

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KALİTELİ CAM ÜRETİMİNDE KÜÇÜK BOYUTLU SİLİS KUMU
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Barış Yakup KESER**

Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği

Programı : Cevher ve Kömür Hazırlama

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali GÜNEY

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KALİTELİ CAM ÜRETİMİNDE KÜÇÜK BOYUTLU SİLİS KUMU
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Barış Yakup KESER
(505061106)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali GÜNEY (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Gündüz ATEŞOK (İTÜ)
Prof. Dr. Şafak Gökhan ÖZKAN (İÜ)**

OCAK 2010

Aileme ve dostlarıma,

ÖNSÖZ

Doğada her geçen gün hammadde kaynakları hızla tükenmektedir. Mevcut kaynakların mümkün olan en yüksek verimle ile kullanılması insanoğlunun geleceği açısından yaşamsal öneme sahiptir. Artık günümüzde, var olabilmenin temelinde sürdürülebilirlik kavramı yer almaktadır. Madencilğin, yenilenemeyen kaynakların tüketilmesi gibi çok hassas bir çizgide faaliyet göstermesinden dolayı her geçen gün daha verimli çalışma yöntemlerini, daha fazla geri kazanım teknolojilerini kullanmak ve geliştirmek, cevher hazırlama ve zenginleştirme biliminin görev alanı içinde yer almaktadır.

Bu tez, kullanılmayan kaynakların kullanılabilir hale getirilebileceği, daha yüksek randımanlı çalışma koşulları ile kaynakların en verimli nasıl kullanılabileceği ile ilgili bir yaklaşım sunmaktadır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını, bilgilerini esirgemeyen ve beni her zaman destekleyen yöneticilerim Sn. Mad. Yük. Müh. Muzaffer TÜRK, Sn. Mehmet KOÇOĞLU, Sn. Dr. Hüseyin AKARSU'ya, çalışmalarımnda beni aydınlatan ve yönlendiren değerli hocam Sn. Prof. Dr. Ali GÜNEY'e ve beni her konuda destekleyen sevgili ailem ve dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2010

Barış Yakup KESER
(Maden Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	v
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Cam Hakkında Genel Bilgi	2
1.1.1 Cam türleri ve kullanım alanları	2
1.1.2 Cam üretiminde kullanılan hammaddeler	5
1.1.3 Cam hammaddelerinde aranan özellikler	5
1.1.4 Cam bileşenlerinin etkileri	6
1.1.4.1 Silisyum dioksit (SiO_2)	6
1.1.4.2 Sodyum oksit (Na_2O)	6
1.1.4.3 Kalsiyum oksit (CaO)	6
1.1.4.4 Potasyum oksit (K_2O) - Lityum oksit (Li_2O)	6
1.1.4.5 Bor oksit (B_2O_3)	7
1.1.4.6 Alüminyum oksit (Al_2O_3)	7
1.1.4.7 Magnezyum oksit (MgO)	7
1.1.4.8 Çinko oksit (ZnO)	7
1.1.4.9 Kurşun oksit (PbO)	7
1.1.4.10 Baryum oksit (BaO)	7
1.1.4.11 Stronsiyum karbonat (SrCO_3)	8
1.2 Cam Bileşenlerinin Elde Edildiği Hammaddeler	8
1.2.1 Cam yapıcı oksit sağlayan hammaddeler	8
1.2.1.1 Kuvars	8
1.2.1.2 Kuvars kumu	10
1.2.1.3 Kuvarsit	11
1.2.1.4 Bor mineralleri	12
1.2.2 Geçiş oksit sağlayıcı hammaddeler	15
1.2.2.1 Feldspat	15
1.2.2.2 Kaolen	19
1.2.2.3 Perlit	20
1.2.2.4 Alümina hidrat	21
1.2.2.5 Toprak alkali ve stabilite sağlayan metal oksit hammaddeleri	22
1.2.2.6 Kalker (Kireç taşı)	22
1.2.2.7 Dolomit	24
1.2.2.8 Jips (Alçı Taşı)	28
1.2.2.9 Barit	29
1.2.2.10 Tek değerlikli metal oksit sağlayıcı hammaddeler	30
1.2.2.11 Soda	31
1.2.2.12 Soda endüstrisinde kullanılan terimler	32

1.2.2.13 Sodyum sülfat	35
1.2.3 Opaklaştırıcı hammaddeler	38
1.2.3.1 Fluorit	38
1.2.3.2 Cam renklendirici hammaddeler	39
1.2.4 Afinyasyon hammaddeleri	41
1.3 Cam Üretimi	41
1.3.1 Cam fırınları ve hammadde kaynaklı sorunlar	42
1.3.2 Cam fırınları	42
1.3.3 Pota fırınları	43
1.3.4 Tank fırınları	44
1.3.5 Fırın ömrünü etkileyen faktörler	47
1.3.6 Cam ile temas bölgelerindeki aşınmalar	47
1.3.7 Diğer bölgelerdeki aşınmalar	48
1.3.8 Buhar ve katı parçacıkların etkisi	48
1.3.9 Hammadde kaynaklı sorunlar	49
1.3.10 Rutubet	49
1.3.11 Segregasyon	49
1.3.12 Safsızlıklar ve kirlenme (Kontaminasyon)	50
1.3.13 Tozuma ve ince taneler	50
1.3.14 Bozulma	50
2. BOYUT BÜYÜTME İŞLEMLERİ “AGLOMERASYON”	51
2.1 Aglomerasyonun Tanımı ve Kullanım Alanları	51
2.1.1 Aglomeratlarda aranan özellikler	52
2.1.1.1 Aglomerat tane iriliği	52
2.1.1.2 Parçalanma özelliği	52
2.1.1.3 Sağlamlık	52
2.1.1.4 Porozite	53
2.1.1.5 Yoğunluk	53
2.1.1.6 Topaklanma özelliği	53
2.2 Aglomerasyonda Etkin Olan Kuvvetler	53
2.2.1 Kütle kaynaşması	54
2.2.1.1 Sinterleşme	54
2.2.1.2 Kimyasal reaksiyon	54
2.2.1.3 Ergime	54
2.2.1.4 Sertleşen bağlayıcı maddeler	54
2.3 Taneler Arasındaki Serbest Hareketli Sıvının Yüzey Gerilimi ve Meydana Getirdiği Kapiler Alçak Basınç	55
2.4 Serbest Hareketli Olmayan Bağlayıcı Madde Köprülerinin Adhezyon- Kohezyon Kuvvetleri	56
2.5 Katı Madde Tanecikleri Arasındaki Çekme Kuvvetleri	57
3. CAM KUMU ÜRETİMİNDE TANE BOYUT KONTROLÜ	59
3.1 Cam Kumu Üretim Yöntemleri ve Kullanılan Teknolojiler	59
3.1.1 Yıkama	60
3.1.2 Aşındırma	61
3.1.3 İnce uzaklaştırma	61
3.1.3.1 Hidrosiklonlar	62
3.1.3.2 Hidrolik klasifikatörler (Hydrosizer)	63
3.1.4 Boyutlandırma (Eleme)	64
3.1.5 Özgöl ağırlık farkına göre ayırma	65
3.1.6 Flotasyon	67

3.1.7 Kurutma.....	68
3.1.8 Manyetik ayırma.....	68
3.1.9 Elektrostatik ayırma	69
3.1.10 Öğütme	69
3.2 Cam Kumunda İnce Tanelerin Azaltılması	70
3.2.1 Kumun içerdiği ince tanelerin uzaklaştırılması.....	70
3.2.2 Kumun ince tanelerinin aglomere edilerek boyut büyütülmesi.....	71
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	73
4.1 Deneylerde Kullanılan Kum Numunesi	74
4.1.1 Numunenin fiziksel ve kimyasal analizi	74
4.2 Deneyler Sırasında Kullanılan Ekipmanlar	75
4.2.1 Eleme ve elek analizleri için kullanılan ekipman.....	75
4.2.2 Kurutma için kullanılan ekipman	76
4.2.3 Hassas tartım ekipmanı	77
4.2.4 Kimyasal analiz için kullanılan ekipman	77
4.2.5 Karıştırma için kullanılan ekipman	78
4.3 Deneylerin Yapılışı ve Değişken Parametreler	79
5. DENEY SONUÇLARI VE YORUMLAR	81
5.1 Sodyum Sülfat Deneyleri.....	81
5.2 CaO (Kireç) Deneyleri.....	86
5.3 Kaolen deneyleri.....	89
5.4 Sodyum Silikat Deneyleri.....	90
5.5 Aglomere Edilmiş Kumun Cam Üretim Sürecindeki Etkisinin İncelenmesi .	104
5.5.1 Harmandan arınma davranışı.....	104
5.5.2 Habbeden arınma davranışı	106
5.5.3 Optimum koşullarda elde edilen sonuçlar ve önerilen proses akım şeması	107
6. SONUÇLAR.....	111
KAYNAKLAR.....	115
EKLER	117

KISALTMALAR

ETM	: Elektron Tarama Mikroskobu
XRF	: X Ray Fluorescence
PKO	: Pülpte Katı Oranı
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BS	: British Standart
M.T.A	: Maden Tetkik ve Arama

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Soda-Kireç-Silis Camı Kimyasal İçeriği	2
Çizelge 1.2 : Borosilikat Camı Kimyasal İçeriği	4
Çizelge 1.3 : Kurşun Camı Kimyasal İçeriği	4
Çizelge 1.4 : Türlerine Göre Cam Kimyasal İçerikleri (%)	5
Çizelge 1.5 : Bor Mineralleri ve Bor İçerikleri	13
Çizelge 1.6 : Ülkelere Göre Dünya Bor Rezervi	14
Çizelge 1.7 : Kalker Sınıflandırması	24
Çizelge 1.8 : Bölgelere Göre Kalker Rezervleri	24
Çizelge 1.9 : İçeriğine Göre Dolomit Sınıflandırması	25
Çizelge 1.10 : Türkiye Dolomit Rezervi	26
Çizelge 1.11 : Hafif, Ağır ve Granüle Soda Özellikleri	31
Çizelge 1.12 : Soda Mineralleri, Formül ve İçerikleri	32
Çizelge 1.13 : Soda Standartları ve Karşılaştırma	33
Çizelge 1.14 : Doğal Sodyum Sülfat Mineralleri	35
Çizelge 1.15 : İyonik ve Kolloidal Renk Verici Oksitler	40
Çizelge 1.16 : Afinasyon Hammaddeleri	41
Çizelge 4.1 : Tuvenan Kiraztepe Kuvarsiti Kimyasal Analizi	73
Çizelge 4.2 : Deneysel Çalışmalara Esas Kiraztepe Kuvarsiti Tane Boyut Dağılımı Analizi	74
Çizelge 4.3 : Yıkanmış Kiraztepe Kuvarsiti Kimyasal Analizi	75
Çizelge 4.4 : Frekans Değerine Denk Gelen Devir Hızı Ölçümleri	79
Çizelge 5.1 : Na ₂ SO ₄ Miktarına Bağlı Olarak -106µ Malzeme Miktarı Değişimi ...	81
Çizelge 5.2 : Na ₂ SO ₄ Optimum Koşul Deney Numunesi Boyut Dağılım Analizi	85
Çizelge 5.3 : CaO Miktarına Bağlı Olarak -106µ' luk Malzeme Miktarı Değişimi ..	87
Çizelge 5.4 : Kaolen Miktarına Bağlı Olarak Değişen Boyut Dağılım Analizi	89
Çizelge 5.5 : Sodyum Silikat Tür ve İçerikleri	92
Çizelge 5.6 : Na ₂ SiO ₃ 'a bağlı olarak -106µ' luk malzeme Miktarı Değişimi	93
Çizelge 5.7 : Optimum Koşullar Altında Yapılan Na ₂ SiO ₃ Deneyi Numunesi Boyut Dağılım Analizi	97
Çizelge 5.8 : Merdaneli Kırıcıdan Geçirilen +1mm Malzemenin Kırıcı Çıkışı Boyut Dağılım Analizi	98
Çizelge 5.9 : Eritiş Deneylerine Tabi Tutulan Kumun Boyut Dağılımı	105
Çizelge 6.1 : Optimum Sonuçlar	112
Çizelge A.1 : Sodyum Sülfat 30 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	118
Çizelge A.2 : Sodyum Sülfat 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	120
Çizelge A.3 : Sodyum Sülfat 60 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	122
Çizelge A.4 : Kalsiyum Oksit 30 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	124
Çizelge A.5 : Kalsiyum Oksit 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	126
Çizelge A.6 : Kaolen 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	127
Çizelge A.7 : Sodyum Silikat 30 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	128
Çizelge A.8 : Sodyum Silikat 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	130
Çizelge A.9 : Sodyum Silikat 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları	132

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Cam Harman Sistemi.....	3
Şekil 1.2 : Kuvars Kristalleri	10
Şekil 1.3 : Kuvars Kumu (-1mm) Mikroskop Görüntüleri	11
Şekil 1.4 : Kolemanit Parlak Kesit ve Üleksit Makroskopik Örnek	15
Şekil 1.5 : Camış Madencilik A.Ş. Trakya Öğütme Tesisi Akım Şeması	27
Şekil 1.6 : Jips Kristali	28
Şekil 1.7 : Barit Kristali	29
Şekil 1.8 : Trona ve Öğütülmüş Soda	32
Şekil 1.9 : Fluorit Cevheri.....	38
Şekil 1.10 : Tipik Cam Fırını Yapısı ve Cam Oluşum Süreçleri	43
Şekil 1.11 : Çoklu Pota Fırını	44
Şekil 1.12 : Cam Fırını Refrakter Yapısı ve Throat Geçişi.....	45
Şekil 1.13 : Rejeneratör Refrakter Dizgisi	46
Şekil 1.14 : Rejenertör Isı Kazanımı Döngüsü	47
Şekil 2.1 : Tane Birleşmesine Etki Eden Kuvvetler a) Sinter Köprüsü-Kısmi Ergime- Çözünmüş Malzemelerin Kristallenmesi b)Kimyasal Reaksiyon-Sertleşen Tutkalımsı Malzeme-Yüksek Viskoziteli Tutkal c)Sıvı Köprüsü d)Moleküler Kuvvetler-Manyetik Kuvvetler-Elektrostatik Kuvvetler e)Kilitlenme f)Kapiler Basınç	58
Şekil 3.1 : Yüksek Kaliteli Silis Kumu (solda), Düşük Kaliteli Silis Kumu (sağda)	60
Şekil 3.2 : Aşındırma-Ovalama Tankı	62
Şekil 3.3 : Hidrosiklon İçerisinde Malzeme Hareketi.....	63
Şekil 3.4 : Hidrolik Klasifikatörler (Hydrosizer)	64
Şekil 3.5 : Çok Katlı Yüksek Frekanslı Elek Sistemi	65
Şekil 3.6 : Cam Kumu Üretiminde Spiral Kullanımı.....	67
Şekil 3.7 : Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Seperatörler	68
Şekil 3.8 : Elektrostatik Ayırıcı	69
Şekil 4.1 : Deney Numunesi Elek Altı-Elek Üstü Eğrileri	75
Şekil 4.2 : Tyler Eleme Makinesi	76
Şekil 4.3 : Kurutma Fırını	76
Şekil 4.4 : Hassas Terazî	77
Şekil 4.5 : X-Işını Spectrometre Cihazı	77
Şekil 4.6 : Karıştırma Tamburu	78
Şekil 4.7 : İnvertör Panosu.....	79
Şekil 4.8 : Aglomerasyon Deneyleri Akım Şeması	80
Şekil 5.1 : Kullanılan Na ₂ SO ₄ Miktarı Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi	82
Şekil 5.2 : Karıştırma Hızı Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi	82
Şekil 5.3 : Karıştırma Süresi Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi	83
Şekil 5.4 : Na ₂ SO ₄ Deney Sonuçları Grafiksîl Gösterimi	84

Şekil 5.5 : Na_2SO_4 Miktarı +1mm İlişkisi.....	85
Şekil 5.6 : Na_2SO_4 Deney Numunesi Elek Altı-Elek Üstü Eğrileri	86
Şekil 5.7 : Kullanılan CaO Miktarı Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi	88
Şekil 5.8 : Karıştırma Hızı Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi	88
Şekil 5.9 : Kullanılan Kaolen Miktarı Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi	90
Şekil 5.10 : Sodyum Silikat Molekül Yapısı.....	91
Şekil 5.11 : Na_2SiO_3 Miktarı -106 μ İlişkisi	93
Şekil 5.12 : Kullanılan Na_2SiO_3 Miktarı Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi	94
Şekil 5.13 : Karıştırma Süresi Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi	95
Şekil 5.14 : Karıştırma Hızı Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi	96
Şekil 5.15 : Na_2SiO_3 Miktarı +1mm İlişkisi	96
Şekil 5.16 : Optimum Koşullarda Na_2SiO_3 Deney Numunesi Elek Altı- Elek Üstü	97
Şekil 5.17 : Deney Sonuçları Mukayeseli Karşılaştırma	99
Şekil 5.18 : Orjinal kum: -2 +0.5 mm Aglomere kum : -2 +0,5 mm	100
Şekil 5.19 : Orjinal kum: - 0,5 +0.3 mm Aglomere kum :- 0,5 +0,3 mm	100
Şekil 5.20 : Orjinal kum: - 0,3 +0,106 mm Aglomere kum :- 0,3 +0.106 mm	100
Şekil 5.21 : Orjinal kum:- 0,106 +0,075 μ Aglomere kum :- 0,106 +0,075 μ	101
Şekil 5.22 : Orjinal kum: - 0,075 μ Aglomere kum: - 0,075 μ	101
Şekil 5.23 : -2,00+0,500mm Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri	102
Şekil 5.24 : -0,500+0,300mm Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri	102
Şekil 5.25 : -0,300+0,106mm Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri	103
Şekil 5.26 : -0,106+0,0,075mm Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri	103
Şekil 5.27 : -0,075 Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri ve Tane Yüzeyinde Sodyum Silikat Kristalleri.....	104
Şekil 5.28 : Kum Harmandan Arınma Davranışı	106
Şekil 5.29 : Kumun Habbeden Arınma Davranışı	106
Şekil 5.30 : Kum Boyut Büyütme Tesisi Akım Şeması.....	109

KALİTELİ CAM ÜRETİMİNDE KÜÇÜK BOYUTLU SİLİS KUMU KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Cam kumu içerisindeki ince tane boyutlu malzeme (-106μ) cam fırınlarında, fırın içindeki yüksek sıcaklık ve dinamik ortam nedeni ile uçuşmakta ve fırın refrakter yapısının, ısı geri kazanımı için kullanılan rejeneratör dizgisinin boşluklarına nüfus ederek burada yarattıkları termal yük nedeni ile şiddetli deformasyona neden olmaktadır.

Kaliteli cam üretiminde küçük boyutlu silis kumu kullanımının araştırılması isimli tez çalışması kapsamında, çeşitli bağlayıcılar kullanılarak, Camış Madencilik Yalılıköy Kum Hazırlama Tesisi'nde üretilen Yıkanmış Kiraztepe Kumu içerisindeki ince tane boyutlu malzeme miktarının boyut büyütme (aglomerasyon) işlemi ile azaltılması, bu sayede endüstriyel bir sorunun bertaraf edilmesi amaçlanmıştır.

Yıkanmış Kiraztepe kumu ağırlıkça %50'nin üzerinde -106 mikron tane boyutlu malzeme içermektedir ve bu oran, cam üretimi için çok yüksektir. Bu oranı azaltmak için tasarlanan deneyler sırasında cam üreticilerinin elde etmek istedikleri kimyasal kompozisyonu bozmayan, bu kompozisyon ile uyumlu kimyasal içeriğe sahip sodyum sülfat, kalsiyum oksit, kaolen ve sodyum silikat gibi bağlayıcılar kullanılmıştır. Deneyisel çalışmalarda, söz konusu bağlayıcıların oransal değişimlerinin, karıştırma süre ve hızlarının tane boyut dağılımı üzerinde nasıl bir etki yarattıkları sistematik olarak incelenmiştir.

Na_2SO_4 'ün bağlayıcı olarak kullanıldığı deneylerde; elde edilen -106 mikron malzeme miktarlarının %18,1 ile %20,6, CaO 'in bağlayıcı olarak kullanıldığı deneylerde; %32,6 ile %40,3, Kaolen'in bağlayıcı olarak kullanıldığı deneylerde; %41,3 ile %45,6, Na_2SiO_3 'ün bağlayıcı olarak kullanıldığı deneylerde ise %3,89 ile %7,5 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Sodyum silikat ile yapılan deneylerde, ince tane boyutlu malzeme miktarı, tatmin edici bir oranda azaltılırken, istenmeyen birleşmeler nedeni ile +1mm tane boyutlu malzeme miktarında artış olduğu da tespit edilmiştir. Bu durumun cam üretimine etkilerinin incelenmesi için harmandan arınma ve habbeden arınma deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre 1450 °C ve 50 dakikalık işlem süresi sonunda orijinal kumun %10'unun, boyut büyütme işlemine tabi tutulmuş kumun ise %20'sinin ergimesi tespit edilmiştir. Habbeden arınma davranışı incelendiğinde ise yine aynı sıcaklık ve 150 dakikalık işlem süresi sonunda boyut büyütme işlemine tabi tutulan kumun orijinal kum ile yaklaşık aynı sayıda (1.1 adet/30gr cam) kabarcık içerdiği tespit edilmiştir. İstenmeyen topaklanmalardan kaynaklanan +1mm malzeme miktarının azaltılması durumunda, ergime karakterinin orijinal kuma yaklaştığı, habbeden arınma süresinin kısaldığı ve ince tane boyutundan kaynaklanan olumsuzlukların asgari seviyede kalacağı düşünülmektedir.

RESEARCH OF THE USAGE OF FINE-SIZED SILICA SAND FOR HIGH QUALITY GLASS PRODUCTION

SUMMARY

The fine sized fraction ($-106\ \mu$) in the glass sand flits in the furnace due to the high temperature and dynamic condition within, results intense deformation on the furnace refractory and regeneration strings used to recycle heat by penetrating the voids.

In the thesis study titled “Research of the usage of fine-sized silica sand for high quality glass production” it is aimed to reduce the amount of fine size fraction by agglomeration of washed Kiraztepe sand from Camış Madencilik Yalıköy sand preparation plant and hence to avert an industrial problem.

Washed Kiraztepe sand includes more than 50 % -106 micron sized material and this ratio is quite high for glass production. Designed experiments to reduce this ratio, binders that do not interfere with the chemical composition desired by the glass producers and that are compatible with the so called composition such as sodium sulfate, calcium oxide, kaolin and sodium silicate were used. In the experiments, the effects of used binder proportion, mixing time and mixing speed were investigated systematically to determine obtained particle size distribution.

It was confirmed that the proportion of -106 micron material ranged between %18.1 and %20.6 in the experiments carried out with Na_2SO_4 used as binder; %32.6 and %40.3 with CaO ; %41.3 and %45.6 with kaolin and %3.89 and %7.5 with Na_2SiO_3 .

In the experiments conducted with sodium silicate, the fine size material was reduced in satisfactory amounts while it was detected that the amount of $+1\text{mm}$ material increased due to unwanted agglomeration. In order to investigate the effects of this situation on glass production, melting and bubbles remaining experiments were carried out. According to the experimental results, it was determined that at the end of 50 minutes exposure to 1450°C the 10% of the original sand 20% of the agglomerated sand did not melt. When the bubbles remaining behavior was investigated it was confirmed that at the end of 150 minutes exposure to the same temperature, the agglomerated sand included approximately same number of bubbles (1.1 /30gr glass) with the original sand. In case of reducing the amount of $+1\text{mm}$ material that formed due to undesired agglomeration, it is thought that the melting characteristics will approach that of original sand, bubbles removal time will be shortened and the negations resulting from fine material will be minimized.

1. GİRİŞ

Ülkemiz kuvarsit, kuvars ve silis kumu kaynakları açısından oldukça zengindir, ancak cam üretiminde kullanılabilecek kaynak sayısı ve rezervi son derece sınırlıdır. Cam üretiminde belli kalitedeki ürünler için belli kalitedeki hammaddelerin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla, kullanılacak hammaddelerin özellikleri için kabul kriterleri belirlenmelidir. Bu kriterlerden en önemlisi, tane boyut dağılımıdır. Cam üreticileri genellikle tozuma, habbe oluşumunu engelleme ve fırın ömrünü olumsuz etkilememesi için mümkün olduğunca ince taneli hammaddeleri tercih etmemektedirler. Camın her noktasında homojen bir özellik göstermesi, habbesiz olması için, özellikle düzcam üretiminde bu sınır %20 oranında, -106μ tane boyutlu malzeme miktarıdır. İnce tane boyutlu malzeme miktarı arttıkça baca kayıpları, rejeneratörlerde deformasyon, refrakterlerde aşınma, kabarcık (habbe) miktarında artış, çevresel etki açısından da tozuma meydana gelmektedir.

Bilindiği üzere cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinin amacı mümkün olan en düşük maliyet ile en uygun özellikli ürünün sağlanmasıdır. Optimum maliyette üretim yapılabilmesi de özellikle yüksek randımanlı üretim yöntemlerinin tercih edilmesi ile gerçekleştirilebilir.

Hammaddenin kırılma karakteristiği ve kırılma, öğünme sonucunda gösterdiği tane boyut dağılımı karakteristiği, üretilen ürünün nasıl bir maliyet ve randıman ile üretileceğini belirleyen en önemli faktörlerdendir. İnce tane boyutlu kısmın uzaklaştırılması maliyet açısından belli bir noktada sınırlanmaktadır bu da kullanılabilir hammadde kaynaklarının sınırlanmasına neden olmaktadır. Aglomerasyon; yani boyut büyütme yöntemi sayesinde, istenilen tane boyut dağılımının sağlanması, daha randımanlı çalışma olanağı sağlanabilmektedir.

Bu tez de halihazırda cam ambalaj ve züccaciye kumu üretimi için kullanılan Kiraztepe Kuvarsiti içindeki -106μ boyutlu malzeme miktarının azaltılarak cam fırınlarındaki olumsuzlukların önlenmesi, bununla beraber düzcam kalitesinde ($-106\mu < \%20$) silis kumunun Kiraztepe Kuvarsiti'nden yüksek randıman ile

üretilebilmesi için aglomerasyon prensibinin kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir.

1.1 Cam Hakkında Genel Bilgi

Fiziksel anlamda cam denilince genellikle kristalleşmeden katılaşan sıvı bir madde anlaşılır. Cam genelde silisyum asidi, alkali veya toprak alkali oksitler ve az bir oranda da renk verici oksitlerin karışımından meydana gelir. Cam, kum, soda, potas, kireç ve renk verici veya ağartıcı maddelerden oluşan karışımın, uygun koşullarda ergitilmesi ve kademeli soğutma yöntemleri kullanılarak şekillendirilmesi ile elde edilir. Adı geçen hammaddeler ve katkı maddeleri harman bölümlerinde ayrı silolarda depolanır, tartım sistemleri kullanılarak belirli oranlarda karıştırılarak, cam fırını servis silolarına sevk edilirler. Şekil 1.1’de tipik bir harman sisteminin detayları görünmektedir [1].

1.1.1 Cam türleri ve kullanım alanları

Endüstriyel sınıflandırmada camın başlıca üç tipi vardır ve kimyasal içerikleri Çizelge 1.1, 1.2, 1.3’te verilmiştir.

- Soda-kireç-silis camı
- Borosilikat camı
- Kurşun camı

Soda-Kireç-Silis Camı

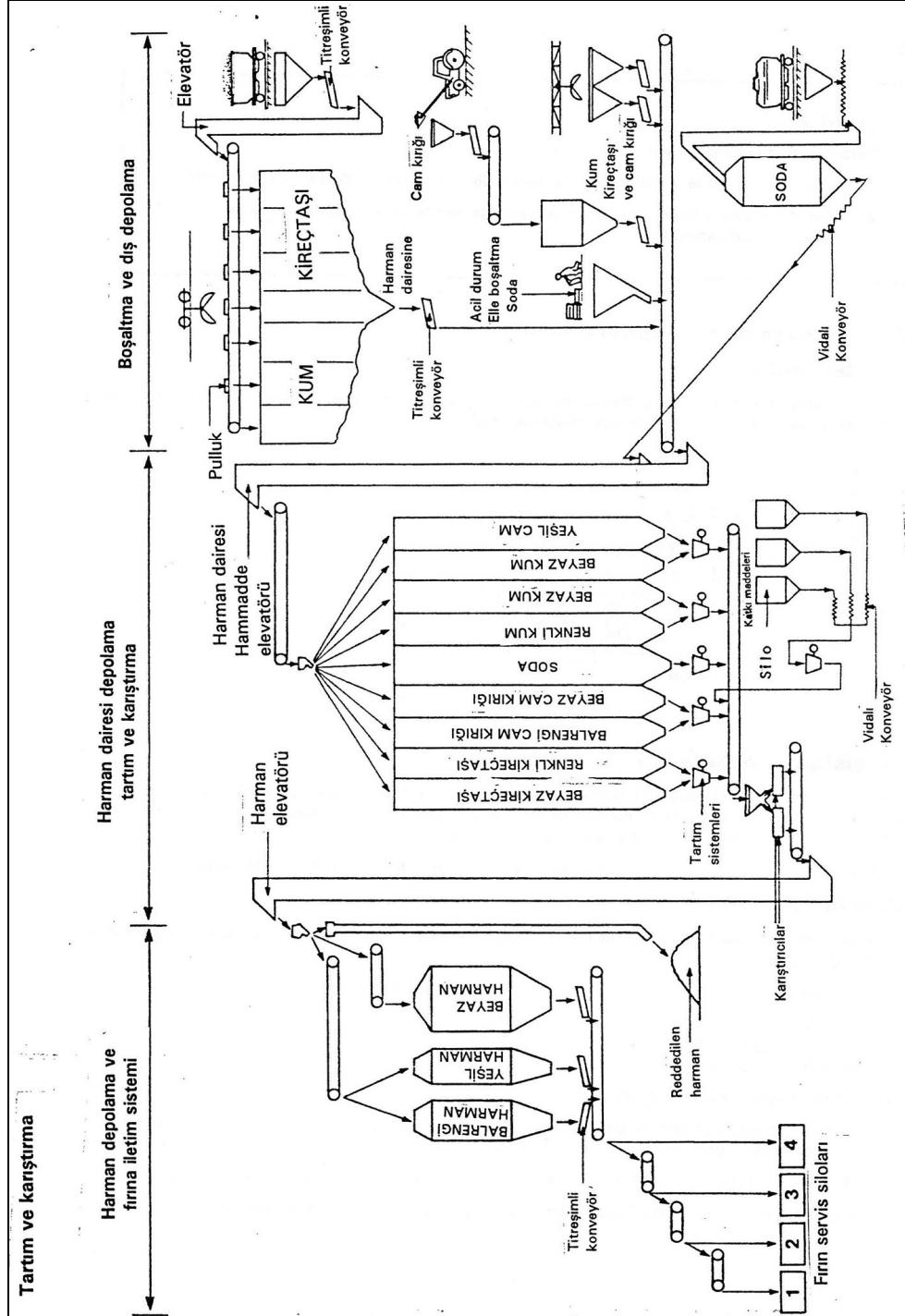
Cam sanayiinde üretilen camların en az %95’i Çizelge 1.1’de gösterilen bu temel kompozisyona sahiptir.

Çizelge 1.1 : Soda-Kireç-Silis Camı Kimyasal İçeriği

Soda-Kireç-Silis			
Kimyasal İçerik	Sodyum Oksit	Kalsiyum Oksit	Silisyum Dioksit
	Na ₂ O	CaO	SiO ₂
	%14	%11	%72

Kullanım Alanları

- Bütün cam kap çeşitleri
- Düz cam
- Bilinen sofa eşyası



Şekil 1.1 : Cam Harman Sistemi

Borosilikat Camı

Çizelge 1.2 : Borosilikat Camı Kimyasal İçeriği

Borosilikat Camı			
Kimyasal İçerik	Sodyum Oksit	Boroksit	Silisyum Dioksit
	Na ₂ O	B ₂ O ₃	SiO ₂
	%4	%12	%81

Kullanım Alanları

- Isıya dayanıklı camlar
- Düşük çözünürlüğü olan camlar (kimyasal madde kapları)
- Özel optik camlar
- Elektriksel güç kaybını düşüren camlar
- Laboratuvar kapları

Kurşun Camı

Çizelge 1.3 : Kurşun Camı Kimyasal İçeriği

Kurşun Camı			
Kimyasal İçerik	Kurşun Oksit	Boroksit	Silisyum Dioksit
	PbO	B ₂ O ₃	SiO ₂
	%32	%11	%56

Kullanım Alanları

- Yüksek kaliteli sofraya eşyası
- Optik cam
- Yüksek elektriksel direnç camları
- Radyasyon korunma panoları

Görüldüğü üzere camın kullanım alanlarındaki özellikleri sergileyebilmesi ancak kimyasal kompozisyonundaki değişiklikler ile mümkün olmaktadır [1].

1.1.2 Cam üretiminde kullanılan hammaddeler

Oransal olarak en çok kullanılan hammaddeler; silis kumu (SiO_2), dolomit ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$), kalker (CaCO_3), soda (Na_2CO_3), feldspat “albit” ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), boroksit (B_2O_3) ve cam kırığıdır. Bunun dışında, camın ergitme sürecini, kimyasal kompozisyonunu ve fiziksel özelliklerini düzenleyen bir çok katkı maddeleri de kullanılmaktadır. Çizelge 1.4’te söz konusu hammaddelerin kullanımı ile elde edilmeye çalışılan kimyasal kompozisyonlar, camın kullanım alanına göre sınıflandırılmıştır. Bu koşulları sağlayan cam hammaddelerini 3 ana başlık altında incelemek mümkündür [1].

- Cam Yapıcı Oksitler: SiO_2 , B_2O_3 , V_2O_5 , GeO , P_2O_5
- Aracı Oksitler: Al_2O_3 , ZnO , Sb_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 , PbO , BaO
- Yapı Değiştirici Oksitler: Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO

Çizelge 1.4 : Türlerine Göre Cam Kimyasal İçerikleri (%)

Cam Türü	SiO_2	Na_2O	K_2O	CaO	PbO	MgO	BaO	B_2O_3	Al_2O_3	ZnO	F_2
Soda tipi ev eşyası	73,0	16,0	1,0	8,5	0,0	0,3	0,5	0,5	0,2	0,0	0,0
Cam Ambalaj	72,5	14,0	0,5	10,0	0,0	1,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
Düzcamlar	72,8	14,5	0,5	7,5	0,0	3,7	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Kristal	54,6	0,5	13,4	0,0	31,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0
Borcam	81,0	4,5	0,0	15,9	0,0	0,0	0,0	12,0	2,5	0,0	0,0
Fiber cam	54,8	0,5	0,0	5,3	0,0	4,4	0,0	10,0	14,4	0,0	0,0
Opal cam	61,5	8,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	7,8	11,5	4,0
Optik cam	52,5	1,5	7,8	0,0	18,5	0,0	12,6	0,0	0,1	7,0	0,0

1.1.3 Cam hammaddelerinde aranan özellikler

Cam üretiminde kullanılacak hammaddelerin aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bunlar;

- Hammadde kaynağı işletmeye yakın olmalıdır,
- Kimyasal kompozisyon reçete değişikliklerini zorunlu kılmayacak tolerans aralığında süreklilik arz etmelidir,
- Kızdırma ile kaybolacak oksitleri az olmalıdır,
- İstenmeyen düzeyde empürite içermemelidir,

- Tane boyut dağılımı cam harman yapımına uygun olmalıdır,
- Harman silolarında segregasyon ve istenmeyen boyutta aglomerasyon oluşmamalıdır,
- Taşınma depolama veya stoklama sırasında kontaminasyon oluşmamalıdır.

1.1.4 Cam bileşenlerinin etkileri

Cam harmanında kullanılan hammaddelerin her birinin, cam üretim prosesi sürecine etkileri ve cama kazandırdıkları fiziksel, kimyasal özellikler farklıdır. Bu bölümde cam üretiminde kullanılan hammaddelerin ayrı ayrı etkileri incelenecektir.

1.1.4.1 Silisyum dioksit (SiO_2)

- Ergimiş camın viskozitesini artırır,
- Soğumuş cama camsı özelliğini verir,
- Camın ısıl genleşmesindeki etkisi azdır,
- Camın ısı şoklarına karşı dayanıklılığını artırır,
- Camın asitlere karşı dayanıklılığını artırır.
- Ergime sıcaklığını yükseltir.

1.1.4.2 Sodyum oksit (Na_2O)

- Ergimiş camın viskozitesini düşürür
- Camın ısıl genleşmesini artırır, buna bağlı olarak ısı şok dayanımını azaltır,
- Camın ergime sıcaklığını düşürür,
- Camın suya karşı dayanıklılığını azaltır,
- Camın elektriksel dayanıklılığını azaltır.

1.1.4.3 Kalsiyum oksit (CaO)

- Camın suya karşı dayanıklılığını artırır,
- Yüksek oranlarda kristalizasyona neden olur,
- Camın mekanik özelliklerini iyileştirir.

1.1.4.4 Potasyum oksit (K_2O) - Lityum oksit (Li_2O)

- Sodyum Oksit ile aynı özellikleri sağlar
- Viskozite dengeleyici olarak kullanılırlar.

1.1.4.5 Bor oksit (B_2O_3)

- Camlaştırıcı etkisi yüksektir,
- Soda yerine kullanıldığında camın ergime derecesini düşürür,
- Isı şoklarına karşı dayanıklılığı artırır (Isıl genleşmeyi düşürür.)
- Düşük oranlardaki B_2O_3 camın mekanik özelliklerini iyileştirerek işlenmeyi kolaylaştırır.

1.1.4.6 Alüminyum oksit (Al_2O_3)

- CaO veya SiO_2 yerine düşük oranlarda kullanıldığında ergimeyi kolaylaştırır,
- Karışımda doğrudan kullanıldığında ise viskoziteyi artırır,
- Kristalleşmeyi önleyici etkiye sahiptir,
- Isı ve mekanik şoklar ile, suyun etkilerine karşı cama dayanıklılık verir.

1.1.4.7 Magnezyum oksit (MgO)

Etkisi CaO'e benzer.

- Viskoziteyi artırarak çabuk katılaşmayı sağlar,
- Şişe ve kavanoz makineleri gibi otomatik şekillendirme makinelerinin daha hızlı çalışmasını sağlar.

1.1.4.8 Çinko oksit (ZnO)

- Özellikle borosilikat camların afinasyonu (Afinasyon; cam ergiyiği içerisindeki kabarcıkların yüzeye çıkarak bünyeden uzaklaşması) sırasında habbesiz cam elde etmek için kullanılır,
- Camın suya karşı dayanıklılığını artırır.

1.1.4.9 Kurşun oksit (PbO)

- Daha düşük sıcaklıkta ergiyebilen, daha akıcı, işlenmesi ve şekillendirilmesi daha kolay camların eldesinde kullanılır,
- Camın kırılma indisini ve ışın dağılımını (dispersiyon) artırır.

1.1.4.10 Baryum oksit (BaO)

- PbO ve CaO gibi etkisi vardır.
- Daha çok pres camların, parfümeri ve optik camların eldesinde kullanılır.
- Camın kırılma indisini artırır.
- Ekranın parlaklığını artırdığından ve röntgen ışınlarına karşı bir engel oluşturduğundan dolayı siyah- beyaz ve renkli TV tüpü üretiminde özellikle kullanılmaktadır.

1.1.4.11 Stronsiyum karbonat (SrCO_3)

- BaO gibi etkisi vardır.
- Özellikle, yüksek voltajlı renkli TV tüplerinde X ışınlarını emici etkisi nedeniyle kullanılmaktadır.

1.2 Cam Bileşenlerinin Elde Edildiği Hammaddeler

Daha önceki bölümde değinildiği üzere cam harmanına katılan oksitlerin herbirinin cama kattığı farklı özellikler söz konusudur. Kimyasal içerik camın ergime ve şekillendirilme karakteristiklerini düzenler, kullanım alanı ile ilişkili belirli özellikler kazandırır (düşük genleşme katsayısı, yüksek kırılma indisi veya kimyasal dayanıklılığın artırılması vb.). Bu bileşenler farklı hammaddelerden elde edilmektedir.

1.2.1 Cam yapıcı oksit sağlayan hammaddeler

Herhangi bir camın temel yapısını oluşturan maddelere “Cam Yapıcılar” adı verilir. Çoğunlukla bilinen cam yapıcı, silisyum dioksit’dir. SiO_2 ’nin belirli bir kristal ağ yapısı mevcuttur. Ancak ergime noktası olan 1730°C ’ye ısıtılırsa, kristal yapı daha düzensiz bir hale dönüşür. Hızlı soğumada sıcaklık değişiminin hızı, düzeni bozulan atomik yapının yine kristal yapıdaki muntazam haline geçebilmesi için yeterli süreyi tanımaz ve neticede silis düzensiz bir atomik yapı ile katılaşır. Özetle cam sıvı yapısına sahip katı gibi davranan bir oluşumdur.

Diğer bilinen bir cam yapıcı madde, bor metalinin oksitidir (B_2O_3). Fosfor oksitleri, arsenik ve germanyum da cam yapıcı madde sınıfına girerler, fakat bunlar büyük hacimde üretilen ticari camların yapımında kullanılmazlar.

Bu bölümde cam yapıcıların elde edildiği hammaddelerin tanımlamaları, bulunuş şekilleri ve üretim yöntemleri anlatılmıştır.

1.2.1.1 Kuvars

Tanım ve sınıflandırma

Kuvarsın formülü SiO_2 olup, saf halde % 46,5 Si ve %53,5 O içerir. Mohs skalasında sertliği 7, özgül ağırlığı $2,65 \text{ gr/cm}^3$, ergime sıcaklığı 1785°C olan ve yer kabuğunda oldukça sık görülen minerallerden biridir. Doğal kuvars içerisinde katı eriyik halinde bulunan başlıca elementler; Li, Na, Al, Ti ve Mg’dur. Şekil 1.2’de görüldüğü üzere

genel olarak renksiz, ancak içerdği gaz, sıvı ve katı kapaenımlar nedeniyle çok farklı renklerde de görülebilmektedir. Bu kapaenımlar; CO₂, H₂O, hidrokarbon, NaCl, CaCO₃, TiO₂ gibi bazı minerallerdir. Kuvars minerali sadece HF asitte çözünür. Piezoelektrik ve piroelektrik özellikler gösterir. Kuvars çeşitleri iri kristalli (ametist, mavi kuvars, pembe kuvars v.s) ve kriptokristalen kuvars (kalsedon, agat, çakmaktaşı v.s) olmak üzere iki ayrı gruba ayrılır [2,3].

