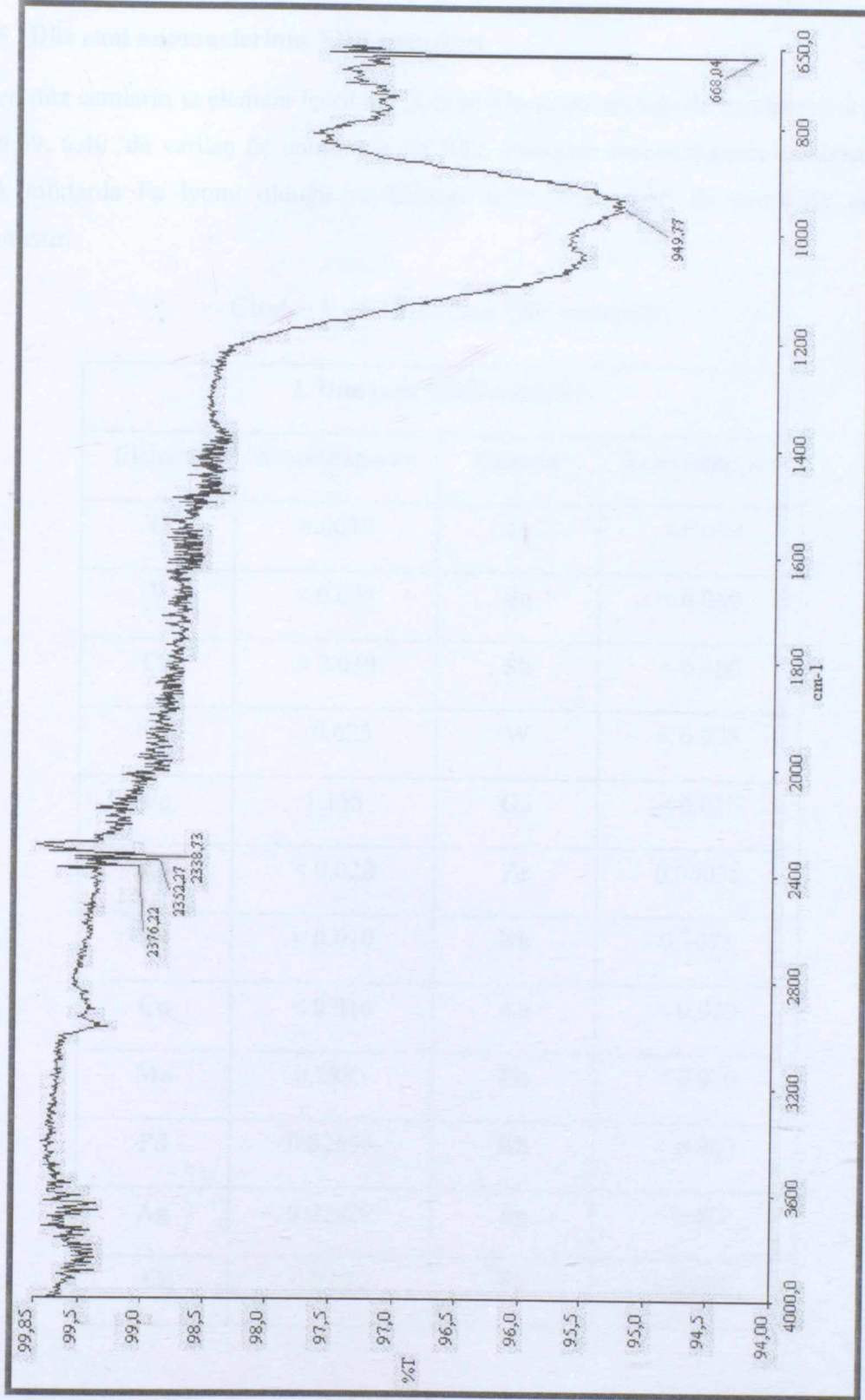
III. Düz cam numunesindeki fonksiyonel grupların absorpsiyon bantları Şekil 6.35'de görülmektedir. Verilen spektruma göre 2376.22, 2352.27, 2338.73 cm^{-1} aralığında O-H bağlarından, 949.77 cm^{-1} değerindeki absorpsiyon bandı ise Si-O-Si simetrik dairesel yapıdan kaynaklanmaktadır (Rubio ve ark., 1998). SiO_4 asimetrik Si-O-Si kıvrımını (SiO_2) gösteren absorpsiyon bandı 668.04 cm^{-1} görülmektedir (Yang ve ark, 2001).



