

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ\*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CAM KIRIĞI ÜRETİM ATIK SUYUNDA ADSORPSİYON  
YÖNTEMİYLE KOİ GİDERİMİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS**

**Çevre Mühendisi Adile Zeynep OLGUN**

**Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği**

**Danışman: Doç. Dr. Sevil VELİ**

**KOCAELİ, 2009**

**CAM KIRIĞI ÜRETİM ATIK SUYUNDA ADSORPSİYON  
YÖNTEMİYLE KOİ GİDERİMİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 21 Mayıs 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 23 Haziran 2009**

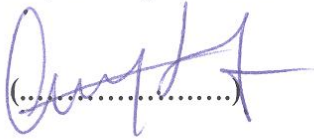
**Tez Danışmanı**

**Doç. Dr. Sevil VELİ**

  
(.....)

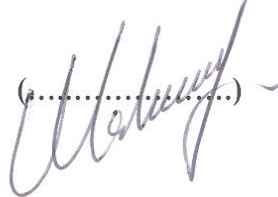
**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Ayla ARSLAN**

  
(.....)

**Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞLU**

  
(.....)

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Teknolojinin gelişmesi, artarak devam eden sanayileşme, nüfus artışı gibi nedenlerle su kirliliği dünyamızda ciddi bir sorun haline gelmiştir. Ülkemizde 1935’ler de kurulan cam endüstrisi özellikle son zamanlarda geri dönüşümün etkisiyle daha da önem kazanmıştır.

Suların arıtılmasında kullanılan klasik yöntemler artık ciddi boyutlara ulaşan su kirliliği sorununu çözümede yetersiz kaldığından ileri arıtım yöntemleri geliştirilmiştir. Adsorpsiyon yöntemi de günümüzde yaygın olarak kullanılan ileri arıtım tekniklerindedir.

Bu çalışmanın her aşamasında bana yön veren, desteğini, bilgisini, tecrübelerini ve yüreğini esirgemeyen çok sevdiğim tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Sevil VELİ’ye çok teşekkür ederim.

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı, Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Savaş AYBERK’e teşekkür ederim.

Bu çalışmayı emeklerinin karşılığını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anne ve babama, kardeşim Biyolog Merve ÇETKİN’e, beni her alanda her zaman destekleyen ve hayatımın her safhasında yardımını, sevgisini, sabrını esirgemeyen eşim Yakup OLGUN’a ve en önemlisi çalışmalarım sırasında bana büyük sürpriz yapan, gelmesini sabırsızlıkla beklediğim kızıma ithaf ediyorum.

**Adile Zeynep OLGUN**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLOLAR DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. CAM, CAMIN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Camın Tanımı .....	3
2.2. Cam Üretimi .....	4
2.2.1. Cam ham maddeleri .....	4
2.2.2. Cam hammaddelerinde aranan özellikler .....	4
2.2.3. Camın bileşenleri .....	6
2.2.3.1. Ana bileşenler .....	6
2.2.3.2 Yardımcı bileşenler (İkincil bileşenler).....	7
2.2.3.3. Cam kırığı .....	8
2.2.4 Cam üretim prosesi .....	8
2.3. Camın Özellikleri.....	9
2.4. Cam Türleri.....	11
2.4.1. Silikat camları.....	11
2.4.2. Özel camlar .....	13
2.4.2.1. Renkli camlar .....	13
2.4.2.2. Buzlu camlar .....	13
2.4.2.3. Emniyet camları .....	13
2.4.2.4. Cam elyafı.....	13
3. CAM AMBALAJ ATIKLARININ GERİ KAZANIMI VE CAM KIRIĞI KULLANIMI VE FHCK ÜRETİM TESİSİ.....	14
3.1. Geri Kazanım.....	14
3.2 Cam Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü.....	15
3.3. Cam Ambalaj Geri Dönüşümünde Cam Kırığı Kullanılması.....	16
3.3.1. Cam kırığı kaynakları.....	17
3.3.2. Cam kırığı kullanımının avantaj ve dezavantajları .....	18
3.4. FHCK Üretim Tesisi .....	19
3.4.1. FHCK hazırlama süreci .....	20
3.4.2. FHCK Üretim Süreci.....	20
3.4.2.1. Stoklama ve besleme .....	21
3.4.2.2. Manyetik Ayırma .....	21
3.4.2.3. Kırma eleme.....	21
3.4.2.4. Pnömatik ayırma .....	21
3.4.2.5. Yıkama.....	21
3.5. FHCK Üretim Tesisinde Arıtma Tesisi.....	21
3.5.1. Arıtma tesisi ekipmanları.....	22

3.5.1.1. Izgara .....	22
3.5.1.2 Ön çöktürme havuzu .....	22
3.5.1.3 Kimyasal arıtma sistemleri .....	23
3.5.1.4. Kimyasal arıtmada kullanılan kimyasalların reaksiyonları .....	23
3.5.2. Cam kırığı üretim tesisinde arıtma sisteminin çalışma prensibi .....	23
4. ATIK SU ARITIMINDA İLERİ ARITIM TEKNİKLERİ .....	25
4.1. İleri Arıtım Teknikleri .....	25
4.1.1. Dezenfeksiyon .....	25
4.1.2. Adsorpsiyon .....	25
4.1.3. İyon değişimi .....	26
4.1.4. Ters ozmoz metodu .....	26
4.1.5. Ultrafiltrasyon metodu .....	26
4.1.6. Fotooksidasyon .....	26
4.1.7. Biyosorpsiyon .....	27
4.2. Adsorpsiyon .....	27
4.2.1. Adsorpsiyon türleri .....	28
4.2.2. Adsorpsiyon izotermi .....	30
4.2.2.1. Langmuir izotermi .....	30
4.2.2.2. Freundlich izotermi .....	31
4.2.2.3. Bet izotermi .....	32
4.2.3. Adsorbent çeşitleri .....	33
4.2.3.1. Doğal adsorbentler .....	33
4.2.3.1.1. Kitosan .....	33
4.2.3.1.2. Zeolit .....	33
4.2.3.1.3. Kil .....	33
4.2.3.1.4. Selüloz .....	34
4.2.3.1.5. Turba .....	34
4.2.3.2. Endüstriyel atıklar .....	34
4.2.3.3. Tarımsal atıklar .....	35
4.2.3.4. Aktif karbon .....	35
4.3. Adsorpsiyon Yöntemi İle Yapılan Çalışmalar .....	35
5. MATERYAL VE METOT .....	37
5.1. Tesis Tanıtımı .....	37
5.2. Adsorpsiyon Prosesi Düzenegi Ve Deneysel Prosedür .....	38
5.2.1. Adsorpsiyon prosesi düzenegi .....	38
5.2.2. Deneysel prosedür .....	39
5.2.3. Kimyasal oksijen ihtiyacı .....	40
5.2.4. Kullanılan adsorbentler .....	41
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	44
6.1. Atıksu Karakterizasyonu .....	44
6.2. Adsorbent Uygulamaları .....	44
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	48
KAYNAKLAR .....	50
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: Cam kırığı kaynakları.....	17
Şekil 3.2: Kaldırım kenarı toplama.....	20
Şekil 3.3: İşletme aşaması .....	20
Şekil 4.1: Langmuir adsorpsiyon izoterminin grafiksel ifadesi.....	31
Şekil 4.2: Freundlich izoterminin grafiksel ifadesi.....	31
Şekil 4.3: Bet izoterminin grafiksel ifadesi.....	32
Şekil 5.1: Tesisten genel bir görünüş.....	37
Şekil 5.2: Arıtma tesisinin şematik olarak gösterimi.....	38
Şekil 5.3: Adsorpsiyon ile giderim için su banyolu çalkalayıcı.....	38
Şekil 5.4: Hach Lange DR 5000 spektrofotometre cihazı.....	39
Şekil 5.5: Hach DRB 200 ısıtıcı cihazı .....	39
Şekil 5.6: Numunelerin süzülme işlemi .....	40
Şekil 6.1: KOİ gideriminde adsorbentlerin etkisi.....	45
Şekil 6.2: Aktif karbon miktarına göre elde edilen KOİ giderim verimleri.....	46
Şekil 6.3: Adsorpsiyonla KOİ gideriminde çalkalama süresinin etkisi .....	47

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Cam hammaddelerinin flor ve klor içerikleri .....	6
Tablo 2.2: Renklendirici oksitlerin hammaddeleri .....	7
Tablo 2.3: Opaklaştırıcı maddeler .....	7
Tablo 2.4: Afinasyon maddeleri .....	8
Tablo 3.1: Dünyada geri dönüşüm miktarları .....	16
Tablo 5.1: Doğal zeolitin kimyasal bileşimi .....	41
Tablo 5.2: Çankırı bentoniti kimyasal kompozisyonu .....	42
Tablo 5.3: Dowex HCR S/S katyon değiştirici reçinenin özellikleri.....	42
Tablo 5.4: Doweks Marathon C reçinenin özellikleri.....	43
Tablo 6.1: Atıksu karakterizasyonu .....	44
Tablo 6.2: Adsorbent türüne göre elde edilen giderim verimleri .....	45
Tablo 6.3: Aktif karbon miktarına göre elde edilen KOİ giderim verimleri.....	46
Tablo 6.4: Adsorpsiyonla KOİ gideriminde çalkalama süresinin etkisi .....	47

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A.A.K.Y	: Ambalaj Atıkları Kontrol Yönetmeliği
AB	: Avrupa Birliği
AKM	: Askıda katı madde
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CAA	: Cam Ambalaj Atığı
ÇEVKO	: Çevre Koruma Vakfı
dak	: dakika
USA EPA	: Amerikan Çevre Koruma Ajansı
FHCK	: Fırına hazır cam kırığı
gr	: gram
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
l	: Litre
mg	: miligram
mm	: milimetre
N.s/m <sup>2</sup>	: Newton. Saniye/ metrekaare
nm	: Nanometre
PEHA	: Pentaetilen Hegzaamin
rpm	: dakika karıştırma hızı
sa	: saat
S.K.K.Y	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TETA	: Tetraetilen Triamin
°C	: santigrat derece



# CAM KIRIĞI ÜRETİM ATIK SUYUNDA ADSORPSİYON YÖNTEMİYLE KOİ GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

Adile Zeynep OLGUN

**Anahtar Kelimeler:** Cam endüstrisi atıksuyu, adsorpsiyon, KOİ, aktif karbon

**Özet:** Bu çalışmada, cam endüstrisi atıksuyunun adsorpsiyon yöntemi ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Karakterizasyonu belirlenen atıksuda KOİ parametresinin giderim verimi ve optimum koşulların belirlenmesi çalışılmıştır.

KOİ' nin adsorpsiyon yöntemi ile gideriminde 16 adet adsorbent kullanılmıştır. Bu adsorbent 16, 40, 80, 100, 200, >200 mesh boyutlu zeolitler (aqua multalite), zeolit 13X, zeolit 4A, aktif karbon, Doweks HCR S/S, Doweks Marathon C reçineler, mikrokristalin selüloz, Çankırı bentoniti, pomza taşı, klinoptiolittir. Bu adsorbent maddeler arasında KOİ giderimi için en iyi sonucu % 47 ile aktif karbon vermiş ve çalışmaya aktif karbonla devam edilmiştir.

Cam endüstrisi atıksuyunun arıtılabilirliğinde aktif karbon adsorbentinin kullanıldığı çalışmada aktif karbonun miktar ve sürenin KOİ giderim verimine etkisi incelenmiştir. 3 gr aktif karbon kullanımı sonucu % 55,4 verim elde edilmiştir.

Çalışmaya farklı süreler uygulayarak devam edilmiş ve 210 dakikada da %55,4 KOİ giderimi sağlanmıştır.

3 gr aktif karbon, 150 rpm hız ve 210 dak çalkalanma süresi optimum koşullar olarak belirlenmiştir. Tesise optimum koşullar uygulanarak atıksu arıtımında iyi bir verim sağlanması önerilmiştir.

## THE EXAMINING OF COD REMOVAL OF CULLET PROSSES WASTEWATER BY ADSORPTION METHOD

Adile Zeynep OLGUN

**Keywords:** Wastewater of glass industrial, adsorption, COD, active carbon

**Abstract:** Aim of this work is the examining of refinability of wastewater of glass industrial by adsorption method. In that work, removal efficiency of COD parameter in wastewater with specified-characterization and optimum conditions have been determined.

In the process of the removal of COD by adsorption method 16 absorbent material have been consumed, which are zeolites (with 16, 40, 80, 100, 200, >200 mesh sized, aqua multalite), zeolite 13X, zeolite 4A, active carbon, Dowex HCR S/S, Dowex Marathon C resin, microcrystalline cellulose, Çankırı bentoniti, pumice, clinoptilolite. Among them for the removal of COD, highest result has been achieved by the active carbon with %47 and so examination has been continued with active carbon.

In refinability of wastewater of glass industrial with the use of active carbon as an adsorbent, effect of amount and time over the efficiency of removal of COD has been examined. As a result of consuming 3 gr active carbon, %55,4 efficiency was achieved.

Examination has been continued by applying different durations and in 210 min duration, %55,4 the removal of COD has been achieved

Optimum conditions have been determined as 3gr active carbon, 150 rpm speed, 210 min rinse time. Under optimum conditions written above, to the establishment, it has been suggested that to provide high efficiency in the refinement of wastewater.

## 1. GİRİŞ

Cam günümüz modern çevresinin önemli bir parçasıdır. Basit bir su bardağından teknik bir donanım malzemesine kadar kullanım alanı geniştir.

Cam endüstrisi ülkemizdeki en eski sanayi dallarından biridir. Türkiye’ de cam ürün yapımı Selçuk ve Osmanlı dönemleri de kapsamaktadır. Cumhuriyetin kuruluşu ile cam endüstrisi ülkemizde farklı bir boyut kazanmıştır. 1934’te kurulan Türkiye Şişe ve Cam Fabrika A.Ş’ yi çeşitli tarzlarda cam üretimi yapan birçok fabrika takip etmiştir.

Cam, kum (kuartz), soda, kireç, feldispat ve iz elementler gibi hammaddelerin yüksek sıcaklıkta eritilmesiyle üretilir. Bu hammaddelerin çıkarılması doğal kaynakların tüketimine ve üretim esnasında kullanılan enerji, su ve oluşturulan kirlilik çevreye zarar vermektedir.

Doğal kaynakların oldukça azaldığı, çevre kirliliğinin önemli boyutlara ulaştığı günümüzde geri dönüşümün önemi oldukça artmıştır. Yükte ağır pahada hafif olan camın geri dönüşümü sonsuz kere yapılabilindiğinden ve doğal kaynaklardan oldukça tasarruf elde edildiğinden oldukça önemlidir. Türkiye genelindeki cam geri dönüşüm oranı % 36’ dır.

Cam geri dönüşümü ÇEVKO’nun desteğiyle Şişe Cam A.Ş’ ye bağlı bayiler tarafından yapılmaktadır. Cam geri dönüşümünde eski bir kavram olan cam kırığı kullanılarak geri dönüşümün verimi arttırılmakta hammadde kullanımı azalmaktadır.

Cam kırığının üretimi için; toplanan CAA’dan metal, seramik, kağıt, plastik ve diğer zarar veren maddelerin ayrılması gerekmektedir. Sonra camlar 5 ile 60 milimetre büyüklüğündeki parçalara kırılır ve yıkanır, en son eritme işlemi ile hammaddeye karıştırılır.