Bulunuş şekilleri

Kuvars en çok magmatik kayalarda bulunmakla beraber, sedimantasyon yoluyla veya metamorfizmayla da oluşabilir. Magmatik bir kayacın bünyesindeki veya kumtaşı içindeki kuvarslar bir kuvars madeni olarak nitelendirilemez, ancak fay ve çatlaklarda damarlar halinde ikincil olarak oluşmuş kuvars kristalleri veya amorf türde oluşumlar ekonomik değere sahiptir.

Kuvars; kuvarsit, konglomera, silttaşları ve metamorfitler (çeşitli şistler) içinde nispeten bol bulunur. Silis suda erimiş halde bulunduğu zaman, kuvars kalsedon ve opal şeklinde çökeler. Kuvars, Türkiye’de genellikle fay zonlarında, çatlaklarda, filonlarda ve cevher yataklarında gang minerali olarak bulunur. Ankara, İzmir, Aydın, Muğla, Çanakkale, Bitlis, Kütahya illerinde genellikle filon biçiminde kuvars rezervleri bulunmaktadır. Devlet Planlama Teşkilatı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu’nun raporuna göre Türkiye’de 4-5 milyon ton mertebesinde jeolojik kuvars rezervi mevcuttur. Görünür rezerv ve kaliteye yönelik ayrıntılı etüdler yetersizdir. Fakat anket formlarından elde edilen bilgilere göre Kale Madencilik A.Ş. Biga-Bayramiç-Ezine (Çanakkale) yörelerinde 800.000 ton görünür, Söğüt Madencilik A.Ş. Çine bölgesi 2.500 ton görünür, Toprak Madencilik A.Ş.’de 825.000 ton görünür kuvars rezervleri olduğunu ifade etmişlerdir. Bu üç şirketin toplam görünür kuvars rezervleri 1.627.500 tondur.

Üretim yöntemi

Kuvars kristalleri üretimi elle toplanarak yapılmaktadır. Filon kuvarslar açık işletme yöntemiyle üretilmektedir. Bazı ocaklarda üretimden önce dekapaj işlemi uygulanabilmektedir. Açık ocakta üretim, havalı martoperfaratörlerle delinen deliklere patlayıcı madde doldurmak ve patlatmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Elde edilen iri parçalar patlayıcı madde ile patlatılarak veya hidrolik kırıcılarla kırılarak boyutları küçültülmektedir. Kırılmış kuvarslar, gerektiğinde su ile

yıkanmaktadır. Kırıcılardan geçirildikten sonra değirmenlerle istenilen boyuta öğütölmektedirler. Kullanılan değirmenler genellikle bilyalıdır. Tane boyut kontrolü elek ve siklonlarla yapılmaktadır. En son yapılan işlemle de Fe₂O₃ içeriğı flotasyon, manyetik seperasyon yada özgül ağırlık farkına dayalı yöntemler yolu ile istenilen seviyeye indirilmektedir [2,3].



Şekil 1.2 : Kuvars Kristalleri

1.2.1.2 Kuvars kumu

Tanım ve sınıflandırma

Kuvars kumu, kuvarsça zengin magmatik, metamorfik kayaçların ayrışması sonucu oluşan, tane boyutları 2.00-0.05 mm arasında değişen kuvars (SiO₂) tanecikleridir. Kuvars kumları beyaz olup, demir oksit içeren kumların rengi pembeden kıızıla veya kahverengiye kadar değişir. Şekil 1.3’de demir içerikleri nedeni ile farklı renk özellikleri gösteren kum taneleri görönmektedir. Silisten oluşan kuvars kumu az miktarda kil, feldspat, demir oksitler ve karbonatlar içerebilirler.

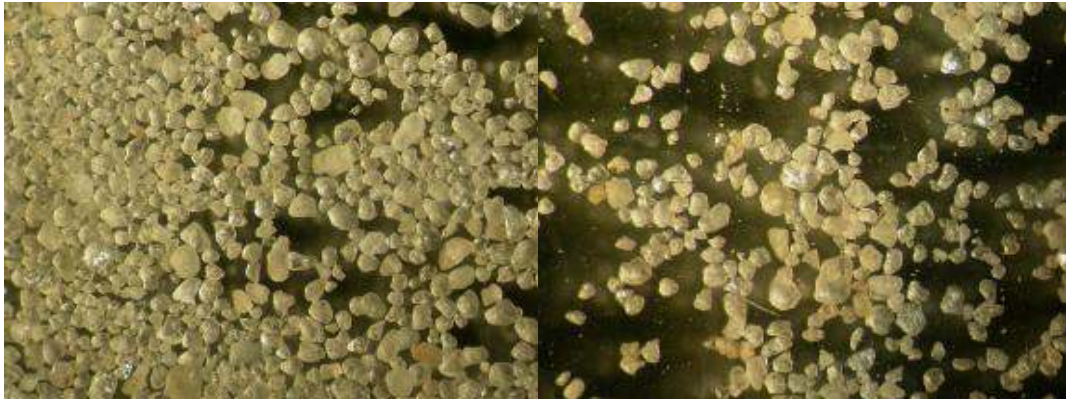
Bulunuş şekilleri

Kuvars kumları, oluşumları açısından genelde ikiye ayrılır. Birincisi “allokton” oluşum dediğimiz kuvarsça zengin magmatik ve metamorfik kayaçların ayrışmasından sonra serbest kalan kuvarsların taşınarak killi gevşek bir çimento ile istiflenmesinden meydana gelir. Bunların renkleri, içinde ihtiva ettikleri demirli minerallerin oranına göre beyazdan siyaha kadar değişebilir. İkincisi “otokton” oluşumdur. Bunlar silisçe zengin kayaçların bir faylanma veya metamorfizmanın etkisiyle yerinde ayrışmasından meydana gelirler. Bu tip kuvars kumları, allokton oluşumlara göre daha az safsızlık içerirler.

Kuvars kumu yatakları, ülkemizdeki kuvarsitlerin tektonizma ve metamorfizma etkisiyle domlar halinde ve kuvars tanelerinin sedimantasyonu sonucu tabaka şeklinde bulunurlar. Rezervler genellikle İstanbul'da Yalıköy, Binkılıç, İhsaniye, Şile, Tekirdağ'da Safaalan, Adana'da Kozan ve Sinop'ta dır.

Üretim yöntemi

Ülkemizde en fazla üretim yapan kuruluş olan Camiş Madencilik A.Ş. kendi sahalarından basamaklı açık işletme yöntemiyle üretim yapmaktadır. Kumun üzerindeki örtü tabakası dozerlerle eski imalat alanlarına itilmekte veya kamyonlarla müsait yerlere taşınmakta böylece örtü kaldırılmaktadır. Üstü açılmış bulunan kum tabakası Ekskavatörler ile üretilmekte ve kamyonlarla yıkama tesisi stok sahasına nakledilmektedir. Üretim esnasında ocak aynalarında sistematik bir şekilde stamp numuneleri alınarak hem kimyasal hem de fiziksel analizler yapılmakta ve bunların ışığında ocaktan homojen kum sevkiyatı sağlanmaktadır [2,3].



Şekil 1.3 : Kuvars Kumu (-1mm) Mikroskop Görüntüleri

1.2.1.3 Kuvarsit

Tanım ve sınıflandırma

Kuvarsit, genel olarak kuvars kumu tanelerinin silisten meydana gelmiş bir çimento ile birbirlerine çok sağlam şekilde bağlanmalarıyla oluşmuş bir kayaç olup, sedimanter ve metamorfik olmak üzere iki çeşidi mevcuttur.

Tanelerin çoğu büyümüş fakat birbirleriyle temas etmemiş ise buna “kuvarsitli kumtaşı” denilir. Bazen de tanelerin hepsi büyümüş fakat komşu taneler ile temas edememişlerdir. Buna da “çimentolu kuvarsit” denilir. İri silis taneleri arası küçük kum taneleri ile dolmuş olan kayaya “kumtaşlı kuvarsit”, silis taneleri arası yarıdan fazla kalsit çimento ile dolmuş olan bir taş da “kumtaşı” adı verilir. Eğer kuvarsit

tanelerinin hepsi birbirine dişli çarklar gibi kenetlenmiş ve ilk taneler hiç belli değil ise buna “kristalin kuvarsit” denilir.

Kuvarsitin kimyasal bileşimi, kuvars, kumtaşı (kuvarslı gre) ve kuvars kumu gibi SiO_2 'dir. Ancak kuvarsit içerisinde çeşitli miktarlarda feldspat, mika, kil, manyetit, hematit, granat, rutil, kireçtaşı v.b mineraller bulunabilir. Bileşiminde % 95'den fazla SiO_2 bulunan kuvarsitler “Ortokuvarsit” olarak adlandırılmaktadır. Sanayide genellikle ortokuvarsitler kullanılmaktadır.

Bulunuş şekilleri

Türkiye’ de kuvarsitler sedimanter ve metamorfik kayalar halinde geniş bir coğrafyada bulunmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü’nce tespit edilen kuvarsit rezervi 6,3 milyar ton’dur ancak bunun düşük bir miktarı cam üretimi için kullanılabilir durumdadır.

Üretim yöntemi

Kuvarsit genel olarak açık işletme yöntemi ile üretilir. Genelde mostra madenciliği yapıldığı için örtü tabakası ya yoktur ya da yok denecek kadar azdır. Üretim patlayıcı kullanılarak yapılır. Kırma, öğütme zenginleştirme işlemlerinden sonra kullanıma hazır hale getirilir. Kuvarsit, direnci çok yüksek ve aşındırıcı bir kayadır. Bu nedenle istihracı ve öğütülmesi oldukça güç ve pahalıdır. Bu sebeple de kuvarsit üretimi, aynı kimyasal bileşimde bulunan kuvars kumu ve kumtaşından (kuvarslı gre), ayrıca daha saf olan kuvarstan sonra tercih edilmektedir [2,3].

1.2.1.4 Bor mineralleri

Tanım ve sınıflandırma

Simgesi (B) olan Bor’un atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 ve ergime noktası $2190^{\circ}\pm 20^{\circ}\text{C}$ olup periyodik sistemin üçüncü grubunun başında yer almaktadır. Yer kabuğunda toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan kristal ya da amorf yapıdaki bor miktarı ortalama 10ppm mertebesindedir. Kristal borun yoğunluğu $2,33 \text{ gr/cm}^3$, amorf borun ise $2,34 \text{ gr/cm}^3$ ’tür. Bor, tabiatta serbest olarak bulunmaz. Bor elementi, doğada değişik oranlarda Bor Oksit (B_2O_3) ile 150’den fazla mineralin içinde yer almasına rağmen, ekonomik anlamda bor mineralleri kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementleri ile hidrat bileşikler halinde oluşumlar göstermektedir. Bor minerallerinden ticari değeri olanlar, Tinkal, Kolemanit, Üleksit, Probertit, Borasit,

Pandermit, Szyabelit, Hidroborasit ve Kernit'tir. Çizelge 1.5'te bor mineralleri kimyasal formülleri ve yüzdesel bor içerikleri verilmiştir [4].

Çizelge 1.5 : Bor Mineralleri ve Bor İçerikleri

Mineral Adı	Kimyasal Formülü	B₂O₃ %
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ . 10H ₂ O	36,5
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ . 4H ₂ O	51,0
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ . 5H ₂ O	50,8
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ . 8H ₂ O	43,0
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ . 5H ₂ O	49,6
Szaybelit	MgBO ₂ (OH)	41,4
Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ . 7H ₂ O	49,8
Datolit	Ca ₂ B ₄ Si ₂ O ₁₂ . 2H ₂ O	26,7
Sasolit (Doğal Borik Asit)	H ₃ BO ₃	56,3
Göl Suları	ERİMİŞ TUZLAR	-

Bulunuş şekilleri

Türkiye'de bilinen borat yataklarının tümü Batı Anadolu'daki Balıkesir, Bursa, Kütahya ve Eskişehir il sınırları içinde karasal Neojen göl tortullarında bulunmaktadır. Karasal alanlarda göl fasiyeslerinde gelişen yataklar konum olarak birbirine son derece yakın benzerlikler göstermektedir. Bu nedenle genel olarak borat yataklarımız çakıltası, kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kil, tuf ve killi kireçtaşı içine yerleşmiş olarak görülür. Çizelge 1.6'da dünya bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı görülmektedir [5].

Çizelge 1.6 : Ükelere Göre Dünya Bor Rezervi

Ülke	Görünür Ekonomik Rezerv	Mümkün Rezerv	Toplam Rezerv	Toplam Rezervdeki Pay (%)
Türkiye	227.000	624.000	851.000	72,2
A.B.D.	40.000	40.000	80.000	6,8
Rusya	40.000	60.000	100.000	8,5
Çin	27.000	9.000	36.000	3,1
Arjantin	2.000	7.000	9.000	0,8
Bolivya	4.000	15.000	19.000	1,6
Şili	8.000	33.000	41.000	3,5
Peru	4.000	18.000	22.000	1,9
Kazakistan	14.000	1.000	15.000	1,3
Sırbistan	3.000	0	3.000	0,3
TOPLAM (Bin Ton)	369.000	807.000	1.176.000	100

Üretim yöntemi

Dünyada bor minerali üretimi, genellikle, açık ocak yöntemleri uygulanarak yapılmaktadır. Cevher, örtü tabakasının fiziksel özelliklerine göre delme-patlatma ile gevşetilir. Cevherin üzerindeki örtü tabakası alındıktan sonra cevher çıkarılır. Bu işlemler sırasında ekskavatör ve loderler kullanılır.

Searles Lake ve Kaliforniya (A.B.D)’da ve Qinghai Basın (Çin)’de ticari bor üretimi, çözelti madenciliği yöntemi uygulanarak yapılmaktadır. 400 m derinlikteki, kolemanit formasyonları (20.000 ppm’lik bor), Forth Cady tarafından üretilmektedir. % 5’lik hidroklorik asit enjekte edilip sekiz saat bekletildikten sonra yüzeye pompalanmaktadır. Daha sonra kireç eklenerek % 43 B₂O₃’lik kolemanit üretilmektedir. Aynı yöntemle borik asit üreten yerler mevcuttur.

Türkiye’de kolemanit ve üleksit cevherleri ocaklardan alındıktan sonra kırılmakta, yıkanmakta ve sınıflandırıldıktan sonra konsantre olarak yurtiçi veya yurt dışı pazarlarında hammadde veya direk ürün olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.4’de kolemanit parlak kesit ve üleksit kristal yapısı görünmektedir [1]. Bor minerallerinin ve ürünlerinin endüstride kullanım alanları oldukça yaygındır. Üretilen bor minerallerinin %10’a yakın bölümü doğrudan mineral olarak üketilirken geriye kalan kısmı bor ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır. Dünyada bor ürünlerini tüketen sanayi dallarının başında %34’lük oranıyla cam endüstrisi gelmektedir [6].



Şekil 1.4 : Kolemanit Parlak Kesit ve Üleksit Makroskopik Örnek

1.2.2 Geçiş oksit sağlayıcı hammaddeler

Bunlar; K, Al, Ca, Na ve SiO_2 ihtiva eden hammaddelerdir. Cam üretimi sırasında eriyiğe hem aracı hem de tadil edici özellikler kazandırır. Tadil edicilerin özelliği daha düşük sıcaklıklarda ergimeye ulaşılmasını sağlamak iken, araçların görevi ise camın devitrifikasyon (kristallenme) eğilimini azaltmak ve sağlamlığını arttırmaktır.

1.2.2.1 Feldspat

Tanım ve sınıflandırma

Feldspatlar yer kabuğunda en yaygın olarak bulunan mineral grubudur. Yer kabuğunun yaklaşık olarak % 50'sini oluşturan feldspat grubu, magmatik ve metamorfik kayaların % 90'ını, sedimanter kayaların ise % 10'nu oluşturmaktadır. Feldspatlar, izomorf karışımları ve oluşum özelliklerine göre iki gruba ayrılmaktadır.

a) Alkali feldspatlar

- Ortoklaz KAlSi_3O_8
- Sanidin KAlSi_3O_8
- Mikroklin KAlSi_3O_8
- Anortoz $\text{Na AlSi}_3\text{O}_8$
- Albit $\text{Na AlSi}_3\text{O}_8$

Doğada K-feldspatlar çoğunlukla Na-feldspatlarla birlikte ve tali (aksesuar) olarak da Ca-feldspatlarla birlikte bulunur.

b) Plajiyoklaslar

- Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$): Doğada K-feldspat ile katı çözelti oluşturmayıp, sadece bir miktar K-feldspat ile birlikte bulunur.
- Anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$): Kalsiyumlu feldspatlar içerdikleri Ca ve Na miktarına göre izomorf seri oluştururlar.

Feldspatlar, doğada yaygın olarak bulunmalarına rağmen bunların çok azı cam ve seramik sanayine uygun özellikte hammadde içermektedir. Bunun nedeni, feldspat, özellikle K-feldspat oluşumlarının büyük çoğunluğunun ince taneli kayaçların bileşeni olarak bulunması, demir içeren mineraller tarafından kirletilmiş olmasıdır.

Ticari feldspatlar (potasyum feldspat ve albit), bazı feldspat mineralleri ile birlikte bulunur.

Bu nedenle teorik formüllere ulaşmak mümkün değildir. Ayrıca cam ve seramik sektöründe hiç istenmeyen mika (muskovit ve biyotit), turmalin ve granat gibi bazı gang mineralleri de ticari feldspatlar ile birlikte bulunmaktadır. Ürün kalitesini etkileyen bu mineralleri ekonomik bir şekilde flotasyon ve manyetik ayırma yöntemleriyle azaltmak mümkündür.;

Bulunuş şekilleri

Pegmatitler; Potasyum feldspatın yaygın olarak bulunduğu ve ayrıca başka ekonomik mineraller de içerebilen kaba taneli magmatik bir kayadır. Genellikle granit-granodiyorit bileşimli kayaçlarla ilişkili olarak bulunur. Ayrıca metamorfik provenşlerde de bulunmaktadır. Sanayide direkt olarak veya zenginleştirme işlemlerini takiben kullanılmaktadır.

Aplitler; Mineralojik olarak, damar kayacı şeklinde ve granit bileşiminde bir kayaç dokusunu ticari olarak ise büyük ölçüde albitten oluşan feldspatik bir damar veya dayk kayacını ifade eder.

Feldspat filonları; Granitik kayaçların kendi bünyeleri içinde veya kontakt halindeki yan kayaçlarda enjeksiyon damarları halinde oluşmuş feldspatça zengin sokulumlardır. Çok zengin tenörlü Na veya K-feldspat içerirler, impürite oranları daha düşüktür.

Nefelinli siyenit; Silisçe fakir kristalin bir kayaç olup albit ve mikroklin türü feldspat ile nefelinden oluşur. Az miktarda mafik silikatlar ve diğer aksesuar mineralleri

içerir. Serbest silis içermemesi, yüksek alkali ve alümina içeriği, yüksek ergitme gücü ve dar erime aralığı, cam endüstrisine ideal uyum gösteren karakteristiklerdir. Bu mineralin feldspata kıyasla daha yüksek alümina ve alkali katılımı anlamına gelmektedir. Kayacın endüstriyel özelliklerini temin eden nefelin minerali $\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$ kimyasal bileşimine sahip, $\text{Na/K}=3/1$ olan, Mohs sertliği 5,5-6 ve özgül ağırlığı $2,5-2,7 \text{ gr/cm}^3$ olan bir mineraldir.

Feldspatik kumlar; Doğal veya işlenmiş halde feldspat ve kuvars karışımından oluşmuş kumlardır. Feldspatça zengin kayaçların erozyonu ve taşınıp depolanması sonucu oldukça zengin plaser yataklar oluşabilir ve büyük rezerv arz edebilir.

Alaskit; Granit-pegmatik arası bir kimyasal bileşime sahip olduğu söylenebilir. Ortalama mineralojik bileşimi; %45 plajiyoklas, %25 kuvars, %20 mikroklin, %10 muskovit şeklindedir.

Grafik granit (Yazı Graniti); K-feldspatın hakim olduğu, ikincil mineral olarak kuvars içeren ve yüksek K_2O oranı istendiğinde kullanılan bir pegmatitik kayaç cinsidir. Ticari değeri üstte belirtilenler kadar fazla değildir.

Pertit; K-feldspat içinde mikroskobik plajiyoklas büyümelerinden oluşmuştur. Grafik granit ve pegmatitlerde pertit oluşumu yaygındır ve kayaca belirgin bir dokusal özellik kazandırır.

Altere Granitler; Granitik kayaçların atmosferik şartlar altında ve hidrotermal etkilerle belirli ölçüde alterasyonu sonucu içerdiği feldspatlarda kaolenleşme gelişir ve kayaç bünyesindeki mafik mineraller belirli ölçüde uzaklaştırılarak demir oksit impüritesi azalır. Cam sanayi, halen en büyük feldspat ve nefelinli siyenit tüketicisi olma durumunu muhafaza etmektedir. Feldspatik mineraller cam reçetesinde esas olarak alümina kaynağı şeklinde yer alırlar. Bununla birlikte eritici (flaks) özellikleri de yararlıdır. Feldspat bünyesindeki alkaliler, erime sıcaklığını düşürerek flaks görevi yaparlar, alümina ise duraylılık temin eder ve çarpma, bükülme ve termal şoklara karşı mukavemet kazandırır. Geniş anlamda bir genelleme yapmak gerekirse, yukarıdaki yararlarına ilaveten camın saydamlığını kaybetmesini engelleyen imalat sırasında viskozitesini de arttıran alümina içeriği, ambalaj (şişe) ve düz cam mamullerde %1,5-2 oranında mevcuttur. Cam elyafında ise, kullanım amacına bağlı olarak %15'e kadar çıkabilen oranda mevcut olabilir.

Hem feldspat, hem de nefelinli siyenit, yüksek fırın cürufu gibi diğer alümina kaynakları ile rekabet etme durumundadır ve cam üreticilerinin nihai seçimi, bir dizi faktörlere dayanmaktadır. Bunlardan başlıcaları, içerilen hem birim alüminanın teslim maliyeti, bağlı erime aralıkları, demir oksit gibi (% 0,04'ün altında olmalıdır), istenmeyen mineral düzeyleri mevcut olmamasıdır.

Nefelinli siyenit önemli bir silika (%59-60 SiO₂), alümina (%23-24 Al₂O₃) ve alkali (%9,8-10,2 K₂O) kaynağıdır. En önemli kullanım alanı cam sanayi olup , toplam tüketimin %65 ini oluşturur. Cam yapımında nefelinli siyenit, cam hamurunun eritilmesinde flaks olarak kullanılır. Nefelinli siyenitin alümina içeriği %23 civarında buna karşılık feldspatın %16-18 civarındadır. Demir oksit oranı nefelinli siyenitte daha düşüktür. Ülkemizde potasyum kaynakları Çine bölgesinde pegmatit damarları şeklinde bulunmakta olup damarlar içerisinden 1. kalite ve 2. kalite olarak K₂O oranlarına göre üretim yapılmaktadır. Pegmatitlere bağlı olarak işletilen ikinci bölge; Kütahya-Simav ve Demirci bölgesi olup bunların da kalitelerine göre üretim yapılmaktadır. Bu bölgedeki üretim, Çine bölgesine göre daha azdır. Ayrıca potasyum kaynağı olarak Türkiye'de pegmatit ve aplit damarları işletilmekte masseye uygun nitelikte feldspat konusunda Bilecik-Söğüt ve Akköy bölgelerinden üretim yapılmaktadır.

Sodyum kaynağı olarak Türkiye'de bilinen ve işletilen en önemli bölge Çine-Milas bölgesidir. Bunlar albit bileşimli olup seramik sanayiinde Bursa bölgesinden üretilen nefelinli siyenitler ile karışım halinde de kullanılmaktadır.

Üretim yöntemi

Feldspat kaynağı olarak üretilen nefelinli siyenitler, altere granitler, granit kumları ve pegmatit damarları açık ocak işletme yöntemi ile genellikle patlatma yapılarak üretilmektedir. Tüvenan olarak üretilen cevherler, kırıcılardan geçirilerek manyetik veya elektrostatik temizleme suretiyle içinde istenmeyen Fe₂O₃ ve TiO₂'li minerallerden temizlenir. Özellikle albit bakımından zengin aplitler ise flotasyon yöntemi ile içinde istenmeyen mika ve demirli kısımlardan ayrılır. Dünyada üretilen feldspatlarda el ile selektif madencilik pek yapılmamakta, istenmeyen parçalar yukarıda bahsedildiği gibi tesislerde temizlenmektedir [7].

1.2.2.2 Kaolen

Tanım ve sınıflandırma

Kaolen hammaddesini oluşturan en önemli mineral kaolinit $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ olup, alüminyum hidrosilikat bileşimli bir kil mineralidir. Kristal yapılarına göre yapılan kil sınıflandırmalarında, eş boyutlu ve bir yönde uzamış olanlar kaolinit grubu olarak diğerlerinden ayrılmaktadır. Oluşum itibariyle, feldspat içeren granitik veya volkanik kayaların altere olarak kaolinit mineraline dönüşmesi sonucu kaolinler oluşmaktadır. Ana kayaç içindeki alkali ve toprak alkali iyonların, çözünür tuzlar şeklinde ortamdan uzaklaşması sonucu Al_2O_3 içerikli, sulu, silikatça zenginleşen kayalar kaoliniti oluşturur.

Kaolen içindeki Al_2O_3 oranının en az % 39,50 olması gerekmektedir. Eğer Al_2O_3 oranı düşerse ya da başka bir deyişle Al_2O_3 dışındaki diğer bileşenlerin oranı artar ise kaolinin kalitesi düşüktür demektir [7].

Bulunuş şekilleri

Tanım ve sınıflandırma bölümünde belirtildiği gibi kaolinit bir kil mineralidir. Ancak dünya ve Türkiye'de kaolin, oluşum itibariyle kilden ayrı olup Türkiye'deki kaolin yatakları ve kaolin işletmeleri de killerden ayrılmıştır. Türkiye'deki kaolin yataklarının hemen hepsi hidrotermal kökenli yataklardır. Balıkesir-Sındırgı, volkanik kökenli sedimanter bir yatak olup, daha sonra hidrotermal alterasyona uğramıştır. Rezerv bakımından en zengin bölge, Sındırgı-Düvertepe (Balıkesir) bölgesi olup, bu bölge içerisinde en büyük rezervlere Söğüt Madencilik A.Ş. sahiptir.

Üretim yöntemi

Türkiye'de bulunan kaolin ocaklarında açık işletme ile üretim yapılmaktadır. Sert kaolin ocaklarında patlayıcı kullanılmaktadır. Ocaklarda 5-10 cm kırıcılar bulunmakta olup, yurtiçi ve yurt dışı satışlar 5-10 cm boyutlarında yapılmaktadır.

Daha çok müşterilerin kimyasal içerik talebini karşılayacak şekilde sahanın farklı noktalarından üretim yapılarak harmanlama yapıp satış ve sevkiyat gerçekleştirilmektedir.

1.2.2.3 Perlit

Tanım ve sınıflandırma

Perlit asidik bir volkanik camdır. Perlit ismi, bazı perlit tiplerinin kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen “perle” kelimesinden türetilmiştir. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genleştirildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen bir kayadır. Perlit kelimesi hem ham perlit için hem de genleştirilmiş perlit için kullanılmaktadır.

Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, genleştiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitin en önemli özelliği % 2 ile 6 oranında değişen içeriğindeki sudur ve bu su, perlitin kararlılığını sağlamaktadır. Seramik ve cam sektöründe katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

Bulunuş şekilleri

Türkiye’de Ege bölgesi perlitleri, Menderes ve Karaburun Masifleri arasında kalan mezozoik bir kıvrımın, Miosen Riyolitik volkanizmaları ile ilgilidir. Perlit doğrudan doğruya lav akıntılarıyla meydana gelmiştir. Bölgeyi Riyolit, Riyolitik tüfler, perlit ve volkanik tortular kaplamaktadır.

Cumaovası mevkiindeki perlit cevherleşmesi, Murat tepenin kuzey eteklerinden başlayıp yaklaşık 10 km boyunca Murattepe, Mezarkaya, Aktaş, Güllüktepe ve Karadağ’a kadar uzanmaktadır. Perlit cevheri tamamen satıhta olup, bazı kısımlarda 1,5 metreyi bulan doğal örtü tabakasıyla kaplıdır. Bazı yataklarda ve yatakların bazı kısımlarında perlit üzerinde riyolitik tüfler ve perlitik breşler mevcuttur. Cevher yataklarının derinliği 25-90 metre arasında değişmektedir.

Üretim yöntemi

Perlit yataklarından ham cevher üretimi açık işletmelerde yapılmaktadır. Bazı gevşek perlit ocakları riparli dozer ile sökülebildiği halde, üretim sırasında genellikle patlayıcı madde kullanılır. Ocaklarda üretilen ham cevher, çeneli veya merdaneli kırıcılar kullanılarak kırılır. Daha sonra öğütme yapılır. Bunun için değirmenler, elekler ve kırmalı ayırıcılar kullanılır. Öğütülen perlit tane iriliğine göre sınıflandırılır ve torbalanır. Perlitin hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır:

- Mümkün olduğunca perlit nodüllerine ayırmak ya da kp Ŗeklinde taneler elde etmek,
- Fazla inceltmeden ve kabuk dokusunu bozmadan, perlit sadece gerekli tane iriliğine kadar kırma,
- İstenilen tane boyuna ayırmak,
- Perlit genellikle kolayca kırılabilen iyi öğütülebilen bir kayadıdır. Ancak tane dağılımı kırma darbelerine bağlı olduğu için, kırıcı ve öğütücü seçimi özel dikkat gerektirmektedir.

Öğütülen ve sınıflandırılan ham perlit, cinsine göre 700-1200 °C arasında sıcaklığı olan bir ortama verildiğinde (Bu iŖlem için dikey, eğik ve döner yatay fırınlar kullanılır) içindeki suyun buhar halinde çıkmasıyla çok kısa sürede mısır gibi patlayarak hacmi 4-30 kat artar. Bu Ŗekilde genleŖtirilmiŖ perlit, çok gözenekli ve hafif camsı bir yapıya dnŖr. 400°C'ye kadar n ısıtmaya tabi tutulmasıyla perlitteki suyun % 80-90'i buharlaŖır. Kalan % 1-1,5'luk kısım genleŖme iŖlerinde eylemi olan aktif suyu meydana getirir. GenleŖme 700-1200°C de gerekleŖebilmektedir. GenleŖtirilen perlit, siklon ve multisiklonlardan (havalı ayırıcılar) geçirilerek sınıflandırılır ve torbalanır [8]. Perlitin genleŖtirilmesinde baŖlıca dört faktörün rol oynadığı söylenebilir. Bunlar;

- Kullanılan perlitin cinsi
- Gerekli ısıtma süresi
- Tane iriliği
- GenleŖme sıcaklığı

Perlit cevherinin genleŖtirilmesi ile aŖaėıdaki avantajlar sağlanmaktadır;

- Daha iri taneli perlit elde edilmektedir (inceler ve toz azalmaktadır).
- GenleŖtirilmiŖ perlitteki kapalı gözenekler büyük oranda artmaktadır.
- GenleŖmiŖ ürünün kapiller su emmesi % 65 düzeyinde azalabilmektedir.
- GenleŖtirme fırınının verimi artmaktadır.

1.2.2.4 Alümina hidrat

Tanım ve sınıflandırma

Alümina hidrat ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) kimyasal olarak alüminyum hidroksittir ve % 65,4 Al_2O_3 , % 34,6 H_2O ihtiva eder. Endüstride boksitten elde edilir. Boksit, bir mineral adı olmayıp, sertliği 1-3, yoğunluğu 2,5-3,5 gr/cm³ arasında deėiŖen alüminyum oksit ve hidroksitlerden oluŖan kayaca verilen genel bir isimdir.

Boksit, jibsit (hidrarjilit) $[Al(OH)_3]$, diasporit ($Al_2O_3 \cdot H_2O$) ve böhmit $[AlO(OH)]$ minerallerinin bir karışımı olup genel olarak silis, demir oksit ve TiO_2 içermektedir.

Bulunuş şekilleri

Ülkemizdeki boksit yataklarının yaklaşık % 95'ini Toros Kuşağı içinde yer alan karst (lateritik) tipi böhmitik, diasporitik demirli boksitler oluşturmaktadır. Toros Kuşağı dışında bilinen en önemli boksit yatakları Zonguldak civarındaki Kokaksu yöresinde yer alan karst tipi böhmitik boksitlerdir.

Üretim yöntemi

Türkiye'de boksit üretimi, Mortaş Boksit İşletmesinde açık işletmecilik şeklinde yapılmaktadır. Daha önce yeraltı ve açık işletme şeklinde yürütülen Milas Boksit İşletmesi'nin faaliyetlerine son verilmiştir. Kazı, delme ve patlatma yöntemiyle, yükleme ve nakliye ise elektrikli ekskavatörler ve kamyonlarla yapılmaktadır. Açık maden işletmeciliği dünya standartlarına uygun olarak yürütülmektedir.

Türkiye'de üretilen boksitin büyük bir bölümü Seydişehir Eti Alüminyum İşletmesi tesislerinde kullanılmaktadır. Alümina Fabrikasındaki, açık işletme tekniği ile çıkarılan % 56 Al_2O_3 tenörlü boksit cevheri, Bayer prosesinin uygulandığı bu fabrikada kırma, öğütme, çözme, katı-sıvı ayrımı, sıvının kristalizasyonu sonucu alüminyum hidroksit elde edilir. Bu işletmenin boksit üretim kapasitesi 400.000 ton/yıl mertebesinde.

1.2.2.5 Toprak alkali ve stabilite sağlayan metal oksit hammaddeleri

Ca, Mg, Ba sağlayan oksitlerin temininde kullanılırlar. SiO_2 'in ergime sıcaklığını düşürmek için soda kullanıldığında cam sudan ve kimyasallardan etkilenir bir yapıya sahip olmaktadır. Ca, Mg, Ba gibi ilaveler ile üretilecek camın suya ve diğer kimyasallara karşı dayanıklılığı arttırılmaktadır. Bu içerik aşağıdaki hammaddelerden temin edilmektedir.

1.2.2.6 Kalker (Kireç taşı)

Tanım ve sınıflandırma

Kimyasal bileşiminde en az % 90 $CaCO_3$ içeren kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde en az % 90 kalsit minerali bulunan

kayaçlara da kalker adı verilmektedir ve Çizelge 1.7’de görüldüğü üzere içerdiği CaO-CaCO₃ miktarına göre ticari sınıflandırması yapılmaktadır.

Kalker, saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup, teorik olarak % 56 CaO ve % 44 CO₂ içerir. Ancak doğada hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkincil derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orijinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde de görülebilmektedir. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2,5-2,7 gr/cm³ arasındadır.

Kalsit (hegzagonal CaCO₃) ve aragonit (ortorombik CaCO₃) kristallerinin her ikisi de modern kireçtaşı oluşumlarında yer alabilmektedir. Fakat aragonit kristallerinin kalsit kristallerine göre daha kolay dönüşebilmesi nedeniyle eski kireçtaşı oluşumlarında aragonit kristali bulmak çok güçtür [3,8].

Yeraltısularında travertenler şeklinde; deniz ya da tatlı sularda ise kimyasal, organik veya mekanik çökeltme sonucu kalker yatakları oluşur. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu organik, kırıntılı ve kimyasal materyaller içermektedir.

• **Kimyasal kalkerler:** Bunların üç ana tipi vardır;

-Bir evaporit ardalaşmasına bağlı kalkerler(genelde dolomitler)

-Oolitik ve pisolitik kalkerler

-Kalker tüfleri

• **Klastik (Kırıntılı) kalkerler:** Mekanik olarak çökelen karbonat kayaçları daha önce oluşan kalkerlerin ya da organik kalkerlerin parçalarının oluşturduğu epolanmalardır. Bunların sınıflandırılması sedimanter kayaçlar için kullanılan tane boyu ölçeğine bağlıdır.

-Kalsirudit 2 mm ve yukarısı

-Kalkarenit 1/16-2 mm

-Kalsilutit 1/16 mm den küçük

• **Organik Kalkerler:** Pek çok bitki ve hayvanın içerdikleri CaCO₃ ; organizmalar öldükten sonra kireçtaşını oluşturmak üzere çökebilmektedir.Bunların en önemlileri; resifal kalkerler, biyotermal kalkerler, mercan kalkerler, algli kalkerler ve kabuk kalkerlerdir.

Çizelge 1.7 : Kalker Sınıflandırması

Adlandırma	%CaCO ₃	%CaO
Çok Fazla Saf	>98,5	>55,2
Çok Saf	97-98,5	54,3-55,2
Orta Saf	93,5-97,5	52,4-54,3
Az Saf	85-93,5	47,6-52,4
Saf Olmayan	<85	<47,6

Bulunuş şekilleri

Ülkemizde kalker oluşumları neredeyse her coğrafi bölgede farklı rezervler ve farklı kaliteler sergilemektedir. Çizelge 1.8’de bölgelere göre belirlenen Kalker rezervleri görülmektedir [3,8].

Çizelge 1.8 : Bölgelere Göre Kalker Rezervleri

Bölge	Rezerv (Milyon Ton)		
	Görünür	Görünür+Mümkün	Muhtemel
Marmara	217	1008	2120
Ege	395	2200	16860
Akdeniz	323	1335	7810
İç Anadolu	606	2112	5135
Karadeniz	260	1405	3940
Doğu Anadolu	383	1180	2710
Güney D.Anadolu	147	530	910
TOPLAM	2331	9770	39485

Üretim yöntemi

Kalker üretimi ülkemizde açık ocak işletmeciliği ile gerçekleştirilmektedir. Dekapaj ile kirliliklerinden arındırılan cevher delme patlatma işlemlerinin ardından kırıcı tesislerine nakledilerek istenilen boyutlara göre kırılır. Cam endüstrisinde 2mm altında bir boyut ve sıfır rutubet istendiğinden öğütme işlemine de tabii tutulur. Bu işlem için birkaç kademe çeneli kırıcı, döner kurutucu ve ardından elekler ile kapalı devre çalışan çekiçli kırıcılar kullanılmaktadır.

1.2.2.7 Dolomit

Tanım ve sınıflandırma

Bileşimi CaMg(CO₃)₂ olan ve bir çift karbon bileşiği olan dolomitin kalsitten ayrı özellikte bir mineral olduğu ilk defa Fransız jeolog Dolomiev Syluoine tarafından belirlenmiştir (1750-1801).

Dolomit, kireçtaşlarında CaO ‘un yerini kısmen veya tamamen MgO’un alması ile oluşur. Bünyedeki kalsit ve dolomit oranlarına göre bazı araştırmacılar tarafından Çizelge 1.9’ daki gibi sınıflandırılmaktadır [8].

Çizelge 1.9 : İçeriğine Göre Dolomit Sınıflandırması

Kalsit/Dolomit İçeriği	Adlandırma
<%10 Kalsit->%90 Dolomit	Dolomit
%50-10 Kalsit-%50-90 Dolomit	Kalkerli dolomit
%90-50 Kalsit-%10-50 Dolomit	Dolomitik Kireçtaşı
%95-90 Kalsit- %5-10 Dolomit	Magnezyumlu Kireçtaşı
>%95 Kalsit-<%5 Dolomit	Kireçtaşı

Yukarıdaki sınıflandırmada kayacın içerdiği kalsit ve dolomit minerallerinin miktarı asıl rolü üstlenmektedir. Dolomitin özgül ağırlığı, MgO oranına bağlı olarak 2,71 ile 2,87 gr/cm³, sertliği ise Mohs skalasına göre 3,5-4 arasındadır. Kalker HCl asitte kolayca erirken, dolomit güçlkle erir.

Ticari saflıktaki dolomitin ergime noktası 1924-2495°C arasında değişmektedir. İçerdiği organik malzeme miktarı arttıkça koyulaşmakla beraber genellikle pembe, kirli beyaz, beyazgri, siyah ve kahve renklidir. Romboedrik sistemde kristalleşen dolomit %30,4 CaO, %21,8 MgO ve %47,8 CO₂ içerir. İmpürite olarak silikat, feldspat ve opak mineraller içerir. Ticari anlamda dolomitin türleri için çeşitli sıcaklık derecelerinde işlemler yapılır. Kalsinasyon işlemi uygulanmamış dolomite “Ham dolomit”; 1100°C de ısıtılma tabi tutulmuş dolomite “Kalsine dolomit” 1850°-1950°C arasında ısıtılma tabi tutulması ile elde edilen ürüne de “Sinter dolomit” ismi verilmektedir. Dolomitin 1650°C civarında demir oksitle birlikte yakılması ile elde edilen ürün ise “Dead-burned dolomit” olarak simlendirilmektedir.

Bulunuş şekilleri

Sedimanter kayaçlar yeryüzünün % 75’ini kaplamaktadır. Böylesine geniş bir yayılım gösteren sedimanter kayaç grubunun ne kadarını karbonat kayaçların oluşturduğu bilinmemektedir.

Bunun yanında karbonat kayaçlarının oluşumunun Prekambrien'den başlayıp günümüze kadar devam ettiği düşünülecek olursa bu tip kayaçların, dolayısıyla dolomit varlığının çok büyük oranlarda olduğu ortaya çıkmaktadır. Nitekim dünya da

pek çok ülkede dolomit rezervi bulunduğunun bilinmesine rağmen rakamsal değerlere ulaşamamıştır. Çizelge 1.10’da ki veriler mevcut dolomit rezervlerinin çok küçük bir kısmını yansıtmaktadır.