Şekil 6. 33 I. Düz cam numunesinin FT-IR spektrumu



Şekil 6. 34 II. Düz cam numunesinin FT-IR spektrumu



Şekil 6. 35 III. Düz cam numunesinin FT-IR spektrumu

6.2.3.5 Düz cam numunelerinin XRF sonuçları

Üretilen düz camların iz element içerikleri X-Işını Floresans tekniği ile incelenmiştir. Çizelge 6.38, 6.39, 6.40 'da verilen üç numuneye ait XRF sonuçları incelendiğinde camların için de yüksek miktarda Fe iyonu olduğu ve Çizelge 6.29, 6.32, 6.35 ile paralellik gösterdiği saptanmıştır.

Çizelge 6. 38 I.Düz cam XRF sonuçları

I. Düz cam XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	0.0070	In	< 0.030
V	< 0.035	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	<0.025	W	< 0.025
Fe	1.155	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	0.06035
Ni	< 0.010	Nb	0.1071
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.2885	Pb	< 0.020
Pd	0.02695	Rh	< 0.002
Ag	0.02420	Zn	<0.010
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020

Çizelge 6. 39 II. Düz cam XRF sonuçları

II. Düz cam XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	< 0.0073	In	< 0.030
V	0.0173	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	0.0289	W	< 0.025
Fe	1.26	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	0.05116
Ni	< 0.015	Nb	0.1265
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.2507	Pb	0.02443
Pd	0.01993	Rh	< 0.002
Ag	0.01898	Zn	<0.010
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020

Çizelge 6. 40 III. Düz cam XRF sonuçları

III. Düz cam XRF sonuçları			
Element	Konsantrasyon	Element	Konsantrasyon
Ti	< 0.00069	In	< 0.030
V	0.035	Sn	< 0.050
Cr	< 0.030	Sb	< 0.050
Mn	0.0232	W	< 0.025
Fe	1.15	Ga	< 0.010
Co	< 0.020	Zr	0.08472
Ni	< 0.015	Nb	< 0.020
Cu	< 0.010	Au	< 0.020
Mo	0.2295	Pb	< 0.020
Pd	< 0.020	Rh	< 0.002
Ag	< 0.020	Zn	< 0.010
Cd	< 0.050	Pt	< 0.020

6.2.4 Camın yoğunluk hesabı

Yoğunluk, birim hacimdeki malzemenin kütlesi olarak tanımlanır ve gr/cm^3 olarak ifade edilir. Yoğunluk, camın katı halinde birçok başka özelliği etkilediği gibi, ergitme aşaması içinde önemlidir. Camın kırılma indeksi, genellikle yoğunlukla artarken özgül hacimle azalır. Camın yoğunluğu, bileşime bağlı olarak $2.2 - 8.0 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir (Bubcock, 1977).

Çizelge 6. 41 Tipik camların yoğunlukları (Shand, 1953).

Cam	Yoğunluk (gr/cm^3)
Silika camı	2.20
Borosilikat camı	2.23
Şişe camı	2.46
Düz cam	2.50
Alüminosilikat camı	2.43
Ağır Kurşun camı	3.20

Çizelge 6. 42 Bileşenlerin yoğunluk sabitleri (Hagy ve d., 1974).

Bileşen	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	B_2O_3
Yoğunluk (gr/cm^3)	2.46	3.40	5.60	3.90	5.43	3.55	3.03	1.69
	2.20	2.16	3.54	2.51	3.50	2.68	2.56	1.83

Çizelge 6. 43 Üretilen numunelerin yoğunlukları ve yüksek orandaki bileşenleri

Numune adı	Bileşen ve ağırlıksal oranları (%)		Numuneni yoğunluğu (gr/cm ³)
I. Teknik (Pyrex) cam	SiO ₂ (% 75.20)	B ₂ O ₃ (% 11.90)	2.36 - 2.40
II. Teknik (Pyrex) cam	SiO ₂ (% 76.0)	B ₂ O ₃ (% 12.0)	2.42 - 2.48
III. Teknik (Pyrex) cam	SiO ₂ (% 71.50)	B ₂ O ₃ (% 15.0)	2.40 - 2.20
I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam	SiO ₂ (% 50.78)	Al ₂ O ₃ (% 17.50)	2.60 - 2.66
II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam II	SiO ₂ (% 53.6)	Al ₂ O ₃ (% 22.30)	2.23- 2.34
III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam	SiO ₂ (% 53.6)	Al ₂ O ₃ (% 17.30)	2.27 - 2.39
I. Düz cam	SiO ₂ (% 68.0)	Na ₂ O (% 14.06)	2.55
II. Düz cam	SiO ₂ (% 76.0)	Na ₂ O (% 15.085)	2.46
III. Düz cam	SiO ₂ (% 70.0)	Na ₂ O (% 15.0)	2.54