Cam kırığı üretiminde yıkama işlemi sırasında atıksu oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesisinden geçirildikten sonra tekrar prosese verilmektedir.

Teknolojinin etkisiyle kirlenen hatta tamamen kullanılamaz hale gelen atıksular yine teknolojinin geliştirdiği arıtma yöntemleriyle kullanılabilir ya da alıcı ortamlara deşarj edilebilecek hale getirilmeye çalışılmaktadır.

Özellikle endüstriyel proseslerden kaynaklanan atıksular klasik arıtma teknikleriyle giderilmemektedir. Bu nedenle ileri arıtım teknikleri geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde ileri arıtım tekniklerinden en yaygın kullanım alanına sahip olan yöntem adsorpsiyon yöntemidir.

Bölüm 4'te ayrıntılı olarak anlatılacak olan adsorpsiyon ileri arıtım tekniklerindedir. Bir katının veya bir sıvının sınır yüzeyindeki konsantrasyon değişmesi olayına adsorpsiyon denmektedir. Bu yöntemde atıksudaki kirletici parametrelerin adsorplanması ile giderilmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada çeşitli adsorbent maddeler kullanılarak adsorpsiyon yöntemi ile cam kırığı üretim tesisinin arıtma siteminin çıkış suyunun arıtılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada atıksuyunun karakterizasyonu yapılmış ve KOİ giderim verimi tespit edilmeye çalışılmıştır. Optimum koşullar belirlenerek ve atıksuya uygulanarak arıtımı çalışılmıştır.

## 2. CAM, CAMIN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Camın Tanımı

Cam, insanlar tarafından çok eski tarihlerden beri kullanılan bir malzemedir. Tüm çağlar boyunca üretilen ve kullanılan cam en büyük gelişmeyi 1900'lü yıllarda yapmıştır. Yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesi ve yeni cam kompozisyonlarının bulunmasıyla bugün yaklaşık 700 farklı kompozisyon, optik elyaftan pencere camına kadar pek çok farklı kullanım sahası için ticari olarak üretilmektedir. Günümüzde cam, şişe, kavanoz, pencere camı, bardak, elektrik ampülü gibi kullanım dışında cam yünü ve cam elyaf olarak ısı, ses ve su izolasyonunda, optik elyaf ile telekomünikasyonda, ayrıca elektronik sanayi ve pek çok farklı uygulamasıyla uzay sanayinde kullanılmaktadır [1].

Cam kırılgenlik, bükölmezlik, sertlik gibi özelliklere sahip saydam madde olarak tanımlanabilir [2].

Camın en çok rastlanan tanımı 1945 tarihinde ASTM tarafından teklif edilen tanımdır. Bu tanıma göre, “ Cam bir organik ergitme ürünüdür”. Bugün gliserin gibi bazı organik malzemelerden de cam elde edildiğinden, ayrıca ergitmenin yanı sıra başka metotlarla da cam yapıldığından bu tanım her zaman geçerli değildir, ancak ticari olarak üretilen pek çok cam bu tanıma uygun olarak üretilmektedir [1].

Cam malzemeler, iyi kimyasal dayanımlarından ve saydam olmalarından dolayı endüstrinin birçok alanında üstün bir malzeme olarak kullanılırlar. Cam ürünleri özellikle kimya endüstrisinde, eczacılıkta, gıda maddeleri endüstrisinde çokça kullanılırlar [3].

## **2.2. Cam Üretimi**

### **2.2.1. Cam ham maddeleri**

Erime güçlüğü olmayan bir cam üretimi için ön koşul uygun kimyasal ve granülometrik kompozisyonu olan hammaddelerin seçilmesidir. Bu özelliklere sahip hammaddelerden doğru tartılmış ve iyi karıştırılmış bir harman, normal fırın şartlarında mutlaka iyi cam verecektir. Fırın şartlarında olabilecek aksaklıklar, iyi hazırlanmış harmanın vereceği camın kalitesini bozabilir. Fakat kötü hazırlanmış bir harmanın bundan sonra fırın ve üretim şartları ne olursa olsun iyi cam vermesine imkan yoktur.

### **2.2.2. Cam hammaddelerinde aranan özellikler**

Hammadde ucuz olmalıdır. Mamul fiyatına tesir eden faktörlerden birisi hammaddelerin mümkün olduğu kadar ucuz olması gerekir.

Hammaddeler cam kompozisyonuna göre seçilmeli ve cam türü için gerekli olan kimyasal ve granülometrik kompozisyon sağlanmalıdır.

Kimyasal ve granülometrik kompozisyonu müsaade edilir sınırlar içinde süreklilik göstermelidir. Bu özellik yapay ham maddelerce kolaylıkla, ancak doğal maddeler için rutin kontrollerin titizlikle yapılması gerekir.

Granülometrik özellikleri cam harmanı yapımına uygun olmalıdır. Hammaddelerin granülometrik özellikleri aşağıda açıklanan nedenlerden dolayı önemlidir.

- Erime

Kum erimesi, feldspat ve nefelin siyenit ise erimeden sonra dağılması güç olan maddelerdir. Erimenin tamamlanması için bu hammaddelerden kumlarda 0,5 mm' den, feldspatda ise 0,6 mm' den iri olan tanelerin bulunmaması gerekir.

- Karışma ve Segragasyon

Cam harmanı çeşitli hammaddelerin uygun oranlarda karıştırılmasıyla meydana geldiğine göre tane büyüklüklerinin benzer olması iyi bir karışım sağlar. Harmanını segragasyon ihtimali azalır, erime kolaylaşır ve camın homojenliği artar.

- Tozuma

Hammaddelerde mevcut ince tanecikler ( 0.150 mm' den küçük) hammaddelerin nakliyesi ve tartımı sırasında ve fırın içinde tozuma yaparlar. Hammadde tozları çalışan personel makine alet, fırın içindeki refrakterler açısından sakıncalıdır.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Tio<sub>2</sub> gibi istenmeyen oksitleri içermemelidir. Demir oksit cama yeşil, krom oksit ise sarı yeşil rengi verir. Rengin şiddeti oksitin miktarına bağlıdır. Eğer demir oksit veya krom oksit gibi renklendirici oksitlerin miktarları yüksek ise istenilen kalitede renksiz cam üretimi yapılamaz.

Cam hammaddelerinin kızdırma ile kaybolacak oksitleri su ve karbondioksittir. Bunlardan CO<sub>2</sub> karbonatlarla her cam harmanında bulunur. Su ise kristal suyu veya rutubet olarak harmana karışır. Harmanın eritilmesi sırasında enerji kaybına sebep olmasının yanı sıra sodyum ve bor oksitlerinin buharlaşma yoluyla kaybını yüksek oranda arttırdığı için örneğin borosilikat cam harmanında bulunmaları istenmez. Ancak soda – kireç - silis cam harmanında ise %4 miktarındaki nemin; harman segragasyonu, erime ve afınasyon üzerinde olumlu etkisi bilinmektedir.

Çevre kirliliği ile bağlantılı olarak uygulamaya konulan çevre yönetmelikleri, cam üretiminde kullanılan hammaddelerdeki safsızlıklar için bazı kısıtlamalar getirmiştir. Bu safsızlıklar içinde yer alan örneğin inorganik klor ve flor bileşiklerinin miktarları emisyon sınır değerlerini sağlayacak seviyede olmalıdır. Tablo 2.1' de görüldüğü üzere cam hammaddelerinin hemen hemen tamamında söz konusu safsızlıklar bulunabilmektedir.

Tablo 2.1: Cam hammaddelerinin flor ve klor içerikleri [4]

Hammadde	Flor % Ağ.	Klor % Ağ.
Kum	0.004	-
Kalker	0.003 – 0.009	0.008
Dolomit	0,012 – 0.030	0.030
Fonolit	0.116 – 0.154	0.280
Rosorit	0.016 – 0.154	0.027
Basalt	0.061 – 0.107	0,058 – 0,063
Kalunit	0.183	0.437
Nefelin Siyenit	0.004	0.0091
Feldspat	0.008	0.0038
Kaolin	0.025	0.0037
Soda	0.0013	0.184

### 2.2.3. Camın bileşenleri

#### 2.2.3.1. Ana bileşenler

Camı oluşturan ana bileşenleri üç grupta toplayabiliriz; cam haline gelebilen oksitler (camlaştırıcılar), eriticiler ve stabilizatörler

- Cam haline gelebilen oksitler (camlaştırıcılar)

Camlaşma özelliği olan bu ana maddeler genelde iskeleti oluşturan bazı oksitlerdir. Doğal cam olarakta nitelendirilen kuvars iskeleti oluşturan oksitlerin başında gelmektedir. İskeleti oluşturan oksitler içerisinde en önemlileri  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  ve  $\text{P}_2\text{O}_5$  dir.

- Eriticiler

İskeleti oluşturan ve cam haline gelebilen oksitlerin erimelerini kolaylaştırmak amacı ile katılan maddelere “eriticiler” adı verilmektedir. Eriticiler, camlaştırıcının erime sıcaklığını düşürerek onların erimelerini kolaylaştırır. Eritici olarak adlandırılan katkıların başlıcaları;  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{Li}_2\text{O}$  dir.



- Stabilizatörler

Stabilizatörler de özellikle camın kimyasal dayanımı, kırılma indisi, dielektrik özellikleri üzerine etki yapan katkılardır. Formülüne stabilizatör ilave edilmemiş bir cam su karşısında kararlı değildir. Bu tür camlara “su camı” denir. Stabilizatörlerin başlıcaları; CaO, BaO, PbO, MgO ve ZnO dir.

### 2.2.3.2. Yardımcı bileşenler (İkincil bileşenler)

Yardımcı bileşenler ya da ikincil bileşenler olarak adlandırılan maddeler genelde adi cam formülüne girmeyen, ancak çoğunlukla değişik camlarda değişik etkiler sağlamak üzere kullanılan oksitlerdir [5]. Cam renklendirici oksitlerin ana hammaddeleri Tablo 2.2’ de listelenmektedir. Bunlar iyonik, moleküler, koloidal renklendirici olarak kendi içlerinde sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.2: Renklendirici oksitlerin hammaddeleri [4]

Türü	Element	Bileşikleri
İyonik	Nikel	Ni <sup>+2</sup> / Ni <sup>+3</sup> oksitleri ve hidroksitleri
	Kobalt	Kobalt Fosfat
	Neodyum	Neodyum Oksit
	Lantan	Lantan Oksit
	Krom	Krom(3)Oksit , Krom(3) Hidroksit, Kromit
	Mangan	Mangan dioksit, Potasyum Permanaganat
	Seryum	Seryum Oksit
	Bakır	Cu <sup>+1</sup> , Cu <sup>+2</sup> Oksitleri
	Demir	Demir(3)Oksit, Demir(2+3) Oksit
Moleküler	Selen	Selen Na, Ba, Zn'nun SeO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> Bileşikleri
	Kükürt	Kükürt
	Antimon	Sb <sup>+2</sup> / Sb <sup>+3</sup> Sülfürleri
Koloidal	Bakır	Bakır(1)Oksit
	Altın	Gümüş Nitrat

Opaklaştırıcı maddeler flor ve fosfat grubu olara Tablo 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.3: Opaklaştırıcı maddeler [4]

Türü	Bileşik	Formülü
Flor Grubu	Sodyum Florür	NaF
	Fluspat	CaF <sub>2</sub>
	Sodyum Alümina Florür	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>
Fosfat Grubu	Kalsiyum Fosfat	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
	Kalsiyum Hidrojen Fosfat	Ca <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O

Sülfat, sülfür, nitrat, ve halojen gruplarından en önemli afinasyon maddeleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4: Afinasyon maddeleri [4]

<b>Türü</b>	<b>Bileşikler</b>
Sülfat Grubu	$\text{Na}^{+1}$ , $\text{Ca}^{+2}$ , $\text{Ba}^{+2}$ , $\text{NH}_4^{+1}$
Sülfür Grubu	$\text{Ba}^{+2}$ , $\text{Zn}^{+2}$ , nin Sülfürleri, Yüksek fırın Cürufu
Nitrat grubu	$\text{K}^{+1}$ , $\text{Na}^{+1}$ , $\text{Ba}^{+2}$ , $\text{Ca}^{+2}$ , $\text{Al}^{+3}$ ün nitratları
Arsenik (Nitratlar ile)	Arsenik Oksit
Antimon (Nitratlar ile)	Antimon Oksit
Flor Grubu	Fluspat Sodyum Silika Florür
Klor Grubu	Sodyum Klorür Amonyum Klorür
İyodür	Potasyum İyodür

### 2.2.3.3. Cam kırığı

Cam üretimi sırasında çeşitli nedenlerle ortaya çıkan hatalı ürünler veya cam ambalaj atıklarının kaynağında ayrı toplanmasıyla elde edilen atık camlar; uygun tane büyüklüğünde kırılır manyetik seperasyondan geçirilerek metalik malzemelerden temizlenir ve harmanla karıştırılarak üretimde değerlendirilir [4].

### 2.2.4. Cam üretim prosesi

Cam üretimi esas olarak 4 kademede incelenebilir.

- Eritme

Cam tank biçiminde cam fırınlarında eritilir. Isının geri kazanımı reküperatif ve rejeneratif olabilir. Fırın iç yüzeyleri refrakter tuğlalar ile kaplıdır. Ham maddeler fırının bir ucundan yüklenir. Erimiş cam fırınına ortasında toplanır. Sıcak gazlar değişimli olarak fırının her iki tarafından gelir. Elde edilen cam, fırının diğer ucundan alınarak işlenir.

- Şekil verme

Cam elle veya otomatik makinalarda şekillendirilebilir. Makinada şekil verme işleminin birkaç saniye içinde tamamlanmış olması gerekir. Bu kısa süre içinde cam sıvı halinden saydam katı haline dönüşür.

- Tavlama

Gerginlikleri azaltmak üzere, bütün camların tavllanması gerekir. Tavlama işlemi başlıca iki kademedен oluşur. Cam malzeme önce iç gerilmelerin giderilmesi için belirli bir kritik sıcaklığın üzerindeki sıcaklıkta tutulur. Daha sonra cam malzeme yavaş bir hızla oda sıcaklığına kadar soğutulur. Tavlama kanallarında ısıtma ve soğutma sürelerinin çok iyi ayarlanmış olması gerekmektedir.

- Bitirme işlemi

Tavllanmış olan bütün cam malzemeler bazı bitirme işlemlerine tabi tutulur. Bunlar parlatma, kesme, tıraşlama vb. işlemlerdir [2].

### **2.3. Camın Özellikleri**

Camların karakteristik özelliklerini belirleyen ana yapı elemanı  $\text{SiO}_2$ ' dir. Kuvars yalnız başına  $1700\text{ }^\circ\text{C}$  'nin üzerindeki sıcaklıklarda eritilerek kuvars camı elde edilebilir. Soğuma sırasında,  $\text{SiO}_2$  eriğinin kristalleşmeye pek az eğilimi vardır ve camsı olarak katılaşıır. Ancak yüksek erime sıcaklığı ve eriğın sünekliliğı kuvars cam ürünlerinin üretimini zorlaştırır.

