

CAM SANAYİNDE GELENEKSEL YAKITLAR  
YERİNE DOĞAL GAZ KULLANIMININ ENERJİ  
EKONOMİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

BİLGE ANGIN

MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERSİN  
EKİM-2007

CAM SANAYİNDE GELENEKSEL YAKITLAR YERİNE DOĞAL  
GAZ KULLANIMININ ENERJİ EKONOMİSİ AÇISINDAN  
İNCELENMESİ

BİLGE ANGIN

Mersin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Yusuf ZEREN

MERSİN  
Ekim-2007

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezin oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.

Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Yusuf ZEREN

Jüri Üyesi  
Prof. Dr. Fadime TANER

Jüri Üyesi  
Yrd. Doç. Dr. F. Bülent YILMAZ

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun / / tarih ve / sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mahir TURHAN  
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## ÖZ

Bu tez çalışmasında, Mersin cam sanayinde kullanılan yakıtlar incelenmiştir. Üretim prosesinde kullanılan yakıtların karşılaştırılması yapılmıştır. Paşabahçe Cam sanayi A.Ş. ve Anadolu Cam San. A.Ş. 'den alınan cam fırınlarının yakıt ve üretim bilgileri kullanılarak üretim sisteminin enerji dengesi termodinamik yasalarına göre yapılmış ve kullanılan yakıtlar bakımından kıyaslama yapılmıştır. Ayrıca yakıt kullanım miktarlarına göre işletme yakıt maliyetleri de hesaplanmıştır. Bu amaçla hangi yakıtın işletmeye uygun olduğu tespit edilmiştir.

**Keywords:** Cam, Cam sanayi, Doğal gaz, Fuel oil, Cam fırını

## **ABSTRACT**

In this study, fuels used in Mersin Glass Industry has investigated. A comparison between different fuels used in manufacturing process has been made. For energy balance calculations with respect to thermodynamical rules, fuel and manufactural info has been taken from Paşabahçe Cam sanayi A.Ş and Anadolu Cam San. A.Ş. for furnace and then fuel comparisons has been made. Besides process fuel cost has been calculated according to fuel usage amount. For this purpose which fuel is suitable for process has been determined.

**Keywords:** Glass, Glass industry, Natural gas, Fuel oil, Glass furnace

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımnda bana fikir desteğini esirgemeyen en baőta danıőmanım Prof. Dr. Yusuf ZEREN'e, tezin yazımında bana maddi, manevi pek çok yardımı dokunan arkadaőlarım Kaan Emre ENGİN'e, Osman KARA'ya, Arő. Gör. Suat ÖZER'e Arő. Gör. Ali KARAKUŐ'a, Arő. Gör. M. Mete ÖZBİLEN'e, Arő. Gör. Enes YİĞİT'e teőekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|  | SAYFA |
|--|-------|
| ÖZ   | i     |
| ABSTRACT   | ii    |
| TEŞEKKÜR   | iii   |
| İÇİNDEKİLER  | iv    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ                                    | vi    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                      | viii  |
| SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ                          | ix    |
| <br>   |       |
| 1. GİRİŞ   | 1     |
| <br>   |       |
| 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI                                 | 3     |
| 2.1. CAM VE CAM SANAYİNDE KULLANILAN YAKITLAR        | 3     |
| 2.2. CAM TÜRLERİ                                     | 4     |
| 2.3 CAM ÜRETİMİ                                      | 6     |
| 2.3.1 Harman Hazırlanması / Karışımı                 | 6     |
| 2.3.2 Ergitme / Saflaştırma                          | 7     |
| 2.3.3 Şekillendirme ve Şekillendirme Sonrası         | 9     |
| 2.4 YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ                          | 11    |
| 2.4.1 Yakıtlarda Aranılan Özellikler                 | 11    |
| 2.4.2 Yakıtların Sınıflandırılması                   | 12    |
| 2.4.3 Katı yakıtlar                                  | 13    |
| 2.4.3.1 Kömürler                                     | 13    |
| 2.4.4 Sıvı Yakıtlar                                  | 13    |
| 2.4.4.1 Petrol                                       | 13    |
| 2.4.4.1.2 Petrol türevi yakıtlar ve bazı özellikleri | 13    |
| 2.4.4.1.3 Dizel yakıt (Motorin)                      | 14    |
| 2.4.4.1.4 Fuel oil ve özellikleri                    | 14    |
| 2.4.4.1.4.1 Fuel oil'in sınıflandırılması            | 14    |
| 2.4.5 Gaz Yakıtlar                                   | 15    |
| 2.4.5.1 Doğalgaz                                     | 15    |
| 2.4.5.2 Doğal gazın bazı özellikleri                 | 16    |
| 2.4.6 Yanma Olayları                                 | 18    |
| 2.5 SIVI VE GAZ YAKITLARIN EMNİYETİ                  | 20    |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.6. GAZ YOLU EKİPMANLARININ GÖSTERİMİ               | 22        |
| 2.7 GAZ YOLU EKİPMANLARI                             | 22        |
| 2.7.1 Brülör   | 22        |
| 2.7.2 Küresel Vana                                   | 23        |
| 2.7.3 Kompansatör                                    | 25        |
| 2.7.4 Test Nipeli                                    | 25        |
| 2.7.5 Gaz Filtresi                                   | 26        |
| 2.7.6 Manometre                                      | 26        |
| 2.7.7 Gaz Basınç Regülatörü                          | 26        |
| 2.7.8. Relief Valf (Emniyet tahliye vanası)          | 27        |
| 2.7.9. Tahliye Hatı (Ventil)                         | 27        |
| 2.7.10 Min. Gaz Prosestatı                           | 27        |
| 2.7.11 Maksimum Gaz Prosestatı                       | 27        |
| 2.7.12 Selenoid Valf (Otomatik Emniyet Kapama Valfi) | 28        |
| 2.7.13 Yangın Vanası                                 | 28        |
| 2.8. SIVILAŞTIRILMIŞ DOĞALGAZ                        | 28        |
| <b>3. MATERYAL VE METOT</b>                          | <b>31</b> |
| 3.1 ENERJİ DENGESİ                                   | 31        |
| 3.1.2 Cam Ergitme Enerji Denge Hesapları             | 31        |
| 3.2 YAKIT KULLANIMININ KARŞILAŞTIRILMASI             | 43        |
| 3.2.1 Fuel Oil                                       | 43        |
| 3.2.2. Doğal Gaz                                     | 45        |
| 3.3 KULLANILAN YAKITLARIN FİYAT KARŞILAŞTIRMASI      | 47        |
| 3.4 KULLANILAN YAKITLARIN MALİYET KARŞILAŞTIRMASI    | 47        |
| 3.4.1 Fuel Oil Kullanımı                             | 47        |
| 3.4.2 Doğal Gaz Kullanımı                            | 48        |
| 3.5. BACA GAZI BİLEŞENLERİ VE DERİŞİMLERİ            | 49        |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>                       | <b>50</b> |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>                       | <b>52</b> |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

| ÇİZELGE   | SAYFA |
|---|-------|
| Çizelge 2.1 Bileşimine göre Cam Türleri ve Bileşimleri .....                                    | 6     |
| Çizelge 2.2 Yakıtların Sınıflandırılması .....  | 12    |
| Çizelge 2.3 Rusya'dan İthal Edilen Doğalgazda İstenen Özellikler ve Gerçekleşen Özellikler..... | 16    |
| Çizelge 2.4 Doğal Gaz, Fuel oil, Kömür ve Bazı Özellikleri...                                   | 18    |
| Çizelge 2.5 Fuel Oil ve Hampetrolün Bazı Özellikleri .....                                      | 19    |
| Çizelge 2.6 Küresel Vana Bölümleri.....   | 25    |
| Çizelge 3.1 A Fırınında Kullanılan Aylık Yakıt ve Malzemelerin Miktarları.....                  | 32    |
| Çizelge 3.2 Harman Bileşenlerinin Miktar ve Isı Kapasiteleri (100kg esas alınmıştır.) .....     | 33    |
| Çizelge 3.3 Cam Fırınına Giren Yakıt ve Malzemelerin Isı Kapasiteleri...                        | 34    |
| Çizelge 3.4 Hesaplanan Verilerin Besleme Hızları ve Entalpileri .....                           | 35    |
| Çizelge 3.5 Doğalgaz Kullanımında Fırınından Bir Saatte Kayıp olan Enerji (Paşabahçe) .....     | 36    |
| Çizelge 3.6 A Fırınında Kullanılan Günlük Yakıt ve Malzemelerin Miktarları.....                 | 37    |
| Çizelge 3.7 Harman, Bileşenleri, %'si ve Isı Kapasiteleri.....                                  | 38    |
| Çizelge 3.8 Cam Fırınına Giren Yakıt ve Malzemeler ile Giren Enerjileri                         | 38    |
| Çizelge 3.9 Hesaplanan Verilerin Besleme Hızları ve Entalpileri .....                           | 39    |
| Çizelge 3.10 Fuel Oil Kullanımında Fırınından Bir Saatte Kayıp olan Enerji (Paşabahçe).....     | 40    |
| Çizelge 3.11 Harman Bileşenlerinin Miktar ve Isı Kapasiteleri .....                             | 40    |
| Çizelge 3.12 Hesaplanan Verilerin Besleme Hızları ve Entalpileri.....                           | 41    |
| Çizelge 3.13 Doğalgaz Kullanımında Fırınından Bir Saatte Kayıp olan Enerji (Anadolu Cam).....   | 41    |
| Çizelge 3.14 Hesaplanan Verilerin Akış Hızları ve Entalpileri.....                              | 42    |
| Çizelge 3.15 Fuel Oil Kullanımında Fırınından Bir Saatte Kayıp olan Enerji (Anadolu Cam).....   | 42    |

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 3.16 Aylık Fuel Oil Kullanım Miktarları, Birim Fiyatı, Cam   |    |
| Üretim Miktarı ve Maliyeti (Paşabahçe).....                          | 47 |
| Çizelge 3.17 Aylık Fuel Oil Kullanım Miktarları, Birim Fiyatı, Cam   |    |
| Üretim Miktarı ve Maliyeti (Anadolu Cam).....                        | 48 |
| Çizelge 3.18 Aylık Doğal gaz Kullanım Miktarları, Birim Fiyatı, Cam  |    |
| Üretim Miktarı ve Maliyeti (Paşabahçe).....                          | 48 |
| Çizelge 3.19 Aylık Doğal gaz Kullanım Miktarları, Birim Fiyatı, Cam  |    |
| Üretim Miktarı ve Maliyeti (Anadolu Cam).....                        | 49 |
| Çizelge 4.1 Yakıt Türlerine göre Bir ton Cam Üretim Maliyeti.....    | 50 |
| Çizelge 4.2 Bir Ton Cam Üretimi İçin Harcanan Enerji Miktarları..... | 50 |
| Çizelge 4.3 Yakıt Türlerine Göre Enerji Kayıpları.....               | 51 |

## ŞEKİLLERİN DİZİNİ

| ŞEKİL   | SAYFA |
|---|-------|
| Şekil 2.1 Harmanlama ve Karıştırma İşlemi Akım Şeması .....   | 7     |
| Şekil 2.2 Ergitme İşlemi.....   | 9     |
| Şekil 2.3 Cam Üretim Akım Şeması .....  | 10    |
| Şekil.2.4. Gaz Yolu Armatürleri .....   | 22    |
| Şekil 2.5 Brülör.....   | 23    |
| Şekil 2.6 Küresel Vana.....   | 24    |
| Şekil 2.7 Küresel Vana Teknik Resmi.....  | 24    |
| Şekil 2.8. Dişli Tip Kompansatör.....   | 25    |
| Şekil 2.9. Basınç Regülatörü.....   | 26    |
| Şekil 2.10 Minimum Gaz Prosestatı.....  | 27    |
| Şekil 2.11 Selenoid Valf.....   | 28    |
| Şekil 2.12’de Sıvılaştırılmış Doğal gaz Depolama tankı.....   | 29    |
| Şekil 2.13’de Doğal gazın bir Akiferdeki Depolanması.....   | 30    |
| Şekil 2.14’de Doğal gazın Tuz Yataklarında Depolanması.....   | 30    |
| Şekil 3.1 Cam Fırını Enerji Dengesi Gösterimi.....  | 31    |
| Şekil 3.2 Harman Karışımı.....  | 34    |
| Şekil 3.3 Harman Cam Kırığı İlişkisi.....   | 36    |
| Şekil 3.4 2003–2004 Yılları Arasında Aylık Fuel Oil Kullanım Miktarları<br>(Paşabahçe).....               | 43    |
| Şekil 3.5 2003 Yılı Fuel Oil Aylık Kullanım Miktarları (Anadolu).....                                     | 43    |
| Şekil 3.6 Fuel Oil Kullanımına göre Cam Üretim Miktarlarının Aylara<br>göre Değişimi (Paşabahçe).....     | 44    |
| Şekil 3.7 Fuel Oil Kullanımına göre Cam Üretim Miktarlarının Aylara<br>göre Değişimi (Anadolu).....       | 44    |
| Şekil 3.7 2006 Yılı Doğal Gaz Tüketimi (Paşabahçe).....   | 45    |
| Şekil 3.9 2006 Yılı Doğal Gaz Tüketimi (Anadolu Cam).....   | 45    |
| Şekil 3.10 Doğal gaz Kullanımına göre Cam Üretim Miktarlarının Aylara<br>göre Değişimi (Paşabahçe).....   | 46    |
| Şekil 3.11 Doğal gaz Kullanımına göre Cam Üretim Miktarlarının Aylara<br>göre Değişimi (Anadolu Cam)..... | 46    |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 3.12 Yakıt Fiyatlarının Aylara göre D Değişimi .....   | 47 |
| Şekil 3.13 Baca Gazında Bulunan Maddelerin Derişimlerinin Yakıt<br>Türlerine göre Değişimi(1-Fuel Oil, 2-Doğal gaz)..... | 49 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Sembol</u>       | <u>Birim</u>       | <u>Açıklama</u>                     |
|---------------------|--------------------|-------------------------------------|
| $\dot{m}$           | kg/s               | Kütleli hız                         |
| $C_p$               | kJ/kgK             | Özgöl ısı                           |
| $\nu$               | m <sup>3</sup> /kg | Özgöl hacim                         |
| H                   | kJ/kg              | Entalpi                             |
| Q                   | kW                 | Isı akısı                           |
| Q <sub>kayıp</sub>  | kW                 | Sistemden dışarı atılan ısı miktarı |
| T                   | °C veya K          | Sıcaklık                            |
| T <sub>ref</sub>    | K                  | Referans Sıcaklık                   |
| $m_{giren}$         | kg                 | Sisteme giren kütle miktarı         |
| $m_{çıkan}$         | kg                 | Sistemden çıkan kütle miktarı       |
| m <sub>harman</sub> | kg                 | Harman miktarı                      |
| m <sub>d/g</sub>    | kg                 | Doğal gaz kullanım miktarı          |
| V <sub>b/g</sub>    | m <sup>3</sup>     | Baca gazı miktarı                   |
| V <sub>y/h</sub>    | m <sup>3</sup>     | Yakma havası miktarı                |
| Cp                  | kJ/(kg.K)          | Özgöl Isı                           |

## 1.GİRİŞ

Günümüzde, küreselleşen dünyada enerji kaynaklarının kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Özellikle Türkiye gibi hızla gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacı da giderek artmaktadır. Eskiden beri kullanılan geleneksel yakıtlar; kömür, sıvı yakıtlar (fuel oil, benzin, gaz yağı v.b.), gaz yakıtlar (lpg, doğalgaz, hava gazı, su gazı) dır. Bu yakıtların kullanım şekilleri kendi içlerinde farklılıklar gösterdiği gibi gerek çevreye olan olumsuz etkileri gerekse rezervlerinin giderek azalmasından dolayı alternatif enerji kaynaklarına yönelmek zorunda kalınmıştır.

Yakıtların bu kadar önemli oluşu en verimli şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Yakıtların tarihçesine baktığımızda ilk bulunan yakıt yüzey katmanlarının en üst tabakasında bulunan kömür gibi katı yakıtlardır. Gün geçtikçe ilerleyen teknoloji ve buna bağlı olarak ortaya çıkan daha fazla enerji ihtiyacı, yakıtlarda da daha verimli, başka bir deyişle daha fazla enerji girdisi sağlayan çeşitlere olan eğilimi arttırmıştır. Bu yüzden temin edilimi, taşıma, depolama ve yakama kolaylığı daha iyi olan yakıtlara yönelim artmıştır. Bunlardan en önemlisi kimyasal formülü CH<sub>4</sub> (Metan) olan ve doğalgaz adıyla bilinen fosil yakıttır. Doğalgazın diğer yakıtlar yerine tercih edilmesinin ana nedenlerinden birkaçı şu şekildedir;

- Yanması tam ve temizdir. Hava fazlalık katsayısı uygun tutulursa CO oluşmaz, yanmanın kontrolü gaz yakıt olduğundan daha kolaydır.
- Yakma için ön hazırlama ve depolama gerektirmez.
- Yatırım ve işletme maliyetleri düşüktür çünkü doğal gazın depolanma olmaksızın kullanılabilir ve ayrıca otomatik kontrol kolaylığı nedeniyle daha az personele ihtiyaç olmasıdır.
- Doğalgazın ısı değeri yüksektir, kazan dönüşümleri sırasında kazan kapasite artırımı gerektirmez.
- Kuru bir gazdır, içerisinde H<sub>2</sub>O bulunmaz.
- Yakıtın yanması sonucu uçucu kül ve partikül oluşmaz. Doğal gaz temiz bir yakıt olduğu için içerisinde toz ve partikül ihtiva etmez.

Bu tez çalışmasında, cam sanayinin cam üretim prosesinde ihtiyaç duyduğu

enerji gereksinimini karşılamak için kullandığı ve halen kullanmakta olduğu yakıtların incelenmesi ve doğalgazın geleneksel yakıtlar yerine kullanımının enerji ekonomisi açısından incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. CAM VE CAM ÜRETİMİ

Yakıt kaynaklarının giderek azalmasından dolayı üreticiler değişik yakıtları kullanabilecek farklı yakma sistemlerini kullanmaya yönelmişlerdir. Üreticiler çift yakıt (sıvı – gaz yakıtlar) ile çalışan brülörler kullanmaya başlamışlardır. Kullanıcıların çoğu yakıt türünü serbest değiştirebildikleri yakma sistemlerini günümüzde yaygın olarak kullanmakta ve daha çok yakıt olarak fuel oil veya doğal gazı tercih etmektedirler [1].

Sıvı ve gaz yakıt yakma sistemi kullanılan işletmelerde, kullanılacak yakıt türünün tercihi, mevcut yakıt miktarı, yakıtın birim fiyatı ve yanma verimine bağlıdır ve işletmede üretimin sürekliliğini sağlamak gerekmektedir. [1].

Yakıtlar, sanayide genellikle ısıtmada, üretim işleminde ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Üretimde proses amaçlı yakıt kullanan sektörler daha çok demir-çelik sanayisi ve cam sanayidir. Cam sanayinde yakıtlar cam ergitme fırınlarında kullanılmaktadır. Cam sanayinde cam ergitme işlemi için yakıt olarak daha çok motorin, fuel oil no.6 ve doğal gaz kullanılmaktadır. Cam üretim işlemi yüksek sıcaklık ve ısı gerektiren bir işlem olduğu için ısı değeri yüksek olan yakıtlar tercih edilmektedir. Yıllarca cam üretimi giderek artış göstermiştir. Ayrıca cam üretimin çeşitliliğinin de artması bazı ihtiyaçları beraberinde getirmiştir. Bu ihtiyaçlara karşılık verebilmek için işletmelerde üretim verimliliği sürekli olarak arttırılmaya çalışılmıştır. Bunların sonucunda cam ergitme fırını, baca düzeni, kullanılan yakıtlar ve cam üretiminde kullanılan prosesler sürekli geliştirilmiştir. Bu geliştirmenin amacı enerji verimliliğini daha arttırmak olmuştur [7].

Cam, fiber optik ve paketlenme gibi geniş bir alanda kullanımı olan bir malzeme olup, kum ve diğer minerallerin karıştırılması ve yüksek sıcaklıkta ergimesiyle meydana gelir. Günümüzde çok çeşitli alanlarda kullanılabilen cam ürünleri rahatlıkla elde edilebilmektedir.

Camın avantajları, şeffaf olması, ışığı rahatça geçirebilmesi, diğer malzemelerle etkileşime girmemesi ve de sertliğidir. En önemli dezavantajı ise kırılğan bir yapıya sahip olmasıdır. Camı diğer malzemelerden ayıran özellikleri şu şekildedir;

- Şeffaflık: Cam, ağaç ve metallerin aksine ışığın geçmesine izin verir.
- Zayıf Asitlerin Kimyasal Etkilerine Karşı Direnç: Cam asit ile tepkimeye



girmez. Ağaçlar derişik asit çözeltileriyle çabuk tepkimeye girer ve yapısı bozulur. Metallerin de hemen her tür asidik materyalle tepkimeye girdiği bilinmektedir.