6.2.5 Üretilen camların gözenekli yapılarının ve renklerinin sınıflandırılması

Numunelerin gözeneklilik yapılarına bakıldığında özellikle yüksek alüminalı (Supremax) camlarda 900°C üzerinde şiddetli kabarmalar görülmüştür. Bunun neticesinde yüksek alüminalı (Supremax) camların çok gözenekli durumda olduğu gözlemlenmiştir. Gözeneklilik ve renk kıyaslanması Çizelge 6.44’de verilmiştir

Çizelge 6. 44 Numunelerin gözeneklilik ve renk kıyaslanması

Numune adı	Gözeneklilik	Renk
I. Teknik (Pyrex) cam	Az gözenekli	Yeşil – gri
II. Teknik (Pyrex) cam	Az gözenekli	Yeşil – gri
III. Teknik (Pyrex) cam	Az gözenekli	Koyu yeşil – gri
I. Yüksek alüminalı (Supremax) cam	Çok gözenekli	Haki yeşil
II. Yüksek alüminalı (Supremax) cam	Çok fazla gözenekli	Açık haki yeşil
III. Yüksek alüminalı (Supremax) cam	Çok fazla gözenekli	Açık haki yeşil-gri
I. Düz cam	Gözenekli	Koyu yeşil
II. Düz cam	Çok gözenekli	Yeşil
III. Düz cam	Gözenekli	Açık yeşil

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ana hammadde olarak Bergama-Ovacık altın madeninin arıtma çamuru kullanılmıştır. Arıtma çamurunun kimyasal bileşimi belirlendiğinde atığın içinde % 89.42 SiO_2 oluşu bu atığın cam sanayinde kullanılabileceğinin kanıtı olmuştur. Buradan yola çıkılarak çeşitli katkı maddeleri ilave edilerek üç çeşit cam türü elde edilmiştir.

Numunelerde gözle görünür bir renk farkı oluşmuştur. Bu fark atığın içinde bulunan % 2.12 Fe_2O_3 'den meydana gelmiştir. Cama renk veren maddelere bakıldığında Fe_2O_3 ve FeO bileşiklerince cama sarı, yeşil ve kahverengi renkleri vermektedir. Bu çalışmada farklı cam örneklerinin demirin etkisiyle değişik renkler oluşturduğu ispatlanmıştır. Demir; teknik (Pyrex) camların yeşil-gri, yüksek alüminalı (Supremax) camların açık haki yeşil, düz cam numunelerinin ise açık-koyu yeşil olmalarına etken olmuştur. Üç farklı teknik (Pyrex) cam numunelerini incelediğimizde bu camların yeşil-gri tonlarda olduğu görülmüştür. Fakat farklı karışımlar içeren teknik (Pyrex) camların H_3BO_3 ve Na_2CO_3 miktarlarını arttırdığımız zaman camın renginin koyulaştığı, gri rengin daha ön plana çıktığı görülmüştür. Yüksek alüminalı (Supremax) cam numunelerini incelediğimizde ise Al_2O_3 miktarının azaltıldığı zaman camın renginin daha açıldığı görülmüştür. Ayrıca boraks üretiminde meydana gelen atığın camın rengini koyulaştırdığı gözlemlenmiştir. Üç çeşit düz cam numunelerinde yeşil renkler hâkimdir. Fakat karışımda Na_2CO_3 miktarı artırıldığında camın rengini açıldığı görülmüştür. Demirin uzaklaştırılması yöntemleri cam üretimi kısmında verilmektedir ama maliyeti düşürmek için bu yöntemler önerilmemektedir. Çünkü renkli camın kullanım olanakları mevcuttur.