Çizelge 1.10 : Türkiye Dolomit Rezervi

Mevkii	%MgO	Rezerv
Kırkklareli-Dereli	18-21	10.920.000
Marmara Adası	18	40.000
Zonguldak-Alaplı	16-20	393.000
Zonguldak-Eflani	20-21	95.000
Hatay-Harbiye	19-20	880.000
İçel-Aydincık	17-21	684.000.000

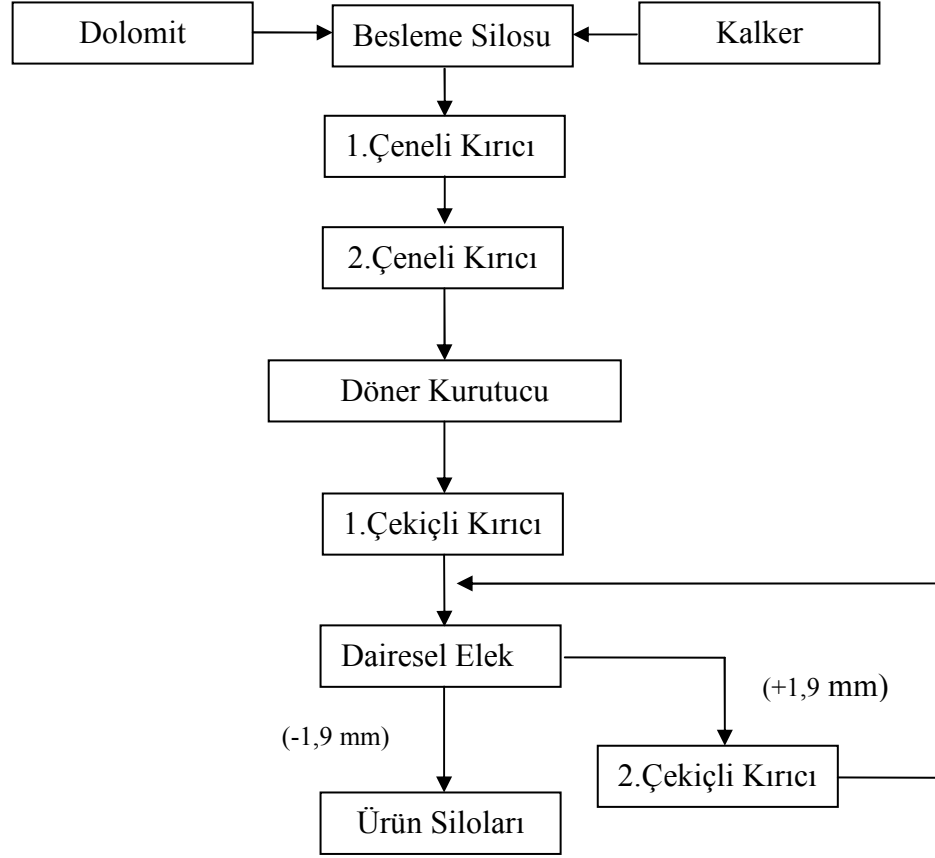
Çimento, inşaat vb. alanlarda kimyasal ve fiziksel açıdan çok hassas davranılmamasına rağmen özellikle cam sektöründe magnezyum oksit, Kalsiyum oksit yanında cevherin demir ve empürite içeriği de son derece önem taşımaktadır. Bu da milyarlarca ton dolomit rezervinin çok az bir kısmını cam sektörü için kullanılabilir kılmaktadır [3].

Üretim yöntemi

Dolomit üretimi genelde basamaklı açık işletme yöntemi ile yapılmaktadır. Bu yöntemde; hazırlanan işletme projelerine uygun olarak basamaklar oluşturulmaktadır. Gerek basamakların oluşturulmasında gerek üretim esnasında patlayıcı, dozer, loder, kamyon gibi herhangi bir açık işletmede kullanılan donanım kullanılmaktadır. Açık işletmelerde üretilen dolomit daha sonra kırma-öğütme tesislerinde istenilen özelliklerde boyutlandırılmakta, kurutulmakta ve depolanmaktadır.

Bazı durumlarda nebati topraktan gelen safsızlıkların giderilebilmesi için yıkama işlemi de yapılmaktadır.

Cam sektörü daha da önce belirtildiği gibi 2mm altına öğütülmüş dolomit ve kalker kullanılmaktadır. Şekil 1.5’deki akış diyagramında Camiş Madencilik Trakya Öğütme tesisinde öğütülmüş dolomit ve kalker prosesi görünmektedir. Aynı tesiste farklı proses optimizasyonları kullanılarak çeşitli kalitelere dolomit ve kalker üretimi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.5 : Camiş Madencilik A.Ş. Trakya Öğütme Tesisi Akım Şeması

1.2.2.8 Jips (Alçı Taşı)

Tanım ve Sınıflandırma

Alçıtaşı, kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat olan bir mineraldir. Bileşiminde iki molekül kristal suyu bulunan türüne jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) denir. Sertliği 2, özgül ağırlığı $2,3 \text{ gr/cm}^3$ olan Şekil 1.6’da görüldüğü üzere cam görünümlü bir mineraldir, suda ve asitte güçlükle erir.



Şekil 1.6 : Jips Kristali

Jips, $120-130^\circ\text{C}$ ’ye ısıtıldığı zaman kristalizasyon suyunun $\frac{3}{4}$ ’nü kaybederek $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ‘ya yani alçıya (Paris Alçısı) dönüşür. Buna “yanmış jips” de denir. Bu cisim de su ile karıştırılırsa sertleşir. Jipse bu özelliğinden dolayı “**alçı taşı**” da denir.

Jips 190°C ’ye ısıtılırsa suyunun hepsini kaybederek Anhidrit’e dönüşür. Anhidrit (CaSO_4) jipsin ilk maddesi olarak tanınır. Doğada genellikle alçıtaşı ile birlikte bulunur.

Bulunuş şekilleri

Jips, evaporitlerde birincil olarak oluşan bir mineraldir. Anhidritli kayalar yüzeyde veya yer altı suyunun bulunduğu kısımlarda jips şapkasını oluştururlar. Bu şekilde oluşan ikincil jips kütleleri, özellikle saf ve eşit taneli bir yapı gösterirlerse alabaster adını alırlar. Piritin oksidasyonu sonucu oluşan sülfürik asidin kalsiyumu bağlaması ile pirit içeren kil ve marnlarda, sülfür cevherlerinin üstünde bulunan demir şapkasında büyük ve özşekilli ikincil jips kristalleri oluşur [8,9].

Üretim yöntemi

Alçı taşı oluşumları yüzeye yakın oldukları zaman açık ocak işletmeciliğine elverişlidir. Ocaktan alınan alçı taşı, kırıcılarda istenilen tane boyuna getirildikten sonra döner fırınlarda kalsine edilmekte ve kalsinasyon sonrası uygun öğütme ünitelerinden geçirilerek nihai kulamın boyutuna getirilmektedir.

1.2.2.9 Barit

Tanım ve sınıflandırma

Kimyasal bileşimi $BaSO_4$ olan barit en çok bilinen baryum mineralidir. Şekil 1.7’de görüldüğü gibi beyaz, opak veya yarı şeffaf görünümlüdür. İçerdiği demirden dolayı kırmızı ve kahverengi, karbonlu maddelerden dolayı siyah, sarı, kırmızı ve mavi renklerde görülebilir.

Saf barit; % 65,7 BaO, % 34,3 SO_3 içermektedir. Metalik olmayan minerallerin en ağır olanıdır. Özgül ağırlığı $4,5 \text{ gr/cm}^3$, sertliği 2,5-3,5 arasındadır.



Şekil 1.7 : Barit Kristali

Bulunuş şekilleri

Barit yatakları, farklı oluşum mekanizmaları sergilemekte, bir kısmı magmatik faaliyetler sonucu birincil, diğer bir kısmı da aşınma ve çökeltme sonucu ikincil olarak oluşmaktadır. Aşağıda doğada bulunuş şekillerine göre barit yatakları hakkında daha detaylı bilgiler verilmiştir [8,9].

Doğada bulunuş şekillerine göre barit yatakları

a) Damar ve dolgu şeklindeki barit yatakları: Bu tip barit yatakları hidrotermal olarak fay zonları, kırık ve çatlak boşlukları ile breşik zonlarda filonlar ve damarlar şeklinde bulunurlar.

Barit filonları içerdikleri diğer maddelere göre isimlendirilirler:

- Floritli barit filonları,
- Kurşunlu barit filonları,
- Kobaltlı barit filonları,
- Stibnitli barit filonları ve
- Manganlı barit filonları.

Bu tür barit yatakları; barit içeren hidrotermal çözeltilerin taşıdıkları bariti, kırıklar, eklemler ve benzeri süreksizliklerde bırakmalarıyla oluşurlar.

b) Tabakalı barit yatakları: Bu tür barit yatakları sedimanter serinin bir bölümünde hem çimento maddesi hem de ana bileşen olarak bulunurlar. Kuvars, pirit, ikincil demir oksitler ve çört genellikle barite eşlik eder. Ayrıca kalsit, dolomit, siderit, stronsiyenit ve viterit gibi karbonatlar da barit ile birlikte görülebilen bileşenlerdir.

c) Kalıntı tip barit yatakları: Kalıntı tip barit yatakları, daha önceden oluşan barit cevherleşmelerinin aşınmaları ve bozunmaları sonucunda oluşurlar. Bu tür yatakların tenörü ve kalitesi diğer bileşenlerin miktarına ve türüne bağlı olarak değişir. Barit tenörü % 12 BaSO₄ ile % 50 BaSO₄ arasında bir değer taşıyabilmektedir. Türkiye’de barit yatakları Antalya, Giresun, Muş, Kocaeli, Konya-Karaman, Gümüşhane Bayburt, Isparta ve Siirt yörelerinde bulunmaktadır.

Üretim yöntemi

Dünyada ve ülkemizde barit üretimi, hem yeraltı hem de yerüstü işletme yöntemleri ile yapılmaktadır. Mikronize barit üretimi ise, sarkaç toplu veya döner tablalı değirmenlerde öğütülüp, çeşitli separatörlerden ve filtrelerden geçilerek boyut sınıflandırması yapılmak suretiyle gerçekleştirilmektedir.

1.2.2.10 Tek değerlikli metal oksit sağlayıcı hammaddeler

Daha önce değinildiği üzere SiO₂ ergime sıcaklığı 1730 °C’dir. Bu sıcaklığı aşağı çekmek için cam üretimi sırasında harmana sodyum içeren (tadil edici) hammaddeler

ilave edilir. SiO_2 ile Na_2CO_3 ergime noktasından daha düşük sıcaklıklarda reaksiyona başlar. Hatta kullanılan soda miktarı ile bu sıcaklık $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar indirilebilir ancak bu durumda üretilen camın suya ve kimyasallara karşı dayanıklılığı konusundaki sınır kullanılabilecek soda miktarını belirler.

1.2.2.11 Soda

Tanım ve sınıflandırma

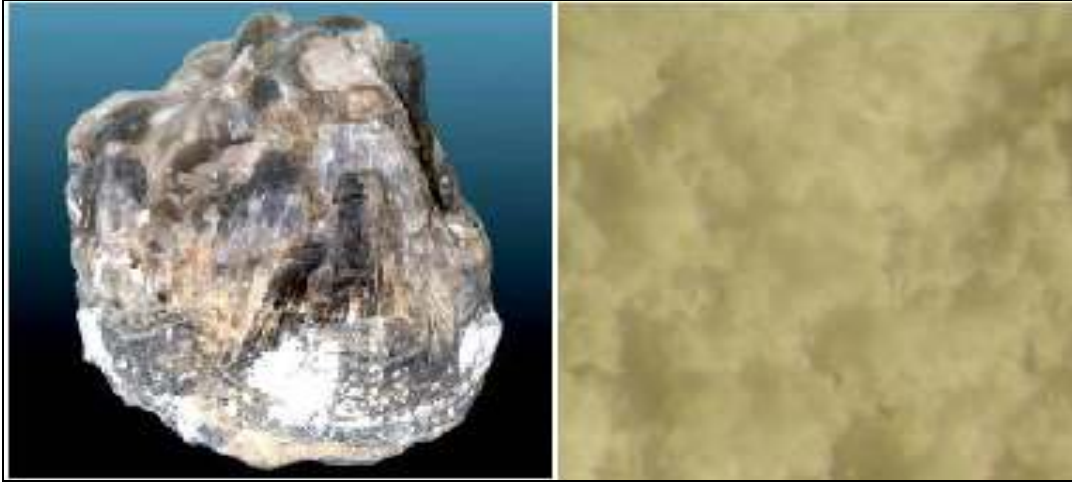
Soda, kimyasal bileşimi Na_2CO_3 olan beyaz, kristalin, kuvvetli alkalin reaksiyon ile higroskopik bir tozudur. Soğuk suda ılımlı olarak çözülebilir (14gr/100gr) çözücünde ve 15°C 'de).

33°C 'de suda çözelti ağırlığının yaklaşık %30'u çözünebilir (32gr/100gr).Yüksek sıcaklıklarda çözünürlüğü az eksilir. Erime noktası 851°C 'dir.Soda, tane büyüklüğüne göre farklı iki yoğunlukta hafif soda külü ve ağır soda külü olarak satılmaktadır. Çizelge 1.11'de görüldüğü üzere ağır soda da kendi içinde hafif, ağır ve granüle olmak üzere sınıflandırılır [1].

Çizelge 1.11 : Hafif, Ağır ve Granüle Soda Özellikleri

Soda	Tane Boyutu	%Ağırlık	Yığın Yoğ. (gr/cm ³)
Hafif Soda	+200 μ	15,2	0,59
Ağır Soda	+200 μ	99,7	0,98
Granüle Soda	+177 μ	82,6	~1
	+125 μ	10,3	~1
	-125 μ	7,1	~1

Trona, monoklinal sistemde kristalleşen, doğal olarak oluşmuş hidrat sodyum seskikarbonatın ($\text{Na}_2\text{CO}_3.\text{NaHCO}_3.2\text{H}_2\text{O}$) saf olmayan şeklidir. Cevherin içerdiği organik maddeye bağlı olarak rengi kahverengiden koyu sarıya kadar değişir. Saf numunelerinde ise renk beyazdan şeffafa kadar değişmektedir. Şekil 1.8'de görünen Trona, tabiatta doğal olarak bulunan soda minerallerinden en yaygın olanıdır [1]. Fakat çok kolay eridiği için tabiatta hiç mostra vermemekte ve genç Tersiyer havzalarında bulunabilmektedir. Doğada bulunan soda mineralleri formül ve içerikleri Çizelge 1.12'de listelenmiştir.



Şekil 1.8 : Trona ve Öğütülmüş Soda

Çizelge 1.12 : Soda Mineralleri, Formül ve İçerikleri

Mineral	Formül	%Na ₂ CO ₃
Termonatrit (Monohidrat)	Na ₂ CO ₃ .H ₂ O	85.5
Trona (Sesikarbonat)	Na ₂ CO ₃ .NaHCO ₃ .2H ₂ O	70.4
Nakolit (sodyumbikarbonat)	NaHCO ₃	63.1
Bradleyit	Na ₂ PO ₄ .MgCO ₃	47.1
Pirsonit	Na ₂ CO ₃ .CaCO ₃ .2H ₂ O	43.8
Northupit	Na ₂ CO ₃ .NaCl.MgCO ₃	40.6
Tychit	2MgCO ₃ .2NaCO ₃ .Na ₂ SO ₄	42.6
Natron	Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	37.1
Dawsonit	NaAl (CO ₃) (OH) ₂	35.8
Gaylusit	NaCO ₃ .CaCO ₃ .5H ₂ O	35.8
Sortit	Na ₂ CO ₃ .2CaCO ₃	34.6
Burkeit	Na ₂ CO ₃ .2Na ₂ SO ₄	27.2
Hanksit	2Na ₂ CO ₃ .9Na ₂ SO ₄ .KCl	13.6

1.2.2.12 Soda endüstrisinde kullanılan terimler

Soda külü: Sodyum karbonatın eş anlamlısıdır. Doğal kaynaklardan (Trona’dan) veya değişik kimyasal prosesler ile (Solvay, AC, NA) üretilen soda külüne uygulanan genel bir terim “soda” , “soda külü” ve “sodyum karbonat” terimleri birbirleriyle değiştirilebilir terimlerdir.

Amonyak-Soda prosesi: Solvay Prosesi ve Kireç-Soda Prosesi olarak bilinir.

Ağır soda külü: Dökme yoğunluğu 0,96-1,06 gr/cm³ arasında değişir. Ağır soda külü üretimi, hafif soda külünün hidratasyonu ile sağlanır. Ağır soda külü, düşük toz ihtiva eden serbest akışlı bir maddedir ve daha pahalı olmasına rağmen genel olarak toz oranının dezavantaj olarak kabul edildiği cam ve demir-çelik endüstrisinde kuru” olarak kullanılmaktadır.

Doğal soda külü: Trona cevherinden, sodyum karbonatça zengin salamuralardan veya yüzeysel mineralizasyondan elde edilen soda külüdür.

Sentetik soda külü: Kimyasal prosesler (Solvay Prosesi gibi) ile üretilen soda külüdür.

Sodyum seskikarbonat: Tronanın veya kimyasal prosesin kimyasal bileşiminin adı.

Soda külü için iki standart mevcuttur;

- ASTM (American Society for Testing and Materials) standardına göre Na_2CO_3 oranı minimum %96,16 olmalıdır.
- BS (British Standart) standardına göre ise soda külü içinde Na_2O oranı %57,25' den az , Fe_2O_3 oranı %0,005' den fazla olmamalıdır.

Sodyum Karbonat için (kalsine) T.S.525 ve Sodyum Bikarbonat için T.S.3050 Türk Standartları mevcuttur. Soda Sanayii A.Ş. Türk Standartlarına uygun olarak üretim yapmaktadır. T.S. 525'in istediği özellikler ve Soda Sanayii A.Ş.'nin fiili değerleri Çizelge 1.13'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 1.13 : Soda Standartları ve Karşılaştırma

T.S.525 Kalsine Soda		Soda San. A.Ş.
Na_2CO_3	Min. % 99.1	% 99,41
SO_4	Max. % 0.027	% 0,02
Cl	Max. % 0.4	% 0,25
Fe	Max. % 0.004	% 0,003
Cu	Max. % 0.003	% 0,003
Çözünmezler	Max. % 0.02	% 0,02

Cam üretiminde her 1 ton cam üretimi için ~200 kg ağır soda külü tüketimi gerekmektedir. Burada soda külü daha ziyade bir sodyum oksit kaynağı olarak ergime sıcaklığını düşürmek amacıyla kullanılır. Prosese diğer bir yararı da açığa çıkan CO_2 'in ergimiş kütlenin içinden yukarı çıkarken, camı karıştırıcı bir etki yapmasıdır.

Soda külündeki düşük klorür oranının fırın performansını arttırdığı belirtilmektedir.

Bu nedenle doğal soda külü sentetik soda külünden daha avantajlıdır. Özellikle düzcam üretiminde klorür oranının düşük olması daha büyük bir önem arz etmektedir.

Bulunuş şekilleri

Türkiye'de soda külü (sodyum karbonat) Mersin Soda Sanayii A.Ş. tarafından Solvay yöntemi ile kaya tuzundan sentetik olarak üretilmektedir. Bölgedeki kaya tuzu rezervleri işletmenin yaklaşık 100 yıl ihtiyacını karşılayacak kapasitededir. Halen proje çalışmaları devam eden Etibank Beypazarı trona yatakları %87 tenörlü 196 milyon ton rezerve sahiptir.

Üretim yöntemi

Mersin Soda Sanayi'nde soda külü üretimi Amonyak-Soda usulü olarak da bilinen Solvay yöntemi ile yapılır. Bu yöntem, sentetik soda üretiminde genel olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde, litrede 305-210 gr. tuz ihtiva eden salamura (tuzlu su), soda üretim tesislerinde soda ve kireçsütü ile artırılır. Artırılmış bu salamura amonyak ile doyurulduktan sonra karbonlaştırma kolonlarında (Solvay Kolonları) kireçtaşı fırınlarında kok ve kireçtaşının yakılmasından elde edilen % 40'lik ve kalsinasyondan geri kazanılan % 70'lik CO₂ gazı ile reaksiyona sokularak ham NaHCO₃'a dönüştürülür.

Vakum filtrelerinde ana likörden ayrılan ve ham NaHCO₃ hafif sodaya dönüştürülmek üzere kalsinasyon ünitesine gönderilir. Ana likörde oluşan amonyum klorürdeki (NH₄Cl) amonyağın geri kazanılması için çözelti önce bir ön kireçlendiriciye ve sonra da buharlı bir distilasyon kolonuna gönderilir. Böylece geri kazanılan amonyak tekrar sisteme sokulur. Amonyum klorürün klorür anyonu, kireçsütünün kalsiyum katyonu ile birleşerek kalsiyum klorür haline dönüşür.

Kalsiyum klorür, sodyum klorür, kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat ve magnezyum hidroksit artık maddeler olarak atılır. (Hafif Soda Üretimi) Hafif sodabikarbonat kalsinasyon ünitesinde, buhar borulu ve endirek ısıtılmalı kalsinatörlerde 230-250°C'da ısıtılarak CO₂'ini kaybeder ve hafif sodaya dönüşür.

Hafif soda , ağır soda ünitesinde bir molekül sodayla bir molekül suyun fazlasına eşdeğer su ile işleme sokularak Na₂CO₃.H₂O kristallerine dönüştürülür ve buhar ısıtma borulu bir kurutucuda bu verilen su, buharlaştırılarak ağır soda kristal şeklini muhafaza ederek küçük granüller halinde elde edilir. Bu granüller elenir, cam sanayinde kullanılmaya uygun boyuttakiler alınır ve torbalanır. Ağır sodanın yoğunluğu hafif sodanın yaklaşık iki katıdır.

Fabrikada, ham bikarbonatın bir kısmı ana çözelti ile karıştırılarak bikarbonat sütü denilen karışım elde edilir. Bikarbonat sütü karbonat çözeltisi elde edilmek ve NH_4HCO_3 'tan uzaklaştırılmak üzere dekarbonasyon kolonuna gönderilir. Elde edilen çözeltiye az miktarda aktif karbon karıştırılarak filtre edilir ve tekrar bikarbonat elde edilmek üzere biraz soğutularak karbonasyon kolonuna gönderilir. Kolona verilen karbondioksit ile teşekkül eden bikarbonat separatörle kısmen çözeltisinden ayrıldıktan sonra santrifüj edilir. Elde edilen bikarbonat Bühler kurutucusunda kurutulduktan sonra siklon ve torba filtrelerden silolara alınır. Separatörden elde edilen çözelti ise tekrar ham bikarbonat ile karıştırılmak üzere başlangıç noktasına gönderilir.

1.2.2.13 Sodyum sülfat

Tanım ve sınıflandırma

Sodyum sülfat nötr bir tuzdur ve doğal kaynaklardan (göl ve deniz suları), tabii minerallerden, yeraltından ve kimyasal proseslerden yan ürün olarak üretilmektedir. Anhidre sodyum sülfat beyaz kristal yapıda, kristal sodyum sülfat şeffaf kristaller şeklindedir.

Saf Glauber tuzu teorik olarak % 44 Na_2SO_4 içerir. % 56'sını kristal suyu oluşturur ve 10 mol kristal suyu içerir. Sodyum sülfat içeren cevherlerin çeşitli birim operasyon ve proseslerle zenginleştirilmesi gerekir.

Sodyum sülfat üretim kaynakları ve yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır. Doğada başlıca mineralleri Çizelge 1.14'de görüldüğü üzere mirabilit, glauberit, tenardit, astrakonit ve jöveit'dir. Göl sularından üretilen sodyum sülfat cevheri glauber tuzu şeklinde ve kristal yapıdadır.

Çizelge 1.14 : Doğal Sodyum Sülfat Mineralleri

Mineral Adı	Kimyasal Formülü
Mirabilit veya Glauber tuzu	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Tenardit	Na_2SO_4
Glauberit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$
Bloedit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

- **Kristal sodyum sülfat :** ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) % 42-44 olup; Na_2SO_4 hegzagonal sistemde iri şeffaf kristaller şeklindedir.

- **Anhidre sodyum sülfat :** Saltcake sodyum sülfat, ortalama % 96 Na_2SO_4 içermekte olup, beyaz anhidre kristalleri veya toz halindedir. Yığın yoğunluğu 1,20-1,50 gr/m^3 arasında değişir.
- **Hafif tip sodyum sülfat :** % 98 Na_2SO_4 içeren parlak beyaz toz halinde yoğunluğu 0,5-0,7 gr/m^3 arasında değişir.
- **Rafine ağır tip sodyum sülfat :** % 99,5 sodyum sülfat içerir, akıcı beyaz kristaller halindedir ve yoğunluğu 1,4-1,6 gr/m^3 dır.

Bulunuş şekilleri

Doğal üretimin en önemli kaynağı acı göllerdir. Türkiye'de bunlar, Acıgöl, Bolluk ve Tersakan gölleridir. M.T.A.'nın Acıgöl üzerinde yaptığı rezerv hesaplarına göre Anhidre Sodyum Sülfat üretiminde görünür rezerv 12.500.000 tondur. Ayrıca şu anda Alkim Alkali Kimya A.Ş. imtiyazında olan Beypazarı yeraltı sodyum sülfat sahalarında M.T.A. raporlarına göre % 80 tenörlü 2 milyon ton rezerv bulunmaktadır. Yine aynı sahada M.T.A. raporlarına göre % 35-40 tenörlü 100-150 milyon tonluk rezervden söz edilmektedir. Ancak % 35-40 tenörle çalışmak ekonomik değildir.

Üretim yöntemi

Sodyum sülfat üretim yöntemlerini iki başlık altında sınıflandırabiliriz.

• Doğal kaynaklardan üretim:

Konya Cihanbeyli ilçesine bağlı Bolluk ve Tersakan gölleri ile Afyon'a bağlı Dazkırı ve Denizli'ye bağlı Çardak ilçeleri arasında yer alan Acıgöl'den doğal sodyum sülfat üretilmektedir. Her üç gölün konsantrasyon ve bileşimi farklıdır. Haziran ve Temmuz aylarında ortalama olarak göl suyundaki katı madde içerisinde % 40-45 Na_2SO_4 ve % 55-60 $\text{NaCl} + \text{MgCl}_2 + \text{SO}_2$ bulunmaktadır.

Sodyum sülfat, diğer tuzlardan fraksiyonlu kristalizasyon yöntemi ile ayrılır. Bu işlem yüzey alanı 600.000 m^2 ile 1.000.000 m^2 arasında değişen üretim havuzu sistemlerinde yapılır. Oluşan kristal ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) % 40-44 Na_2SO_4 içermektedir.

Kristal Sodyum sülfat bir takım yıkama ve temizleme operasyonlarından geçirilir. Eritilerek eriyik haline getirilir. Bazı filtrasyon, klorifikasyon ve dekantasyon operasyonlarından geçirilir. 3 tesirli vakum evaporatif kristalizatörlerde anhidre

kristalleri haline getirilir. Kontinü santrifüjler ile süzülerek anhidre kristalleri ayrılır. Akışkan yataklı kurutucudan kurutulduktan sonra pnömatik olarak stoklanır ve amaca uygun paketleme yapılır.

Yan ürün olarak üretim :

a) Sodyum bikarbonat yan ürünü :

Krom cevherinin soda veya soda kireç taşı ile yüksek sıcaklıkta döner reaksiyona sokulması ile sodyum bikarbonat elde edilir. Daha sonra sodyum kromat asitlendirilmesi ile (sülfürik asit ile reaksiyon) sodyum bikarbonat ve yan ürün olarak sodyum sülfat oluşur. Sodyum bikarbonat yan ürünü, sodyum sülfattaki safsızlıklar tasfiye edilmediği takdirde, rengi açık kirli sarı olmaktadır. Bu şekilde kullanımı çok sınırlıdır.

b) Suni ipek (Rayon) yan ürünü:

Asetat ipliği üretimi esnasında banyo suyunda, çinko asetat ile birlikte sodyum sülfat teşekkül etmektedir. Sodyum sülfat vakum kristalizatöründe kristalizasyon sonucu kristal sodyum sülfat oluşur. Bunun eritilmesi sonucu solüsyon, evaporatif kristalizasyon ünitesine gönderilir ve rafine sodyum sülfat elde edilir.

c) Amonyum klorür yan ürünü :

Amonyum sülfat, sodyum klorür ile reaksiyonu sırasında amonyum klorür ve yanında sodyum sülfat oluşur. Kristalizasyon ile sodyum sülfat ayrılır.

Safsızlıklardan tasfiye edilerek anhidre sodyum sülfat üretilir. Safsızlıklardan arındırılmadığı takdirde içerdiği yüksek amonyum tuzları ve sofr tuzu nedeniyle kullanım imkânı olamamaktadır.

d) Diğer yan ürün prosesleri :

- Borik asit üretimi
- Formik asit üretimi
- Hidrolik asit üretimi
- Stronsiyum karbonat üretimi
- Lityum karbonat üretimi
- Askorbik asit üretimi

1.2.3 Opaklaştırıcı hammaddeler

Camın kullanım alanına göre ışık geçirgenliği ve yansıma özelliklerinin belirli kriterlerde olması istenmektedir. Opaklaştırıcı malzemeler bu özellikleri sağlayacak şekilde cam harmanına ilave edilirler.

1.2.3.1 Fluorit

Tanım ve sınıflandırma

Fluoritin kimyasal bileşimi CaF_2 olup, saf halde %51,1 Ca, %48,9 F içerir. Uluslararası ticari ismi "fluorspar" olan fluoritin esas elementi fluordur. Doğal fluorit; kuvars, barit, kalsit, galenit, sfalerit, siderit, s lestit, kalkopirit ve diğer sülfid mineralleri ile birlikte bulunur. Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalar içerisinde hidrotermal damar, dolgu ve metasomatik yataklar şeklinde oluşur. Kristal şeklinde olduğu zaman renksiz olabildiği gibi mor (şekil 1.9), sarı, mavi, yeşil, g l rengi, kırmızı, mavimsi ve morumsu siyah ve kahverengi renklerde de görülebilir. Mohs skalasına göre sertliği 4'tür. Özgül ağırlığı $3,01$ ile $3,60 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir. Erime sıcaklığı 1378°C 'dir. Fluor içeren başlıca mineraller fluorit (CaF_2) fluorapatit [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$] ve kriyolit (Na_3AlF_6)'tir.



şekil 1.9 : Fluorit Cevheri

Bulunuş şekilleri

Fluorit, Türkiye'de yoğun olarak Orta Anadolu bölgesinde Kırşehir, Yozgat ve Eskişehir yörelerinde bulunmaktadır. Kırşehir ve Yozgat fluoritleri asidik magma

kayalarına bağlı olarak gelişmiş hidrotermal damar tipi şeklinde oluşmuştur. Eskişehir-Sivrihisar civarında bulunan yatak ise kompleks cevher (barit ve nadir toprak elementleri ile birlikte) şeklinde meta kumtaşları içerisinde yer almakta olup, asit volkanizma ve karbonatitlere bağlı olarak gelişmiş hidrotermal damar tipi cevherleşme yansıtılmaktadır. Türkiye'de daha çok Kırşehir (Çiçekdağı ve Kaman) yörelerinde üretilen fluoritlerin kalitesi dünya spesifikasyonlarına uygundur.

Üretim yöntemi

Fluorit madenlerindeki işletme yöntemleri fluorit yataklarındaki jeolojik şartlara bağlı olarak değişir. Derin yataklarda genellikle yeraltı işletme teknikleri uygulanırken, sığ ve geniş yataklarda açık işletme yöntemi uygulanmaktadır. Eğer jeolojik yapı yeraltı madenciliğine uygun şartları sağlamıyorsa yatak üzerindeki aşırı kalınlıktaki örtünün kaldırılması pahasına açık işletmecilik bile söz konusu olabilir. İnce damar madenciliği genellikle sağlam duvar oluşturabilen yan kayaçların olduğu yerlerde yapılırken, stratiform ya da tabakalı fluorit yataklarında oda-topuk metodu ile üretim yapılmaktadır.

1.2.3.2 Cam renklendirici hammaddeler

Daha önce de değinildiği gibi camın yapısını oluşturan hammaddeler yanında müşteri talepleri doğrultusunda istenilen cam renginin sağlanması amacı ile çeşitli renklendirici hammaddeler kullanılır. Cam renklendirici elementlerin temin edildiği oksitler izelge 1.15'de verilmiştir. Bunlar iyonik, moleküler ve kolloidal renklendirici olarak kendi aralarında sınıflandırılmıştır [1,10].

Çizelge 1.15 : İyonik ve Kolloidal Renk Verici Oksitler

Element	Bileşikleri	Türü
Krom	Krom(III) Oksit	İYONİK
	Krom(III) Hidroksit	
	Na,K,Ba,Pb'nun CrO_4^{-2} tuzları	
Demir	Demir(III) Oksit	
	Demir(II+III) Oksit	
	Siderit(FeCO_3)	
Bakır	Cu^{+1} oksitleri,	
	Cu^{+2}	
	Bakır Sülfat	
	Bakır Nitrat	
Kobalt	Kobalt(II) Oksit	
	Kobalt(II+III) Oksit	
	Kobalt Fosfat	
Nikel	$\text{Ni}^{+2}/\text{Ni}^{+3}$ oksit ve hidroksitleri	
Seryum	Seryum Oksit	
Selenyum	Selenyum	
	Na,Ba,Zn'nin SeO_3^{-2} bileşikleri	
Kükürt	Kükürt	
Bakır	Bakır(I) Oksit	KOLLOİDAL
Altın	Altın Klorür	
Gümüş	Gümüş Nitrat	

Temel renklendirici oksitler bir sıvıda çözündüğünde kendi karakteristik rengini veren belli bir grup metalin bileşikleridir. Bu metaller demir, bakır, nikel, krom, mangan ve kobalttır. Metallerin cama verdiği renkler aşağıdaki gibidir;

- Demir:Yeşil veya sarımsı yeşil
- Bakır:Yeşilimsi mavi
- Nikel:Dumanlı gri
- Krom:Yeşil
- Manganez:Mor

Renk, ana cam kompozisyonundan etkilenmenin yanı sıra camın oksidasyon seviyesinden, ergitme sıcaklığından ve ergime süresinden de etkilenir. Yaratılacak rengin yoğunluğu kullanılan renklendiricinin miktarı ile sağlanır.

Renklendirici malzemeler pirit, kromit, hematit vb. hammaddelerden temin edilmektedir.

1.2.4 Afinyasyon hammaddeleri

Afinyasyon cam üretiminde habbelerin (kabarcıkların) eriyikten uzaklaştırılması anlamında kullanılmaktadır. Çizelge 1.16’da bu fonksiyonu gerçekleştiren bileşikler görünmektedir [1].

Çizelge 1.16 : Afinyasyon Hammaddeleri

TÜRÜ	BİLEŞİKLER
Sülfat Grubu	Na^{+1} , Ca^{+2} , Ba^{+2} , NH_4^{+1}
Sülfür Grubu	Ba^{+2} , Zn^{+2}
Nitrat Grubu	K^{+1} , Na^{+1} , Ba^{+2} , Ca^{+2} , Al^{+3}
Arsenik(Nitratlar ile birlikte)	Arsenik oksit
Antimon(Nitratlar ile birlikte)	Antimon oksit
Flor Grubu	Fluorspar Sodyum silika florür
Klor Grubu	Sodyum klorür Amonyum
İyodür	Potasyum İyodür

1.3 Cam Üretimi

Endüstriyel anlamda kaliteli cam üretimi, bir çok hassas parametrenin yönetildiği bir süreç sonucunda gerçekleşmektedir. Bu süreç; hammaddenin temini, uygun harmanın (camın öngörölmüş kimyasal içeriğini sağlayan hammadde karışımı) hazırlanması, harmanın fırına sürekli ve istenilen miktarda beslenmesi, ergime, afinyasyon (reaksiyon sonucu ortaya çıkan hava kabarcıklarının sıvı fazı terk etmesi), şartlandırma, şekillendirme ve soğutma aşamalarından oluşmaktadır.

Şekil 1.10’da göröldüğü üzere, cam fırınına doghouse olarak adlandırılan kısımdan harman beslemesi yapılır. Fırın iç sıcaklığı bölgelere göre değışmekle birlikte ortalama 1500°C’dir. Ergime süreci sonunda beslenen harman tamamen erimiş durumdadır. Throat olarak adlandırılan bölüm erimiş camı zemine yakın noktadan geçişe zorlayan bölümdür. Erime sırasında oluşan kimyasal reaksiyon kaynaklı gaz çıkışları, bu viskozitesi düşük ortamda ergiyiği terk etmektedirler. Bu süreç, afinyasyon süreci olarak adlandırılmaktadır. Fırın zemini ve throat arasından geçen camda, kabarcık miktarı en düşük düzeyde bulunmaktadır. Çalışma havuzunda, ideal homojeniteye sahip, gaz kapanımlarından (kabarcık) arınmış eriyik, bir sonraki aşama olan “şartlandırma” aşamasına hazır hale gelmektedir. Bu aşama, camın

başarılı ve verimli bir biçimde şekillendirilebilmesi için uygun olan sıcaklığa kadar uniform olarak soğutulmasını içermektedir. Şartlandırılan ve daha viskoz hale gelen cam eriyiği, kanallar vasıtası ile şekillendirmelerin yapılacağı kalıp makinalarına taşınmakta ve özel dozlama sistemleri ile temin edilen cam damlaları kalıplarda şekillendirilerek kademeli olarak soğutulmaktadırlar. Tüm bu işlemlerin sonucunda kullanıma hazır cam ürünleri elde edilmiş olmaktadır.

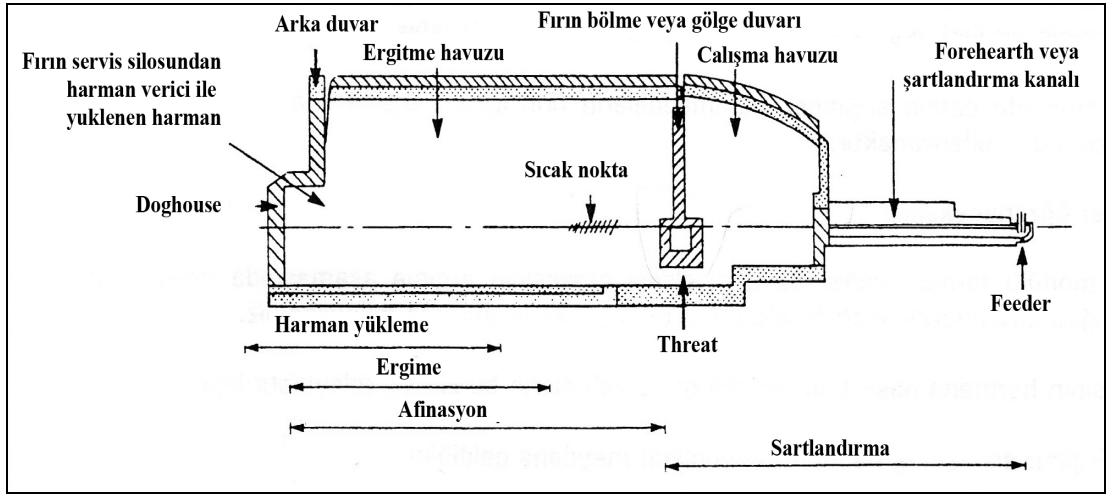
Ülkelerin teknolojik alt yapıları ve bilgi birikimlerine göre kullanılan ekipman ve sistemler değişiklik arz etmektedir. Ancak bu makine ve cihazların yönettiği süreçler cam üretimi için her zaman aynıdır (Harman Yükleme, Ergime, Afınasyon, Şartlandırma, Soğutma) [1,11].

1.3.1 Cam fırınları ve hammadde kaynaklı sorunlar

Yapılan çalışmanın esas amacı; küçük boyutlu hammadde kullanımının azaltılması ve dolayısıyla cam fırınlarındaki deformasyonların en aza indirilmesi olduğundan bu bölümde cam fırınları hakkında genel bir bilgilendirme yapılacak ve kullanılan hammaddelerden kaynaklanan üretim sıkıntılarının neler olduğu irdelenecektir.

1.3.2 Cam fırınları

Daha önce belirtildiği gibi cam, yüksek ısı altında belirli bir kimyasal ve fiziksel kompozisyona sahip hammadde harmanının ergitilmesi, kontrollü olarak soğutulması ve şekillendirilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Bu sürekli ve yeterli sıcaklığı sağlayabilmek için özel refrakter malzemelerin, belirli bir dizilimle örülerek kullanılmaları gerekmektedir. İşte bu yapıya “cam fırını” adı verilmektedir. Fırınlar çeşitli biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Burada daha geleneksel olan pota ve tank fırınları hakkında bilgi verilecektir. Şekil 1.10’da cam fırını içinde gerçekleşen süreçler görülmektedir [13-14].



Şekil 1.10 : Tipik Cam Fırını Yapısı ve Cam Oluşum Süreçleri

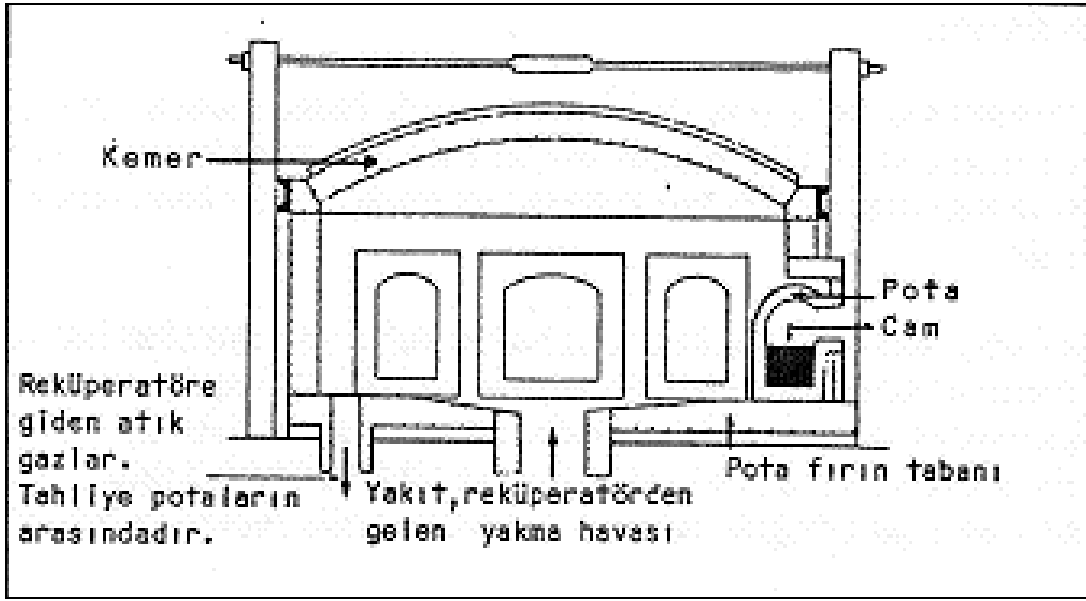
1.3.3 Pota fırınları

Modern pota fırınları çeşitli formlarda olabilir ve 1 ila 20 arasında pota ihtiva edebilirler. 1, 10 ve 20 potalı fırınlara endüstride sıklıkla rastlanmaktadır.