- Atmosferik Etkilere Karşı Direnç: Birçok metal atmosferik etkilere korunabilmesi için yağ ve buna benzer ortamlarda saklanır, böylece paslanmaya karşı önlem alınmış olur. Havalı ortamda ağaçlarda da funguslar üreyerek yapıları bozulmaktadır. Ama cam havanın her türlü etkisine karşı direnç gösterebilmektedir.
- Yeniden Şekil Verilebilme Kolaylığı: Camlar birçok metal gibi yeniden şekil verilebilme özelliğine sahiptir. Ama ağaçlar yeniden şekillendirilemezler.
- Yüksek Sıcaklığa Dayanabilme: Cam yanmaz, yüksek sıcaklığa maruz kaldığında yumuşar. Ağaçlar çok kolay şekilde yanmaktadır. Camlar her ne kadar yanmasalar da, metaller kadar da dayanıklı değillerdir.
- Sıcaklıktaki Normal Değişimlere Karşı Dayanıklılık: Ağaçlar belirli sıcaklık değişimlerinde yanma eğilimi gösterebilir, metaller ise genleşmeye başlar; ama camların genleşme katsayılarının, ısı iletim katsayılarının ve de elektrik iletimlerinin düşük olmasından dolayı normal sıcaklık değişimlerinde herhangi bir değişime uğramazlar.
- Elektrik Dayanımı: Metaller çok iyi iletkenlerdir ve elektrik iletimine karşı düşük direnç gösterirler. Cam elektriğe karşı yüksek direnç göstermektedir. Ağaçlar belirli bir derişimde nem içerdiğinde elektrik iletkenliğine sahip olurlar.

## 2.2. CAM TÜRLERİ

Kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip birçok cam türü vardır. Her biri kimyasal karışımları uygun şekilde düzenlenerek üretilebilir. Bazı ana cam türleri ve bileşenleri Çizelge 2.1’de verilmiştir[2].

- Ticari Cam ( Soda-kireç taşı camı): Günlük olarak kullandığımız, şişe, bardak, kavanoz, pencerelerde kullanılan düz cam gibi ürünler ticari cam ya da soda-kireç taşı camı olarak bilinir ve de toplam üretimin %90’lık kısmını oluşturur. Ticari cam yüksek sıcaklığa, ani ısıl değişimlere ya da kimyasal etkilere karşı dayanıklı değildir. Ani bir sıcaklık değişiminde kolayca çatmaktadır. Ticari camın ana bileşeni kumdur. Kum kendi başına da yüksek sıcaklıkta cam haline dönüştürülebilir

yalnız, bu sıcaklık 1700 °C'dir. Bu yüzden kum içine başka katkı maddeleri eklenerek sıcaklık aşağı çekilmektedir. Sodyum karbonatın ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (Soda külü diye bilinir) eklenmesiyle ve %72'lik Silis ( $\text{SiO}_2$ ) ve %28'lük  $\text{NaCO}_3$  (%14  $\text{Na}_2\text{O}$ ) karışımının meydana getirilmesiyle birlikte erime sıcaklığı 800 °C' ye düşmektedir. Ne yazık ki bu tip cam suda çözünebilir ve de su camı olarak bilinir. Suya daha fazla sağlamlık vermek için kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) ve magnezyum oksit gibi ( $\text{MgO}$ ) kimyasallar gerekmektedir[2].

- Kurşun Cam: Kurşun cam bir hayli refrakter olup, yumuşak yüzeyi ve parlaklığı sayesinde öğütme, kesme ve kazıma işlemleri sonucu özellikle dekoratif amaçlı olarak oldukça geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Kalsiyum oksit yerine kurşun oksit, sodyum oksit'in büyük kısmı ya da tamamı yerine de potasyum oksit kullanılarak bu cam türü elde edilmektedir. Ayrıca bu cam türü yüksek derecede yalıtıcıdır bu yüzden de elektrikli aletlerde de kullanılmaktadır. Yalnız yüksek sıcaklığa ve de ani sıcaklık değişimlerine karşı dayanıksızdır[2].

- Borosilikat Cam: Üçüncü ana grup olan borosilikat cam büyük miktarda silis (%70–80) , borik asit ( %7–13), küçük derişimde alkali (sodyum ve potasyum oksit) ve alüminyum oksit eklenerek elde edilir. Bu tip cam küçük miktarda alkali eklentisine sahiptir ve kimyasal sağlamlığının yüksek olmasının yanı sıra termal şoklara karşı da dirençlidir ( Hızlı ısı değişimlerinde kırılma durumu meydana gelmez.). Sonuç olarak kimya sanayinde, yüksek yoğunluklu aydınlatma ürünlerinde, laboratuvar uygulamalarında, ecza şişelerinde, cam yünü olarak tekstil sanayinde ve plastik desteği olarak da kullanılırlar. Borosilikat ayrıca evlerde pişirme kapları ve de ısı direnci gerektiren yerlerde kullanılırlar[2].

Çizelge 2.1 Bileşimine göre Cam Türleri ve Bileşimleri

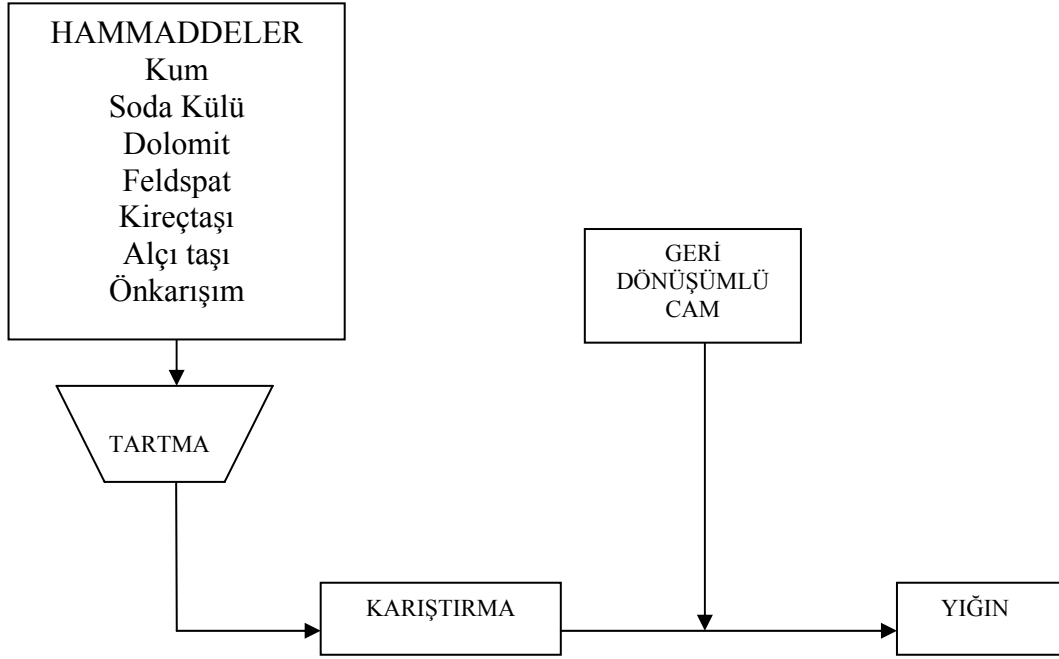
| Cam Türleri            | Kimyasal Bileşimi |                   |                               |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|
|                        |                   | SiO <sub>2</sub>  | Na <sub>2</sub> O             |
| <b>Ticari Cam</b>      | (Silis)           | (Sodyum Oksit)    | (Kalsiyum Oksit)              |
|                        | 72%               | 14%               | 11%                           |
|                        | SiO <sub>2</sub>  | PbO               | K <sub>2</sub> O              |
| <b>Kurşun Cam</b>      | (Silis)           | (Kurşun oksit)    | (Potasyum Oksit)              |
|                        | 56%               | 32%               | 11%                           |
|                        | SiO <sub>2</sub>  | Na <sub>2</sub> O | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| <b>Borosilikat cam</b> | (Silis)           | (Sodyum Oksit)    | (Borik Oksit)                 |
|                        | 81%               | 4%                | 12%                           |

### 2.3. CAM ÜRETİMİ

Cam üretiminde dört ana işlem vardır. Bunlar harman hazırlanması / karışımı, ergitme / saflaştırma, şekillendirme ve şekillendirme sonrasıdır. Bu evrelerin ilk aşaması, camın hammaddelerinin karıştığı işlemdir. Bu aşama her cam çeşidi için benzerdir. Değişken büyük ölçekte olmasına rağmen, ergitme / saflaştırma aşaması şişe cam, düz cam ve elyafı cam (fiberglass) üretiminde benzerdir. Son iki aşama, cam şekillendirme ve cam işleme, diğer aşamalardan biraz farklılıklar göstermektedir[1].

#### 2.3.1 Harman Hazırlanması / Karışımı

Harman hazırlama işlemi, cam hammaddelerinin belirli bir oran ile karıştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Günümüzde cam sanayi otomatik harmanlama sistemlerini kullanmaya başlamıştır. Harman hazırlama işlemi, hammaddelerin ve cam kırıklarının da için de bulunduğu silolarda uygun olarak karıştırılması hem üretilen cam kalitesini artırmakta hem de enerji tüketimini büyük oranda azaltmaktadır. Şekil 2.1’de Uygun kütle oranını sağlayacak biçimde tartılarak alınıp görüldüğü gibi, hammaddeler harman halini aldıktan sonra bir taşıyıcı bant sayesinde bir döner veya tepsisi tipi karıştırıcıya taşınmaktadır. Harman tamamen karıştırdığında, harman cam ergitme fırınına ergitme işlemi için gönderilir[1].



Şekil 2.1 Harmanlama ve Karıştırma İşlemi Akım Şeması

### 2.3.2 Ergitme / Saflaştırma

Ergitme işlemi üç temel aşamada yapılmaktadır. Birinci aşama ana ergitme işlemidir. Bu aşamada harman ergitilerek homojen bir akışkan haline getirilmektedir. Bir sonraki aşama olan saflaştırma aşamasında, ergimiş halde olan harmandan kabarcıklardan arındırılmaktadır. Üçüncü yani son aşama homojenleştirme ise, sıvı camın termal ve kimyasal olarak çeşitlendirilmesi işlemidir [1].

Şişe cam ergitme işleminde, sıvı cam, ergitme tankının çıkış bölümüne doğru yönlendirilmektedir. Yoğunluğunun düşük olmasından dolayı, harman eriyene kadar ergimiş cam ile beraber iki fazda bulunur. Sıvı cam, tank / fırın boyunca ilerlemesine devam eder, kimyasal reaksiyonlar sonucu karışımın içerisinde oluşmuş kabarcıklar bu şekilde giderilir ve gaz kabarcıklarından arındırılır. Sıvı cam içerisinde birçok küçük kabarcık oluşumu homojenleştirme işlemi yavaşlatmakta ve sıvı cam çekiş / akış hızını sınırlandırmaktadır. Bu şekilde hızın sınırlanması, prosesteki işlem verimliliğini önemli derecede etkilemektedir [1].

Ergimiş haldeki, fırın içerisindeki cam saflaştırıldıktan sonra koşullandırılacağı bir hazneye akıtılır. Bu işlem ergimiş camın çeşitli içerik ve sıcaklık değişimin uygulanması için kullanılmaktadır. İçerik çeşitliliği sıvı cam da oluşacak çeşitli düzlenme, taşma ve karışma mekanizmasının oluşmasını

azaltmaktadır. Sıcaklık azaltma çeşitliliği genellikle fırın içerisinde uygulanmakta ve bir koşullandırma haznesinin sonundaki bir kanalda yapılmaktadır. Sıvı haldeki cam bu kanala ilerlediğinde, cam üretiminin son aşaması olan şekillendirme işlemi için sıvı haldeki cam soğutulup, uygun uniform bir sıcaklığa düşmesi sağlanmaktadır. Tipik bir şişe cam ergitme alanı 60–180 m<sup>2</sup> civarında, yaklaşık 100–500 ton/d cam üretimi yapılabilmektedir. Günlük enerji tüketiminin, cam üretim hızına bağlı değiştiğini göstermektedir [1].

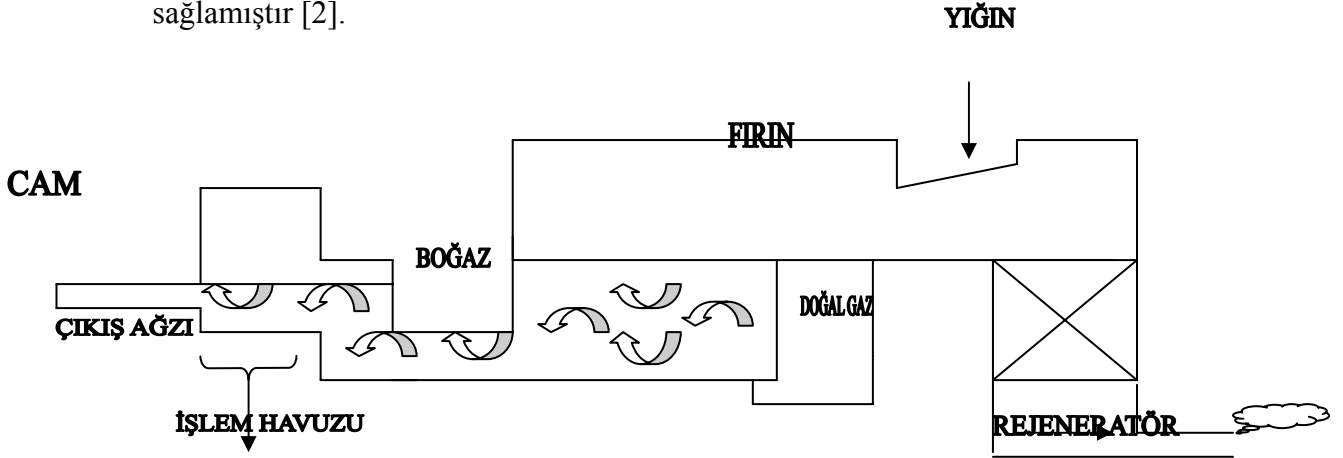
Yüksek üretim kalitesi ihtiyacından dolayı, düz cam üretimi şişe cam üretiminden biraz farklılık göstermektedir. Uygun karışım oranını sağlamak için düz cam üretim hazneleri dar bölmelidir (bel diye adlandırılır), bu bölmede sıvı haldeki cam koşullandırmak için ayrılması sağlanmaktadır. Bu bölüm ayrıca fırın ortasından sonra şekillendirmeden önce camın soğutulması için kullanılan bölmedir. Düz cam hazneleri 200–500 m<sup>2</sup>'lik alanlara sahip olup, yaklaşık 300–800 ton/d kapasitelidir. Şişe cam üretimi de, düz cam üretimine benzer olarak günlük enerji tüketimi açısından benzer enerji tüketimine sahiptir[1].

Cam elyaf fiberglas üretimi için, ergitme işleminin tümü elektrik enerjisi kullanılarak yapılmaktadır. Cam yünün elektrik dayanımından dolayı elektrik ile ergitme ideal bir yöntemdir. Bu fırınların tasarımı yeniden kazanımlı fırınlardan daha basittir. Ayrıca bu fırınlarda, bütün ergimiş haldeki cam yüzeyinin üstü 50,8–152,4 mm kalınlığında bir tabaka oluşmaktadır. Bu nedenle, sıvı camın üstünde oluşmuş bu tabakanın uçucu bir bileşene sahip olmasını sağlamaktadır [1].

Amerika'da üretilen camın kütlece %90'ı yeniden kazanımlı fırınlar ile ergitme işlemi uygulanmaktadır. Bu fırınların bölmelerinin ısı yansıtıcı seramik malzemelerle kaplı olması, ısı değişimini sağlamaktadır. Yakma havası bu bölmelerde önceden ısıtılmış yakıt ile karıştırılma bölgesi olarak kullanılmaktadır. Yakıt brülörleri, doğal gaz veya fuel oil no.6 kullanılır, alev sıcaklığı sıvı camın üstünden verilmesi sağlanmaktadır. Elektrik yükselticili ünitelerin kullanımı ihtiyaç olunan toplam enerji ihtiyacını azaltmaktadır. Ayrıca bu sistem cam üretim hızını arttırmakta ve kullanılan doğal gaz veya fuel oil miktarını azalmasını da sağlamaktadır [1].

Cam ergitme ve saflaştırma aşaması, cam üretiminde enerji kullanımının %50-68'ini oluşturması cam sanayinin bu noktaya odaklanmasının önemini arttırmıştır. Günümüz teknolojisinde elektrik ile ısıtma, daha iyi yansıtıcı seramik malzemelerin üretilmesi sayesinde cam üretiminde kullanılan enerji miktarını

%8–37 oranında düşmüştür. Gelişen teknoloji sayesinde yakıt sistemleri gömülü brülörler ve ultrasonik çalkalanma sayesinde enerji tüketiminin %38–63 düşmesini sağlamıştır [2].



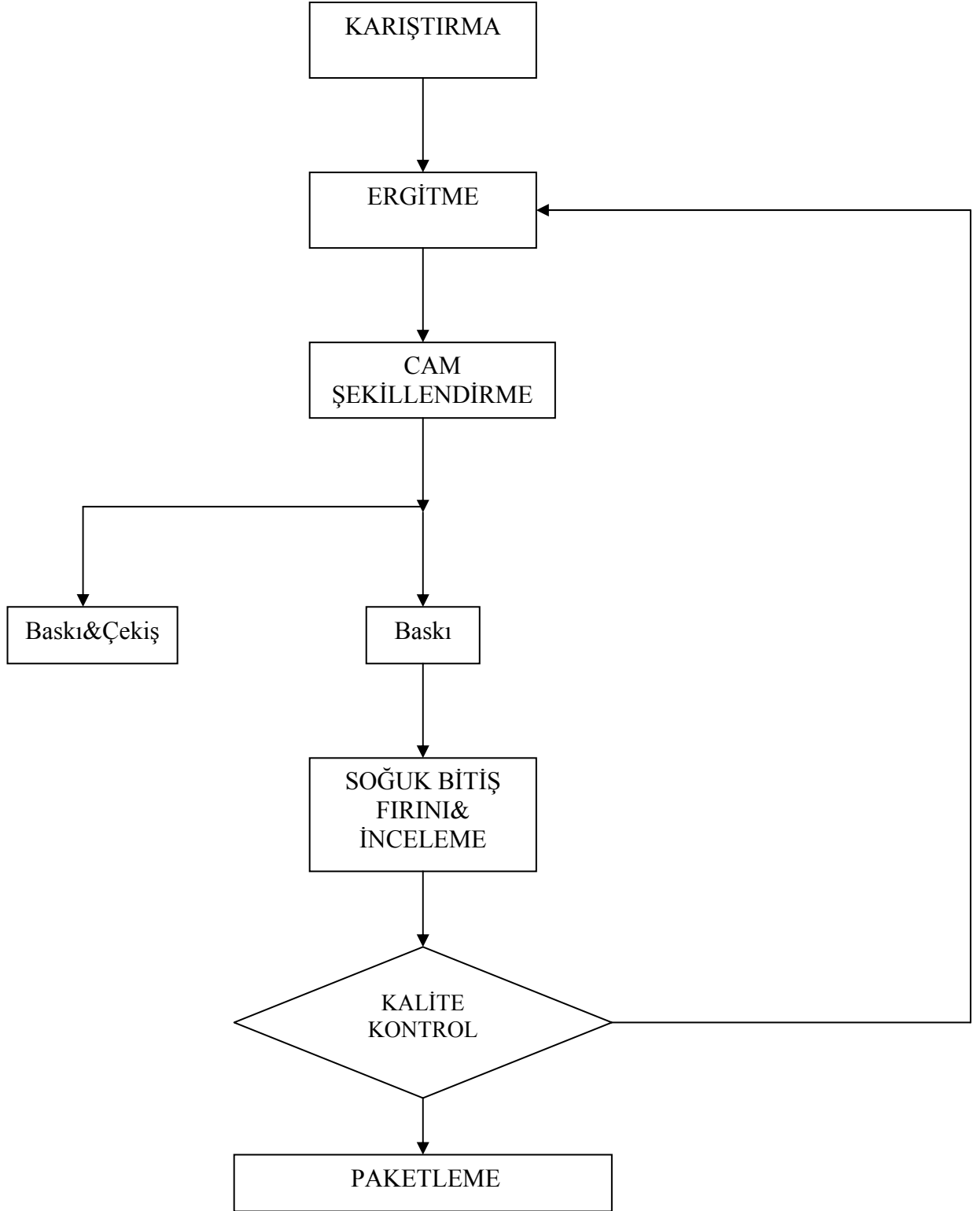
Şekil 2.2 Ergitme İşlemi Akım Şeması

### 2.3.3 Şekillendirme ve Şekillendirme Sonrası

Şekillendirme aşaması, eritme ve saflaştırma aşamalarının devamında, çeşitli cam ürünleri, arzu edilen şekillerde hepsi değişik şekil ve formlarda teknolojinin yardımıyla üretilmektedir. Dar-boyunlu şişe camlar “emiş & emiş” üretim metodu kullanılarak şekillendirilmektedir. Şekil verme işlemi cam eritme fırınının bitiş noktasına doğru bir boğazdan geçmesiyle başlamaktadır. Sıvı cam boğazdan geçtikten sonra bir oluktan geçirilerek bir kalıba hava püskürtme ile doldurulur. Şekillendirme işlemi ergimiş haldeki cam ağzı terk ettikten sonra bitmiş haldeki kalıpta bulunan sıvı cam yine ısıtma işlemine sokulmaktadır. Çizilme direncini arttırmak için titanyum dioksit giydirilmiş cam bir taşıyıcı bant ile taşınarak tavlama işlemine tabi tutulur. Geniş ağızlı, hafif, içecek için üretilen camlar “basınç & emiş” yöntemiyle üretilmektedir. Her iki metot içinde elektrik enerjisi kullanılır[1].