Erimeyi kolaylaştırmak için, kuvars içine alkali oksitle ilave edilir. Ancak bu durumda fiziksel ve kimyasal özellikler, özellikle suya dayanım, artan alkali miktarıyla kötüleşir. Stabilizasyon için toprak alkali oksitleri ilave edilir. Toprak alkali oksit olarak daha çok  $\text{CaO}$  ilave edildiğinden dolayı, bu camlara alkali-kalker-silikat camları adı verilir. Bu cam tipi teknik cam olarak üretilirse  $\text{CaO}$ 'in bir kısmı yerine  $\text{MgO}$  ve az miktarda diğeri oksitlerde katılabilir.

Alkali Oksit, toprak alkali oksit Alüminyum oksit vb ilaveler ısıl genişmeyi çok fazla yükseltme ve bunun sonucu olarak da alkali-kalker-silikat camların yüksek sıcaklıklar için kullanılmasını kötüleştirme sakıncasını doğururlar. Bu nedenle teknik camlarda borik asit kullanımına gidilir. Borik asit katılmış camlar daha düşük genişme katsayısı gösterir. Alkali oksit ve borik asidin erimeyi hızlandırıcı etkisinden yararlanılarak, sıcaklık değişimlerine karşı iyi dayanım sağlanır ve böylece daha büyük boyutlu teknik tesislerde kullanım olanağı doğar [2].

Vizkosite, camın en önemli teknolojik özelliğidir. Camın eritme koşulları, işlenmesi, tavlama sıcaklığı, rafinasyonu, üst kullanım sıcaklığı ve kristalleşme hızı büyük oranda vizkosite tarafından belirlenir. Camın vizkositesi akışkanlığa karşı direnç olarak düşünülebilir. En önemli fiziksel ve teknolojik özelliklerden birisidir. Üretim esnasında camlar üzerine yapılacak gerekli kontrollerin tespiti açısından da önem arz etmektedir. Cam vizkositesini, hem kimyasal bileşim hem de sıcaklık etkiler [6].

Camlar normal oda sıcaklığında çok sert ve kırılğan malzemelerdir. Isıtıldıklarında, metallerde olduğu gibi belirli sıcaklığa erişince erimezler. Transformasyon bölgesi denilen bir sıcaklık aralığında yumuşarlar. Transformasyon bölgesi üst ( $T_{an}$ ) ve alt ( $T_{str}$ ) gerilim azalma sıcaklığı ile sınırlanır. Transformasyon sıcaklığı  $T_g$ , viskozitenin  $10^{12,5}$  N.s/m<sup>2</sup> olduğu noktaya karşılık gelir ve genişmenin ölçülmesiyle dolaylı olarak tespit edilebilir.

Camların yüksek sıcaklıkta kullanılabileceği ya da kullanılamayacağı, ısıl genişme katsayısına da bağlıdır. Camın lineer genişme katsayısı, artan sıcaklıkla birlikte lineerden pek az sapma yapar ve ortalama lineer genişme katsayısı belirli bir sıcaklık sahası için verilebilir. Camın pek az ısı iletme kabiliyetinden dolayı ısıl genişme katsayısı, sıcaklık değişimlerine dayanım üzerine farklı etki yapar. Kuvars camların lineer genişme katsayıları  $0,5 \cdot 10^{-6}$  1/K ve teknik camların 3 ile  $10 \cdot 10^{-6}$  1/K ile bu sahanın alt bölümünde bulunur. Bundan dolayı, borosilikat camlar, yüksek sıcaklıklara kadar kullanılabilirler ve borsuz teknik camlara nazaran daha hızlı bir şekilde ısıtılabilir ve soğutulabilirler.

Cam, normal sıcaklıklarda elastik bir cisimdir. Camlar gerilim altında hiç deformasyon göstermezler.

Camlar, normal sıcaklıklarda iyi izolatördür. Yalnızca birkaç özel cam yarı iletken özellik gösterir. Oda sıcaklıklarında özgül elektrik direnci  $10^9$  ile  $10^{17}$  ohm.m kadardır. Camlar elektroniği iyonik olarak iletir. Transformasyon sıcaklığına kadar akımın taşınması daha çok  $Na^+$  olmak üzere, alkali iyonlarla olur. Bu nedenle normal sıcaklıklarda elektrik iletimi son derece azdır. Yükselen sıcaklıkla birlikte, iyonların hareketliliği artar ve özgül direnç azalır. Eriyik haldeki cam elektriği iletir. Bu nedenle doğru akım ile ısıtma yoluyla eritme yapılabilir.

Camların diğer malzemelere göre ayrıcalıklı özelliği, görünür ışığı ve ayrıca infraruj ve ultraviyole ışınları geçirebilme, yani saydamlık özelliğinin bulunmasıdır [2] .

## **2.4. Cam Türleri**

### **2.4.1. Silikat camları**

Silikat camların çok değişik türleri vardır. Bu camların bileşimlerinde az ya da çok  $SiO_2$  vardır. Bu nedenle bu camlara silikat camları denir. Bunlarda kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırabiliriz.

1. Sodalik camı: Dünyada üretilen camların %90'ı sodalik camıdır. Kolayca eritilebilir, ucuzdur fakat ısıl şoklara mukavemet ve kimyasal kararlılık gibi haller dışında her yerde kullanılabilir. Normal elektrik ampulü, floresan ampulleri, pencere camları v.b. malzemelerin üretiminde kullanılırlar. Yapısında %5 oranında  $CaO$  vardır.

2. Kurşun camı (Kristal Cam): Soda kalsik camında kirecin yerini  $PbO$  aldığı anda kurşun camı elde edilmiş olur. Yapısında %80 oranında bazı hallerde daha fazla kurşun oksit bulundurur. Kurşun oksit, camın erime noktasını düşürerek yumuşama noktasını  $CaO$ 'li camlarınkinin de altına düşürür. Ayrıca cama kolay işlenebilme, ışığı yansıtma ve yayma özelliği kazandırır. Kurşun oksit miktarının %80'i geçtiği

cam türü  $\gamma$  ve x ışınlarından korunmak amacıyla kullanılır. Oldukça pahalı bir cam olduğu için baryum oksitli camlar kullanılır.

3. Borosilikat camı: Borosilikat camlarının yüksek yumuşama noktası vardır. Buna rağmen, ısıl şoklara karşı büyük bir mukavemet sağlayan büyük bir genleşme katsayısı, su ve asitlere karşı çok iyi mukavemet göstermesi ve üstün elektriksel özellikleri vardır. Bu nedenlerden dolayı laboratuvar (teknik) cam olarak kullanılmaktadır. Mutfak eşyası, büyük boyutlu astronomik aynalar yapılmaktadır.

4. Alüminosilikat Camı: %20 den fazla alümin, az miktarda bor, bir miktar kireç ve mayezi ile çok az alkali içerirler. Ancak alkali bulunmadığı zaman camın eritilmesi ve işlenmesi zorlaşır. Yumuşama noktasının yüksek ve dilatasyon katsayısının küçük olması termometre, yanma tüpleri, alevle doğrudan temas edecek her türlü parçanın yapımında kullanılır.

5. Silis Camı (%96 SiO<sub>2</sub>): %96 oranında silis içeren bu cam, presleme ve üfleme yöntemleri ile şekillendirme bu camlara uygulanır. Dilatasyon katsayısı küçüktür. Bu cam türü, çok saydam oluşu nedeniyle UV ışınlarını çok iyi geçirirler. Bu nedenle UV lambaları ile mikrop öldürücü özel lambaların yapımında kullanılır.

6. Silis Camı (%99 SiO<sub>2</sub>): Çok saf kuvars kumunun eritici madde olmadan eritilmesiyle elde edilir. Bu camın üretimi ve şekillendirilmesi çok yüksek sıcaklıkta (1750 °C) 'de olur. Bu nedenle üretilecek malzemelerin şekil ve boyutları sınırlı olmak zorundadır. Genleşme katsayısının küçük, yumuşama noktasının çok yüksek olması ve UV ışınlarını çok iyi geçirmesi gibi olumlu özellikleri vardır. Dielektrik özellikleri de iyidir. Ancak maliyetin yüksek oluşu nedeniyle eletroteknikteki uygulamaları sınırlıdır. Isıl şoklara karşı mukavemeti en yüksek camdır [7].

## **2.4.2. Özel camlar**

### **2.4.2.1. Renkli camlar**

Çok eskiden beri renkli camlar yalnız süs eşyası olarak hazırlanmaktadır. Günümüzde çok çeşitli renklerde camlar teknik amaçlarla kullanılmak üzere üretilmektedir. Cama renk vermek için, metal oksit ve sülfürler kullanılır.

### **2.4.2.2. Buzlu camlar**

Erimiş halde saydam oldukları halde, şekillendirilip soğutulduktan sonra opaklaşırlar. Bunun nedeni, süspansiyon halindeki çok ince partiküllerin ayrılması dolayısıyla içinden geçen ışığın dispersiyona tabi tutulmasıdır.

### **2.4.2.3. Emniyet camları**

İki cam tabakası arasında plastik bir tabaka ihtiva ederler. Cam kırıldığı zaman aradaki tabaka yardımı ile parçalar parçalar bir arada tutulur.

### **2.4.2.4. Cam elyafı**

Bu camlar son derece ince liflere sahip olup sentetik lif olarak kullanılırlar. Kolaylıkla iplik halinde bükülebilir, hasır haline getirilebilirler. Bu camlar teknikte yalıtım malzemesi olarak, bant veya hava lifleri yapımında kullanılırlar [2] .

### **3. CAM AMBALAJ ATIKLARININ GERİ KAZANIMI VE CAM KIRIĞI KULLANIMI VE FİCK ÜRETİM TESİSİ**

#### **3.1. Geri Kazanım**

Geri kazanımın ana gayesi; çöplerin, katı atıkların toplandıktan sonra, çeşitli maddelerin ayrılması, temizlenmesi ve bazı sanayi kuruluşlarına hammadde olarak tekrar satılması ve yeni imal edilen malzemelerin pazarlanmasıdır. Atıkların tekrar değerlendirilmesi ile,

- Doğal kaynaklar korunur ve kaynak savurganlığı önlenmiş olur.
- Uzaklaştırılacak katı atıkların miktarlarının azaltılması gerçekleştirilmiş olur.
- Kağıtlar, metal parçaları camlar ve organik bileşiklerin yeniden kullanılma olanağı vardır.

Atıkların geri kazanılması için genelde iki yöntem başvurulur.

Tüketicilerin yeterli bilinç düzeyine ulaştığı ve yeterli teknolojik düzeye ulaşan toplumlarda atıklar tüketici tarafından kaynaktan toplanmaktadır. Toplama da plastik, cam, kağıt, metal gibi atıklar ayrı torba veya kaplara biriktirilmektedir. Toplayıcılar kaynaktan aldıkları atıkları değerlendirme merkezlerine götürerek üretim sürecine kazandırılması için gerekli işlemleri başlatmaktadır.

Bir diğer uygulama ise gelişigüzel toplanan atıkların ayırma merkezlerine ulaştırılmasıdır. Ayırma merkezlerine ulaştırılan atıklar çeşitlerine ayrılarak geri kazanım tesislerine gönderilir [8].

Geri kazanımın en etkin yolu ise ‘kaynaktan ayırma’ sistemi ile geri kazanılabilir maddelerin ayrılarak değerlendirilmesidir. Ancak bu, çok iyi eğitilmiş bir toplum ve iyi bir organizasyon gerektirmektedir. Kaynaktan iyi bir ayırma programı için toplum



desteği şarttır. Bu destek; programın toplum ve katılımcılara uygunluğu, toplumun çevresel davranışlarının ve eğilimlerinin durumu ve atık yönetimine bakış açısı gibi faktörlere bağlıdır.

Katı atık miktarı; mevsimsel şartlara, tüketim alışkanlıklarına ve coğrafik konuma göre değiştii için, buna paralel olarak geri kazanım oranı sürekli değişmektedir. Bunun yanı sıra geri dönüşüm programlarının ilk başlatıldığı yerlerde halkın geri kazanım konusunda bilgilendirilmelerinden dolayı geri kazanım oranı daha yüksektir [9].

### **3.2. Cam Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü**

Atık haline gelmiş cam şişe ve kavanozların yani CAA' larının toplanıp, işlenip, fırınlarda ikincil hammadde girdisi olarak kullanılıp cam ambalaj haline getirilmesi durumuna cam ambalaj geri dönüşümü denilmektedir.

Cam ambalaj geri dönüşümü, şişenin atıktan teorik olarak sonsuz kez yeniden üretilebilme özelliğinden dolayı katı atık değerlendirmede merkezi bir öneme sahiptir. AB'nin 25 milyon ton olan toplam ambalaj geri dönüşümü miktarının üçte birine yakının cam malzemedan oluşması bu önemin göstergesidir.

Geri dönüşüm döngüsü, malzemenin yeniden üretimde kullanımı, yeniden tüketimi ve geri kazanılıp malzeme akışına katılımı ile tamamlanan, Simgesel olarak birbirini izleyen üç döner okla ifade edilen üç aşamalı ekonomik ve ekolojik bir süreçtir. Geri dönüşüm faaliyetinin en kritik olan ve atığın çöpe gitmeyerek döngüye katılması şeklinde gerçekleşen ilk aşaması, kentlinin kumbaralara gönüllü olarak atma çabasına dayandığından ayrıca toplumun kültürel ve etik değerleri ile de ilişkilidir [10].

Tablo 3.1: Dünyada geri dönüşüm miktarları [11, 15]

Ülke	Ton	% Oran
Avusturya	200,000	% 83
Belçika	279,000	%88
Danimarka	125,000	%65
Finlandiya	46,000	%91
Fransa	1.950.000	%55
Almanya	2.666.000	%88
Yunanistan	44,000	%27
İrlanda	46,000	%40
İtalya	1.100.000	%55
Hollanda	400,000	%78
Norveç	44,000	%88
Portekiz	122,000	%34
İspanya	506,000	%33
İsviçre	144,000	%84
İsveç	294,000	%92
Türkiye	73,000	%24
İngiltere	736,000	%34
TOPLAM	8.775.000	

Cam atıklar inorganik madde olup, doğada bozulmadan uzun yıllar kaldıklarında ekolojik atık olarak tanımlanmaktadır. Cam atıkların tekrar değerlendirilebilmeleri açısından, renkli, renksiz cam, kavanoz ve şişeler ile diğer cam ürünleri (pencere camı, cam tabak, cam ev eşyaları, ampul camı, vb.) olmak üzere iki grupta incelenmelidirler. Cam kavanoz ve şişeler, toplam cam atıklarının ağırlıkça % 90' ını oluştururlar. Cam genelde beyaz (renksiz), yeşil (farklı tonlarda) ve bal rengi cam kavanoz ve şişe olarak, evsel ve sanayi kullanımı amacıyla üretilmektedir. Cam üretim fırınlarında ısı yüksektir (yaklaşık 1200 C), bu ısıyı daha düşük tutmak işletme maliyetleri açısından tercih edilir. Camlar toplanmasından sonra kırılmakta ve 'cam kırığı' olarak hammadde şeklinde kullanılmaktadır [12].