Pota fırınları, cam üretiminde küçük atölyelerden, ticari olarak el üretimi kristal ev eşyalarının yapımının gerçekleştirildiği büyük boyutlu işletmelere kadar yaygın biçimde kullanılmaktadırlar. Pota büyüklükleri üreticinin ihtiyacına göre değişkenlik arz ettiği için pota büyüklükleri ayrı bir sınıflandırma yaratmamaktadır.

Tek veya iki potalı fırınlar kare veya dikdörtgen şeklinde olup ısı kaynağı olarak fuel oil, mazot yada elektrik kullanılmaktadır. Enerji maliyetlerinin düşük olduğu ülkelerde baca gazı oluşturmaması, camı etkileyek atık gazlar oluşturmaması nedeni ile daha ziyade elektrikli fırınlar tercih sebebidir.

Dört veya daha fazla sayıda pota içeren fırınlar genellikle dairesel formdadır ve fuel oil veya gaz yakıt ile ısıtılırlar. Şekil 1.11’de tipik bir çoklu pota fırını gösterilmiştir [13-14].



Şekil 1.11 : Çoklu Pota Fırını

1.3.4 Tank fırınları

İki tip tank fırını vardır. Birincisi aralıklı çalıştırılan “Günlük Tank Fırınları”, ikincisi devamlı üretimin gerçekleştirildiği “Sürekli Tank Fırınları”dır.

Günlük Fırınlar; genellikle günlük cam ihtiyacının tek potadan sağlanabildiğinden daha fazla olması durumunda tercih edilmektedir. Bu tip fırınlar ayrıca özel camlar için kullanılır ve stüdyo çalışmaları için kullanılan minyatür tipleri de vardır. Günlük tank fırınları refrakter tuğla ve/veya blok üst yapı refrakterinden oluşan tek bölümlü bir yapıya sahiptir. Bu sistem cam seviyesinin üzerinde oluşturulan alev ile ısıtılmaktadır. Dikdörtgen prizması şeklinde tasarlanan bu tür fırınlarda cam derinliği 450 ile 600 mm olabilmekte, kullanım sonrası boşaltmayı kolaylaştırmak üzere zemini eğimli yapılabilmektedir.

Sürekli Fırınlar; throat’lu ve throuht’suz olarak ikiye ayrılırlar. Throught, bir cam fırınında ergimiş camın akış kesitini daraltan kısımdır. Bu sayede homojenizasyon ve afinasyona yardımcı olur. Düz cam, cam ambalaj, borosilikat camı ve cam elyaf fırınlarında habbe ve yetersiz homojenizasyondan kaynaklanan dayanımsızlıkların önlenmesi için vazgeçilmez unsurlardır.



Şekil 1.12 : Cam Fırını Refrakter Yapısı ve Throat Geçişi

Fosil yakıt kullanılan tüm fırınlar direkt ateşlemelidir, diğer bir ifade ile alevler cama değebilir. Burada da fırınlar kullanılan yakma havası ön ısıtma sistemine göre üçe ayrılırlar

- Ön ısıtmasız
- Reküperatörlü ön ısıtma
- Rejeneratörlü ön ısıtma

Ön Isıtmasız fırınlar

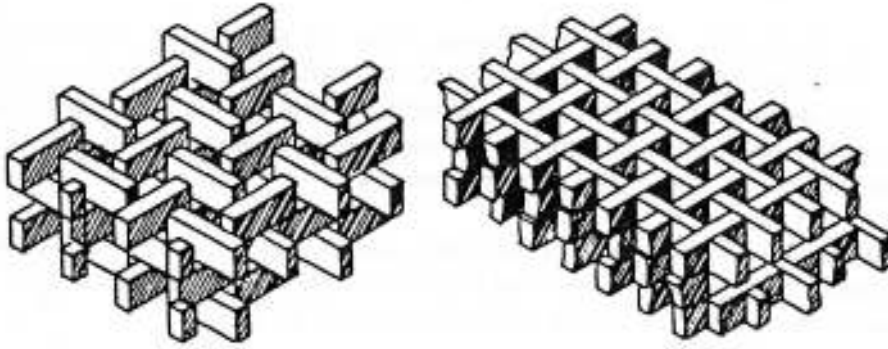
Şekil 1.12’den de görüldüğü gibi burada bekler fırında karşılıklı olarak yanar ve atık gazlar fırının harman besleme tarafındaki bacadan tahliye edilir. Sürekli düşük sıcaklıktaki havanın ısıtılması gereği enerji verimi çok düşüktür. Günümüz enerji maliyetlerinin yüksekliği nedeni ile tercih edilmemektedirler.

Rekuperatör ön ısıtmalı fırınlar

Bir reküperatör fırından gelen atık gazların sıcaklığına bağlı olarak soğuk yakma havasını önceden tespit edilmiş bir sıcaklığa kadar ısıtmak için dizayn edilmiş bir sistemdir. Genellikle ön ısınmaya tabi tutulacak yakma havasının ve sıcak baca gazlarının geçiş yaptığı kanal ve boru sisteminden oluşmaktadır. Burada amaç fırın içindeki ısıyı yakma havasını ısıtmak için kullanarak enerji kayıplarının minimize edilmesidir. Bu durumda dahi rejeneratörlerin sağladığı kadar verimli bir ısı kazanımı sağlanamamaktadır.

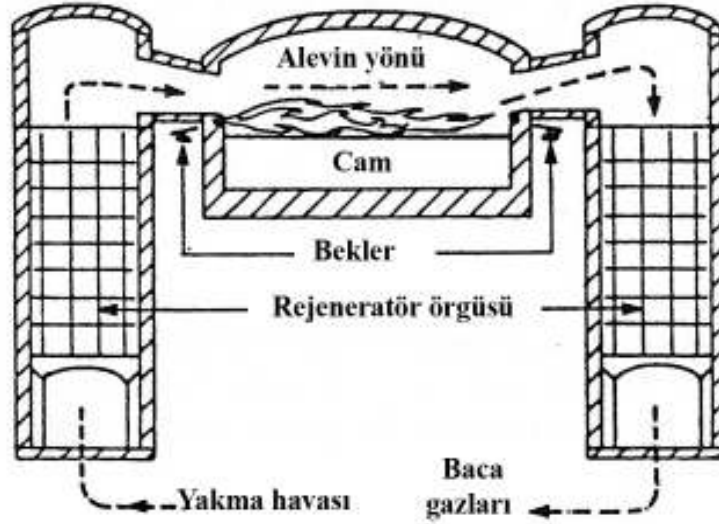
Rejeneratörlü fırınlar

Rejeneratörler Şekil 1.13’de görüldüğü üzere refrakter malzeme ile inşaa edilmiş bir ısı eşanjörüdür. Çeker tuğlalar gazların aralarından geçebileceği şekilde yerleştirilmektedirler. Şekil 1.14’de görüldüğü gibi fuel oil yada gaz, fırının sol tarafında yanarsa bu durumda yakma havası saat yönünde hareketine başlar ve ısınan hava sağ taraftaki rejeneratör örgüsünün içinden geçer ve ısısının büyük kısmını buradaki tuğlalara aktarır. Artık yakma havası daha önceden ısıtılmış hava ile sağlanmış olur. 15 ila 30 dakika arasında olan önceden set edilmiş bir süre içinde yön değiştirme mekanizması yakıt ve baca gazlarının yönünü değiştirerek aynı durumun diğer yönde gelişmesini sağlar. İyi tasarlanmış bir rejeneratör atık gazlardaki ısıнын en az %60’ını geri kazanabilecek etkinliktedir [16].



Şekil 1.13 : Rejeneratör Refrakter Dizgisi

-106 mikron altındaki harman malzemesi bu dinamik ortamda hava akımıyla belli bir oranda taşınarak rejeneratör dizgisinin aralarında birikmekte ve tıkanıklıklara yol açmaktadır. Yapılan çalışmanın en önemli amaçlarından birisi, sürekli fırınlarda ısı kazanımı gibi, son derece maliyete etki eden bir olayın etkinliğinin artırılması ve rejeneratör tıkanmaları nedeni ile kaybedilen bakım sürelerinin en alt düzeye çekilmesidir.



Şekil 1.14 : Rejenertör Isı Kazanımı Döngüsü

1.3.5 Fırın ömrünü etkileyen faktörler

Cam üretiminde fırın ömrü, kampanya süresi olarak ifade edilir ve bu süre, üretilen ürünün niteliğine, kapasite değerine ve kullanım şartlarına göre 8 ila 12 yıl arasında değişmektedir. Her kampanya dönemi sonunda, fırını oluşturan refrakter yapı büyük oranda yada tamamen yenilenmektedir. Bu bölümde kampanya süresine etki eden faktörler incelenecektir.

Fırındaki aşınmalar çoğunlukla ergitme havuzunda meydana gelmektedir. Aşınma, camla temas halindeki bölgelerde ve diğer bölgelerde olmak üzere iki başlık altında incelenecektir [1,16].

1.3.6 Cam ile temas bölgelerindeki aşınmalar

Aşınmaya en fazla maruz kalan bölgeler “throat”, “doghouse” (harmanın cam fırınına beslendiği oda) ve cam seviyesindeki yan duvar blokları ve fırın tabanlarıdır. “Throat” ve “doghouse” bölgelerindeki aşınmalar daha ziyade viskoz ergiyiğin akış hızının artışından kaynaklanmaktadır. Yan bloklardaki aşınma korozyondan meydana gelir. Bilindiği üzere korozyon hızı yüksek sıcaklıklarda artış gösterir. Fırın tabanlarındaki aşınmanın ana sebebi özellikle cam kırığı yada harman ile fırın içine giren metal parçalardır. Bu bölgelerdeki aşınma kendisini cam sızıntısı ile belli eder.

1.3.7 Diğer bölgelerdeki aşınmalar

Alev vericilerin (bek) açıları son derece önemlidir. Bekler dikey düzleme göre hatalı olarak alçak ayarlandığında tozuma ile üst yapı yan duvarları, portlar ve rejeneratörler, bekler çok yüksek ayarlandığında ise üst yapı yan duvarları ve kemer zarar görür.

Aşırı ısınma refrakter malzemenin aşınımında rol oynayan en önemli faktörlerdendir. Aşırı hava fazlası ile çalışmak refrakterler üzerindeki ısı yükü arttırır. Bir başka tür aşırı ısınma da harman örtüsünün izolasyon etkisinden kaynaklanmaktadır. Tozuyan harman fırın kemeri, port, rejeneratör kemeri ve doghouse üzerindeki yatay yüzeylerde birikir. Bu bölgelerde izolasyon etkisi ile ısı yükü artar ve buda aşınma sebebidir.

1.3.8 Buhar ve katı parçacıkların etkisi

Fırın ortamındaki buharlar, refrakterleri bir araya getirmede kullanılan harca etki eder. Bu durum, özellikle harmanın verildiği tarafa doğru kemerde görülür. Buhar, fırın dış yüzünde bir delik belirene kadar yavaş yavaş harcı yok eder. Oluşan delik kontrol edilmeden kendi haline bırakılırsa sıcak fırın gazlarının buradan dışarıya çıkması sonucu kısa sürede büyür. Bu tür delikler özellikle kalın kemer izolasyonunun veya bir harman birikintisinin altında fark edilene kadar hızla büyür. Harman tozuması, bu tür delikleri hızla büyütür, gaz ve buharlar harman birikintisini ergitir ve delikten içeri akmasını sağlar ki bu da kemer malzemesi üzerinde ergitici etkisi gösterir. Bu durumu engellemenin yolu harmanın refrakter yapı üzerinde birikmesine fırsat vermemek yada harman tozumasını minimize etmektir.

Katı parçacıklar harman tozumasından kaynaklanır ve port tabanlarında ve hepsinden önemlisi aradaki boşlukları tıkayacak şekilde rejeneratör örgülerinin üst tarafına birikebilir. Her bir delik veya geçit tıkanıldığında diğerlerinin sıcaklığı yükselir. Bu durum kontrolden çıkarsa alt kısımlardaki rejeneratör örgülerinin aşırı termal yük nedeni ile çökmesi söz konusu olabilir. Söz konusu durum daha önceki bölümde de belirtildiği gibi yüksek ısı kayıplarına da neden olmaktadır. Bu durumun engellenmesi için aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir.

- Ateşte çitirdayarak sıçramayan harman hammaddeleri seçilmelidir.
- Çok ince taneli olmayan kum kullanılmalıdır.
- Alevlerin harmanı yalamasına izin verilmemelidir.

- Harmanda kontrollü rutubetlendirme yapılmalıdır.
- Rejeneratörlerde ufalanmayan türde refrakter kullanılmalıdır.

1.3.9 Hammadde kaynaklı sorunlar

Hammadde karakterizasyonu şüphesiz camın kalitesi ve fırın ömrünü doğrudan etkileyen bir faktördür. Bu bölümde hammaddenin özelliklerinden kaynaklanan sorunlar irdelenecektir.

1.3.10 Rutubet

Cam üreticisinin harman besleme teknolojisine göre sevk edilen hammaddelerin rutubet değerleri farklılıklar gösterir. Örneğin dolomit, kalker gibi hammaddeler pnömatik sistemler ile beslendiğinden silobus'lar aracılığıyla sıfır rutubette sevk edilirler. Kum ise genellikle %6 ortalama rutubet ile sevk edilmektedir. Fırına beslenecek olan harman karışımı fırın içi tozumanın önlenmesi için kontrollü olarak rutubetlendirilir. Bu rutubet değeri uygulamadan uygulamaya değişmekle birlikte aşırıya kaçıldığı takdirde habbe oluşumuna neden olmaktadır. Düzensiz rutubetlendirme ise harman reçetesi gereği kullanılacak hammadde miktarlarında değişimlere neden olur ki bu da cam kalitesini olumsuz etkiler.

1.3.11 Segregasyon

Değişik tane boyutlarındaki herhangi bir malzemenin depolanması sırasında daha büyük parçaların daha küçük olanlardan daha fazla momentuma sahip olacağı prensibi sonucu kendi kendine bir nevi boyuta göre ayrışma söz konusu olur. Bunun en tipik örneğini yığın halinde depolanmış bir kumda görmek mümkündür. Yığının eteklerinden ve tepe noktasından alınan numunelerin fiziksel analizleri incelendiğinde boyut dağılımları arasında farklılıklar görünecektir. Yığın eteklerinde daha büyük taneler görünürken tepe noktasında daha ince taneler tespit edilecektir.

Bu durum fraksiyonlar arasındaki kimyasal kompozisyon farklılık gösterdiğinden besleme kompozisyonunu dalgalandıracak aynı zamanda da ergitme işleminde düzensiz boyut dağılımı neticesinde sıkıntılara neden olacaktır. Bu durumların önüne geçebilmek için yığınların farklı açılarından besleme yapılmalıdır.

1.3.12 Safsızlıklar ve kirlenme (Kontaminasyon)

Kontaminasyonun sözlük anlamı yabancı madde etkisi ile kirlenme veya saflığını kaybetmedir. Hammaddeler için bu durum üretim prosesi sırasında, stoklanma sırasında yada taşınması sırasında gerçekleşebilir. Bu sebep ile hammaddenin üretimi sırasında fırındaki cama zarar verme ihtimali olan maddelerin (metal içerikli vb.) üretim prosesi sırasında manyetik tırlar yada elekler ile tutulması, sevkiyatı sırasında kamyon kasalarının passız, yıkanmış olması ve stoklanacağı yerde diğer hammadde ve kirlilik kaynaklarından izole tutulması gerekmektedir. Aksi takdirde bu tür kirlilikler camın boşa akıtılmasına ve çok yüksek maliyetli üretim kayıplarına neden olabilmektedirler.

1.3.13 Tozuma ve ince taneler

Fırına beslenen hammaddenin boyut dağılımı ne kadar ince yoğun ise beslenmesi ve fırın içinde eritilişı sırasında o kadar tozuma ve savrulmaya neden olacaktır. Daha önceki bölümlerde de değinildiğı gibi tozuma camda habbe oluşumuna neden olmakla beraber daha çok rejeneratörlerde yarattığı hasarlar nedeni ile büyük sorunlara sebebiyet vermektedir. İyi bir fırın ortamı ve uzun kampanya süreleri için kontrollü rutubetlendirme ve bununla beraber incesi daha az olan kaynaklara yönelinmesinde fayda vardır.

1.3.14 Bozulma

Hammaddelerin çoğı hemen hemen kesinlikle bozulmaksızın depolanabilirler. Ancak örneğın sodyum tuzları özellikle soda rutubet çeker ise beton sertliğinde kekleşir. Bu durum torbalarda meydana gelir ise baş edilmesi ve tekrar kullanımı oldukça zordur. Eğer silo içinde gerçekleşirse tekrar kullanım hemen hemen imkansızdır. Bu nedenle hammaddeler rutubete olan hassasiyetleri göz önüne alınarak depolanmalı ve stok sirkülasyonu uzun süreli bekletme sürelerine neden olmayacak şekilde belirlenmelidir [1,7].

2. BOYUT BÜYÜTME İŞLEMLERİ “AGLOMERASYON”

Her ne kadar cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemleri geleneksel olarak boyut küçültme ile tane serbestleşmesinin sağlanmasına yönelik faaliyetler bütünü olarak uygulansa da bazı durumlarda hammaddenin endüstride kullanım alanı bulabilmesi için çok ince boyutlu hammaddenin boyut büyütme işlemlerine tabi tutulması gerekebilmektedir. Demir cevherinin peletlenerek kullanımı en yaygın örnektir. Zira çok ince ($<40-50\mu$) tane boyutlu demir cevheri yüksek fırınlarda aşırı tozuma nedeni ile baca gazında partikül artışına, refrakter yapıda deformasyona ve hammadde kaybına neden olmaktadır [18-20].

2.1 Aglomerasyonun Tanımı ve Kullanım Alanları

Aglomerasyonun kelime anlamı toplama, yığma, bütünleştirmedir. Toz veya ince taneli malzemenin, belirli parça büyüklüğünde bütünleştirilmesine aglomerasyon, elde edilen bütünleştirilmiş parçalara aglomerat denilmektedir. Cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinden biri olmakla beraber günümüzde daha çok demir cevherinin peletlenmesi, kömür briketlemesi, sinterleme ve çok düşük tenörlü cevherlerin zenginleştirilmesi (yağ aglomerasyonu) gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Aglomerasyon yani boyut büyütme işlemlerinin amaçlarını aşağıdaki gibi sıralanabilir [18,19].

- Zenginleştirme,
- Tozuma ve tozumadan kaynaklanan cevher kayıplarının önlenmesi,
- Yakma sırasında kömürün ızgara altına düşmesinin önlenmesi,
- Son kullanıcı için gerekli boyut veya boyut dağılımının sağlanması,
- Yığın içinde gerekli olabilecek porozite ve geçirgenliğin sağlanması,
- Kontrolsüz topaklanmanın önlenmesi,
- Belirli dozajlarda mal akışının sağlanabilmesi,
- İzabe tesislerinde baca gazı kalitesinin sağlanması.

2.1.1 Aglomeratlarda aranan özellikler

Bir aglomerasyon işlemi sonucu elde edilen aglomeratlarda, aglomerasyonun amacı ve aglomeratın kullanılacağı alana göre, bazı özelliklere sahip olması istenebilmektedir. Burada en önemli unsur, son ürün haline gelme sürecinde uygulanan teknoloji ve o teknolojinin gereklilikleridir [18,19].

Bu özellikleri genel olarak aşağıda verilmektedir.

2.1.1.1 Aglomerat tane iriliği

Kullanılacağı alana göre istenen aglomerat boyutları değişkenlik arz etmektedir. Genellikle 0,5-50 mm arasında dairesel şekilli aglomeratlar istenmektedir.

- Demir Cevheri Peleti 10-20 mm
- Sentetik Gübre İçin 3-14 mm
- Püskürtmeli Mikalar 2-6 mm
- Kimyasal Maddeler 0,3-4 mm vb.

2.1.1.2 Parçalanma özelliği

Bazı proseslerde, aglomeratın prosese girdiğinde parçalanması ve dağılması (boya sanayi gibi.), bazı proseslerde de sağlamlılığını reaksiyon sonuna kadar sürdürmesi istenir (yüksek fırın şarjı gibi). Bazı hallerde, aglomeratın belirli bir süre içinde ağır ağır dağılması veya erimesi istenebilir. Buna göre;

- Reaksiyon başlangıcında derhal dağılan,
- Reaksiyon sonuna kadar sağlam kalan,
- Belirli bir zamanda içinde parçalanan,
- Uzun zamanda parçalanan,
- Hiç dağılmayan (ilaç sektörü) olmak üzere kullanım alanına göre, değişik parçalanma özelliğine sahip aglomeratlar üretilmektedir.

2.1.1.3 Sağlamlık

Kullanım alanına göre aglomeratların belirli sağlamlığa sahip olması gerekmektedir. Sağlamlık adı altında, aglomeratın çeşitli mekanik etkilere karşı dayanıklılığı kastedilmektedir. Parçalanma özelliği de sağlamlık kavramı içine girmektedir. Bunun

yanında, aglomeratın basınç, eğilme, burulma ve sürtünmeye (ufalanma) karşı dayanıklılığı aglomerat sağlamlığını göstermektedir.

2.1.1.4 Porozite

Birçok aglomeratlar, nemli malzemelerden elde edilirler ve sonra kurutulurlar. Kuruma hızı aglomeratın porozitesine bağlıdır. Diğer taraftan, birçok proseslerde aglomerat yüzeyi kimyasal reaksiyona girer, gaz adsorbe eder veya sıvı emer. Bu türlü reaksiyonlar için belirli bir porozite gerekir. Ancak, porozite yükselince, aglomerat sağlamlığı azalır.

2.1.1.5 Yoğunluk

Aglomerat genel olarak, toz malzemeye göre daha büyük görünür yoğunluğu ve dolayısıyla, daha büyük yığın yoğunluğuna sahiptir. Bu malın aglomere edilmiş olarak daha kolay paketlenmesini ve nakliyesini sağlar. Diğer taraftan, aglomerasyon yolu ile istenilen görünür yoğunlukta ve istenilen yığın yoğunluğunda ürün elde etmek mümkündür.

2.1.1.6 Topaklanma özelliği

İnce tanelerin topaklanarak, bulundukları silolarda köprü oluşturdıkları ve boşaltma işlemini zorlaştırdıkları bilinmektedir. Aglomerat tane iriliği büyüdükçe bu zorluk azalmaktadır. Ancak bazı malzemeler yüksek basınç altında deforme olmakta ve aglomeratlar temas noktalarında birleşmektedir. Diğer taraftan, higroskopik malzemelerde (sentetik gübre gibi) aglomerat temas yüzeyleri nemlenince taneler arası bağ kurulur. Bunun önüne geçmek için aglomerat içine kalker tozu serpilir.

2.2 Aglomerasyonda Etkin Olan Kuvvetler

Aglomerat bütünlüğü ve sağlamlığı, aglomeratı oluşturan taneler arasındaki bağlanma mekanizmaları ve bağlanma kuvvetleri tarafından sağlanmaktadır. Taneleri birbirine bağlayan mekanizma ve kuvvetler beş grup altında toplanmaktadır. Bunlar;

- Kütle kaynaşması,
- Taneler arasındaki serbest hareketli sıvının yüzey gerilimi ve meydana getirdiği kapiler alçak basınç,
- Serbest hareketli olmayan bağlayıcı madde köprülerinin adhezyon ve kohezyon kuvvetleri,

- Katı madde tanecikleri arasındaki çekme kuvvetleri, İnce uzun tanelerin sebep olduğu tutunma mekanizması,
- İnce uzun tanelerin sebep olduğu tutunma mekanizmasıdır. [18,19]

2.2.1 Kütle kaynaşması

Kütle kaynaşmasında, taneler arasında kütsel bir köprü kurulmaktadır. Aglomeratın sağlamlığı, taneler arasında oluşan köprünün kesiti ve mikro sağlamlığına bağlıdır. Taneler arasında oluşan katı madde köprüsünün mikro sağlamlığı ve kesiti arttıkça, tanelerin birbirine bağlanma sağlamlılıkları da artacaktır. Ancak katı madde köprüsünün oluşma şartları, kuruma, kristalleşme ve sinterleşme şartları gibi, değıştikçe köprünün sağlamlığı da değışmektedir. Kütle kaynaşması şu yollarla oluşmaktadır:

2.2.1.1 Sinterleşme

Katı maddeler ısıtıldıklarında, belirli sıcaklıklara erişilince, taneler arasında atom ve molekül diffüzyonu başlar. Sinterleşme diye bilinen bu olay sonunda, taneler arasında kütle köprüsü kurulur. Katı madde ergime sıcaklığının 1/2 ile 2/3'ü arasında başlayan sinterleşme olayı, endüstride yaygın kullanım alanına sahiptir. Örneğin, demir cevheri, manyezit sinterleştirilmeleri gibi.

2.2.1.2 Kimyasal reaksiyon

Taneler arasında kimyasal reaksiyon sonucu kütle köprüsü kurulmaktadır. Örneğin magnetit cevheri peletleri, oksitleyici atmosfer ve 200°C sıcaklıkta muamele edildiğinde, tane yüzeylerinde magnetit oksitlenerek hematite (Fe_2O_3) dönüşmekte ve taneler arasında hematit bağları oluşmaktadır.

2.2.1.3 Ergime

Ergime derecesi düşük maddeler eritilmekte ve tekrar katılaşma esnasında, taneler kütsel olarak birbirleriyle bağlanmaktadır.

2.2.1.4 Sertleşen bağlayıcı maddeler

Bütünleştirilecek malzeme içine, zamanla sertleşen bağlayıcı maddeler karıştırılmakta ve ondan sonra aglomerat elde edilmektedir. Kireç ve çimentoyu zamanla sertleşen bağlayıcılara örnek olarak verebiliriz.

Kristalizasyon: Aglomerata verilen su, çözünmüş materyal içeriyorsa, nem kuruyunca bunlar kristalleşerek taneler arasında kütsel bağ oluşturmaktadır. Kristal köprüsü kuran materyal, aglomeratı oluşturan materyalin aynısı olabileceği gibi, değişik materyal de olabilir. Örneğin, tuz ve şeker taneleri nemlenip kuruyunca toplanmaktadır.

2.3 Taneler Arasındaki Serbest Hareketli Sıvının Yüzey Gerilimi ve Meydana Getirdiği Kapiler Alçak Basınç

Bir taneler kümesinde, sıvı miktarına göre 3 hal görülebilir. Bunlar;

- Sıvı miktarının az olması durumunda sadece taneler arasında sıvı köprüsü oluşması,
- Sıvı miktarı tane arası boşlukları dolduracak miktarda olup. Ancak, aglomerat yüzeyinde sıvı olmaması ve burada kapiler alçak basınç oluşması,
- Aglomerasyon açısından önemli olmamakla birlikte sıvının tüm aglomeratı içine almış olmasıdır.

Sıvı köprüsü oluşumu aşağıdaki gibi tarif edilmektedir:

Tane arasını bağlayan sıvı tabakası ve bunların ortasında boşluk olduğu zaman, sıvı köprüsü oluşmuş durumdadır. Burada, taneleri birbirine sıvı köprüsü bağlamaktadır. Bu bağın meydana getirdiği tutunma (bağlama) kuvvetini şöyle yazmak mümkündür:

$$H = d \times dt \times f(a \times b) \quad (2.1)$$

f (a. b) fonksiyonunu, sıvı köprüsü yüzeyinin dairesel bir eğime sahip olduğunu kabul ederek çözmüştür. Bu kabul ancak $b > 100$ olduğunda geçerli olmaktadır. Bu formülde;

H: Taneleri bağlayan kuvvet

b: Tane-sıvı temas açısı

a: Sıvının tanedeki kenar açısı

d: Sıvı yüzey gerilimi

dt: Tane çapı 'dır.

Sıvı, taneler arasındaki boşluğu tamamen dolduruyor ve aglomerat dış yüzeyinde konkav bir yapı oluşturuyorsa taneler kapiler alçak basınç kuvveti tarafından bir arada tutulmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde demir cevheri peletlerinde,

taneleri birbirine bağlayan kuvvetin, kapiler alçak basınç kuvveti olduğu yani konkav yüzeyli sıvının yüzey gerilim kuvveti olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmalarda, pelet porozitesinin (gözeneklilik) % 80'nin üzerinde sıvı ile dolu olduğunu ve sıvı oranı % 90 civarında olduğunda, pelet sağlamlığının maksimum değere eriştiği tespit edilmiştir.

Aglomerat porozitesinin sıvı ile dolma oranı “S” ile gösterilecek olursa;

$S < \% 25$: sadece sıvı köprüsü,

$\% 25 < S < \% 80$: sıvı köprüsü + kapiler alçak basınç,

$\% 80 < S$: sadece kapiler alçak basınç oluşmaktadır.

Kapiler alçak basınç (P_k), $a=0$ durumunda $P_k = \frac{d}{m}$ 'dir. m 'hidrolik çaptır ve aşağıda verilen 3 şekilde ifade edilebilir.

$m = \text{Kılcal boruların kesiti (cm}^2\text{)} / \text{Kılcal boruların çevresi (cm)}$

$m = \text{Kılcal boruların hacmi} / \text{Kılcal boruların yüzey alanı}$

$m = \text{Porozite hacmi} / \text{Taneciklerin yüzey alanları}$

Kapiler bağlanma mekanizması, sıvı miktarına göre, sıvı köprüsü ve kapiler alçak basınç olmak üzere iki şekilde kendini göstermektedir. Peletin az su içeren yerlerinde, sıvı köprüsü ve fazla sıvı içeren kısımlarında, kapiler alçak basınç meydana gelecektir. Aglomeratın sağlamlığı, büyük ölçüde zayıf noktalara bağlı olmaktadır.

Sıvı köprüsünün etkinliği, taneler arası mesafe azaldıkça artmaktadır. Diğer bir deyişle, porozite düştükçe sağlamlık yükselmektedir. Porozitenin düşmesi için taneler arası sürtünme direncinin azalarak, tanelerin boşlukları doldurması gerekmektedir. Bunun sağlanmasında, tane yüzeyi ve taneler arasında bulunan suyun büyük yardımı olmaktadır [20,21].

2.4 Serbest Hareketli Olmayan Bağlayıcı Madde Köprülerinin Adhezyon-Kohezyon Kuvvetleri

Bu türlü bağlayıcı madde şekli için:

- Çok vizkoz bağlayıcı maddeleri, yapıştırıcıları.

- Yeterli kalınlıkta, adsorpsiyon (su) tabakası vasıtasıyla yüzeyin pürüzleri arasında köprü oluşmasını verebiliriz.

İki tane arasında serbest hareketli sıvı ile başlanma sağlandığında, bu başlanmanın sağlamlığı, sıvı içindeki kohezyon ve sıvı-katı arasındaki adhezyon kuvvetlerine bağlı olarak, fazla olmamaktadır. Bu türlü bir aglomeratta kuvvet tatbik edildiğinde, sıvı uzamakta ve yüzey gerilimine paralel olarak, düşük bir kuvvette kopmaktadır. Buna karşın, sıvı yerine koyu, serbest hareketli olmayan, bağlayıcı kullanıldığında, bağlayıcı içindeki kohezyon ve bağlayıcı ile taneler arasındaki adhezyon kuvvetleri bağlayıcı cins ve özelliğine bağlı olarak, oldukça yüksek olmaktadır. Böylece serbest hareketli sıvı bağlama mekanizmasıyla elde edilen aglomerat sağlamlığının, yüzlerce katı sağlamlıkta aglomerat elde edilebilmektedir. Zift ve asfalttan elde edilen kömür biriketleri gibi. Taneler üzerindeki çok ince sıvı adsorpsiyon tabakalarını da, serbest hareketli olmayan bağlayıcı gibi düşünmek mümkündür.

Serbest hareketli olmayan adsorpsiyon tabakası kalınlığı $30 \text{ \AA}$ 'dan daha küçüktür. Kalınlık bunun üzerine çıkınca, sıvı serbest hareketli olmaya bağlar. Adsorpsiyonun aglomerasyonda önemli bir yeri vardır. Bu durum, ince tanelerin 100°C 'de kurutulduklarında, hiç topaklanma göstermezken, havada kalarak bir miktar nem aldıktan sonra, topaklanma göstermesiyle de gözlenebilmektedir. Kuru yapılacak aglomerasyonda (tane iriliği bir mikronun altında) tanelerin adsorpsiyon tabakasına sahip olması, aglomerasyona yardımcı olmaktadır [21].

2.5 Katı Madde Tanecikleri Arasındaki Çekme Kuvvetleri

Katı madde taneleri arasındaki çekme kuvvetleri denildiğinde;

- Moleküler çekme kuvvetleri (Van der Waals ve Valenz kuvvetleri)
- Elektrostatik çekme kuvvetleri
- Manyetik çekme kuvvetleri

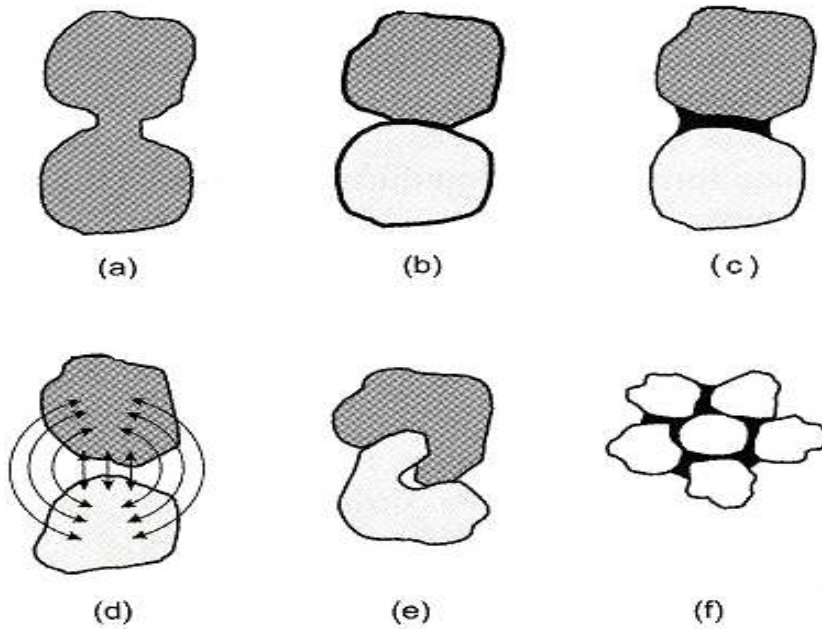
Kuru aglomerasyon yöntemlerinde, en etkili olan taneler arası çekim kuvveti, moleküler çekim kuvvetlerinden Van der Waals kuvvetleridir. Valenz kuvvetlerinin etki alanı çok kısadır ve aglomerasyonda etkili değildir. Burada kısaca Van der Waals kuvvetlerinden bahsedecek olursak; tane iriliği 0-100 μ arasında ve % 60-80'i 60 μ 'nun altında olan malzeme, yaş metotlarla aglomera edildiği halde kuru olarak aglomera edilememektedir. Ancak, tane iriliği 1 μ 'nun altına inince, bilhassa

elemede topaklanmalar görülmekte, yani kuru halde aglomerasyon başlamaktadır. Toz halindeki malzemede görülen bu aglomerasyonda etkili olan Van der Waals kuvvetleridir. Van der Waals kuvvetleri, takriben 0.5μ mesafede etkili olmaya başlasalar bile, bu mesafedeki etkileri yok denecek kadar azdır. Van der Waals kuvvetlerinin etkili olabilmesi için, taneler arası mesafenin $100 \text{ \AA} (10^{-6} \text{ cm})$ 'nin altında olması gerekmektedir. Yukarıda anlatılanları özetlenecek olursa;

-Taneler arasındaki bağlanma mekanizmasında, sıvı köprüsü kuvvetleri en büyük kuvvettir. Kuru malzeme aglomerasyonunda bile sıvı köprüsü önemli rol oynamaktadır [20].

- -Van der Waals kuvvetlerinin etki alanı çok kısıdır ve pürüzlerden aşırı derecede etkilenmektedir.
- -Elektrostatik kuvvetler, kuru malzeme aglomerasyonunda etkili olabilirler.
- -Taneler arası mesafe 1μ 'nun üzerinde olduğu durumlarda, taneler arasında sadece elektrostatik kuvvetler etkili olabilirler.

Şekil 2.1'de tane birleşmelerinde etkin olan kuvvetlerin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1: Tane Birleşmesine Etki Eden Kuvvetler a) Sinter Köprüsü-Kısmi Ergime-Çözünmüş Malzemelerin Kristallenmesi b) Kimyasal Reaksiyon-Sertleşen Tutkalımsı Malzeme-Yüksek Viskoziteli Tutkal c) Sıvı Köprüsü d) Moleküler Kuvvetler-Manyetik Kuvvetler-Elektrostatik Kuvvetler e) Kilitlenme f) Kapiler basınç

3. CAM KUMU ÜRETİMİNDE TANE BOYUT KONTROLÜ

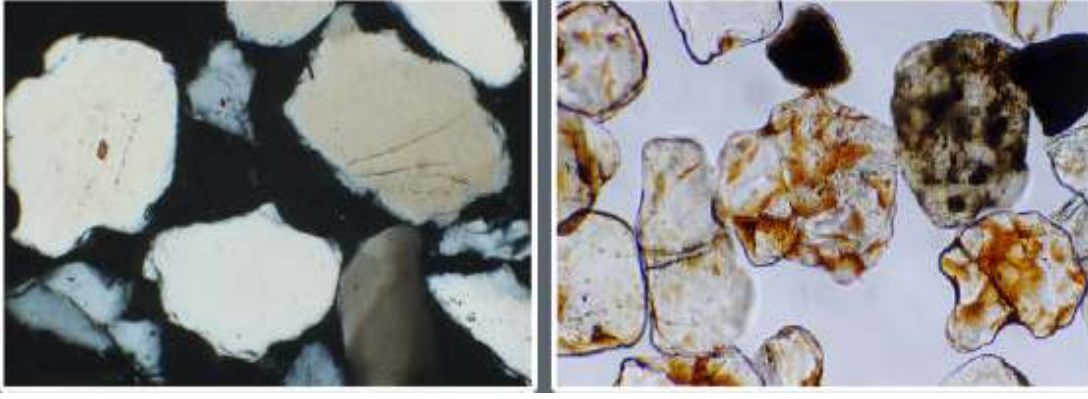
Bir hammaddenin fiziksel içeriğini, tane boyut dağılımını istenilen düzeye getirebilmek için kırma, öğütme, boyuta göre sınıflandırma işlemlerinin yüksek verimlilikte gerçekleştirilmesi gerekir. Bazı durumlarda müşteri talepleri nedeni ile ne kadar yüksek verimlilik ile boyut küçültme ve boyuta göre sınıflandırma yapılırsa yapılsın istenilen fiziksel içeriğe ulaşmak mümkün olamamaktadır. Bu talep ancak üretici tarafından hammaddenin kırılma ve öğünmeye karşı verdiği cevaba göre, istenmeyen kısmın atılması ile sonuçlanır.

Bu bölümde istenilen tane boyut dağılımının nasıl sağlandığı ve istenmeyen tane boyut dağılımının nasıl engellenebileceği ile ilgili olarak kum üretiminde kullanılan teknolojiler hakkında bilgi verilmektedir.

3.1 Cam Kumu Üretim Yöntemleri ve Kullanılan Teknolojiler

Cam kumu, kuvars, kuvarsit, kum gibi silis kaynaklarından üretilmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere yer kabuğunun büyük bir kısmı SiO_2 ihtiva etmesine rağmen bunun çok sınırlı bir kısmı cam kumu eldesinde kullanılabilir. Bunun asıl sebebi cam üretiminde istenen kimyasal ve fiziksel kompozisyonların camın türüne göre son derece katı kabul kriterlere sahip olmasıdır.

Genellikle cam kumu üretiminde izlenen yöntem ve teknoloji tuvenan kaynağın kimyasal ve fiziksel içeriğine göre belirlenmektedir. Bazı durumlarda çok basit tasarımlarla istenilen değerlere ulaşılabilirken bazı durumlarda ise çok kompleks tesis tasarımları söz konusu olabilmektedir. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere yüksek kaliteli bir cevher üzerinde çalışmak ile sıvanımlar nedenli düşük kalitedeki bir cevheri çalışmak arasında teknoloji, yöntem ve maliyet açısından büyük farklar söz konusu olacaktır.



Şekil 3.1 : Yüksek Kaliteli Silis Kumu (solda), Düşük Kaliteli Silis Kumu (sağda)

Cam kumu üretim tesisleri işlenen cevher ve elde edilen ürün türüne göre değişmek üzere aşağıdaki süreçleri barındırır:

- Yıkama
- Aşındırma-Ovalama
- İnce uzaklaştırma
- Boyutlandırma
- Özgül ağırlık farkına göre ayırma
- Flotasyon
- Kurutma
- Manyetik ayırma
- Elektrostatik ayırma
- Ögütme
- Susuzlandırma

3.1.1 Yıkama

Yıkama işlemi silis kumunun arındırılması için kullanılan en basit ve en düşük maliyetli yöntemdir. Yıkama işlemi ile çok saf içerikli yani bünyesinde ağır metal, yüksek miktarda kil ve yüzey kapanımları içermeyen SiO_2 kaynakları değerlendirilebilmektedir.

İşlem sırasında belli bir oranda su ilave edilen kum, pülp haline getirilerek pompalar aracılığı ile küçük boyutlu tanelerin uzaklaştırılması için siklonlara basılırlar. Uzaklaştırılan ince boyutlu malzeme, filtre veya çöktürme yöntemleri kullanılarak susuzlandırılır ve ayrılır.

3.1.2 Aşındırma

Aşındırma-ovalama kil veya empüritelerin kuvars taneleri yüzeyinde kapanımlar ve sıvanımlar oluşturduğu durumlarda kullanılır.

Pülp haline getirilen kum ve su karışımı, scrubber olarak ifade edilen ünitenin içine alınır ve karıştırılır. İdeal aşındırma ve ovalama işlemi için basılan pülpün %72-75 pülp te katı oranına (PKO) sahip olması gerekmektedir. Bu içerikte tanelerin birbirine mutlak teması sağlanmış olur ve ortam viskozitesi serbest dolaşıma izin vermeyecek yoğunluktadır.

Bu dinamik ortamdaki amaç, taneler arası maksimum teması sağlamaktır. PKO %72'nin altında olduğunda tane çarpışma ve aşınma oranı azalırken %75'in üzerinde olduğu durumlarda da ortam aşırı viskoz olacağından pervaneler pülpü karıştıramayacaktır bu da pülpün taneler arası kontağı sağlayamayacak derecede hareketsiz kalmasına yol açacaktır.