1970’li yılların başından beri, yüzdürme işlemi soda-kireç, düz cam baskın bir metot olarak cam şekillendirmesinde kullanılmaktaydı. Bu proses 1500 °C’deki sıvı camın bir ağızdan, elektrikle ısıtılmış geniş bir eritme havuzuna dökülmesiyle başlar. Eritme havuzları 45,72 m uzunluğunda ve 3,96 m genişliğe kadar çıkabilmektedir. Burada, yerçekimi sıvı camın haldeki camın kalınlığının 7,1 mm’de kalmasına neden olur, ama kalınlık camın çekilmesi ve basılmasıyla 1,5’den 25 mm ye kadar değişebilir. Banyo içinde bulunan, sıvı camın üst kısmı kontrol edilmiş hava ortamına açıktır. Böylece banyodan çıkmadan önce sıvı camın, 344 °C

dereceye düşmesi sağlanır. Şekil verildiğinde, camın iç gerilimi engellemek için oda sıcaklığına yavaşça soğutulmalıdır. Bu işlem geniş, önceden gaz kullanılarak ısıtılmış odalarda yapılır ve işleme temperleme (tavlama) denir[1].



Şekil 2.3 Cam Üretim Akım Şeması

## 2.4 YAKITLAR VE ÖZELLİKLERİ

Oksijenle hızlı bir şekilde oksitlenerek, çevresine yüksek enerji veren (ekzotermik reaksiyon gerçekleştiren) maddelere yakıt, meydana gelen reaksiyonlara ise yanma adı verilmektedir. En çok kullanılan yakıtlar karbon ve hidrojenden oluşurlar, bunlara hidrokarbon yakıtlar denir ve genellikle  $C_nH_m$  kapalı formülü ile gösterilirler. Hidrokarbon yakıtlar, gaz (doğalgaz, LPG vs.), sıvı (benzin, fuel-oil vb.) ve katı (Kömür) halde bulunabilirler [4].

### 2.4.1 Yakıtlarda Aranılan Özellikler

1- Fiyatı ucuz olmalı, bol bulunmalı,

2- Tutuşma sıcaklığı düşük olmalı; bir defa tutuşturulan yakıt yanmasını devam ettirebilmelidir. Katı yakıtların tutuşma sıcaklığı, gaz ve sıvı yakıtların tutuşma sıcaklığından daha düşüktür. Bunun nedeninin, bu tip yakıtların yapısında hidrojen, oksijen ve metal tuzlarının bir arada bulunmasının olduğu, kabul edilir. Hızlı yanma kısmen oksitlenmiş moleküllerde daha fazladır. Özellikle katalizör görevi yapan tuzların varlığı yanma hızının artmasına neden olur. Örneğin linyitler, odun, düşük sıcaklıkta elde edilen katranlar (damıtma ürünlerini kısmen oksitlenmiş gazlar oluşturur) 300 °C civarında tutuştukları halde, hidrojen 600 °C, karbon 800 °C de tutuşur [4].

3- Yanabilme kabiliyeti olmalı; bir kez tutuşan yakıtın yanmasını sürdürmesi gerekir. Bunun için yakacağın tutuşma sıcaklığının düşük, yanma ısısının yüksek, ısı iletkenliğinin yüksek olması gerekir. Ayrıca yakacağın hava ile temasının sürekli sağlanması gerekir. Yakacak üzerinde biriken külün yakıt ile hava arasındaki teması kesmemesi gerekir.

4- Isıl kabiliyeti iyi olmalı; yakacağın yanma sırasında verdiği ısı ortamı istenilen sıcaklığa çıkabilmelidir. Örneğin buhar üretiminde kullanılan yakacağın verdiği ısı, buharın sıcaklığının 500 °C geçebilmelidir. Bunun için,

a- Yakıt içerisindeki nem ve kül miktarı az olmalıdır.

b- Hava fazlalık katsayısının gereğinden fazla olmaması gerekir, oda sıcaklığındaki hava içerisindeki azot ve nem baca gazı sıcaklığında atmosfere atıldığından enerjinin bir kısmını duyulan enerji olarak beraberinde götürür,



c- Yanma havası baca gazı ile ısıtılmalıdır; yanma odası sıcaklığını yükseltmek için yanma havası ve yakıt ısıtılabilir. Yakıtların ısıtılması bozulmaya uğradıklarından dolayı uygun değildir. Bu nedenle sadece yanma havası ısıtılır.

5- Isıtma kabiliyeti olmalı; alev hızı yüksek olmalı. Yakacağıın ısıtılan yüzeyle temas halinde olması istenir.

6- Yakma sırasında otomatik kontrolü kolay olmalıdır.

7- Zararsız olmalı; yanmadan sonraki atıkların insan sağlığına, çevreye, yakma sistemlerine zarar vermemesi gerekir.

8- Yakıtların alımı dış ülkelerden bağımsız olmalı,

9- Yangın ve patlama açısından emniyetli olmalı,

10- Taşınma ve depolama kolaylığı olmalı, depolama sırasında ufanmamalı, çevre şartlarından etkilenmemelidir.

#### 2.4.2 Yakıtların Sınıflandırılması

Genellikle katı sıvı ve gaz yakıtlar olarak sınıflandırılır. Son zamanlarda kullanımı artan nükleer yakıtlarda dahil edilerek aşağıda verilen Çizelge 2.2’de genel sınıflandırma yapılmıştır[4].

Çizelge 2.2 Yakıtların Sınıflandırılması[4].

| Yakıt türü | Doğal yakıtlar                                       | Yapay yakıtlar  |
|------------|--|---|
| Katı       | Kömür<br>Linyit<br>Turba<br>Odun                     | Kok Briket<br>Mangal kömürü<br>Artık yakıtlar                                 |
| Sıvı       | Petrol   | Benzin<br>Gazyağı<br>Fuel-oil<br>Alkol<br>Benzol<br>Neft yağı<br>Bitkisel yağ |
| Gaz        | Doğalgaz   | Fabrika gazı<br>Yüksek fırın gazı<br>Su gazı<br>Asetilen vb.                  |
| Nükleer    | Uranyum U <sup>235</sup><br>Uranyum U <sup>238</sup> |   |

### 2.4.3 Katı Yakıtlar

Katı yakıt denilince, ilk akla gelen yakıtlar kömür ve odun'dur. Bunların türevi yakıtlar varsa da (kok, briket, odun kömürü vb.) bunlar enerji santrallerinde fazla kullanılan yakıtlar değildirler. Katı yakıtlar önem sırasına göre aşağıda anlatılmıştır.

#### 2.4.3.1 Kömürler

Katı yakıtlar içerisinde enerji üretiminde en çok kullanılan, en önemli yakıtlardan birisidir, büyük ağaç ve bitki örtüsünün oksijensiz ortamda milyonlarca yıl beklemesiyle oluşurlar. Kömürler; turba, linyit, taş kömürü ve antrasit olmak üzere dört grupta incelenir. Kömürler; yanıcı kısım ile kül ve sudan oluşur. Katı yakacaklardan; linyit % 15-% 40, taş kömürü maksimum % 7, turba maksimum % 60 nem içerir.

### 2.4.4 Sıvı Yakıtlar

Sıvı yakıtların esasını petrol ve petrol türevi yakıtlar oluşturmaktadır. Sıvı yakıtlar genelde ham petrolün rafinerisi sırasında elde edilen çeşitli hidrokarbon karışımlarıdır. Kazanlarda (brülörlü sistemlerle), içten yanmalı motorlarda (karbüratör ve enjeksiyonlu sistemleriyle), gaz türbinlerinde ve jet motorlarında yakıt olarak kullanılırlar.

#### 2.4.4.1 Petrol

Ham petrol içerisindeki % 80–85 oranında karbon, % 10–20 oranında hidrojen ve %1–10 oranında diğer maddeler (kükürt, azot vb) bulunmaktadır. Hidrokarbonlara ilave olarak çoğunlukla ham petrol, küçük miktarda күкürt, oksijen, azot, vanadyum, eser halinde diğer metaller ile su ve tortu gibi maddeler içerir. Bütün hafif hidrokarbonlar, yakıt olarak rafineri işlemi ile elde edilirler.

##### 2.4.4.1.2 Petrol türevi yakıtlar ve bazı özellikleri

Ham petrolün ayrışsal damıtılması ile ve ayrıştırma (destilasyon) sırasında ve ağır hidrokarbonların ısı parçalanması (kraking) yoluyla elde edilir.

#### 2.4.4.1.3 Dizel yakıt (Motorin)

Ham petrolün ayırimsal damıtılması sırasında 200–300 °C kaynama aralığında alınan üçüncü ara üründür. Dizel motor yakıtı olarak kullanılır. Dizel motorlar yüksek sıkıştırma oranlı motorlardır. Geliştirilmelerinin ana sebeplerinden birisi daha ucuz yakıtların kullanılmasıdır. Sıkıştırma oranının yüksekliğine bağlı olarak verimleri de yüksektir[4].

Dizel yakıtların sınıflandırılması (ASTM'ye göre)

1-D: Sık sık hız ve yük değişiklikleri isteyen makineler

2-D: Büyük müteharrik servislerde ve endüstrideki makineler

4-D: Orta ve düşük devirli makineler

Bir dizel yakıtın seçilmesinde en önemli nokta» yakıtın pompalanacağı en düşük sıcaklıktır, seçilen yakıtın bu sıcaklıkta akıcı olması veya bir ısıtıcı ile ısıtılması gerekir. Bir yakıtın akışkanlığı, viskozite ve donma noktaları ile tayin edilir. Bunun için rafineride muhtelif tip ve özellikte yakıtların çok iyi bir şekilde harmanlanması gerekir.

#### 2.4.4.1.4 Fuel oil ve özellikleri

Genellikle ısıtma amaçlı kullanılırlar. Motor yakıtı olarak, elektrik üretim amaçlı da kullanılmaktadır.

##### Parlama Noktası:

Fuel oil'in depolama ve kullanımı için en yüksek sıcaklıktır. Yüksek akma noktası sıcaklığına sahip fuel oiler ısıtılmış depo ve boru tesisatına sahip tesislerde kullanılabilir.

##### Akma Noktası:

Depolama ve kullanım için en düşük sıcaklıktır. Yüksek akma noktası sıcaklığına sahip yakıtlar, ısıtılmış depo ve boru tesisatına sahip tesislerde kullanılabilir.

#### 2.4.4.1.4.1 Fuel oil'in sınıflandırılması

Genellikle damıtılmış (hafif) ve kalıntı (ağır) fuel oiler olarak önce iki gruba ayrılırlar.

1 Numara Fuel oil: Damıtılmış (hafif) fuel oil, buharlaşmak tip brülörlerde kullanılır. Yüksek dereceden uçucu maddeye sahiptir.

2 Numara Fuel oil: Damıtılmış (hafif) fuel oil, basınçlı atomize brülörlerde kullanılır. Evsel ve ticari endüstriyel amaçlı kullanılır.

4 Numara Fuel oil: Hafif Fuel oil, hafif kalıntı veya ağır olarak damıtılmış fuel oil' dir. Atomize yakıt yakan brülöler için uygundur.

5 Numara hafif Fuel oil: Hafif Fuel oil, vizkozitesi No 4'den biraz daha fazladır. Ön ısıtma gerektirmeyen, orta viskoziteli yakıttır. Soğuk iklimlerde ön ısıtma gerekir.

5 Numara ağır Fuel oil: Ağır fuel oil, Soğuk iklimlerde yakılabilmesi için genellikle ön ısıtma gereklidir.

6 Numara Fuel oil: Ağır fuel oil, bazen bunker karbon olarak isimlendirilmektedir. Genellikle ticari ve endüstriyel tesislerde yakıt olarak kullanılır. Taşınması ve yakılması için ön ısıtma zorunludur.

Özel Kalorifer Yakıtı: Gerçekte No 4 fuel oil'e karşı gelmektedir. Ancak kükürt oranı hava kirliliğinin azaltılması amacıyla % Sıcaklığın altına düşürülmüştür.

#### 2.4.5 Gaz Yakıtlar

Gaz yakıtlar genellikle temiz olmaları ve temiz yanmaları açısından, sıvı yakıtlar kadar kolay ve ucuz olmasa da depolanma, taşınma ve kullanımlarının yaygınlıkları açısından önemli yakıtlardandırlar. Yanmalarının kontrolünün kolaylığı yine bu yakıtların avantajıdır. Özellikle doğalgazın kullanımı giderek artmaktadır.

##### 2.4.5.1 Doğalgaz

Doğal gaz esas olarak metan ( $CH_4$ ) ve daha az oranda bütan ( $C_4H_{10}$ ) ve propan ( $C_3H_8$ ) gibi hidrokarbonlardan meydana gelir. Ayrıca bileşiminde azot ( $N_2$ ), karbondioksit ( $CO_2$ ), hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) ile helyum ( $He$ ) gazları da bulunabilir. Ancak  $H_2S$  zararlı bir bileşen olduğundan, doğal gaz üretim noktasında bu bileşenden temizlenerek boru hatuna pompalanır. Dünya üzerindeki rezervlerinin % 40'nın petrol yataklarının üst kısımlarından, % 60'nın ise petrolün olmadığı bölgelerden çıkarıldığı belirtilmektedir. Çıkarılan gazın içerisinde kükürtlü bileşikler bulunuyorsa kuyu çıkışında giderildikten sonra boru hatlarıyla uzak mesafelere

pompalanırlar. Uzak mesafeli taşımada ara pompalama istasyonları kullanılmaktadır[5].

Doğalgazın bileşiminde ağırlıklı olarak metan (%55 ile 98) (CH<sub>4</sub>) bulunmaktadır. Etan, propan, bütan, hidrojen, azot, hidrojen Sülfür, karbondioksit gibi birçok gazlarda bulunmaktadır. Çizelge 2.3'de ülkemizin Rusya'dan ithal ettiği gazda aradığı özellikler ve fiili duruma ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 2.3 Rusya'dan İthal Edilen Doğalgazda İstenen Özellikler ve Gerçekleşen Özellikler[5].

|   |  | İstenen                    | Gerçekleşen |
|---|--|----------------------------|-------------|
| Metan (CH <sub>4</sub> )                              |  | min. %85                   | %98.68      |
| Etan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )                 |  | max. %7                    | %0.211      |
| Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )               |  | max. %3                    | %0.043      |
| Bütan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )               |  | max. %2                    | %0.017      |
| Diğer hidrokarbonlar (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> ) |  | max. %1                    | %0.033      |
| Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )                      |  | max. %3                    | %0.035      |
| Oksijen (O <sub>2</sub> )                             |  | max. %0.02                 | -           |
| Azot (N <sub>2</sub> )                                |  | max. %5                    | %0.829      |
| Hidrojen Sülfür (H <sub>2</sub> S)                    |  | max. 5.1 mg/m <sup>3</sup> |             |
| Toplam kükürt (S)                                     |  | max. 102 mg/m <sup>3</sup> |             |
| Üst Isıl Değer  | Max. MJ/m <sup>3</sup> (15 °C, 0,1MPa) | 39.02                      |             |
|   | Ortalama MJ/m <sup>3</sup>             | 37.62                      | 37.41       |
|   | Min. MJ/m <sup>3</sup>                 | 36.57 (8750)               |             |

#### 2.4.5.2 Doğal gazın bazı özellikleri

- Doğal gaz zehirsizdir: Doğal gazın en önemli Özelliklerinden birisi zehirsiz olmasıdır. Doğal gazın solunması halinde zehirleyici ve öldürücü etkisi yoktur. Ancak ortamda çok fazla birikmişse tenefüs edilecek oksijen azaldığından dolayı boğulma tehlikesi vardır. Bu yüzden şehre dağıtmadan önce gaza İGDAŞ tarafından koku verilmektedir. Böylece ortamda gazın varlığını hissetmek mümkün olmaktadır[5].
- Doğal gaz çevreyi kirletmeyen yakıttır: Çevreyi kirleten ana faktör doğal gaz dumanı içerisinde bulunmamaktadır. Bunlardan birincisi kükürt oksitlerdir. Bu madde duman gazındaki ve havadaki nemle, Sülfürik aside dönüşür.

- Doğal gaz havadan hafiftir: Doğal gazın diğer önemli bir özelliği havadan hafif olmasıdır. Dolayısı ile hava içinde yükselme eğilimindedir. Gaz kaçaqları hava ile karışmadan öne yükseklerde toplanır. Bu yüzden havalandırma bacalarında kolaylıkla dışarı atılabilirler.
- Havaya % 5 de % 15 arasındaki oranlarda karışırsa patlayıcıdır[4].
- Havadan hafiftir. Kapalı ortamlarda üst kısımlarda toplanır, havalandırma bacaları tavana yakın veya tavanlardan yapılır.
- Kuru bir gazdır, içerisinde H<sub>2</sub>O bulunmaz.
- İçerisinde kükürtlü bileşikler bulunmadığından temiz bir gazdır. Kükürtlü bileşikler çıkışta boru hatlarına verilmeden Önce doğalgazdan ayrılır. Bu nedenle kazan borularının ömrü uzar.
- Yakıtın yanması sonucu uçucu kül ve partikül oluşturmaz. Kazan borularında kurum birikmediğinden ısı transferi mükemmeldir, borular daha uzun ömürlüdür.
- Yanması tam ve temizdir. Hava fazlalık katsayısı uygun tutulursa CO oluşmaz, yanmanın kontrolü gaz yakıt olduğundan daha kolaydır. Ancak doğalgaz kazanlarında ocak sıcaklığı yüksek olduğundan NO<sub>x</sub> oluşabilir. Bu nedenle alev sıcaklığını düşürmek için ocak içerisine alev soğutucu çubuklar yerleştirilir[4].
- Yakma için ön hazırlama ve depolama gerekmez.
- Yakmada gaz yakıt olduğundan otomatik kontrolü kolaydır.
- Yatırım ve işletme maliyetleri düşüktür (depolama gereksiz, otomatik kontrol kolaylığı nedeniyle daha az personele İhtiyaç olması nedeniyle).
- Doğalgazın ısı değeri yüksektir, kazan dönüşümleri sırasında kazan kapasite artırımı gerekmez.
- Ocak yükü fazla, ocak hacmi küçüktür. Alev boyu fuel oil'e göre kısadır. Yanmayı tamamlamak için 8,4–9,6 saniye yeterlidir. Bu nedenle doğalgaz kazanlarının ocak hacmi küçüktür.
- Ocak sıcaklığı 1500°C 'ye kadar çıkabilir. Kazan konstrüksiyonunda özel önlemler almak gerekir. Bu nedenle yukarıda da belirtildiği gibi doğalgaz kazanlarında soğutma çubukları kullanılır.
- Doğalgaz yakan sistemlerde baca gazları içerisindeki su buharı miktarı oldukça fazladır. Bacalarda yoğuşma olayına karşı önlemler alınmalıdır.

- Yanma olayında gerekli hava miktarı diğer yakıtlara göre oldukça azdır. Doğal gazın diğer yakıtlar ile karşılaştırılması Çizelge 2.4 'da gösterilmiştir.

