

**BİTÜMLÜ ŞİST VE PLASTİK ATIKLARIN GAZLAŞTIRILMASI**

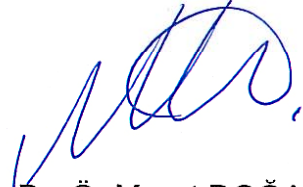
**Ahmed Abdullah GAFUR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

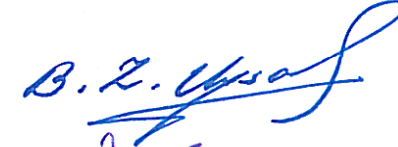
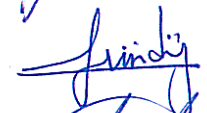
**EKİM 2006  
ANKARA**

Ahmed Abdullah GAFUR tarafından hazırlanan BİTÜMLÜ ŞİST ve PLASTİK ATIKLARIN GAZLAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

  
Doç. Dr. Ö. Murat DOĞAN  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliğiyle Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. B. Zühtü UYSAL  
Üye : Prof. Dr. Mecit SİVRİOĞLU  
Üye : Prof. Dr. Ufuk GÜNDÜZ ZAFER  
Üye : Doç. Dr. Ö. Murat DOĞAN  
Üye : Doç. Dr. Nail YAŞYERLİ  
Tarih : 16/10/2006


Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Ahmed Abdullah GAFUR

**BİTÜMLÜ ŞİST VE PLASTİK ATIKLARIN GAZLAŞTIRILMASI**  
(Yüksek Lisans Tezi)

**Ahmed Abdullah GAFUR**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**Ekim 2006**

**ÖZET**

Bitümlü şist ve plastik atıkların birlikte gazlaştırarak sentetik gaz ürün elde edilmesine yönelik bir çalışma olarak planlanan bu araştırma gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle laboratuvar ölçekli akışkan yataklı gazlaştırma sistemi kurulmuş ve gazlaştırma deneyleri bu sistemde yapılmıştır. Deneylerde kum yatak malzemesi olarak kullanılmıştır. İki farklı Türk bitümlü şisti (Seyitömer ve Himmetoğlu) ve plastik atık karışımı (polietilen % 56, polipropilen % 28 ve polisitren % 16) akışkan yataklı gazlaştırma sisteminde gazlaştırılmıştır.

Bitümlü şist tipi ve plastik atık karışımının etkisi, su buharı akış hızı, besleme karışımı oranları ve gazlaştırma sıcaklıklarının gazlaştırma ürünü olan sentetik gazı üzerine etkileri araştırılmıştır. Optimum akışkanlaşma hızı minimum akışkanlaşma hızına yakın olacak şekilde belirlenmiştir.

Azot ve oksijen hariç bütün maddeler (hidrojen, metan, karbon monoksit ve karbon dioksit) için gazlaştırma verimliliği belirlenmiştir. Yapılan bütün deneylerde metan yüzdesinin diğerlerinden daha büyük

olduğu gözlenmiştir (% 25 (v/v) hidrojen ve % 75 (v/v) metan). Ayrıca optimum çalışma sıcaklığı 800<sup>0</sup>C olarak belirlenmiştir.

Bilim kodu : 912.1.038  
Anahtar kelime : Gazlaştırma, bitümlü şist, plastik atıklar.  
Sayfa adedi : 89  
Tez yöneticisi : Doç. Dr. Ö. Murat DOĞAN

**CO-GASIFICATION OF OIL SHALE AND PLASTIC WASTES**  
**( M.Sc. Thesis )**

**Ahmed Abdullah GAFUR**

**GAZI UNIVERSITY**  
**INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**  
**October 2006**

**ABSTRACT**

**This research planned to develop a suitable technology for co-gasification of oil shale and plastic wastes to produce syngas has been performed.**

**Firstly, lab-scale fluidized bed gasifier system has been set up and gasification experiments have been realized in this system. In the experiments, sand was used as bed material. Two different Turkish oil shale (Seyitömer and Himmetoğlu) and mixed plastic waste (56 % of polyethylene, 28 % of polypropilene, 16 % of polystyrene) were gasified in the fluidized bed gasifier system.**

**The effects of oil shale type and mixed plastic wastes, steam flow rates, the ratio of feed mixture and gasification temperatures were investigated on co-gasification products (syngas). The optimum fluidization velocity was determined to be kept close to the minimum fluidization velocity.**

**Except for nitrogen and oxygen, co-gasification efficiencies for all substances (hydrogen, methane, carbon monoxide and carbon dioxide) were determined. All the experiments indicated that percentage of methane was observed higher than the others (about 25 % (v/v) of**

hydrogene and 75 % (v/v) of methane) in the gas product mixture. The optimum operating temperature was found to be 800<sup>0</sup>C.

**Science Code : 912.1.038**

**Key Words : Co-gasification, oil shale, plastic wastes.**

**Page Number : 89**

**Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ö. Murat DOĞAN**

## TEŞEKKÜR

Türkiye’de yüksek lisans okumamı sağlayan, Türkiye Cumhuriyeti - Milli Eğitim Bakanlığı ve YÖK’e teşekkür ederim.

Çalışma konumu öneren, bilgi ve tecrübelerinden çok yararlandığım, çalışmalarımda her türlü yardımı esirgemeyen hocam Doç. Dr. Ö. Murat DOĞAN’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen eşim Süheyla ÜNAL GAFUR ‘a teşekkür ederim.

Deney düzeneğinin hazırlanmasında yardımda bulunan lisans öğrencisi Volkan DEMİREL’e, bitümlü şistleri temin eden MTA Genel Müdürlüğü ve TKİ Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                            | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET .....                                                 | iv           |
| ABSTRACT .....                                             | vi           |
| TEŞEKKÜR.....                                              | viii         |
| İÇİNDEKİLER.....                                           | ix           |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....                                 | xiii         |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                    | vix          |
| RESİMLERİN LİSTESİ.. .....                                 | xix          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                               | xx           |
| 1. GİRİŞ.....                                              | 1            |
| 2. GAZLAŞTIRMA.....                                        | 4            |
| 2.1. Gazlaştırmamanın Mekanizması.....                     | 4            |
| 2.2. Gazlaştırma Reaksiyonları.....                        | 4            |
| 2.3. Gazlaştırmayı Etkileyen Katı Maddenin Özellikler..... | 6            |
| 2.4. Gazlaştırma Prosesleri.....                           | 7            |
| 2.5. Sabit Yatakta Gazlaştırma.....                        | 8            |
| 2.6. Akışkan Yatakta Gazlaştırma.....                      | 9            |
| 2.6.1. Winkler akışkan yatak gazlaştırma prosesi.....      | 10           |
| 2.6.2. Westinghouse akışkan yatak gazlaştırma prosesi..... | 11           |
| 2.6.3. Karbondioksit alıcı akışkan yatak prosesi.....      | 11           |
| 2.6.4. IGT-U akışkan yatak prosesi.....                    | 12           |
| 2.7. Sürüklemeli Yatak Gazlaştırma Prosesi.....            | 13           |
| 2.8. Eriyik Yatak Gazlaştırma Prosesi.....                 | 13           |

|                                                                  | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.9. Güneş ve Nükleer Enerjili Gazlaştırma Prosesi.....          | 17           |
| 2.10. Kirletici Gazların Temizlenmesi.....                       | 17           |
| 2.11. Kömürün Yer Altında Gazlaştırılması.....                   | 18           |
| 2.11.1. Kömür damarındaki ön hazırlık.....                       | 19           |
| 2.11.2. Kömürün gazlaştırılması.....                             | 19           |
| 2.11.3. Üretilen gazın özellikleri.....                          | 20           |
| 2.11.4. Yer altında gazlaştırmanın çevreye etkileri.....         | 21           |
| 3. BİTÜMLÜ ŞİSTLER.....                                          | 22           |
| 3.8. Bitümlü Şistler.....                                        | 22           |
| 3.9. Bitümlü Şistin Oluşumu.....                                 | 22           |
| 3.10. Bitümlü Şistin Özellikleri.....                            | 22           |
| 3.11. Bitümlü Şistin Üretim.....                                 | 23           |
| 3.12. Bitümlü Şistin Rezerve Durumu.....                         | 24           |
| 3.13. Bitümlü Şistlerin Kullanım Alanları.....                   | 25           |
| 3.14. Bitümlü Şistlerin Jeolojik ve Petrografik Özellikleri..... | 26           |
| 4. PALSTİKLER.....                                               | 28           |
| 4.1. Plastikler.....                                             | 28           |
| 4.2. Plastiklerin Akışını Belirleyen Terimler.....               | 29           |
| 4.3. Plastik Sektöründe Kullanılan Maddeler.....                 | 30           |
| 4.4. Kullanılan Plastikler Hakkında Genel Bilgiler.....          | 31           |
| 4.4.1. Polietilen.....                                           | 31           |
| 4.4.2. Polipropilen.....                                         | 32           |
| 4.4.3. Polisitren.....                                           | 32           |

|                                                          | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------|--------------|
| 4.5. Plastiğin Geri Kazanımı.....                        | 32           |
| 4.6. Atık Plastiklerin Değerlendirme Metodları.....      | 33           |
| 4.7. Plastiklerin Çevreye Etkileri.....                  | 34           |
| 5. AKIŞKAN YATAKLAR.....                                 | 35           |
| 5.1. Akışkan Yataklar.....                               | 35           |
| 5.2. Akışkan Yatakların Avantajları.....                 | 35           |
| 5.3. Akışkan Yatakların Dezavantajları.....              | 36           |
| 5.4. Akışkanlaşma Olayı.....                             | 36           |
| 5.5. Akışkan Yataklarda Basınç Düşüşü.....               | 38           |
| 5.6. Akışkan Yataklarda Kullanılan Genel Denklemler..... | 38           |
| 5.6.1. Minimum akışkanlaşma hızı.....                    | 38           |
| 5.6.2. Katı partiküllerin terminal hızı.....             | 40           |
| 6. LİTERATÜR ARAŞTIRMA.....                              | 41           |
| 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....                              | 45           |
| 7.1. Deneye Düzenegi ve Deneylerin Yapılışı.....         | 46           |
| 7.2. Gaz Kromatografi Analizi.....                       | 51           |
| 8. SONUÇ VE TARTIŞMALAR.....                             | 52           |
| 8.1. Sıcaklığın Etkisi.....                              | 52           |
| 8.2. Karışım Oranları Etkisi.....                        | 63           |
| 8.3. Su Buharı Etkisi.....                               | 67           |
| 8.4. Gazlaştırma Mekanizması.....                        | 78           |
| 9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                | 79           |
| KAYNAKLAR.....                                           | 80           |

|                                                     | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------|--------------|
| EKLER.....                                          | 82           |
| EK-1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi.....        | 83           |
| EK-2 Yatak Malzemesinin Basınç Kaybı Verileri.....  | 84           |
| EK-3 Akışkan Yatak Ayrıntılı Tasarım Hesapları..... | 86           |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                       | 89           |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Çeşitli gazlaştırma proseslerinin özellikleri için kömür özellikleri..... | 15    |
| Çizelge 2.2. Gazlaştırıcı özellikleri.....                                             | 16    |
| Çizelge 3.1. Türkiye'nin bitümlü şist rezervleri.....                                  | 24    |
| Çizelge 6.1. PVC içeren atığın gazlaştırılmasında oksijenin etkisi.....                | 42    |
| Çizelge 7.3. Gaz kromatografi cihazında yapılan deneylerdeki sıcaklık programı.....    | 51    |
| Çizelge 8.1. 750 °C'de Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.....                   | 64    |
| Çizelge 8.2. 800 °C'de Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.....                   | 65    |
| Çizelge 8.3. 850 °C'de Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar.....                   | 66    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                                              | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Lurgi gazlaştırıcı.....                                                                                                 | 9     |
| Şekil 2.2. Winkler gazlaştırma prosesi.....                                                                                        | 10    |
| Şekil 2.3. Westinghouse gazlaştırma prosesi.....                                                                                   | 11    |
| Şekil 2.4. karbondioksit alıcı gazlaştırma prosesi.....                                                                            | 12    |
| Şekil 2.5. IGT-U gazlaştırma prosesi.....                                                                                          | 13    |
| Şekil 2.6. Koppers gazlaştırma prosesi.....                                                                                        | 14    |
| Şekil 2.7. Rockwell international gazlaştırma prosesi.....                                                                         | 14    |
| Şekil 7.1. Deney düzeneği.....                                                                                                     | 47    |
| Şeki 8.1. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 0,5 (w/w) ..... | 53    |
| Şekil 8.2. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,0 (w/w)..... | 53    |
| Şekil 8.3. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,5 (w/w)..... | 54    |
| Şekil 8.4. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 0,5 (w/w).....  | 54    |
| Şekil 8.5. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,0 (w/w).....  | 55    |
| Şekil 8.6. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,5 (w/w).....  | 55    |

| Şekil                                                                                                                                                                          | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 8.7. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 0,5 (w/w).....                                                   | 56    |
| Şeki 8.8. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,0 (w/w).....                                                    | 56    |
| Şekil 8.9. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,5 (w/w).....                                                   | 57    |
| Şekil 8.10. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 0,5 (w/w)..... | 57    |
| Şekil 8.11. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,0 (w/w)..... | 58    |
| Şeki 8.12. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,5 (w/w).....  | 58    |
| Şekil 8.13. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 0,5 (w/w)..... | 59    |
| Şeki 8.14. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,0 (w/w).....  | 59    |
| Şekil 8.15. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,5 (w/w)..... | 60    |

| Şekil                                                                                                                                                                               | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 8.16. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 0,5 (w/w)..... | 60    |
| Şekil 8.17. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,0 (w/w)..... | 61    |
| Şekil 8.18. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,5 (w/w)..... | 61    |
| Şekil 8.19. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 0,5 (w/w)..... | 62    |
| Şekil 8.20. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,0 (w/w)..... | 62    |
| Şekil 8.21. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi.<br>S/K = 1,5 (w/w)..... | 63    |
| Şekil 8.22. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 750 °C.....                                                     | 67    |
| Şekil 8.23. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 800 °C.....                                                     | 68    |
| Şekil 8.24. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 850 °C.....                                                     | 68    |
| Şekil 8.25. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 750 °C.....                                                      | 69    |

| Şekil                                                                                                                                                                      | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 8.26. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 800 °C.....                                                | 69    |
| Şekil 8.27. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 850 °C.....                                                | 70    |
| Şekil 8.28. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 750 °C.....                                                  | 70    |
| Şekil 8.29. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 800 °C.....                                                  | 71    |
| Şeki 8.30. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 850 °C.....                                                   | 71    |
| Şekil 8.31. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 750 °C..... | 72    |
| Şekil 8.32. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 800 °C..... | 72    |
| Şekil 8.33. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 850 °C..... | 73    |
| Şekil 8.34. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 750 °C..... | 73    |
| Şekil 8.35. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 800 °C..... | 74    |

| <b>Şekil</b>                                                                                                                                                                     | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 8.36. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti +<br>% 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 850 °C..... | 74           |
| Şekil 8.37. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 750°C.....   | 75           |
| Şekil 8.38. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T= 800 °C.....   | 75           |
| Şekil 8.39. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 850 °C.....  | 76           |
| Şekil 8.40. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 750 °C.....  | 76           |
| Şekil 8.41. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 800 °C.....  | 77           |
| Şekil 8.42. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti +<br>% 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen<br>gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.<br>T = 850 °C.....  | 77           |

**RESİMLERİN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>                   | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------|--------------|
| Resim 7.1. Deney düzeneği..... | 48           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur

| Simgeler      | Açıklama                                           |
|---------------|----------------------------------------------------|
| $A_c$         | Yatağın kesit alanı, (m <sup>2</sup> )             |
| $A_r$         | Archimede sayısı                                   |
| $D$           | Yatağın çapı, (m)                                  |
| $d^*$         | Boyutsuz çap                                       |
| $d_p$         | Partikül çapı, (m)                                 |
| $g$           | Yerçekimi ivmesi, (9,81 m/s <sup>2</sup> )         |
| $H$           | Yatağın yüksekliği, (m)                            |
| $L$           | Yatak yüksekliği, (m)                              |
| $L_{mak}$     | Maksimum yatak yüksekliği, (m)                     |
| $L_{mf}$      | Minimum akışkanlık şartında yatak yüksekliği, (m)  |
| $M_{kuru}$    | Yatak malzemesinin net kuru ağırlığı, (kg)         |
| $M_{yaş}$     | Yatak malzemesinin net yaş ağırlığı, (kg)          |
| $\Delta P$    | Basınç düşüşü, (kPa)                               |
| $Re_{pmf}$    | Akışkanlaşma şartında partiküllerin Reynold sayısı |
| $T$           | Sıcaklık, (°C)                                     |
| $U_0$         | Boş kolon hızı, (m/s)                              |
| $U_{mf}$      | Minimum akışkanlaşma hızı, (m/s)                   |
| $V_c$         | Yatak hacmi, (m <sup>3</sup> )                     |
| $v^*$         | Boyutsuz hız                                       |
| $v_t$         | Partikül terminal hızı, (m/s)                      |
| $W$           | Yatak malzemesinin ağırlığı, (kg)                  |
| $\mu$         | Viskozite, (kg/m.s)                                |
| $\emptyset_s$ | Şekil faktörü                                      |
| $\varepsilon$ | Boşluk kesri                                       |

**Simgeler****Açıklama**

|                 |                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------|
| $\epsilon_{mf}$ | Minimum akışkanlık şartında boşluk kesri      |
| $\rho_{gaz}$    | Gaz akışkanın yoğunluğu, (kg/m <sup>3</sup> ) |
| $\rho_{hava}$   | Havanın yoğunluğu, (kg/m <sup>3</sup> )       |
| $\rho_p$        | Partikül yoğunluğu, (kg/m <sup>3</sup> )      |
| $\rho_s$        | Sıvı yoğunluğu, (kg/m <sup>3</sup> )          |
| $\rho_{su}$     | Su yoğunluğu, (kg/m <sup>3</sup> )            |

**Kısaltmalar****Açıklama**

|             |                              |
|-------------|------------------------------|
| <b>AYPE</b> | Alçak yoğunluklu polietilen  |
| <b>PE</b>   | Polietilen                   |
| <b>PP</b>   | Polipropilen                 |
| <b>PS</b>   | Polisitren                   |
| <b>YYPE</b> | Yüksek yoğunluklu polietilen |
| <b>PVC</b>  | Plivinli klorür plastik      |

## 1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynağı olan petrol ve doğal gaz vazgeçilemeyecek bir öneme sahip olsa da, bu enerji kaynakları yakın gelecekte tükenecektir. Bu durum dikkate alınarak başka enerji kaynağı ve enerji elde etme yöntemleri araştırılması üzerine çalışmalar devam etmektedir. Özellikle katı yakıtlar (kömür, bitümlü şist, ağaç, vd) ve atıklar kullanılarak enerji elde etme ile ilgili araştırmalar son zamanlarda artmıştır. Bu araştırmaların içinde yer alan gazlaştırma ile sentez gazı elde etme ve oradan da enerji elde etme ön plana çıkmıştır. Gazlaştırma yüksek verimi, gaz ürünün kolaylıkla kullanılması, ucuz dağıtımı ve çevreyi ciddi şekilde kirletmemesinde dolayı tercih edilecek işlem olarak karşımıza çıkmıştır.

Fosil yakıtlardan olan bitümlü şistler özelliklerinden dolayı, kömür ile ham petrol arasında bulunmaktadır. Çoğunlukla yapraklı yapıda olup, ince tanelidir. Termik santrellerde katı yakıt olarak, sıvı yakıt ve gaz yakıt elde edilmesinde, küllerinde ise çimento, refrakter yapımı, değerli elementlerin eldesi ve gübre olarak tarımda kullanılmaktadır. İnorganik matrise bağlı, çözücüyle ekstrakte edilmeyen, kerojen denilen organik maddelerden oluşur.