Genellikle uygulanan (attrition scrubbing) ovalama süresi 5 dak.'dır. Ancak asıl efektif süre, serbestleştirilmeye çalışılan sıvanım yada kapanım türüne ve miktarına bağlıdır. Scrubbing prosesi uzun süreli tek kademe olabildiği gibi bazı durumlarda kısa süreli birbirini takip eden birkaç kademedeki de oluşabilmektedir. Bunun sebebi; kil miktarının fazla olduğu durumlarda serbestleşen kilin taneler arasında yağlama görevi görmesi ve bunun da aşındırmayı olumsuz yönde etkilemesidir. Serbestleşen kil minerallerinin kademeli olarak sistemden uzaklaştırılması aşındırma verimini arttırmaktadır. Şekil 3.2'de tipik bir aşındırma ünitesi görünmektedir.

3.1.3 İnce uzaklaştırma

İnce uzaklaştırma kum üretiminde -106 mikron tane boyutundaki malzemenin uzaklaştırılması anlamına gelir. Bu boyuttaki malzeme daha çok kil ve çok ince taneli ve cam üretim prosesine olumsuz etkilere neden olan kuvars tanelerinden ibarettir.

Kum içerisindeki İnce tanelerin uzaklaştırma için endüstride birçok farklı aygıt kullanılmaktadır. Bunların içinde en geniş kullanım alanı bulan aygıtlar hidrosiklon, ve hidrolik klasifikatörlerdir (Hydrosizer).



Şekil 3.2 : Aşındırma-Ovalama Tankı

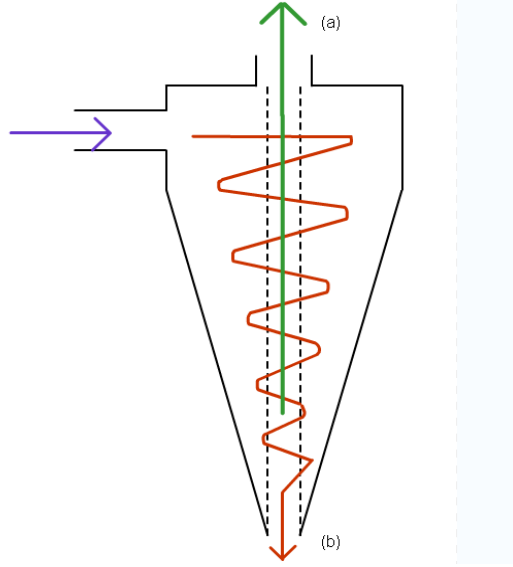
3.1.3.1 Hidrosiklonlar

Hidrosiklonlar -106 mikron malzemenin uzaklaştırılmasında son derece etkin ve düşük maliyetli bir operasyon sağlarlar. Ancak tek başlarına tüm empürite içeriğini uzaklaştırmak için yeterli değildirler. Hidrosiklonlar hiçbir şekilde mekanik parça içermemektedir. Silindrokonik şekilde üretilmekte olup çapı birkaç santimetreden 2.5 metreye kadar değişebilmektedir. Uzunlukları ise çaplarına bağlıdır. Hidrosiklonların bir giriş, iki adet de çıkışı vardır. Alt kısımdaki çıkışa *İri Malzeme Çıkış Borusu* (Vortex Finder-Underflow Reject) üst kısımdaki çıkışa ise *İnce Malzeme Çıkış Borusu* (Apex Orifice-Overflow Accept) denilmektedir.

Hidrosiklona giren malzemeye temel olarak çekme ve merkezkaç kuvveti etki etmektedir. Merkezkaç kuvveti, yoğunlukları fazla olan taneleri, hızın daha az olduğu koni iç yüzeyine doğru fırlatmaktadır. Çekme kuvveti sayesinde ise bazı (yoğunluğu daha düşük ve/veya daha ince taneli) tanecikler düşük basıncın olduğu bölüme doğru hareket ederler.

Bu hareketin devamı sonucunda, Şekil 3.3’de görüldüğü üzere yüksek yoğunlukta malzeme aşağıya doğru (b) hareket ederken, düşük yoğunlukta malzeme hidrosiklonun orta kısmından yukarı hareket ederek (a) hidrosiklonu terkeder.

Siklona beslenecek malzemenin sürekli aynı koşullarda olması şarttır. Beslenen malzemenin debisi ve siklondaki basınç farkı, ayırımı etkileyen önemli değişkenlerdir. Belirli limitler arasında arttırılan debi, ayırma verimini de arttırabilir. Bunun dışında, besleme malının yoğunluğunun arttırılmasıyla da verim arttırılabilir.



Şekil 3.3 : Hidrosiklon İçerisinde Malzeme Hareketi

3.1.3.2 Hidrolik klasifikatörler (Hydrosizer)

Kil içeriğinin daha fazla olduğu durumlarda ince boyut uzaklaştırılmasının en etkin uygulandığı sistem hidrolik klasifikatörlerdir. Çok basit ve tipik bir çalışma prensibi olmasına rağmen ayırma etkinliğinin derecesi kontrol sistemleri, su ve hava dağıtım sistemlerinin hassasiyeti ile doğru orantılıdır. Hidrolik klasifikatörler engelli çöküş ortamı sağlayan ekipmanlardır. Bu ortamda tanelerin özgül ağırlık ve boyut farklarına göre değişen çökme davranışlarından faydalanılır. Hidrolik klasifikatörler, siklonlara kıyasla çok daha efektif ve etkin bir ayırma yeteneğine sahiptir. Şekil 3.4’de tipik bir hidrolik klasifikatörler görünmektedir.



Şekil 3.4 : Hidrolik Klasifikatörler (Hydrosizer)

3.1.4 Boyutlandırma (Eleme)

Boyutlandırma yüksek kaliteli cam üretimi için çok önemlidir. Cam kumu üretimi düşünüldüğünde boyutlandırma, iki farklı koşulda ele alınmalıdır. Birinci koşul, kumu 0,5 mm'yi aşmayacak şekilde üretimi gerçekleştirmek, ikinci koşul ise +1mm boyutun ürüne karışmasını engellemektedir.

Son 10-15 yılda izin verilebilir +0,5mm boyutlu malzeme miktarı her geçen yıl düşürülmeye çalışılmaktadır. 1980'li yıllarda %0,5'e kadar izin verilen oranlar günümüzde sıfıra çekilmeye çalışılmaktadır.

Düşük iri tane boyutlu kum cam üreticilerine daha düşük fırın sıcaklıklarında üretim yapma avantajı sağlamaktadır. Düşük fırın sıcaklığı sadece yakıt tasarrufu değil aynı zamanda daha uzun fırın ömrü ve beraberinde ek kazanımlar anlamına gelmektedir. +1mm boyutundaki kum veya taneler ergimediği için cam hatalarına neden olur ve bu da üretim maliyetlerini olumsuz etkiler.

Ayırma etkinliği/verimi bilindiği üzere ayırma boyutu küçüldükçe düşer. 0,5 mm gibi bir boyutta düşük teknolojiye sarsıntılı elekler ile verimli bir ayırma yakalanması mümkün değildir. Bu nedenle daha ince boyutlarda yüksek eleme verimi elde edebilmek için yüksek frekanslı elekler kullanılır.

Son dönemdeki teknolojik gelişmeler neticesinde günümüzde birçok kattan oluşan elek düzenleri ile 250 ton/saat kapasitelerde %90'lara varan ayırma verimi elde edilmiş durumdadır. Şekil 3.5' de Yüksek Frekanslı Çok Katlı Eleme Sistemi görünmektedir.



Şekil 3.5 : Çok Katlı Yüksek Frekanslı Elek Sistemi

3.1.5 Özgül ağırlık farkına göre ayırma

Mineral tanelerinin, aralarındaki özgül ağırlık farklılığının neden olduğu, akışkan ortamlardaki hareket farklılığına dayanılarak, birbirlerinden ayrılması ile gerçekleştirilen zenginleştirmeye, özgül ağırlık farkı ile zenginleştirme veya gravite zenginleştirme adı verilir. Özgül ağırlık farkı ile zenginleştirmede, mineral tanelerinin akışkan ortamlardaki hareket hızları ve davranışları, özgül ağırlığın yanı sıra, mineral şekli, tane büyüklüğü, akışkan ortamın akış rejimi, viskozite, özgül ağırlık gibi özellikleri ve içinde zenginleştirme yapılan aygıtın yapı ve çalışma şekli ile de yakından ilgilidir.

Özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemlerinde istenilen ayırma etkinliğine ulaşıp ulaşılamayacağı ile ilgili farklı yaklaşımlar söz konusudur. Bunlardan en önemlilerinden biri Taggart tarafından *Zenginleştirme Kriteri* olarak tariflenen, türbülans akıştaki ağır ve hafif minerallerin terminal hız eşitliğine dayanan yaklaşımdır.

Bu yaklaşıma göre;

$$k = \frac{\sigma A - \rho}{\sigma H - \rho} \quad (3.1)$$

k = Taggart Zenginleştirme Kriteri

σA = Ağır Mineralin Özgül Ağırlığı

σH = Hafif Mineralin Özgül Ağırlığı

ρ = Akışkan Ortamın Özgül Ağırlığı

Bu eşitliğe göre;

- k >2,5 ise; ayırma çok küçük boyutlara kadar kolayca uygulanabilir. Serbestleşme boyutuna bağlı olarak bütün gravite yöntemleri kullanılabilir.
- 2,5> k >1,75 ise; ayırma yine kolaydır. Ancak 0,1 mm'ye kadar uygulanabilir. Serbestleşme boyutuna bağlı olarak bütün gravite yöntemleri kullanılabilir.
- 1,75>k>1,25 ise; ayırma güçleşir, alt uygulama boyutu 1 mm'dir. Ağır ortam ve Jig kullanılabilir.
- 1,50> k >1,25 ise; ayırma oldukça güçtür, ancak çakıl büyüklüğündeki tanelere uygulanabilir. Ağır ortam ve Jig kullanılabilir.
- k< 1,25 ise; ekonomik bir ayırma mümkün değildir. Ancak akışkan özgül ağırlığı (ρ) artırılarak ayırma yapılabilir.

Kum üretiminde düşük kapasitesi nedeni ile sallantılı masalar, yüksek operasyonel maliyeti nedeni ile gelişmiş özgül ağırlık farkına göre çalışan (gravitasyonel) ayırıcılar kullanılamamaktadır. Kum üretiminde gravitasyonel ayırma denildiğinde ayırma spiralleri akla gelmektedir. Spiraller ağır mineral ve demir içeriğini özgül ağırlık ve boyut farkına dayalı olarak ayırmaktadırlar. Efektif ayırma için spirallerde özgül ağırlık farkının 0,5 ila 1 puan arasında olması istenmektedir.

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi özgül ağırlığı düşük olan kısım momentum ve merkezkaç kuvvetlerinin etkisi ile spiral akış kanalının dışına doğru giderken özgül ağırlığı yüksek olan kısım akış kanalının içine doğru hareket etmektedir.

Cam kumu içerisinde ağır mineraller ince boyutlarda yoğunlaşma eğilimi gösterirler. Spirallerde gerçekleşen hareket sayesinde aynı zamanda ağır mineral ayırımı gerçekleşmektedir.



Şekil 3.6 : Cam Kumu Üretiminde Spiral Kullanımı

3.1.6 Flotasyon

Flotasyon demir içerikli ağır minerallerin kumdan uzaklaştırılması için kullanılan etkin bir yöntemdir. Etkin bir flotasyon için kilden mümkün olduğunca arındırılmış malzeme kıvam tanklarında yüksek pülpte katı oranında (%60-70) pH düşürmek için önce asitle, daha sonra toplayıcı ve köpürtücü reaktiflerle muamele edilir. Ardından bir seri flotasyon hücresinde pH 2-3 ortamda flotasyon gerçekleştirilir. Bilindiği üzere genel uygulamalarda kazanılmak istenen mineral yüzdürülürken cam kumu üretiminde uzaklaştırılmak istenen kısım yüzdürülür yani ters flotasyon yapılır.

Kıvamlandırma (Kondüsyon) yoğunluğu, flotasyon yoğunluğu, kullanılan reaktif miktarlarının düzenlenmesi, pH dalgalanmasının kontrolü, köpük yüksekliği ve köpüğü uzaklaştıran paletlerin hızları, flotasyon etkinliğini doğrudan etkileyen faktörlerdendir.

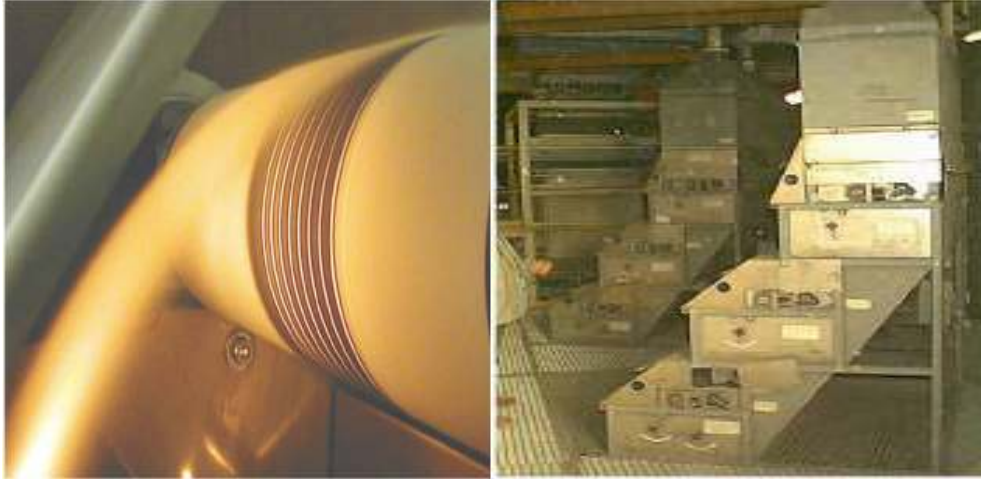
3.1.7 Kurutma

Amerika da tüm cam kumları kurutularak satılmaktadır. Kurutulmuş kumun cam üreticisi açısından, daha kesin tartım sayesinde reçete hatalarının engellenmesi, daha iyi akış karakteristiği sağlanması ve diğer katkı maddeleri ile daha iyi karışma gibi faydaları vardır. Her geçen gün artan yakıt fiyatları nedeni ile kurutma cam kumu hazırlama tesislerindeki en yüksek maliyetli proses durumundadır.

Genellikle cam kumu akışkan yataklı kurutucularda kurutulurlar. Bunun sebebi akışkan yataklı kurutucuların döner kurutuculara kıyasla daha yüksek yakıt verimliliği göstermesidir. Yaklaşık olarak akışkan yataklı kurutucularda 5,2 lt/ton gibi bir sarfiyat söz konusu iken bu değer döner kurutucularda %7,4 mertebesindedir [19].

3.1.8 Manyetik ayırma

Minerallerin manyetik özellik farklarına dayalı olarak gerçekleştirilen ayırma yöntemidir. Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar cam kumu eldesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Yüksek kapasitelerde çalışabilmesi için Şekil 3.7'deki gibi bir çok kademededen oluşan seri tipleri mevcuttur.



Şekil 3.7 : Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Seperatörler

Efektif bir ayırma yapılabilmesi için kumun rutubet değeri son derece önemlidir bu da beraberinde kurutma zorunluluğu getirir. Operasyonel maliyetleri yüksektir. Genellikle çevresel baskının yoğun olduğu, su sıkıntısı olan bölgelerde ve sulu proseslerdeki atık bertarafı için yeterli alana sahip olunamayan bölgelerde tercih sebebidir .

3.1.9 Elektrostatik ayırma

Elektrostatik ayırma teknolojisi 1940'lı yıllarda kullanıma sunulmasına rağmen endüstride çok nadir kullanılmaktadır. Ayrılmak istenen minerallerin farklı elektriksel yüklerle yüklenmesi ve zıt yüklü elektrotlara tutunması prensibi ile ayrımı gerçekleştiren ünitelerdir. Şekil 3.8'de tipik bir elektrostatik ayırıcı gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : Elektrostatik Ayırıcı

Cam kumu üretiminde bu yöntem feldspat ile kuvarsı birbirinden ayırmak için kullanılır. Geleneksel olarak bu işlem flotasyon ile gerçekleştirilmesine rağmen flotasyon etkinliğinin bir çok parametreye bağlı olması, flotasyon sırasında HF asit kullanılarak Feldspatın aktifleştirilme ve Kuvarsın bastırılma zorunluluğu nedeni ile alternatif olarak elektrostatik ayırma yöntemi tercih edilebilmektedir.

Elektrostatik ayırmada yine HF asit kullanımı söz konusudur ancak kuru proseste HF kaynaklı kontaminasyon veya çevresel sıkıntıları kontrol altında tutmak daha kolay olmaktadır. Bu yöntem sırasında, buharlaştırılan HF asit 100-120 derece sıcaklığındaki kuma tatbik edilmekte ve karıştırılmaktadır. Bu işlem sırasında elektronlar feldspattan kuvarsa geçmekte ve feldspat “+”, kuvars ise “-” yükle yüklenmiş olmaktadır. Bu malzeme artı ve eksi yüklenmiş elektrotların arasından geçerken zıt yüklü oldukları elektrotlara tutunmakta ve bu sayede ayırım gerçekleşmektedir.

3.1.10 Öğütme

Cam kumu üretiminde en yüksek maliyetli basamaklardan biri de öğütme devresidir. Çubuklu, bilyalı, otojen, semi otojen değirmenler geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Öğütücü ortamın türü cam kumu üretiminde son derece önemlidir. Zira

ubuk veya bilyalardan karışacak demir içerikli malzeme kum kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Ya da seramik bilya kullanıldığı durumlarda seramik kırıntıları cam fırınlarında ergime noktalarının yüksekliği nedeni ile cam hatalarına neden olabilmektedir. Bu sebeple ya demir içeriğini tutacak manyetik tutucular kullanılmakta ya da öğütücü ortam olarak Flint taşı olarak adlandırılan silis içeriği kuvarsa yakın olan malzemeler kullanılmaktadır.

Öğütme değinildiği üzere son derece yüksek maliyetli bir işlem olduğundan yüksek ayırma verimine sahip eleklerle kapalı devre çalışmaları gerekmektedir. Yetersiz yada gereksiz öğütme yapılmadan kapasitesinde çalışması son derece önemlidir. Buradaki verimsizlikler enerji sarfıyatının yanında, ürün kalitesi ve randımanı doğrudan etkileyebilmektedir.

3.2 Cam Kumunda İnce Tanelerin Azaltılması

Cam kumunda ince tanelerin azaltılmasının nasıl gerçekleştirilebileceğini iki başlık altında incelenebilir. Bunlar;

- Kumun içerdiği ince tanelerin uzaklaştırılması,
- Kumun ince tanelerinin aglomere edilerek boyut büyütlmesi dir.

3.2.1 Kumun içerdiği ince tanelerin uzaklaştırılması

Cam kumu üretiminde nihai ürünün kimyasal ve fiziksel içeriğinin hammaddenin tuvenan kimyasal kompozisyonu ve kırılma karakteri ile doğrudan ilişkilidir. Hammaddenin kırılma karakteri, iri ve ince boyut sınırı olan bir ürüne dönüşme sürecinde randımanı belirleyen en önemli faktördür. Cam üreticileri +500 mikron miktarın %1'in altında olmasını isterken -106 mikron altı malzeme miktarının da %20'nin altında olmasını talep etmektedir. Bu durum da kırılma karakteristiğine bağlı olarak kimyasal içerik uygun olsa dahi kum eğer ince boyutlu ürün içeriyorsa randıman kayıplarının ortaya çıkması kaçınılmaz olmaktadır.

Cam kumu üretim prosesi tasarlanırken bu ince miktarın istenilen ölçüde uzaklaştırılması için gerekli tesis dizaynının da yapılması gerekmektedir. Ancak hammadde kaynağının boyut küçültme işlemlerine verdiği tepki eğer sürekli ince oluşumuna neden olmakta ise bu durumda belli bir başabaş noktasında üretimi gerçekleştirmek zorunda kalınmaktadır. Ve bu nedenle cam üretiminde kimyasal açıdan uygun olabilecek bir çok kum, kuvarsit vb. ocağı kullanılamamaktadır yada

cam üreticilerine çok uzak coğrafyalardan hammadde tedarikine gidilmesi gerekmektedir. Örneğin tuvenan içeriği %60-65'in üzerinde -106 mikron boyutta malzeme içeren kum ocakları %50-55 randımanla çalışıldıklarında dahi talep edilen boyut dağılımını tam anlamıyla sağlayamamaktadır.

Kısacası ince miktarın siklonlar, hydrosizer'lar vb. ekipmanlar ile uzaklaştırılabilmesi belirli bir maliyet sınırına kadar mümkün olabilmektedir. Bu sınır aşıldığında artık bu tür cevherlerin kullanılamaz kaynak statüsüne alınması sözkonusu olabilmektedir.

3.2.2 Kumun ince tanelerinin aglomere edilerek boyut büyütülmesi

Bilindiği üzere yeryüzünde sınırsız talepler, sınırlı kaynaklarla karşılanmaya çalışılmaktadır. Madencilik için de her geçen gün hammadde kaynakları azalmaktadır. Günümüz teknolojisi yeni araştırmalarla eski teknolojiler ile kullanımı mümkün olmamış hammadde kaynaklarını kullanılabilir hale getirmek için yoğun bir çalışma içerisinde. Boyut büyütme işlemleri de bu araştırma konularından biridir.

Özellikle yakma, ergitme fırınlarında çok ince taneli hammaddeler kullanılamadığından, kullanımlarından önce belli bir tane büyüklüğünde birleştirilmektedirler (peletleme, briketleme vb.).

Daha önceki bölümlerde de değinildiği üzere yer kabuğunda SiO₂ çok miktarda bulunmasına rağmen cam üretimi söz konusu olduğunda gerek kimyasal içerik gerekse fiziksel içerik nedeni ile çok selektif bir madencilik yapılmaktadır. Bu durum zaten kısıtlı olan kaynakların daha da dar bir seçim şansı sunmasına neden olmaktadır. Kum içerisindeki ince boyutlu malzemenin atılması yerine bu boyuttaki malzemenin birleştirilerek (aglomere edilerek) kullanılabilir hale getirilmesi kaynakların verimli kullanılması, cam fırınlarındaki zararların azaltılması ve üretim verimliliğinin artırılması için önemli bir kazanç sağlayacaktır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmaların amacı Kiraztepe kumu içerisindeki ince boyutlu malzeme miktarının çeşitli katkı maddeleri kullanılarak boyut büyütme (aglomerasyon) işlemleri ile azaltılmasıdır. Bu işlemin sağlayacağı faydalar aşağıdaki gibidir;

- Trakya Cam Fabrikası kullandığı kumda -106 mikron oranının %20'yi ve Fe_2O_3 içeriğinin %0,12'i geçmemesini talep etmektedir. Kiraztepe kumunun tuvenan Fe_2O_3 içeriği Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere %0,1'i geçmemesine rağmen çok ince boyutlu olmasından dolayı bu talep bu kaynak ile karşılanamamaktadır. Trakya Cam Fabrikası hali hazırda Camiş Madencilik Kurucası Tesisleri'nde üretilen kum ve Mısır'dan temin edilen kum ile ihtiyacını karşılamakta bu da hammadde maliyetlerini nakliye ve navlun giderlerinden dolayı olumsuz etkilemektedir. Kiraztepe kumunun %95-100 randımında işlendiğinde dahi kimyasal içeriği sağlayacağı ve ince boyutun (-106 μ) aglomerasyon yöntemi ile uygun kriterlere getirilmesi durumunda kaynakların verimli kullanılması, hammadde maliyetinin düşürülmesi açısından büyük faydalar sağlayacağı,

Çizelge 4.1 : Tuvenan Kiraztepe Kuvarsiti Kimyasal Analizi

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	K.K
97,48	1,55	0,090	0,17	0,00	0,03	0,02	0,30	0,37

(*)K.K: Kızdırma kaybı (1050 °C)

- Hammadde kaynaklarının kısıtlılığından dolayı bazı fabrikalar tarafından kabul edilmek zorunda kalınan ince boyut içeriğinin (%30-48) bu yöntemle azaltılması durumunda cam fırınlarının kampanya sürelerindeki artış cam üretim maliyetlerini düşüreceği öngörülmektedir.

Önemli olan, uygulanacak aglomerasyon işlemi sırasında müşteri taleplerini karşılayacak boyut dağılımını elde edilmesi ve buna yönelik tesisin kurulmasıdır. Aglomerasyon işlemi sonucundaki faydalar düşünüldüğünde, kum üretim

maliyetinin, ilave olacak aglomerasyon maliyetlerine rağmen karlı olacağı düşünülmektedir.

4.1 Deneylerde Kullanılan Kum Numunesi

Deneyisel çalışmalarda Yalıköy Kum Hazırlama Tesisi'nde üretilen ve Yıkanmış Kiraztepe Kuvarsiti olarak isimlendirilen ürün kullanılmıştır. Söz konusu kum, Kiraztepe Kuvarsitinin kırıcı tesisinde 1cm altına kırılmasının ardından öğütme, yıkama, ince uzaklaştırma ve susuzlandırma işlemlerinden geçirilerek temin edilmekte, Topkapı Cam Ambalaj Fabrikası'na satışı gerçekleştirilmektedir. Yalıköy Kum Hazırlama Tesisi sevkiyat silosundan 300 kilo numune alınmış, konileme dörtlleme yöntemi kullanılarak azaltılan numuneye rutubet analizi yapılmıştır. Rutubet değeri %7 olarak tespit edilmiştir. 300 kilogram numune, mevcut rutubetini kaybetmemesi için siyah (ışık geçirimsizliğini sağlamak için) poşetlere konileme dörtlleme yöntemi ile, birer kilo olarak ayrılmış ve ağızları hava almayacak şekilde bağlanarak serin bir odada muhafaza altına alınmışlardır. Bu sayede numune rutubet değerleri sabit tutulmaya çalışılmıştır.

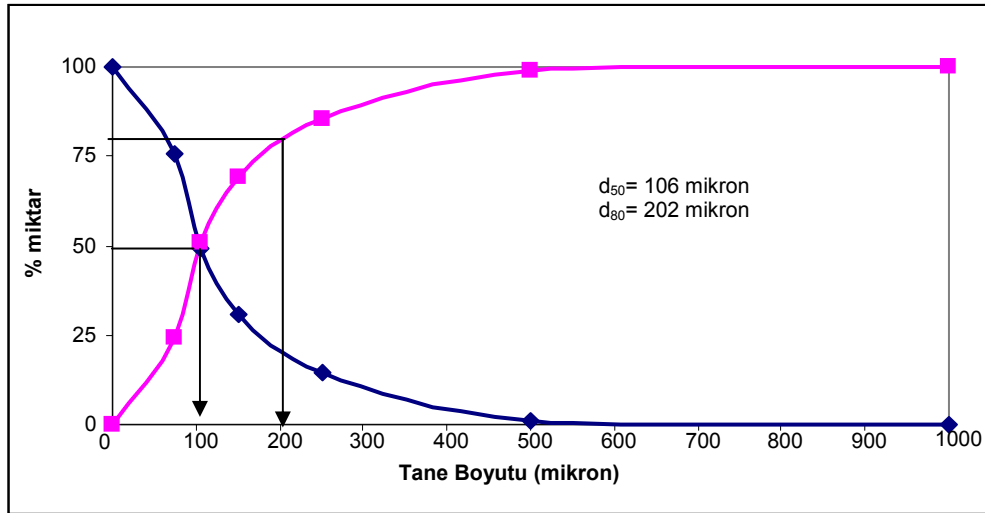
4.1.1 Numunenin fiziksel ve kimyasal analizi

Yıkanmış Kiraztepe Kuvarsiti üzerinde yapılan boyut dağılım analizi Çizelge 4.2'de verilmektedir. Deneyisel çalışmalarda, %50,59 oranındaki -106 μ tane boyutlu malzeme miktarının azaltılması amaçlanmıştır.

Çizelge 4.2 : Deneyisel Çalışmalara Esas Kiraztepe Kuvarsiti Tane Boyut Dağılımı Analizi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
- 1,000 + 0,500	1,09	1,09	100,00
- 0,500 + 0,250	13,56	14,65	98,91
- 0,250 + 0,150	16,37	31,02	85,35
- 0,150 + 0,106	18,39	49,42	68,98
- 0,106 + 0,075	26,27	75,68	50,58
- 0,075 + 0,000	24,32	100,00	24,32
Toplam	100,00		

Şekil 4.1'den de görüldüğü üzere kumun d₈₀ boyutu 202 mikron, d₅₀ boyutu ise yaklaşık 106 mikrondur. Bu değer cam kumu için son derece düşük bir değerdir.



Şekil 4.1 : Deney Numunesi Elek Altı-Elek Üstü Eğrileri

Ancak kumun kimyasal karakteristiği ve stabil içerik sağlaması, cam üreticisine yakınlık, hammadde maliyeti ve yüksek randımanlı çalışmaya müsaitliği cam üreticisi açısından da maliyet sebebi ile cazip hale gelmektedir.

Yıkılmış Kiraztepe Kuvarsiti numunesi üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.3 : Yıkılmış Kiraztepe Kuvarsiti Kimyasal Analizi

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	K.K
99,36	0,30	0,020	0,088	0,002	0,02	0,02	0,07	0,13

(*) K.K: Kızdırma kaybı (1050 °C)

4.2 Deneyler Sırasında Kullanılan Ekipmanlar

Deneyler Camış Madencilik A.Ş. Yalıköy Kum Hazırlama Tesisi XRF laboratuarında yapılmıştır.

4.2.1 Eleme ve elek analizleri için kullanılan ekipman

Kumun aglomerasyon öncesi ve sonrası boyut dağılım değişimlerini tespit etmek için Şekil 4.2’de görülen Tyler marka Ro-Tap elek makinesi ve farklı açıklıklarda kalibrasyon sertifikasına sahip (ISO 3310-1) Retsch elekler kullanılmıştır. Tüm elemelerde sabit elek seti ve eleme süresi (10 dak.) kullanılmıştır.



Şekil 4.2 : Tyler Eleme Makinesi

4.2.2 Kurutma için kullanılan ekipman

Numunelerin kurutulması işleminde Şekil 4.3’de gösterilen TSE (KA.DM.04 Talimat) tarafından kalibrasyonlu Nüve marka FN500 model laboratuvar tipi etüv kullanılmıştır. Numuneler 0 rutubete ulaşmak için 106 derecede 24 saat kurutulduktan sonra elek analizine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.3 : Kurutma Fırını

4.2.3 Hassas tartım ekipmanı

Deneyler sırasında kuma ilave edilen sodyum sülfat, CaO, kaolen ve sodyum silikat gibi malzemelerin hassas tartımları Şekil 4.4’de görülen Mettler AE166 marka kalibrasyonu TSE (DKD R-7-1 Talimat) tarafından yapılan hassas terazide yapılmıştır.



Şekil 4.4 : Hassas Terazi

4.2.4 Kimyasal analiz için kullanılan ekipman

Deneyler sırasında yapılan kimyasal analizler Şekil 4.5’te görünen Skyray WDX200 marka X-ışını spectrometre cihazı ile yapılmıştır. Cihaz kalibrasyonu Şişecam Cam Araştırma Merkezi’ne bağlı olarak akredite olmuş analiz laboratuvarlarının sertifikalandırılmış numune için ölçüm sonuçlarına göre yapılmaktadır



Şekil 4.5 : X-Işını Spectrometre Cihazı

4.2.5 Karıştırma için kullanılan ekipman

Bilindiği üzere tane bütünleşmesi ve temasını sağlamak amacı ile kuma ilave edilen malzemelerin yanı sıra bu malzemelerin kum tanecikleri ve kum taneciklerinin birbirleri ile temasını sağlayacak dinamik bir karıştırma ortamına ihtiyaç bulunmaktadır. Aglomerasyon işlemlerinde bu amaçla tasarlanmış endüstriyel makineler (pelet makineleri, karıştırıcılar vb.) söz konusudur.

Laboratuar çalışmaları sırasında malzemenin farklı dönüş hızlarındaki ve sürelerdeki durumunu da incelemek amacıyla hız ayarlı ve Şekil 4.6’da verilen, krom-çelik pelet tamburu dizayn edilmiştir. Karıştırıcı tambur 0,75 kW motor, düşük hızlı redüktör, silindir krom-çelik gövde ve invertörden oluşmaktadır.

İnvertör frekans değeri ile dönüş hızı arasındaki bağıntıyı tespit etmek için çeşitli ölçümler yapılmıştır. Ölçüm değerleri Çizelge 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Karıştırma Tamburu

Söz konusu ekipman içi boş ortadan boşaltmalı $L= 45$ cm ve $R= 20$ cm, boyutlarında paslanmaz (krom) çelik silindirden ibarettir.



Şekil 4.7 : İnvörtör Panosu

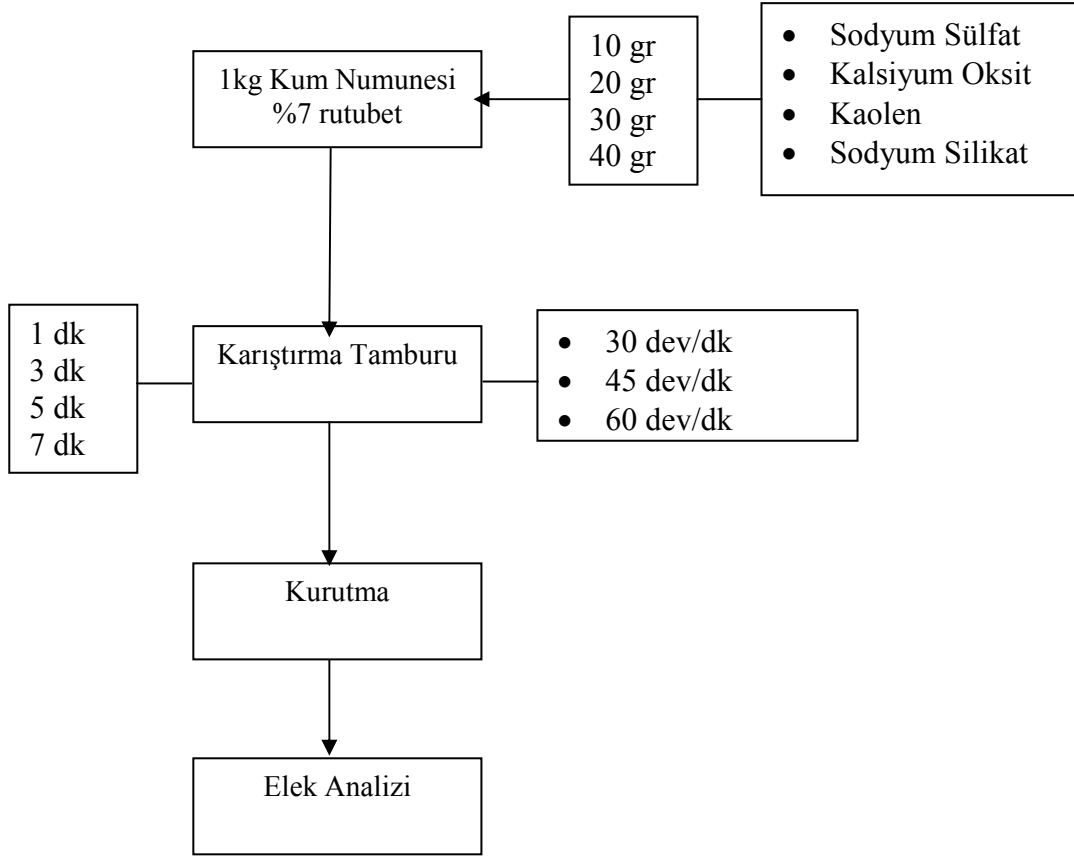
Çizelge 4.4 : Frekans Değerine Denk Gelen Devir Hızı Ölçümleri

İnvörtör Frekans Değeri Mhz	Devir/Dakika
3,5	30
4,5	40
4,8	45
5,55	52
5,75	54
5,95	60
7,45	72
9,6	92

Bu değerler ışığında deneyler sırasında kullanılacak olan 30-45-60 dev./dk. dönüş hızlarının sırası ile 3,5/4,8/5,95 Mhz değerlerinde sağlandığı tespit edilmiştir.

4.3 Deneylerin Yapılışı ve Değişken Parametreler

Deneyler sırasında tanelerin birbirine tutunmasını sağlayacak malzemelerin etkinliğinin yanında karıştırma süre ve karıştırma hız parametrelerindeki değişkenliğin aglomerasyona etkisi de incelenmiştir. Deney yöntemi akım şeması Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 : Aglomerasyon Deneyleri Akım Şeması

Aglomerasyonu sağlamak için; kumun kendi yapısında barındırdığı kütle çekimi, serbest sıvı etkisi ile oluşan kapiler basınç etkisi, bağlayıcılık yanında camın kimyasal kompozisyonuna zarar vermeyecek özelliklere sahip olan çeşitli katkı malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemelerin taneleri bir arada tutmasında; çözünme, rutubeti tutarak kapiler basınç oluşturmaları ve kurutulduklarında sertleşerek sağlam bir alçı oluşturma özelliklerinden faydalanılacaktır. İdeal sonuçlar elde edildiğinde sürecin kimyasal içeriği nasıl etkilendiği de incelenecektir.

5. DENEY SONUÇLARI VE YORUMLAR

Bu bölümde farklı bağlayıcılar kullanılarak, farklı değişkenlerin sistematik olarak incelendiği deneylerin analiz sonuçları ile tane birleşme (aglomerasyon) karakterleri incelenmiştir.

5.1 Sodyum Sülfat Deneyleri

Granül haldeki sodyum sülfat, değişik oranlarda, %7 rutubetteki 1000 gr numuneye ilave edilmiş, farklı hızlarda ve farklı karıştırma sürelerinde tanelerin topaklanmasına(aglomerasyon) çalışılmıştır. Karıştırma işlemi sonunda numune, 106 derece sıcaklıkta 24 saat bekletilerek rutubeti uzaklaştırılmış ve elek analizine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları Ek-1, 2, 3’de, -106µ boyutlu malzeme miktarı değişimi Çizelge 5.1 ve Şekil 5.4’de verilmiştir.

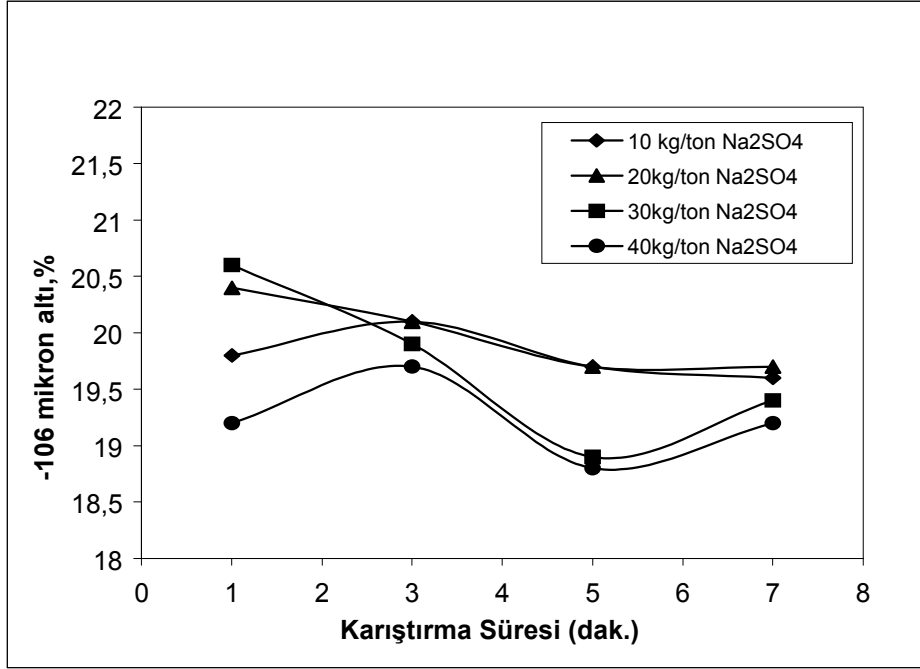
Burada kumun rutubetinden kaynaklanan sodyum sülfat granüllerindeki kısmi çözünme sayesinde ince tanelerin bu yüzeylere yapışması kurutulduktan sonra ise sertleşerek sert ve dayanıklı bir topaklanma(aglomerat) oluşturması hedeflenmiştir.