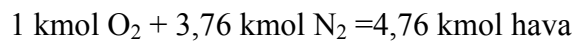
Çizelge 2.4 Doğal Gaz, Fuel oil, Kömür ve Bazı Özellikleri[5].

| Yakıt Özellikleri   | Kömür                    | Fuel oil                 | Doğal gaz                           |
|---|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Karbon (%)  | 77,4                     | 84,58                    | 73,98                               |
| Hidrojen (%)  | 1,4                      | 10,90                    | 24,57                               |
| Kükürt (%)  | 1,0                      | 4,00                     | -                                   |
| Kül (%)   | 8,0                      | -                        | -                                   |
| Nem (%)   | 7,0                      | -                        | -                                   |
| Isıl değeri Mj/kg   | 29,6                     | 39,23                    | 49,095                              |
| Baca gazındaki SO <sub>2</sub> (ppm)                      | 1,644                    | 5,5                      | -                                   |
| Baca gazı çığ. Sıcaklığı °C                               | 35                       | 49                       | 56                                  |
| Ocak yükü TJ/m <sup>3</sup> h                             | 0,4- 1,2                 | 1,2-3,1                  | 1.6-4                               |
| Ocak sıcaklığı yaklaşık (°C)                              | 900                      | 1 200                    | 1 500                               |
| Birim kütle veya hacim için gerekli teorik hava miktarı   | 6,3 Nm <sup>3</sup> /kg  | 10,4 Nm <sup>3</sup> /kg | 9,3 Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> |
| Birim kütle veya hacim için gerekli gerçek hava miktarı   | 10,1 Nm <sup>3</sup> /kg | 13,0Nm <sup>3</sup> /kg  | 10,3Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> |
| Birim kütle veya hacim için Üretilen teorik duman miktarı | 6,7 Nm <sup>3</sup> /kg  | 10,8 Nm <sup>3</sup> /kg | 10,7Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> |
| Birim kütle veya hacim için Üretilen gerçek duman miktarı | 10,5Nm <sup>3</sup> /kg  | 13,4 Nm <sup>3</sup> /kg | 11,6Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> |
| Alev ışınım katsayısı                                     | 0,55 – 9,8               | 0,45–0,8                 | 0,3 – 0,5                           |

#### 2.4.6 Yanma Olayları

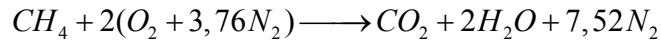
Yanma, yakıtın oksijenle birleştiği ve büyük miktarda enerjinin açığa çıktığı bir kimyasal reaksiyondur. Yanma için gerekli olan oksijen, parasız ve her yerde bulunabilir olması bakımından, havadan sağlanır. Saf oksijen, O<sub>2</sub> sadece kaynak ve kesme gibi havanın kullanılmayacağı bazı özel uygulamalarda kullanılır.[19]

Havanın mol oranı veya hacimsel oran olarak, kuru hava %20.9 oksijen, %78,1 azot, %0,9 argon ve az miktarda karbon dioksit, helyum, neon ve hidrojen oluşur. Yanma işlemini çözümlerken, argon azotla birlikte düşünülür ve az miktarda bulunan diğer gazlar da ihmal edilebilir. Bu durumda kuru havayı oluşturan karışanların mol oranları yaklaşık %21 oksijen ve %79 azot olarak kabul edilir. Böylece yanmaya giren her mol oksijenin yanında  $0,79 / 0,21=3,76$  mol azot bulunur.



olur. Olağan yanma sıcaklıklarında azot eylemsiz (inert) bir gazdır, diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmez. Fakat azotun varlığı, yanma sonu halini önemli ölçüde etkiler, çünkü büyük miktarda azot yanma işlemine düşük bir sıcaklıkta girer ve yüksek bir sıcaklıkta çıkar. Yanma işleminden açığa çıkan enerjinin büyük bir bölümü, azotun sıcaklığını yükseltmek için kullanılmış olur[19].

Yanma olayı, yanma ürünlerinde C, H<sub>2</sub>, CO ve OH gibi bileşenler varsa tam değildir. Tam yanma olayında ise bu ürünler yerine CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve N<sub>2</sub> bulunur. Doğal gaz metan, propan, bütan gibi gazların karşımından oluşmaktadır. Ancak genellikle bu bileşenler içinde metan gazının bulunma oranı diğerlerine oranla daha fazla olduğundan, doğal gaz genellikle metan gazı olarak dikkate alınmaktadır. Aşağıda CH<sub>4</sub> (Metan)'ün teorik yanma denklemi ve yanma ürünleri gösterilmiştir.



Dikkat edilirse yanma sonu ürünleri arasında yanmamış metan (CH<sub>4</sub>), C, H<sub>2</sub>, CO, OH veya serbest halde O<sub>2</sub> yoktur. Doğal gaz yandıktan sonra baca gazı olarak çok temiz bir gazdır. Doğal gazın yanma ürünleri içerisinde cam ile reaksiyona girecek herhangi bir madde olmadığından doğal gaz kullanılarak yapılan ergitme işleminde sıvı camda renk ve şekil bakımından istenen hale gelmektedir.

Fuel oil ham petrolden ayırıştırma yöntemiyle elde edildiğinden bileşiği karışık bir yapıya sahiptir. Çizelge 2.5'de fuel oil'in içeriği gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Fuel Oil ve Hampetrolün Bazı Özellikleri[19]

| Özellikler             | Ham Petrol | Fuel oil |
|------------------------|------------|----------|
| Kaynama Sıcaklığı, °C  |            | > 371    |
| Kütlece %              | 100        | 51.3     |
| Hacimce %              | 100        | 45.75    |
| kükürt, % (kütle)      | 2.5        | 4.16     |
| nitrojen, ppm          | 1200       |          |
| kül, % (kütle)         | 0.006      | 0.012    |
| Vanadyum, ppm          | 27         | 53       |
| Nikel, ppm             | 7          | 14       |
| Artık karbon % (kütle) | 5.2        | 10.1     |
| Asfalt, % (kütle)      | 1.4        | 2.7      |

Fuel Oil'in yanması sonucunda yanma ürünü olarak CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dışında SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, V, FeO<sub>x</sub> ler de açığa çıkmaktadır. Fuel oil'in içeriğinde bulunan ayrıca yanma



ürünlerinde de açığa çıkan Vanadyum cama istenmeyen kirli sarımsı yeşil bir renk vermektedir. Ayrıca Fuel oil'de bulunan kükürt camda bulunan Fe (demir) ile reaksiyona girerek FeS etkisi yapmaktadır. Bunu sonucu da ergitme işleminde istenmeyen bir renk oluşmaktadır.

## 2.5 SIVI VE GAZ YAKITLARIN EMNİYETİ

Petrol yakıtların, yüksek kalorifik değere sahip olması, sıvı halde bulunmaları nedeni ile nakliye ve depolanmasının kolay olması, temiz yanması gibi önemli avantajlarına paralel olarak bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar aşağıda önem sırasına göre verilmektedir[4].

### Yanıcılığı:

Petrol yakıtlar buhar haline gelmedikçe, hava ile belirli oranda karışmadıkça ve bir kıvılcımla temas etmedikleri veya tutuşma noktası sıcaklığına ulaşmadıkları sürece yanmazlar ve patlamazlar. Tehlikenin olabilmesi için bu üç özelliğin bir arada bulunması gerekir.

Gazyağı, fuel oil, jet yakıtları normal olarak 40 °C'nin üzerine çıkmadıkça buharlaşmazlar. Ancak benzin sıfırın altındaki sıcaklıklarda bile buharlaşır. Bu buharların yanabilmesi için hacimsel olarak 13 misli hava ile karışması gerekir. Bu nedenle kapalı benzin dolu kap içerisinde bulunan benzin 13 misli hava ile karışmayacağından yanması mümkün değildir[4].

Akaryakıt tankları normal koşullarda infilak edemezler. Ancak tank içerisindeki yakıt boşaltılır ve yakıt yerine havanın girmesine izin verilirse tehlike oluşturur. Çünkü tank içerisindeki yakıt-hava oranı patlama oranına ulaştığında kıvılcım teması ile patlama meydana gelir. Bu nedenle boş akaryakıt tankları dolu tanklara göre daha tehlikelidir. Ancak akaryakıtlar kapalı tanklarda bulundurulmak zorunda olduğundan ateşle teması da kesilmiş olur.

Benzin buharları havadan 3–4 misli daha ağırdır. Bu nedenle benzin buharlarının etrafa yayılması tehlike doğurur. Buhar kuytu yerlerde toplanarak tehlikelere neden olabilirler. Depo havalandırma boruları bu sebeple hava akımının olduğu yüksek bölgelere çıkarılması, ateş ve kıvılcımdan uzak olması gerekir[4].

Akaryakıt depolarında ve taşıma tankerlerinde bir başka tehlike statik elektriklenmedir. Statik elektriklenmeye karşı şasileme, topraklama vb. koruma önlemleri alınır. Ayrıca bugün, daha önce benzin taşınmış bir vagon veya tankerde,

daha sonra gaz, mazot, fuel oil gibi değişik yakıtlar taşınacak olursa statik elektriklenmenin arttığını göstermiştir. Tanker ve depolara dolum sırasında dikkat edilmez ise statik elektriklenme sonucu kolayca patlama meydana gelebilir. Bu nedenle değişik yakıtların aynı vasıtayla taşınılmasından kaçınılmalıdır veya zorunluluk varsa gerekli önlemler alınmalıdır.

Bunlara ilaveten, dolum sırasında dolum kolonunu sarnıç bölmesinin dibine kadar indirmek, dolum sırasında kolonu hemen çıkarmayıp 30 saniye kadar bekletmek gerekmektedir. Topraklama kablolarını sarnıç kapaklarını açmadan önce bağlamak ve hareketten önce sökmek, sarnıç kapaklarını daima kapalı tutmak ve dolum sırasında kapakları birer birer açmak ve dolunca hemen kapatmak statik elektrik oluşumunu önler.

Akaryakıtların boru ile nakliyesi veya boşaltma veya doldurma sırasında da akaryakıt akış hızına bağlı olarak statik elektriklenme oluşur. Boru içindeki akış hızı sınırı bu nedenle 15 m / s ile sınırlandırılmıştır.

#### Zehirleme Tehlikesi:

Akaryakıt buharlarının teneffüs yoluyla insana zarar verebilmesi için hava içerisindeki oranın 1/1000'den fazla olması gerekir. Kapalı kaplardan sızan akaryakıt buharları bu orana erişmedikçe tehlike arz etmezler.

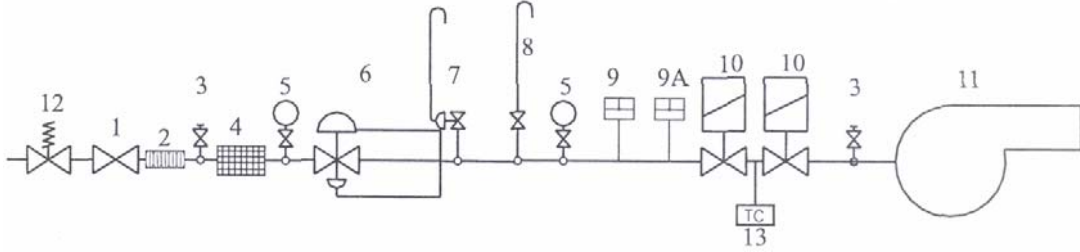
Akaryakıtlar ağız yoluyla içilmedikçe ve sürekli olarak insan cildiyle temasta olmadığı sürece zehirleme tehlikesi yoktur.

#### Akaryakıt Yangınlarının Söndürülmesi:

Yanma için yakıt buharı, yeteri miktarda hava ve kıvılcıma ihtiyaç vardır. Bunlardan birisi olmazsa yangın meydana gelmez. Akaryakıt yangınlarının söndürülmesinde de bunlardan biri ortamdaki uzak tutulmaya çalışılır. En kolay yol yangın üzerine köpük püskürtmektir. Son zamanlarda akaryakıt üzerine sodyum bikarbonat tozları da püskürtülmektedir.

## 2.6. GAZ YOLU EKİPMANLARININ GÖSTERİMİ

Şekil 2.4’de tanıtılan gaz yolu ekipmanlarının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.4 Gaz Yolu Armatürleri [16]

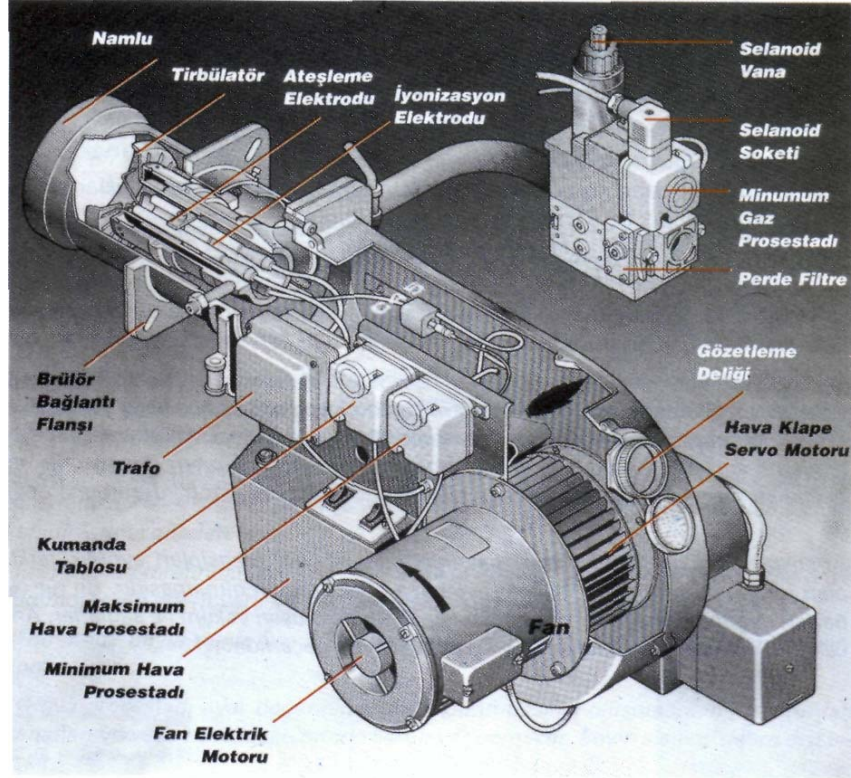
- 1- Küresel vana (TS EN 331, TS 9809)
- 2- Kompansatör (TS 10880)
- 3- Test nipel
- 4- Gaz filtresi (TS 10276, DİN 3386)
- 5- Manometre (musluklu) (TS 827)
- 6- Gaz basınç regülatörü (TS EN 88, TS 10624)
- 7- Reliefvalf (DİN 3381) (Regülatör ani kapamalı ise)
- 8- Tahliye hattı (vent)
- 9- Presostat (Min. gaz basınç) (TS EN 1854) 9A- Presostat (Max. gaz basınç) (TS EN 1854)
- 10- Solenoid valf (TS EN 161)
- 11- Brülör (TS 11392)
- 12- Yangın vanası (DİN 2999)
- 13- Sızdırmazlık kontrol cihazı (TS prEN 1643)

## 2.7 GAZ YOLU EKİPMANLARI

### 2.7.1 Brülör

Gaz hattının en önemli elemanı brülördür. Gaz hattında kullanılan diğer armatürler gaz yolunu kontrol amaçlı olarak kullanılmaktadır. Brülör yakıtı, yakma havası (oksijen) ile belli oranlarda karıştırılmasını sağlayan bir cihazdır. Ayrıca ısı ihtiyacına göre gerekli gaz-hava karışım oranını, alevin biçim ve büyüklüğünü ayarlamak suretiyle, ıssız ve tam yanmayı ve alevin meydana gelmesini sağlayan, bu amaçla otomatik kumanda, kontrol, ayar, ateşleme ve güvenlik tertibatı ile donatılan ve gerektiğinde yakma havasını cebri veya tabii olarak sağlayan elemanları içeren bir

cihazdır. Brülör, namlu, tirbülötör, ateşleme elektrodu, iyonizasyon elektrodu, kumanda tablosu, minimum ve maksimum hava prosestadları, v.b. elemanlardan oluşmaktadır. Örnek bir brülör şekil 2.5’de gösterilmiştir.[13]



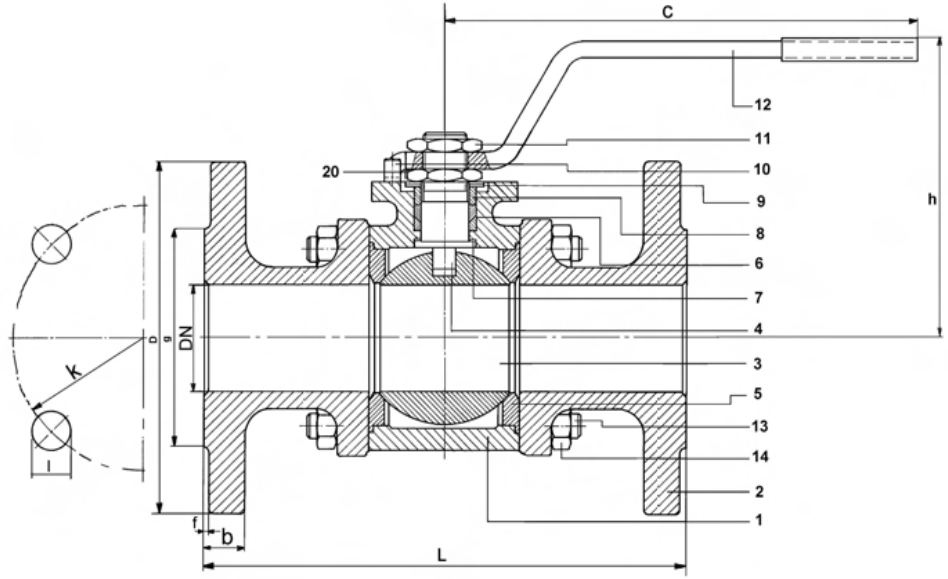
Şekil 2.5 Brülör[13]

### 2.7.2 Küresel Vana

Akış ayarlama tesisat elemanıdır. Gazı açmaya kapatılmasında kullanılan 90° hareketli, gelen boru çapında, İGDAŞ Teknik Şartnamelerine göre seçilmiş bir vanadır. Tam açık olarak çalıştırılır. Vana kolu doğru takılmış olmalı ve sürekli vana üzerinde bulunmalıdır. Şekil 2.6’da küresel vana ve şekil 2.7’de detaylı resmi bulunmaktadır. Çizelge 2.6’da ise Şekil 2.7’de verilen küresel vananın bölümleri gösterilmektedir[13].



Şekil 2.6 Küresel Vana



Şekil 2.7 Küresel Vana Teknik Resmi

Çizelge 2.6 Küresel Vana Bölümleri

| Parça No/Adı           |
|------------------------|
| 1 -Gövde (Orta Parça)  |
| 2-Kapak (Yan Parçalar) |
| 3-Küre                 |
| 4-Hareket Mili         |
| 5-Sızdırmazlık Ringi   |
| 6-Salmastra Ringi      |
| 7-Sürtünme Ringi       |
| 8-Baskı Ringi          |
| 9-Disk Yay             |
| 10-Tahdit Pimi         |
| 11-Somun               |
| 12-Hareket Kolu        |
| 13-Saplama             |
| 14-Somun               |
| 20-Emniyet Rondelası   |

### 2.7.3 Kompansatör

Brülördeki titreşimin tesisata geçişini zayıflatmak için kullanılan ekipmandır. Üniversal tip olmalıdır (Eksenel hareket, açılmal hareket ve yanmal eksen sapmalarını karşılayabilen). Esnek borunun regülatör sinyal hattından sonra konulması tavsiye edilir. Kompansatör tipleri şartnamelere bağılı olarak kullanılır ve çapları da tesisat boru çapında seçilir. Şekil 2.8 dişli tip kompansatör gösterilmiştir [13].



Şekil 2.8. Dişli Tip Kompansatör [13]

### 2.7.4 Test Nipeli

Sistemi havadan ya da gazdan arındırmaya, sis-emdeki basıncı seyyar manometreler yardımıyla ölçmeye yarar. Gerektiğinde sürekli kapalı tutulmalıdır. Birden fazla basınç gerektiren tesisatlarda, her basınç grubu için ayrı test nipeli gereklidir. Sızdırmazlık testi, bakım ve ayarlar sırasında

yapılacak basınç ölçümlerinde kullanılmak amacı ile aksesuarlar ve boru hatları üzerine konulan elemanlardır. Brülör gaz kontrol hattında giriş ve ayar basınçlarını ölçmek için kullanılır[13].