### 3.3. Cam Ambalaj Geri Dönüşümünde Cam Kırığı Kullanılması

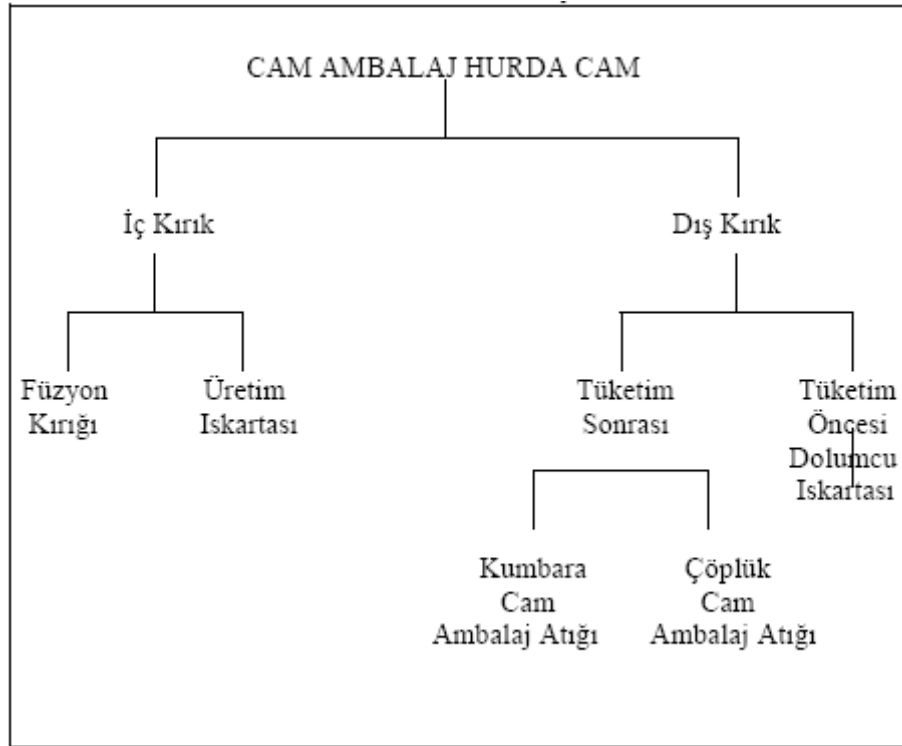
Üretimde kullanılacak hurda camların üretime katılmadan önce hacimleri küçültülür. Bu kırılan camlara cam kırığı denilmektedir.

Cam üretiminde ana hammaddelerin yanı sıra %10 ve %30 oranında cam kırığı kullanılmaktadır. Ancak üretim türüne göre bu oran daha yüksek olabilmektedir. Cam ambalaj üretiminde kullanılan cam kırığının bir kısmını fabrika içi cam kırığı

oluştururken, bir kısmını da çevreden çeşitli yöntemlerle toplanan cam ambalaj atığı meydana getirmektedir [4]. Belediyelerden ve işletmelerden toplanan cam atıkları kırılarak cam kırığı üretilir [14].

Eğer cam üretiminde tüketim sonrası cam ambalaj atığı kullanılacaksa bunlar; plastik, kağıt, metal ve seramik gibi malzeme katışıkları içermemeli, renklerine göre flint ( renksiz cam ), bal rengi ve yeşil olarak ayrılmalıdır. Cam kırığı hazırlama işlemlerinden sonra kırıklar ergitme islerine hazırdır. Sektörde böylece elde edilen ikincil hammaddeye FHCK (fırına hazır cam kırığı) denir [14].

### 3.3.1. Cam kırığı kaynakları



Şekil 3.1: Cam kırığı kaynakları [14, 15]

- Kentsel atıklar ( Cam ambalaj halde)
- Füzyon camlar ya da tamirdeki fırınların camları
- İmalat makinelerinden çıkan cam kırıkları
- Soğutma sonunda ayrılan cam kırıkları
- Ambar kırıkları

- Dolumculardan gelen cam kırıkları
- Kumbara kaynaklı cam kırıkları
- Çöplük kaynaklı cam kırıkları [14].

### **3.3.2. Cam kırığı kullanımının avantaj ve dezavantajları**

Cam Üretiminde cam kırıklarının kullanılmasının sebepleri kısmen teknik kısmen de ekonomiktir [15].

İkincil Madde, FHCK'nın girdi faaliyetinde yarattığı düşme Avrupa cam ambalaj sanayinin son yıllarda ki önemli rekabet avantajlarından birini oluşturmaktadır. Şişe fabrikalarında fırınlarda FHCK kullanılmak suretiyle daha düşük ergime sıcaklıklarında çalışılması sonucu,

- Malzeme girdi maliyetinde düşme,
- Elektrikte tasarruf,
- Fırın ömründe uzama,
- Yatırım, bakım ve işletimde azalma

sağlanmaktadır.

Ayrıca yakıt tasarrufu sera etkili baca gazları emisyonun da düşüş sağladığından atmosfer kirlenmesi azalmaktadır. Çevreye olan bir diğer önemli olumlu etki de fosil yakıt ile hammadde rezervlerinden tasarruf edilmesi sonucu doğal kaynakların korunmasıdır.

Diğer bir ekonomik fayda belediyelere yöneliktir. Sokaklarda kumbaralarla CAA'ların toplanması şehrin çöp yükünü azaltığından tahminen ton başına 10–15 USD toplama, bir o kadarda bertaraf etme giderlerinden tasarruf sağlanmaktadır. Bunlara ilave olarak belediyeler atıkların içindeki değerlendirilebilir malzemeyi satarak da gelir elde edebilmektedirler [10].

Üretimde cam kırığı kullanılması ile elde edilen avantajlar olduğu gibi dezavantajlar da vardır. Bu dezavantajlara bakıldığında şu hususlar göze çarparlar.

Cam kırığı kullanımının başlıca dezavantajı cam üreticilerinin kendi ürettikleri kompozisyondaki camları kullanmak istemektir. Çünkü istenmeyen bileşenlerin; özellikle demir ve alüminyum gibi metallerin normalüstü varlığı ve bunların harmana katılması sadece üretilen cama değil aynı zamanda da fırına da olumsuz etki yapabilirler.

Cam ambalaj atığı bol ve ucuz olmasına rağmen, toplama, ayırma, hazırlama ve depolama yerlerinde cam ambalaj üretim tesislerine nakli maliyeti çok arttırır. Cam kırığı, düşük ekonomik değeri olan hurda cam olarak tanımlanmakta ve geri dönüşümü için çevreci ekonomik özendirmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynağında ayrı olarak toplanan cam malzeme cam ambalaj üretiminde bazı sorunlara yol açabilir. Bunların başında malzemenin taşlı ve uygun boyut dağılımında olmaması, metal katışıklarının limitler üstü mevcudiyeti gelmektedir. Bu nedenle hazırlama işlemlerinin yapılması gerekmektedir [16].

### **3.4. FHCK Üretim Tesisi**

Toplanmış atık camları; demirli ve demirsiz metaller, taş parçaları, kapaklar, plastik şişeler vb. içerir. Bu yüzden direkt olarak cam üretimine uygun değildir. Cam endüstri talebini karşılayabilmek için cam kırığı safsızlık ve katışıklardan arıtılması gerekir. Bu nedenle cam kırıklarının bir hazırlama tesisinde üretime uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

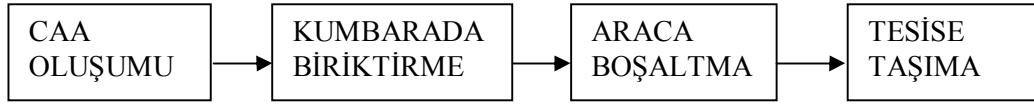
Türkiye’de cam geri dönüşümde ilk adımlar 1970’lerde Şişecam Topkapı ve Anadolu Cam Şişe Fabrikaları ile birlikte kurulmuş cam kırığı hazırlama ünitelerinde atılmıştır.

Şimdiki dönemlerde ise bu işlem yine cam kırığı ünitelerinde A.A.K.Y.'nde belirtilen geri dönüşüm tesis lisansına sahip yüklenici firmalar tarafından yapılmaktadır.

Bugün kumbaralar ve tedarikçiler olmak üzere iki ana kanalla CAA'lar cam kırığı üretim tesislerine ulaşmakta ve FHCK haline getirilmektedir [17].

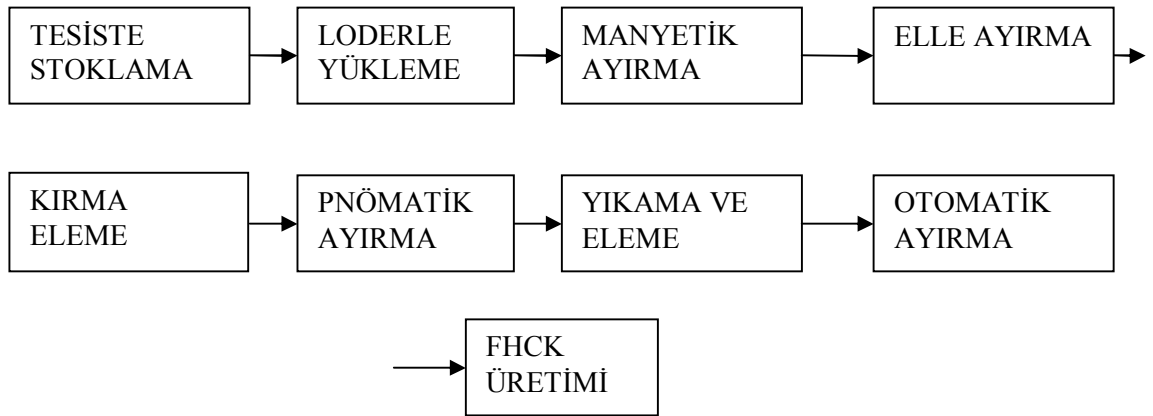
### 3.4.1. FHCK hazırlama süreci

Cam Şişe kumbaraları vasıtasıyla CAA'nın malzeme bilgisi olarak geri dönüşümü, eksiksiz ifade edilmesi gerekirse birbiri ardına gerçekleştirilen geri kazanım, yeniden üretim ve tüketim aşamalarından oluşan bir döngüdür. Bu döngüdeki yeniden üretim ve tüketim aşamaları döngünün tamamlanması için zorunlu olan ancak geri dönüşümün asli faaliyeti dışında kalan aşamalıdır [18]. Faaliyet kapsamında olan geri kazanımı meydana getiren kaldırım kenarı toplama ve işleme için gerçekleştirilen işlemlerin akışı ile ilgili bilgiler Şekil 3. 2 ve Şekil 3.3' te gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Kaldırım kenarı toplama (Kumbara Sistemi) [18]

### 3.4.2. FHCK üretim süreci



Şekil 3.3: İşletme aşaması [18]

#### **3.4.2.1. Stoklama ve besleme**

Cam atıklar açık stoklama alanından loderle taşınır. 10 tonluk besleme bandına doldurulur. Buradan ayıklama bandına geçen CAA'lar burada elle büyük hacimli kirliliklerden arındırılırlar.

#### **3.4.2.2. Manyetik ayırma**

CAA'ları içindeki demir bileşikleri burada uzaklaştırılır. Ayıklama bandının üzerine yerleştirilmiş olan manyetik ayırıcı ile metal atıklar % 75–80 oranında ayıklanır.

#### **3.4.2.3. Kırma eleme**

Genelde çekiçli kırıcılar kullanılmaktadır ve 10–25 mm aralığında cam kırıkları elde edilir. Kırıcıdan çıkan ürünler titreşimli elekte elenir ve daha küçük boyutlar ayrılır bunlar uygun kalitede iseler fırına verilir. Kalite düşükse çöpe atılır.

#### **3.4.2.4. Pnömatik ayırma**

Cam kırıkları içindeki kağıt parçaları gibi hafif kirlilikleri uzaklaştırabilmek amacıyla uygulanır.

#### **3.4.2.5. Yıkama**

Cam atıklar kumbaralardan, çöp toplama sahalarından, tedarikçilerden geldiğinden yeterince temiz olmamaktadır. Burada yıkanarak temizlenmektedirler. Cam bu işlemlerden geçirildikten sonra FHCK halinde cam şişe ve kavanoz üretim tesislerine gönderilerek fırınlarda hammaddeye karıştırır ve üretime girer.

### **3.5. FHCK Üretim Tesisinde Arıtma Tesisi**

Proses atıksuyu yıkama eleme işlemleri sırasında oluşmakta ve saatte 5 m<sup>3</sup>/h proses amaçlı su kullanılmaktadır.

Tesiste prosesten kaynaklanan atıksular fiziksel ve kimyasal arıtmadan geçtikten sonra kapalı devre olarak tekrar proseste kullanılmaktadır [15].

### **3.5.1. Arıtma tesisi ekipmanları**

#### **3.5.1.1. Izgara**

Su içerisinde bulunan kaba malzemelerin pompa, boru, ve teçhizata zara vermemesi; diğerk arıtma kısımlarına gelen yükün hafifletilmesi veya yüzücü kaba maddelerin sudan ayrılması gibi amaçlarla ızgaralar kullanılır. Izgara yapıları çıbuk aralıklarına göre ince ve kaba ızgaralar; temizleme şekline göre elle veya mekanik yolla temizlenen ızgaralar olarak ayrılır [19].

Çalışılan tesiste 1 adet çubuklu, ince ızgara kullanılmaktadır.

#### **3.5.1.2. Ön çökeltme havuzu**

Çökeltme işlemleri, sudan daha yoğun olan AKM'lerin veya kimyasal ve biyolojik işlemlerle çökebilir hale getirilen katı maddelerin yer çekimi etkisiyle çökeltilmesi suretiyle sudan ayrılmasıdır. Böylece kirleticiler çökebilir katı maddeler halinde çökeltilmesi halinde sudan ayrılmasıdır.

Kendiliğinden çökebilen AKM'lerin giderilmesi için ön çökeltim havuzunda; kimyasal pıhtılaştırma ve yumaklaştırma kullanıldığında oluşan yumakların çökeltilmesi kimyasal çökeltim havuzlarında sağlanır. Çökeltmede amaç, katı maddeleri yeterince uzaklaştırılmış bir arıtılmış atık su ve kolayca işlenebilecek kadar yüksek katı madde konsantrasyonuna sahip bir arıtma çamuru elde etmektir. Çökeltim havuzlarında, yüzeydeki köpük ve tabandaki çamur birikintilerinin uzaklaştırılması için uygun sıyırma tertibatı bulunmaktadır [19].

Tesiste 1 adet ön çökeltim havuzu bulunmaktadır. 1 adet merkezi tahrikli sıyırıcı vardır.



### 3.5.1.3. Kimyasal arıtma sistemleri

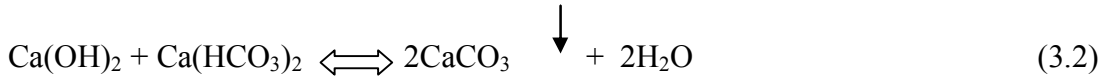
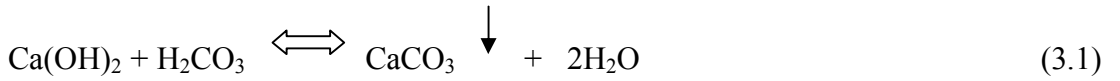
Tesiste Ph kontrolü için nötralizasyon tankı ve Ph kontrol cihazı bulunmaktadır. Ph kontrol cihazı dijitaldir.