Çizelge 5.1 : Na₂SO₄ Miktarına Bağlı Olarak -106µ Malzeme Miktarı Değişimi

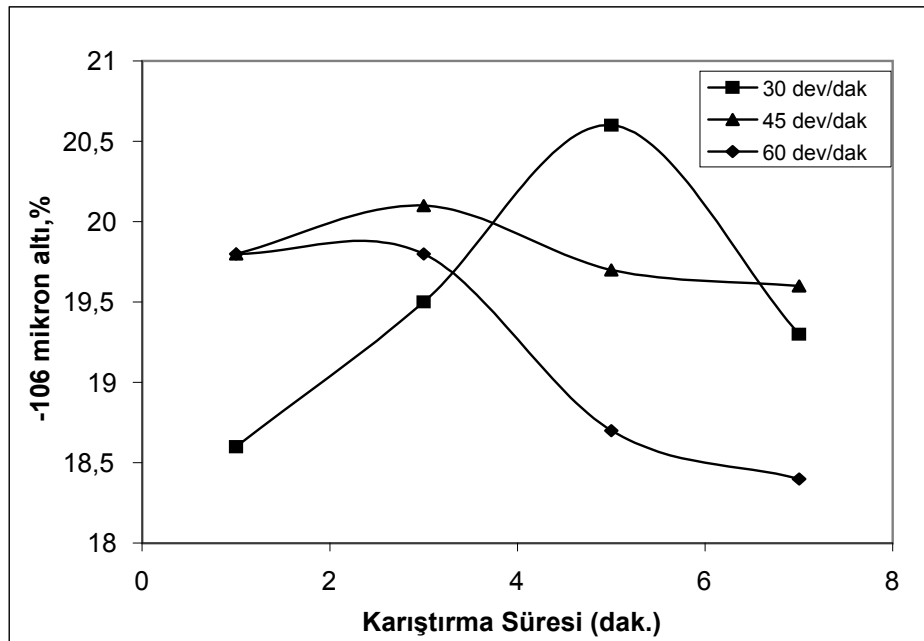
Karıştırma Süresi	1 dk.			3 dk.			5 dk.			7 dk.		
Tambur Devri (dev/dk)	30	45	60	30	45	60	30	45	60	30	45	60
Na ₂ SO ₄ Miktarı	-106µ miktarı (%)											
10 kg/ton	18,6	19,8	19,8	19,5	20,1	19,8	20,6	19,7	18,7	19,3	19,6	18,4
20 kg/ton	18,7	20,4	19,7	18,9	20,1	19,2	19,6	19,7	18,9	19,7	19,7	19,4
30 kg/ton	20,1	20,6	19,4	20,4	19,9	19,2	20,3	18,9	19,4	20,4	19,4	19,4
40 kg/ton	19,5	19,2	18,6	20,1	19,7	18,1	19,4	18,8	18,5	20	19,2	18,5

Deney sonuçları incelendiğinde -106 mikron oranları %18,1 ile %20,6 arasında değişmektedir. Şekil 5.1 incelendiğinde kullanılan sodyum sülfat miktarındaki artış - 106 mikron oranının değişiminde çok aktif rol oynamamıştır. Daha çok ara

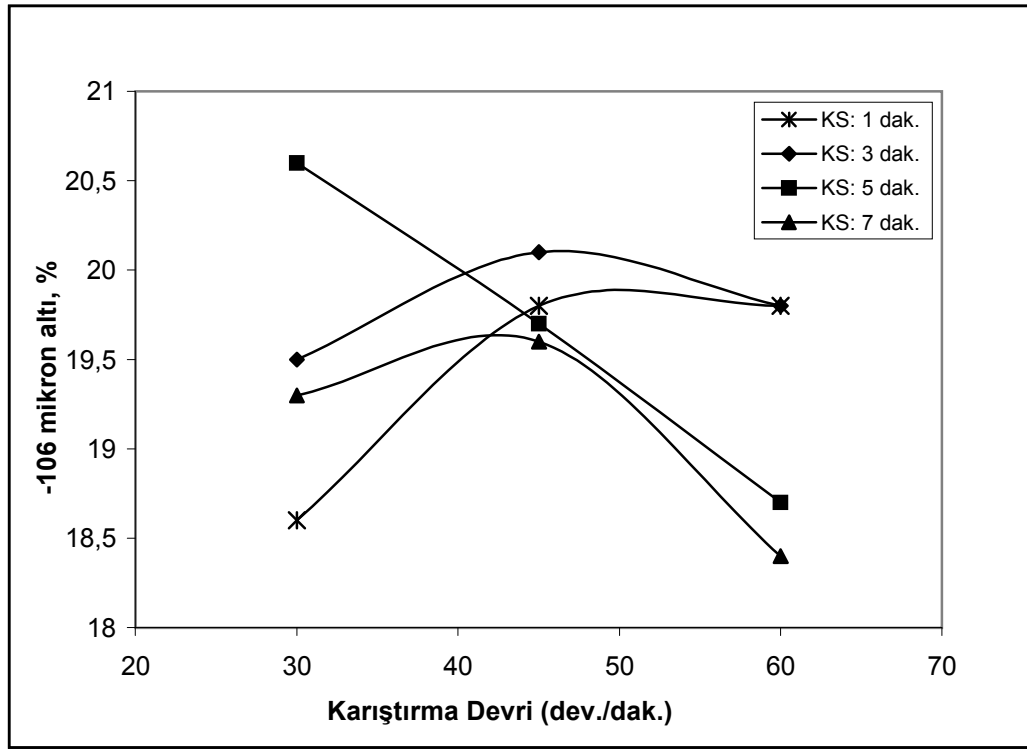
fraksiyonlar içerisinde değişikliklere ve 500 mikron üzerindeki miktarın artışına neden olmuştur. Karıştırma süreleri ve tambur devir hızlarının değişken tutulduğu durumlar şekil 5.2 ve şekil 5.3 incelendiğinde şartların birbirlerine çok üstün sonuçlar vermediği tespit edilmiştir.



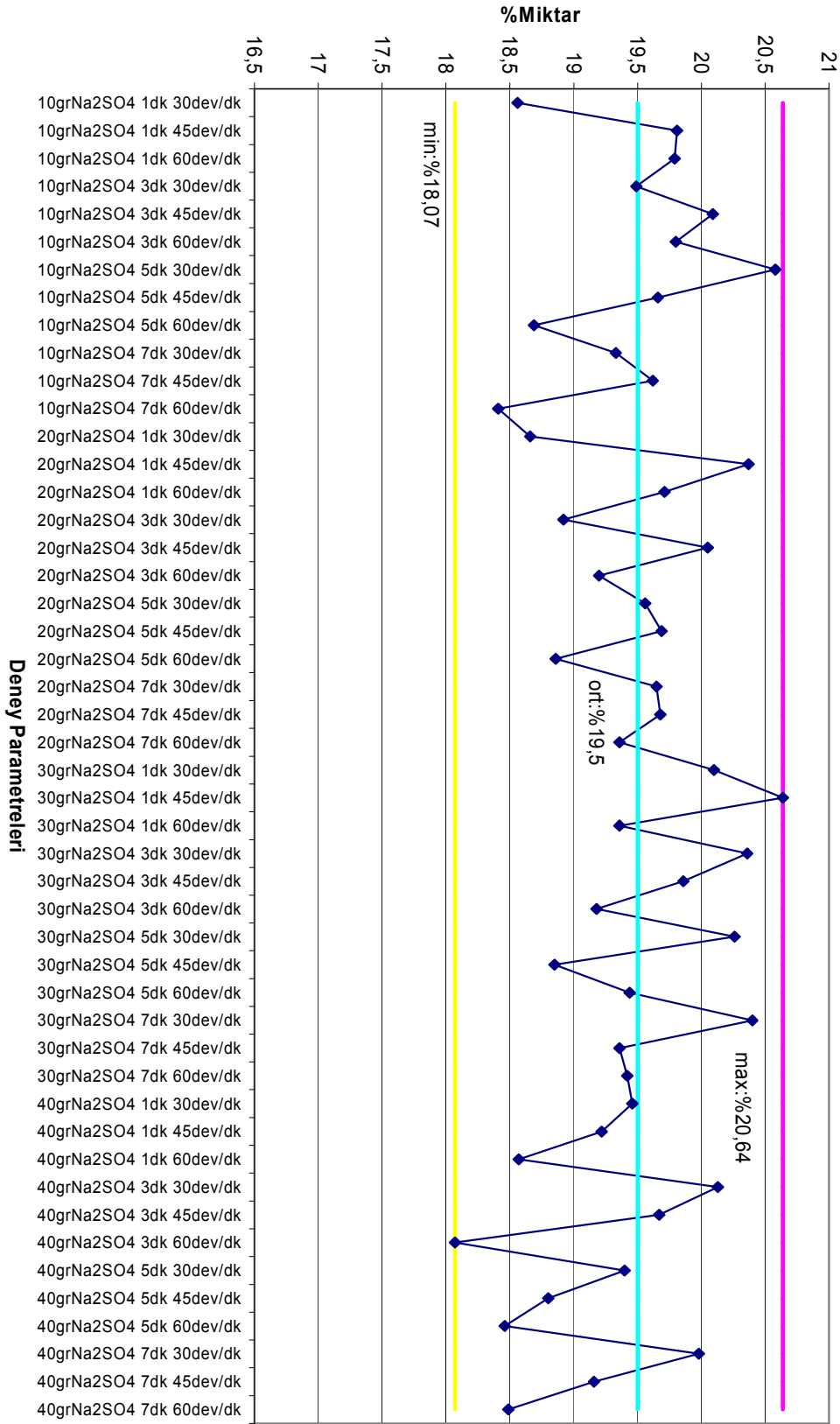
şekil 5.1 : Kullanılan Na₂SO₄ Miktarı Değişkenliğinin (45 dev./dak.) Elde Edilen 106 Mikron Altı Malzeme Miktarına Etkisi



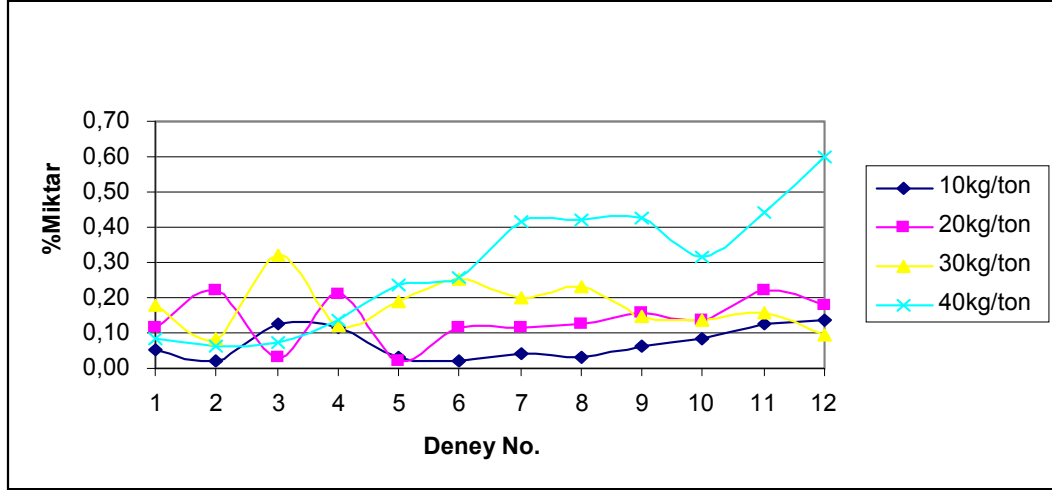
şekil 5.2 : Karıştırma Hızı Değişkenliğinin (10kg/ton) Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi



Şekil 5.3 : Karıştırma Süresi Değişkenliğinin (10kg/ton) Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi



Kullanılan bağlayıcı (Na_2SO_4) miktarına bağlı olarak oluşan +1mm miktarlarını gösterir grafik Şekil 5.5'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde sodyum sülfat miktarındaki artış +1mm oranlarını da arttırmaktadır. Cam kumunda +1mm üzerindeki malzeme miktarının artışı ergime süresini uzatacağından ve -106 μ malzeme miktarının deneyler genelinde birbirine yakın sonuçlar vermesinden dolayı 10kg/ton Na_2SO_4 kullanımının yeterli olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

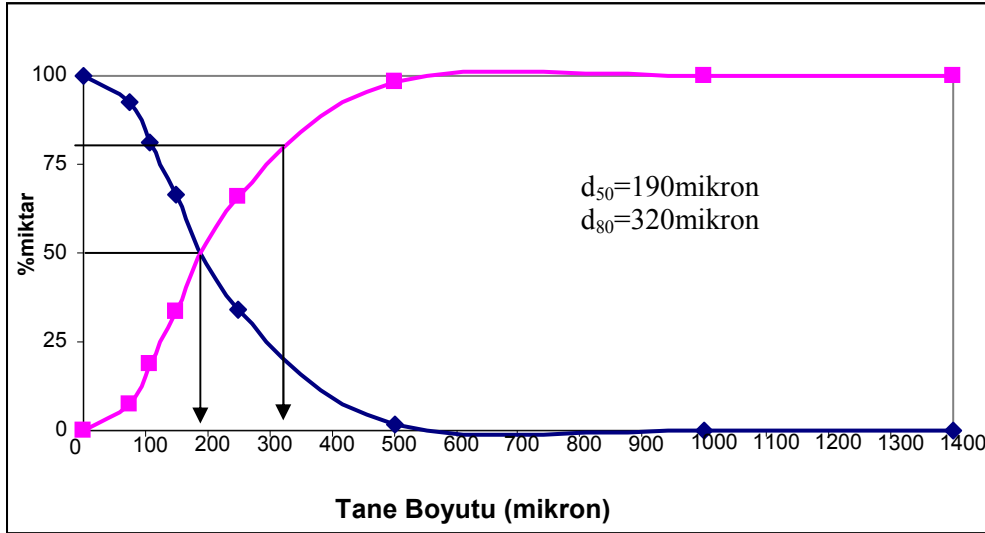


Şekil 5.5 : Na_2SO_4 Miktarı +1mm İlişkisi

Daha önce değinildiği üzere karıştırma hızı ve süreleri elde edilen -106 mikron malzeme miktarı üzerinde tatmin edici değişikliklere neden olmamıştır. Bu nedenle en düşük devir hızında ve en kısa süreli karıştırma koşulunun yeterli olacağı tespit edilmiştir. Bu koşullar (10kg/ton Na_2SO_4 , 1 dk. karıştırma süresi, 30dev./dk. karıştırma hızı) altında yapılan boyut büyütme deneyi neticesinde elde edilen ürünün elek analizi Çizelge 5.2'de ve kümülatif elek altı elek üstü eğrileri Şekil 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Na_2SO_4 Optimum Koşul Deney Numunesi Boyut Dağılım Analizi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
- 1,400 + 1,000	0,05	0,05	100,00
- 1,000 + 0,500	1,41	1,46	99,95
- 0,500 + 0,250	32,70	34,16	98,54
- 0,250 + 0,150	32,14	66,30	65,84
- 0,150 + 0,106	15,14	81,44	33,70
- 0,106 + 0,075	10,98	92,43	18,56
- 0,075 + 0,000	7,57	100,00	7,57



Şekil 5.6 : Na₂SO₄ Deney Numunesi Elek Altı-Elek Üstü Eğrileri

Çizelge 5.2 ve Şekil 5,6'dan da görüldüğü üzere kumun genelinde bir boyut büyümesi elde edilmiştir. d_{50} boyutu kumun orijinal durumunda 106 mikron iken sodyum sülfat muamelesi ile aglomerasyon yapıldıktan sonra bu değer 190 mikrona d_{80} boyutu ise 202 mikrondan 320 mikrona çıkmıştır.

Bu boyutlardaki aglomeratların dayanımlarının tespiti hususunda herhangi bir standarda ulaşamadığından, izafi bir dayanım tespiti yapabilmek için deneyler sonucunda elde edilen kumlardan numuneler alınarak tekrarlı elek analizleri yapılmıştır. Eleme tekrarı arttırıldıkça -106 mikron malzeme miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. Bu da elde edilen aglomeratların mekanik etkilere karşı dayanıksız olduğunu ortaya koymaktadır. Endüstriyel uygulama boyutunda bu denli zayıf bir bağ, nakliye ve ergitmeye kadar olan süreçteki tüm manipulasyon aşamalarında mekanik etkiler nedeni ile dağılma özelliği göstereceğinden yeterli olmayacaktır.

5.2 CaO (Kireç) Deneyleri

Kireç bilindiği üzere sulandırılıp kurutulduğunda sertleşen bir malzemedir ve cam üretimi sırasında hali hazırda kullanılan bir hammadde olduğundan, aglomerasyon sırasında taneleri yüzey rutubetleri nedeni ile bir arada tutup tutamayacağı incelenmiştir.

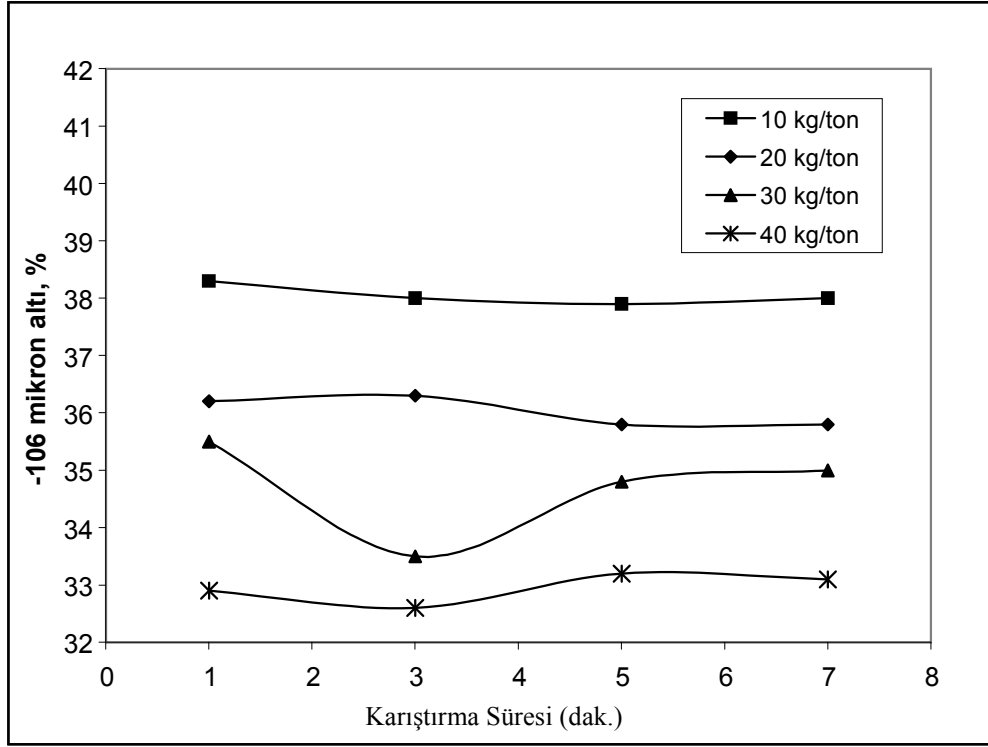
Toz halindeki kireç farklı miktarlarda 1000 gr %7 rutubetteki kuma ilave edilmiş ve değişken parametreler ile tane birleşmesine çalışılmıştır. Deney sonucunda elde

edilen numuneler 106 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilmiş ve tamamı elek analizinden geçirilmiştir. Deney sonuçları Ek-4 ,5’de ve tane boyut değişimi Çizelge 5.3’de gösterilmektedir.

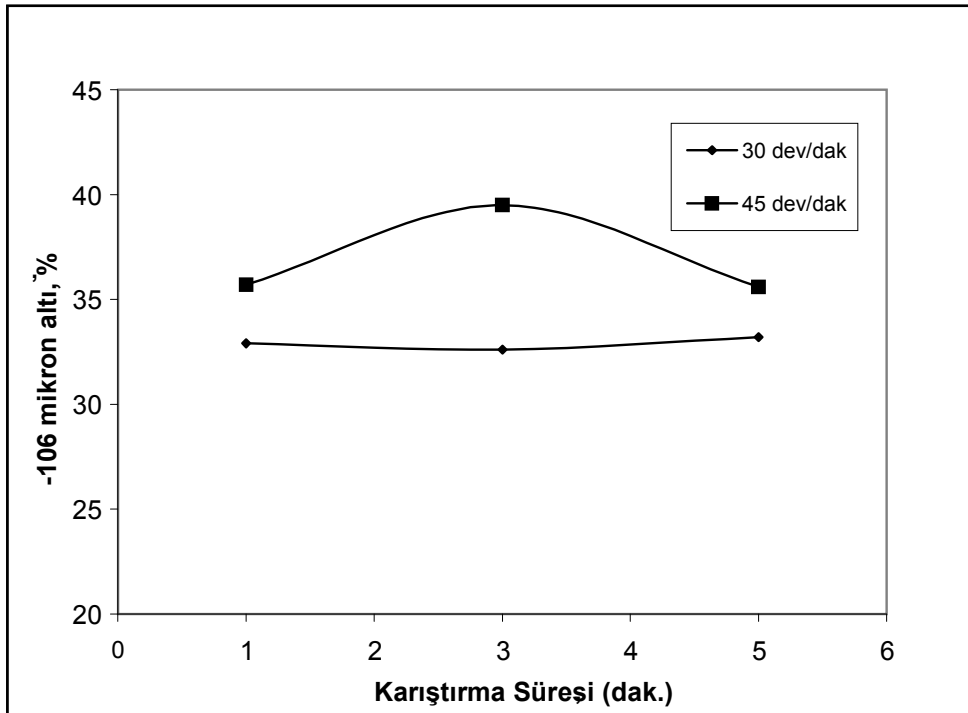
Çizelge 5.3 : CaO Miktarına Bağlı Olarak -106µ’luk Malzeme Miktarı Değişimi

Karıştırma Süresi	1 dk.			3 dk.			5 dk.			7 dk.		
Tambur Devri	30	45	60	30	45	60	30	45	60	30	45	60
CaO Miktarı	-106µ miktarı (%)											
10 kg/ton	38,3	39,1		38	40,3		37,9	39,2		38		
20 kg/ton	36,2	36,3		36,3	36,9		35,8	40		35,8		
30 kg/ton	35,5	36,1		33,5	38,2		34,8	36		35		
40 kg/ton	32,9	35,7		32,6	39,5		33,2	35,6		33,1		

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 incelendiğinde en düşük -106µ oranı, 40kg/ton CaO, 30 dev/dk tambur devri ve 3 dakika karıştırma süresinde elde edilmiştir. Ancak kullanılan bağlayıcı miktarı ve elde edilen -106 mikron malzeme miktarındaki yükseliş sodyum sülfat ile kıyaslandığında oldukça yüksek olduğundan bir sonraki deney aşamasına devam edilmemiştir.



Şekil 5.7 : Kullanılan CaO Miktarı Değişkenliğinin (45 dev./dak.) Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi



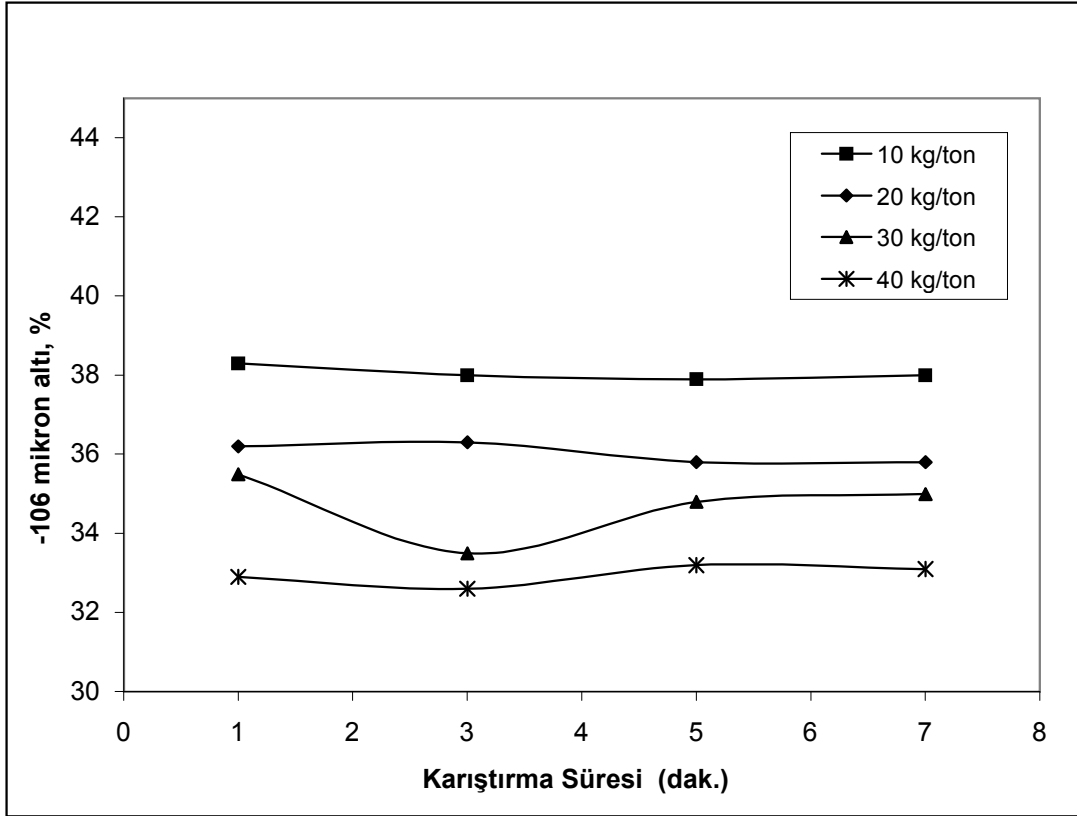
Şekil 5.8 : Karıştırma Hızı Değişkenliğinin (40kg/ton) Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi

5.3 Kaolen deneyleri

Yine cam üretiminde alüminyum içeriğini sağlamak için kullanılan hammaddelerden biri olan kaolenin, aglomerasyon açısından kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla; 1000 gr kum numunesine, farklı miktarlarda kaolen ilave edilmiş, 1 dakika karıştırma süresi ve 30 dev./dk. karıştırma hızında deneyler yapılmıştır. Çalışmalarda, kaolenin ince boyutlarda kum rutubetini alarak kum tanelerini kapiler basınç etkisi ile bir arada tutması amaçlanmıştır. Deney sonuçları Ek-6' da ve Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Kaolen Miktarına Bağlı Olarak Değişen Boyut Dağılım Analizi

Elek Açıklığı (mm)	10 gr Kaolen 1 dk		20 gr Kaolen 1 dk		30 gr Kaolen 1 dk		40 gr Kaolen 1 dk	
	Ağırlıklı miktar (%)	Kümülatif Elek Altı miktar (%)	Ağırlıklı miktar (%)	Kümülatif Elek Altı miktar (%)	Ağırlıklı miktar (%)	Kümülatif Elek Altı miktar (%)	Ağırlıklı miktar (%)	Kümülatif Elek Altı miktar (%)
1,00	0,22	100,00	0,05	100	0,10	100	0,13	100
0,500	0,76	99,78	0,89	99,95	1,03	99,9	0,94	99,87
0,250	16,07	99,02	14,82	99,06	13,67	98,87	14,67	98,93
0,150	21,31	82,95	19,23	84,24	19,18	85,2	19,19	84,26
0,106	20,30	61,64	19,38	65,01	20,40	66,02	19,63	65,07
0,075	22,35	41,34	23,51	45,63	23,23	45,62	23,51	45,44
-0,075	18,99	18,99	22,12	22,12	22,39	22,39	21,93	21,93
-106µ	41,3		45,6		45,6		45,4	



Şekil 5.9 : Kullanılan Kaolen Miktarı Değişkenliğinin (30 dev./dak.) Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi

Şekil 5.9 incelendiğinde; -106 mikron değerleri, hemen hemen aglomere edilmemiş kuma yakın sonuçlar vermiştir. Mikroskop altında yapılan incelemelerde bir araya gelen tanelerin çok zayıf bir bağ ile birleştikleri tespit edildiğinden deneylere devam edilmeme kararı verilmiştir.

5.4 Sodyum Silikat Deneyleri

Sodyum silikat, sodyum metasilikatın (Na_2SiO_3) sektörde kullanılan adıdır. Bunun yanında su camı yada sıvı cam olarak da adlandırılır. Sıvı ve katı formda üretilen sodyum silikat; seramik, refrakter, tekstil, kimya, deterjan, beton sektörlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir.

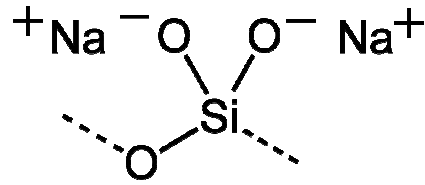
Yüksek basınç ve sıcaklık altında gerçekleşen aşağıdaki reaksiyon sonucu sodyum silikat eldesi gerçekleştirilir. Molekül yapısı Şekil 5.10'daki gibidir.



Sıvı sodyum silikat sıvı formda malzeme içine homojen dağılma, kurutulduğunda katılaşma özelliğinden dolayı çeşitli sektörlerde aglomerasyon sağlayıcı, alçı

sağlayıcı, dolgu malzemesi ve tutkal olarak kullanılmaktadır. Deneyler sırasında hem kimyasal kompozisyonunun cam içeriğinde bulunan bileşiklerden oluşması hem de tane yüzeylerinde yaratacağı adsorbsiyon ile kurutulduktan sonra mukavim bir alçı görevi göreceği öngörülerek aglomerasyon sağlayıcı olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Çizelge 5.5’de gösterildiği üzere sodyum silikat eğer bileşiminde 3 molekül SiO₂ içeriyor ise 3 Modül, 2 molekül SiO₂ içeriyor ise 2 Modül olarak isimlendirilmektedir [21].

Deneyler sırasında yüksek SiO₂ içeriği nedeni ve sıvı formda olması nedeni ile 3 modül nötral sodyum silikat kullanılmasına karar verilmiştir. Deney sonuçları Ek-7, 8, 9’da sergilenmiş ve Çizelge 5.6’da farklı koşullarda yapılan deneyler sonucunda elde edilen -106 mikron tane boyutlu malzeme miktarları gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : Sodyum Silikat Molekül Yapısı

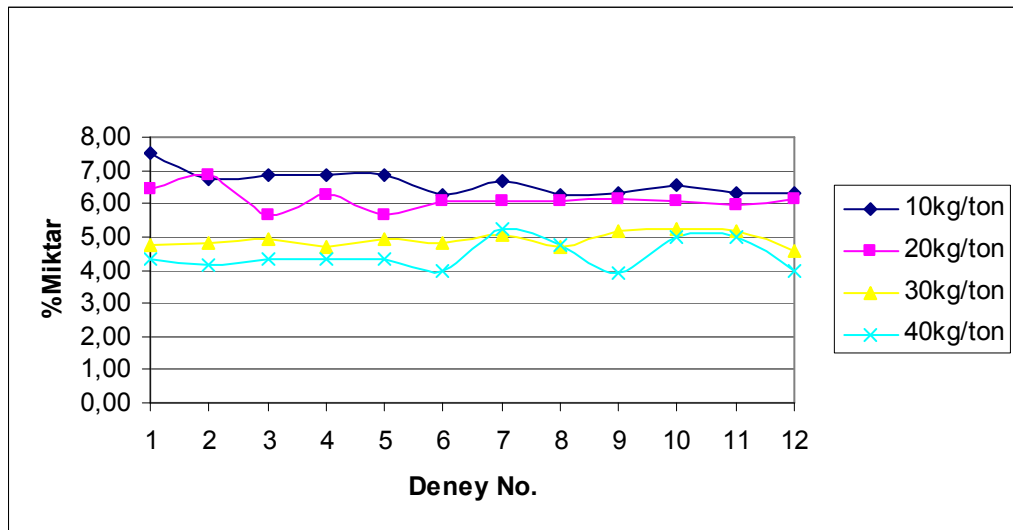
Çizelge 5.5 : Sodyum Silikat Tür ve İçerikleri

Sodyum Silikat Türleri	KATI	KATI	SIVI	SIVI
ADI	Nötral Sodyum Silikat 3 Modül	Alkali Sodyum Silikat 2 Modül	Nötral Sodyum Silikat 3 Modül	Alkali Sodyum Silikat 2 Modül
RENK	Açık Mavi-Yeşil	Açık Mavi-Yeşil	Renksiz Berrak	Renksiz Berrak
MOLEKÜL ORANI	3.2-3.5	2.0-2.2	3,2-3,5	2,0-2,2
Na₂O %	22,5-24,0	31,7-33,8	23,0-24,5	32,5-34,0
SiO₂ %	75-76,5	65,5-67,5	77,5-77,0	66,0-67,0
Al₂O₃ %	0,4 max	0,4 max	0,4 max	0,4 max
Fe₂O₃ %	0,05max	0,05 max	0,05max	0,05 max
CaO %	0,06 max	0,05 max	0,06 max	0,05 max
TiO %	0,04 max	0,03 max	0,04 max	0,03 max
MgO %	0,10 max	0,10 max	0,10 max	0,10 max
K₂O %	0,10 max	0,10 max	0,10 max	0,10 max

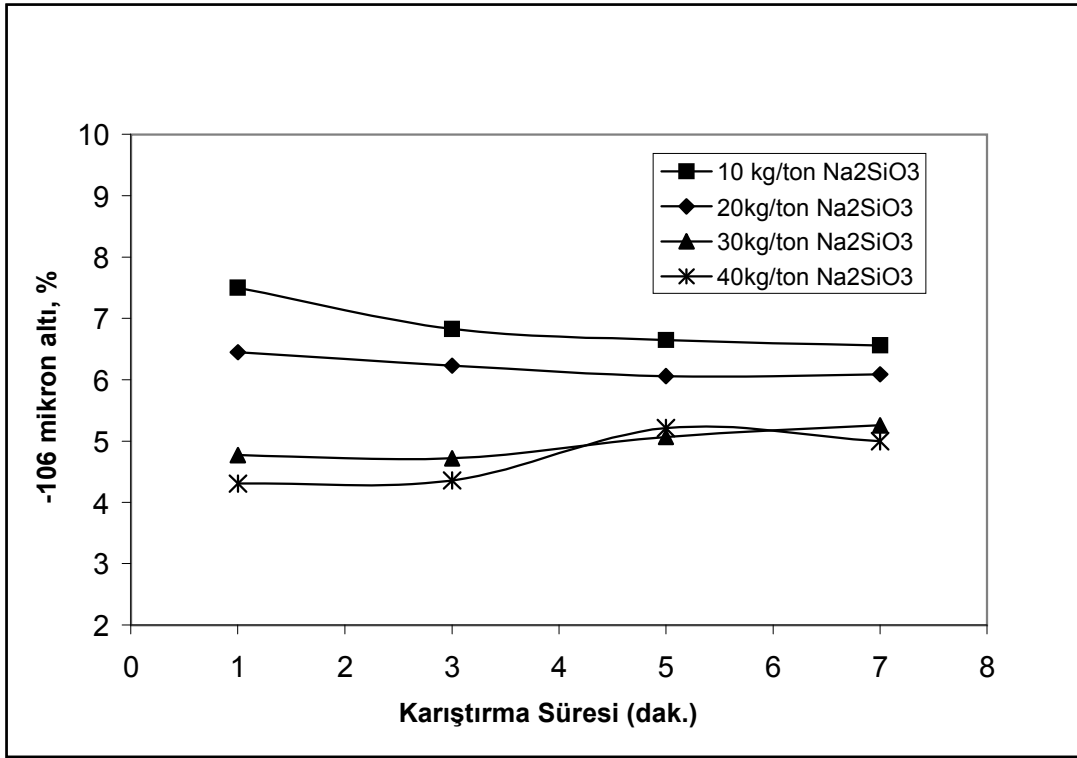
Çizelge 5.6 : Na₂SiO₃ Miktarına Bağlı Olarak -106µ'luk Malzeme Miktarı Değişimi

Karıştırma Süresi	1 dk.			3 dk.			5 dk.			7 dk.		
Tambur Devri	30	45	60	30	45	60	30	45	60	30	45	60
Na ₂ SiO ₃ Miktarı	-106µ miktarı (%)											
10 kg/ton	7,5	6,75	6,84	6,83	6,84	6,25	6,65	6,25	6,33	6,56	6,33	6,33
20 kg/ton	6,45	6,86	5,68	6,23	5,68	6,08	6,06	6,08	6,12	6,09	5,95	6,16
30 kg/ton	4,77	4,84	4,91	4,72	4,91	4,81	5,07	4,7	5,19	5,26	5,19	4,55
40 kg/ton	4,31	4,16	4,31	4,36	4,31	3,98	5,21	4,73	3,89	5,00	4,98	3,98

Kullanılan sodyum silikat miktarının sabit tutulduğu ve karıştırma süresi, devir hızlarının değiştirilmesi durumunda alınan sonuçlar arasında -106 mikron miktarı açısından kayda değer farklar olmamakla birlikte fraksiyonlar arası değişkenlikler söz konusu olmuştur. Şekil 5.11'de görüldüğü üzere kullanılan sodyum silikat miktarındaki değişim elde edilen sonuçlarda çok etkin olmuştur. Şekil 5.12 incelendiğinde 30kg/ton ve 40 kg/ton NaSiO₃ kullanıldığında -106 mikron malzeme miktarı %5'in altına düşmektedir ancak 40kg/ton NaSiO₃ kullanıldığında malzeme genelinde gözlemlenen kekleşme, Şekil 5.15'de görünen +1mm malzeme miktarındaki artış ve 30 kg/ton NaSiO₃ kullanımına yakın sonuçlar elde edildiğinden optimum bağlayıcı miktarı 30 kg/ton olarak tespit edilmiştir.

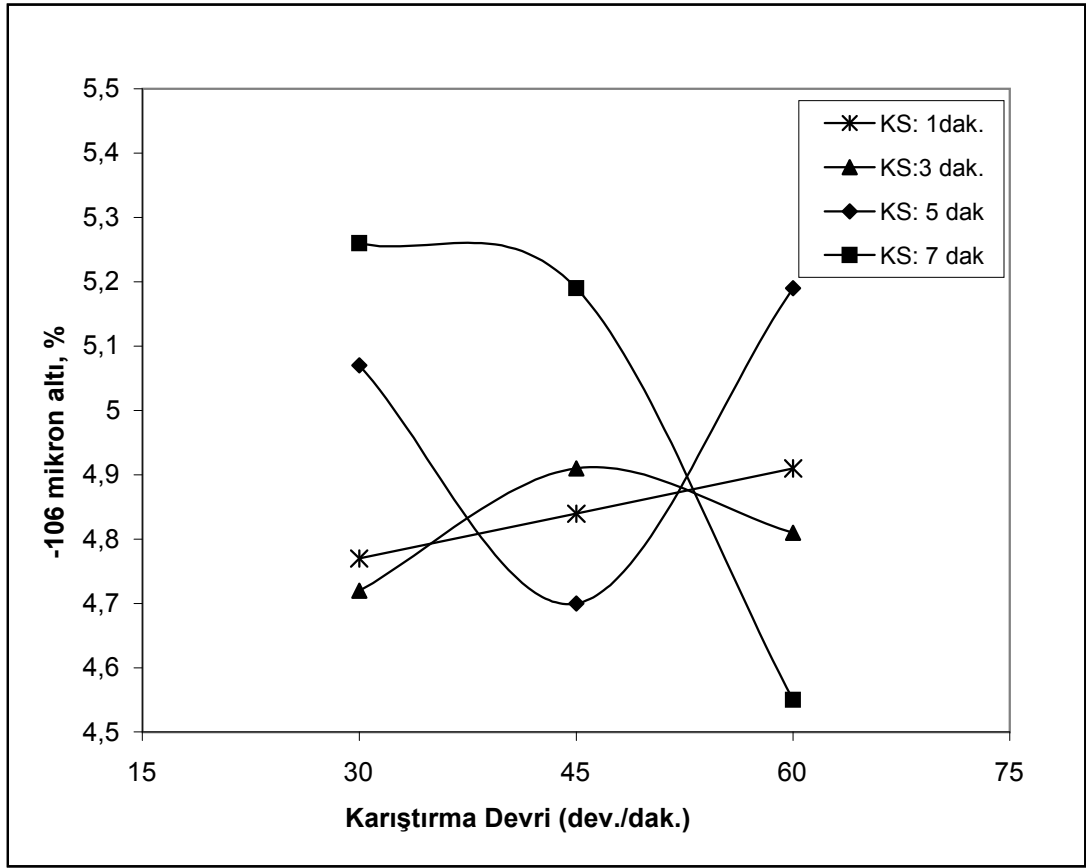


Şekil 5.11 : Na₂SiO₃ Miktarı -106µ İlişkisi



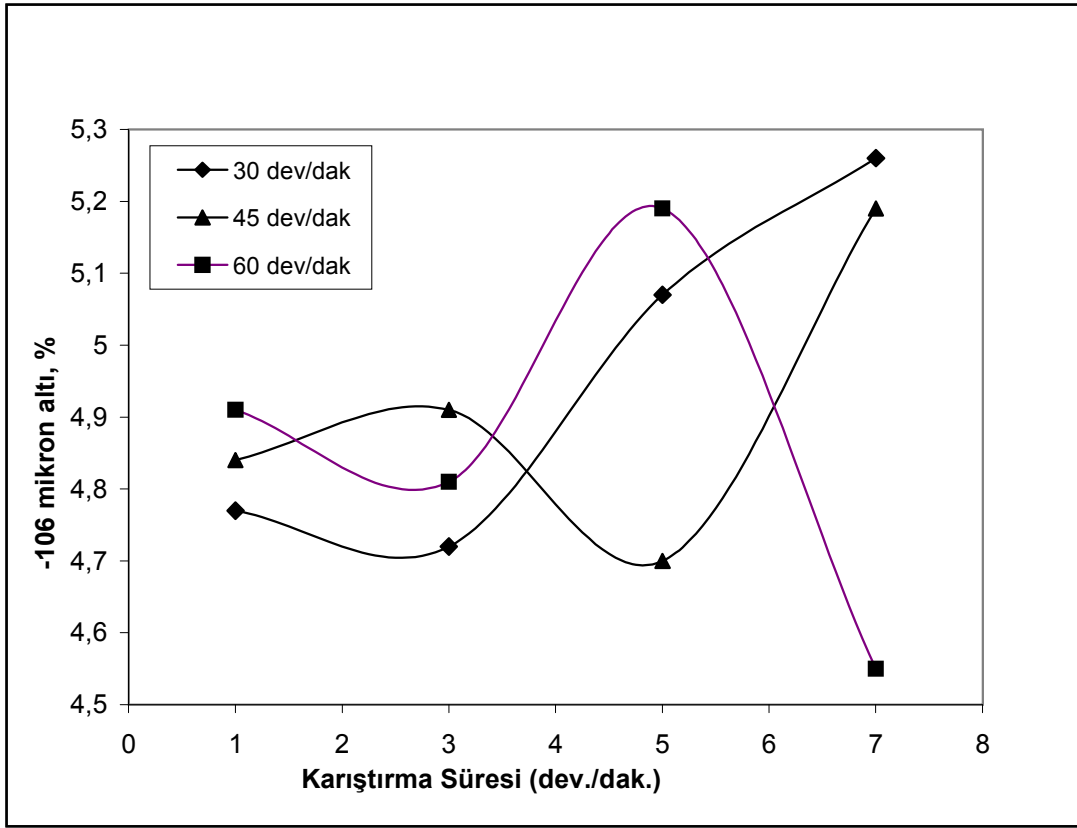
Şekil 5.12 : Kullanılan Na₂SiO₃ Miktarı Değişkenliğinin (30 dev./dak.) Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi

Şekil 5.13 incelendiğinde kullanılan bağlayıcı miktarı sabit tutulduğunda karıştırma sürelerindeki değişim 1 dakikalık karıştırma süresi dışında, lineer olmayan rastlantısal değişimler sergilemiştir ve yine 1 dakika gibi kısa bir karıştırma süresinin farklı karıştırma hızlarında %5'in altında -106 mikron malzeme miktarına ulaşmak için yeterli olduğu tespit edilmiştir.