#### 2.7.5 Gaz Filtresi

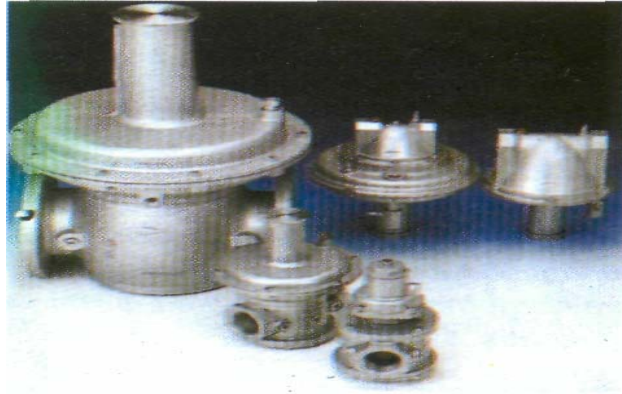
Tesisat içerisinde bulunabilecek büyüklüğü 5  $\mu\text{m}$ 'den fazla kalan çapak, cüruf, kum, toz vb. kirlilik yaratacak malzemeleri süzmek, gaz ile birlikte taşınabilecek partikülleri durdurmak ve bu maddelerin cihaz veya gaz armatürlerine zarar vermesini önlemek amacı ile kullanılırlar. Filtreler bu fonksiyonları gereği, sistemin emniyetli çalışmasına yardımcı olurken diğer yandan cihaz ve armatürlerin çalışma ömrünü uzatırlar. Bazı tip filtre kovanlarının üzerlerinde yer alan giriş-çıkış test nipelleri yardımı ile sistemi durdurmadan ve sökme işlemi yapmadan basınç farkı ölçülerek filtrelerin temizliği incelenebilir. Giriş-çıkış basınç farkı büyükse kovan sökülerek filtre değiştirilir[13,16].

#### 2.7.6 Manometre

Hat üzerindeki gaz basıncını ölçmek için kullanılan ekipmandır. Gaz kontrol hattındaki manometreler musluklu tip olmalıdır[13,16].

#### 2.7.7 Gaz Basınç Regülatörü

Gaz kontrol hattı girişindeki gaz basıncını brülör için gerekli basınca düşüren ekipmandır. Tesisattan gelen basıncı gaz armatürlerine girmesi planlanan basıncı düşürmek, düşük basınçlı sistemlerde de gaz akışında oluşabilecek dalgalanmaları stabilize etmek amacıyla kullanılırlar. Şekil 2.9'da basınç regülatörü gösterilmiştir[13,16].



Şekil 2.9. Basınç Regülatörü[13]

#### 2.7.8. Relief Valf (Emniyet tahliye vanası)

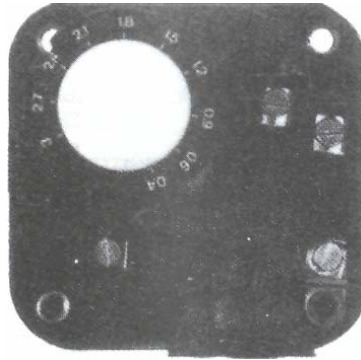
Sistemi aşırı basınca karşı koruyan anlık basınç yükselmelerinde fazla gazı sistemden tahliye ederek regülatörün devre dışı kalmasını önleyen ekipmanlardır. Ani kapamalı regülatör kullanılması durumunda bulunması zorunludur[13,16].

#### 2.7.9. Tahliye Hatı (Ventil)

Valf, sızdırmazlık (kapatma) elemanı olup akış yönüne karşı hareket ederek sızdırmazlık yüzeyinden uzaklaşmak (valfin açılması) veya yaklaşmak (valfin kapanması) suretiyle akış kesen bir tesisat elemanıdır[6].

#### 2.7.10 Min. Gaz Prosestatı

Minimum gaz basınç algılama tertibatı olarak da bilinir. Regülatör çıkışındaki gaz basıncının brülörün normal çalışma basıncının altında kalması durumunda solenoid valfe kumanda ederek akışın kesilmesini sağlayan ekipmandır. Tüm gaz kontrol hatlarında bulunmalıdır. Şekil 2.10'da Min. Gaz Prosestatı gösterilmiştir[13,16].



Şekil 2.10 Minimum Gaz Prosestatı [13]

#### 2.7.11 Maksimum Gaz Prosestatı

Sistemde olması gereken basıncın üzerine çıktığında yanma özellikleri ve sistem güvenliği açısından problemler oluşabilir. Bu nedenle, ayarlanan basıncın üzerine çıkması durumunda kontrol kutusuna sinyal göndererek sistemin bloke edilmesini sağlar.

Brülör dinlenme konumunda iken, basınç prosestat ayar değerinin üzerine çıkarsa sistem hiç devreye girmez, sistem devrede iken basınç yükselme sorunu olursa cihaz devre dışı kalır[13,16].



### 2.7.12 Selenoid Valf (Otomatik Emniyet Kapama Valfi)

Sistemin devre dışı kalması gerektiği durumlarda aldığı sinyaller doğrultusunda gaz akışını otomatik olarak kesen ve ilk çalışma esnasında sistemin emniyetli olarak devreye girmesini sağlayan ekipmanlardır. Şekil 2.10'da selenoid valf gösterilmiştir[13].



Şekil 2.11 Selenoid Valf

### 2.7.13 Yangın Vanası

Yangın v.b. nedenle ortam sıcaklığının belirli bir değere yükselmesi durumunda gaz akışını otomatik olarak kesen ekipmandır[16].

## 2.8. SIVILAŞTIRILMIŞ DOĞALGAZ

20. yüzyıla kadar doğalgaz, çıkartılan ham petrolün bir firesi olarak görülüyordu. Gazın potansiyelini ilk keşfeden firmalardan biri olan Ohio Şirketi, 1915 yılında Wyoming'de zengin yataklar olduğunu buldu. 1917'de gazın sıvılaştırılması yöntemi bulundu, 1920'de de sıvı gazın borulardan geçirilerek kullanıcıya ulaştırılması sağlandı.

1920'lerde Phillips Petrol'ün kurucusu Frank Phillips, doğalgazın likit yan ürünler olan propan ve bütanın iyi bir kaynağı olduğunu farketti[22].

1937'de başlayan deneylere dayanarak ilk büyük çaplı sıvıt hale getirme projesi 1941'de Cleveland, Ohio'da başladı. LNG'nin ilk nakliyatı da, British Gas firmasının LNG ithalat tesisini kurması ile 1954 yılında deneysel olarak Louisiana'dan Canvey Island'a (İngiltere) gerçekleştirildi. İlk büyük çaplı LNG ticareti de 1964'te Cezayir'den British Gas firmasının LNG alması ile başladı[22].

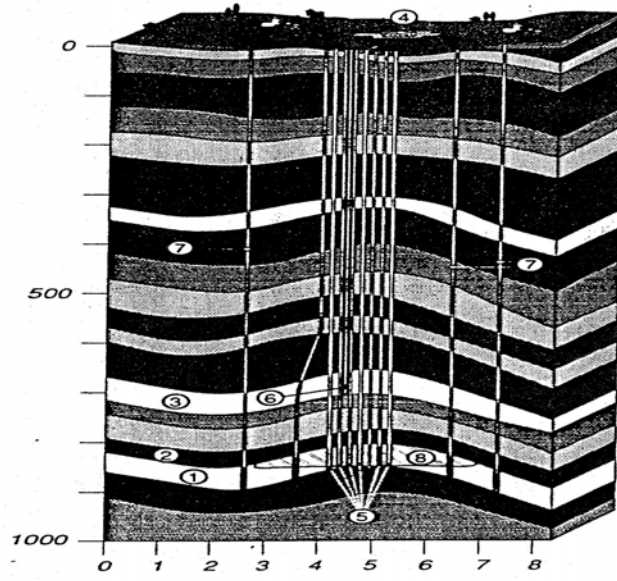
İlk ticari LNG nakliye anlaşması 15 yıllık bir periyod için senelik 40 milyar metreküplük bir kontrat ile yapıldı. Bu anlaşmayı 1965'te Cezayir ve Fransa, 1969'da ise Alaska ve Japonya arasındaki anlaşmalar takip edilmiştir.

Doğal gaz atmosferik basınçta yaklaşık -162 °C derecenin altındaki sıcaklığa soğutulduğunda sıvı hale geçer ve de sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) olarak adlandırılır. Bir birim hacim LNG buharlaştırıldığında yaklaşık olarak 600 birim hacim doğal gaz elde edilir. Bu sayede yüksek miktarlarda doğal gaz düşük basınçlar altında saklanabilmektedir. Böylece teknik ve ekonomik olarak doğal gazı boru hatları ile taşımının uygun olmadığı yerlere doğal gazın nakliyesi uygun hale gelmiş olur. LNG'nin yoğunluğu çok düşüktür. Sıvı fazının yoğunluğu 0,46 kg/m<sup>3</sup>'dür (Geometrik hacmi 1 Sm<sup>3</sup> (1.000 lt) olan bir kaba doldurulan LNG'nin kütlesi 460 kg dır. ). LNG; LPG, propan, fuel-oil, motorin vb. yakıtların kullanıldığı her yerde gerekli dönüşüm işlemleri yapıldıktan sonra rahatlıkla kullanılabilir. Kullanıldığı yerler; metal sanayi (demir-çelik, alüminyum, bakır v.s.) tekstil sanayi gıda sanayi, tersaneler ve gemi imalat sanayi (ağırlıklı olarak metal kesim tezgahlarında), döküm sanayi (ergitme, ısıl işlem v.s.), seramik ve cam sanayi, ısıtma (endüstriyel ve evsel), turizm, kağıt sanayi, tarım sanayidir.

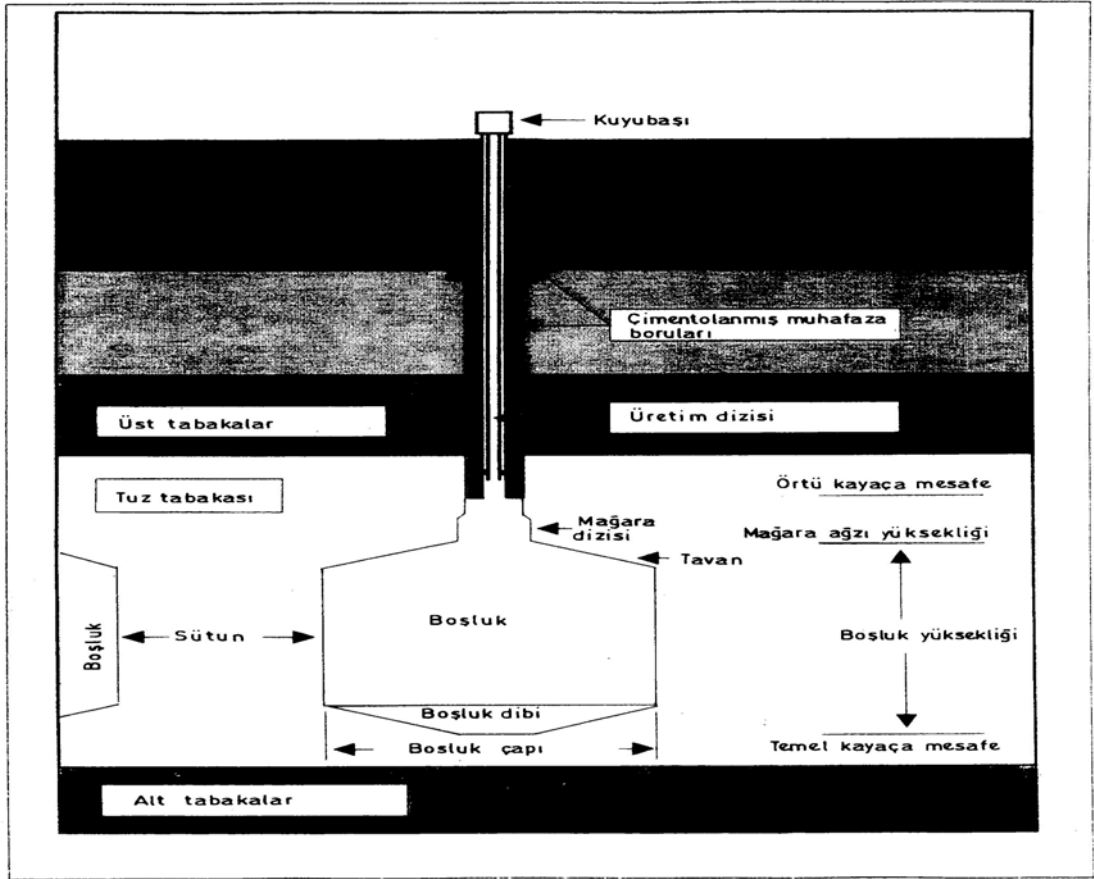
LNG Kreyojenik şartlarda depo edilir ve iletilir. LNG depo ve iletim tesisleri mutlak suretle Kreyojenik şartlara uygun olmalıdır. Depolama basınçları 0 ila 5 bar arasındadır. LNG tesisatlarından doğalgaz basınç düşürme noktalarına kadar 3 ila 4 bar arasında gaz temin edilir. Basınçlandırma buharlaştırıcılar tarafından yapılır. Tankların tamamında emniyet sistemleri olması gerekmektedir. Basınçlar regülatör ve ekonomizer yardımıyla kontrol edilirler. Şekil 2.12'de Sıvılaştırılmış Doğal gaz Depolama tankı görülmektedir. Ayrıca Doğal gazın yeraltında akiferlerde ve tuz yataklarında depolanmaları Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'de gösterilmiştir[23].



Şekil 2.12'de Sıvılaştırılmış Doğal gaz Depolama tankı[22]



Şekil 2.13'de Doğal gazın bir Akiferdeki Depolanması[21]



Şekil 2.14'de Doğal gazın Tuz Yataklarında Depolanması[20]

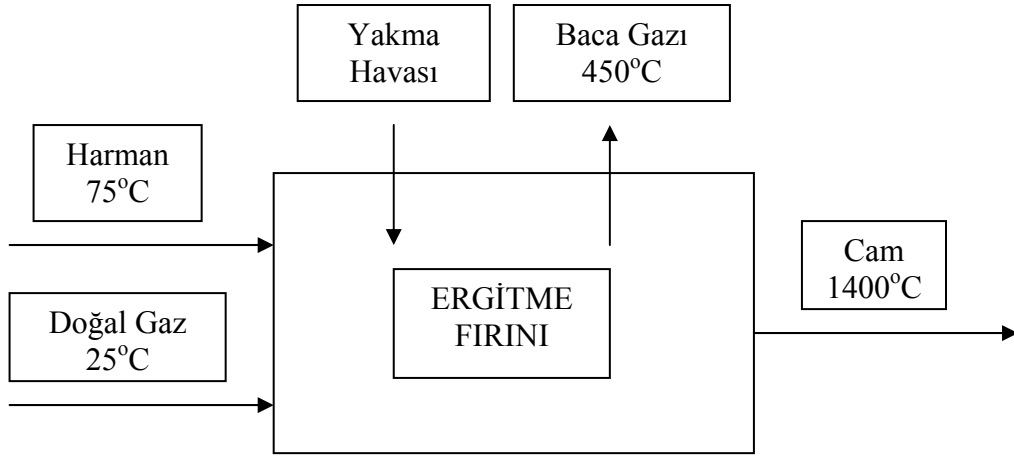
### 3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, yakıtların enerji ekonomisi açısından incelenmesi yapılmıştır. Bu bağlamda öncelikle yakıt kullanılan sistemin enerji dengesi hesaplanacaktır. Kullanılan yakıtların fiyat – performans kıyaslaması yapılmıştır.

#### 3.1 ENERJİ DENGESİ

Burada daha önce verilen cam ergitme fırınının işleyişi şekil 3.1 'de gösterilmiştir. Cam fırın ve cam fırını ile ilgili bu veriler Mersin Paşabahçe Cam Sanayi A.Ş. 'den alınan verilerle hesaplama yapılmıştır. Hesaplamanın amacı sistemdeki yakıt kullanımını ve enerji kayıplarının incelenmesidir.

##### 3.1.2 Cam Ergitme Enerji Denge Hesapları



Şekil 3.1 Cam Fırını Enerji Dengesi Gösterimi

Enerji Dengesi:

Termodinamikte, bir sistemle çevresinin etkileşimi sırasında, sistem tarafından kazanılan enerji, çevresi tarafından kaybedilen enerjiye eşit olmak zorundadır. Bu ilke deneysel gözlemlere dayanır ve termodinamiğin birinci yasası veya enerjinin korunumu ilkesi diye bilinir. Cam ergitme fırını için kütle denkliği, kütle korunumu yasası uygulanırsa eşitlik 1'de gibi enerji denge denklemi oluşmuş olur[24].

$$\sum_{i=0}^n m_{giren} = \sum_{i=0}^n m_{çıkan}$$

$$m_{harman} + m_{yakıt} + m_{hava} = m_{bacagazı} + m_{cam} \quad (1)$$

Paşabahçe Cam San. A.Ş. 'de Temmuz 2006 tarihinde cam üretimde kullanılan yakıt ve malzeme miktarı Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 A Fırınında Kullanılan Aylık Yakıt ve Malzemelerin Miktarları

| Bileşenler   | Miktarları                        |
|--------------|-----------------------------------|
| Harman       | 5 850 ton                         |
| Doğal Gaz    | 885 059 m <sup>3</sup>            |
| Yakma Havası | (12,6 × Doğal Gaz) m <sup>3</sup> |
| Cam          | 5 315,8 ton                       |

$$m_{harman} = 5\,850 \frac{ton}{ay} = 8\,125 \frac{kg}{h}$$

$$V_{dg} = 885\,059 \frac{m^3}{ay} = 1\,229,25 \frac{m^3}{h}$$

$$m_{dg} = V_{dg} \times \rho_{dg} = 1\,229,25 \frac{m^3}{h} \times 0,7167 \frac{kg}{m^3} = 881 \frac{kg}{h}$$

$$V_{hava} = 12,6 \times V_{yakıt} = 12,6 \times 1\,229,25 \frac{m^3}{h} = 15\,488,55 \frac{m^3}{h}$$

$$m_{hava} = V_{hava} \times \rho_{hava} = 15\,488,55 \frac{m^3}{h} \times 1,215 \frac{kg}{Sm^3} = 18\,818,59 \frac{kg}{h}$$

$$m_{cam} = 5\,315,779 \frac{ton}{ay} = 7\,383 \frac{kg}{h}$$

Hesaplama da  $m_{cam}$ ,  $m_{hava}$ ,  $m_{yakıt}$ ,  $m_{harman}$  değerlerini kütle denkleminde yerine konulursa, baca gazı akış hızını da bulunur.

$$m_{harman} + m_{yakıt} + m_{hava} = m_{bg} + m_{cam} \quad (2)$$

$$8\,125 \frac{kg}{h} + 881 \frac{kg}{h} + 18\,818,59 \frac{kg}{h} = m_{bg} + 7\,383 \frac{kg}{h}$$

$$m_{bg} = 20\,441,59 \frac{kg}{h}$$

$$V_{bg} = \frac{m_{bg}}{\rho_{bg}} = \frac{20\,441,59 \frac{kg}{h}}{1,32 \frac{kg}{Sm^3}} = 15\,486,05 \frac{m^3}{h}$$

Kütle denkleğinden termodinamiğın birinci yasası, enerji denkleğini uygulanırsa, A fırındaki cam üretiminden kaybolan yani kayıp ısı miktarını da bulabiliriz.

Kabuller:

A Cam Ergitme Fırını

- 1) Sistemde tarafından üretilen iş olmamaktadır.
- 2) Referans sıcaklığı  $T_{ref} = 298 \text{ K}$  'dir.

$$Q - W = \Delta H + \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$W = 0 \rightarrow \text{iş - yok}$$

$$\Delta U = 0 \rightarrow \text{kararlı - durum}$$

$$Q = \Delta H = \sum_{i=0}^n H_{giren} \times m_{giren} - \sum_{i=0}^n H_{çıkan} \times m_{çıkan}$$

$$Q_{kayıp} = H_{b/g} \times m_{b/g} + H_{harman} \times m_{harman} + H_{y/h} \times m_{y/h} - H_{cam} \times m_{cam} - H_{b/g} \times m_{b/g} - \Delta H_{yanma} - \Delta H_{h/c} \quad (3)$$

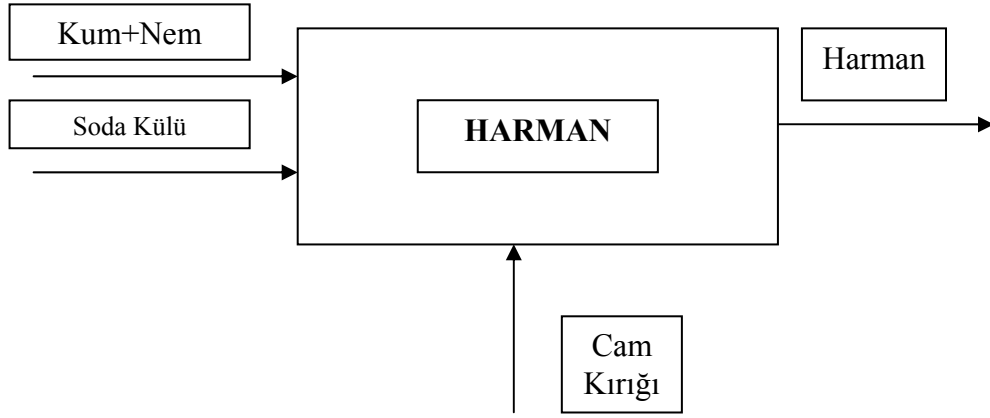
İkinci denklemdede eksik olan değerler harman-cam üretiminden gelen ısı miktarlarıdır. Harmandan, cam üretimi için gerekli olan ısı miktarını bulmak için harman bileşenlerinin toplam ısı miktarının hesaplanması gerekmektedir.