Türkiye’de bitümlü şist arama çalışmalarına MTA Enstitüsü kurulduktan sonra başlanmıştır. İlk araştırmalar sonucunda kerojen tenörlerinin düşüklüğü nedeni ile aramalara ara verilmiştir. 1965 yılında bazı santrallerde katı yakıt olarak kullanıldığında tekrar arama çalışmalarına başlanmıştır. Bu aramalarda Türkiye’de yüksek tenörlü bitümlü şist yataklarının varlığını ortaya çıkarmıştır. Türkiye’de sedimenter kayaç olarak çok miktarda bulunan bitümlü şistler, enerji ve hidrokarbon kaynağı olarak kullanılması ve bunlardan enerji elde etme çabaları azdır. Bitümlü şistlerin kullanım alanı henüz tam olarak belirlenmese de, yapılan çalışmalar bitümlü şistlerin enerji hammaddesi olduğunu göstermektedir.

Günümüzde, sanayi ve teknolojinin ilerlemesi ile birlikte birçok alanda ciddi artış gösteren plastik kullanımı, bunun yanında da plastik atık artışları kaçınılmaz olmuştur. Bu plastik atıkların artması ile beraber bunları değerlendirmek ve geri kazanma yöntemleri üzerine araştırmalar da hızla artmıştır.

Diğer taraftan kentsel atıklar içinde önemli payı olan plastikler fiyatının ucuzluğu, kolay ve seri üretimi, dayanıklılığı ve uzun ömürlü, hafiflik, nemden etkilenmeme, elektrik iletkenliliğinin olmaması, çok düşük ısı iletkenliği, renklendirmenin ve şekillendirmenin kolaylığı, ayrıca esnek olabilmesi ve bunların dışında bir çok özelliklerinden dolayı günümüzde geniş kullanım alanı bulmuştur. İnsanların günümüzde barınma, beslenme, giyinme, ve ulaşım faaliyetlerinde plastik ürünler ile kullanımı iç içedir. Plastik malzemeler diş fırçası, enjektör, röntgen filmi gibi tıbbi malzeme yapımında da kullanılır. Gıda sahasında bu maddelerin depolanması, taşınması ve gösterişli bir şekilde marketlerde tanıtılmasında polimerik ürünlere rastlanmaktadır. Ulaşım araçlarının döşenmesi, motor parçalarının yapımında metal ürünlerinin yerini de almaktadır.

Kentsel atıklardan kağıt % 26, alüminyum, bakır ve diğer metaller %32, cam % 12 oranlarında geri kazanılırken, plastik atıkların geri kazanımları sadece % 1 civarındadır. Bunun nedeni kamuoyunda oluşan plastiklerin plastik endüstrisi tarafından geri kazanılmasının mümkün olmadığı fikridir. Artık bu durum değişmiş, çevre kirliliği dolayısıyla, plastik üreticilerinin plastik hammadde girdilerinin fiyatının artmasından dolayı, plastikleri geri kazanılması olayına daha sıcak bakmaktadırlar. Bunun yanında plastiklerin atıklardan ve artıklardan geri kazanılması orijinal plastik kullanan endüstriye paralel olarak ayrıca bir plastik geri kazanma endüstrisi oluşmaktadır.

Plastiklerin kullanım alanları teknolojik gelişmelere paralel olarak yaygınlaştıkça, atık olarak çevrede birikme oranları da artmaktadır. Plastikler bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, UV ışınlarına ve biyolojik aktiviteler

dayanıklı olmaları sebebi ile doğada uzun süre bozunmadan kalabilmektedirler. Başka taraftan plastik üretiminde kullanılan petrokimyasalların pahalılaşması, rezervlerinin sınırlı olması ve geri kazanılmaması büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu sebepten hem çevresel hem ekonomik açıdan plastik atıkların geri kazanılması zorunluluk halini almıştır.

Bu çalışmada Türkiye’de bulunan bitümlü şistlerden ve plastik atıklardan gazlaştırma yöntemiyle sentetik gaz elde etmeye çalışılmıştır. Çalışmada Türkiye’nin iki farklı (Seyitömer ve Himmetoğlu) bitümlü şisti ile şehirselleştirilmiş plastik atıkları akışkan yatak kullanarak su buharı ve hava ile gazlaştırılmıştır. Gazlaştırma yaparken, değişik sıcaklıklar, değişik su buharı akış hızları ve farklı karışım oranı (bitümlü şist ve plastik atık karışımı) kullanarak laboratuvar ölçekli bir gazlaştırma yapılmıştır ve bu parametrelerin gazlaştırma üzerinde ve üretilen gazın içerdiği sentetik gaz miktarı üzerinde etkileri incelenmiştir. Amaç Türkiye’de bulunan bitümlü şistlerden enerji elde etmeye çalışmak bunun yanın da plastik atıkları hem değerlendirip hem de çevreye giden plastik atıkların oranını az da olsa düşürmektir.

## 2. GAZLAŞTIRMA

Gazlaştırma bir çeşit katı-gaz reaksiyonudur. Karbon içeren katıların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında kontrollü bir şekilde işlemin gerçekleşeceği reaktöre verilen hava, su buharı, oksijen ile kömür, bitümlü şist ve ağaç atıkları gibi katı maddeler gazlaştırma işlemine tabii tutulur ve çıkan gaz ürün arasında hidrojen, metan gibi yanabilir gazların yanı sıra karbonmonoksit, karbondioksit ve azot gibi gazlar da bulunur. Katı-gaz reaksiyonu katının yüzeyinde oluşan kimyasal bir işlemidir. Bu işlem katının yüzey alınındaki gözeneklerde gerçekleşir.

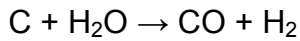
### 2.1 Gazlaştırmanın Mekanizması

Gazlaştırma işlemi 350 - 400<sup>0</sup>C sıcaklıkta başlar ve yaklaşık 1000<sup>0</sup>C 'ye ulaşıldığında tamamlanmış olur. Katının pirolize uğraması, gazlaştırma reaksiyonları gerçekleşmeden önce veya gerçekleştiği sırada olur. Katının partikül boyutu ve tipi, gazın akış hızı ve ısıtma hızı katının pirolizini ve üretilen gazın bileşimini doğrudan etkiler [1].

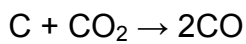
### 2.2 Gazlaştırma Reaksiyonları

Kömür gazlaştırmasında gerçekleşen temel reaksiyonlar [2] :

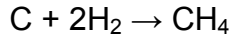
-Su gazı reaksiyonu: karbon ve su buharının reaksiyonu sonucu hidrojen ve karbon monoksit üretimi.



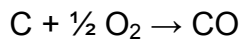
-Boudouard reaksiyonu, karbon ve karbondioksitin reaksiyonu sonucu karbonmonoksit üretimi.



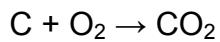
-Hidrojen reaksiyonları, karbon ve hidrojen reaksiyonundan metan üretimi



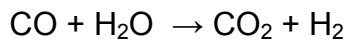
-Kısmi yanma, karbonun az miktarda oksijen ile reaksiyona girmesi ve karbonmonoksit üretilmesi.



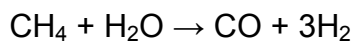
-Tam yanma, karbonun oksijen ile reaksiyonun ve karbondioksit üretilmesi.



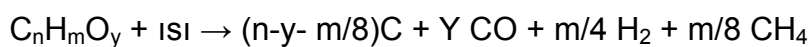
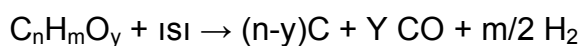
-Su gazı yönlendirme (water-gas shift) reaksiyonu, karbon monoksit ile su buharı reaksiyonu ve karbondioksit ile hidrojen üretilmesi.



-Metan reaksiyonları, metan ile su buharı reaksiyonu ve hidrojen ile karbonmonoksit üretilmesi



-Isıl bozunma reaksiyonları, hidrokarbonların sıcaklık ile parçalanması ve karbon, karbonmonoksit, hidrojen ve metan üretilmesi.



### 2.3 Gazlaştırmayı Etkileyen Katı Maddenin Özellikleri

Katının nem içeriği, kül içeriği ve kül erime sıcaklığı, sabit karbon içeriği, uçucu madde içeriği, tane boyutu dağılımı, ve kekleşme özellikleri, gazlaştırmayı etkilediği için, gazlaştırma prosesi seçiminde katı maddenin bu özellikleri bilinmelidir:

#### Nem içeriği

Nem içeriği % 35' ten fazla ise sabit yataklı gazlaştırıcı kullanılmamalıdır veya nem oranını düşürmek için ön kurutma işlemi uygulanmalıdır. Sürüklemeli yatak sistemi kullanılıyor ise yüksek nem oranı sisteme beslenen su buharına takviye yapar, ancak bu nem oranını buhara dönüştürmek için sisteme fazla ısı verilmelidir.

#### Kül içeriği

Kimyasal etkisi olmadığına rağmen, kül içeriği arttıkça, gazlaştırma verimi ve reaktörlerin kapasitesi düşmektedir.

#### Kül erime sıcaklığı

Külün erime sıcaklığı düştükçe kullanılması gereken buhar, oksijen ve hava miktarları da düşer. Külün erime sıcaklığına ulaşmamak için ortama daha az buhar vermek gerekir.

#### Sabit karbon içeriği

Sabit karbon içeriği fiziksel ve kimyasal olarak gazlaştırıcının verimini etkiler. Sabit karbon yapısının katı-gaz reaksiyonuna elverişliliği veya kimyasal reaktifliği gazlaştırma sisteminin basıncı, beslenen gazın cinsi ve çalışılan sıcaklıkla ilgilidir.

### Uçucu madde içeriği

Gaz ürünlerle karışarak, toplam gaz ürün miktarının artırır. Yüksek basınç uygulanarak uçucu maddenin içerdiği hidrojen, katıdaki karbon ile birleşip metan veya etan oluşturabilir.

### Tane boyutu dağılımı

Gazlaştırıcı tasarımına uygun tane boyutlu katı kullanılır. 5-50 mm çapında tane boyutu sabit yatakta kullanılabilir. 0-6 mm çapında tane boyutu akışkan yatakta, çok ince 200 mesh tane boyutu sürüklemeli yatakla ve 0-6 mm çapında tane boyutu eriyik yatakta kullanılabilir.

### Kekleşme

Kekleşme özelliği gösteren katı maddenin gazlaştırılması, sabit ve akışkan yataklı gazlaştırıcılarda mümkün değildir. Bu tip katı maddeler sürüklemeli yatak sistemlerinde gazlaştırılabilir.

## **2.4 Gazlaştırma Prosesleri**

Gazlaştırma prosesleri çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır:

- Gazlaştırma sistemi ve yatak tipine göre: sabit yatak, akışkan yatak, sürüklemeli yatak ve eriyik yatak.
- Tane büyüklüğüne göre: çok ince, orta ve iri tane boyutu.
- Gazlaştırmadaki reaktan gaza göre: hava, oksijen, su buharı-hava ve hidrojen gazı.

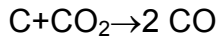
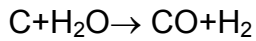
- Gaz ürün kullanım alanına göre: sentez gaz, sentetik doğal gaz, hidrojen kaynağı ve gaz yakıt (düşük ve orta ısı değerli ve güç santrali için).
- Gelişmişlik düzeyin göre: araştırma aşamasındaki proses, pilot ölçekteki proses, küçük ölçekteki proses, ticari ölçekteki proses ve gelişmiş aşamasındaki proses.

## 2.5 Sabit Yatakta Gazlaştırma

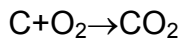
Endüstride çok uygulanan eski bir gazlaştırma sistemidir. Bu sistemde katı madde, kül ve reaktif gazlar ile gaz ürünler arasında zıt yönde bir akış gerçekleşir, bu nedenle ısı taşınımı çok iyi gerçekleşir.

Bu sistemde katı maddenin etkilendiği bölgeler şunlardır:

- Nem ve uçucu maddelerin uzaklaşma bölgesi, bu bölgede nem uzaklaşır katı madde uçucu maddelerini verir.
- Gazlaştırma bölgesi, burada, karbon ve su buharı reaksiyonu ve karbon-karbondioksit reaksiyonu gerçekleşir.



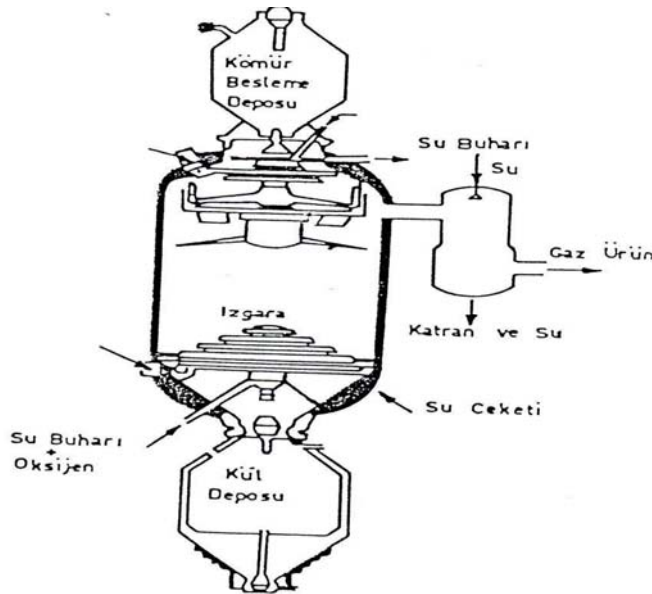
- Yanma bölgesi, bu bölgede, karbon-oksijen reaksiyonu ile ısı ve karbondioksit oluşur.



Kül yatağı bölgesi, bu bölgede oksijen gazlaştırıcıya giren gaz ısıtır.

### Sabit yataklı Lurgi gazlaştırıcı

Katı madde sisteme üstten beslenir (Şekil 2.1) ve dağıtıcı tarafından yatağa gönderilir, buhar ve oksijen ise alttan beslenir. Buhar ve oksijen yukarı doğru ilerlerken, yatağın sıcaklık etkisi ile reaksiyon gerçekleşir. Üretilen ürün gaz sistemi tepeden terk ederek ayrılır. Katı madde yatağa beslenirken sistemde bulunan mekanik ızgaradan geçmesi külün alınmasına yardımcı olur. Buhar kazanını besleyen su, gazlaştırıcıyı saran kabuk şeklindeki su ceketinden geçer ve dolayısıyla sistemin kabuğundaki ısıyı geri kazanır. Lurgi gazlaştırıcı genelde sentetik doğal gaz ve elektrik üretiminde kullanılır. Çalışma koşulları, 24-30 MPa basınç ve 350-1400°C sıcaklıktır.



Şekil 2.1. Lurgi gazlaştırıcı

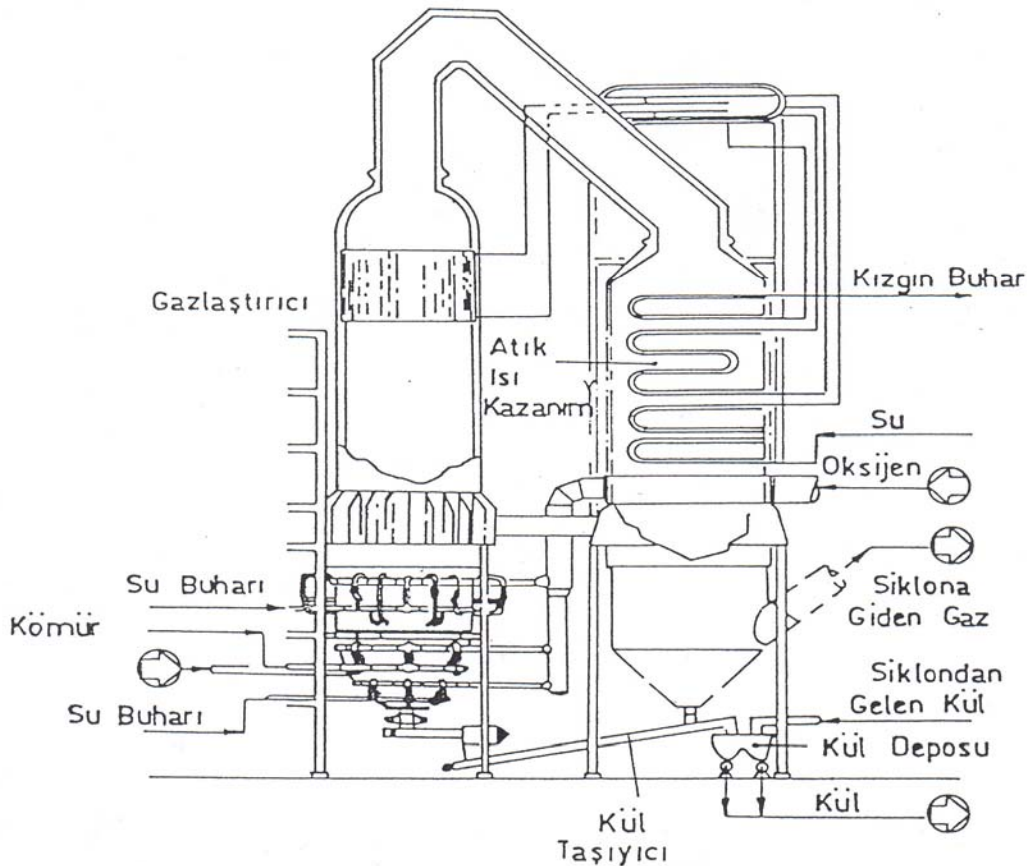
### **2.6 Akışkan Yatakta Gazlaştırma**

Katı, yatağa beslendiğinde hava ve/veya oksijen ve su buharı ile akışkanlaşır. Akışkan yatağa, sabit yataktan (aynı boyuttaki reaktör için) daha fazla katı madde beslenebilir. Akışkan yatakta, gaz ürün yatağın sıcaklığıyla

aynı sıcaklıkta dışarı çıkar. Akışkan yatakta, sabit yataktan, daha az is ve katran oluşur.

### 2.6.1 Winkler akışkan yatak gazlaştırma prosesi

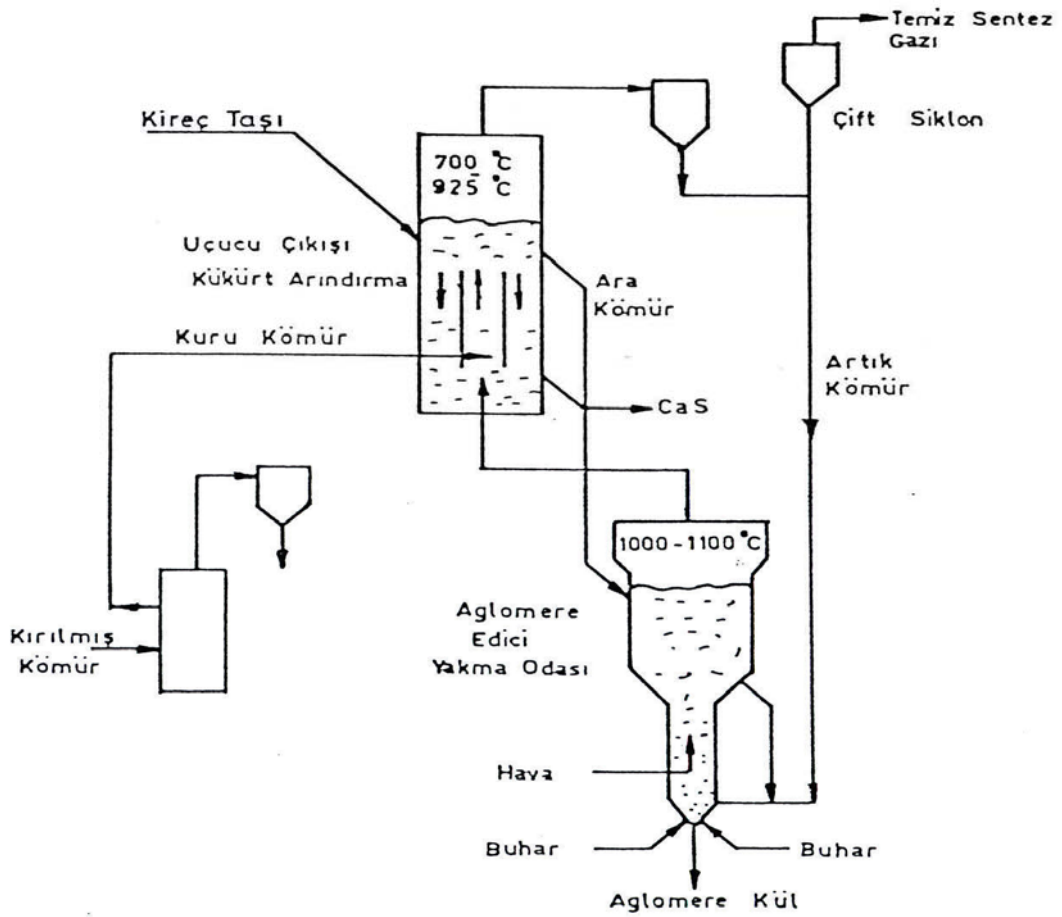
Bu proste (Şekil 2.2) katı madde, oksijen ve su buharı ile akışkanlaşıp gazlaştırılmaktadır. Üretilen krabondioksit, bir kısım buhar yerine kullanıldığında, karbonmonoksit açısından zengin bir gaz üretilir. Katı maddenin büyük partikülleri akışkan yatağın yatak bölgesinde gazlaştırılır, toz ve küçük tanecikler ise yatağın üst kısmında gazlaştırılır. Bu sistem 800-1000 °C 'de çalışır, petrol koku ve 0,5-0,95 mm boyutlarındaki her türlü kömürü gazlaştırabilir.