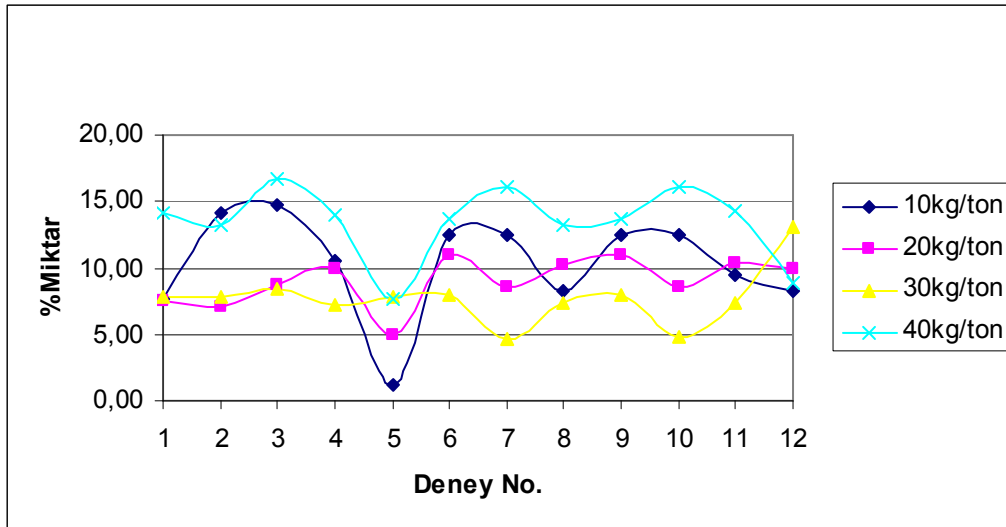
Şekil 5.13 : Karıştırma Süresi Değişkenliğinin (30 kg/ton) Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi

Şekil 5.14 İncelendiğinde yine kullanılan bağlayıcı miktarı sabit tutulduğunda 1 dakika karıştırma süresinde karıştırma hızlarının elde edilen -106 mikron malzeme miktarı açısından çok üstün olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle 30 dev./dak. karıştırma hızının yeterli olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 5.14 : Karıştırma Hızı Değişkenliğinin Elde Edilen -106 Mikron Malzeme Miktarına Etkisi

Çizelge 5.7’de 30kg/ton sodyum silikat ile 30dev./dk. tambur hızında 1 dakika karıştırılan kumun boyut dağılım analizi verilmektedir. Buna göre; 106 mikron altı malzeme miktarının son derece düştüğü buna karşılık +1mm malzeme miktarının da yüksek artış gösterdiği açıkça gözlemlenmektedir.

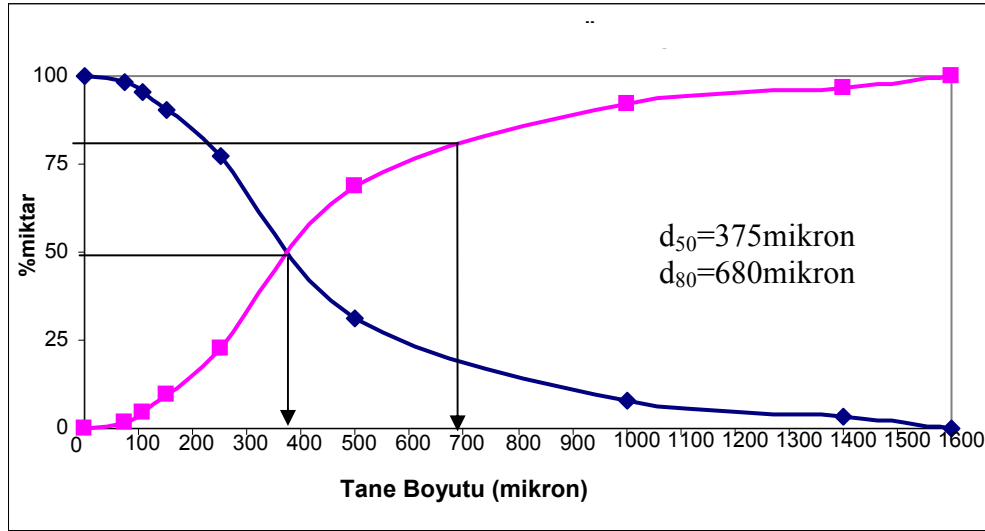


Şekil 5.15 : Na₂SiO₃ Miktarı +1mm İlişkisi

Çizelge 5.7 : Optimum Koşullar Altında Yapılan Na_2SiO_3 Deneyi Numunesi Boyut Dağılım Analizi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
+ 1,400	3,52	3,52	100,0
- 1,400 + 1,000	4,33	7,85	96,48
- 1,000 + 0,500	23,33	31,17	92,15
- 0,500 + 0,250	46,34	77,52	68,83
- 0,250 + 0,150	13,07	90,59	22,48
- 0,150 + 0,106	4,64	95,23	9,41
- 0,106 + 0,075	3,17	98,39	4,77
- 0,075 + 0,000	1,61	100,0	1,61

Kumun ortalama tane boyu 106 mikrondan yaklaşık 375 mikrona d_{80} boyutu ise 680 mikrona çıkmıştır. Şekil 5.16’da kümülatif elek altı elek üstü grafiği verilmektedir. Ancak deney sonuçları incelendiğinde; 1,4 mm üzerindeki malzeme oldukça iri ve sert topaklardan ve yapraksı parçalardan oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 5.16 : Optimum Koşullarda Na_2SiO_3 Deney Numunesi Elek Altı- Elek Üstü

Sodyum silikat ile muamele edilmiş kumun, durağan bir ortamda kurutulmasından kaynaklanan bu sorunun eleme işlemi sırasında büyük ölçüde ortadan kalktığı görülmüştür. Bu veriler ışığında +1mm üzeri malzeme miktarının cam üretim sürecinde sıkıntı yaratmaması için tekrar kontrollü boyut küçültme işlemine tabii tutulması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu sebep ile, sabit basınç etkisine sahip bir kırıcı ile bu topakların kırılması durumunda ince tane boyutlu malzeme miktarında artış olup olmayacağının tespiti için, deneyler sırasında elde edilen +1mm

malzemeden 500 gr numune hazırlanmış ve merdaneli kırıcıdan geçirilmiştir. Elde edilen boyut dağılımı Çizelge 5.8'deki gibidir.

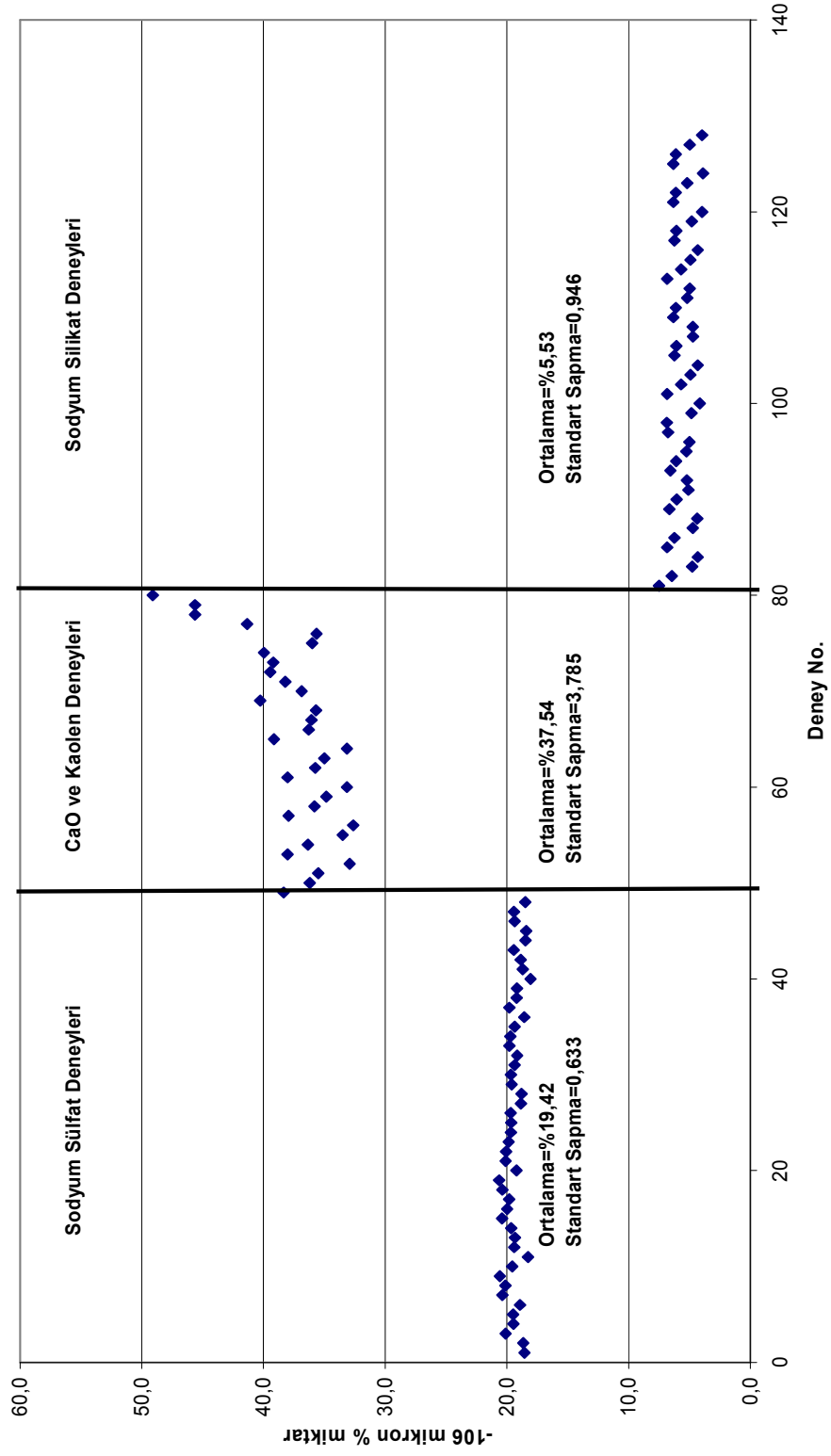
Çizelge 5.8 : Merdaneli Kırıcıdan Geçirilen +1mm Malzemenin Kırıcı Çıkışı Boyut Dağılım Analizi

Boyut (mikron)	Miktar (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
- 1,400 + 1,000	1,14	1,14	100
- 1,000 + 0,500	33,71	34,85	98,86
- 0,500 + 0,250	28,41	63,27	65,15
- 0,250 + 0,150	14,77	78,04	36,73
- 0,150 + 0,106	8,71	86,75	21,96
- 0,106 + 0,075	7,95	94,70	13,25
- 0,075 + 0,000	5,30	100,0	5,30

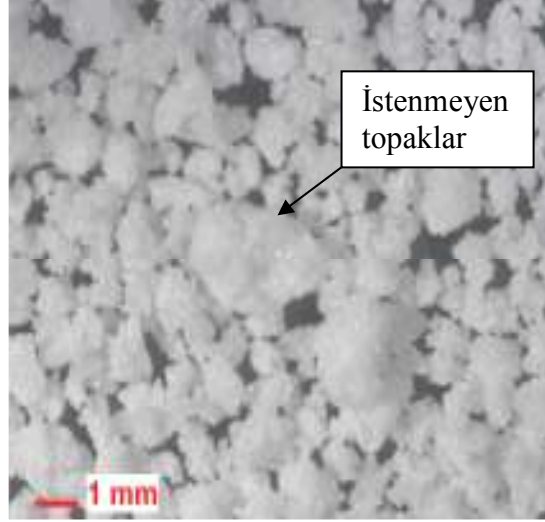
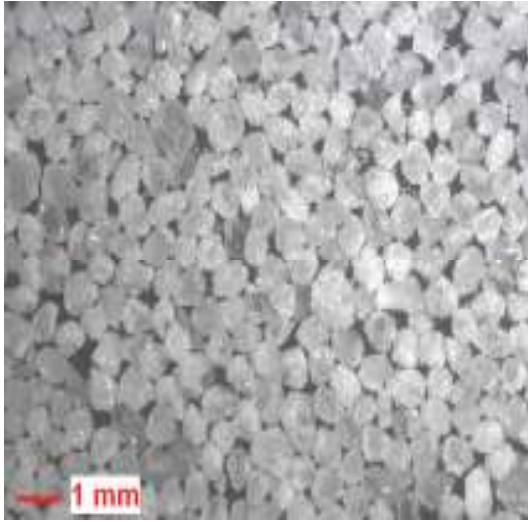
Görüldüğü üzere aglomerasyon işlemi sırasında oluşan istenmeyen birleşmeleri temsil eden ve toplam ürünün miktarsal olarak %11'ini ifade eden +1mm üzerindeki malzemenin merdaneli kırıcıdan tek sefer geçirilmesinden sonra oluşan -106 mikron tane boyutundaki malzeme miktarı %13,25 seviyesindedir. Bu da, bu oranın kumun genelinde -106 mikron malzeme miktarında yaklaşık %1,5 gibi bir artışa neden olacağı anlamına gelmektedir.

Tüm aglomerasyon deneyleri ve elde edilen -106µ oransal sonuçları, kıyaslamalı olarak grafik halinde Şekil 5.17'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde; en iyi sonuçların sodyum silikat deneyleri ile elde edildiği açıkça görünmektedir.

Sodyum silikat ile en uygun boyut büyütmenin sağlandığının tespitinden sonra, fraksiyonlar aralığında nasıl tane birleşmelerinin oluştuğu ile ilgili daha detaylı mikroskopik incelemeler yapılmıştır. Çeşitli fraksiyonlardaki (-2+0,5 mm, -0,5+0,3 mm, -0,3+0,106 mm, -0,106+0,075 mm, -0,075 mm) aglomerasyon oluşumunu ortaya koyan mikroskop görüntüleri, tane boyut dağılım özellikleri sırasıyla Şekil 5.18, 19, 20, 21, 22'de verilmektedir.

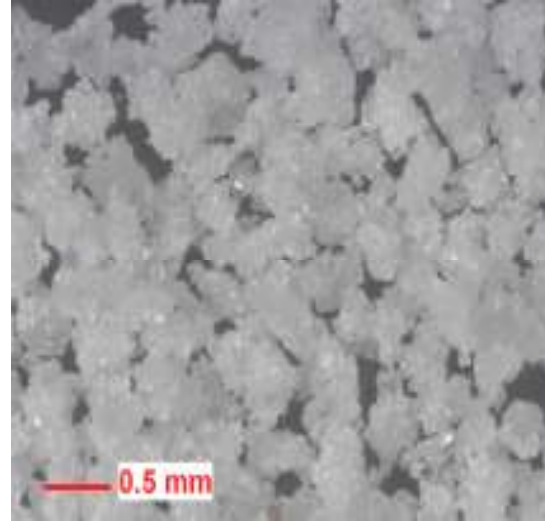
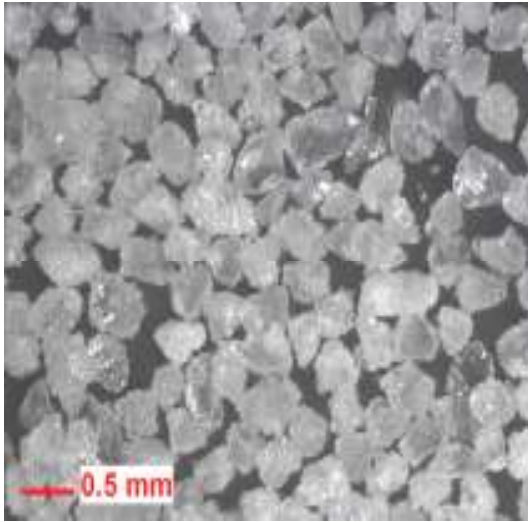


Şekil 5.17: Deney Sonuçları Mukayeseli Karşılaştırma



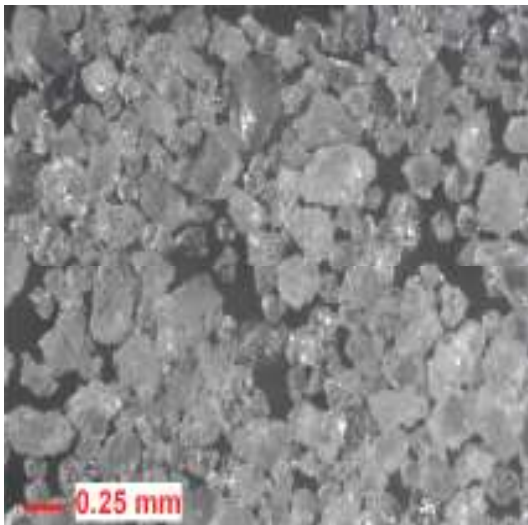
Şekil 5.18 : Orjinal Kum: -2 +0.5 mm

Aglomere Kum : -2 +0,5 mm

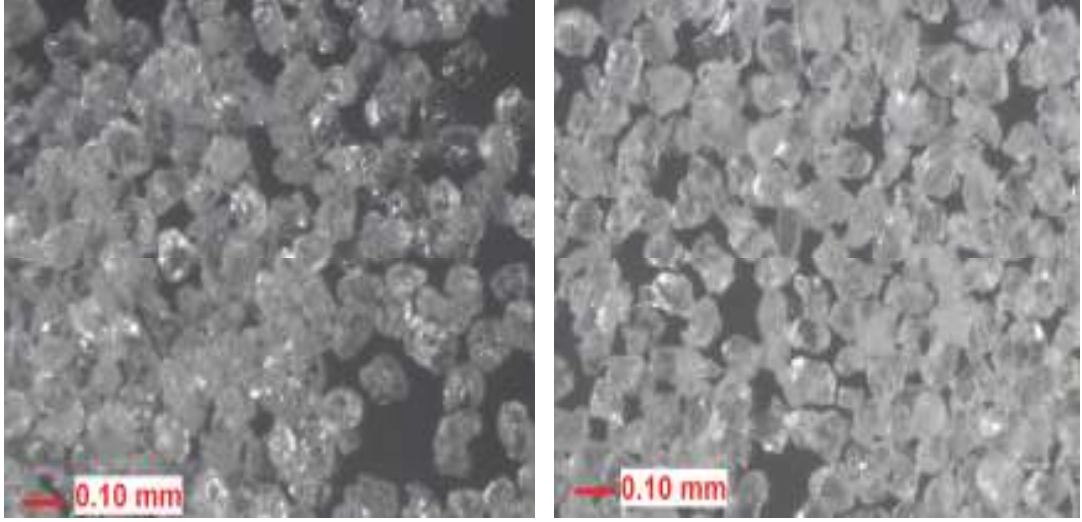


Şekil 5.19 : Orjinal Kum: - 0,5 +0.3 mm

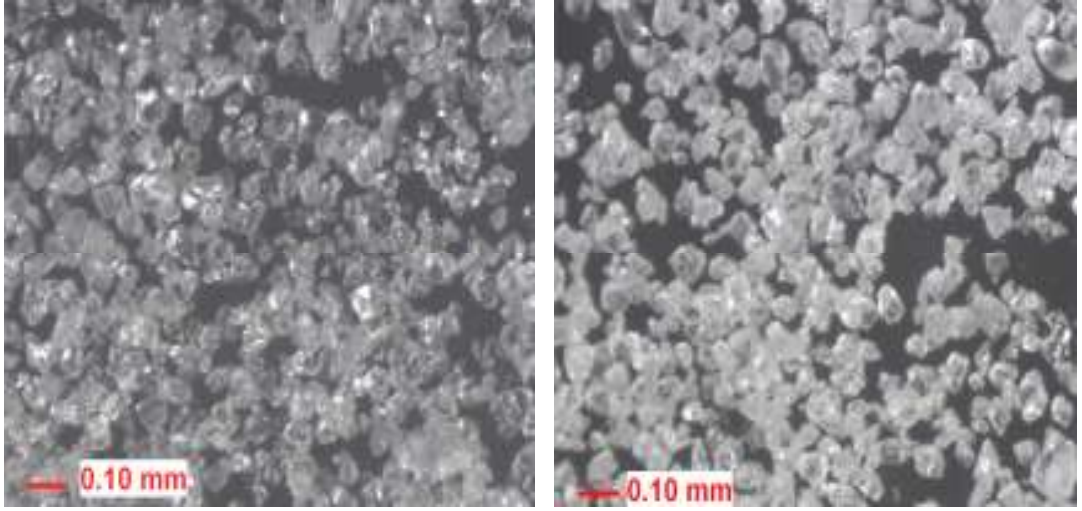
Aglomere Kum :- 0,5 +0,3 mm



Şekil 5.20 : Orjinal Kum: - 0,3 +0,106 mm Aglomere Kum :- 0,3 +0.106 mm



Şekil 5.21 : Orjinal Kum:- 0,106 +0,075µ Aglomere Kum :- 0,106 +0,075 µ



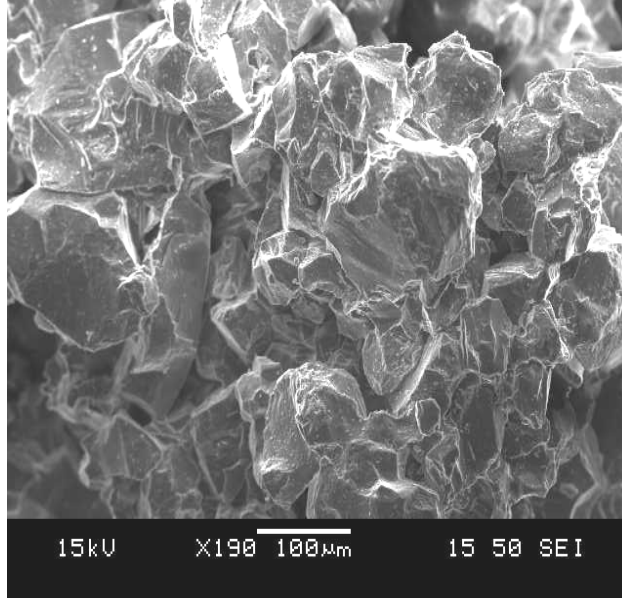
Şekil 5.22 : Orjinal Kum: - 0,075 µ Aglomere Kum: - 0,075 µ

Şekil 5.18, 19, 20’de görüldüğü üzere genel birleşme şekli, boyutça daha iri tanelerin etrafına çok ince boyutlu taneleri toplaması, ince tanelerin kendi içinde sıkı bir şekilde topaklanması şeklinde gerçekleşmektedir. Şekil 5.21 ve 5.22’de, aglomerasyon sırasında kendi aralarında yada daha iri bir topağa veya daha iri bir taneye tutunamamış, serbest halde kalan -106 mikron taneler gözlemlenmektedir.

Fraksiyonel aglomerasyon durumunu daha ayrıntılı incelemek için Şişecam Cam Araştırma Merkezinde bulunan Elektron Tarama Mikroskobu (ETM) ile söz konusu fraksiyonlar da (-2+0,5 mm, -0,5+0,3mm, -0,3+0,106mm, -0,106+0,075mm, -0,075mm) görüntülemeler yapılmıştır. ETM görüntüleri sırasıyla Şekil 5.23, 24, 25, 26, 27’de verilmektedir.

Aglomerat : - 2,00 +0,500 mm

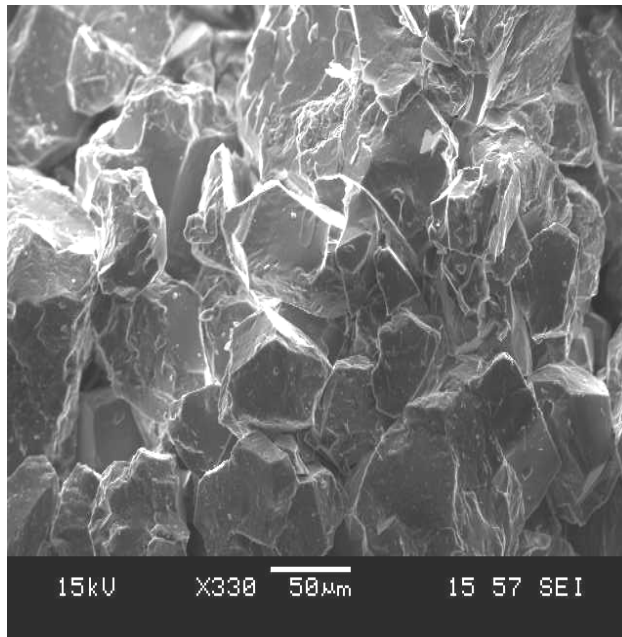
Aglomeratların çoğunluğu -0.100 mm olan kuvarsların bir araya gelmesi ile oluşmuştur.



Şekil 5.23 : -2,00+0,500mm Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri

Aglomerat : - 0,500 +0,300 mm

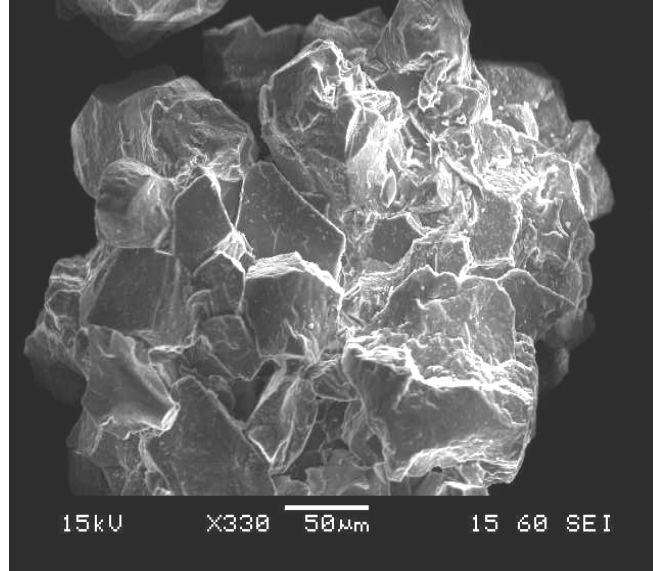
Aglomeratların çoğunluğu -0.050 mm olan kuvars taneciklerinin bir araya gelmesi ile oluşmuştur.



Şekil 5.24 : -0,500+0,300mm Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri

Aglomerat: - 0,300 +0,106 mm

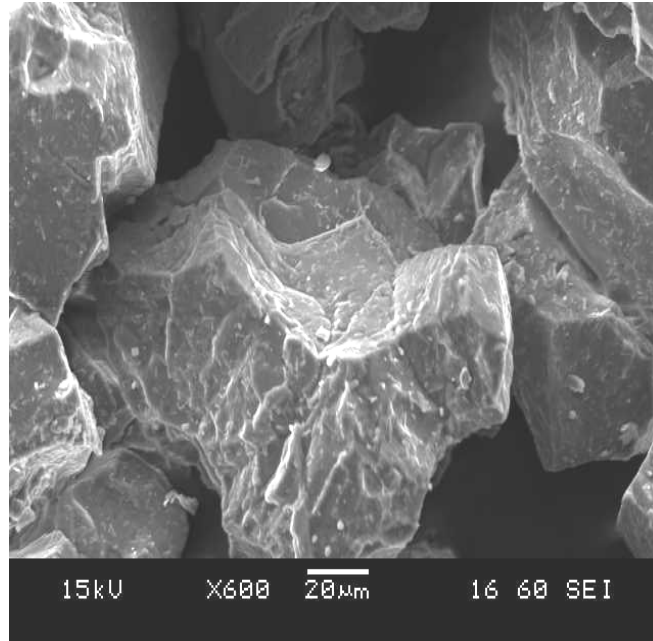
Aglomeratların çoğunluğu -0.050 mm olan kuvarsların bir araya gelmesi ile oluşmuştur.



Şekil 5.25 : -0,300+0,106mm Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri

Aglomerat : - 0,106 +0,075 mm

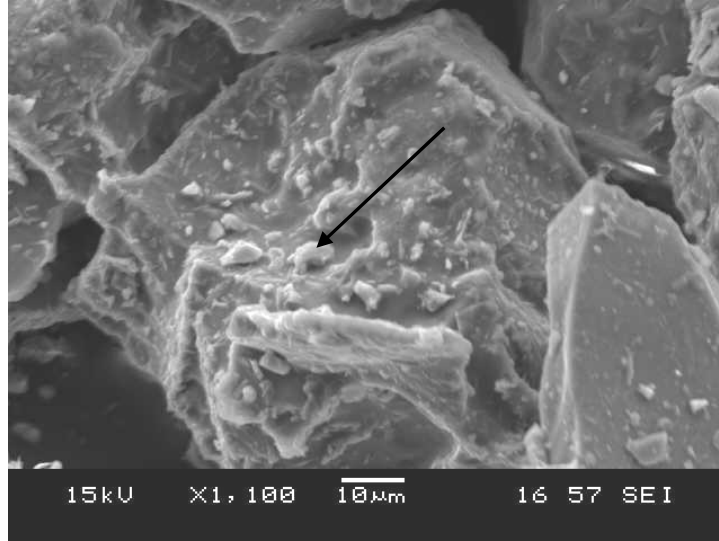
Aglomere olmamış. " Na_2SiO_3 " kristalleri tek bir kuvars tanesinin üzerinde görülmektedir.



Şekil 5.26 : -0,106+0,075mm Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri

Aglomerat : - 0,075 mm

Aglomersyon görülüyor. “Na₂SiO₃” kristalleri bağımsız olarak kuvars tanesinin üzerinde görülmektedir.



Şekil 5.27 : -0,075 Fraksiyonunda Gerçekleşen Tane Birleşmeleri ve Tane Yüzeyinde Sodyum Silikat Kristalleri

ETM çalışmalarında kuvars tanelerinin yüzeyine sıvı sodyum silikatın, taneleri kuruyup sertleşmesi sayesinde bir arada tuttuğu, birleşmenin düzensiz ancak sağlam olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda işleme giremeyen sodyum silikat ve serbest kalan 106 ve 75 mikron altı malzeme açıkça gözlemlenmektedir.

5.5 Aglomere Edilmiş Kumun Cam Üretim Sürecindeki Etkisinin İncelenmesi

Makro ve mikro düzeyde yapılan incelemeler neticesinde tanelerin sodyum silikat sayesinde boyut büyütme işlemine (aglomerasyon) tabi tutulabileceği ortaya konmuştur. Ancak bu ortalama tane büyüklüğündeki artışın cam üretimine etkilerinin incelenmesi için çeşitli testlerin yapılması gerekmektedir.

5.5.1 Harmandan arınma davranışı

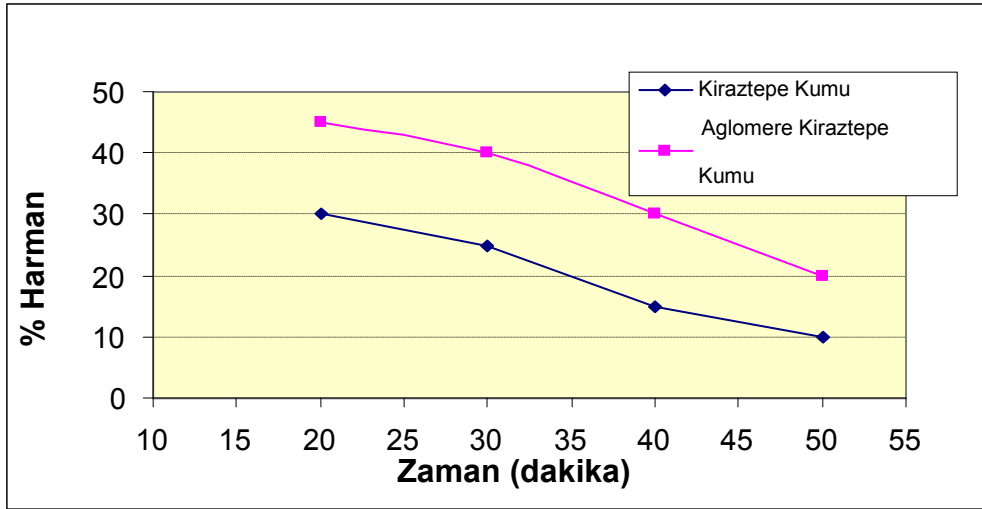
Bir cam hammaddesinin, nihai ürün(cam) kalitesine ve üretim sürecine nasıl bir etkiye bulunacağı, 2 aşamalı test serisi ile tespit edilmektedir. Bu deneylerin birinci aşaması “Harmandan Arınma” davranışının incelenmesidir. Buradaki amaç; cam üretim süreci laboratuvar ortamında simüle edilerek, hammaddenin ne kadar bir sürede tamamen eridiğinin tespit edilmesidir. Zira daha önceki bölümlerde de

değinildiği üzere, tane boyutunun irileşmesi, hammaddenin daha uzun sürede erimesine neden olmakta bu da enerji maliyeti ve kapasite açısından kayıplar meydana getirmektedir. *Harmandan Arınma* davranışı incelenirken belli bir kompozisyonda hazırlanmış cam reçetesi ile, denenmek istenen hammadde kaynağı ile hazırlanmış reçetenin, süreye bağlı olarak 1450 °C'deki sıcaklıkta erime davranışları karşılaştırılır. Burada yapılan; belli bir sürede, erimemiş malzeme miktarları arasındaki karşılaştırmadır. Boyut büyütme işleminin harmanın erime davranışındaki etkilerinin incelenmesi için Çizelge 5.9'da boyut dağılım analizi verilen numune, Cam Araştırma Merkezi'nde eritiş deneyine tabi tutulmuştur.

Çizelge 5.9 : Eritiş Deneylerine Tabi Tutulan Kumun Boyut Dağılımı

Boyut (mikron)	Miktar (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
- 1,600 + 1,400	3,52	3,52	100,0
- 1,400 + 1,000	4,33	7,85	96,48
- 1,000 + 0,500	23,33	31,17	92,15
- 0,500 + 0,250	46,34	77,52	68,83
- 0,250 + 0,150	13,07	90,59	22,48
- 0,150 + 0,106	4,64	95,23	9,41
- 0,106 + 0,075	3,17	98,39	4,77
- 0,075 + 0,000	1,61	100,0	1,61

Şekil 5.28'e göre; yapılan deney sonucunda, aglomere edilmiş kumdaki 500 mikron üzeri malzeme miktarındaki artış nedeni ile 50 dakika sonunda, harmanın %20 si hala erimemiş durumda bulunduğu görülmektedir. Boyut büyütme işlemine tabi tutulmamış yıkanmış kiraztepe kuvarsitinde ise, aynı sıcaklık ve sürede, söz konusu miktar, %10 seviyesinde bulunmaktadır.



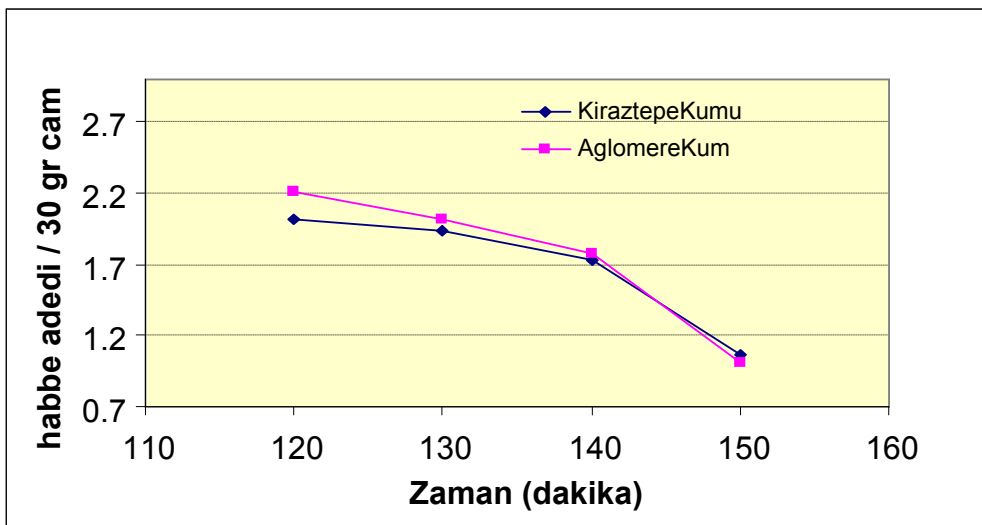
Şekil 5.28 : Kum Harmandan Arınma Davranışı

5.5.2 Habbeden arınma davranışı

Habbe, cam ergiyiği içerisinde meydana gelen reaksiyonlar sonucu açığa çıkan gazların oluşturdukları kabarcıklar olarak tanımlanmaktadır. Cam üretiminde mümkün olduğunca bu kabarcık miktarının azaltılması amaçlanmaktadır. Bir hammaddenin cam üretimi için uygunluğunun araştırılmasında, diğer bir aşama da “Habbeden Arınma” davranışının tespiti.

Burada da söz konusu reçeteler ile üretilen camın süreye bağlı olarak 30 gramındaki habbe (kabarcık) sayısı mikroskop sayımı ile tespit edilerek karşılaştırılır.

Çizelge 6.8’de boyut dağılım analizi verilen numune habbeden arınma deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 5.29 : Kumun Habbeden Arınma Davranışı

Yine Trakya düzcam terkibi ile yapılan deneylerde; elde edilen bulgular, habbe adedi/30 gr cam bazına getirilerek Şekil 5.29'da grafiklendirilmiştir . Buna göre harmandan arınmasını geç tamamlayan aglomere edilmiş Kiraztepe kumu habbeden arınmaya daha geç başlamasına rağmen ince tanelerin sodyum silikat ile bağlanmasının avantajını görerek habbeden arınmayı hızlı bir biçimde gerçekleştirmiş, her iki kum aynı zamanda habbeden arınmayı bitirmiştir. Daha önce belirtildiği gibi soda, afınasyonu hızlandırmak için cam üreticileri tarafından kullanılan bir hammadDEDİR.

Gerek *Harmandan Arındırma* gerekse *Habbeden Arındırma* durumları incelendiğinde; *Harmandan Arınma* davranışının, +500 mikron tane boyutlu malzeme miktarının kontrollü bir biçimde azaltılması durumunda, iyileşme sağlanabileceği, *Habbeden Arındırma* davranışında bu durumda aglomere edilmemiş kuma göre daha hızlı gerçekleşeceği görülmektedir.

5.5.3 Optimum koşullarda elde edilen sonuçlar ve önerilen proses akım şeması

Aglomerasyon (boyut büyütme) deneylerinde en iyi sonuçlar, sodyum silikat ile elde edilmiştir. Na_2SiO_3 kullanılarak yapılan sistematik aglomerasyon deneylerinde en uygun sonuçlar şu şekilde elde edilmiştir:

Na_2SiO_3 miktarı: 30 kg/ton

Rutubet (Nem): %7

Karıştırma Süresi: 1 dk

Karıştırma Devri: 30 dev/dk

+1mm Miktarı: %7,85

+0,5mm Miktarı: %23,3

-106 μ Miktarı: %4,77

Sodyum silikat deneyleri ile elde edilen aglomere kumun 500 mikron üstü malzeme içeriği çok yüksektir. Cam üretimi sırasında erime süresinde artış oluşmaması için bu oranın azaltılması gerekmektedir. Dolayısı ile tane büyümesi ardından, istenilen boyut dağılımını sağlayacak şekilde, tekrar boyut küçültme işlemi yapılması gerekmektedir. Aglomere edilmiş kumun tekrar boyut küçültülmesi işleminde, malzemenin fazla örselenmeden kırılmasını sağlayacak, sabit basınçlı bir kırma düzeneğinin kullanılması gerekmektedir. Buradaki amaç; kum tanelerini küçültmek değil, +1mm üzerindeki aglomeratların sodyum silikat köprülerini, kırmaktır. Merdaneli kırıcı ile bu sabit basıncın sağlanabileceği ve merdaneler arası açıklıkların

ayarlanması ile, en az ince miktarını oluşturacak bir boyutlandırmanın sağlanmasının mümkün olacağı yapılan deney ile tespit edilmiştir.

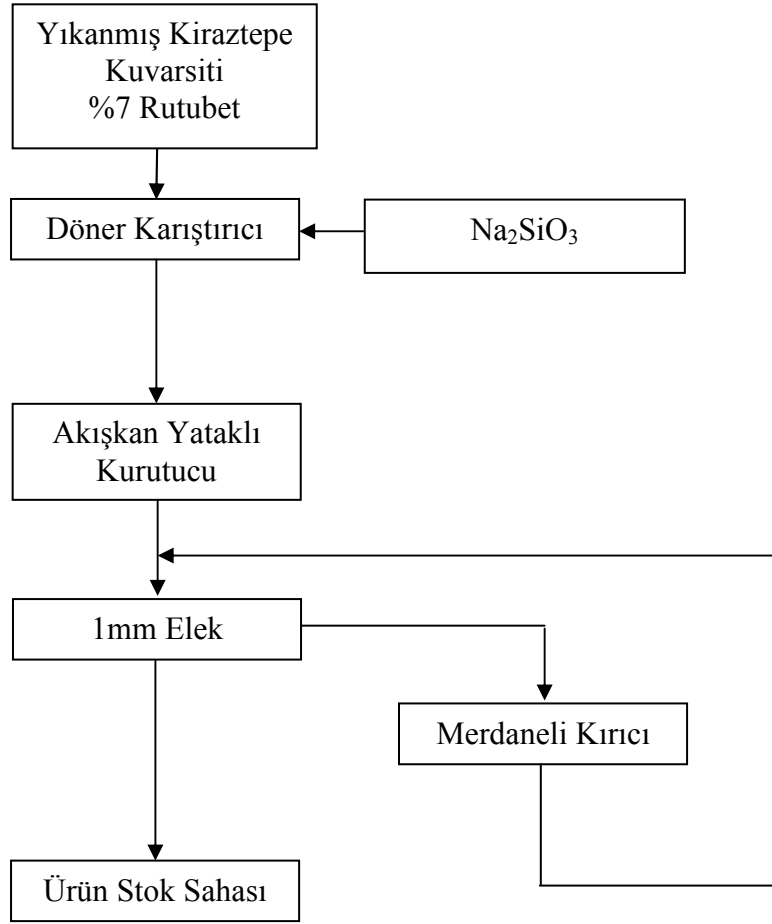
Deneyisel çalışmalardaki kurutma işlemi sırasında; malzemenin durağan ortam nedeni ile, sodyum silikat köprülerinin kekleşmeye, istenmeyen boyutta yapraksı toprakların oluşmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Ancak sözkonusu kurutma işlemi yerine, endüstriyel uygulamada dinamik bir ortama sahip kurutucu sistemi kullanılması (akışkan yataklı kurutucu vb.) ile, istenmeyen toprakların önüne geçilmesi mümkün olacaktır.

Pülverizasyon sistemi ile sodyum silikatın kuma ilave edilmesi durumunda, sodyum silikat damlacıkları etrafına yapışan küçük tanelerin oluşturduğu, istenmeyen boyuttaki iri aglomeratların oluşumu asgari seviyeye indirecektir. Kullanılan sodyum silikatın kumun kimyasal içeriğini değiştireceği ortadadır. Ancak bu değişkenlik cam üreticisinin reçete değişimi ile tolere edilebilecektir.