Harman:

Cam üretiminde harman; kum, feldspat, dolomit, soda külü (sodyum karbonat), kireç taşı, sodyum sülfat, cam kırığı (kırık halde veya geri dönüşüm için alınan) gibi malzemelerin karıştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Harmandan gelen ısı miktarını hesaplariken yalnızca kum, soda külü ve cam kırığı dikkate alınacaktır. Çünkü harmanda bulunan diğer malzemelerin %1,5 'den daha düşük olduğu için ihmal edilecektir. Harman bileşenlerinin harmanda bulunma miktarları ve ısı kapasiteleri çizelge 3.2 'de gösterilmiştir. Şekil 3.2 'de ise Harman proses modellemesi yapılmıştır.

Çizelge 3.2 Harman Bileşenlerinin Miktar ve Isı Kapasiteleri (100kg esas alınmıştır.)

|            | <b>HARMAN (kg)</b> | <b>Cp (kJ/ kg K)</b> |
|------------|--------------------|----------------------|
| Kum        | 57,7               | 0,79                 |
| Soda Küllü | 18,0               | 1,07                 |
| Cam Kırığı | 21,5               | 1,05                 |
| Nem        | 2,8                | 4,18                 |



Şekil 3.2 Harman Karışımı

Burada harman bileşenleri sadece sıcaklığa bağlı olarak, doğru orantılı bir şekilde değişim göstermektedir. Harman içeriğindeki malzemelerin karışım ısı kapasitesi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir. Çizelge 3.3 'de ise cam fırınına giren yakıt ve malzemelerin ısı kapasiteleri belirtilmiştir.

$$Cp_{karışım} = \sum_{i=0}^n Cp_i \times x_i = 0,79 \times 0,577 + 1,07 \times 0,18 + 1,05 \times 0,215 + 4,18 \times 0,028$$

$$Cp_{karışım} = 0,9815 \text{ kJ} / \text{kg}_{harman} \text{ K}$$

Çizelge 3.3 Cam Fırınına Giren Yakıt ve Malzemelerin Isı Kapasiteleri [15].

|              | <b>Cp</b>                   |
|--------------|-----------------------------|
| Harman       | 0,9815 (kJ/kgK)             |
| Doğal Gaz    | 22,35+0,481T (J/molK)       |
| Yakma Havası | 1,04 (kJ/Sm <sup>3</sup> K) |
| Baca Gazı    | 1,25 (kJ/Sm <sup>3</sup> K) |
| Cam          | 1,08 (kJ/kgK)               |

Bileşenlerin entalpilerini hesaplamak için 4 nolu eşitlik kullanılır.

$$\Delta H = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT \quad (4)$$

$$H_{harman} = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT = 0,9815 \times (75 - 25) = 49,075 \text{ kJ / kg}$$

$$H_{dg} = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT = \int_{25}^{25} (22,35 + 0,481T) \cdot dT = 0 \text{ kJ / kg}$$

$$H_{hava} = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT = 1,04 \times (30 - 25) = 5,2 \text{ kJ / m}^3$$

$$H_{bg} = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT = 1,25 \times (450 - 25) = 531,25 \text{ kJ / m}^3$$

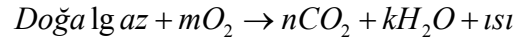
$$H_{cam} = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT = 1,08 \times (1400 - 25) = 1485 \text{ kJ / kg}$$

Hesaplanan verilerin kıyaslaması Çizelge 3.4 'de yapılmıştır.

Çizelge 3.4 Hesaplanan Verilerin Besleme Hızları ve Entalpileri

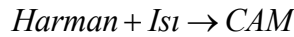
| Bileşenler   | Besleme Hızı                 | Entalpi                  |
|--------------|------------------------------|--------------------------|
| Harman       | 8 125 kg/h                   | 49,075 kJ/kg             |
| Doğal Gaz    | 881 kg/h                     | 0                        |
| Yakma Havası | 15 488,55 Sm <sup>3</sup> /h | 5,2 kJ/m <sup>3</sup>    |
| Baca Gazı    | 15 486,05 Sm <sup>3</sup> /h | 531,25 kJ/m <sup>3</sup> |
| Cam          | 7 383 kg/h                   | 1 485 kJ/kg              |

Yanma Olayı: (Yanma Isısı)



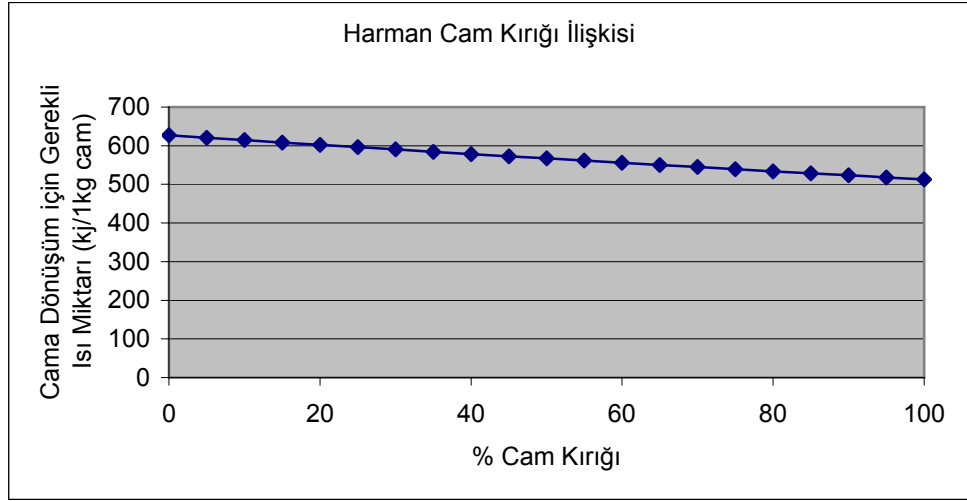
$$\Delta H_{yanma} = 191,759 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}} = 51552,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Reaksiyon: (Reaksiyon Isısı)



Cam üretimindeki karışım, harman ve cam kırığından oluşmaktadır. Üretimdeki gerekli ısı miktarı bu karışıma eklenen cam kırığı ile ters orantılıdır. Dolayısıyla karışıma eklenen cam kırığı miktarı arttıkça gerekli olan ısı miktarı azalmaktadır. Cam kırısız harmanın tamamen 1 400 °C 'deki cam hamuruna dönüşmesi için gerekli teorik enerji gereksinimi yaklaşık olarak 2 625,12 kJ/kg 'dir. Bu teorik enerji gereksinimi harmana eklenen her %10 cam kırığı için bu değer %2 azalmaktadır. Harmanda kullanılan cam kırığı miktarına göre gerekli olan ısı miktarı Şekil 3.3'de gösterilmiştir.





Şekil 3.3 Harman Cam Kırığı İlişkisi

Paşabahçe Cam San. A.Ş. 'den pratik uygulamalar sonucu elde edilmiş verilerdir. Bu hesaplamada karışımda %80 harman ve %20 cam kırığı olduğu varsayılmıştır.

Elde edilen akış hızları, entalpiler, yanma ve reaksiyon ısıları ikinci denklemden yerleştirilerek sistemden (fırın) kaybolan ısı miktarını bulunabilir.

$$Q_{kayıp} = H_{dg} \times m_{dg} + H_{harman} \times m_{harman} + H_{hava} \times m_{hava} - H_{cam} \times m_{cam} - H_{bg} \times m_{bg} - \Delta H_{yanma} - \Delta H_{h/c}$$

Çizelge 3.5 Doğalgaz Kullanımında Bir Saatte Fırından Kayıp olan Enerji (Paşabahçe)

| Beslenen Madde      | Entalpi  | Besleme Hızı                | Enerji (Mj/h) |
|---------------------|--|-----------------------------|---------------|
| Doğalgaz            | 0  | 881 kg/h                    | 0             |
| Harman              | 49,075 kJ/kg   | 8 125 kg/h                  | 398,74        |
| Hava                | 5,2 kJ/m <sup>3</sup>                                | 15 488,55 m <sup>3</sup> /h | 80,54         |
| $\Delta H_{yanma}$  | 51 552 kJ/kg   | 881 kg/h                    | 45 417,31     |
| <b>Girenler</b>     | <b>Q<sub>1</sub></b>                                 |                             | 45 896,59     |
| Cam                 | 1 485 kJ/kg  | 7 383 kg/h                  | 10 963,38     |
| Baca Gazı           | 531,25 kJ/m <sup>3</sup>                             | 15 486,05 m <sup>3</sup> /h | 8 226,96      |
| $\Delta H_{h/c}$    | 583,86 kJ/kg   | 7.383 kg/h                  | 4 310,64      |
| <b>Çıkanlar</b>     | <b>Q<sub>2</sub></b>                                 |                             | 23 500,98     |
| <b>Kayıp Enerji</b> | <b>Q<sub>kayıp</sub>=Q<sub>1</sub>-Q<sub>2</sub></b> |                             | 22,40 Gj/h    |

Aynı hesapları fuel oil ile yapılan cam üretiminde de uygularsak, böylece doğal gaz ile fuel oil kullanımındaki enerji kayıpları karşılaştırılabilir. A fırınında kullanılan gün bazında yakıt ve malzemelerin miktarları Çizelge 3.6 ‘da gösterilmiştir. A fırınından 2001 Temmuz ayında alınan verilerle hesaplama yapılmıştır.

Çizelge 3.6 A Fırınında Kullanılan Günlük Yakıt ve Malzemelerin Miktarları

| Bileşenler | Beleme Hızları |
|------------|----------------|
| Harman     | 192,406 kg/d   |
| Fuel Oil   | 19,584 kg/d    |
| Cam        | 163,333 ton/d  |

Enerji Dengesi:

Sisteme verilen ısı ve sistemden çıkan ısı birbirine termodinamiğin birinci yasasında belirtildiği gibi eşit olması gerekmektedir.

Sisteme Giren Isı Miktarı:

Harmandan gelen ısı, yakam havasından gelen ısı ve yakıtın yanmasından dolayı oluşan ısıнын toplamına eşittir.

$$m_{harman} = 192406 \frac{ton}{d} = 8\ 016,91 \frac{kg}{h}$$

$$m_{f/o} = 816 \frac{kg}{h}$$

$$V_{hava} = 10\ 082 \frac{m^3}{h}$$

$$m_{y/h} = V_{y/h} \times \rho_{y/h} = 10082 \frac{m^3}{h} \times 1,215 \frac{kg}{m^3} = 12\ 249,63 \frac{kg}{h}$$

$$m_{cam} = 163\ 333 \frac{ton}{d} = 6\ 806 \frac{kg}{h}$$

Bulduğumuz  $m_{cam}$ ,  $m_{y/h}$ ,  $m_{d/g}$ ,  $m_{harman}$  değerlerini birinci denklemde yerine koyarsak, baca gazı akış hızını da bulmuş oluruz.

$$m_{harman} + m_{fo} + m_{hava} = m_{bg} + m_{cam}$$

$$8\,016,91 \frac{kg}{h} + 816 \frac{kg}{h} + 12\,249,63 \frac{kg}{h} = m_{bg} + 6806 \frac{kg}{h}$$

$$m_{bg} = 14\,276,54 \frac{kg}{h}$$

$$V_{bg} = \frac{m_{bg}}{\rho_{bg}} = \frac{14\,276,54 kg/h}{1,32 kg/Sm^3} = 10815,56 \frac{m^3}{h}$$

Elde edilen bu değerler ikinci denklemde yerine konursa sistemden kaybolan ısı/enerji miktarı bulunmuş olur.

Harman da kullanılan malzemeler ve ısı kapasiteleri Çizelge 3.7 'de gösterilmiştir. Çizelge 3.7 'de sadece kum, soda ve cam kırığı miktarları belirtilmiştir; diğer bileşenler yüzde miktarı bakımından çok az olduğu için ihmal edilmiştir.

Çizelge 3.7 Harman, Bileşenleri, %'si ve Isı Kapasiteleri

|            | Harman Bileşimi<br>Kütlece (%) | Cp<br>(kj/kgK) |
|------------|--------------------------------|----------------|
| Kum        | 52,32                          | 0,79           |
| Soda Küllü | 16,85                          | 1,07           |
| Cam Kırığı | 30,83                          | 1,05           |

Çizelge 3.7 'deki veriler kullanılarak harmanın ısı kapasitesi hesaplanarak harmanın ortalama ısı kapasitesi hesaplanır.

$$Cp_{harman} = \sum_{i=0}^n Cp_i \times x_i = 0,79 \times 0,5232 + 1,07 \times 0,1685 + 1,05 \times 0,3083 + 4,18 \times 0,028$$

$$Cp_{karışım} = 1,025 \text{ kj / kg}_{harman} \text{ K}$$

Çizelge 3.8 Cam Fırınına Giren Yakıt ve Malzemeler ile Giren Enerjileri[8]

|              | Cp                           |
|--------------|------------------------------|
| Harman       | 1,025 (kj/(kgK))             |
| Fuel Oil     | 1 644+3,84T (J/(kgK))        |
| Yakma Havası | 1,04 (kj/(m <sup>3</sup> K)) |
| Baca Gazı    | 1,25 (kj/(m <sup>3</sup> K)) |
| Cam          | 1,08 (kj/(kgK))              |

$$H_{harman} = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT = 1,25 \times (75 - 25) = 62,5 \text{ kJ / kg}$$

$$H_{f/o} = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT = \int_{25}^{25} (1\,644 + 3,84T) \cdot dT = 0 \text{ kJ / kg}$$

$$H_{y/h} = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT = 1,04 \times (30 - 25) = 5,2 \text{ kJ / m}^3$$

$$H_{b/g} = \int_{T_{ref}}^T Cp_{ort.} \cdot dT = 0,30 \times (450 - 25) = 531,25 \text{ kJ / m}^3$$

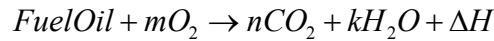
$$H_{cam} = \int_{T_{ref}}^T Cp \cdot dT = 1,08 \times (1\,400 - 25) = 1\,485 \text{ kJ / kg}$$

Hesaplanan verileri kıyaslaması Çizelge 3.9 'da yapılmıştır.

Çizelge 3.9 Hesaplanan Verilerin Besleme Hızları ve Entalpileri

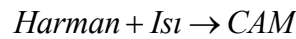
| Bileşenler   | Besleme Hızları              | Entalpi                  |
|--------------|------------------------------|--------------------------|
| Harman       | 8 016,91 kg/h                | 62,5 kJ/kg               |
| Fuel Oil     | 816 kg/h                     | 0                        |
| Yakma Havası | 10 082 Sm <sup>3</sup> /h    | 5,2 kJ/m <sup>3</sup>    |
| Baca Gazı    | 10 815,56 Sm <sup>3</sup> /h | 531,25 kJ/m <sup>3</sup> |
| Cam          | 6 806 kg/h                   | 1 161 kJ/kg              |

Yanma Olayı: (Yanma Isısı)



$$\Delta H_{yanma} = 9\,562 \frac{kcal}{kg} = 40\,034,2 \frac{kJ}{kg} = 40 \frac{Mj}{kg}$$

Reaksiyon: (Reaksiyon Isısı)



Cam üretimindeki karışım, harman ve cam kırığından oluşmaktadır. Üretimdeki gerekli ısı miktarı bu karışıma eklenen cam kırığı ile ters orantılıdır. Dolayısıyla karışıma eklenen cam kırığı miktarı arttıkça gerekli olan ısı miktarı azalmaktadır. Karışımındaki cam kırığı miktarına göre gerekli ısı miktarı aşağıda verilmektedir.

Bu veriler Paşabahçe Cam San. A.Ş. 'den pratik uygulamalar sonucu elde edilmiş verilerdir. Bu hesaplamada karışımda %70 harman ve %30 cam kırığı bulunduğu varsayılmıştır.

Elde edilen akış hızları, ısı kapasite, yanma ısıları değerlerini ikinci denklemden yerleştirirsek sistemden (fırın) kaybolan ısı miktarını bulunabilir. Fuel Oil kullanımı ile cam üretiminden kayıp olan enerji miktarı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Q_{kayıp} = H_{fo} \times m_{fo} + H_{harman} \times m_{harman} + H_{hava} \times m_{hava} - H_{cam} \times m_{cam} - H_{bg} \times m_{bg} - \Delta H_{yanma} - \Delta H_{h/c}$$

Çizelge 3.10 Fuel Oil Kullanımında Fırından Bir Saatte Kayıp olan Enerji (Paşabahçe)

| Beslenen Madde      | Entalpi                  | Besleme Hızı   | Enerji (Mj/h) |
|---------------------|--------------------------|--|---------------|
| Fuel Oil            | 0                        | 816 kg/h   | 0             |
| Harman              | 62,5 kJ/kg               | 8 016,91 kg/h  | 501,06        |
| Hava                | 5,2 kJ/m <sup>3</sup>    | 10 082 m <sup>3</sup> /h                             | 52,43         |
| $\Delta H_{yanma}$  | 40 034,2 kJ/kg           | 816 kg/h   | 32 667,90     |
| <b>Girenler</b>     | <b>Q<sub>1</sub></b>     |  | 33 221,39     |
| Cam                 | 1 485 kJ/kg              | 6 806 kg/h   | 10 106,90     |
| Baca Gazı           | 531,25 kJ/m <sup>3</sup> | 10 815,56 m <sup>3</sup> /h                          | 5 745,77      |
| $\Delta H_{h/c}$    | 594,7 kJ/kg              | 6 806 kg/h   | 4 047,52      |
| <b>Çıkanlar</b>     | <b>Q<sub>2</sub></b>     |  | 19 900,19     |
| <b>Kayıp Enerji</b> |                          | <b>Q<sub>kayıp</sub>=Q<sub>1</sub>-Q<sub>2</sub></b> | 13,32 Gj/h    |

Aynı hesapları Anadolu Cam Sanayi A.Ş. 'den alınan harman reçetesine de uygularsak, cam fırından kayıp olan enerji miktarını Fuel Oil ve Doğal gaz için bulmuş oluruz. Çizelge 3.11'de harman bileşimi gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 Harman Bileşenlerinin Miktar ve Isı Kapasiteleri

| Bileşenler | Harman (kg) | Cp (kJ/(kgK)) |
|------------|-------------|---------------|
| Kum        | 45          | 0,79          |
| Soda Küllü | 12          | 1,07          |
| Cam Kırığı | 25          | 1,05          |
| Nem        | 2,8         | 4,18          |

Buradan harman karışımının ortalama ısı kapasitesi 5 nolu denklemde gösterilmiştir.

$$C_{p_{karışım}} = 0,8521 \text{ kJ} / \text{kg}_{harman} \text{ K} \quad (5)$$

Denklem 5'den elde edilen  $C_{p_{karışım}}$  ve kullanılan doğalgaz, yakma havası, baca gazı ve camın entalpileri Çizelge 3.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 Hesaplanan Verilerin Besleme Hızları ve Entalpileri

| Bileşenler   | Besleme Hızı                 | Entalpi                  |
|--------------|------------------------------|--------------------------|
| Harman       | 11 295,36 kg/h               | 42,603 kJ/kg             |
| Doğal Gaz    | 929,75 Sm <sup>3</sup> /h    | 0                        |
| Yakma Havası | 16 345,6 Sm <sup>3</sup> /h  | 5,2 kJ/m <sup>3</sup>    |
| Baca Gazı    | 16 531,86 Nm <sup>3</sup> /h | 531,25 kJ/m <sup>3</sup> |
| Cam          | 10 262,96 kg/h               | 1 485 kJ/kg              |

Çizelge 3.12'deki verileri denklemde yerine yerleştirerek sistemde kayıp olan enerji miktarı bulunur. Elde edilen akış hızları, ısı kapasiteleri, yanma ve ısıları ikinci denklemde yerine konarak sistemden (fırın) kaybolan ısı miktarını hesaplanabilir. Doğal gaz kullanımı ile cam üretiminden kayıp olan enerji miktarı Çizelge 3.13'deki gibi hesaplanabilir.