Şekil 2.2. Winkler gazlaştırma prosesi

### 2.6.2 Westinghouse akışkan yatak gazlaştırma prosesi

İki akışkan yataktan oluşan bu proseste (Şekil 2.3) birinci yataкта (700-925 °C) katı maddenin uçucularındaki kükürt tutulduktan sonra ikinci yataktan (1000-1100 °C) çıkan gazlar ile hidrogazlaştırma yapılır. Atık katıyı hava ve su buharı ile gazlaştırmak için ikinci yatağa gönderilir ve üretilen gazlar birinci yatağa geri döner.

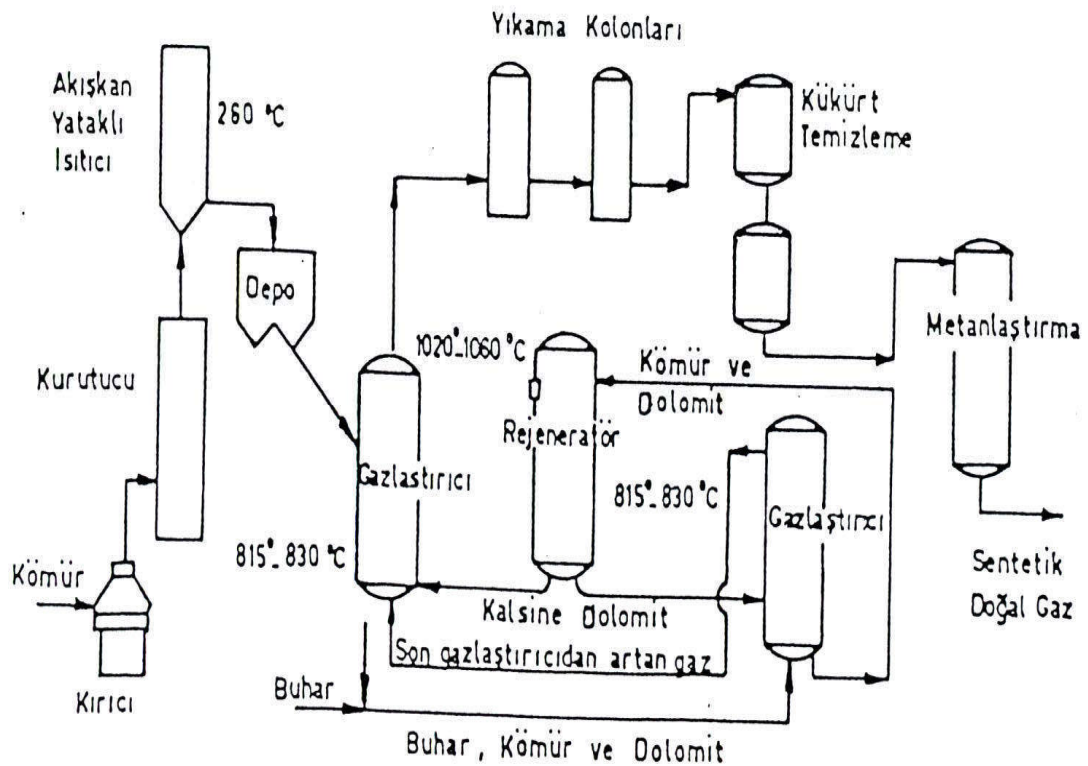
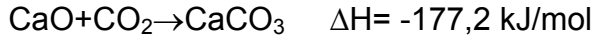


Şekil 2.3. Westinghouse gazlaştırma prosesi

### 2.6.3 Karbondioksit alıcı akışkan yatak prosesi

İki gazlaştırıcıdan oluşan ve 1 MPa basınçta çalışan bu proseste, birinci gazlaştırıcıda katı ısıtılır ve ikinci gazlaştırıcıdan gelen gazlar ve su buharı ile

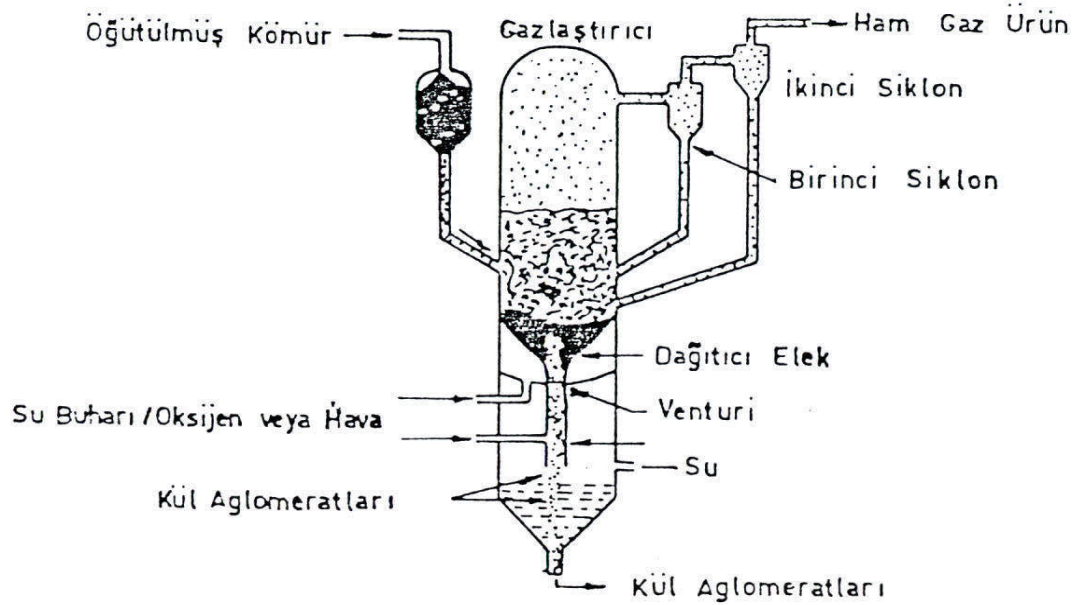
reaksiyona girer (Şekil 2.4). Atık katı, ikinci gazlaştırıcıda su buharı ile gazlaştırılır. Linyit gazlaştırmak için geliştirilmiş olan bu proseste ısı taşıyıcı olarak kullanılan dolomit veya kireç taşında bulunan CaO, gazdaki CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girmesi sonucu gerekli ısı elde edilir.



Şekil 2.4. Karbondioksit alıcı gazlaştırma prosesi

#### 2.6.4 IGT-U akışkan yataklı proses

1000 °C sıcaklık ve 2,4 MPa basınçta çalışan bu proseste (Şekil 2.5) katı oksijen ve buhar ile akışkanlaştırılır ve gazlaştırılır. Oksijen yerine hava kullanıldı ise düşük ısı değerli gaz üretilir. Bu proses yüksek kükürt içeren kömürlerden, düşük ısı değerli gaz elde etmek için kullanılır.



Şekil 2.5. IGT-U gazlaştırma prosesi

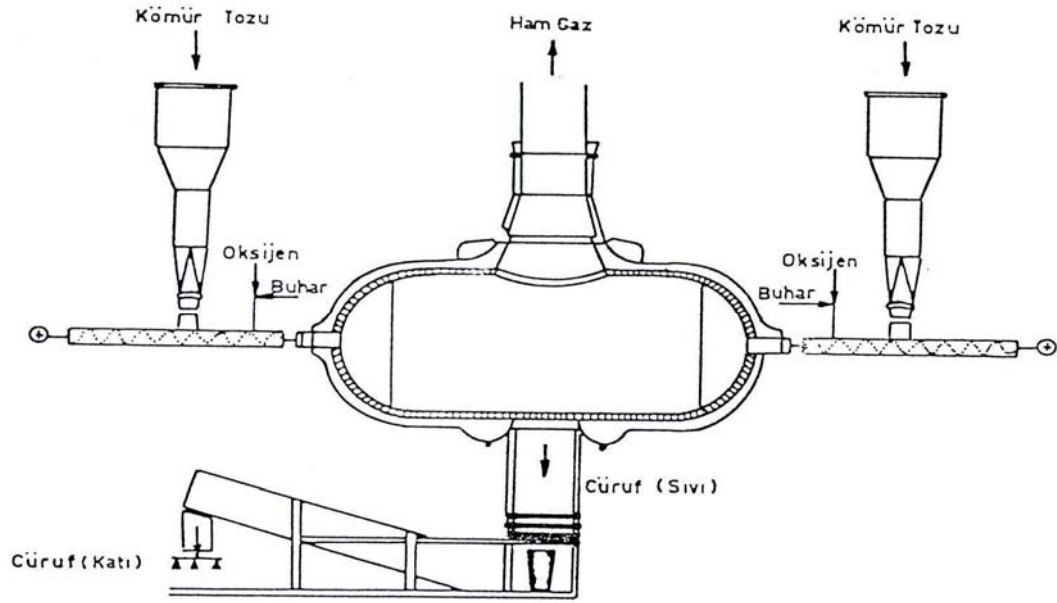
## 2.7 Sürüklemeli Yatakta Gazlaştırma ( Koppers-Tatzek sürüklemeli yatak prosesi )

Yüksek miktarda oksijen ve az miktarda buhar tüketen bu proses, katı maddeyi ve gazı bir veya birden fazla girişten yüksek hızla alır. Katı taneciklerini reaksiyona giren gazlar taşıdığı için tane boyutunun küçük olması şarttır. Kömür kullanarak amonyak üreten bu proses, ticari açıdan önemli ve başarılıdır (Şekil 2.6). Az miktarda buhar tüketerek, katı veya sıvı yakıtları gazlaştırabilir. Ayrıca ürettiği gaz, katran, yağ ve nafta içermediği için, gaz temizlemesine çok ihtiyaç duymaz.

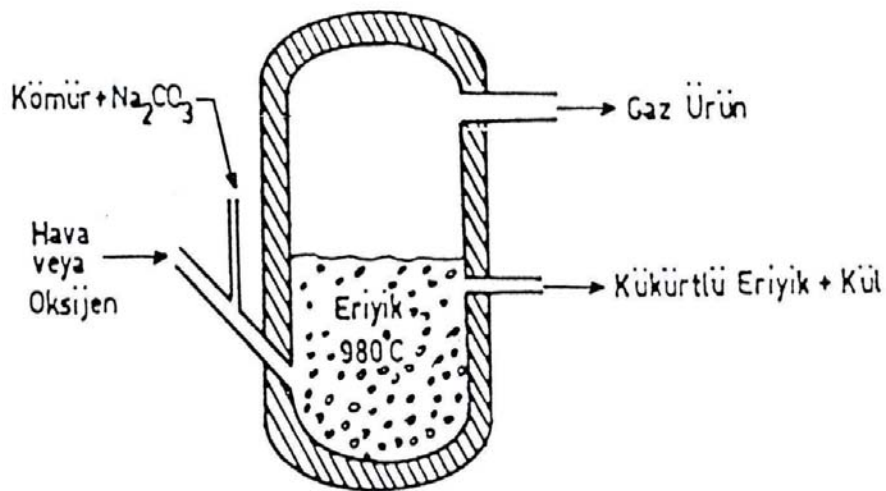
## 2.8 Eriyik Yatakta Gazlaştırma (Rockwell international eriyik yatak prosesi)

Su buharı, hava veya oksijen kullanarak katıyı gazlaştırır ve kükürt içermeyen bir gaz üretir. Isı ve kütle taşınımını artırmak amacıyla, tuz eriyiği fazına sahip olan bu sistem, eriyik yatakta biriken kükürt, cüruf ve kül sorunu vardır[20].

980 °C yatak sıcaklığı ve 1-19 atm basınçta çalışan bir prosestir (Şekil 2.7). Hava ile beraber katı ve sodyum karbonat prosese beslendikten sonra, pirolizi yapılır ve ısı değeri düşük olan bir gaz elde edilir.



Şekil 2.6. Koppers gazlaştırma prosesi



Şekil 2.7. Rockwell international gazlaştırma prosesi

Çizelge2.1. Gazlaştırma proseslerinin özellikleri için önemli kömür özellikleri [2]

| Gazlaştırma Prosesleri |                     |                                    | Kömürün Özellikleri                                                                    |                                                                                 |                |                                                               |                                                                             |                        |
|------------------------|---------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Gazlaştırma Maddesi    |                     | Gazlaştırıcı Tipi                  | Uçucu Madde                                                                            | Kül                                                                             | Tane Büyüklüğü | Öğütülebilirlik                                               | Kekleşme Özelliği                                                           | Reaktivite             |
| 1                      | Su buharı / oksijen | Hareketli yatak                    | Birincil olarak uçucu çıkışından kaynaklanan CH <sub>4</sub>                           | -Isıl gereksinimi<br>-Erime noktası (kül giderilmesi)<br>-Katalitik etki        | 5-80 mm        | Maden işlemleri ve taşıma sırasında ufak taneciklerin oluşumu | Kuvvetli kekleşen kömürlerin beslenmesi                                     | Beslemeyle gazlaştırma |
| 2                      | Su buharı / oksijen | Akışkan yatak                      | Çok az önemli                                                                          | -Isıl gereksinimi<br>-Erime noktası (yüksek)<br>-Katalitik etki<br>-Toz oluşumu | < 5 mm         | Dar bir tanecik büyüklüğü dağılımı oluşumu                    | Kuvvetli bir şekilde kekleşen kömür jet besleyicisiyle beslenmesi           | -                      |
| 3                      | Su buharı / oksijen | Sürüklemeli yatak<br>T< 1400°C     | Önemli değil                                                                           | -Isıl gereksinimi (yüksek)<br>-Erime noktası (düşük)<br>-Korozyon               | < 0,1 mm       | -                                                             | Önemli değil                                                                | Çok az önemli          |
| 4                      | Hidrojen / oksijen  | Akışkan yatak ve sürüklemeli yatak | -Uçucuların hidrojenasyonu ile CH <sub>4</sub><br>-Genç kömürlerin yüksek reaktivitesi | -Isıl gereksinimi<br>-Erime noktası<br>-Katalitik etki                          | Küçük boyutlu  | -Maden işlemleri taşıma sırasında ufak taneciklerin oluşumu   | Hidrojenle artış, sürüklenen fazda hidrojenasyonla kekleşmenin engellenmesi | -                      |

Çizelge 2.2. Gazlaştırıcı özellikleri [2]

| Özellikler               | Sabit yataklı gazlaştırıcı                                                                                | Akışkan yataklı gazlaştırıcı                                                                                               | Sürüklemeli yataklı gazlaştırıcı                                                                                  | Eriyik yataklı gazlaştırıcı                                                                               |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| kapasite                 | Gaz çıkış hızının sınırlı olması nedeniyle en düşüğü                                                      | Düşük kalma süreleri nedeniyle yüksek ancak, yüksek gaz hızlarında taneciklerin sürüklenmesi nedeniyle sınırlandırılmıştır | Birim hacim başına en yüksek kapasite                                                                             | Eriğin kimyasal yapısı yüksek akım hızlarında önemlidir                                                   |
| Gazlaştırıcı yapısı      | Harektli iç parçaların tasarımı ve üretiminde yüksek hassasiyet gerekli                                   | Hareketli iç parça bulunmamaktadır, ancak dağıtıcı eleğin tasarımı önemlidir                                               | Yahıcı nozüllerinin tasarım ve ısı geri kazanımı önemlidir                                                        | Gaz ürünün ve eriğin temizlenmesi karmaşıktır                                                             |
| Kömür ile ilgil işlemler | Belli tane boyutundaki kömür gereklidir, ufak parçalar ayrı olarak işlem görmelidir                       | Belli tane boyutundaki kömüre gerek yoktur ancak ufak parçalar akımda dengesizlikleri önlemek için giderilmelidir          | Öğütme ve yüzey neminin kurutulması gerekmektedir, ufak parçalar sisteme geri beslenmektedir                      | Herhangi bir sınırlama yoktur                                                                             |
| Gaz ürünün özellikleri   | Katran, yağ, fenoller, amonyak ve az bir miktarda toz içermektedir                                        | Az miktarda katran ve fenoller, yüksek miktarda kül ve char taşımaktadır                                                   | Katran ve fenoller yoktur, ancak kül ve char vardır, ayrıca , verimin arttırabilmesi için ısı geri kazanılmalıdır | Hem kül hem kükürt içermekte, yüksek sıcaklıklarda katran ve fenoller bulunmakta ve soğutma gerekmektedir |
| Kül giderilmesi          | Yüksek verim nedeni ile kül karbon içeriği çok düşüktür                                                   | Kül yer çekimi etkisi ile ayrılmaktadır, külde yüksek miktarda karbon bulunmaktadır                                        | Düşük karbon içerikli inert kül cürfü oluşturulmalıdır,yüksek sıcaklık mevcuttur                                  | Erimiş kısımdan ayrılmalıdır, oldukça yüksek bir karbon içeriği ve sıcaklık vardır                        |
| Scaklık                  | Külün erime sıcaklığının altında tutulmalıdır, yataktaki sıcaklık dağılımı,yüksek ısı verim sağlamaktadır | Düşük sıcaklıklarda çalışmak mümkündür                                                                                     | Dört çeşit yatak sınıflandırması içindeki en yüksek sıcaklık mevcuttur                                            | Çalıştırma sıcaklığındaki erimiş madde refrakter malzeme için çok korozyon olabilmektedir                 |
| Beslenen kömürün tipi    | Genelde, kekleşebilen kömürler sorun yaratmaktadır, yatağın sallanması gerekebilir                        | Kekleşebilen kömürlere ön işlem uygulanması gerekebilir                                                                    | Bütün kömür çeşitleri kullanılabilir                                                                              | Bütün kömür çeşitleri kullanılabilir                                                                      |

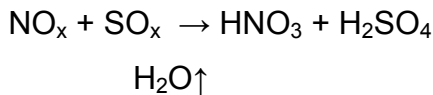
## 2.9 Güneş ve Nükleer Enerjili Gazlaştırma Prosesi

Gazlaştırma için gerekli olan enerjiyi, farklı bir enerji kaynağından elde etmek için güneş enerjisi ve nükleer enerji kullanımı araştırılmıştır. Baykara ve Bilgen, Koppers-Totzek ve Lurgi prosesleri ile,  $10^7$  GJ/yıl kapasiteye sahip olan bir sentez gaz ve hidrojen üretiminde, güneş enerjisi kullanımını incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda, % 30 kömür tasarrufunu, % 25 gazlaştırma veriminin artmasını, oksijen tesisine gerek duyulmamasını ve güneş enerjisinin depolanabileceğini sonuç olarak elde etmişlerdir. Nükleer enerji, gazlaştırma ünitesine iletilerek uygulanabilir, ancak yüksek verimi yakalamak için izolasyon şarttır. Avrupa’da sentetik doğal gaz üretmek için kullanılan nükleer enerjide, gazın üretim maliyetinde % 25, kömür tüketiminde % 40 ve CO<sub>2</sub> emisyonunda % 33 azalma olduğu belirlenmiştir. Nükleer enerji avantajlarının yanında, atık depolama sorunu ve tesislerin kurulumunda uzun zaman ve yüksek maliyet gerekmektedir [2].