Kumun *Harmandan Arınma* ve *Habbeden Arındırma* davranışlarında olumsuzluk yaratmayacak boyut dağılımının endüstriyel çapta sağlanabilmesi durumunda, Kiraztepe Kuvarsiti'nin %20 oranında -106µ boyutlu hammadde talep eden Trakya Düzcam Fabrikası (TDC) için kullanılabilmesi öngörülmektedir. TDC fabrikası düzcamların üretimini gerçekleştirmek için hali hazırda Camiş Egypt tarafından sağlanan silis kumu ve Camiş Kurucası ile Tesisinden temin edilen silis kumunu kullanmaktadır. Bu kumlar uzak mesafelerden nakliye edildiklerinden nakliye masrafları yüksek olmakta ve bu yüzden de cam fabrikalarına yüksek hammadde maliyetleri getirmektedir. Bu amaçla önerilen proses akım şeması Şekil 5.30'da verilmiştir. Kaynağa yakınlık avantajı, aglomerasyon masraflarının uzun vadede fizibil olmasını sağlayacaktır.

Cam üreticileri, kullanılan kumdaki ince tane oranındaki düşüş nedeniyle, daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi, ince tane boyutlu malzeme kaynaklı olumsuzlukların en alt düzeye çekilmesi ile, daha uzun fırın ömrü, daha az tozuma ve daha az cam hatası gibi sayısız fayda sağlayacaklardır.

Camiş Madencilik açısından ise uygun boyutlu aglomerasyon sayesinde daha önce kullanılamaz olduğuna karar verilen silis kumu kaynaklarının daha yüksek randımanlar ile kullanımının önü açılacaktır. Bu da daha uzun rezerv süresi ve daha fazla alternatif kaynak anlamına gelmektedir.



Şekil 5.30 : Kum Boyut Büyütme Tesisi Akım Şeması

Yalıköy Kum Hazırlama Tesisinde mevcut proses ile üretilen ve %7 rutubete ulaşan yıkanmış Kiraztepe kuvarsiti pülverize 30 kg/ton sodyum silikat ilavesi ile 30 dev./dak. Hızda, döner karıştırıcıda kıvamlandırılacaktır. Burada sağlanan pülverizasyon sayesinde istenmeyen büyüklüğe sahip aglomerat oluşumunun önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Deneysel çalışmalarda değinildiği üzere kurutma dinamik bir ortamda yapılmadığında malzeme kendi ağırlığının etkisi ile birbirine yapışmakta ve yapraksı birleşmelere neden olmaktadır. Kurutma için tanelerin daha serbest bir ortamda örneğin akışkan yataklı kurutucuda kurutulması istenmeyen birleşmelerin önüne geçecektir. Mikroskop ve ETM incelemelerinde birleşmelerin rastlantısal olduğu gözlemlendiğinden cam üretimi için sorun teşkil edecek olan +1mm malzeme sisteme eklenen sarsıntılı elek ile elemine edilerek iri taneler merdaneli kırıcıdan geçirilecektir. Merdaneli kırıcı seçiminin nedeni, sabit basınç uygulayarak sadece sodyum silikat köprülerin kırılması içindir. Merdaneler arası açıklık asgari seviyede ince boyuta neden olacak biçimde ayarlanmalıdır. 1mm altına inen malzeme kapalı stok sahasında depolanarak sevkiyata hazır hale gelecektir.

Böyle bir prosesin ilk yatırım ve işletme maliyeti yaklaşık aşağıdaki gibi olacaktır;

İlk Yatırım Maliyeti:

Akışkan Yataklı Kurutucu	:780.000 TL
Merdaneli Kırıcı	:120.000 TL
Vibrör Elek	:60.000 TL
Döner Karıştırıcı	:45.000 TL
Taşıyıcı Bant sistemleri	:150.000 TL
Kapalı Beton Stok Sahası	:225.000 TL
Diğer Giderler	:75.000 TL
TOPLAM	:1.455.000 TL

Makine, ekipman seçimi 30 ton/saat kapasiteye ve yıllık 6000 saat çalışma ile 180.000 ton üretim miktarına göre yapılmıştır. Mevcut bir tesise ilave yapılacağından alt yapı, inşaat vb. giderler hesaba katılmamıştır.

İşletme Maliyeti:

Elektrik Sarfıyatı	:1,4 TL/ton
Doğalgaz Sarfıyatı	:6,8 TL/ton
Personel Gideri	:0,9 TL/ton
Bakım Onarım Giderleri	:0,4 TL/ton
Yardımcı Madde	:0,2 TL/ton
Amortisman Gideri	:0,4 TL/ton
TOPLAM	:10,1 TL/ton

Görüldüğü üzere Yıkanmış Kiraztepe Kumu içerisindeki ince tane boyutlu malzeme miktarının azaltılması için önerilen proses, yaklaşık 10 TL/ton gibi ilave bir işletme 1.455.000 TL ilk yatırım maliyetini de beraberinde getirmektedir. Yıkanmış Kiraztepe Kuvarsiti 35 TL/ton bir maliyete sahiptir ve ilave proses ile bu değer 45 TL/ton olacaktır. Buna 12 TL/ton nakliye masrafı eklendiğinde Trakya Cam Fabrikası için 57 TL/ton bir maliyetle hammadde üretimi sözkonusu olabilecektir. Bu değer mevcut durumda Trakya Cam Fabrikası'nın Kurucaşile'den temin ettiği kum için 75 TL/ton civarındadır. Bu yöntemin diğer ürünlerde de kullanılarak ince tane boyutlu malzeme miktarının azaltılması, cam üreticileri için fırın ömürleri açısından ve ince tane boyutlu malzemeden kaynaklanan diğer olumsuzlukların asgari seviyeye çekilmesi açısından da yadsınamaz faydaları beraberinde getirecektir.

6. SONUÇLAR

Kaliteli cam üretiminde küçük boyutlu silis kumu kullanımının araştırılması çalışması sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- 1- Kiraztepe Kuvarsiti, kuvars kristallerinin sağlam ve yine SiO_2 kökenli bir alçıyla bir araya gelmesinden oluşan bir yapıya sahiptir. Dolayısı ile kırılma ve öğütülme sonucunda serbest hale gelen bu alçı nedeniyle -106μ boyutundaki malzeme miktarı %50 mertebesine çıkmaktadır.
- 2- Yıkanmış Kiraztepe Kuvarsitinin düşük maliyetli bir üretim süreci olduğundan, Cam Ambalaj (şişe, kavanoz, ecza vb) ve Züccaciye (Tabak, bardak, vb) camı üretiminde kullanılmakta olduğu, ancak cam üreticilerinin fırın refrakter yapısında yarattığı deformasyon nedeni ile endüstriyel bir problem teşkil ettiği tespit edilmiştir.
- 3- Çeşitli ve farklı miktarlarda bağlayıcılar, farklı karıştırma süreleri ve karıştırma hızları ile ince tane miktarının azaltılmasına yönelik boyut büyütme deneyleri yapılmıştır.
- 4- Sodyum Sülfat ile yapılan deneylerde -106μ malzeme miktarının %50,58'den %18,56'ya düştüğü buna karşılık +1mm miktarının %1,46 olarak gerçekleştiği ve elde edilen aglomeratların mekanik etkiler altında çok dayanıklı olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca karıştırma süresi ve karıştırıcı devir değişikliklerinin elde edilen -106μ malzeme miktarı üzerinde çok etkili olmadığı tespit edilmiştir.
- 5- CaO ile yapılan deneylerde -106μ malzeme miktarının %50,58'den ancak %32,6 ya kadar düşürülebildiği elde edilen aglomeratların son derece dağılmaya müsait olduğu tespit edilmiştir.
- 6- Kaolen ile yapılan deneyler sonucunda -106μ malzeme miktarının %41,3'e kadar indirilebildiği ve aglomeratların çok dayanıksız olduğu tespit edilmiş bu sebep ile deneylere son verilmiştir.

- 7- Sodyum silikat ile yapılan deneylerde -106 μ malzeme miktarı %50,58'den %4'ler seviyesine kadar indirilebildiği ve elde edilen aglomeratların mekanik etkilere karşı son derece mukavim olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber +1mm miktarında istenmeyen topaklanmalar nedeni ile artış olduğu karıştırma süresi ve karıştırma hızlarının elde edilen değerler açısından çok etkin olmadığı tespit edilmiştir.
- 8- Kullanılan bağlayıcılar ile elde edilen optimum sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Optimum Sonuçlar

Kullanılan Malzeme	-106μ Miktarı (%)	+1mm Miktarı (%)
Na₂SO₄	18,56	1,46
CaO	32,6	0,22
Kaolen	41,3	0
Na₂SiO₃	4,77	7,85

- 9- Boyut dağılımı aglomerasyon ile değiştirilen kumun cam üretimine etkilerinin incelenmesi açısından harmandan arınma ve habbeden arınma deneyleri yapılmıştır. Harmandan arınma davranışı incelendiğinde 1450 °C sıcaklıkta 50 dakika sonunda orijinal kumun %90 oranında eridiği, aglomere edilmiş kumun ise %80 oranında eriyebildiği tespit edilmiştir. Aglomere kumdaki erime süresindeki uzamanın +1mm malzeme miktarındaki artıştan kaynaklandığı tespit edilmiştir.
- 10- Habbeden arınma davranışı incelendiğinde aglomere kumun daha geç arınmaya başladığı ancak süreç sonunda sodyum silikat içindeki sodyum sayesinde habbeden arınma davranışının hızlandığı ve 150 dakika sonunda öne geçtiği tespit edilmiştir.
- 11- +1mm malzeme miktarının, sabit basınç sağlayacak bir kırıcı (merdaneli), kapalı devre eleme sistemi ile azaltılabileceği, ince tane boyutlu malzeme

miktarındaki artışın %1,5 sevitesinde olacağı ve bu sayede erime süresindeki artışın önüne geçilebileceği öngörülmektedir. Aynı zamanda deneyler sırasında durağan ortamda gerçekleştirilen kurutma nedeni ile oluşan yapraksı birleşmelerin dinamik bir ortamda (akışkan yataklı kurutucu) kurutma yapılarak önlenebileceği ve sodyum silikatın pülverizasyon ile ilavesi ile damlacık nedenli istenmeyen topakların önüne geçilebileceği tespit edilmiştir.

12- Böyle bir proses tertibi ile;

- Mevcut müşterilerin cam fırını ömürleri uzayacak ve refrakter yapı mukavemetleri tozumanın azalması ile artacaktır. (Müşteri memnuniyetinin sağlanması)
- Kiraztepe kuvarsiti 106 mikron altı malzeme miktarının azaltılması ile Trakya Düzcamlar Fabrikası için düşük maliyetli hammadde girdisi sağlanacaktır. (Hammadde maliyetlerinin düşürülmesi)
- Tuvenan durumunda çok ince taneli olduğu için kullanılamayan diğer silis kaynakları kullanılabilir. (Alternatif hammadde kaynağı yaratılması)
- Kimyasal içerik uygun olduğu sürece boyut dağılımına bakılmaksızın daha yüksek randıman ile üretim gerçekleştirilebilir. (Kaynakların verimli kullanılması)

KAYNAKLAR

- [1] Şişecam Eğitim Müdürlüğü, 1993: *Cam Teknolojisine Giriş*.
- [2] İpekoğlu B., 1999: “*Kuvars, Kuvarsit, Kuvars Kumu*”, *İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, Türkiye Endüstriyel Mineraller Envanteri*, s.102-106.
- [3] DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001: “Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri III (Kuvars kumu, Kuvarsit, Kuvars) Çalışma Grubu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- [4] Helvacı C., 2004: *Türkiye Borat Yatakları İzmir* s.34-39.
- [5] Eti Maden İşletmeleri., 2008 Yılı Faaliyet Raporu.
- [6] DPT, 1995: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayii Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu.
- [7] Mills H.N., 1975: *Glass Raw Materials, Industrial Minerals and Rocks*, New York, s. 327-334.
- [8] İMKB, 1999: *Endüstriyel Hammaddeler El Kitabı*, YMGV.
- [9] Sarız K., Nuhoglu İ., 1992: *Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği*. Anadolu Üniversitesi, Yayın No: 636, Eskişehir.
- [10] Segrove H.D., *The Production of Sands for Making Colourless Glasses*, Jnl.Soc.Glass'Tech.XL., s. 363-375, (1956).
- [11] Trier W ., 2000: *Glass Furnaces: Design Construction and Operation.*, pp. 243-276.
- [12] Roger A.K., and Van Dyk D., 1994: *Feldspars, Industrial Minerals and Rocks*, 6th ed. Ed. Donald D. Carr, pp.473-481.
- [13] Beerkens R.G.C., and Kobayashi H., 1995: 4th International Conference on Advances in Fusion & Processing of Glass, May 1995, Wurzburg, Germany.
- [14] Trinks W., Mawhinney M.H., and Shannon. R.A., 2001: *Industrial Furnaces. Sixth Edition* pp.56-98.

- [15] Erten M., ve Hayri K., 1996: *Türkiye'deki demir cevheri tozlarının peletleme yoluyla aglomerasyonu.*, pp.84-98.
- [16] Kuzyak V. A., 2004: *Recuperative glass tank furnaces Glass and Ceramic Journal* .
- [17] Yılmaz T., Oğulata T., ve Cihan E., 1997: Reküperatif ve rejeneratif tip ısı geri kazanım eşanjörlerinin tasarımı, imalatı ve denenmesi., Proje No: MİSAG 50.
- [18] Pietsch W., 2005: *Agglomeration in Industry Occurrence and Applications Volume 2* pp. 254-320 .
- [19] Rhodes M., 2007: *Introduction to Particle Technology* pp. 154-235.
- [20] Pietsch W., 1997: *Size enlargement by Agglomeration Handbook of Powder. Science&Technology* Newyork .
- [21] Demirel H., ve Özdağ H., 1977: Küresel Aglomerasyon Yönetimindeki Gelişmeler, *TMMOB-Maden Mühendisleri Odası Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 5. Kongresi*, Ankara.
- [22] Engelleitner W.H., 1977: Agglomeration in the Glass Industry. *An energy and environmental tool*. Newyork .
- [23] Zippe,A., 1975: *Pelletizing plant for glass batch*, Glass, August, pp: 280-81.
- [24] Davy, M., 1999: "Rare-Earth Magnets in Mineral Sands Processing", *Industrial Minerals Processing Supplement*, pp 9-11.

EKLER

EK A.1 : Deney Sonuçları**Çizelge A.1 : Sodyum Sülfat Na_2SO_4 30 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları**

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SO_4 1 dk		20 gr Na_2SO_4 1 dk		30 gr Na_2SO_4 1 dk		40 gr Na_2SO_4 1 dk	
	Ağ. mikt. (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. mikt. (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. mikt. (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. mikt. (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00
+1000	0,05	0,05	0,12	0,12	0,13	0,18	0,08	0,08
+500	1,41	1,46	1,91	2,03	3,14	3,31	3,95	4,04
+250	32,70	34,16	37,38	39,41	36,82	40,14	38,14	42,18
+150	32,14	66,30	27,82	67,22	28,28	68,42	26,87	69,04
+106	15,14	81,44	14,12	81,34	11,48	79,90	11,50	80,54
+75	10,98	92,43	10,70	92,05	11,25	91,15	10,88	91,42
-75	7,57	100,00	7,95	100,00	8,85	100,00	8,58	100,00
-106 μ	18,6		18,7		20,1		19,5	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SO_4 3 dk		20 gr Na_2SO_4 3 dk		30 gr Na_2SO_4 3 dk		40 gr Na_2SO_4 3 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
+1000	0,02	0,02	0,22	0,22	0,06	0,08	0,06	0,06
+500	1,27	1,29	1,69	1,91	3,26	3,35	3,68	3,74
+250	31,49	32,77	36,06	37,98	36,64	39,99	36,54	40,27
+150	35,48	68,25	31,43	69,41	28,20	68,19	28,04	68,32
+106	12,26	80,51	11,67	81,08	11,45	79,64	11,56	79,87
+75	11,26	91,76	10,36	91,43	11,28	90,92	11,28	91,15
-75	8,24	100,00	8,57	100,00	9,08	100,00	8,85	100,00
-106 μ	19,5		18,9		20,4		20,1	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SO_4 5 dk		20 gr Na_2SO_4 5 dk		30 gr Na_2SO_4 5 dk		40 gr Na_2SO_4 5 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
+1000	0,10	0,13	0,03	0,03	0,32	0,32	0,06	0,07
+500	3,24	3,37	2,56	2,59	1,67	1,99	3,32	3,39
+250	35,33	38,70	33,99	36,58	35,47	37,46	36,62	40,02
+150	28,83	67,53	28,98	65,56	30,56	68,03	28,59	68,61
+106	11,86	79,38	14,96	80,52	13,71	81,74	12,11	80,72
+75	11,33	90,71	11,13	91,66	10,23	91,96	10,48	91,20
-75	9,29	100,00	8,34	100,00	8,04	100,00	8,80	100,00
-106 μ	20,6		19,5		18,3		19,3	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SO_4 7 dk		20 gr Na_2SO_4 7dk		30 gr Na_2SO_4 7 dk		40 gr Na_2SO_4 7 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00
+1000	0,08	0,12	0,20	0,21	0,10	0,12	0,13	0,13
+500	2,23	2,35	4,23	4,44	3,45	3,57	4,57	4,70
+250	34,96	37,31	35,59	40,03	37,52	41,09	36,47	41,17
+150	30,99	68,30	27,85	67,88	26,19	67,28	27,46	68,63
+106	12,37	80,67	12,47	80,35	12,32	79,60	11,39	80,02
+75	10,89	91,56	10,72	91,07	11,19	90,79	11,07	91,09
-75	8,44	100,00	8,93	100,00	9,21	100,00	8,91	100,00
-106 μ	19,3		19,7		20,4		20,0	

Çizelge A.2 : Sodyum Sülfat Na₂SO₄ 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na ₂ SO ₄ 1 dk		20 gr Na ₂ SO ₄ 1 dk		30 gr Na ₂ SO ₄ 1 dk		40 gr Na ₂ SO ₄ 1 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,07	0,07
+1000	0,02	0,03	0,02	0,02	0,17	0,19	0,17	0,24
+500	1,33	1,36	2,33	2,35	3,46	3,65	4,19	4,43
+250	27,66	29,03	34,30	36,66	37,01	40,66	35,11	39,54
+150	35,78	64,81	30,71	67,36	26,53	67,19	28,48	68,02
+106	15,38	80,19	12,26	79,63	12,17	79,36	12,76	80,78
+75	11,55	91,74	11,35	90,97	11,40	90,76	10,61	91,39
-75	8,26	100,00	9,03	100,00	9,24	100,00	8,61	100,00
-106μ	19,8		20,4		20,6		19,2	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na ₂ SO ₄ 3 dk		20 gr Na ₂ SO ₄ 3 dk		30 gr Na ₂ SO ₄ 3 dk		40 gr Na ₂ SO ₄ 3 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,01	0,01	0,03	0,03	0,06	0,06	0,03	0,03
+1000	0,01	0,02	0,08	0,12	0,19	0,25	0,23	0,26
+500	1,51	1,53	1,97	2,09	3,59	3,85	4,60	4,86
+250	28,36	29,90	35,02	37,11	36,41	40,26	36,41	41,26
+150	35,83	65,73	30,33	67,44	27,81	68,06	27,43	68,69
+106	14,18	79,91	12,51	79,95	12,08	80,14	11,65	80,33
+75	11,50	91,40	11,36	91,30	11,03	91,18	10,87	91,21
-75	8,60	100,00	8,70	100,00	8,82	100,00	8,79	100,00
-106μ	20,1		20,1		19,9		19,7	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na ₂ SO ₄ 5 dk		20 gr Na ₂ SO ₄ 5 dk		30 gr Na ₂ SO ₄ 5 dk		40 gr Na ₂ SO ₄ 5 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,05	0,09	0,09
+1000	0,03	0,04	0,09	0,12	0,15	0,20	0,32	0,41
+500	1,64	1,68	2,35	2,47	3,46	3,66	5,39	5,81
+250	29,64	31,32	34,64	37,11	35,35	39,01	36,68	42,48
+150	35,37	66,70	31,56	68,66	31,47	70,48	27,47	69,96
+106	13,65	80,34	11,64	80,31	10,68	81,15	11,24	81,20
+75	11,33	91,67	11,00	91,31	10,37	91,53	9,99	91,19
-75	8,33	100,00	8,69	100,00	8,47	100,00	8,81	100,00
-106μ	19,7		19,7		18,8		18,8	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SO_4 7 dk		20 gr Na_2SO_4 7dk		30 gr Na_2SO_4 7 dk		40 gr Na_2SO_4 7 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,08	0,08
+1000	0,02	0,03	0,12	0,13	0,20	0,23	0,34	0,42
+500	1,56	1,59	2,34	2,47	4,30	4,53	5,30	5,72
+250	29,26	30,85	35,10	37,57	36,14	40,67	35,32	41,04
+150	36,26	67,12	29,91	67,48	27,71	68,38	27,88	68,92
+106	13,27	80,38	12,84	80,32	12,25	80,64	11,92	80,84
+75	11,34	91,73	11,19	91,51	10,46	91,10	10,78	91,62
-75	8,27	100,00	8,49	100,00	8,90	100,00	8,38	100,00
-106 μ	19,6		19,7		19,4		19,2	

Çizelge A.3 : Sodyum Sülfat Na₂SO₄ 60 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na ₂ SO ₄ 1 dk		20 gr Na ₂ SO ₄ 1 dk		30 gr Na ₂ SO ₄ 1 dk		40 gr Na ₂ SO ₄ 1 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,08	0,08
+1000	0,06	0,06	0,14	0,16	0,11	0,15	0,34	0,42
+500	1,64	1,70	2,33	2,49	4,03	4,17	5,30	5,73
+250	30,26	31,96	34,77	37,26	36,13	40,30	35,38	41,11
+150	35,19	67,15	30,43	67,69	28,32	68,62	28,37	69,49
+106	13,05	80,21	12,60	80,29	12,02	80,64	11,94	81,43
+75	11,54	91,75	11,15	91,44	10,46	91,10	10,46	91,89
-75	8,25	100,00	8,56	100,00	8,90	100,00	8,11	100,00
-106μ	19,8		19,7		19,4		18,6	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na ₂ SO ₄ 3 dk		20 gr Na ₂ SO ₄ 3 dk		30 gr Na ₂ SO ₄ 3 dk		40 gr Na ₂ SO ₄ 3 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,05
+1000	0,08	0,08	0,13	0,14	0,11	0,14	0,26	0,31
+500	1,73	1,81	2,46	2,60	4,19	4,33	5,46	5,77
+250	32,08	33,89	33,99	36,60	36,53	40,85	35,96	41,74
+150	32,33	66,22	30,77	67,37	28,14	68,99	28,33	70,07
+106	13,98	80,20	13,43	80,80	11,83	80,82	11,86	81,93
+75	11,55	91,74	10,66	91,46	10,47	91,29	10,49	92,43
-75	8,26	100,00	8,54	100,00	8,71	100,00	7,57	100,00
-106μ	19,8		19,2		19,2		18,1	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na ₂ SO ₄ 5 dk		20 gr Na ₂ SO ₄ 5 dk		30 gr Na ₂ SO ₄ 5 dk		40 gr Na ₂ SO ₄ 5 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,01	0,01	0,03	0,03	0,00	0,00	0,09	0,09
+1000	0,12	0,13	0,19	0,22	0,16	0,16	0,35	0,44
+500	1,85	1,98	2,43	2,66	4,29	4,44	5,62	6,06
+250	33,68	35,66	34,21	36,86	33,41	37,86	35,76	41,83
+150	31,77	67,43	30,65	67,51	31,21	69,07	28,55	70,38
+106	13,88	81,31	13,63	81,14	11,49	80,56	11,16	81,54
+75	10,98	92,29	10,50	91,63	10,45	91,01	10,77	92,31
-75	7,71	100,00	8,37	100,00	8,99	100,00	7,69	100,00
-106μ	18,7		18,9		19,4		18,5	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SO_4 7 dk		20 gr Na_2SO_4 7 dk		30 gr Na_2SO_4 7 dk		40 gr Na_2SO_4 7 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,11	0,11
+1000	0,14	0,14	0,16	0,18	0,09	0,09	0,49	0,60
+500	1,94	2,08	2,57	2,75	4,00	4,10	5,81	6,40
+250	34,18	36,26	33,75	36,50	34,60	38,69	35,98	42,38
+150	31,62	67,89	31,06	67,56	29,96	68,65	28,33	70,72
+106	13,70	81,59	13,08	80,64	11,93	80,58	10,79	81,51
+75	10,80	92,38	10,79	91,43	10,24	90,82	10,46	91,97
-75	7,62	100,00	8,57	100,00	9,18	100,00	8,03	100,00
-106 μ	18,4		19,4		19,4		18,5	

Çizelge A.4 : Kalsiyum Oksit CaO 30 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (μ)	10 gr CaO 1 dk		20 gr CaO 1 dk		30 gr CaO 1 dk		40 gr CaO 1 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,11	0,16	0,16
+500	0,88	0,88	1,00	1,00	0,80	0,92	1,94	2,09
+250	13,26	14,15	14,45	15,46	14,16	15,08	13,80	15,89
+150	22,02	36,17	22,63	38,08	27,20	42,27	25,81	41,70
+106	25,49	61,66	25,72	63,81	22,23	64,51	25,38	67,08
+75	23,17	84,83	23,26	87,07	21,14	85,64	18,60	85,68
-75	15,17	100,00	12,93	100,00	14,36	100,00	14,32	100,00
-106 μ	38,3		36,2		35,5		32,9	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr CaO 3 dk		20 gr CaO 3 dk		30 gr CaO 3 dk		40 gr CaO 3 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+1000	0,01	0,01	0,02	0,02	0,14	0,14	0,13	0,13
+500	0,94	0,95	1,05	1,07	0,88	1,01	1,18	1,31
+250	13,08	14,03	14,41	15,49	13,39	14,40	14,62	15,93
+150	22,53	36,55	22,50	37,99	26,37	40,77	27,41	43,35
+106	25,43	61,98	25,67	63,66	25,75	66,52	24,03	67,38
+75	23,07	85,05	23,28	86,93	19,69	86,21	17,82	85,20
-75	14,95	100,00	13,07	100,00	13,79	100,00	14,80	100,00
-106 μ	38,0		36,3		33,5		32,6	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr CaO 5 dk		20 gr CaO 5 dk		30 gr CaO 5 dk		40 gr CaO 5 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+1000	0,00	0,00	0,01	0,01	0,13	0,13	0,22	0,22
+500	0,97	0,97	0,98	0,99	0,69	0,81	0,97	1,19
+250	12,82	13,79	14,92	15,90	13,94	14,75	13,66	14,85
+150	22,43	36,22	22,48	38,39	23,72	38,47	27,43	42,28
+106	25,84	62,06	25,80	64,18	26,68	65,16	24,57	66,85
+75	22,86	84,92	23,61	87,80	19,89	85,05	18,82	85,67
-75	15,08	100,00	12,20	100,00	14,95	100,00	14,33	100,00
-106 μ	37,9		35,8		34,8		33,1	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr CaO 7 dk		20 gr CaO 7 dk		30 gr CaO 7 dk		40 gr CaO 7 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+1000	0,01	0,02	0,00	0,00	0,09	0,09	0,19	0,19
+500	0,91	0,93	0,78	0,78	0,88	0,97	0,85	1,04
+250	13,04	13,97	15,22	16,00	11,89	12,86	13,15	14,19
+150	23,15	37,11	23,35	39,35	23,55	36,42	25,25	39,45
+106	24,86	61,97	24,90	64,25	28,58	64,99	27,42	66,87
+75	22,78	84,76	21,88	86,13	20,16	85,15	19,85	86,72
-75	15,24	100,00	13,87	100,00	14,85	100,00	13,28	100,00
-106 μ	38,0		35,7		35,0		33,1	

Çizelge A.5 : Kalsiyum Oksit CaO 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (μ)	10 gr CaO 1 dk		20 gr CaO 1 dk		30 gr CaO 1 dk		40 gr CaO 1 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,14	0,20	0,20
+500	0,77	0,77	0,96	0,96	0,98	1,11	1,93	2,13
+250	13,08	13,85	13,92	14,88	14,68	15,79	13,15	15,27
+150	22,45	36,31	23,54	38,42	28,13	43,92	22,71	37,98
+106	24,56	60,86	25,30	63,72	20,02	63,94	26,34	64,33
+75	23,29	84,15	23,38	87,10	20,02	83,97	19,43	83,76
-75	15,85	100,00	12,90	100,00	16,03	100,00	16,24	100,00
-106 μ	39,1		36,3		36,1		35,7	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr CaO 3 dk		20 gr CaO 3 dk		30 gr CaO 3 dk		40 gr CaO 3 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
+1000	0,00	0,00	0,02	0,02	0,09	0,09	0,09	0,10
+500	0,88	0,88	0,76	0,78	1,19	1,28	1,36	1,47
+250	12,86	13,74	13,97	14,75	12,76	14,04	12,40	13,86
+150	21,62	35,36	22,61	37,36	23,72	37,76	24,21	38,08
+106	24,38	59,74	25,79	63,15	24,05	61,81	22,47	60,55
+75	24,33	84,07	23,58	86,73	21,02	82,83	19,97	80,52
-75	15,93	100,00	13,27	100,00	17,17	100,00	19,48	100,00
-106 μ	40,3		36,9		38,2		39,5	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr CaO 5 dk		20 gr CaO 5 dk		30 gr CaO 5 dk		40 gr CaO 5 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+1000	0,00	0,00	0,02	0,02	0,05	0,05	0,08	0,08
+500	0,53	0,53	0,76	0,78	0,69	0,74	0,58	0,66
+250	11,75	12,28	12,81	13,59	13,60	14,34	13,08	13,74
+150	24,82	37,11	22,15	35,74	23,17	37,50	24,35	38,09
+106	23,69	60,80	24,31	60,05	26,51	64,02	26,28	64,37
+75	22,86	83,66	25,35	85,40	19,28	83,30	18,85	83,22
-75	16,34	100,00	14,60	100,00	16,70	100,00	16,78	100,00
-106 μ	39,2		40,0		36,0		35,6	

Çizelge A.6 : Kaolen 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Kaolen 1 dk		20 gr Kaolen 1 dk		30 gr Kaolen 1 dk		40 gr Kaolen 1 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
+1000	0,22	0,22	0,05	0,05	0,10	0,10	0,14	0,14
+500	0,76	0,98	0,89	0,94	1,03	1,13	1,07	1,20
+250	16,07	17,04	14,82	15,76	13,67	14,80	14,17	15,37
+150	21,31	38,36	19,23	34,99	19,18	33,99	17,08	32,45
+106	20,30	58,66	19,38	54,38	20,40	54,38	18,45	50,90
+75	22,35	81,01	23,51	77,88	23,23	77,61	24,95	75,85
-75	18,99	100,00	22,12	100,00	22,39	100,00	24,15	100,00
-106 μ	41,3		45,6		45,6		49,1	

Çizelge A.7 : Sodyum Silikat Na_2SiO_3 30 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 1 dk		20 gr Na_2SiO_3 1 dk		30 gr Na_2SiO_3 1 dk		40 gr Na_2SiO_3 1 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	1,22	1,22	3,31	3,31	3,52	3,52	4,90	4,90
+1000	6,41	7,62	4,13	7,45	4,33	7,85	9,17	14,07
+500	15,03	22,66	20,60	28,05	23,33	31,17	34,78	48,85
+250	41,71	64,37	42,91	70,96	46,34	77,52	32,55	81,40
+150	20,77	85,14	16,44	87,40	13,07	90,59	9,99	91,39
+106	7,37	92,50	6,15	93,55	4,64	95,23	4,29	95,69
+75	5,12	97,62	4,54	98,09	3,17	98,39	3,15	98,84
-75	2,38	100,00	1,91	100,00	1,61	100,00	1,16	100,00
-106 μ	7,5		6,4		4,8		4,3	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 3 dk		20 gr Na_2SiO_3 3 dk		30 gr Na_2SiO_3 3 dk		40 gr Na_2SiO_3 3 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	5,68	5,68	2,60	2,60	2,51	2,51	3,71	3,71
+1000	8,41	14,09	4,45	7,06	5,37	7,88	9,57	13,28
+500	25,18	39,27	21,71	28,76	25,52	33,40	31,53	44,81
+250	32,16	71,43	43,48	72,24	43,60	77,01	36,79	81,60
+150	15,22	86,65	15,67	87,91	13,66	90,67	9,69	91,29
+106	6,52	93,17	5,86	93,77	4,61	95,28	4,34	95,64
+75	4,39	97,56	4,31	98,07	3,26	98,54	3,19	98,82
-75	2,44	100,00	1,93	100,00	1,46	100,00	1,18	100,00
-106 μ	6,8		6,2		4,7		4,4	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 5 dk		20 gr Na_2SiO_3 5 dk		30 gr Na_2SiO_3 5 dk		40 gr Na_2SiO_3 5 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	5,28	5,28	4,66	4,66	3,84	3,84	6,98	6,98
+1000	9,44	14,72	4,02	8,68	4,51	8,35	9,65	16,63
+500	17,65	32,37	24,92	33,61	38,77	47,11	41,52	58,15
+250	40,67	73,04	40,04	73,65	29,83	76,95	25,71	83,87
+150	14,47	87,51	14,63	88,28	13,01	89,96	7,18	91,05
+106	5,83	93,35	5,66	93,94	4,97	94,93	3,74	94,79
+75	4,46	97,81	4,19	98,14	3,91	98,84	3,11	97,90
-75	2,19	100,00	1,86	100,00	1,16	100,00	2,10	100,00
-106 μ	6,7		6,1		5,1		5,2	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 7 dk		20 gr Na_2SiO_3 7 dk		30 gr Na_2SiO_3 7 dk		40 gr Na_2SiO_3 7 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	3,53	3,53	5,24	5,24	2,35	2,35	4,70	4,70
+1000	6,96	10,48	4,63	9,87	4,81	7,15	9,26	13,96
+500	18,14	28,62	22,27	32,15	38,56	45,71	37,27	51,23
+250	43,04	71,66	41,83	73,97	30,72	76,42	29,77	80,99
+150	15,63	87,29	14,15	88,12	13,02	89,45	9,24	90,23
+106	6,15	93,44	5,79	93,91	5,30	94,74	4,76	95,00
+75	4,46	97,90	4,43	98,35	4,00	98,74	2,91	97,91
-75	2,10	100,00	1,65	100,00	1,26	100,00	2,09	100,00
-106 μ	6,6		6,1		5,3		5,0	

Çizelge A.8 : Sodyum Silikat Na_2SiO_3 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 1 dk		20 gr Na_2SiO_3 1 dk		30 gr Na_2SiO_3 1 dk		40 gr Na_2SiO_3 1 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	0,27	0,27	1,20	1,20	2,22	2,22	3,28	3,28
+1000	0,90	1,16	3,78	4,99	5,63	7,85	4,45	7,74
+500	20,62	21,78	21,25	26,24	27,71	35,55	24,30	32,04
+250	39,39	61,17	39,23	65,47	41,32	76,88	42,03	74,07
+150	21,09	82,26	20,59	86,05	14,13	91,00	15,20	89,27
+106	10,99	93,25	7,09	93,14	4,16	95,16	6,57	95,84
+75	4,77	98,02	4,50	97,64	3,14	98,30	2,78	98,62
-75	1,98	100,00	2,36	100,00	1,70	100,00	1,38	100,00
-106 μ	6,7		6,9		4,8		4,2	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 3 dk		20 gr Na_2SiO_3 3 dk		30 gr Na_2SiO_3 3 dk		40 gr Na_2SiO_3 3 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	3,47	3,47	2,99	2,99	2,25	2,25	4,09	4,09
+1000	8,99	12,46	7,95	10,93	5,67	7,92	9,63	13,73
+500	25,55	38,01	22,18	33,12	25,32	33,24	30,81	44,54
+250	30,70	68,71	41,07	74,19	42,96	76,20	35,45	79,99
+150	16,40	85,11	14,82	89,00	14,25	90,45	11,01	91,00
+106	8,05	93,16	5,32	94,32	4,64	95,09	4,69	95,69
+75	4,39	97,55	3,66	97,98	3,46	98,55	3,15	98,84
-75	2,45	100,00	2,02	100,00	1,45	100,00	1,16	100,00
-106 μ	6,8		5,7		4,9		4,3	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 5 dk		20 gr Na_2SiO_3 5 dk		30 gr Na_2SiO_3 5 dk		40 gr Na_2SiO_3 5 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	4,37	4,37	3,00	3,00	2,50	2,50	5,84	5,84
+1000	8,15	12,52	5,54	8,55	2,23	4,72	10,27	16,11
+500	19,44	31,96	23,51	32,05	28,03	32,75	34,43	50,54
+250	40,14	72,10	39,51	71,56	43,40	76,15	29,72	80,27
+150	15,43	87,53	15,99	87,56	12,20	88,35	10,47	90,74
+106	6,22	93,75	6,36	93,92	4,59	92,94	4,68	95,42
+75	4,19	97,94	3,96	97,87	3,25	96,19	2,64	98,06
-75	2,06	100,00	2,13	100,00	1,45	97,64	2,09	100,16
-106 μ	6,2		6,1		4,7		4,7	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 7 dk		20 gr Na_2SiO_3 7 dk		30 gr Na_2SiO_3 7 dk		40 gr Na_2SiO_3 7 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	2,48	2,48	4,84	4,84	3,33	3,33	4,12	4,12
+1000	5,79	8,27	5,32	10,16	4,02	7,36	9,15	13,27
+500	18,61	26,88	20,49	30,64	35,74	43,09	37,17	50,43
+250	45,38	72,27	41,64	72,28	30,81	73,91	29,49	79,93
+150	15,25	87,52	15,87	88,16	15,66	89,57	10,33	90,26
+106	6,15	93,67	5,90	94,05	5,24	94,81	4,76	95,02
+75	4,35	98,02	4,34	98,39	3,95	98,76	2,73	97,75
-75	1,98	100,00	1,61	100,00	1,24	100,00	2,25	100,00
-106 μ	6,3		5,9		5,2		5,0	

Çizelge A.9 : Sodyum Silikat Na_2SiO_3 45 dev/dk Karıştırma Hızı Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 1 dk		20 gr Na_2SiO_3 1 dk		30 gr Na_2SiO_3 1 dk		40 gr Na_2SiO_3 1 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	3,47	3,47	2,99	2,99	2,25	2,25	4,09	4,09
+1000	8,99	12,46	7,95	10,93	5,67	7,92	9,63	13,73
+500	25,55	38,01	22,18	33,12	25,32	33,24	30,81	44,54
+250	30,70	68,71	41,07	74,19	42,96	76,20	35,45	79,99
+150	16,40	85,11	14,82	89,00	14,25	90,45	11,01	91,00
+106	8,05	93,16	5,32	94,32	4,64	95,09	4,69	95,69
+75	4,39	97,55	3,66	97,98	3,46	98,55	3,15	98,84
-75	2,45	100,00	2,02	100,00	1,45	100,00	1,16	100,00
-106 μ	6,8		5,7		4,9		4,3	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 3 dk		20 gr Na_2SiO_3 3 dk		30 gr Na_2SiO_3 3 dk		40 gr Na_2SiO_3 3 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	4,37	4,37	3,00	3,00	2,56	2,56	5,84	5,84
+1000	8,15	12,52	5,54	8,55	2,28	4,84	10,26	16,10
+500	19,44	31,96	23,51	32,05	28,70	33,54	34,04	50,14
+250	40,14	72,10	39,51	71,56	44,45	77,99	29,23	79,37
+150	15,43	87,53	15,99	87,56	12,50	90,49	11,97	91,34
+106	6,22	93,75	6,36	93,92	4,70	95,19	4,68	96,02
+75	4,19	97,94	3,96	97,87	3,33	98,51	2,64	98,66
-75	2,06	100,00	2,13	100,00	1,49	100,00	1,34	100,00
-106 μ	6,2		6,1		4,8		4,0	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 5 dk		20 gr Na_2SiO_3 5 dk		30 gr Na_2SiO_3 5 dk		40 gr Na_2SiO_3 5 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	2,48	2,48	4,86	4,86	3,33	3,33	5,15	5,15
+1000	5,79	8,27	5,46	10,32	4,02	7,36	9,16	14,31
+500	18,61	26,88	20,71	31,04	35,74	43,09	37,19	51,50
+250	45,38	72,27	42,06	73,10	30,81	73,91	29,51	81,01
+150	15,25	87,52	14,95	88,05	15,66	89,57	10,34	91,35
+106	6,15	93,67	5,82	93,88	5,24	94,81	4,76	96,11
+75	4,35	98,02	4,46	98,34	3,95	98,76	2,73	98,84
-75	1,98	100,00	1,66	100,00	1,24	100,00	1,16	100,00
-106 μ	6,3		6,1		5,2		3,9	

Elek Açıklığı (μ)	10 gr Na_2SiO_3 7 dk		20 gr Na_2SiO_3 7 dk		30 gr Na_2SiO_3 7 dk		40 gr Na_2SiO_3 7 dk	
	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)	Ağ. miktar (%)	Küm. miktar (%)
+1400	2,48	2,48	4,18	4,18	4,16	4,16	4,37	4,37
+1000	5,79	8,27	5,67	9,85	9,00	13,16	4,55	8,92
+500	18,61	26,88	20,40	30,25	38,01	51,16	35,77	44,68
+250	45,38	72,27	42,52	72,77	29,19	80,35	30,42	75,11
+150	15,25	87,52	15,40	88,17	10,42	90,77	15,68	90,78
+106	6,15	93,67	5,67	93,84	4,68	95,45	5,24	96,02
+75	4,35	98,02	4,33	98,17	2,81	98,26	2,93	98,95
-75	1,98	100,00	1,83	100,00	1,74	100,00	1,05	100,00
-106 μ	6,3		6,2		4,5		4,0	

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Barış Yakup KESER
Doğum Yeri ve Tarihi: KDZ.Ereğli 14.11.1980
Adres: Camiş Loj. Yalıköy Çatalca/İSTANBUL
Lisans Üniversite: İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

Barış Yakup KESER 1980 yılında Kdz.Ereğli’de doğmuştur. Lise eğitimini Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi’nde tamamladıktan sonra 1998 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü’ne girmiştir. 2002 yılında lisans eğitimini tamamlamış ve askerlik görevinin ardından 2005 yılında Camiş Madencilik A.Ş firmasında İşletme Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2008 Şubat ayında Camiş Madencilik A.Ş. Yalıköy Kum Hazırlama Tesisi işletme şefi kadrosuna atanmış ve halen bu pozisyonda görev yapmaktadır.