$$Q_{kayıp} = H_{d/g} \times m_{d/g} + H_{harman} \times m_{harman} + H_{y/h} \times m_{y/h} - H_{cam} \times m_{cam} - H_{b/g} \times m_{b/g} - \Delta H_{yanma} - \Delta H_{h/c}$$

Çizelge 3.13 Doğalgaz Kullanımında Bir Saatte Fırından Kayıp olan Enerji (Anadolu Cam)

| Beslenen Madde      | Entalpi  | Besleme Hızı                | Enerji (Mj/h) |
|---------------------|--|-----------------------------|---------------|
| Doğal gaz           | 0  | 929,75 kg/h                 | 0             |
| Harman              | 42,603 kJ/kg   | 11 295,36 kg/h              | 481,22        |
| Hava                | 5,2 kJ/m <sup>3</sup>                                    | 16 345,6 m <sup>3</sup> /h  | 84,99         |
| $\Delta H_{yanma}$  | 51 552,1 kJ/kg   | 929,75 kg/h                 | 47 930,56     |
| <b>Girenler</b>     | <b>Q<sub>1</sub></b>                                     |                             | 48 496,77     |
| Cam                 | 1 485 kJ/kg  | 10 262,96 kg/h              | 15 240,5      |
| Baca Gazı           | 531,25 kJ/m <sup>3</sup>                                 | 16 531,86 m <sup>3</sup> /h | 8 782,25      |
| $\Delta H_{h/c}$    | 589,26 kJ/kg   | 10 262,96 kg/h              | 6 047,55      |
| <b>Çıkanlar</b>     | <b>Q<sub>2</sub></b>                                     |                             | 30 070,3      |
| <b>Kayıp Enerji</b> | <b>Q<sub>kayıp</sub> = Q<sub>1</sub> - Q<sub>2</sub></b> |                             | 18,43 Gj/h    |

Aynı hesapları fuel oil ile yapılan cam üretiminde de uygulanırsa, böylece doğal gaz ile fuel oil kullanımındaki enerji kayıpları karşılaştırılabilir. Çizelge 3.14’de besleme hızları gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 Hesaplanan Verilerin Besleme Hızları ve Entalpileri

| Bileşenler   | Besleme Hızı                | Entalpi                  |
|--------------|-----------------------------|--------------------------|
| Harman       | 10 179,83 kg/h              | 42,603 kJ/kg             |
| Fuel Oil     | 957,24 kg/h                 | 0                        |
| Yakma Havası | 10 082 Sm <sup>3</sup> /h   | 5,2 kJ/m <sup>3</sup>    |
| Baca Gazı    | 10 710,1 Nm <sup>3</sup> /h | 531,25 kJ/m <sup>3</sup> |
| Cam          | 9 249,4 kg/h                | 1 485 kJ/kg              |

$$Q_{kayıp} = H_{f/o} \times m_{f/o} + H_{harman} \times m_{harman} + H_{y/h} \times m_{y/h} - H_{cam} \times m_{cam} - H_{b/g} \times m_{b/g} - \Delta H_{yanma} - \Delta H_{h/c}$$

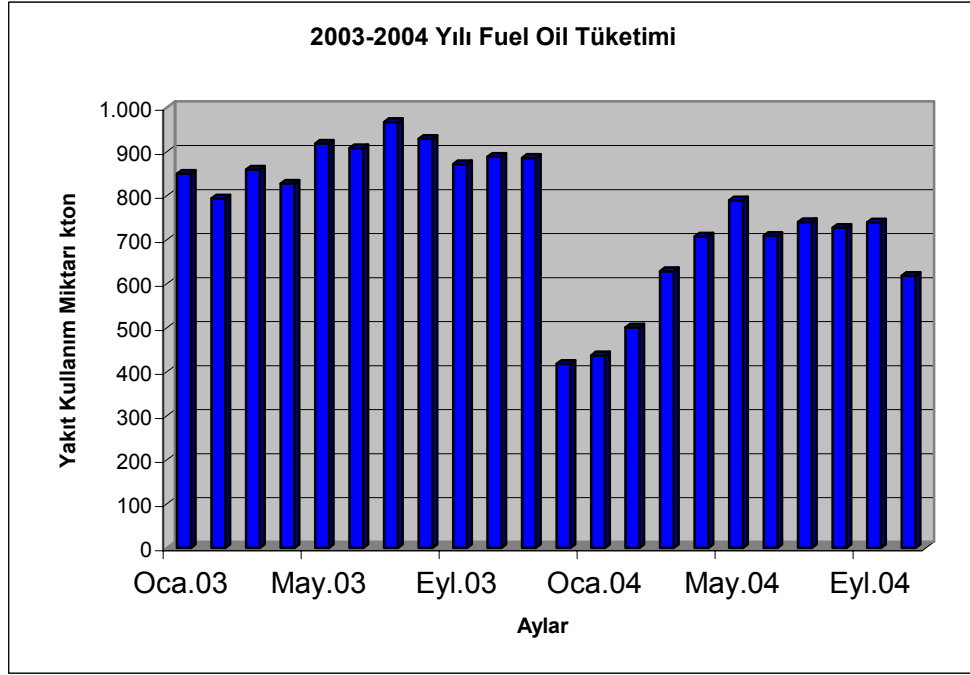
Çizelge 3.15 Fuel Oil Kullanımında Fırından Bir Saatte Kayıp olan Enerji  
(Anadolu Cam)

| Beslenen Madde      | Entalpi  | Besleme Hızı               | Enerji (Mj/h) |
|---------------------|--|----------------------------|---------------|
| Fuel Oil            | 0  | 957,24 kg/h                | 0             |
| Harman              | 42,603 kJ/kg   | 10 179,83 kg/h             | 433,69        |
| Hava                | 5,2 kJ/m <sup>3</sup>                                | 10 082 m <sup>3</sup> /h   | 52,43         |
| $\Delta H_{yanma}$  | 40 034,2 kJ/kg                                       | 957,24 kg/h                | 38 322,34     |
| <b>Girenler</b>     | <b>Q<sub>1</sub></b>                                 |                            | 38 808,46     |
| Cam                 | 1 485 kJ/kg  | 9 249,4 kg/h               | 13 735,36     |
| Baca Gazı           | 531,25 kJ/m <sup>3</sup>                             | 10 710,1 m <sup>3</sup> /h | 5 689,73      |
| $\Delta H_{h/c}$    | 589,26 kJ/kg   | 9 249,4 kg/h               | 5 450,30      |
| <b>Çıkanlar</b>     | <b>Q<sub>2</sub></b>                                 |                            | 24 875,39     |
| <b>Kayıp Enerji</b> | <b>Q<sub>kayıp</sub>=Q<sub>1</sub>-Q<sub>2</sub></b> |                            | 13,93 Gj/h    |

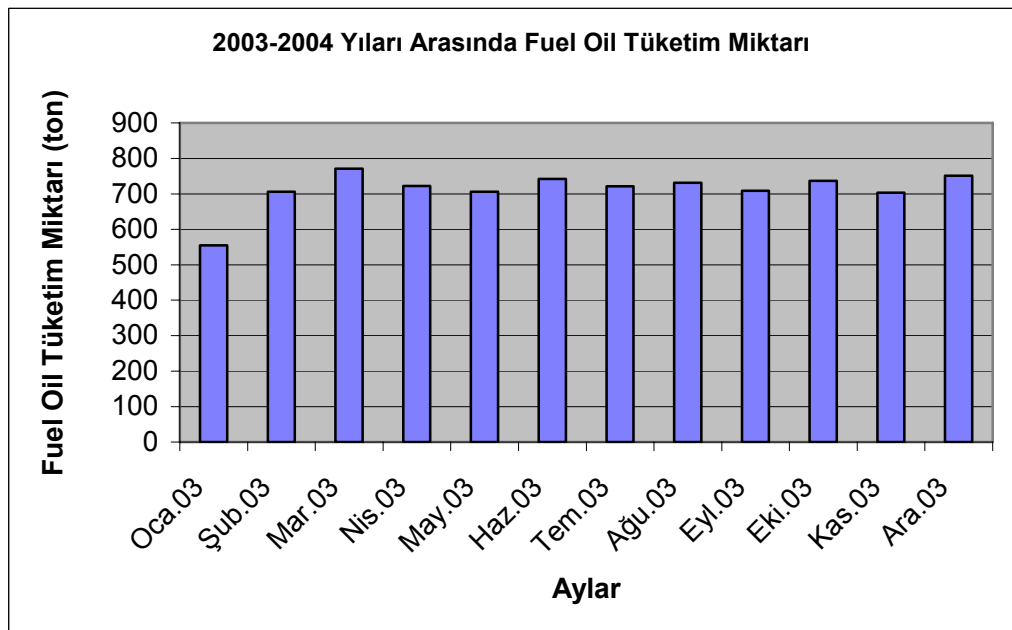
## 3.2 YAKIT KULLANIMININ KARŞILAŞTIRILMASI

### 3.2.1 Fuel Oil

2003 ve 2004 yılları arasındaki Fuel Oil kullanımı için veriler, Paşabahçe Cam San. A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Kullanılan Fuel Oil aylara göre dağılımı Şekil 3.4’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.5’de Anadolu Cam San. A.Ş.’den alınan Fuel Oil tüketim miktarları gösterilmiştir[10].



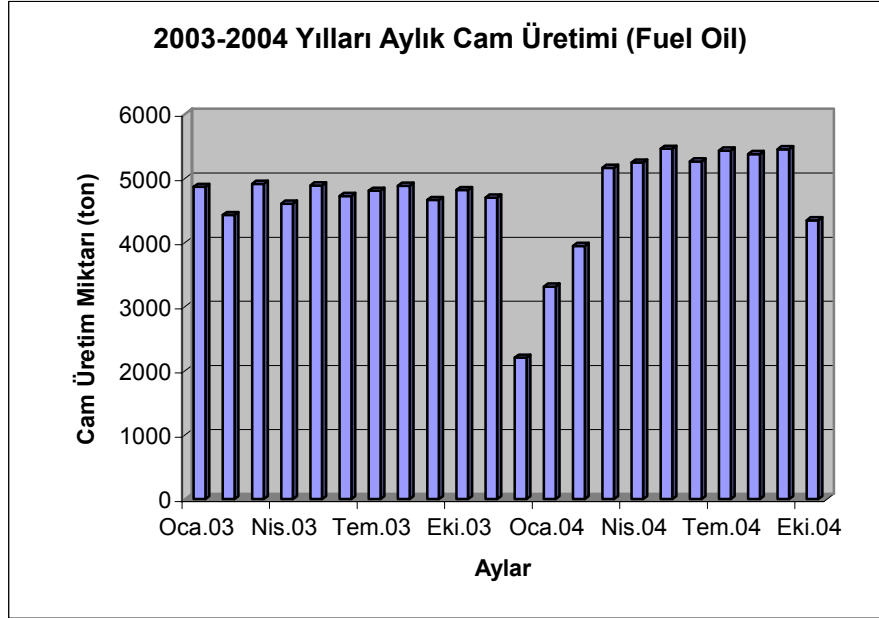
Şekil 3.4 2003–2004 Yılları Arasında Aylık Fuel Oil Kullanım Miktarları (Paşabahçe).



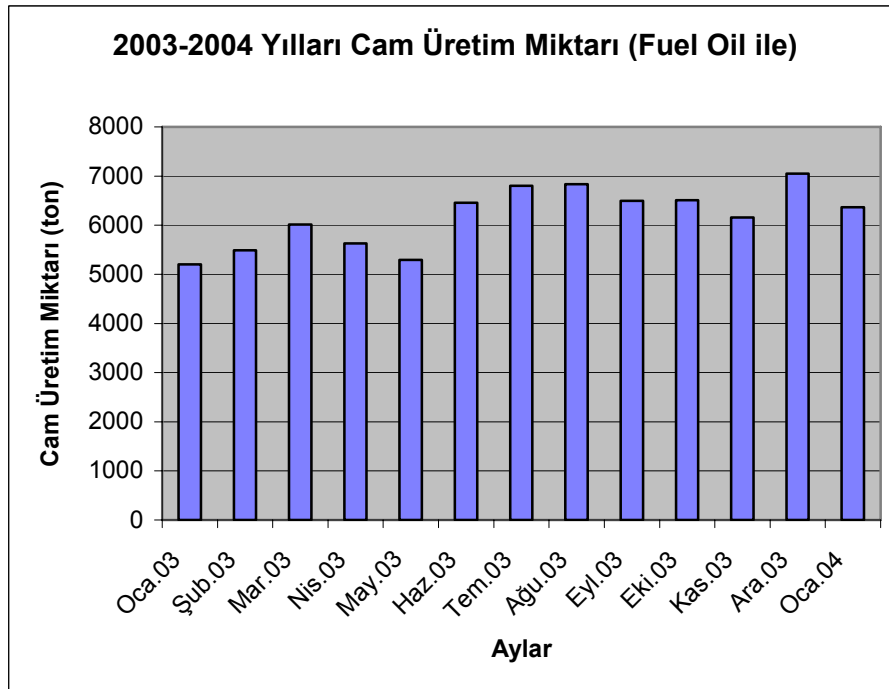
Şekil 3.5 2003 Yılı Fuel Oil Aylık Kullanım Miktarları (Anadolu)



Şekil 3.6'da ise aynı yıllarda Fuel Oil kullanılarak üretilen cam miktarları aylara göre dağılımı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 3.7'de Anadolu Cam San. A.Ş.'den alınan Fuel Oil tüketim miktarları gösterilmiştir[8].

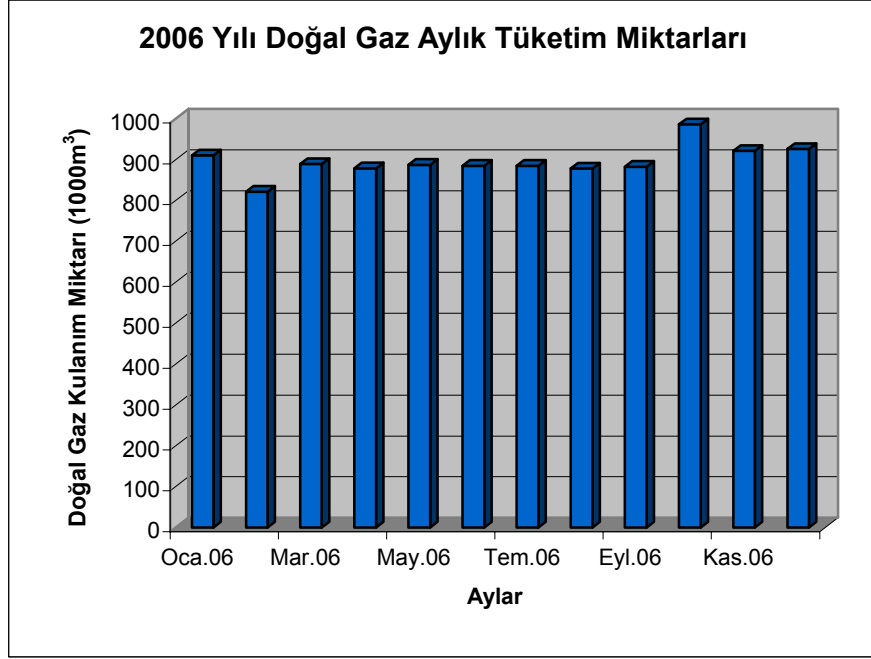


Şekil 3.6 Fuel Oil Kullanımına göre Cam Üretim Miktarlarının Aylara göre Değişimi (Paşabahçe)



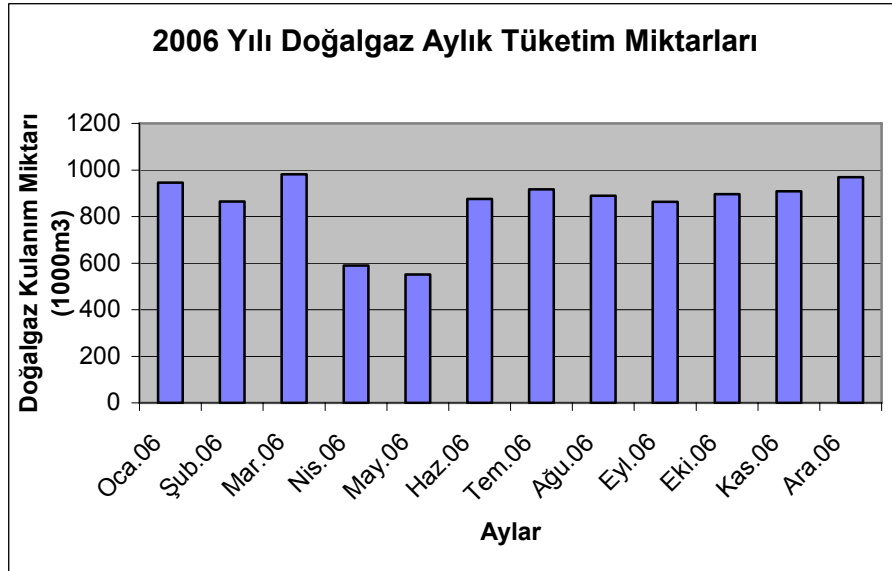
Şekil 3.7 Fuel Oil Kullanımına göre Cam Üretim Miktarlarının Aylara göre Değişimi (Anadolu)

### 3.2.2. Doğal Gaz

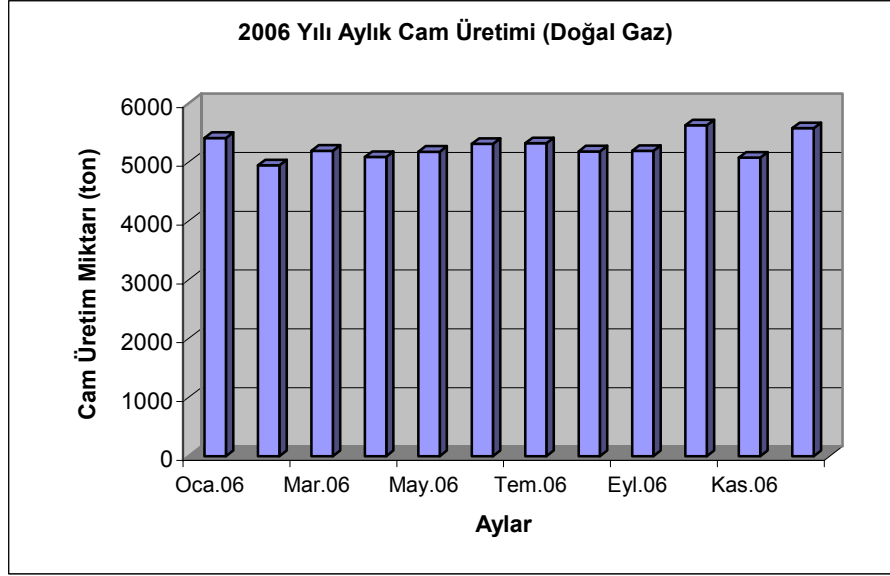


Şekil 3.8 2006 Yılı Aylık Doğal Gaz Tüketimi (Paşabahçe)

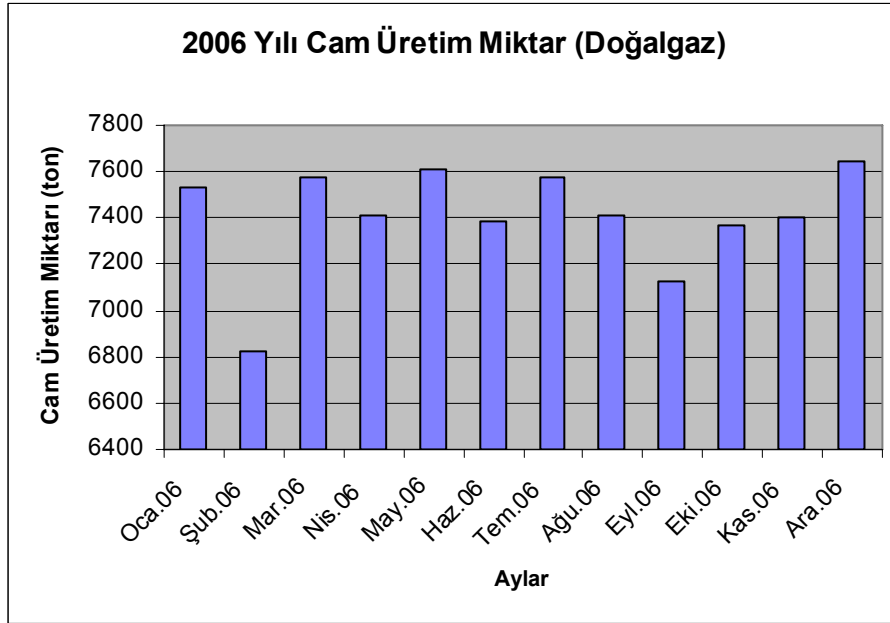
Şekil 3.8’de de görüldüğü gibi Paşabahçe Cam San. A.Ş.’nin Doğal gaz kullanım miktarı giderek artış göstermektedir. Ayrıca Doğal gaz kullanılan sürede üretilen cam miktarının karşılaştırması Şekil 3.9’de gösterilmiştir.