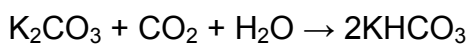
## 2.10 Kirlетici Gazların Temizlenmesi

Gazlaştırma sonucu elde ettiğimiz yanabilir gazların yanında, kirlетici ve zehirli gazlar (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO) da ortaya çıkmaktadır. Arıtma yöntemleri kullanarak yok etmek gerekmektedir. Bu yöntemlerin bazıları şunlardır:

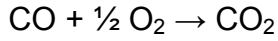
- Platinyum ve nikel katalizi kullanarak SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> ‘i suyla HNO<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ‘e dönüştürülebilir [3].



- K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisi bulunan adsorpsiyon kulesine sıcak CO<sub>2</sub> beslenir, CO<sub>2</sub> ve KHCO<sub>3</sub> ‘ye dönüşebilir [2].



- Platinyum katalizi kullanarak, 200 °C sıcaklıkta CO gazını oksijen ile reaksiyona girerek CO<sub>2</sub> 'ye dönüştürülebilir, sonra CO<sub>2</sub> temizleme yöntemi ile giderilir [4].



## 2.11 Kömürün Yer Altında Gazlaştırılması

Tavan ve taban taşları arasında bulunan kömürü reaktör olarak kullanılarak, yeraltından çıkarmadan yatağında gazlaştırma işlemidir. Yüksek ısıl değere sahip olmayan kömürleri veya ekonomik sebeplerden dolayı işletilemeyen kömür yataklarını, değerlendirmek için yeraltı gazlaştırma yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ile madencilik çalışmaları esnasında, sağlık ve güvenlik sorunları olmadığı için, çok derinlerde bulunan kömürler için önemi artmaktadır.

Bu gazlaştırma yönteminin amacı, kömürü yatağında yakarak sanayide kullanılmak üzere gaz ürün elde etmektir. Sondaj ve galerilerin açtığı kuyu yolu ile kömüre ulaşılır. Bu kuyulardan birisi beslemek için kullanılır diğer ise gaz ürünlerin dışarıya çıkması için. Besleme kuyusundan gazlaştırıcılar (hava, oksijen, su buharı + hava, oksijen + su buharı veya hidrojen + hava gibi gazlar) kömür yatağına enjekte edilir, ardından kömür damarı yakılır. Oluşan sıcak gaz ürünler diğer kuyuya yönelmesi ile gaz ürünler dışarıya alınır. Ön temizleme yapıldıktan sonra kullanım için işlemlere tabi tutulur. Yeraltında kömür gazlaştırma proseslerin hepsi iki temel işlem içerir, bunlar:

- Ön hazırlık,
- Kömürün gazlaştırılması.

### 2.11.1 Kömür damarındaki ön hazırlık

Kömür damarı geçirgen olmadığından dolayı gazlaştırıcı ve gaz ürünün geçişini engeller. Bunun yanı sıra gazlaştırma esnasında çıkan su buharı ve katranlar soğuk bölgede yoğunlaşır, kömürün geçirgenliğini daha fazla düşmesine neden olur. Bu sebeplerden dolayı yeraltı gazlaştırmada ilk adım iki kuyu arasındaki kömür damarının geçirgenliğini sağlamaktır. Bu işlemi gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir, bunlar:

1. Geri yanma,
2. Elektriksel bağlantı,
3. Hidrolik çatlatmalar,
4. Yönlendirilmiş sondaj,
5. Patlayıcı maddeler ile çatlatmalar.

### 2.11.2 Kömürün gazlaştırılması

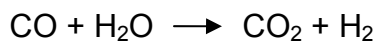
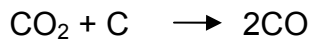
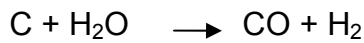
İki kuyu arasındaki kömür damarı ileri yanma tekniği ile gazlaştırılmaktadır. Düşük basınçlı ve yüksek debide hava beslenir. Yanma yüzeyi hava akımı ile aynı yönde hareket eder. Yanmadan oluşan gazlar çıkış kuyusuna ilerlerken kömür ve su ile reaksiyona girmesi sonucu CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> karşımı bir gaz ürün oluşur.

Yeraltı gazlaştırmada, dört reaksiyon bölgeleri gerçekleşmektedir, kuruma bölgesi, piroliz, indirgeme ve oksidasyon bölgesi. Gaz ürünün bileşimi piroliz reaksiyonlarına bağlıdır, bunun sebebi piroliz sırasında oluşan hidrojen, karbonmonoksit, metan ve diğer hidrokarbonlar gaz ürün zenginleştirmektedir. Yeraltı gazlaştırmada gerçekleşen reaksiyonlar şunlardır [2]:

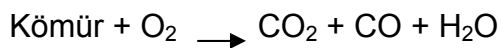
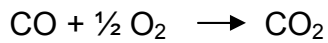
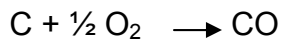
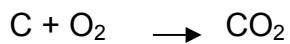
### Kurutma ve piroliz



### İndirgeme



### Oksitlenme



### **2.11.3 Üretilen gazın özellikleri**

Yeraltında gazlaştırmada elde edilen gaz ürünün bileşim ve özellikleri çeşitli faktörlere bağlıdır, bu faktörlerin yükselmesinde gaz ürünün bileşimi ve ısı değeri değişime uğrar. Bunlar:

- Kömürün özellikleri (kömürleşme derecesi, nem içeriği, kül içeriği)
- Jeolojik etkenler ( damar kalınlığı, damarın eğimi, tavan ve taban taşarlarının özellikleri, damarın derinliği)
- Gazlaştırıcının bileşimi (hava, hava + su buharı, oksijen + su buharı)
- Proses parametreleri (sıcaklık, basınç)

#### **2.11.4 Yeraltı gazlaştırmanın çevreye etkileri**

Yeraltı gazlaştırma yöntemi ile kömürdeki kükürt gaz ürünün içerisinde  $H_2S$  olarak çıkması ve bu da gaz temizleme ünitelerinde tutulabilmesinden dolayı hava kirliliği yönünden önem elde etmiştir. Ayrıca yöntem yeraltı madencilik gerektirmediğinden dolayı iş kazaları sorunu bulunmamaktadır. Yeraltı gazlaştırmada, yeraltı suyu tablası altında gerçekleştiği için yeraltı suların kirlenmesine neden olmaktadır. Gazlaştırma işleminden sonra sularda  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$  gibi gazlar çözünmüş halde suya geçmesi mümkündür.

### 3. BITÜMLÜ ŞİSTLER

#### 3.1 Bitümlü Şistler

İnce taneli ve yapraklı yapıda olan bu kayaçlar, bitümlü şistler diye tanımlanır. Bu kayaçlardan damıtma yöntemi ile sentetik petrol ve gaz elde edilebilecek ayrıca, katı yakıt olarak ta kullanılma olanağı vardır. Türkiye'nin pek çok yöresinde bitümlü şist yatakları bulunmaktadır. Görünür 555 milyon ton, muhtemel 1086 milyon ton, toplam 1,6 milyar ton rezerv saptanmıştır. Isıl değerleri 1 528 – 5 820 kJ/kg arasındadır [5].

#### 3.2 Bitümlü Şistin Oluşumu

Sulu ortamlardaki tek hücreli organizmaları, çiçek tozu ve tohumlarla karıştıktan sonra, inorganik maddelerle çökelererek taşlaşmış şeklini alır.

#### 3.3 Bitümlü Şistin Özellikleri

Bitümlü şistler, yanmaları uzun alevli ve isli olur yeşil ve kahverengine sahiptirler. % 66-68 karbon, % 7-13 hidrojen, % 1-24 oksijen, % 0,1-3 azot ve % 0,1-9 kükürt içerenler 4,2 MJ/kg ısıl değerine sahiptirler. Özgül ağırlıkları ise 1,7-2,5 arasında değişir. organik madde içerikleri, özgül ağırlıkları ile ters orantılıdır. Yakıldıklarında % 32 'nin üzerinde kül bırakırlar. Tüm bitümlü şistler, karbon, hirojen, oksijen, azot ve kükürt içeren, molekül ağırlığı yüksek, kerojen diye adlandırılan, organik bir madde içerirler. Bu da tüm bitümlü şistler arasında ortak bir özellik olarak görülmektedir. Organik bir madde olan bitümlü şistlerin tümü kerojen içerir. Kerojen, organik çözücülerde çözünmez, bir petrol ailesi üyesi değildir, karbon, oksijen, azot, kükürt ve hidrojenenden oluşmaktadır. 41,8 MJ/kg ısıl değere sahip olan, molekül ağırlığı yüksek, bir organik maddedir. Bitümlü şistlerde bulunan *bitüm*, organik çözücülerde çözünebilir, petrol ailesinin bir üyesi sayılır, oda sıcaklığında yarı katı durumundadır, o yüzden pompalanamaz, ancak ısıtıldığında viskozitesi düşer

ve 150 °C de koyu bir sıvı durumuna gelir. Asıl şist bilinen siyah şistler ise; potasyum, kil ve alüminyum silikatlardan oluşur. Bunların organik madde bölümünün yarısı kil, diğer bölümü ise kuvars ve pittir. Kerojen, siyah şistlerde olduğu gibi değişik tipteki kayaçların içinde bağlı olabilir; karbonat, silikat ve kilden teşekkül eden marn taşı misli tortul kayaçlarda da bulunma olanağı vardır. Bu çeşit şistlerde inorganik maddenin yaklaşık % 50'si karbonatlar, % 35'i kil, % 15'i de kuvarsttan oluşur. Bitümlü şistlerin inorganik unsurları başlıca; silisyum, sodyum, potasyum, magnezyum, kalisyum, demir ve alüminyumdur. Fazla miktarda olmasa da bakır, baryum, kurşun, rubidyum, bor, çinko, nikel, krom, mangan ve titan bulunur.

### 3.4 Bitümlü Şistin Üretimi

Bitümlü şistler sert, geçirgen olmayan kayalardan olması ve akışkanların akışını engellemesi, işlenmesinde büyük zorluklar yaratmaktadır. Bitümlü şistler, yer altından çıkarıldıktan sonra damıtılabilir veya yer altında iken damıtılır ve oluşan yağ toplandıktan sonra yer üstüne çıkarılabilir. Bitümlü şistlerin yer üstü maden işletmeciliği kömüründen farklı değildir. Şist miktarının %15'ı kolay ve ekonomik bir şekilde işlenebileceği tahminedilmektedir. O yüzden çok miktarlarda şistlerin işlenmesinde az miktarda sentetik yakıt elde edilebilir, bu da işlenen şistlerin yaklaşık %85'ı atık olduğunu göstermektedir. Bu çeşit sorunları ve maliyeti düşürmek için yer altında damıtma uygulanmaktadır. Ancak, gaz akımı kontrolü zor ve yağ verimleri yüksek değildir, bu da bitümlü şistlerin sert olduklarından ve geçirgen olmadıklarından kaynaklanmaktadır. Bu yöntemi geliştirerek, değiştirilmiş yerinde damıtma yöntemi uygulanabilir. Şistin bir kısmı yer üstüne alınır ve diğer kısmı, yer üstüne çıkan kısmın bıraktığı boşluk hacminde patlatılır ve parçalanır. Yer altında damıtma yöntemi yüksek enerji tüketimine rağmen, şist daha yüksek oranla işlenebilir ve daha düşük yatırım sermayesi ile yapılabilir [6].

### 3.5 Bitümlü Şist Rezerv Durumu

Türkiye’de, MTA Enstitüsü kurulduktan sonra, sentetik petrol elde etmek için, bitümlü şist aramalarına başlanmıştır. Ancak Türkiye’deki bitümlü şistlerin birçoğu bu açıdan büyük bir potansiyele sahip olamamsından dolayı aramalara son verilmiştir. Yakma ve yakıt teknolojisinin ilerlemesiyle, bitümlü şist yeniden değer kazanarak arama işlemlerine yeniden başlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu, Türkiye’de 269 milyon tonu işletilebilir, toplam 1,6 milyar ton rezerve ortaya çıkmıştır (1994) [5].

Çizelge 3.1. Türkiye’nin bitümlü şist rezervleri [6]

| Saha                           | Görünür<br>(10 <sup>3</sup> ton) | Muhtemel<br>(10 <sup>3</sup> ton) | Toplam<br>(10 <sup>3</sup> ton) | Isıl değeri<br>(kJ/kg) |
|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Beypazarı,<br>Ankara           | 327 000                          | -                                 | 327 000                         | 4 032                  |
| Seyitömer,<br>Kütahya          | 83 320                           | 38 850                            | 122 170                         | 3 600                  |
| Göynük-<br>Hatıldağ,<br>Bolu   | 73 327                           | 281 587                           | 359 959                         | 3 240                  |
| Göynük-<br>Himmetoğlu,<br>Bolu | 65 968                           | -                                 | 65 968                          | 5 820                  |
| Ulukışla,<br>Niğde             | -                                | 130 000                           | 130 000                         | 3 563                  |
| Mengen,<br>Niğde               | -                                | 50 000                            | 50 000                          | 4 187                  |
| Mengen,<br>Bolu                | -                                | 50 000                            | 50 000                          | 4 187                  |

Çizelge 2.1. (Devam) Türkiye'nin bitümlü şist rezervleri

|                        |         |           |           |       |
|------------------------|---------|-----------|-----------|-------|
| Bahçecik,<br>Kocali    | -       | 42 000    | 42 000    | 4 438 |
| Burhaniye,<br>Blıkesir | -       | 15 600    | 15 600    | 3 065 |
| Beydili,<br>Ankara     | -       | 300 000   | 300 000   | 3 349 |
| Udruga,<br>Çorum       | -       | 138 000   | 138 000   | 1 528 |
| Çeltek,<br>Amasya      | -       | 90 000    | 90 000    | 2 265 |
| Toplam                 | 554 660 | 1 086 037 | 1 640 697 | -     |

### 3.6 Bitümlü Şistlerin Kullanım Alanları

Bitümlü şist, kandil yağı üretiminde 1838 yılında Fransa'da kullanılmıştır. İskoçya'ya ise 1862 'de şist yağı üretilmeye başlanmıştır. Bitümlü şistlerin tarım gübresi, atık şistlerden de çimento yapımında kullanılma ihtimaline dair araştırılması önerilmektedir. Son yıllarda sıvılaştırma veya gazlaştırma ile petrole eş değer ürünler çıkarmak için bitümlü şistlerin piroliz çalışmaları yoğunlaşmıştır. Bunun yanı sıra, bitümlü şistlerin termik santrallerde kullanılan katı yakıtların yerini alması araştırılmaktadır. Bitümlü şistlerin teknolojik açıdan yararlanma sahası henüz kesinleşmese de, günümüze kadar yapılan çalışmalar neticesinde bitümlü şistlerin değişik enerji hammaddesi olduğunu göstermektedir. Turba ve bitümlü şist rezervlerinin araştırılması ve bunlardan yararlanmasına dair gözardı edilemeyecek çalışmalar yapılmıştır. Turbanın Finlandiya, İrlanda ve Rusya Federasyonunda gübre hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de kömür rezervlerinin günümüzdeki kullanılan enerji miktarı ile ölçüldüğünde, 30 yıl sonra bu rezervlerin hiç kalmayacağı hesaplanırsa, bitümlü şistler ve turba

rezervlerinden faydalanmak ve kömürün bir kısmının yerini almak gerekecektir.

### 3.7 Bitümlü Şistlerin Jeolojik ve Petrografik Özellikleri

Bitümlü şistler iki organik madde içermektedirler. Birincisi bitümen yapı ve ikincisi kerojen yapı. Bitümen yapı, şistten ekstraksiyon işlemi ile ayrılabilir. Kerojen yapı ısıtma işlemi olmadan, bitümen yapı kadar şistten kolay ayrılamaz. Dolayısıyla bu işlem için enerji gerekir. Kömür ve Organik Petroloji Uluslar arası Komitesi tarafından yapılan bitümlü şistin petrografik sınıflandırılmasına göre, maseral adı verilen fosil yakıtların mikroskopik en küçük birimidir. Birinci karbonifikasyon fazda oluşan değişik karbonlu yapılardan ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtların kimyasal, fiziksel ve teknolojik özelliklerini, maserallerin miktarı ile bulunuş şekli belirler. Bitümlü şistlerin yapısına göre, vitrinit, liptinit ve inertinit adı verilen üç ana maseral gurubuna ayrılmaktadır. Vitrinit maserallerin hücre içerikleri ve hücre duvarları yoğunlaşmış jellerdir. İnertinit maseraller bitkisel kalıntılardan oluşmuştur. Liptinit maseraller bitkilerin vaks ve lipitçe zengin, reçinemsi bölümlerinden oluşmuştur. Liptinitler ısıtıldığında gaz ve katran vermesine rağmen kok oluşmasında katkıda bulunmaktadır. Karbon ve hidrojen içeriği açısından maseralleri ayırırsak, inertinit maseral diğerlerine göre daha yüksek karbon ve daha az hidrojen içerir, vitrinit maseral ise ikisinin arasında yer alırken, liptinit maseral diğerlerine göre daha az karbon ve daha yüksek hidrojen içerir. Bitümlü şistler bulundukları ortama göre üç sınıfa ayrılmaktadırlar. Bu sınıflar :

- Karada bulunan bitümlü şist. Linyit kömürü ile yan yana görülür, renkleri ise kahverenginden siyaha değişen renkte.
- Göllerde bulunan bitümlü şist .Torbanit, siyahtan yeşilimsi siyaha değişen renkte. Lamosit, soluk kahverenginden koyu grimsi kahverengine değişen renkte.

- Denizlerde bulunan bitümlü şist. Marinit, griden koyu grimsi siyaha değişen renkte. Tasmanit, kahverengi veya griden siyaha değişen renkte. Kukersit, kahverenginde.

## 4. PLASTİKLER

### 4.1 Plastikler

Küçük molekülü monomer kimyasal olarak birbirlerine bağlanır ve polimer denen büyük molekülü madeller oluştururlar. Daha sonra polimerlerle birlikte amaçlarına göre dolgu madelleri, antioksidan, renklendirici, plastikleştirici ve kayganlaştırıcı gibi katkı maddelerle polimerikleri oluştururlar. Polimerikler, kalıplanması ve şekillenmesi ile kullanılabilen plastik ortaya çıkar. Kimyasal özelliklerine bakılmaksızın, belli bir süreç içinde polimerler, termoplastik ve termosetler diye iki sınıfa ayrılmışlardır. Polimerlerin bu ayrımı fiziksel şekillerinin soğuma ve ısınmaları ile birlikte değişimlerine göre yapılmıştır. Termosetler ısıya tabi tutulduklarında yumuşayarak kolay şekillendirirler. Bu nedeni ile kalıplanabilirler. Soğuduklarında sertleşirler. Termosetler bir defaya mahsus işlenebilirler çünkü, ikinci defa ısıtıldıklarında bozulurlar. Bozulmalarının sebebi sertleşirken oluşumlarının çapraz bağlanması. Termoset plastiklere poliüretanlar, epoksiler ve fenolikler örnek olarak verilebilirler. Termoplastikler de ısınınca yumşarlar. Basınç altında kalıplanabilirler, fakat kalıplanmış şekillerini korurlar. Fiziksel yapıları değiştiği halde kimyasal yapılarının aynı kalması ikinci defa da kullanılmalarına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle ikinci defa işleme tabii tutulabilirler.

Termoplastikleri şu şekilde sıralayabiliriz :

1. Plipropilen
2. Polikarbonat
3. Polisitren
4. Polibütlen
5. Poliüretan
6. Poliakrilat
7. Polivinilklorür ve vinil kopolimerler

8. Polifenilen sülfid
9. Termoplastik poliestere
10. Termoplastik kopoliestere
11. Alçak ve yüksek yoğunluk polietilen
12. Lineer alçak yoğunluk polietilen
13. Yüksek moleköl ağırlıklı polietilen
14. Termoplastikpoliamid
15. Termoplastik elastomerler
16. Sulfon polimerler
17. Selülozikler
18. Stiren akrilonitril
19. Naylon
20. Nitril reçine

Termoplastikler dayanıklılıkları ve kullanımlarına göre mühendislikte yapı malzemesi olarak ve günlük yaşamda kullanılmaları itibariyle sınıflandırılabilirler.

#### **4.2 Plastiklerin Akışını Belirleyen Terimler**

Tekrar kullanma, geri toplama v.b. açıklayıcı, pis yan ürün, atık, artık, kırpıntı gibi teimler plastik geri çevrim teknolojisinde plastik akışını belirleyen terimlerdir

##### Yan ürün plastikler

Dönüştürülmeyen, plastik üretimi işlemlerinde yan ürünlerdir, çevreye zarar vermeden imha edilmelidirler.