Ergitme aşamasında küçük ölçekli potalarda büyük güçlükler meydana gelmiştir. Potanın dip kısmında ergiyen camın içindeki SO_3 ve CO_2 gazlarında çıkış isteği oluşmuş, fakat diğer bir taraftan pota yüzeyinde tabaka oluşmasından dolayı istenilen gaz çıkışına izin verilmemesiyle beraber, potalardan taşma görülmüş, deneylerde güçlükler meydana getirmiştir. Bu potalar yerine yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakter malzemelerden inşa edilmiş dar ve geniş havuzların yapılması, gazların daha kolay çıkmasına izin vereceğinde dolayı önerilmektedir. Özellikle yüksek alüminalı (Supremax) cam numunelerinde 900°C 'den sonra yüzeydeki tabaka diğer numunelerden daha sert olduğu gözlenmiş ve bununla beraber SO_3 ve CO_2 gaz çıkışlarının artışıyla potanın yüzeyinin kontrol edilemeyecek kadar şiştiği görülmüştür. Bu olay neticesinde potadan taşma engellenememiştir. Ayrıca cam ergitme esnasında grafit potalar tavsiye edilmemektedir. Çünkü grafit pota karışım ile tepkimeye girerek camın yapısını ve rengini bozmaktadır. Diğer taraftan grafit potaların 1200°C 'den sonra dağıldığı

tespit edilmiştir.

Hazırlanan karışımların ergime sıcaklıklarının teknik (Pyrex) cam numunelerinde 1300-1350°C, yüksek alüminalı (Supremax) cam numunelerinde 1325-1350 °C, düz cam numunelerinde ise 1250-1282 °C aralıklarında olduğu saptanmıştır. Teknik (Pyrex) cam üretimi için hazırlanan karışım incelendiğinde H_3BO_3 ve Na_2CO_3 oranlarının artırılarak eğrime sıcaklıkları 1350 °C'den 1300 °C'e düşürülmüştür. Yüksek alüminalı (Supremax) cam meydana getirmek için hazırlanan karışımda ise Al_2O_3 oranının azaltarak ve H_3BO_3 miktarının artırılarak eğrime sıcaklığı düşürülmüştür. Ayrıca boraks üretiminden meydana gelen atığın hammadde olarak kullanılması karışımın ergime sıcaklığını düşürmüştür. Diğer bir cam türü düz camı oluşturmak için hazırlanan karışımda Na_2CO_3 miktarının artırılması ve Bergama'dan gelen atığın ve $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ oranlarının azaltılması ile karışımın ergime sıcaklığının azaldığı ispatlanmıştır.

Ergitme işlemlerinin sonucunda ergitilen camlar galvaniz saca veya suyun içine boşaltılmıştır. Galvaniz sacın üzerine boşaltılan camın daha dayanıklı olduğu gözlemlendiğinden suyun içerisine boşaltılması önerilmektedir. Buna ek olarak galvaniz saca dökülen eriyik haldeki camın oda sıcaklığında değil de bir etüvün içerisinde kontrollü soğutmaya bırakılması tavsiye edilmiştir. Kontrollü soğutma sonucunda camın dayanıklılığının arttığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak, her yıl Bergama-Ovacık Altın madeninde atık çamur olarak 277882 ton çamur çevreye verilmektedir. Bu çalışma sayesinde hem firma, atığın uzaklaştırılması masraflarında kurtulacak hem de hammadde olarak kullanılan atık yeni bir gelir kaynağı olacaktır. Ayrıca atık belirli bir tane boyutunda olduğundan tekrar öğütme masrafı olmayacaktır. Bu çalışmanın en önemli noktası atığın belli bir kısmından üretim gerçekleşmemesi atığın doğrudan hammadde olarak kullanılmasıdır.

KAYNAKLAR

- Aitken,M.N., (1995), "Spreading thr Benefits", Water and Environment, 14-36.
- Alfa Laval ,(1997), "Atıksu Arıtma Notları".
- Artel, T., Dibağ, G., (1969), "Yapı Malzemesi ve Kimyası", Osman Yalçın Matbaası, İstanbul.
- Ayla Ödekan , M., Kunt, G., S., Faroqhi, (1995), "Türkiye Tarihi Cilt: 2 Osmanlı Devleti 1300-1600", Cem Yayınevi.
- Ayla Ödekan , S., Faroqhi, S., Akşin, Z., Toprak, (1995), "Türkiye Tarihi Cilt:3 Osmanlı Devleti 1600-1908", Cem Yayınevi,
- Ayla Ödekan , M., Tunçay, C., Koçak, H., Özdemir,S., Hilav, M., Katoğlu, (1995), " Çağdaş Türkiye (1908&1980)", Cem Yayınevi.
- Bubcock, C., L.,(1977), "Silicate Glass Technology Methods", Bequaert Old Boks, Fitzwilliam, NH, U.S.A..
- Biegler. F., (1978), "Experience with Metallic Recuperators on Direct Fired Glass Tanks", Reprint from Glass International, Sept., Kleinewefers GmbH.
- Boğaziçi Üni., (1981), "Cam Sanayi Sektör Araştırma Raporu".
- Degromont,(1991),"Water Treatment and Handbook", Vol.1-2, Sixth Edition, France.
- D.D.T., (1988), "Teknoloji Araştırma Enstitüsü", Ankara.
- DİE,(1994), "İmalat Sanayi Atık Envanteri Anket Sonuçları",DİE Yayını.
- Doremus, R. H., (1973), "Glass Science", Wiley Interscience.
- Filibeli,A.,(1996),"Arıtma Çamurlarının İşlenmesi", DEÜ Müh. Fak. Yayınları.
- G. Fuxi, (1991), "Optical and Spectroscopic Properties of Glass", Springer-Verlag, Berlin, pp. 32-40.