Ayrıca 1 adet 7000 lt kapasiteli flokülasyon tankı bulunmaktadır. Flokülasyon veya yavaş karıştırma da destabilize olmuş kolloidler birleşerek yumaklar meydana getirmesi sağlanır.

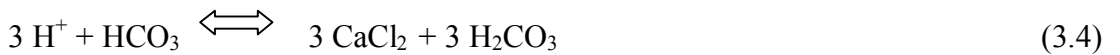
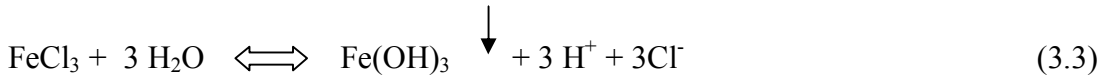
Tesiste, çamur tasfiye ünitesi 1 adet pistonlu çamur pompası ve 2 adet betonarme çamur yataklarından oluşmaktadır.

### 3.5.1.4. Kimyasal arıtmada kullanılan kimyasalların reaksiyonları

Kireç, su ve atık suya ilave edildiğinde, yüksek Ph 'da pozitif yüklü  $\text{CaCO}_3$  oluşmasına sebep olur. Kireç tek başına çöktürücü olarak kullanıldığında aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşmektedir.



Demir (3) Klorür için reaksiyonlar aşağıdaki gibidir.



### 3.5.2. Cam kırığı üretim tesisinde arıtma sisteminin çalışma prensibi

Tesiste fiziksel - kimyasal arıtma uygulanmaktadır.

Prosesten arıtma tesisine gelen atık sular ızgaradan geçerek ön çökeltme havuzunda toplanmaktadır. Ön çökeltme havuzunda zamanla biriken çamurlar sıyırıcı ile sıyırılıp çamur konveyörü ile alınarak çamur havuzuna verilmektedir. Burada biriken suyu alınmış çamurlar tehlikeli atık olmadığından evsel atık düzenli depolama tesislerinde ayrı olarak (tek tür) depolanmaktadır.

Tabandan süzülen su, atıksu toplama havuzuna geçmektedir. Atık su toplama havuzunda toplanan sular atık su pompaları ile kimyasal arıtma ünitesine terfi edilmektedir.

Kimyasal arıtmada, atık suya ilk olarak  $FeCl_3$  dozajı yapılmaktadır. Statik mikserde  $FeCl_3$  ile karıştırılan atık sular yağ kapanına gelmektedir, yağ kapanında yüzer haldeki yağlarından ve çamurundan arınan atık su bir boru ile paket arıtma cihazına geçmektedir.

Paket arıtma cihazında, atık suya kireç ilave edilmekte pH'sı 7-8,5 değerine getirilmektedir. Ph değeri ayarlanan atıksu flokülasyon bölümüne geçmektedir.

Flokülasyon bölümünde atık suya katyonik polielektrolit ilavesi ve yavaş karıştırma ile oluşmuş. Flokların çökebilir büyüklüğe gelmesi sağlanmaktadır.

Su buradan durultma bölümüne geçmekte, durultma bölümünden de temiz su bölümün geçerek su tekrar kullanılarak prosese verilmektedir.

Durultucu tabanındaki çamurlar ise sıyırıcı ile sıyırılarak çamur yataklarına, çamur yataklarından suyu alınarak ön çökeltme havuzuna gönderilmektedir. Çamurlar katı kek halinde uzaklaştırma yapılmaktadır.

## **4. ATIK SU ARITIMINDA İLERİ ARITIM TEKNİKLERİ**

### **4.1. İleri Arıtım Teknikleri**

Su kaynaklarının giderek azalması ve kalitesinin bozulması ileri arıtım yöntemlerini gündeme getirmiştir.

İleri arıtma genelde klasik biyolojik arıtmadan çıkan atık suyun kalitesini daha fazla iyileştirmek için kullanılır.

#### **4.1.1. Dezenfeksiyon**

Hastalık yapan patojen mikroorganizmaların öldürülmesi işlemidir. İyi bir dezenfeksiyon için yeterli temas süresi sağlanmalıdır.

Dezenfektan olarak kullanılan kimyasal maddeler; klor ve bileşikleri, brom, iyot, ozon, fenol ve fenolik bileşikler, alkoller, ağır metaller ve tuzları, boyalar, sabunlar, sentetik maddeler, hidrojen peroksit ve çeşitli asitler ve alkalilerdir.

#### **4.1.2. Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon işlemi, klasik arıtma ile arıtılması güç olan ve zehirlilik, renk, koku kirliliği yaratan kimyasal maddelerin adsorplayıcı bir katı madde yüzeyinde kimyasal ve fiziksel bağlarla tutunmasıdır. Bazı durumlarda istenen bir çıkış suyu kalitesinin sağlanabilmesi için; biyolojik ve/veya kimyasal arıtmadan çıkan su, bir aktif karbon ortamından geçirilerek suda kalan kirletici maddeler giderilebilir.

### **4.1.3. İyon değişimi**

Özel durumlarda endüstriyel atıksu arıtımında ve endüstriyel proses sularının hazırlanmasında kullanılan metoddur.

Sistemin prensibi, su veya atıksu bünyesindeki istenmeyen anyon veya katyonların uygun bir anyon veya katyon tipi iyon değiştirici kolonda tutulmasıdır. İyon değişimi sağlayan maddeler; aliminyum silikatlar, zeolit, sentetik reçineler ve sülfonlanmış karbon maddelerdir.

### **4.1.4. Ters ozmoz metodu**

Özellikle tatlı su kaynaklarının sınırlı olduğu yerlerde deniz suyundan içme suyu temininde, atıksuyun yeniden kullanılabilmesini sağlamak ve/veya yüksek kalitede su elde etmek ve kirlenme kontrolü gibi amaçlarla çoğunlukla endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan bir metoddur.

Ters ozmozda; birinde tatlı su diğerinde arıtılacak atıksu bulunan iki hazne yarı geçirgen sentetik bir membran ile birbirinden ayrılmıştır. Arıtılacak atıksuda ki çözünmüş tuzların neden olduğu ozmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulamak suretiyle, suyun geçirgen membrandan tatlı su haznesine geçişi sağlanır.

### **4.1.5. Ultrafiltrasyon metodu**

Ultrafiltrasyon işlemleri yarı geçirgen membranların kullanıldığı basınçlı membran filtrasyon metodudur. Ters osmoz işlemine göre daha düşük bir basınç uygulanır [19].

### **4.1.6. Fotooksidasyon**

Fotooksidasyon, ışık veya başka tür radyant enerji kaynağı kullanılarak kimyasal maddeleri okside etme yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Fotooksidasyonda amaç hidroksil radikali oluşturarak organik maddeyi parçalamaktır. Hidroksil radikali, eğer

bileşik halkalı bir yapıya sahipse halkanın açılmasını sağlayarak organik maddenin parçalanmasına sebep olmaktadır.

Fotooksidasyon, homojen ve heterojen fotoliz olarak ikiye ayrılmaktadır. Homojen fotolizde 200-290 nm dalga boyunda UV ışığı ve direk olarak hidrojen peroksit ya da ozon kullanılarak hidroksil radikali üretilir. Heterojen fotokatalizde ise hidroksil radikali titanyum dioksit yarı iletkeninin üzerinde ve 320-400 nm dalga boyları arasında UV ışınları kullanılarak üretilmektedir [20].

#### **4.1.7. Biyosorpsiyon**

Sularda yaşayan bazı mikroorganizma türleri (bakteri, mantar ve algler gibi) ağır metalleri bünyelerinde adsorplayabilirler. Bunlar küçük boyutları, yüksek yüzey alanı/hacim oranları sayesinde büyük oranda metali bünyelerine alabilirler. Mikroorganizmaların bu özelliklerinden yararlanılarak ağır metal içeren atıksuların arıtımında geliştirilen bu teknolojiye biyosorpsiyon denmiştir. Kompleks bir mekanizmaya sahiptir. Bu yüzden uygulaması çok kolay değildir. Düşük konsantrasyonlarda ağır metal içeren atıksular için diğer klasik giderim yöntemlerine göre daha avantajlıdır [22].

#### **4.2. Adsorpsiyon**

Genel olarak adsorpsiyon bir yüzey ve ara kesit üzerinde madde birikimi ve derişiminin arttırılması veya gaz fazında çözünmüş halde bulunan maddelerin katı bir yüzey üzerinde kimyasal ve fiziksel kuvvetlerle tutunmaları işlemidir. Adsorpsiyon, adsorbent katı yüzeyinde maddenin toplanması işlemi olurken, absorpsiyon, adsorbent katı içinde toplanacak maddenin geçişi olarak tanımlanır [21].

Adsorplanan maddeye adsorbat ya da adsorplanmış madde, ona destek olan alttaki maddeye de adsorbent, adsorplayıcı veya substrat denilmektedir. Adsorpsiyunun tersi desorpsiyondur. İyi bir adsorbentin temel özelliği birim kütle başına geniş yüzey alanına sahip olmasıdır. Adsorpsiyon işleminin ilerleyişi adsorbat ve adsorbent,

etkileşimine ve oluşturdukları sistemin özelliklerine bağlı olmaktadır. Farklı kimyasal yapıdaki maddeler farklı adsorpsiyon özellikleri göstermektedirler.

Adsorpsiyon olayı maddenin sınır yüzeyinde moleküller arasındaki kuvvetlerin denkleşmemiş olmasından ileri gelmektedir. Katı yüzeyinde adsorpsiyon söz konusu olduğunda olay şöyle açıklanabilir; Katı örgüsü içinde bulunan iyonlar çekim kuvvetlerince dengelenmiştir. Ancak katı yüzeyindeki atomların dengelenmemiş kuvvetleri çözültideki maddeleri katı yüzeyine çekmekte ve böylece yüzey kuvvetleri dengelenmiş olmaktadır. Bu şekilde çözültideki maddelerin katı yüzeyinde adsorplanması gerçekleşmiş olmaktadır [22].

İçme suyu ve atıksu arıtımında önemli rol oynayan katı-sıvı adsorpsiyonu, çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bunlar;

- İstenmeyen tat ve kokuların uzaklaştırılması,
- İnsektisit, bakterisit vb. pestisitler biyolojik arıtma sistemlerinde girişim meydana getirebilirler ve arıtılmadan tesisten çıkarlar. Bu gibi maddelerin alıcı sulara gitmemesi için üçüncül arıtma olarak,
- Küçük miktarda toksik bileşiklerin ( fenol vb.) sudan uzaklaştırılması,
- Endüstriyel atıklarda bulunan kalıcı organik maddeler ve renk giderilmesi,
- Nitro ve kloro bileşikleri gibi özel organik maddelerin uzaklaştırılması,
- Toplam organik karbon ve klor ihtiyacının azaltılması,
- Klor giderme,

sıralanabilir [23].

#### **4.2.1. Adsorpsiyon Türleri**

Gaz, Sıvı veya herhangi bir çözültide çözülmüş katı maddelere ait molekül, atom veya iyonların katı maddenin yüzeyinde toplanması olarak tanımlanan adsorpsiyon işlemi fiziksel veya kimyasal olarak gerçekleşir.

Adsorbent ile adsorplanan arasındaki bağ dipol - dipol etkileşmesi ve Van der Waals kuvvetleri sonucunda oluşuyorsa adsorpsiyon fiziksel adsorpsiyondur. Adsorbent ile adsorplanan arasındaki elektron aktarımı ile gerçekleşen, yani kimyasal bağların oluştuğu adsorpsiyon ise kimyasal adsorpsiyondur.

Fiziksel adsorpsiyon, karışımlardaki bileşenlerin bir fazdan diğer faza aktarılmasında; adsorbentlerin yüzey alanını, gözenek büyüklüğünü, gözeneklerin dağılımını belirlemede ve heterojen katalizli tepkimelerde önem kazanır. Fiziksel adsorpsiyon ısısı küçük olup, çoğu gazlarda sıvılaşıma ısı kadardır. Bu tür adsorpsiyonda, adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır. Fiziksel adsorpsiyon genellikle çok hızlı olduğundan gözlenen hız, adsorpsiyon süreci yerine moleküllerin yüzeye aktarım hızıyla kontrol edilir. Fiziksel adsorpsiyonda adsorplanan gaz miktarı sıcaklık arttıkça azalır. Kritik sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda fiziksel adsorpsiyon önemli değildir.

Kimyasal adsorpsiyonda, adsorbent ve adsorbat arasında kimyasal bağlanma olur. Bu genellikle kovalent bağdır. Adsorpsiyon tek tabakalıdır yüzeyde moleküllerin bağlanacağı aktif noktalar bitince bağlanma durur. Bu esnada ortaya çıkan aktivasyon enerjisi kcal/mol'dür. Kimyasal adsorpsiyon spesifik olup fiziksel adsorpsiyondaki kuvvetlerden daha etkili olu kuvvetler tarafından gerçekleşir. Kimyasal adsorpsiyon genellikle tersinir değildir. Fakat yüksek sıcaklıklara ısıtma ile molekül ayrılması sağlanır. Kimyasal adsorpsiyonu içeren işlemler çevre mühendisliğinde çok önemli değildir [24].

Değişim adsorpsiyonu, adsorbat ile yüzey arasındaki çekim ile olmaktadır. İyon değişimi bu sınıfa dahil edilir. Burada, zıt elektrik yüklerine sahip olan adsorbat ile adsorbent yüzeyinin birbirlerini çekmesi önem kazanmaktadır. Değişim adsorpsiyonunda, elektrik yükü fazla olan iyonlar ve küçük çaplı iyonlar daha iyi adsorbe olurlar. Adsorpsiyonun hızı ve miktarı adsorbent yüzeyinin bir fonksiyonudur. Çözeltinin adsorpsiyonu, adsorbe olacak maddenin doğasına ve çözelti içerisindeki konsantrasyonuna bağlıdır. Sıcaklık da önemli bir faktördür.

Bir de biyolojik sistemlerde adsorpsiyon, biyosorpsiyon da denilen sistemler vardır. Bu sistemlerde bir taşıyıcı üzerindeki mikroorganizmalar çözültideki anyon ve kationların alıkonması veya biyolojik parçalanmasının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Biyolojik sistemlerde adsorpsiyonda, bir inert madde üzerinde mikroorganizmanın taşınmasına bağlı olarak hem fiziksel adsorpsiyon hem de biyolojik degradasyonu birlikte gerçekleştirebilmektedir. Bu sistemlerde kullanılan mikroorganizmalar zaman zaman aktivitesini de yitirmiş olabilmektedir [25].

#### 4.2.2. Adsorpsiyon izotermi

Adsorplanabilen madde miktarı, bu maddenin eriyik içindeki konsantrasyonunun ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Genel olarak adsorplanan madde miktarı, sabit sıcaklıkta konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak tayin edilir. Ortaya çıkan fonksiyona adsorpsiyon izotermi denir [26].