##### Kırpıntı, artık plastikler

Geri kazanılabilen plastiklerin işlenmesi ile ortaya çıkan plastiklerdir.

### Atık plastikler

Katı atık plastikler geri dönüştürülerek kullanılabilirler.

#### **4.3 Plastik Sektöründe Kullanılan Katkı Maddeleri**

Katkı maddeleri plastiklere değişik özellikler ve kullanım alanları yaratmaları sebebi ile plastik sanayisinde önemi büyüktür. Plastiklerde kullanılan katkı maddeleri:

1. Plastikleştiriciler: İşlenebilirliğini ve esnekliğini iyileştirmek amacıyla plastik reçinesi ile kullanılır.
2. Renklendiriciler: Kullanım amacına göre ve plastik reçinenin yapısına göre kullanılırlar.
3. Kararlılık sağlayıcılar ve oksitlenmeyi önleyiciler: Polimerlerin imalat sürecinde ve depolanmasında bozunmasını önlemek ve korumak amacıyla kararlılık sağlayankatkı maddeleri kullanılırlar.Oksitlenmeyi önleyici ısı ve ışıktan korurlar.
4. Dolgu maddesi ve güçlendiriciler: Plastiklerin elastikiyetinin sağlanması ve dayanıklılığını güçlendirmek amacıyla kullanılırlar. Dolgu maddeleride kimyasal yapısına, fiziksel yapısına ve karşılıklı etkileşmesine göre sınıflandırılabilirler.
5. Yağlayıcılar ve kaydırıcılar: Plastik reçinenin makinede kolay akması ve kalıptan kolayca çıkarılmasında kullanılırlar.
6. Katalizörler:Reçinenin işlenmesi sırasında kullanılırlar.Sertleştirici ve hızlandırıcı sistemlerdir.

7. Statik elektriklenmeyi önleyiciler:Reçine içine katılarak kalıplama işlemine girerler bu da ısıya dayanıklılıklarını arttırarak işleme ve kullanım sırasında elektrikle yüklenmesini önler.

8. Alevlenmeyi geciktiriciler: Polimerlere işleme sırasında katılıp, diğer maddelerle birleşmezler.

9. Köpürtücüler: Polimer yapısında gözenek ve hücre oluştururlar.

#### **4.4 Kullanılan Plastikler Hakkında Genel Bilgiler**

##### **4.4.1 Polietilen, PE**

###### Önemi ve kullanımı

Plastiklerin % 40 oranı ile tüketilen polietilenler, günümüzde en fazla üretimleri ile karışımıza çıkmaktadır. Polietilenlerin alçak ve yüksek yoğunlukta olması ile birlikte birde çok yüksek yoğunluklukta üretilmektedir. Polietilen,petrol kaynaklı olanı ilk defa ICI-İngiltere laboratuvarlarında terkip edilmiş olup, Fawcet tarafından 1986'da tanımlanmıştır. AYPE'nin tüketiminin % 10'u kablo yalıtım için kullanılır, % 60'ı film, ambalajlamada kalan % 30'u da köpük ve diğer parça üretiminde kullanılır. Günümüzde, sera örtüleri, ambalaj torbaları, bidon, şişe, beyaz eşya ve oyuncak yapımında kullanılır. YYPE'nin AYPE'den farkı, daha serttir, suya ve kimyasal maddelere dirençsiz değildir. AYPE ile ortak özelliği ise ışık ve açık hava koşullarına dayanıklı değildir. Çeşitli dolgu maddeleri ile direnci güçlendirilebilir. Darbe ve çekmelere karşı dolgu maddeleri ile güçlenerek mekanik özellikleri iyileştirilebilir. YYPE'nin kullanım alanı çok geniştir, elektiriksel uygulamalarda, basınçlı borularda, gaz dağıtım borularında, şişe, bidon, varil, beyaz eşya, izolatör ve oyuncak yapımında kullanılmaktadır. Suya dayanıklılığından dolayı tekne ve depo yapımında da kullanılır [7].

#### **4.4.2 Polipropilen, PP**

##### Önemi ve kullanımı

Polipropilen, 'PP' ye benzemekle birlikte daha dirençli olup, propilen monomerlerin polimerizasyonu ile oluşurlar. Ağaç ve metal malzeme yerine kullanılırlar. Ayrıca, lif haline geldiğinde ucuz ve kalitelidir. PP, beyaz eşya parçaları ve otomotiv sanayiinde kullanılmaktadır. Ayrıca, sağlık alanında, enjektör ve hastane araç gereçlerinin yapımında kullanılır, kablo, ayakkabı topuğu, halat, boru, levha, köpük malzeme yapımında ve masa, sandalya ve kanepe gibi büyük eşya yapımında kullanılır .

#### **4.4.3 Polistiren, PS**

##### Önemi ve kullanımı

Kullanışlı ve ucuz bir termoplast olup, farklı özelliklere sahip türleri olan bir plastiktir. PS'nin, üretimi fazla, kullanımı geniş, olmasının nedeni iyi özellikler taşımasıdır. PS, levha, film ve köpük plastik halinde kullanılabilir, çeşitli ev eşyası parçaları, telefon, otomobil, elektrik ve elektronik parçaları, gıda, tekstil ve oyuncak yapımında kullanılır. Ambalajlamada diğer plastikler kadar önemlidir.

#### **4.5 Plastiğin Geri Kazanımı**

Plastiklerin geri kazanımları anca yapay termoplastiklerin işleme yöntemlerinin gelişmeye başlaması ile ortaya çıkmıştır. 1900 yıllardan sonralar rastlanmaktadır. Sonra oluşan kırıntı ve atıklar geri kazandırılmıştır. Küçük sanayileşmelerin 1960'lı yıllara doğru büyümesi ile bu geri kazanımda da artmaya yol açmıştır. Fakat daha sonraları plastik maddesi ucuzlamış, bu artış azalmaya doğru gitmiştir. 1970'li yıllarda petroldeki pahalılığa paralel olarak plastik fiyatları da artmıştır ve geri kazanım önemi

yükselmiştir. Bu önemin yükselmesinde insanların çevre konusunda daha bilinçlenmesi bir rol oynamıştır. Bu neden ile plastiklerin geri kazanımındaki metotlarda da gelişmeler ve araştırmalar bugünkü araştırmalar da yardımcı kaynak olmuştur. Plastiğin geri kazanımı hem büyük işletmeciler hem de küçükleri için, daha bir önemli olmuştur. Plastik atıkları yalnız başlarına kullandıkları gibi atık olmayan plastiklerle de karıştırılarak değerlendirilmiştir. Plastik maddesiden piroliz işlemi ile yakıt sağlanması için çalışmalar geliştirilmiştir. Polivinilklorür, polipropilen ve polietilen bu yöntemle çeşitli ve plastik ve yağlar a ayrıştırılarak geri dönüşüme çalışmıştır. Böylece bu yöntemin tekniklerinde önemli adımlar atılmıştır. Karışık plastikler için uygun sıvılarda değişik yoğunlukta sıvılarda yüzdürme yöntemi ile ayrıştırılmalı yapılmış. PVC, PS, polifinler gibi ayıştırmaları sağlanmıştır. Bu sistem geliştirilerek daha fazla plastikler bile birbirinden ayrıştırılmıştır. Geri kazanma tekniklerinden başlıca şöyle sıralanabilir [8]:

1. Polimetilmetakrilat'ın termal kraking metodu ile monomere dönüşmesi
2. Yüksek sıcaklıkta politetrafloretilen, tetrafloretilen pirolizle monomere dönüşmesi
3. Glikoliz yöntemi ile poliüretanların poliole donüştürülmesi
4. Poliolefinler, PVC, PS, kağıt, metal, toprak ile karışık atıklar 700<sup>0</sup>C üzerinde piroliz ile metan, benzen, etilen, toluen ve karbon siyahının ana ürünlere dönüştürüldüğü teknolojiler.

#### **4.6 Atık Plastiklerin Değerlendirme Metodları**

Kullanım sonrası ve proses atıkları diye kaynaklarına göre iki ayrılır. Kullanım sonrası atıklar kullanım alanlarına göre kentsel, ambalaj, otomotiv, inşaat, elektrik ve ziraat atıkları diye gurplandırılabilir. Proses atıkları, imalathane ve plastik fabrikalarında üretim sırasında malzemelerden arta kalan ve üretim

hataları sonrası atıklardır. Bu iki gruba baktığımızda geri kazanımları dört metodla şöyle sıralayabiliriz:

1. geri kazanımda temiz atık plastiklerin partikül boyutu ufaltılıp orijinal ham plastikler ile karıştırılıp işlenerek plastik hammaddesi elde edilir. Kalitesi orijinal malzemeye yakındır.

2. Geri kazanımda orijinal ham malzemeden düşük kalitede malzeme elde edilir. Burada da kirlenmiş atık plastik eritilip ekstruderden geçirilip temizlenip ufaltılarak işlenir.

3. Bu kazanım kimyasaldır. Atık plastikten plastiğin ürettiği polimerlerin monomeri elde edilir. Elde edilen ürün çeşitli özelliklere sahip olup kimyasal madde üretiminin hammaddesi olarak kullanılır. Bu hammadde, piroliz, hidroliz, alkoliz yöntemleri ile elde edilir.

4. Bu geri kazanımda ise atıkların yakılarak enerjisinden yararlanmasıdır. Bu yöntem en son kullanılmalıdır. İnsan sağlığını ve çevreyi tehdit etmektedir. Bu toksit etkiyi giderici yöntemler uygulanması gereklidir, bu da bu yöntemin maliyetin arttırır.

#### **4.7 Plastiklerin Çevreye Etkileri**

Hayatsal akışımızda bir çok alanda plastik malzemelerden yapılmış ürünleri çok kullanmaktayız. Otomobil, inşaat malzemeleri, elektrikli ev aletleri, gıdaların ambalajı, temizlik malzemeleri ve daha bir çok alanda karşımıza çıkmaktadır. Yaşam standartlarının yükselmesi ile paralel olarak toplumda ambalajlı ürün kullanımının artışı da beraberinde getirdi. Bu nedenle kullanılan ürünün çeşitliliğini ambalajlama çeşitliliğini de arttırmıştır. Bu hızla artış çevre sorununu da gündeme getirmektedir. Çünkü plastik doğada kendiliğinden kaybolmamakta, bu da çevre kirliliği oluşturmaktadır. İnsanların çevre bilincini arttırmak gerekmektedir.

## **5. AKIŞKAN YATAKLAR**

### **5.1 Akışkan Yataklar**

Akışkan ve katı teması, gerekli olan işlemlerde, akışkan yataklar teknolojide konveksiyonel sistemlerden daha fazla önem kazanmıştır. Akışkanlaşma, akışkan olmayan partiküllerin, akışkan (sıvı veya gaz) süspansiyonların akışkana benzer hale getirmesi işlemidir. Basit bir şekilde homojen ortamları sağladığından dolayı, izotermal koşullarını kolay bir şekilde elde etmiş ve ısı işlemlerinde önem kazanmıştır. Örneğin, yanma işlemlerinde, akışkan yataklı kazanlar 1940'lardan itibaren diğer sistemlerden daha çok tercih edilmiştir. Başta düşük hız rejimlerinde çalışabilen kabarcıklı ve türbülent tip olarak kullanılmıştır, ve geliştirilerek dünyada geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur.

Akışkan yataklar, çeşitli kömürlerden farklı şekillerde faydalanmak ve yakmak için en avantajlı sistemdir. Ayrıca akışkan yataklarda iyi bir katı-gaz teması gerçekleştiği için iyi bir kömür yakma verimliliği gösterir.

1970'lerden sonra popüler olan sirkülasyonlu akışkan yatak, düşük hız rejiminde çalışan akışkan yatakların yanında alternatif olarak geliştirilmiştir, yanma teknolojisinde kullanıldıktan sonra, sağladığı avantajları yüzünden en iyi sistem haline gelmiştir. Sirkülasyonlu sistem yüksek akışkanlaşma hızlarında çalıştığı için, yatağın üst kısmından gazla birlikte ayrılabilen katı partikülleri siklonda tutularak yatağa geri gönderilir ve katının sürekli sistemde dolaşması sağlanır. Bu sebepten dolayı sirkülasyonlu akışkan yatak adı verilmiştir.

### **5.2 Akışkan Yatakların Avantajları**

1. Katı partiküllerinin, gazın yardımıyla akışkan gibi davranması ve homojen bir ortam yaratması.

2. Katıların sistemde dolaşmalarından kaynaklı yüksek ısı transferi katsayısı
3. Hareketlenen katı partiküllerinden dolayı ortaya çıkan sabit sıcaklık ortamı.
4. Büyük ölçekli çalışmalarda katının akışkan gibi davranmasından yarattığı kullanım kolaylığı.
5. Gaz ve katı arasındaki ısı ve kütle transferinin yüksek hızla olması
6. Heterojen reaksiyon içeren sistemlerde katalizör hazırlama masraflarının düşük olması .

### **5.3 Akışkan Yatakların Dezavantajları**

1. Akışkan yatak reaktör olarak kullanıldığında, katının ufalanması ve kaybı ihtimalinin olması
2. Katı partiküllerin duvarlara çarpması sonucu kolonda meydana gelen ciddi derecede aşınma tehlikesi.
3. Katalitik olmayan yüksek sıcaklıkta reaksiyonlarda küçük partiküllerin sinterleşmesi.
4. Endüstriyel boyuttaki sistemlerin tasarımında boyut büyütmeden kaynaklanan zorluklar.

### **5.4 Akışkanlaşma Olayı**

Akışkan yataklar genelde iki fazlı( gaz-katı veya sıvı-katı ) yada üç fazlı(gaz-katı-sıvı) olurlar.

Akışkanlaştırma olayı,yataktaki katıyı, gaz veya sıvı kullanarak hareketlendirip akışkana benzer durumuna getirmektir. Akışkan yatakların alt bölümünde bulunan dağıtıcı (genelde elek şeklindedir) katıyı yatağın içinde tutmasını sağlar.

Gaz, düşük bir hız ile yataktan geçip, katı partikülleri arasındaki boşluklardan geçer ise bu sabit yatak olarak geçer. Gazın hızı yükseldiğinde ise katı

partikülleri yukarı doğru akan gaz vasıtası ile süspanse edilir, partiküller ve gaz arasındaki sürtünme kuvveti katıların ağırlığı ile denkleştir, partiküller arasındaki sıkıştırıcı kuvvetin dikey bileşeni kaybolur yatak yeni akışkanlaşmaya başlar. Ardından pariküller yatakta asılı duruma gelir ve bu noktadaki gaz hızına, minimum akışkanlaşma hızı ( $U_{mf}$ ) adı verilir ve yatağa akışkan yatak denir.

Sıvı-katı sistemlerinde ise, homojen akışkanlaşmış yatak adlandırılan yataklarda, minimum akışkanlaşma hızındaki artış, yatağın düzgün bir şekilde genişlemesini sağlar, küçük heterojen yada sıvı boşlukları oluşur. Gaz-katı sistemlerinde, yüksek basınçlı ve yoğun gaz ile ince ve hafif sağlandığında bu durum gerçekleşebilir.

Gaz-katı sistemlerinde, heterojen akışkan yatağa veya kabarcıklı akışkan yatağa rastlanır, bu da minimum akışkanlaşma hızındaki artış, hava kabarcıkları yapar ve kanallaşmaya yol açar, harektlenme daha kuvvetli ve şiddetli olur. Ayrıca yatak minimum akışkanlaşma hacminden fazla genişmez.

Gaz-katı sistemlerinde, yatak yüksekliğinin kolon çapına oranı 2'yi geçtiği durumda slugging olayı gerçekleşir. Slugging olayı, gaz kabarcıkları yatağın alt kısmında birleşerek yükselir ve büyür. Partiküller ince ise yükselen gaz kabarcığının etrafındaki duvardan düzgün bir şekilde kayar. Partiküller kaba ise, kabarcığının üst bölümündeki partiküller yukarı doğru itilir ardından parçalanarak slugdan aşağıya dökülür ve başka bir slug oluşur ve hareket tekrarlanır.

Türbülentli akışkan yatağa da rastlanabilir, yatağın üst kısmındaki ince partiküller türbülentli hareket yapar. Bu olay yüksek gaz akış hızında akışkanlaştığında ve katıların terminal hızı geçildiğinde meydana gelir. Ancak gaz hızındaki çok fazla artış katıların gazla beraber yatağın dışına taşınmalarına sebep olur ve zayıf faz akışkan yatak denilen durum olur [9].

### 5.3 Akışkan Yataklarda Basınç Düşüşü

Gaz hızı sıfırdan itibaren yükselerek, akışkanlaşma durumuna geçmeden önce, partiküllerin sabit yatak durumu gösterdiğinde, kolondaki basınç kaybın Ergun denklemini (Eş. 5.1) kullanarak hesaplanabilir. Minimum akışkanlaşma hızına geldiğinde (yatak akışkanlaştığında) basınç kaybının sabitlendiği fark edilir. Gaz akış hızı artmaya devam ederse ve partiküllerin kolon dışına taşmaları başladığında, basınç kaybı azalır ve partiküllerin miktarı azaldığında basınç kaybı boş kolon kaybına yakın olur [9].

Ergun denklemi :

$$\frac{\Delta P}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^2} \cdot \frac{\mu U_o}{(\phi_s \cdot d_p)^2} + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \rho_g \cdot U_o^2 \quad (5.1)$$

### 5.6 Akışkan Yataklarda Kullanılan Genel Denklemler

#### 5.6.1 Minimum akışkanlaşma hızı

Sabit yatak durumundan akışkanlaşmış yatak durumuna geçildiğinde, partiküllerin harekete geçmesi ve asılı hale geldiğinde, gazın hızı minimum akışkanlaşma hızıdır. Gazın sürüklenme kuvveti partikül ağırlığına denkelşmesi, akışkanlaşmanın sağlanması için gereklidir.

$$\Delta P \cdot A = A \cdot L_{mf} \cdot (1 - \varepsilon_{mf}) \cdot (\rho_p - \rho_g) \cdot g \quad (5.2)$$

$$\Delta P \cdot A = A \cdot L_{mf} \cdot (1 - \varepsilon_{mf}) \cdot (\rho_p - \rho_g) \cdot g \quad (5.3)$$

Akışkan yatağın sağlanması için, gazın sürüklenme kuvvetini partikül ağırlığıyla denkleştirmesi ile elde edilen (Eş. 5.2) ile Ergun denklemini birleştirerek, yatağın minimum boşluk kesri ( $\varepsilon_{mf}$ ) ve şekil faktörü  $\phi_s$  değerlerinin belli olduğunda aşağıdaki denklemi elde edebiliriz.

$$\frac{1,75}{\varepsilon_{mf} \cdot \varnothing_s} \left( \frac{d_p \cdot U_{mf} \cdot \rho_g}{\mu} \right)^2 + \frac{150(1-\varepsilon_{mf})^2}{\varepsilon_{mf}^3 \cdot \varnothing_s^2} \left( \frac{d_p \cdot U_{mf} \cdot \rho_g}{\mu} \right) = \left( \frac{d_p^3 \cdot \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \right) \quad (5.4)$$

Çok küçük partiküller için;

$$U_{mf} = \frac{d_p^2 \cdot (\rho_s \cdot \rho_g) g \varepsilon_{mf}^3 \cdot \varnothing_s^2}{150 \mu 1 - \varepsilon_{mf}^3}, \quad Re_{mf} \leq 20 \quad (5.5)$$

Çok büyük partiküller için;

$$U_{mf}^2 = \frac{d_p \cdot (\rho_s - \rho_g) g}{1,75 \rho_g} \varepsilon_{mf}^3 \cdot \varnothing_s, \quad Re_{p,mf} > 1000 \quad (5.6)$$

Eşitlik 4.4 'de;

$$K_1 = \frac{1,75}{\varepsilon_{mf}^3 \cdot \varnothing_s} \quad \text{ve} \quad K_2 = \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3 \cdot \varnothing_s^2} \quad (5.7)$$

İri taneli partiküller için Chitester ve arkadaşları tarafından 1984 yılında önerilen  $K_1$  ve  $K_2$  değerleri ile çözülür ise,

$$\frac{d_p U_{mf} \rho_{gas}}{\mu} = \left[ (28,7)^2 + (0,0494)(d_p^3) \frac{\rho_{gas} (\rho_s - \rho_{gas}) g}{\mu^2} \right]^{1/2} - 28,7 \quad (5.8)$$

eşitliği elde edilir.