- Hagy, H.E.D., (1974), "Physical Properties of Glass", F.V. Tooley, Boks for Industry Inc., 893-956.
- Hlavac, J., (1983), "The Technology of Glass and Ceramics", Elsevier Sci. Pupl.
- Hudson, J., A., (1995), "Treatment and Disposal of Sewage Sludge Treatment and Disposal", J.CIWEM, 9, March, 93-99.
- Kocabağ, D., (2002), "Cam Kimyası, Özellikleri, Uygulaması", Birsen Yayınevi, Cağaloğlu İstanbul.
- Kamitsos E.I., M.A. Karakassides, (1989), "Phys. Chem. Glasses", 30:19.
- Manzel, J., (1989), "Sevar Drying Process in a Thin Bed", In Klarschlammentsorgung, Dusseldorf: VDI-Bildungwerk, 74-81.
- Morey, G., W., (1954), "The Properties of Glass", The History and Definition of Glass, 1-28.
- Orhon ,D.,(1991), "Ön Arıtmanın Projelendirilmesi ve Endüstriyel Atıkların Ön Arıtılması",Teknoloji İletimi Semineri No:1, ISO-SKATMK, 131-173.
- Orhon ,D.,(1997), Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisleri İçin Proje Değerlendirilmesi", TBMMOB Çevre Müh. Odası İst.Şb.,Atıksuların Arıtılması Seminer Notları, İstanbul.
- Ovacık Altın Madeni, (2006), 'Aylık Çevre Raporu', Koza Altın İşletmeleri A.Ş., Bergama
- Rawson, H., (1980), "Properties and Aplications of Glass", Elsevier Sci. Pupl.
- F. Rubio, J. Rubio, J.L. Oteo, (1998), "Spectrosc. Lett.", 31:199
- Phillips, C., J., (1960), "Glass, Its Industrial Application", Reinhold Publ. Co., 53-62.
- Shand, E.B., (1958), "Glass Engineering Handbok", Mcgraw-Hill Bokk. Co., 135-150.
- Sanger,M., Werter, J., Ogata, T., (2001)," NO_x and N₂O Emission Characteristics from Fluidized Bed Combustion of Semi-Dried Municipal Sewage Sludge",Fuel, 80:167-177.
- Toraman, Ö., Y., (2002), "Atıksu arıtma çamurunu değerlendirme imkanlarının araştırılması", Çukurova Üni. Maden Müh. Anabilim Dalı.

Tübitak Yayınları, (1994), "Cam Endüstrisi", İstanbul.

Velioğlu, P.S., (1980), "Çamur Tasfiye ve Uzaklaştırma İşlemleri", Arıtma Sistemlerinin Tanıtılması, İTÜ İnşaat FA. İstanbul.

Werther, J.,(1999), "Sewage Sludge Combustion", Progress in Energy and Combustion Science, 261-27.

Winkler, M., (2000), "Waste Treatment and Disposal", John Wiley and Sons Ltd, England, 417.

Viebousch, B., Seyfried, C.F., (1997), "Utilization Sewage Sludge Ashes in the Brick and Tile Industry ", Water Sci. Tech., 36:251-258.

P. Yang, C.F. Song, M.K. Lu, X. Yin, G.J. Zhou, D. Xu, D.R. Yuan, (2001), "Chem. Phys. Lett.", 345:429.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.camocagi.org>

[2] <http://www.etimaden.gov.tr>

[3] <http://www.sigmaaldrich.com>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	13.09.1980	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1994-1998	Nevzat Ayaz Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi
Lisans	1999-2003	Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak. Çevre Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Müh. Anabilim Dalı

00223*