Adsorpsiyon izotermi olarak bilinen bağıntılarla, adsorpsiyon dengesi ifade edilebilir. Çözültide kalan derişim “c” ile, adsorplayıcının birim ağırlığı başına tuttuğu madde miktarı “q” arasındaki ilişkiler adsorpsiyon izotermi olarak tanımlanır. İzotermilerin matematiksel olarak uygun formüllerle ifadesi için başlıca üç yaklaşım geliştirilmiştir. Bunlar: Langmuir İzotermi, Freundlich İzotermi ve Bet İzotermi’dir.

##### 4.2.2.1. Langmuir izotermi

Langmuir adsorpsiyon izotermi ampiriktir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$q_e = x/m$  : Birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (g/g),

a: Birim adsorplayıcı başına tek sıralı filmde tutulan mol sayısı,

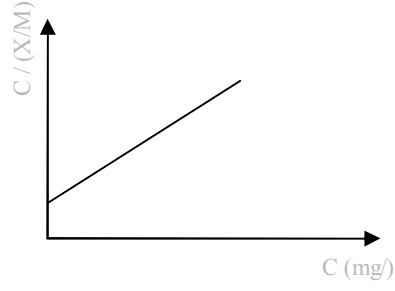
b: Sabit,

c: Adsorpsiyondan sonra çözültide kalan maddenin derişimi (mg/l)

olmak üzere;

$$q_e = x/m = a.b.c / (1 + b.c) \quad (4.1)$$





Şekil 4.1: Langmuir adsorpsiyon izoterminin grafiksel ifadesi [23]

Denklem lineer hale getirilirse,

$$c/q_e = c / (x/m) = 1/a.b + c/a \quad (4.2)$$

#### 4.2.2.2. Freundlich izotermi

$q_e = x/m$  : Birim adsorbent ağırlığı başına adsorblanan madde miktarı (g/g),

$m$ : Adsorbent maddenin ağırlığı,

$x$ : Adsorplanan madde miktarı,

$K_f$ : Freundlich sabiti,

$n$ : sabit ( $n > 1$ ),

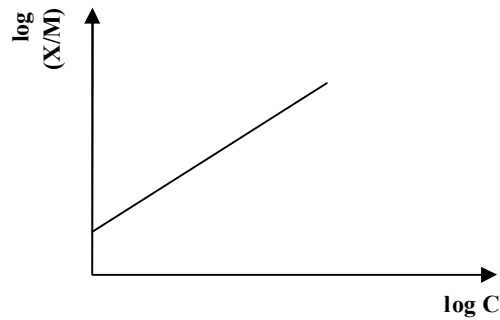
$c$ : Adsorplanan maddenin çözeltideki kalıntı derişimi (mg/l),

olmak üzere;

$$q_e = x/m = K_f.c^{1/n} \quad (4.3)$$

Bağıntı lineer hale getirilirse;

$$\text{Log } x/m = \text{log } K_f + (1/n) \text{ log } c \quad (4.4)$$



Şekil 4.2: Freundlich izoterminin grafiksel ifadesi [23]

#### 4.2.2.3. Bet izotermi

Bet izoterminin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

B, Q<sub>0</sub>: Sabitler,

B: Yüzey ile enerji alışverişi ile ilgili bir sabit,

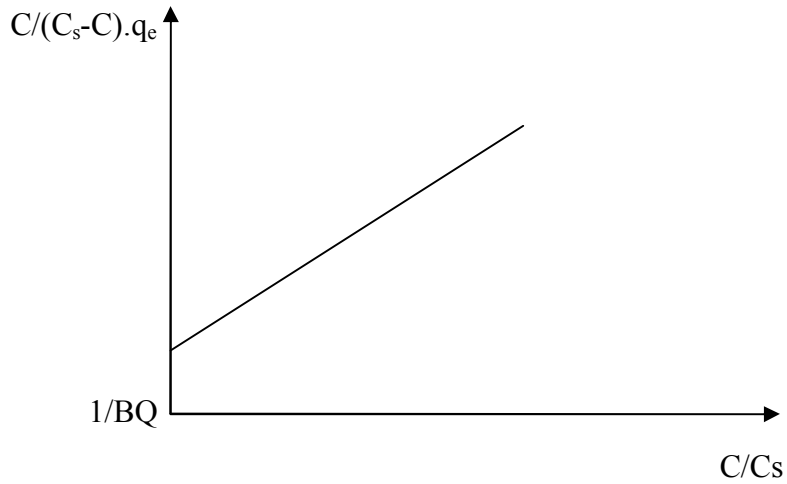
olmak üzere;

$$q_e = x/m = B \cdot c \cdot Q_0 / (c_s - c) \cdot [1 + (B-1) \cdot (c/c_s)], \quad (4.5)$$

bu bağıntı lineerize edilirse,

$$c / (c_s - c) \cdot q_e = 1 / BQ_0 + [(B-1) / BQ_0] \cdot (c - c_s) \quad (4.6)$$

Bet izoterminin lineer hali grafikte görülmektedir. B ve Q sabitleri şekil yardımıyla hesaplanabilir [22].



Şekil 4.3: Bet izoterminin grafiksel ifadesi [22]

### **4.2.3. Adsorbent çeşitleri**

#### **4.2.3.1. Doğal adsorbentler**

##### **4.2.3.1.1. Kitosan**

Kitosanın hammaddesi olan kitin, biyosorbentler arasında, selülozdan sonra en bol bulunan ikinci doğal polimerdir. Selülozun moleküler yapısına benzerlik göstermesine rağmen kitosan, kitinden daha önemlidir. Ağır metaller için etkin bir tutucu olması nedeniyle, kitosan araştırmalarda giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Kitosan, kitinin alkali N- deasetilasyonu ile üretilir. Ucuz adsorbentlere duyulan ihtiyaç, atık bertarafının fazlalaşan sorunları, sentetik reçinelerin artan fiyatları, kitosan atıksu arıtımı için etkili malzemelerden biri haline getirmiştir.

##### **4.2.3.1.2. Zeolit**

Temelde zeolitler, ortaklanmış oksijen atomları ile birbirine bağlanmış tetrahedral moleküllerden oluşmuş doğal kristal aminosilikatlardır. Doğal zeolitler, strosensiyum ve sezyum gibi istenmeyen ağır metallerin uzaklaştırılmasında iyon değiştirme özellikleri ile dikkat çekmişlerdir. Bu özellik zeolitleri atıksu arıtımında tercih edilir duruma getirmektedir. Ayrıca zeolitlerin piyasa değeri oldukça düşüktür [26].

##### **4.2.3.1.3. Kil**

Zeolite benzer, kilin adsorpsiyon kapasiteleri ince tane yapılı silikat minerallerinde bulunan negatif yükten ileri gelmektedir. Bu negatif yük pozitif yüklü türlerin adsorpsiyonu ile nötralize olur. Killerin  $800 \text{ m}^2/\text{g}$  a ulaşan geniş yüzey alanı da yüksek adsorpsiyon kapasitesine katkıda bulunur. Kili 3 temel sınıfta toplayabiliriz; kaolinit, micas ve sabun kili. Sabun killeri en küçük kristallere, en geniş yüzey alanına ve yüksek sorpsiyon kapasitesine sahip oldukları düşünülür [24].

#### **4.2.3.1.4. Selüloz**

Selüloz yenilebilir doğal polimer arasında en bol olanıdır ve üç adet reaktif hidroksil grubu içerir. Çin’ de krom gideriminde küresel selüloz kullanımı araştırılmış ve pH=6’da 73. 46 mg Cr<sup>+3</sup> / g adsorplama kapasitesi sağlanmıştır [ 26].

#### **4.2.3.1.5. Turba**

Turba, farklı metaller için adsorplama kapasitesine sahip bolca bulunan ve ucuz olan bir maddedir. Turba ayrılmış durumda organik madde içeren oldukça karmaşık bir maddedir. Turba, lignin ve yüksek oranda selüloz içerir. Bu özelliğinden dolayı turba yüksek katyon değiştirme kapasitesine sahip olmaya meyillidir ve ağır metallerin giderimi için etkili bir adsorbenttir.

#### **4.2.3.2. Endüstriyel atıklar**

Birçok endüstriyel faaliyet olarak oluşan atık çamurlar, uçucu küller lastik atıkları, petrol atıkları, metal sanayiden kaynaklanan metal tozları gibi bir çok atık oluşmakta ve bunlar ağır metal gideriminde kullanılmaktadır.

Linyit ve taş kömürünün yanmasında ortaya çıkan uçucu küller yapısındaki minerallerden dolayı adsorpsiyon kapasitesi oldukça yüksektir. Atıksu arıtımı için adsorbent olarak özellikle dikkate alınması gerekir. Uçucu küllerin yaklaşık % 40-50’ si SiO<sub>2</sub>, % 20’ si Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve % 5-12’si ise Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’ den oluşmaktadır. Aynı zamanda uçucu külün % 12-30’luk bir kısmını karbon ve diğer inorganik mineralleri içermektedir.

Petrol rafineri endüstrisi yüksek miktarlarda karbonlu atık kalıntısını yan ürün olarak çevreye bırakmaktadır. Bu atıklardan; poliaromatik ve petrol ziftinin karışımı olan zift boncuklarının üretiminde bir metod geliştirilmiştir. Bu boncuklar girişte 400 °C sıcaklık altında oksitlendikten sonra 800 °C sıcaklıkta hava- CO<sub>2</sub> ile aktifleştirilmişlerdir. Benzer bir çalışmada, ham Irak petrolü kullanılmıştır. Atık önce 100 °C sıcaklıkta H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile muamele edildikten sonra 400 °C sıcaklıkta karbonize

edilmiş ve daha sonrası oluşan kömür, 900 °C' de buharla aktifleştirilmiştir. Elde edilen karbonun adsorbent olarak kullanılabilceği ifade edilmiştir.

Atık durumunda araba lastikleri yüksek seviyede karbon içerdiklerinden dolayı bir adsorbent olarak kullanılabilceği birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir [24].

#### **4.2.3.3. Tarımsal atıklar**

Ağaç kabuğu kereste endüstrisinin bir yan ürünü olarak elde edilir. Ağaç kabuğu tanin muhtevasının yüksek olmasından dolayı etkilidir. Tanin yapısında polihidroksifenol grupları mevcut olup, bu gruplar adsorpsiyon grubunda hareketli türler olarak düşünülür. Aslında burada bir iyon değişim işlemi söz konusudur. Metal kationları ile fenolik hidroksi grupları yer değiştirmektedir [24].

Ksantat, pirinç kabuğu ve Hindistan cevizi kabuğundan elde edilen aktif karbon gibi adsorbentlerle daha az çalışılmıştır. Ksantat, ucuz adsorbentlerin en etkili olanlarından biridir. Ağır metalleri tutmada etkili olan sülfür bileşikleri içerir [27].

#### **4.2.3.4. Aktif karbon**

Aktif karbon endüstride çok yaygın olarak kullanılan adsorbentlerden biridir. Onun kullanımı renk giderimi, hava kirliliğini arıtma, çözelti geri kazanım metal madeni uygulamaları ve atık arıtımı gibi birçok alanda düşünülebilir. Birçok su otoritesi aktif karbonu kimyasal arıtım prosesinin bir parçası olarak kullanır. Toz aktif karbon ve granül aktif karbon tat, koku ve rengi düzenlemek için kullanılır.

Aktif karbon; turba, linyit, kömür, mangal kömürü ve fındık ceviz gibi maddelerin kabuklarında çeşitli işlemler sonucu hazırlanır [24].

### **4.3. Adsorpsiyon Yöntemi İle Yapılan Çalışmalar**

Atıksulardan kirleticilerin uzaklaştırılmasında adsorpsiyon, yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Yapılan bir çalışmada otomotiv ve diğer metal işleme sanayi atıksularında bulunabilen ve doğada tehdit oluşturan altı farklı ağır metalin poliüre-poliamin reçineleri kullanılarak adsorpsiyonla giderimi araştırılmış, adsorpsiyon izotermi ve kinetikleri incelenmiştir. Endüstriyel atıksulara uygulamada Hyundai Assan'dan alınan atıksuda bulunan Cr, Ni(II) ve Zn(II) iyonlarının TETA ve PEHA reçineleriyle gideriminde sırasıyla Cr için, %75,86 ve %68,96, Ni(II) için %98,34 ve 86,10, Zn(II) için %98,62 ve %98,77 adsorpsiyon verimleri elde edilmiştir [21].

Bir başka çalışmada kitosan kullanılarak kadminyum giderimi incelenmiştir. Kadminyum gideriminde pH= 4.0- 8.3 aralığında adsorpsiyon kapasitesi 593 mg/g kitosan olarak bulunmuştur. Çözeltide bulunan etilen dia min tetra asetik asitin (EDTA) çok kuvvetli kelat yapıcı özelliğ nedeniyle kadminyum iyonlarını bağlayarak giderim verimini azalttığı görülmüştür [27].

Hindistan' da bir endüstriyel atıksudaki bakır'ın giderimi için karışık düşük maliyetli mineral adsorbentler kullanılmıştır.. Uçucu kül, kireç taşı ve çin kömürünün homojen bir karışımı adsorbent olarak kullanılmış olup; pH= 6.5'te %73-95 bakır giderimi gözlenmiş ve sonuçların Freundlich izoterm modeline uygunluk gösterdiği belirlenmiştir [24].

Yapılan bir başka çalışmada ilaç endüstrisinden kaynaklanan kimyasal sentez atık suyunun biyolojik arıtımında toz aktif karbon ilavesinin etkileri üzerinde çalışılmıştır. Performans değerlendirmesi KOİ, oksijen tüketim hızı ölçülen değerler kullanılarak yapılmıştır. Aktif karbon ilavesi ile atıksuda ki zor ayrıştırılan maddeler ve renk önemli ölçüde azaltılmıştır. [29].

## 5. MATERYAL VE METOT

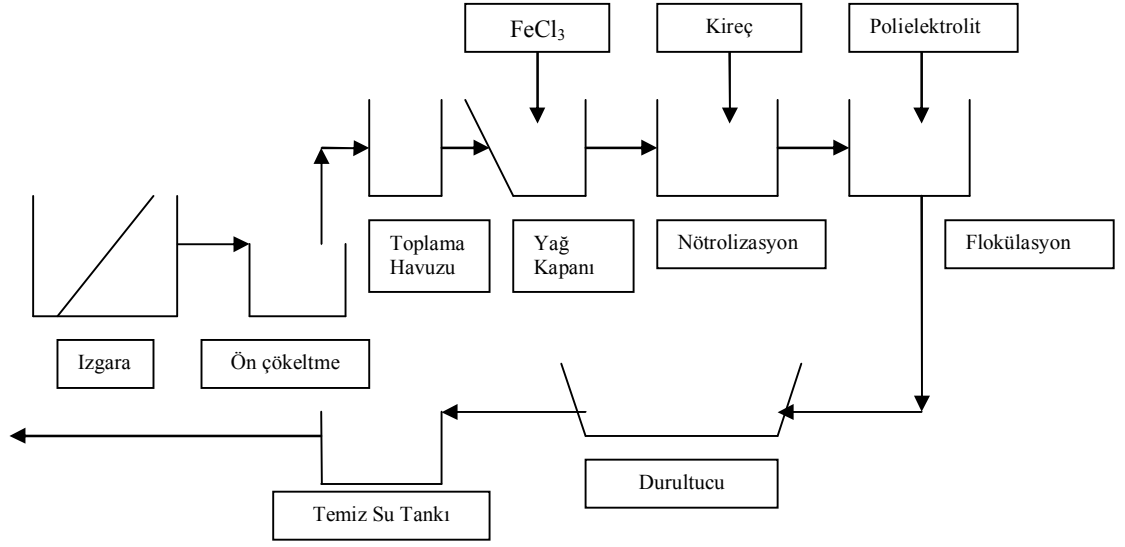
Çalışmada, cam kırığı üretim endüstrisi atık suyunun arıtılabilirliği incelenmiştir. Atık suyun arıtımında ileri arıtma yöntemlerinden, adsorpsiyon yöntemi kullanılmıştır.