Eşitlik 4.8 'den minimum akışkanlaşma hızını çekersek :

$$U_{mf} = \frac{\mu}{\rho_{gaz} d_p} = \left[ \left[ (28,7)^2 + (0,0494)(d_p^3) \frac{\rho_{gas} (\rho_s - \rho_{gas}) g}{\mu^2} \right]^{1/2} - 28,7 \right] \quad (5.9)$$

### 5.6.2 Katı partiküllerin terminal hızı

Akışkan yataklarda boş kolon hızına karşı basın düşüşü, hızın artmasıyla basınç düşüşünün sabitlendiği (sıfıra yaklaştığı) noktadaki hız terminal hızı sayılır. Akışkan yatak düşük gaz hızı ile çalıştığında akış hızının minimum akışkanlaşma hızı ile terminal hızı arasında olması gerekir. Partiküllerin terminal hızı aşağıdaki denklem ile bulunur [9]:

Terminal hız;

$$d^* = d_p \left[ \frac{g \rho_g (\rho_p - \rho_g)}{\mu_g^2} \right]^{1/3} \quad (5.10)$$

$$v^* = \left[ \frac{18}{(d^*)^2} + \frac{2,335 - 1,744\phi}{(d^*)^{0,5}} \right]^{-1} \quad (5.11)$$

$$v_t = v^* \left[ \frac{\rho_g^2}{g \mu_g (\rho_p - \rho_g)} \right]^{-1/3} \quad (5.12)$$

## 6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu güne kadar gazlaştırmada ve gazlaştırma prosesleri ile ilgili çok sayıda araştırmalar ve çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan örnek olarak:

Leung D.C.Y. ve Wang C.L. tarafında atık lastik tozu iki basamaklı akışkan yatakta 350 -900 °C sıcaklıkta hava ile gazlaştırılmıştır. Hacimsel akış hızı ve partikül hacmi gaz ürünün ısıl değerini, reaksiyon sıcaklığını ve gaz bileşimini etkilemiştir. Besleme akış hızı arttıkça her ki reaktörde sıcaklığı atmasına neden olmuştur, hacimsel akış hızı 2,3 ve 4 kg/h alınmıştır. 2 kg/h akış hızında yatak sıcaklığı 600 °C 'ye çıkmıştır, besleme akış hızı 3 kg/h 'e yükseldiğinde ise yatak sıcaklığı 800 °C ' ye yükseldiği gözlenmiştir, ancak akış besleme hızı 3 kg/h 'i geçtiğinde ise yatak sıcaklığının düşmesine neden olmuştur. İkinci reaktörde ise 2 kg/h besleme hızı ile yatak sıcaklığı 500 °C olmuştur ve 3 kg/h akış hızı ile yatağın sıcaklığı 620 °C 'ye yükselmiştir, bu sıcaklık 4 kg/h akış hızında 580 °C 'ye düşmüştür. Ayrıca besleme akış hızı ürün gazın ısıl değerini de açık bir şekilde etkilediği gözlenmiştir, besleme akış hızı arttıkça ürün gazın ısıl değeri ve miktarında artma meydana gelmiştir, dolayısıyla daha fazla besleme akış hızı ile daha yüksek ısıl değere sahip olan ve daha fazla miktarda ürün gaz elde edilebilirliğini düşünmüşlerdir. Partikül boyutu 0,5 -2 mm alınmıştır. Ürün gazın konsantrasyonunu incelerken, CO ve CH<sub>4</sub> 'ün konsantrasyonu partikül boyutu büyüdükçe yükselmiştir, ancak H<sub>2</sub> ve C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>'in konsantrasyonları çok fazla değişmemiş, incelemeleri sonucunda partikül boyutunun 1,0 – 2,1 mm arasında iken ürün gazın konsantrasyonunu çok az etkilemişler ve partikül boyutu küçüldükçe ürün gazda CO ve metan gazın konsantrasyonun düştüğünü görmüşlerdir. En iyi değeri 1,5 - 2 mm partikül hacmi, 2 kg/h akış ile elde edilmiştir. 6 MJ/Nm<sup>3</sup> ısıl değerli CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ve C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> gaz ürün elde edilmiştir [10].

Borgianni C. , De Filippis P. ve Pochetti F. , Polivinil klorür içeren atığı iki kademeli reaktörde, oksijen ve su buharı ile gazlaştırmışlardır. Atığın ısı

değerini arttırmak için, toplama ve yapışmayı önlemek için özel bir yakıt ilave etmişlerdir (yakıt + % 10 w PVC), ayrıca klorün de ayrılması için  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ilave etmişlerdir. Birinci kademede 500 -600 -700  $^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda oksijen ve yakıt enjekte edilmiştir, ayrıca 70 -160 L/h akış hızı ile buhar kullanılmıştır. Birinci kademenin sıcaklığını 500  $^{\circ}\text{C}$  'den daha az uygulamamışlar, çünkü ilave ettikleri özel yakıt 500  $^{\circ}\text{C}$  'nin altında iyi bir şekilde piroliz edilmez diye düşünmüşlerdir. Enjekte edilen oksijen ve buharın miktarları arttıkça çökeltide daha az reaksiyona girmemiş maddelere rastlanmıştır, o yüzden oksijen ve buhar arttıkça olumlu sonuçlara yol açtığını düşünmüşlerdir. Ayrıca oksijen çok fazla kullanıldığında  $\text{CO}_2$  miktarında artış gözlenmiştir ve bu reaktörün özel yakıtın yanma koşullarına yakınlığını göstermiştir. Sıcaklık ve oksijen oranı arttıkça çökelti azalmıştır ve özel yakıt iyi piroliz edilmiştir. İkinci kademede sıcaklık 1000  $^{\circ}\text{C}$  de sabit tutularak, oksijen oranı arttıkça gaz ürünün miktarı ve ısı değeri artmıştır. Birinci kademe reaktör 600  $^{\circ}\text{C}$  ' de iken 0,5  $\text{m}^3$  oksijen/kg yakıt enjekte edilmiştir. 1 kg  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ /kg PVC kullanılmıştır, ürün gazdaki kükürdü tutmak için  $\text{CaCO}_3$  kullanmışlardır. Elde ettikleri ürün gazdaki  $\text{H}_2/\text{co}$  oranı % 54,73. Ürün gazdaki diğer maddeler ise ( $\text{NaCl} + \text{HCl}$ ) 3,2 ve 3,7  $\text{mg}/\text{m}^3$ , bu miktarlar sırasıyla %10 ve % 20 PVC kullanıldığında ortaya çıkmıştır. Yüksek oranda hidrojen içeren gaz ürün elde edilmiştir. Oksijenin ürün gaz üzerindeki etkisini aşağıdaki tablo şeklinde açıklamışlardır [11].

Çizelge 6.1. PVC içeren atığın gazlaştırılmasında oksijenin etkisi

|                                                 |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.kademenin sıcaklığı yatak, $^{\circ}\text{C}$ | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   |
| Kg $\text{O}_2$ /kg yakıt                       | 0,035 | 0,06  | 0,065 | 0,115 | 0,116 | 0,149 |
| % $\text{H}_2$ v/v                              | 74,66 | 75,85 | 76,37 | 75,75 | 74,62 | 74,66 |
| % $\text{CO}$ v/v                               | 8,87  | 10,12 | 10,12 | 9,68  | 10,81 | 8,87  |
| % $\text{CO}_2$ v/v                             | 10,98 | 5,19  | 6,31  | 5,91  | 6,02  | 10,98 |
| % $\text{CH}_4$ v/v                             | 5,49  | 8,84  | 7,20  | 8,66  | 8,56  | 5,49  |
| ürün gazın ısı değeri, $\text{MJ}/\text{m}^3$   | 11,15 | 12,64 | 12,11 | 12,51 | 12,49 | 10,59 |

Hiroyuki Iwaki, Ye Shufeng, Katagiri Haruo ve Kitagawa Kuniyuki kağıt atığı katalizör kullanarak gazlaştırmışlardır. Lityum karbonat, potasyum karbonat ve sodyum karbonatı katalizör olarak kullanmışlardır. Sodyum ve potasyum karbonat sabit tutulup, lityum karbonat 0,25,50,75-100% yükselterek ve reaktör sıcaklığı 17 K/dk oranı ile yükselterek 1023 K' de CO<sub>2</sub> ile gazlaştırmada %70 soğuk gaz verimi, CO oranı yüksek gaz ürün elde edilmiştir. Gazlaştırmayı değişik kağıt atıklar ile de yapmışlardır. Kağıt mendil, gazete kağıdı ve basım kağıdı gazlaştırmışlardır. Kağıt mendil bunların arasında daha fazla reaksiyon oranına sahip olduğu ortaya çıkmıştır, basım kağıdı ise hepsinden daha az oran göstermiş, bunu da basım kağıdının içerdiği kalisyumdan olduğunu düşünmüşlerdir. Su buharı ile gazlaştırıldığında %95 soğuk gaz verimi, H<sub>2</sub> oranı yüksek gaz ürün elde edilmiştir [12].

Kikuchi R.,Sato H.,Mastukura Y. ve Yamamoto T., plastik atığı, şehirsal atığı ve %48 polivinil klorür içeren atığı gazlaştırma ve ayırma prosesi kullanarak gazlaştırmışlardır. Üstten ve kenarlardan %90 saf oksijen akımı uygulanan fırında 1000 °C sıcaklıkta gazlaştırılmıştır. Fırının dibinde soğuk alevsiz bölge olmaması için yardımcı yakıt olarak 1 -3 Nm<sup>3</sup> /h LPG uygulanmıştır. 70 kg/h akış ile, şehirsal atığa 33 Nm<sup>3</sup>/h oksijen ve 0.8Nm<sup>3</sup>/h LPG uygulamışlardır. Oksijenin reaktöre tepeden beslenmesinin etkilerini incelemişlerdir. Her üç atık için (250 saniyede 5 kg beslerken) oksijen tepeden beslenirken 20 dakika zarfında ürün gazdaki CO ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonu sabitleşiyor ancak tepeden besleme olmadığında bu konsantrasyon değişiyor. Oksijen tepeden beslenmediğinde ve sadece alttan beslendiğinde gazın hızı yükseldikçe üründe kaba tozların konsantrasyonu arttığını elde etmişlerdir. Oysa tepeden 7,5 m/s hız ile beslerken, 5 ton atık gazlaştırıldığında üründe 5 kg kaba toz elde etmişlerdir ve bu düşük toz konsantrasyonundan dolayı, oksijeni tepeden beslerken hız yükseldikçe üründeki toz miktarını etkilemediğini elde etmişlerdir. 1794 kcal/Nm<sup>3</sup> ısı değerli H<sub>2</sub> ve CO içeren gaz ürün elde edilmiştir. Plastik atığa 662 Nm<sup>3</sup>/h oksijen ve 3,2 Nm<sup>3</sup>/h LPG uygulanarak

2757 kcal/Nm<sup>3</sup> gaz ürün elde edilmiştir. PVC atığa 62 Nm<sup>3</sup>/h oksijen ve 3,2 Nm<sup>3</sup>/h LPG uygulanarak 2727 kcal/Nm<sup>3</sup> gaz ürün elde edilmiştir [13].

Matos M.A.A. ve Carbita I., akışkan yatakta kömür ve yağ sanayi atığı (%0-%70 wt/wt) karışımını 700-900 °C sıcaklıkta hava ile gazlaştırmışlardır. Karışımdaki yağ atığı oranı %40 olduğunda az miktarda metan, ağır hidrokarbon, %70'i geçtiğinde ise gaz üründe hidrokarbon ve katran oluşmuştur. Hava akımı arttıkça gazlaştırma için gereken enerji azalmıştır. Sıcaklık arttıkça gaz üründe hidrojen oranı yükselmiştir, metan ve ağır hidrokarbonlar azalmıştır. en iyi sonuç 890 °C sıcaklıkta yüksek hava akımı ile %45 H<sub>2</sub> ve %55 C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> gaz elde edilmiştir. 0.6 g/g oksijen/yakıt kullanarak C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> miktarında %30 azalma olmuştur [14].

Vriesman P., Heginuz E. ve Sjöström K. , su buharı, azot ve hava kullanarak biyomass gazlaştırmasında, NH<sub>3</sub> oluşumunda besleme yerinin etkisini incelemişlerdir. Tek kademeli akışkan yatak kullanarak, karbon, hidrojen, nitrojen, oksijen ve kül içeren bir biyomass karışımını 700 °C ve 800 °C 'de gazlaştırmışlar. Biyomassı reaktörün içine tepeden beslerken çok miktarda oluşan CO, NO ile reaksiyona girip N<sub>2</sub> oluşturuyor ve bu da N 'nin NH<sub>3</sub> 'ye dönüşümünü azaltıyor. Aynı sıcaklık ve karışım oranı ile( oksijen konsantrasyonu yüksek) tepeden beslemek yerine doğrudan akışkan yatağın içine beslerken, Karbonun CO 'ye dönüşümü azalıyor dolayısıyla N'nin NO 'ye dönüşümü düşüyor ve N'nin büyük bir kısmı NH<sub>3</sub> 'ye dönüşüyor [15].

## 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda kullanılan Himmetoğlu ve Seyitömer bitümlü şistleri ile polietilen, polipropilen ve polistiren plastik atıkların önce fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu işlem EK 1 'de detaylı olarak anlatılmaktadır.

Kullanılan bitümlü şistlerin kaba ve elemental analizi aşağıda verilmiştir:

- Himmetoğlu bitümlü şist

### Kaba analizi

|                |       |
|----------------|-------|
| Su %           | 6,65  |
| Kül %          | 14,68 |
| Uçucu madde %  | 59,81 |
| Sabit karbon % | 18,86 |

### Elemental analizi

|       |       |
|-------|-------|
| C %   | 61,35 |
| H %   | 7,06  |
| N %   | 1,44  |
| O %   | 12,91 |
| S %   | 4,44  |
| Kül % | 12,80 |

- Seyitömer bitümlü şist

### Kaba analizi

|                |       |
|----------------|-------|
| Su %           | 4,64  |
| Kül %          | 42,20 |
| Uçucu madde %  | 49,93 |
| Sabit karbon % | 3,23  |

### Elemental analizi

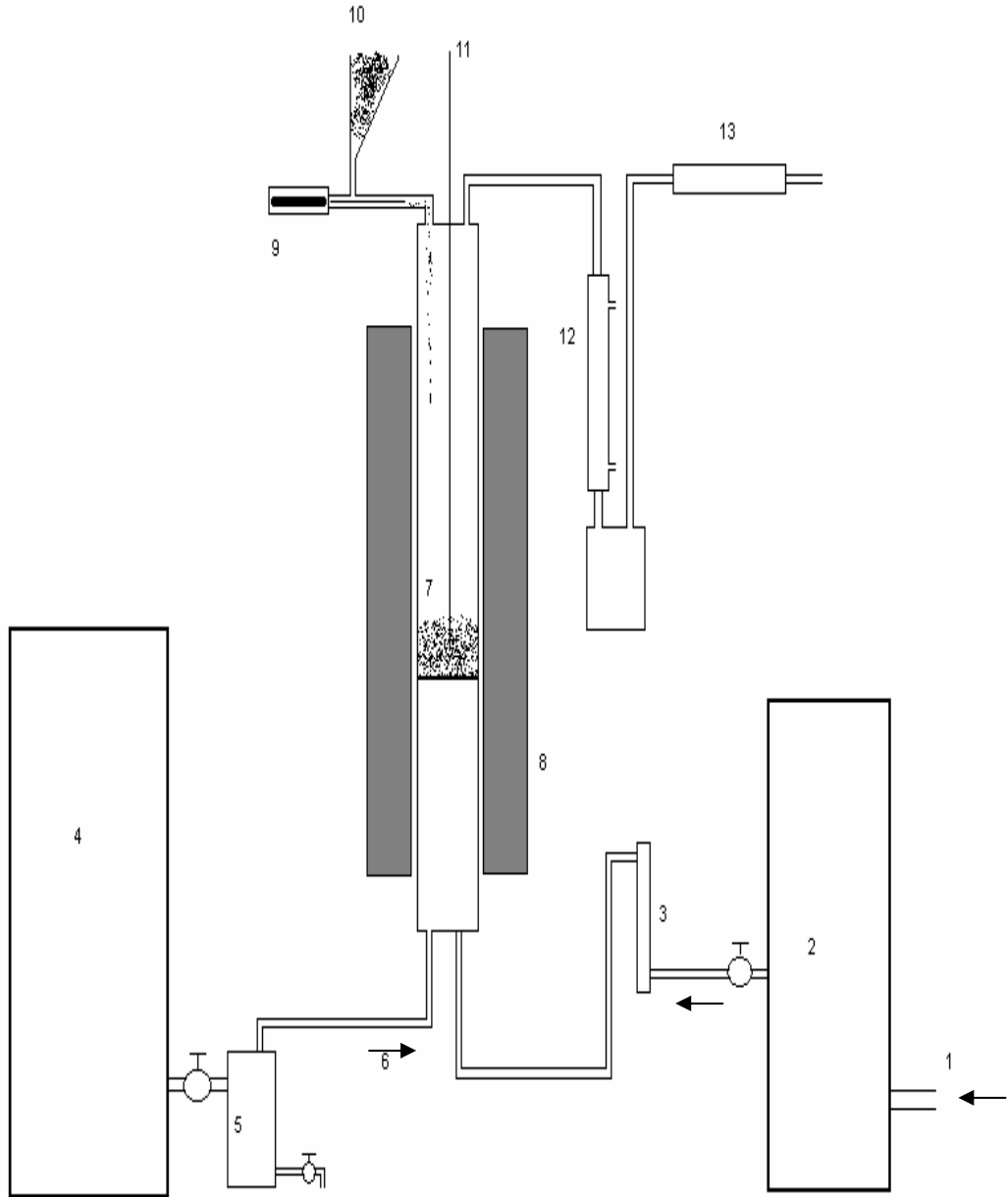
|       |       |
|-------|-------|
| C %   | 43,47 |
| H %   | 6,58  |
| N %   | 1,08  |
| O %   | 15,62 |
| S %   | 3,57  |
| Kül % | 29,68 |

Deneylerde kullanılan yatak malzemesinin (kum) basınç kaybı, minimum akışkanlaşma hızı ve akışkan yatağın ayrıntılı tasarım hesapları EK 2 ' de detaylı olarak verilmiştir.

### **7.1 Deney Düzeneği ve Deneylerin Yapılışı**

4 cm çapında ve 110 cm boyunda, silindir şeklinde cam kolonun ortasındaki elek şeklindeki dağıtıcı bulunan akışkan yatak elektrikli ısıtıcılı fırının içerisine yerleştirilmiş ve gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Reaktöre su buharı besleyen buhar jeneratörü, subuharı ile beraber yoğunlaşmış su verdiği için dolayı, önce buhar için çift çıkış sağlanmıştır. Birincisi vanalı olarak reaktöre buhar göndermek üzere ve ikincisi akışkan yatağı gerçekleştiren havayı ısıtmak için kullanılmıştır. Vanalı çıkıştan elde edilen buhar önce bir yoğunlaşan suyu tutan balona girer ve burada yoğunlaşan su tutulur. Bu şekilde su buhardan ayrılmış olur ve çıkan su buharı doğrudan gazlaştırma kolonuna verilir. Düşük subuharı akış hızını ölçen bir rotametre bulunmadığından dolayı, önemli bir parametre olan su buharı akış hızı, yıkama şişesi ile ölçülmüştür. Bu işlem şu şekilde yapılmıştır, balondan çıkan su buharı bir yıkama şişesine gönderilmiştir. Yıkama şişesinin içinde bulunan ve hacmi belli olan soğuk suyun içine su buharı girerek yoğunlaşmış ve sıvı su haline dönüşmüştür.



Şekil 7.1. Deney düzeneği

1. Hava, 2. Vidalı kompresör, 3. Rotametre 4. Elektrikli buhar jeneratörü, 5. Yoğunlaşan su tutma balonu, 6. Subuharı, 7. Akışkan yatak, 8. Elektrikli ısıtıcı, 9. Besleme motoru, 10. Bunker, 11. Çift ısı, 12. Soğutucu, 13. Gaz numune alma şişesi.