Şekil 3.9 2006 Yılı Aylık Doğal Gaz Tüketimi (Anadolu Cam)



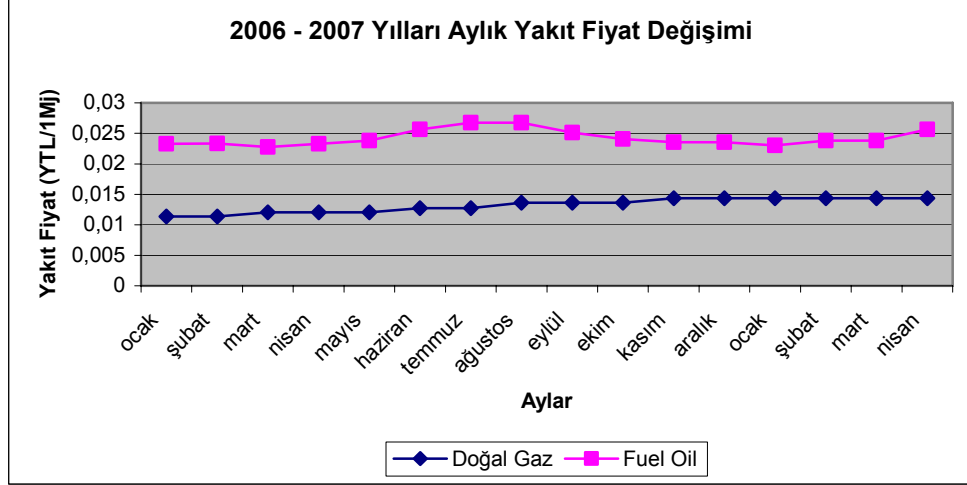
Şekil 3.10 Doğal gaz Kullanımına göre Cam Üretim Miktarlarının Aylara göre Değişimi (Paşabahçe)



Şekil 3.11 Doğal gaz Kullanımına göre Cam Üretim Miktarlarının Aylara göre Değişimi (Anadolu Cam)

### 3.3 KULLANILAN YAKITLARIN FİYAT KARŞILAŞTIRMASI

Şekil 3.12’de 2006 Ocak ayından başlayarak 2007 Nisan ayına kadar olan güncel yakıt fiyatları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.12 Yakıt Fiyatlarının Aylara göre Değişimi

### 3.4 KULLANILAN YAKITLARIN MALİYET KARŞILAŞTIRMASI

#### 3.4.1 Fuel Oil Kullanımı

Çizelge 3.16 ‘da 2003 yılında kullanılan Fuel Oil miktarları ve aylık olarak maliyetleri hesaplanmıştır. Ayrıca Anadolu Cam San. A.Ş. ‘de 2003 yılında kullanılan Fuel Oil miktarları ve aylık olarak maliyetleri Çizelge 3.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.16 Aylık Fuel Oil Kullanım Miktarları, Birim Fiyatı, Cam Üretim Miktarı ve Maliyeti (Paşabahçe)

|          | Yakıt Miktarı (ton) | Birim Yakıt Fiyatı (YTL/ton) | Cam Üretimi (ton) | Maliyet (YTL/1 ton cam) |
|----------|---------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Oca.03   | 849 923             | 0,85                         | 4 868,39          | 148,94                  |
| Şub.03   | 793 964             | 0,85                         | 4 427,45          | 152,99                  |
| Mar.03   | 859 713             | 0,83                         | 4 914,05          | 145,87                  |
| Nis.03   | 827 795             | 0,85                         | 4 606,48          | 153,31                  |
| May.03   | 918 803             | 0,87                         | 4 890,27          | 163,94                  |
| Haz.03   | 908 233             | 0,94                         | 4 725,62          | 180,74                  |
| Tem.03   | 967 571             | 0,98                         | 4 808,14          | 197,05                  |
| Ağu.03   | 929 622             | 0,98                         | 4 884,95          | 186,34                  |
| Eyl.03   | 872 084             | 0,92                         | 4 662,25          | 172,44                  |
| Eki.03   | 888 629             | 0,88                         | 4 817,48          | 162,74                  |
| Kas.03   | 886 190             | 0,86                         | 4 699,64          | 162,70                  |
| Ara.03   | 418 227             | 0,86                         | 2 203,80          | 163,86                  |
| TOPLAM   | 10 125 754          | 10,69                        | 54 508,57         | 1 990,92                |
| ORTALAMA | 843 396,17          | 0,89                         | 4 542,38          | 165,48                  |

Çizelge 3.17 Aylık Fuel Oil Kullanım Miktarları, Birim Fiyatı, Cam Üretim Miktarı ve Maliyeti (Anadolu Cam)

|          | Yakıt Miktarı (ton) | Birim Yakıt Fiyatı (YTL/ton) | Cam Üretimi (ton) | Maliyet (YTL/1 ton cam) |
|----------|---------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Oca.03   | 554 500             | 0,85                         | 5 197,79          | 91,01                   |
| Şub.03   | 706 292             | 0,85                         | 5 485,99          | 109,84                  |
| Mar.03   | 771 306             | 0,83                         | 6 013,31          | 106,94                  |
| Nis.03   | 722 491             | 0,85                         | 5 629,30          | 109,50                  |
| May.03   | 706 179             | 0,87                         | 5 289,31          | 116,49                  |
| Haz.03   | 742 588             | 0,94                         | 6 456,75          | 108,16                  |
| Tem.03   | 721 348             | 0,98                         | 6 802,85          | 103,83                  |
| Ağu.03   | 731 803             | 0,98                         | 6 835,63          | 104,83                  |
| Eyl.03   | 708 674             | 0,92                         | 6 495,14          | 100,59                  |
| Eki.03   | 736 487             | 0,88                         | 6 511,71          | 99,78                   |
| Kas.03   | 703 694             | 0,86                         | 6 155,07          | 98,65                   |
| Ara.03   | 751 128             | 0,86                         | 7 048,83          | 92,01                   |
| TOPLAM   | 8 556 490           | 10,69                        | 73 921,68         | 1 241,63                |
| ORTALAMA | 713 040,83          | 0,89                         | 6 160,14          | 103,47                  |

#### 3.4.2 Doğal Gaz Kullanımı

Çizelge 3.18 'de ise 2006 yılında cam üretiminde kullanılan Doğal gaz miktarlar ve aylık birim fiyatlar kullanılarak ortalama maliyetinin hesaplanması gösterilmiştir. Ayrıca Anadolu Cam San. A.Ş. 'de 2006 yılında kullanılan Doğal gaz miktarları ve aylık olarak maliyetleri Çizelge 3.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.18 Aylık Doğal gaz Kullanım Miktarları, Birim Fiyatı, Cam Üretim Miktarı ve Maliyeti (Paşabahçe)

|          | Yakıt Miktarı (Sm <sup>3</sup> ) | Birim Yakıt Fiyatı (YTL/Sm <sup>3</sup> ) | Cam Üretimi (ton) | Maliyet (YTL/1 ton cam) |
|----------|----------------------------------|---|-------------------|-------------------------|
| Oca.06   | 910 168                          | 0,42                                      | 5 412,29          | 70,48                   |
| Şub.06   | 821 468                          | 0,42                                      | 4 946,26          | 69,59                   |
| Mar.06   | 889 282                          | 0,44                                      | 5 195,34          | 75,85                   |
| Nis.06   | 878 489                          | 0,44                                      | 5 086,92          | 76,53                   |
| May.06   | 887 118                          | 0,44                                      | 5 178,10          | 75,93                   |
| Haz.06   | 885 059                          | 0,46                                      | 5 313,04          | 76,07                   |
| Tem.06   | 885 052                          | 0,47                                      | 5 321,00          | 77,88                   |
| Ağu.06   | 878 329                          | 0,50                                      | 5 184,07          | 84,78                   |
| Eyl.06   | 882 771                          | 0,50                                      | 5 191,58          | 85,08                   |
| Eki.06   | 986 302                          | 0,50                                      | 5 626,25          | 87,72                   |
| Kas.06   | 921 218                          | 0,53                                      | 5 078,93          | 95,66                   |
| Ara.06   | 926 062                          | 0,53                                      | 5 057,78          | 96,58                   |
| TOPLAM   | 10 751 318                       | 5,65                                      | 62 591,57         | 972,16                  |
| ORTALAMA | 895943,17                        | 0,47                                      | 5215,96           | 81,01                   |

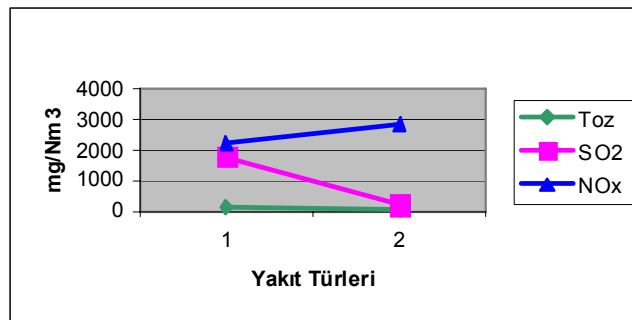
Çizelge 3.19 Aylık Doğal gaz Kullanım Miktarları, Birim Fiyatı, Cam Üretim Miktarı ve Maliyeti (Anadolu Cam)

|          | Yakıt Miktarı (Sm <sup>3</sup> ) | Birim Yakıt Fiyatı (YTL/Sm <sup>3</sup> ) | Cam Üretimi (ton) | Maliyet (YTL/1 ton cam) |
|----------|----------------------------------|---|-------------------|-------------------------|
| Oca.06   | 946 082                          | 0,42                                      | 7 532,71          | 52,64                   |
| Şub.06   | 864 288                          | 0,42                                      | 6 820,63          | 53,10                   |
| Mar.06   | 981 663                          | 0,44                                      | 7 573,74          | 57,44                   |
| Nis.06   | 590 311                          | 0,44                                      | 7 409,40          | 35,31                   |
| May.06   | 551 752                          | 0,44                                      | 7 612,27          | 32,12                   |
| Haz.06   | 874 947                          | 0,46                                      | 7 382,24          | 54,12                   |
| Tem.06   | 917 330                          | 0,47                                      | 7 577,17          | 56,68                   |
| Ağu.06   | 889 380                          | 0,50                                      | 7 411,59          | 60,04                   |
| Eyl.06   | 863 651                          | 0,50                                      | 7 127,99          | 60,63                   |
| Eki.06   | 895 561                          | 0,50                                      | 7 370,66          | 60,80                   |
| Kas.06   | 909 072                          | 0,53                                      | 7 400,98          | 64,78                   |
| Ara.06   | 969 754                          | 0,53                                      | 7 643,50          | 66,92                   |
| TOPLAM   | 10 253 791                       | 5,65                                      | 88 862,88         | 654,59                  |
| ORTALAMA | 854482,58                        | 0,47                                      | 7405,24           | 54,55                   |

### 3.5. BACA GAZI BİLEŞENLERİ VE DERİŞİMLERİ

22 Temmuz 2006 sayılı 26236 sayılı Resmi Gazetede yer alan endüstri tesislerinden kaynaklanan hava kirlilik kontrolü yönetmeliğinde yer alan 16. grup cam üretim tesisleri için baca gazında SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> v.b. derişimlerinin 150 mg/Nm<sup>3</sup> aşmaması gerektiği belirtilmiştir. Yeni kurulacak tesislerde ve revizyonunu tamamlamış fırınlar için 75 mg/Nm<sup>3</sup> sınır derişimi sağlanmalıdır. Atık gazdaki SO<sub>2</sub> ve SO<sub>3</sub> (SO<sub>2</sub> cinsinden) derişimlerinin 1 800 mg/Nm<sup>3</sup>, NO ve NO<sub>2</sub> (NO olarak ) derişimlerinin 2 200 mg/Nm<sup>3</sup> değerlerinin altında olmalıdır.

Anadolu Cam Sanayinde cam fırın bacalarında ki baca gazı bileşen derişimleri yönetmelikte belirtilen baca gazı sınır derişimlerinin altındadır. Anadolu Cam Sanayi'nden alınan verilere göre cam fırınlarında kullanılan yakıtın fuel oil ve doğalgaz kullanıldığında, baca gazı bileşimindeki maddelerin derişimleri Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13 Baca Gazında Bulunan Maddelerin Derişimlerinin Yakıt Türlerine göre Değişimi (1:Fuel Oil, 2:Doğal gaz)

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Cam üretiminde kullanılan yakıtlar ile ilgili enerji dengesi hesaplanarak kullanılan yakıtta göre kayıp edilen ısı miktarları bulunmuştur. Enerji dengesi bulunurken üretilen cam miktarı, kullanılan harman miktarı, içeriğindeki bileşenler ve kullanılan yakıt miktarları, Paşabahçe Cam Sanayi A.Ş. ve Anadolu Cam A.Ş. tarafından sağlanan veriler esas alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca kullanılan yakıtların (Fuel Oil, Doğal Gaz) kullanım miktarları ve cam üretimiyle kıyaslaması yapılmış, yakıtların birim fiyatlarına göre karşılaştırılması da yapılarak çizelgelerle gösterilmiştir. Çizelge 4.1’de Fuel Oil ve Doğalgaz kullanımı süresince 1 ton cam için ne kadar yakıt maliyeti ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.1 Yakıt Türlerine göre Bir ton Cam Üretim Maliyeti

| Yakıt     | FİRMA               |                       |
|-----------|---------------------|-----------------------|
|           | Paşabahçe (YTL/ton) | Anadolu Cam (YTL/ton) |
| Fuel Oil  | 165,48              | 103,16                |
| Doğal Gaz | 80,85               | 55,54                 |

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi kullanılan yakıtın Fuel Oil’den Doğalgaza dönüştürülmesi 1 ton cam üretim maliyetlerini yaklaşık %50 oranında düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca 1 ton cam üretimi için harcanan enerji miktarları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Bir Ton Cam Üretimi İçin Harcanan Enerji Miktarları

| Cam Üretimi | FİRMA              |                      |
|-------------|--------------------|----------------------|
|             | Paşabahçe (Gj/ton) | Anadolu Cam (Gj/ton) |
| Fuel Oil    | 7,43               | 4,63                 |
| Doğal Gaz   | 6,20               | 4,16                 |

Fuel Oil yerine Doğalgaz kullanıldığında Paşabahçe Cam San. A.Ş.’de 1 ton cam üretiminde %16,61 Anadolu Cam San. A.Ş. ‘de ise %10,14 oranlarında daha az enerji kazancı sağlamaktadır.

Cam fırınlarından Fuel Oil ve Doğalgaz kullanımlarından oluşan enerji kayıpları Çizelge 4.3 ‘de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Yakıt Türlerine Göre Enerji Kayıpları

| Yakıt     | FİRMA              |                      |
|-----------|--------------------|----------------------|
|           | Paşabahçe (Gj/ton) | Anadolu Cam (Gj/ton) |
| Fuel Oil  | 1,96               | 1,51                 |
| Doğal Gaz | 3,03               | 1,80                 |

Fuel Oil yerine Doğalgaz kullanıldığında Paşabahçe Cam San. A.Ş.'de cam fırınından kayıp olan enerji miktarı %35,49 Anadolu Cam San. A.Ş. 'de ise %16,14 oranlarında daha az enerji kazancı sağlamaktadır.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 SONUÇLAR

Fuel oil yerine doğal gazın kullanılmasıyla, işletme enerji tüketim maliyetlerinde hesaplarımıza göre (A Fırını) yaklaşık olarak 2 katı bir azalma mevcuttur. Kayıp enerji bakımından kıyaslandığında doğal gaz kullanımı sonucu yaklaşık %25 ile %40 oranında bir enerjinin (ısı) dışarı atıldığı hesaplanmıştır.

Günümüzde yakıt fiyatların giderek artması cam sanayi gibi sürekli ve çok miktarda yakıt kullanan sektörlerde enerjinin verimli kullanılmasının önemini artırmaktadır.

### 5.2 ÖNERİLER

Doğal gaz kullanımında sistemden dışarı atılan artık ısının yeniden kullanılması gerekmektedir. Bu artık ısı sisteme ilave edilecek yeni donanımla enerji olarak geri kazandırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Beltramo A., M. “Modelling fuel-switching between natural gas and fuel oil”, Energy Economics., **11**:1, 70-80, (1989).
- [2] Kocabağ, D., “Cam fırınları”, Etam A.Ş., (2000).
- [3] Ruth, M., Dell'Anno, P. “An Industrial Ecology of the US Glass Industry”, Resources Policy, **23**:3, 109-124, (1997).
- [4] Yüksel, Bedri, “Enerji Santralleri Ders Notları”, Atatürk Üniversitesi, (2004).
- [5] Isısan Çalışmaları No.172., “Doğal gaz ve Lpg tesisatı”, Isısan-Budereus, (1998).
- [6] Çengel, Y. A. ve Boles, M. A. “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Literatür Yayıncılık, 161-168s, (1999).
- [7] Pulcu, M., “Endüstriyel Tesislerde Atık Isının Değerlendirilmesi ve Cam Sanayinde bir Örnek Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 23-26s, (2005).
- [8] Paşabahçe Cam San. Ve Tic. A.Ş. Mersin Fabrikası, “Cam Üretim Miktarları”, (2003), (yayınlanmamış).
- [9] Paşabahçe Cam San. Ve Tic. A.Ş. Mersin Fabrikası, “A Fırını için Enerji Dengesi”, (2003), (yayınlanmamış).
- [10] Paşabahçe Cam San. Ve Tic. A.Ş. Mersin Fabrikası, “Yakıt Kullanım miktarları”, (2003–2006), (yayınlanmamış).
- [11] Gündoğmuş, H., “Doğalgaz Tekniği”, Özyurt Matbaası, Ankara, 204-205, (1993).
- [12] Güncel Yakıt Fiyatları, “Çeşitli Yakıtların Maliyet Karşılaştırma Tablosu”, Doğal Gaz Dergisi, 108–123, (2005).
- [13] İgdaş Yayınları No.2, “Doğalgazlı Isı Merkezleri ve Karşılaşılan Problemler”, İgdaş, (1999).
- [14] Ustaoglu, H., “Sanayide Doğalgaz Kullanımı ve Radyant Isıtma Sistemleri”, Y. Tezi, Osmangazi Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 83s, (1996).
- [15] Perry, R.H. ve Green, D.W., “Perry’s Chemical Engineers’ Handbook”, McGraw Hill, 1500s, (1997)
- [16] İgdaş Yayınları No.12, “Endüstriyel ve Büyük Tüketimli Tesislerde Doğalgaza Dönüşüm Teknik Şartnamesi”, İgdaş, (2004).

- [17] Yalvaç, Y.G., “Kati ve Sıvı Yakıtlı Kazanların Doğalgaz Yakıtlı Kazanlara Dönüşümü ve Termodinamik Analizi”, İnönü Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 64s, (2002).
- [18] Schneider, D. R. Ve Bogdan, Z., “Effect of Heavy Fuel Oil/Natural Gas co-combustion on Pollutant Generation in retrofitted Power Plant”, Applied Thermal Engineering, **27**:11-12, 1944-1950, (2007).
- [19] Chigier, N., “Energy, Combustion and Environment”, McGraw Hill, 68, (1981).
- [20] Türk Standardı, “TS EN 1918-3 Gaz İkmal Sistemleri-Yer Altında Gaz Depolama Bölüm 3: Tuz Yataklarında Çözme Suretiyle Oluşturulan Boşluklarda Depolama için Fonksiyonel Kurallar”, TSE (2001).
- [21] Türk Standardı, “TS EN 1918-1 Gaz İkmal Sistemleri-Yer Altında Gaz Depolama Bölüm 1: Akiferlerde Gaz Depolama için Fonksiyonel Kurallar”, TSE (2001).
- [22] LNG Nedir? “<http://www.akdogalgaz.com/>”, (25.09.2007).
- [23] LNG, “<http://atlas.cc.itu.edu.tr/~pdgmb/documents/lng.html>”, (25.09.2007).
- [24] Hortaçsu, Ö. Ve Arıcan, T. F., “Enerji Conservation in Glass Manufacture”, **17:7**, 619-621, (1992).

## **ÖZGEÇMİŞ**

1981 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bafra ve Tarsus'da tamamlayıp; Atatürk Üniversitesinden lisans mezunu oldu. Şuan da Mersin Üniversitesinde Yüksek Lisans öğrenimini tamamlamıştır.