### 5.1. Tesis Tanıtımı



Şekil 5.1: Tesisten genel bir görünüş

Çalışmada incelenen tesis 1986 yılında kurulmuş olup toplam 17 işçi ve 1 mühendis çalışmaktadır. 4000 m<sup>2</sup> beton alana sahip tesiste ayıklama, manyetik ayırma, kırma, eleme, pnömatik ayırma ve elemeli yıkama işlemleri sonucu CAA'ndaki katışıklar limitler halinde ayrılarak FHCK halinde cam şişe üretim tesislerine gönderilmektedir (Şekil 5.1). Cam Kırığı üretim tesisinde atık su, elemeli yıkama işlemleri sonucunda oluşmaktadır. Arıtma tesisi şematik olarak Şekil 5. 2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2: Arıtma tesisinin şematik olarak gösterimi

## 5.2. Adsorpsiyon Prosesi Düzenegi Ve Deneysel Prosedür

### 5.2.1. Adsorpsiyon prosesi düzenegi

Yapılan deneylerde Nüve/ ST 402 su banyolu sallayıcı, Hach DRB 200 ısıtıcı ve Hach Lange DR 5000 spektrofotometre cihazları kullanılmıştır. Şekil 5.3, 5.4 ve 5.5'te deneylerde kullanılan cihazlar gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Adsorpsiyon ile giderim için su banyolu çalkalayıcı





Şekil 5.4: Hach Lange DR 5000 spektrofotometre cihazı



Şekil 5.5: Hach DRB 200 ısıtıcı cihazı

### 5.2.2. Deneysel prosedür

Cam kırığı üretim atıksuyunun arıtılabilirliği adsorpsiyon yöntemi ile incelenmiştir. Fabrikada yeşil renkli cam kırığı üretiminden sonra arıtma tesisinin çıkışından 3 litre su alınmış ve adsorpsiyon ile KOİ giderim verimine bakılmıştır. Çalışmada tüm adsorbentler içinde en yüksek verimin alındığı adsorbent belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla zeolit 13X, zeolit 4A, Çankırı bentoniti, mikrokristalin selüloz, doğal kliniptilit, Dowex HCR S-S, Dowex Marathon C reçineler, pomza taşı, zeolit olarak; >200 mesh, 200 mesh, 100 mesh, 80 mesh, 50 mesh, 40 mesh, 16 mesh boyutlu zeolitler ve aktif karbon kullanılmıştır.



Şekil 5.6: Numunelerin süzülme işlemi

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında tüm bu adsorbent maddeler içinde en yüksek verimin alındığı adsorbent belirlenmeye çalışılmıştır. Arıtma tesisinin çıkış suyundan 100' er ml numune alınarak 16 adet 250 ml'lik erlenmayerlere konulmuştur. Bu numunelere yukarıda sayılan her bir adsorbent 1 gr olmak üzere eklenmiş ve ağzuları kapatılarak, 4 saat, 150 rpm hızda su banyolu sallayıcıda karıştırılmışlardır. Daha sonra Şekil 5.6'da görüldüğü gibi süzülerek katı sıvı faz ayrımı sağlanmıştır. Sıvı kısımdan alınan numunelerin KOİ giderim verimine bakılmıştır. Çalışmanın 2. aşamasında ilk aşamada en yüksek verimin alındığı adsorbent olan aktif karbon kullanılarak adsorbent miktarının giderim verimi üzerinde etkisi incelenmiştir. Çıkış suyundan 100' er ml alınarak 250 ml'lik erlenmayerlere 150 rpm hızda ve 4 sa çalkalama süresinde 0,5 – 3 gr aralıklarında aktif karbon ilave edilmiş ve aktif karbon miktarının KOİ giderimine etkisi incelenmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise karıştırma süresinin giderim verimine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla çıkış suyundan 100' er ml alınarak 250 ml'lik erlenmayerlere 150 rpm sabit hızda ikinci aşamada en iyi giderim sonucunu elde ettiğimiz 3 gr aktif karbon miktarı kullanılarak 30–240 dak arası çalkalama sürelerinin etkisine bakılmıştır.

### 5.2.3. Kimyasal oksijen ihtiyacı

KOİ analizleri için LCK 514 ( 100 – 2000 mg/l ) kitleri kullanılmıştır. Kitler birkaç defa çalkalandıktan sonra 2ml sıvı kısımdan numuneler kit içerirse pipet yardımıyla

konulmuştur. Birkaç defa çalkalandıktan sonra Şekil 5.5'te ki ısıtıcıda 150 °C'de 2 saat ısıtılmış ve oda sıcaklığına soğutulduktan sonra Şekil 5.4' te gösterilen spektrofotometrede ölçüm yapılmıştır.

#### 5.2.4. Kullanılan adsorbentler

Yapılan çalışmada alternatif adsorbent olarak zeolitler, çankırı bentoniti, reçine, selüloz, doğal klinoptiolit, aktif karbon, pomza taşı kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan zeolit toz halindedir. Zeolit, Abacı Kimya Ltd' den temin edilmiştir. Kullanılan zeolitin boyutları; 16 mesh= 1,18 µm, 40 mesh=425 µm, 50 mesh=300 µm, 80 mesh= 180 µm, 100 mesh= 150 µm, 200 mesh= 75 µm ve > 200 mesh= < 75 µm'tür. Kullanılan zeolitin (Aqua-Multalite) özellikleri Tablo 5.1' de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Doğal zeolitin (Aqua Multalite) kimyasal bileşimi

Bileşenler	Ağırlık, %
SiO <sub>2</sub>	66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11–13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5–1.1
MgO	0.35–0.60
CaO	1.3–1.6
Na <sub>2</sub> O	3.3–4.3
K <sub>2</sub> O	1.8–2.3
H <sub>2</sub> O	13–14

Ayrıca deneysel çalışmada kullanılan 13X ve 4A zeolitlerin kimyasal yapıları sırasıyla (Na<sub>86</sub>[AlO<sub>2</sub>]<sub>86</sub>(SiO<sub>2</sub>)<sub>106</sub>].xH<sub>2</sub>O ve (Na<sub>15</sub>[AlO<sub>2</sub>]<sub>12</sub>(SiO<sub>2</sub>)<sub>12</sub>].xH<sub>2</sub>O, molekül boyutları ise < 2 µm ve < 5 µm'dir.

Kullanılan Çankırı bentonitinin kimyasal kompozisyonu Tablo 5.2' de gösterildiği gibidir. Yapısı (Si<sub>7.156</sub> Al<sub>0.844</sub>) O<sub>20</sub> (Al<sub>1.356</sub>9Fe<sub>0.460</sub>Mg<sub>0.42660</sub> Ti<sub>0.0609</sub>) [Ca<sub>0.4806</sub>K<sub>0.2975</sub>Na<sub>0379</sub>] (OH)<sub>4</sub>'tür.

Tablo 5.2: Çankırı bentoniti kimyasal kompozisyonu

Kompozisyon	Miktar %
SiO <sub>2</sub>	63.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.45
CaO	1.74
MgO	2.53
Na <sub>2</sub> O	2.00
K <sub>2</sub> O	0.89
TiO	0.79

Çalışmada pomza taşı, mikrokristalin selüloz, doğal klinoptiolit adsorbentleri kullanılmıştır. Karbonhidrat kimyasal yapısına sahip mikrokristalin selülozun yapısı (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>'dir. Klinoptiolit, Manisa –Gördes yöresinden alınmıştır. Kullanılan pomza taşının yoğunluğu 0,75 gr/cm<sup>3</sup>'tür.

Çalışmada kullanılan reçinelerin karakteristik özellikleri Tablo 5.2 ve 5.3' te verilmektedir.

Tablo 5.3: Dowex HCR S/S katyon değiştirici reçinenin özellikleri [30]

Karakteristik	Dowex HCR S/S
Tür	Kuvvetli asit katyon
Matriks	Stiren-DVB, jel
Fonksiyonel grup	Sulfonik asit
Fiziksel form	Uniform partikül boyutu, küresel taneler
Yüzme ağırlığı	800 g L-1
Toplam değişim kapasitesi	Minimum 1.9 eq l-1
Partikül boyutu	0.3-1.2 mm: 90% minimum, <0.3 mm:1% maksimum
Partikül yoğunluğu	1.30 g ml-1
Toplam tane	90 % minimum
İyonik form	Na+

Tablo 5.4: Doweks Marathon C reçinenin özellikleri

<b>Karakteristik</b>	<b>Dowex Marathon C</b>
Tür	Kuvvetli asit kation
Matriks	Stiren-DVB, jel
Fonksiyonel grup	Sulfonik asit
Fiziksel form	Uniform partikül boyutu, küresel taneler
Yüzme ağırlığı	800 g L <sup>-1</sup>
Toplam değişim kapasitesi	Minimum 1.9 eq l <sup>-1</sup>
Partikül boyutu	585 + - 50 mm
Partikül yoğunluğu	1.30 g ml <sup>-1</sup>
Toplam tane	95-100 % minimum
İyonik form	Na+

Çalışmada kullanılan aktif karbonun yüzey alanı 1000 m<sup>2</sup>/g'dir ve 21 µm partikül büyüklüğüne sahiptir.

## 6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 6.1. Atıksu Karakterizasyonu

Cam kırığı üretim tesisinden öncelikle çıkış suyu alınarak karakterizasyonuna bakılmış ve sonuçlar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği göre değerlendirilmiştir. SKKY bize cam endüstrisindeki atıksuların deşarj limitlerini vermektedir. Çıkış suyunun özellikleri Tablo 6.1.'deki gibidir. Tabloda da görüldüğü gibi farklı zamanlarda alınan arıtma tesisi çıkış suyunda KOİ miktarı oldukça yüksek bulunmuş olup çalışmada KOİ giderimi sağlanmaya çalışılmıştır. İleri arıtım yöntemlerinden adsorpsiyon yöntemi 16 adsorbent madde ile kullanılarak KOİ giderim verimi hesaplanmıştır.

Tablo 6.1: Atıksu karakterizasyonu

PARAMETRE	A.T. ÇIKIŞI (mg/l)	A.T. ÇIKIŞI (mg/l)	A.T. ÇIKIŞI (mg/l)	SKKY
KOI	620	632	615	160-250
FLORÜR	0,800	0,879	0,915	30
NİKEL	0,659	0,468	0,259	3
GÜMÜŞ	< 0,04	<0,04	<0,04	1
KURŞUN	< 0,1	<0,1	<0,1	1
SÜLFAT	231	267	200	3000
PH	6,65	6,10	7,22	6-9

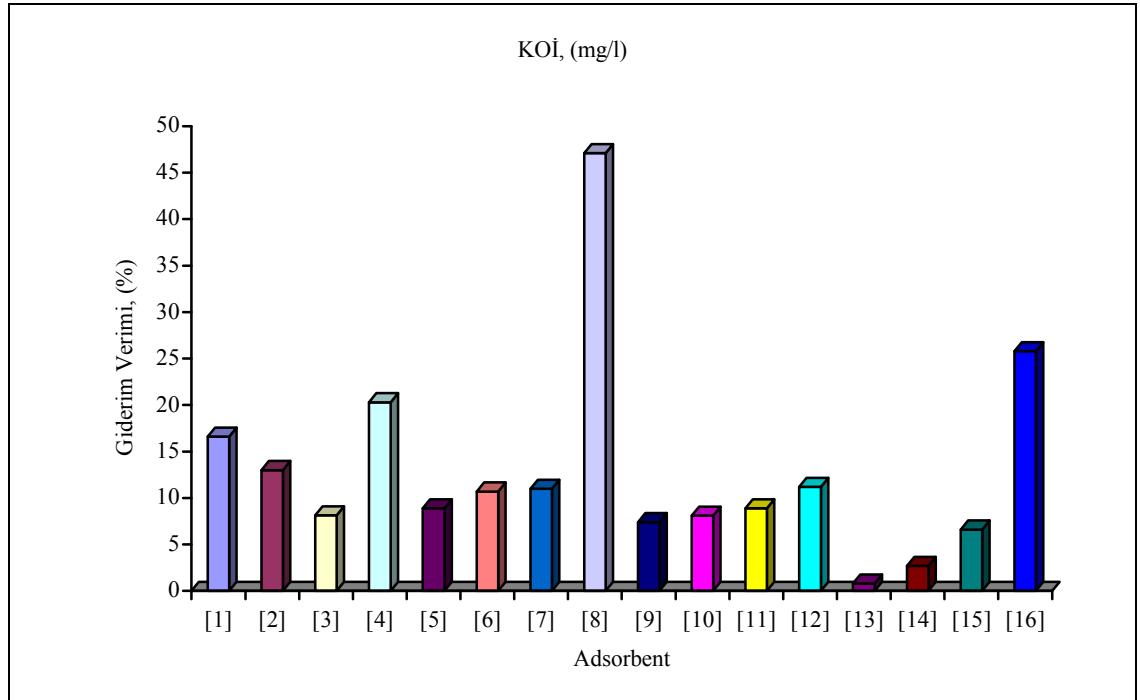
### 6.2. Adsorbent Uygulamaları

Cam kırığı üretim tesisinde arıtma sisteminin çıkışından alınan suyuna adsorpsiyon prosesi uygulanarak arıtılabilirliğine adsorbent etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmada kullanılan adsorbent ve KOİ giderim verimleri Tablo 6.2.'de ve Şekil 6.1'de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 6.2: Adsorbent türüne göre elde edilen giderim verimleri

Adsorbent	Adsorbent Numarası	KOI mg/l	Giderim Verimi (%)
Çıkış Suyu	-	615	-
Zeolit 16 Mesh	[1]	513	16,6
Zeolit 40 Mesh	[2]	535	13
Zeolit 50 Mesh	[3]	565	8,13
Zeolit 80 Mesh	[4]	490	20,3
Zeolit 100 Mesh	[5]	560	8,9
Zeolit 200 Mesh	[6]	549	10,7
Zeolit > 200 Mesh	[7]	547	11
Aktif Karbon	[8]	325	47,1
Marathon C	[9]	569	7,4
HCR S-S	[10]	565	8,1
Mikrokristalin	[11]	560	8,9
Çankırı Bentoniti	[12]	546	11,2
Pomza taşı	[13]	610	0,8
Zeolit 13 X	[14]	598	2,7
Zeolit 4 A	[15]	574	6,6
Kliniptiolit	[16]	456	25,8



Şekil 6.1: KOİ gideriminde adsorbentlerin etkisi

Tablo 6.2 ve Şekil 6.1' de de görüldüğü gibi KOİ giderimi için aktif karbon kullanıldığında en yüksek verim elde edilmiştir.