Resim 7.1. Deney düzeneği

Su buharını yıkama şişesinde yoğunlaştırma işlemi 10 dakika süre içerisinde yapıldıktan sonra yıkama şişesinin içindeki soğuk suyun hacmindeki artış hesaplanmıştır ve su hacmindeki artış yoğunlaşan buharın hacmi olarak alınmıştır. Bu işlemin gerçekleştiği zamana bölerek buharın akış hızı belirlenmiştir. Buhar vanasından çıkan buhar miktarını düşürüp veya yükselterek ve yıkama şişesinde akış hızı ölçme işlemini tekrarlama ile istenilen buhar akış hızına ulaşıldıktan sonra, buhar reaktöre beslenmiştir. Yatağı akışkanlaştırmak için gerekli olan hava, su buharı ile aynı yönde yan yana reaktöre alttan gönderilmiştir. Bu esnada su buharı besleme hattında ilerlerken yoğunlaşmasın diye bir kısım buhar ile ısıtılmıştır. Böylece buharın ikinci çıkışı havayı ısıtmak için kullanılmıştır. Havanın geçtiği hortumun son 1 metre olan kısmın bir başka silikon hortumla tamamen sarıldı. Buharın ikinci çıkışını bu silikon hortumdan geçirerek dışarıya gönderilmiştir. Böylece hava reaktöre girmeden önce buhar vasıtası ile ısıtıldı ve reaktöre giren buharın yoğunlaşması engellenmiştir.

Bitümlü şist ve plastik atıkları reaktöre üst kısımdan beslemek için besleme motoru kullanılmıştır ve katılar sisteme 10 g/dk hızında sabit olarak beslenmiştir. Reaktörde kül çıkışı bulunmadığından dolayı, katı maddeleri sabit besleme hızı (10 g/dk.) ile beslerken küllerin akışkan yatakta birikmesine ve yatağın akışkan özelliğinin kaybına neden olduğu gözlenmiştir. Bu sebepten dolayı katı maddeleri 2-3 dakika besleyip gazlaştırma işlemine tabi tuttukten sonra, ikinci bir gazlaştırma işlemine başlamadan önce reaktör soğutulmuştur ve temizlenmiştir. Akışkanlaşmada kullanılan havanın akış hızı ise 0,47 m/s 'dir. Bu değer deneylerde sabit tutulmuştur (akışkan yatağın minimum akışkanlaşma hızı ve havanın akış hızı EK 3'te detaylı olarak hesaplanmıştır).

Reaksiyon sonucu üretilen gazları kolonun tepesinde bulunan gaz çıkışından, önce bir soğutucudan geçerek (içindeki buharı yoğunlaştırıp tutmak için ve gazın yüksek sıcaklığını biraz düşürmek için) ardından gaz numune alma şişesine gönderilmiştir. Gazlaştırmayı ve ürün gazların bileşenlerini etkileyen

parametreleri incelemek için, değişik sıcaklıklarda ve değişik buhar akış hızları ile farklı karışım oranların gazlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu parametreler aşağıda açıklanmıştır :

#### 1. Birinci sıcaklık 750 °C

750 °C 'den başlayarak, (5, 10, 15 g/dk.) buhar akış hızları ile 7 tane karışımın (10 g/dk. besleme hızı ile) gazlaştırılması yapıldı. Karışımlar şunlardır :

% 100 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şist

% 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şist + % 40 (w/w) plastik atık

% 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şist + % 70 (w/w) plastik atık

% 100 (w/w) Plastik atık

% 100 (w/w) Seyitömer bitümlü şist

% 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şist + % 40 (w/w) plastik atık

% 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şist + % 70 (w/w) plastik atık

Plastik karışımı şehirsal plastik atık içerisindeki yüzde değerler alınarak hazırlanmıştır. Bu oranlar karışım içerisinde ağırlıkça % 56 polietilen, % 28 polipropilen, % 16 polisitren olacak şekilde alınmıştır.

#### 2. İkinci sıcaklık 800 °C

Aynı buhar akış hızlarıyla ve aynı karışım oranlarıyla, 10 g/dk. besleme hızı ile gazlaştırma yapıldı.

#### 3. Üçüncü sıcaklık 850 °C

Aynı buhar akış hızlarıyla ve aynı karışım oranlarıyla, 10 g/dk. besleme hızı ile gazlaştırma yapıldı.

Deneyler sonucunda 63 farklı numune ürün gaz elde edildi. Her deneyden sonra gaz ürün gaz kromatografi (GC) cihazında analiz edilerek içerdiği bileşenlerin miktarı belirlenmiştir. GC cihazından alınan değerler detaylı olarak bir sonraki bölümde verilmiştir.

## 7.2 Gaz Kromatografi Analizi

Elde edilen gaz ürünler molecular sieve (1m) ve silica jel (2m) kolonlarda analiz edilmiştir. Analizlerde SRI Multigas #2 gaz kromatografi cihazı kullanılmıştır. Ölçümler ısı iletkenlik dedektöründe (TCD) yapılmıştır.

Çizelge 7.3. Gaz kromatografi cihazında yapılan deneylerdeki sıcaklık programı

| Başlangıç sıcaklığı, °C | Sabit kalma süresi, dk | Artış sıcaklığı, °C | Son sıcaklık, °C |
|-------------------------|------------------------|---------------------|------------------|
| 40                      | 6,0                    | 40                  | 80               |
| 80                      | 3,0                    | 40                  | 240              |
| 240                     | 13,0                   | 40                  | 40               |

## 8. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

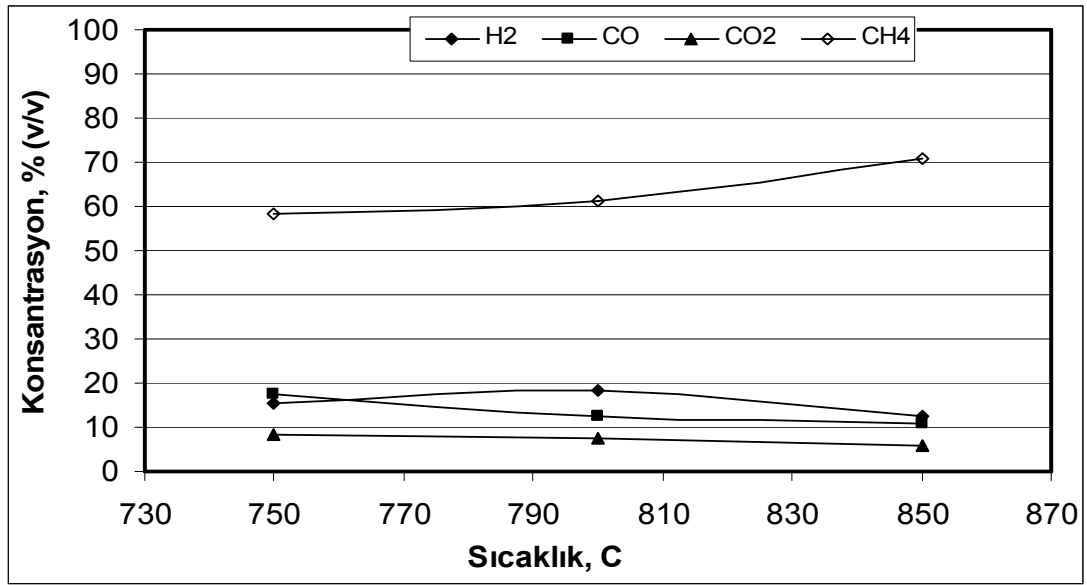
Bitümlü şist ve plastik atıkların değerlendirilmesi ve ekonomiye bir girdi olarak kazandırılması amacıyla yapılan bu çalışmada hazırlanan deney düzeneğinde gazlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında sıcaklığın, su buharı akış hızının ve bitümlü şist ile plastik atık karışım oranları değiştirilerek gazlaştırma işlemi üzerine etkileri araştırılmıştır. Katı besleme oranı ise sabit alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen gaz ürünler gaz kromatografi cihazı ile analiz edilmiş ve Çizelge 7.1, 7.2 ve 7.3’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgelerde verilen değerler çıkıştaki azot ve oksijen gazları hariç belirlenen H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gazlarının toplam yüzdeleridir. Burada elde edilen değerlerden yararlanarak gazlaştırma işlemi üzerine sıcaklığın, karışım oranlarının ve su buharı akış hızının etkileri belirlenmiştir.

### 8.1 Sıcaklığın Etkisi

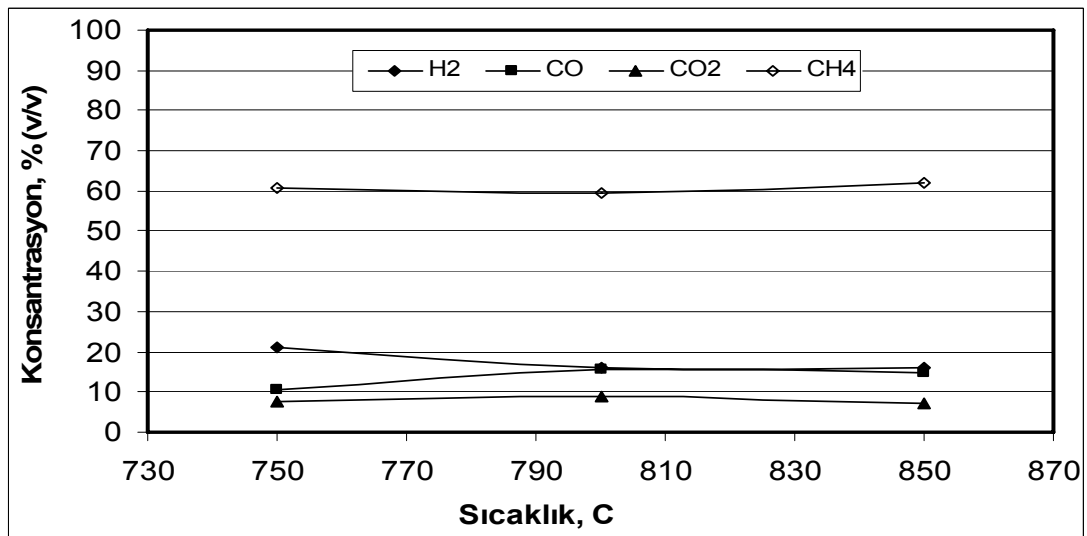
Sıcaklığın etkisini görmek amacıyla Şekil 8.1 ile Şekil 8.21 arasındaki şekiller çizilmiştir. Bu şekillerde su buharı akış hızının katı besleme hızının oranlarının (S/K) değişmesi ile gaz ürün konsantrasyonu etkileri gözlenmiştir. Sıcaklık etkileri gazlaştırma ve ürün gaz bileşimi üzerinde incelenmiştir ve besleme karışımları için değişimler dikkate alınmıştır. Himmetoğlu bitümlü şistinde sıcaklığın 750 °C ‘ den 800 °C ‘ ye çıkması gaz üründeki hidrojen miktarı artmış ve karbonmonoksit azalmaya başlamıştır. Ancak 800 °C sıcaklığı geçince hidrojen miktarında dikkat edilir bir azalma olurken metan konsantrasyonu yükselmeye başlamıştır. Buda hidrojenin bir kısmının metanlaşma reaksiyonunda kullanıldığını göstermektedir.

metanlaşma reaksiyonu :  $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$  . Seyitömer bitümlü şistinde 750°C sıcaklıkta (15 g/dk buhar akış hızı ile) ürün gazda % 24,79 hidrojen elde ederken bu oran sıcaklığın yükselmesi ile düşmeye başlamış ve 800°C ‘de % 14 değerine kadar düşmüştür. Bunun yanı sıra metan konsantrasyonu

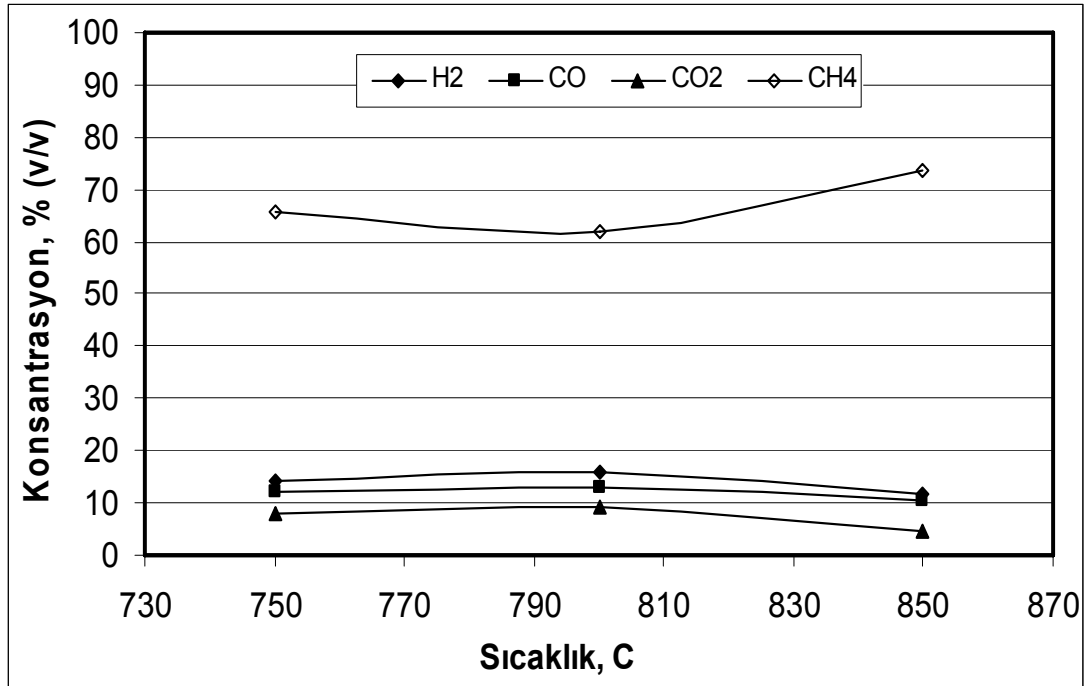
yükselmeye başlamıştır. Plastik atıklarda ise sıcaklığın etkisi bitümlü şistlerden elde edilen sonuçlarla benzerlik içindedir, 750<sup>0</sup>C 'de ürün gazda % 20 v/v civarında hidrojen elde edilirken bu oran sıcaklığın yükselmesi ile düşmüştür. Sıcaklık yükseldikçe CO ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda da bir azalma olduğu görülmüştür.



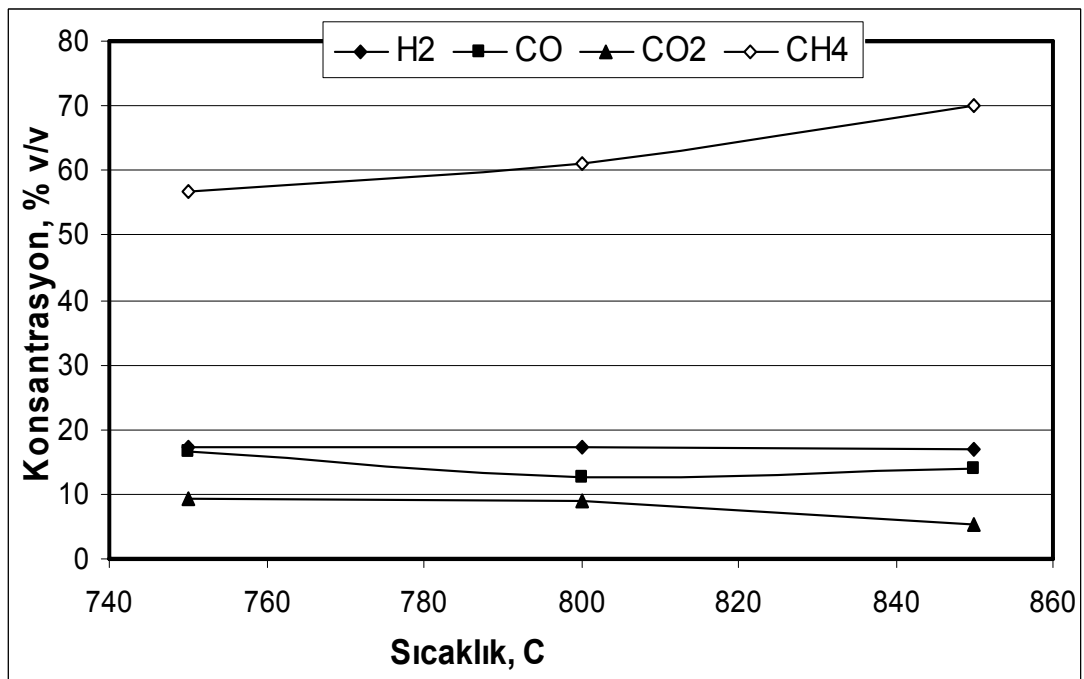
Şeki 8.1. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 0,5 (w/w)



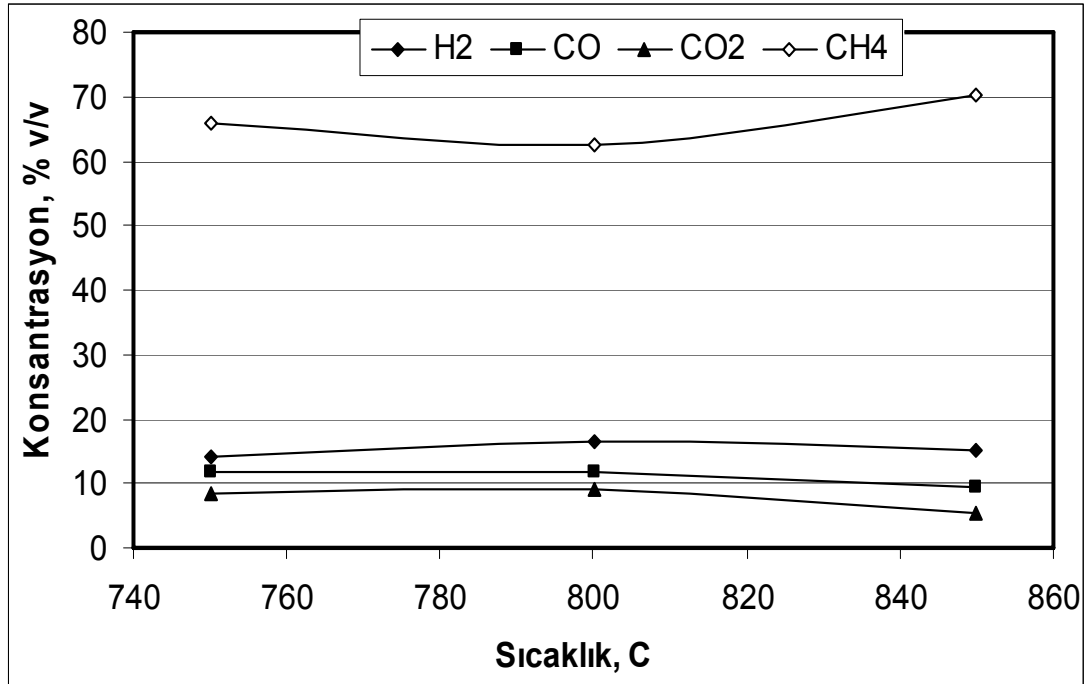
Şekil 8.2. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,0 (w/w)