Yeh ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada sentetik tekstil atıksuyun toz aktif karbon ile arıtılabilirliğini araştırmışlar, önce aktif çamur prosesi ile arıttıkları suya 15 g/l toz

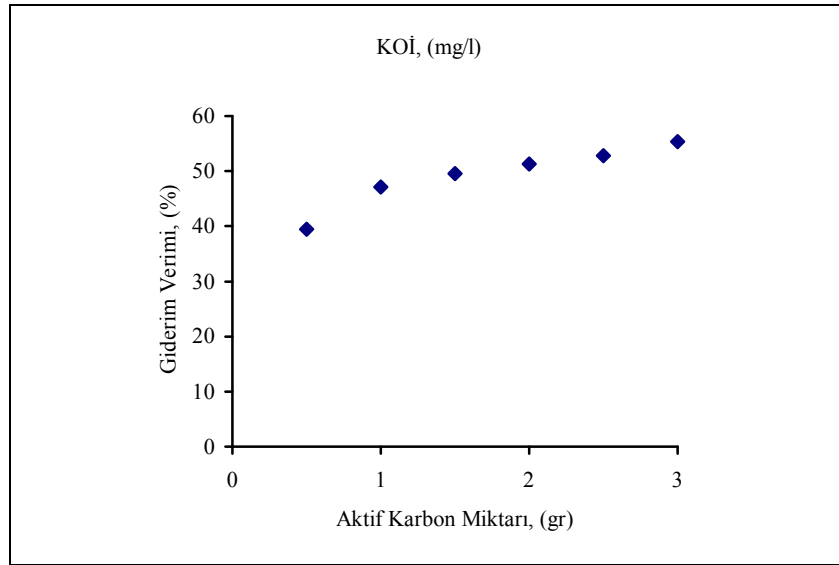
aktif karbon dozlamasıyla %88-98 oranında KOİ giderme verimi elde etmişlerdir [31].

Yapılan çalışma ve örnek çalışma bize aktif karbonun endüstriyel atıksularda KOİ gideriminde etkili bir adsorbent olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın diğer aşamasına aktif karbonla devam edilerek miktarın KOİ giderim verimine etkisi incelenmiştir. 100 ml çıkış suyuna 0,5 - 3 gr aralığında değişen miktarlarda aktif karbon ilave edilmiştir. Elde edilen KOİ giderim verimleri Tablo 6.3 ve Şekil 6.2’de ki gibidir.

Tablo 6.3: Aktif karbon miktarına göre elde edilen KOİ giderim verimleri

Aktif Karbon Miktarı, (gr)	KOİ, (mg/l)	Giderim Verimi, (%)
0,5	372	39,5
1	325	47,1
1,5	310	49,6
2	299	51,3
2,5	290	52,8
3	274	55,4



Şekil 6.2: Aktif karbon miktarına göre elde edilen KOİ giderim verimleri

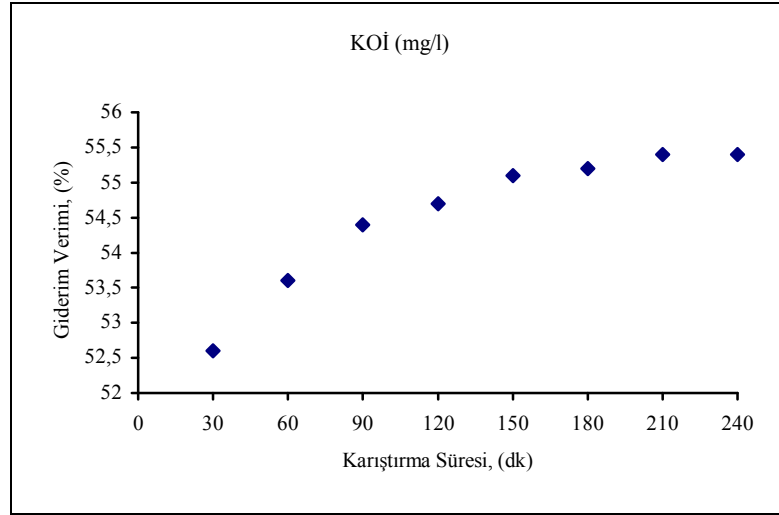
Şekil 6.2 ve Tablo 6.3’ te görüldüğü gibi 3gr aktif karbon kullanıldığında yüksek verim elde edilmiştir. Aktif karbonun yüzey alanı geniş olması nedeniyle 1 gr ile de verim elde edilmektedir. Aktif karbon miktarı arttıkça KOİ giderim verimi artmaktadır.



Çalışmanın 3. ve son aşamasında karıştırma süresinin giderim verimine etkisi incelenmiştir. Sürenin arıtım verimine etkisini araştırmak için daha önce belirlenen optimum deney koşullarında ( 3gr aktif karbon, 150 rpm karıştırma hızı ) yapılan deneylerde 30 -240 dakika arasında değişen zaman aralıklarında numuneler alınarak KOİ giderim verimleri tayin edilmiştir. Sürenin arıtım verimine etkisi Şekil 6.3.'te ve Tablo 6.4'te gösterilmektedir.

Tablo 6.4: Adsorpsiyonla KOİ gideriminde çalkalama süresinin etkisi

Karıştırma Süresi, (dak)	KOİ, (mg/l)	Giderim verimi, (%)
30	291	52,6
60	285	53,6
90	280	54,4
120	278	54,7
150	276	55,1
180	275	55,2
210	274	55,4
240	274	55,4



Şekil 6.3: Adsorpsiyonla KOİ gideriminde çalkalama süresinin etkisi

Tablo 6.4 ve Şekil 6.3'te görüldüğü gibi karıştırma süresi arttıkça aktif karbonun KOİ giderim verimine etkisi artmaktadır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, öncelikle cam üretimi, camın genel yapısı anlatılmış, cam geri dönüşümünde fırına hazır cam kırığı üretiminin önemi ve yararları belirlenmiştir. Hammaddelerin gittikçe tükendiği dünyamızda cam üretiminde cam kırığı ham maddeden ve enerjiden büyük tasarruf sağlamaktadır. Bu nedenle cam geri dönüşümünün önemli derecede değeri artmıştır.

Çalışmada cam kırığı üretim tesisi arıtma sisteminden çıkan suyun adsorpsiyon yöntemiyle arıtılabilirliği incelenmiştir.

Öncelikle atıksuyun karakterizasyonu farklı zamanlarda yapılmış ve parametreler içerisinde KOİ'nin yüksek olduğu görülmüştür. Bu değer SKKY'de Tablo 8 (cam endüstrisi atıksularının deşarj limitleri) ile karşılaştırıldığında da oldukça yüksek bulunmuştur.

Çalışmaya adsorpsiyon prosesi uygulanmış, farklı adsorbentler kullanılarak KOİ giderim veriminin incelenmesi amaçlandırılmıştır. 16 adet adsorbentin kullanıldığı çalışmada % 47 ile yüzey alanı oldukça geniş olan aktif karbon elementi giderim sağlamıştır. % 47 giderim işletme için iyi bir verimdir.

Çalışmaya aktif karbonla devam edilmiş ve adsorbent miktarının ve süresinin etkisi incelenmiştir. Çalkalama sonucunda 3 gr ile % 55,4 verim elde edilmiştir. Aktif karbon miktarı arttıkça KOİ giderim verimi artmaktadır. Yüksek gr ile çalışıldığında daha fazla verim elde edilebilir fakat bu durum ekonomik açıdan uygun değildir.

Çalışmanın son aşamasında 150 rpm hız ve 3 gr aktif karbonla çalışılmış numuneler 30-240 dak arası çalkalanmıştır. Çalkalanma süresi arttıkça KOİ giderim verimi de artmıştır. En iyi giderim 210 dak ile sağlanmıştır 240 dak ile dengeye ulaşılmıştır.

Bu çalışmada atıksu için optimum koşullar 3 gr aktif karbon, 210 dak ve 150 rpm hız olarak belirlenmiştir.

Cam endüstrisi atıksuyu KOİ miktarı belirli bir deşarj değerine sahip olması gereken önemli parametredir. Cam endüstrisi atıksuyunda KOİ için olması gereken değer SKKY tablo 8’de cam sanayi atıksuyunun alıcı ortama deşarj limitleri şeklinde belirtilmiştir. FHCK üretim tesisinde arıtma tesisinden çıkan temiz su tekrar üretimde kullanıldığından ve cam üretimi 1200 °C’lik fırınlarda gerçekleştiğinden atıksu için daha önce yapılan çalışmalara rastlanmamıştır.

Çalışmalar sırasında elde edilen optimum koşullar, tesisin atıksuyuna uygulanarak KOİ’de % 55,4 giderim verimi elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Özcan, M., “ Sıcaklık Algılayıcılarının İncelenmesi, Kalibrasyonu ve Cam Sanayiden Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2004).
- [2] Gürü, M., Yalçın, H., “ Malzeme Bilgisi”, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 450-468, (2006).
- [3] Erol, M., “ Glass, Glass- Ceramic and Sintered Metaterials Produced From Industrial Wasters”, Ph. D. Thesis, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (2006).
- [4] Çorumluoğlu, O., “ Cam Hammaddeleri”, *Şişecam Teknik Bülten*, 1, 3-21, (1998).
- [5] Anonim, Camların Tanımı [online], [http://web.sakarya.edu.tr/~toplano/Camders\\_notu-y.pdf](http://web.sakarya.edu.tr/~toplano/Camders_notu-y.pdf) (Ziyaret Tarihi: 25.02.2009).
- [6] Erkoca, N. , 2003, Cam, Çeşitleri ve Üretim Aşamaları [online], Osman Gazi Üniversitesi, [www.odevarsivi.com](http://www.odevarsivi.com) (Ziyaret Tarihi: 5 Mart 2009).
- [7] Ünal, O., “Cam ve Cam Malzemeler”, [online], Afyon Kocatepe Üniversitesi, [http://www.teknolojikarastirmalar.com/eegitim/yapi\\_malzemesi/icerik/cam.htm#CAM%20TÜRLERİ](http://www.teknolojikarastirmalar.com/eegitim/yapi_malzemesi/icerik/cam.htm#CAM%20TÜRLERİ) (Ziyaret Tarihi: 5 Mart 2009).
- [8] Ayberk, S., “Çevre Kirliliği ve Kontrolü Yöntemleri”, *İzmit*, 1. baskı, 196-198, (2000).
- [9] Hanay, Ö., Koçer, N., “Elazığ Kenti Katı Atıkları Geri Kazanım Potansiyelinin Belirlenmesi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendis Bilim Dergisi*, *Elazığ*, 18 (4), 507-511, ( 2006).
- [10] Özcan, M., “Cam Ambalaj Geri Dönüşümü”, *Cam Ambalaj Geri Dönüşümü Ve Projesi Raporu*, *Şişecam*, Kocaeli, ( 2002).
- [11] Reindl, J., “ Reuse / Recycling Of Glass Cullet For Non – Container Uses”, *USA EPA*, 14-16, 2003
- [12] Onay, T., Erdinçler, A., Kural, C., “Cam Geri Kazanımına Genel Bir Bakış”, *Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu 3*, Gebze, Cilt 2, 727-735, (1999).
- [13] Anonim, “Use of Glass Cullet in Roadway Construction”, [ftp://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/gsd/pdf/yrr\\_feb.pdf](ftp://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/gsd/pdf/yrr_feb.pdf) [online], (Ziyaret Tarihi: 21.03.2009).

- [14] Anonim, Sektör Bilgi Dokümanları, **Cam Kırığı Tesisi**, Çayırova-Gebze (1999).
- [15] Gülhan, M., “ Atık Camların Geri Kazanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (1998).
- [16] Öz, A., “Camın Geri Dönüşüm Süreci ve Çevre”, [online], [www.kocaeliaydinlarocagi.org.tr/Yazi.aspx?ID=32](http://www.kocaeliaydinlarocagi.org.tr/Yazi.aspx?ID=32), 2003. (**Ziyaret Tarihi: 01.04.2009**).
- [17]Özcan, M., “ Cam geri dönüşümünde Eski Bir Kavram: Cam Kırığı”, **Şişe Cam Teknik Bülten**, Cilt 26, 4, 22-23, (1997).
- [18] Anonim, “ Cam Geri Dönüşüm Faaliyeti Ve Sivil Toplum Tipi Kurumsallaşma, **Şişecam Sektör Dökümanları**, (2002).
- [19] Demir, A., Kanat, G., Debik, E., “ Atıksu Arıtımında Fiziksel, Kimyasal Ve Biyolojik Metodlar” , **Yıldız Teknik Üniversitesi Basım- Yayın Merkezi**, 96- 98 (2000).
- [20] Gizir, B., “Nitroaromatik Bileşiklerin Islak Peroksit Ve Elektrokimyasal Yöntemle Oksidasyonlarının Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana (2006).
- [21] Ketizmen, S., “Islak Hava Oksidasyonu ve Adsorpsiyon Yöntemleri İle Selüloz Ağartma Atıksuyunun Arıtılabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, (2008).
- [22] Boysan, F., “Poliüre-Poliamin Reçinesi Kullanılarak Atıksulardaki Ağır Metal Kirliliğinin Adsorpsiyonla Gideriminin İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya (2008)
- [23] Şengül, F.,Küçükgül, Y.E., “Çevre Mühendisliğinde Fiziksel Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler”, **Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını**, 162- 165, İzmir, (1998).
- [24] Gül, T., “Fındık Kabuklarından üretilen Aktif Karbon ile Metal Kaplama Atıksularından Bakır Adsorpsiyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**, Gebze, Kocaeli ( 2001).
- [25] Bektaş, N., Engin, G., “Adsorpsiyon Prosesi ve Kullanılan genel amaçlı izoterm modellerinin incelenmesi”, **Türkiye’ de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu 5**, Çevre Mühendisliği Bölümü, 361-365, Gebze, 11-12 Mayıs (2006).
- [26] Muslu, Y., “Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Temel Prosesler”, **Su Vakfı Yayınları**, Cilt 2, sf , İstanbul, (2002) .
- [27] Alyüz, B., Veli, S., “Low-Cost Adsorbents Used In Heavy Metal Contaminated Waste Water Treatment”, **Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 94-105, (2005).

[28] Jha, I N., Iyengar, L., Rao, S., “Removal Of Cadmium Usin Chitosan”, *J. Enviren Eng.*, 114, 962-974, (1988).

[29] Çeçen, F., Aktaş, Ö., “İlaç Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Aktif Çamura Toz Aktif Karbon İlavesinin Etkisi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 401-408, (2002).

[30] Alyüz, B., Veli, S., “Nikel ve Çinkonun İyon Değiştirici Reçine İle Gideriminde Adsorpsiyon İzotermelerinin Uygulanabilirliği”, *Çevre Sorunları Sempozyum*, Kocaeli, 1066- 1074, 14-17 Mayıs (2008).

[31] Yeh RY, Hung YT, Liu RLH, Chiu HM, Thomas A., “Textile Wastewater Treatment with Activated Sludge and Powdered Activated Carbon”, *International Journal of Environmental Studies*, 59, 607-622 (2002).

## **ÖZGEÇMİŞ**

1982 yılında İstanbul’ da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2001 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden, 2005 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun oldu. 2006 yılından beri Kocaeli Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir. Evlidir.