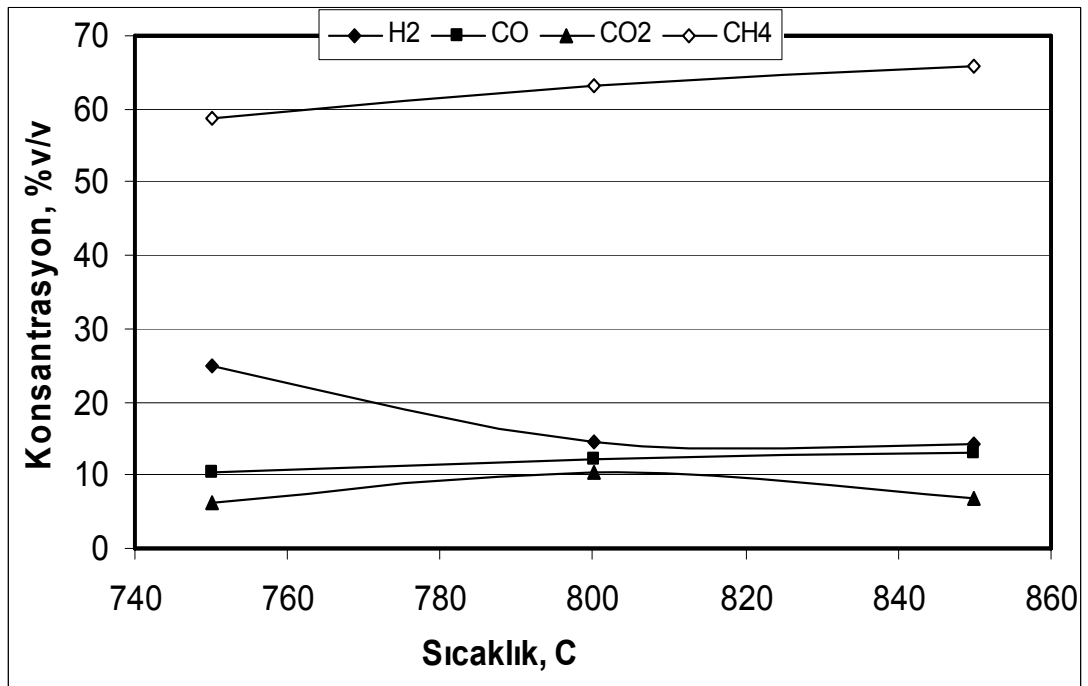
Şekil 8.3. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,5 (w/w)



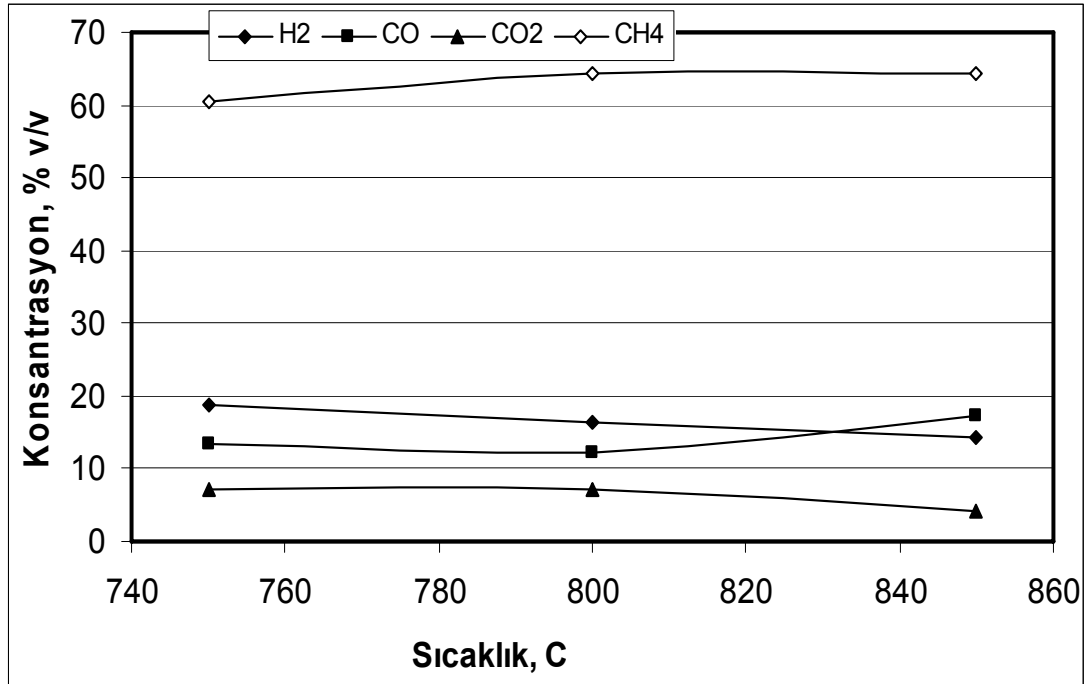
Şekil 8.4. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 0,5 (w/w)



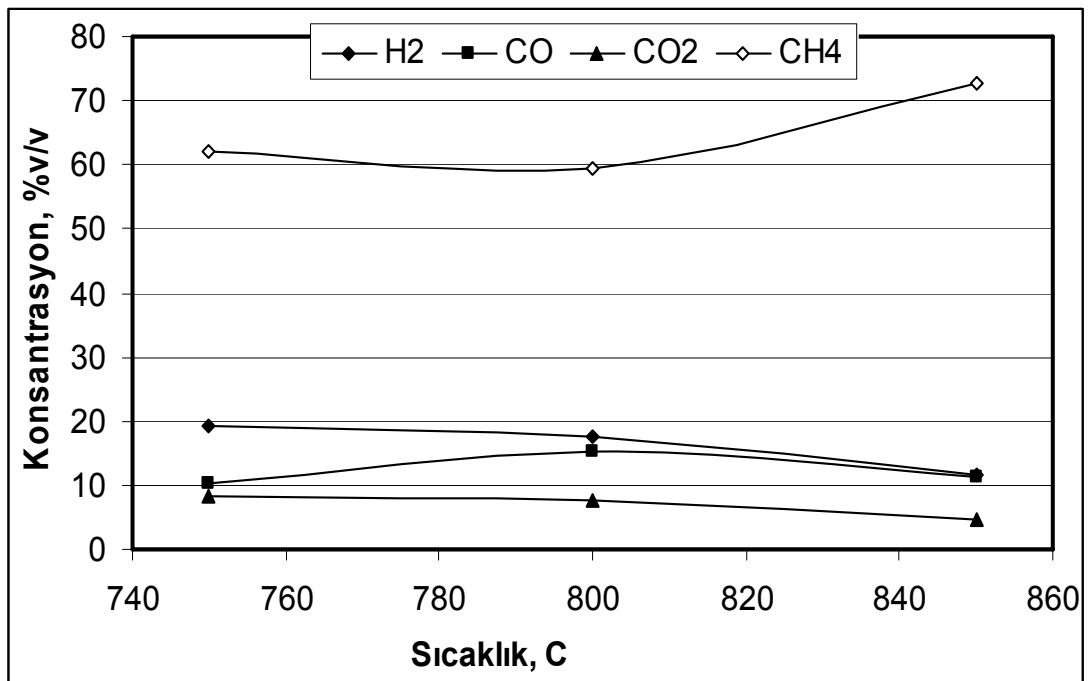
Şekil 8.5. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,0 (w/w)



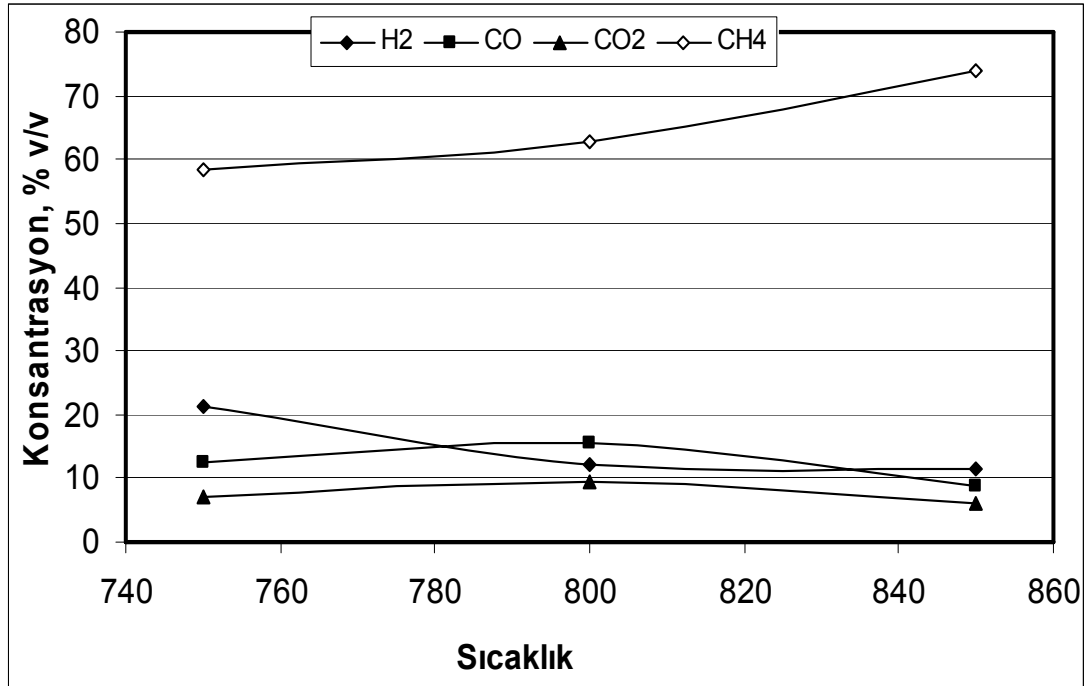
Şekil 8.6. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,5 (w/w)



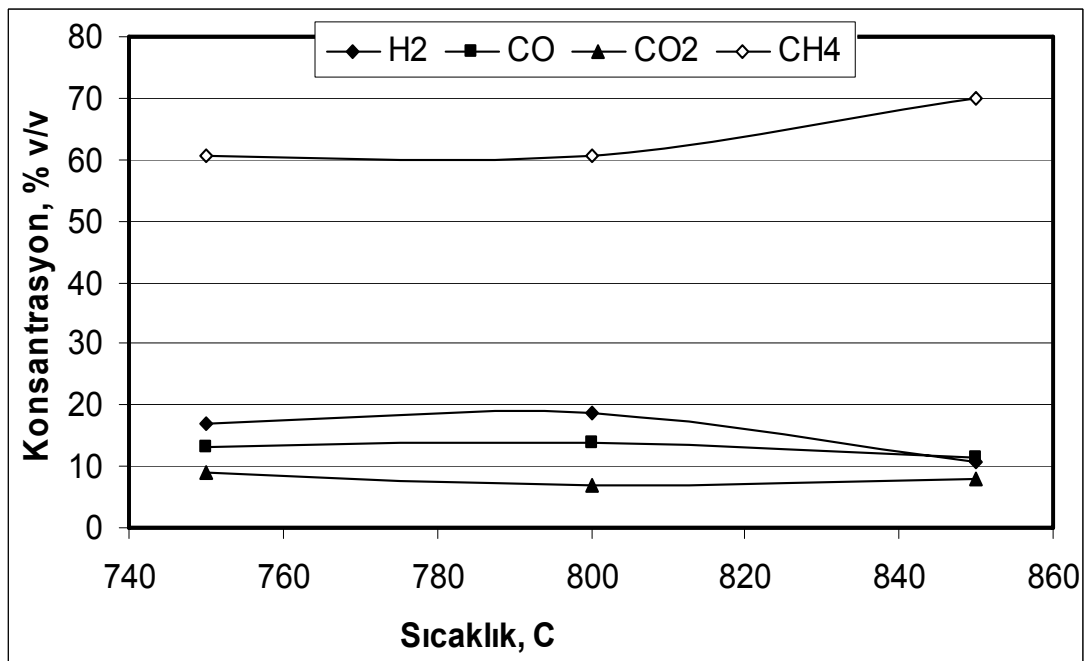
Şekil 8.7. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 0,5 (w/w)



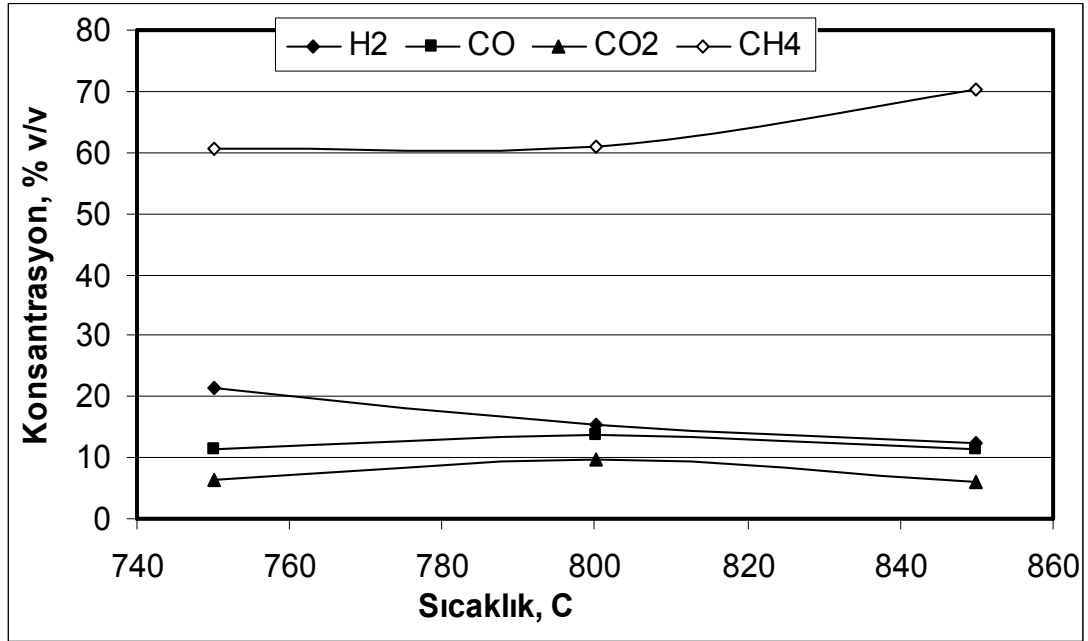
Şeki 8.8. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,0 (w/w)



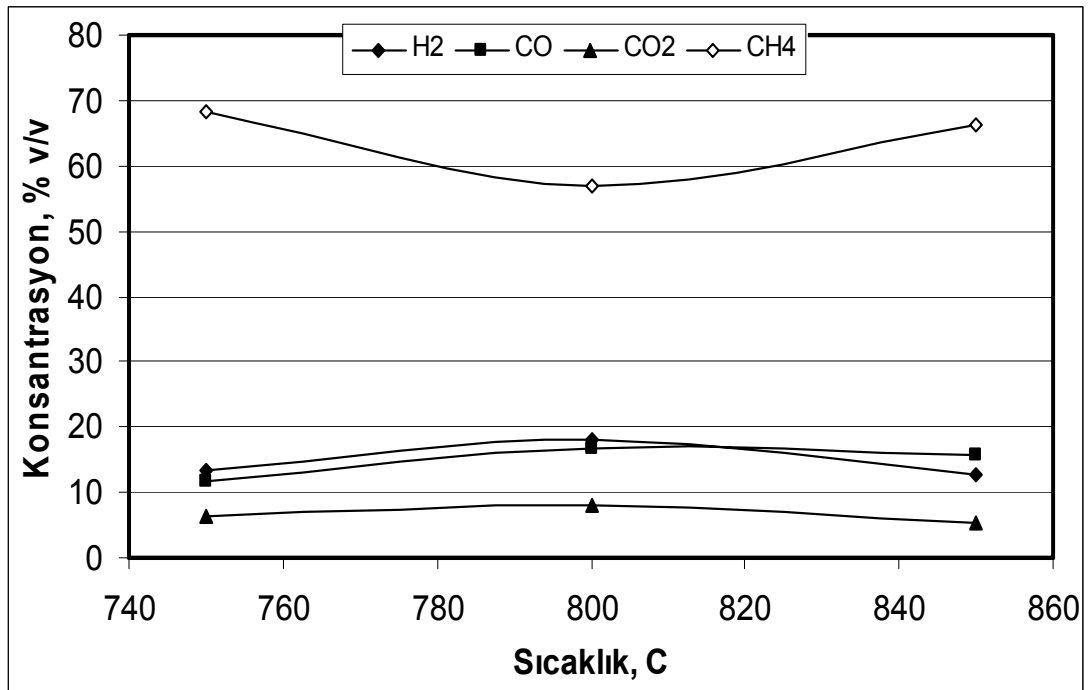
Şekil 8.9. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,5 (w/w)



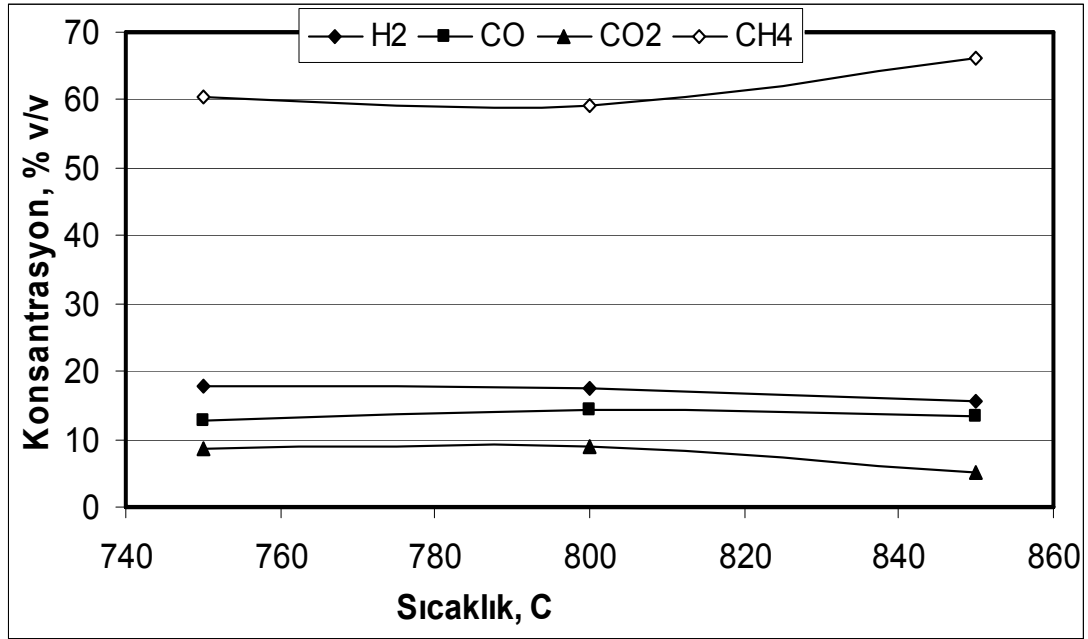
Şekil 8.10. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 0,5 (w/w)



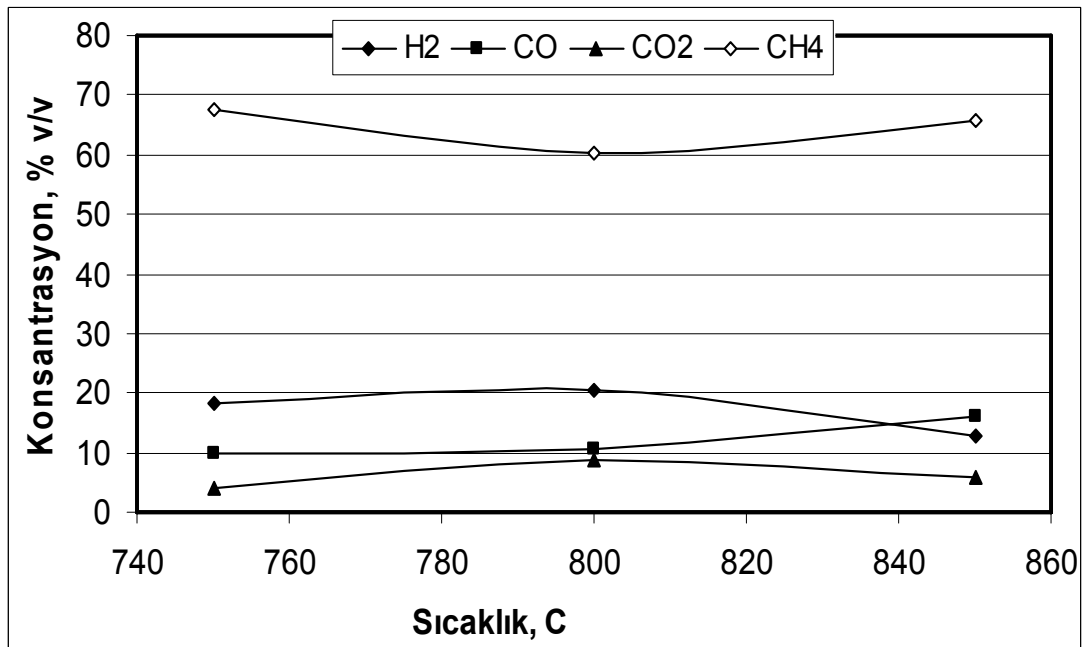
Şekil 8.11. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,0 (w/w).



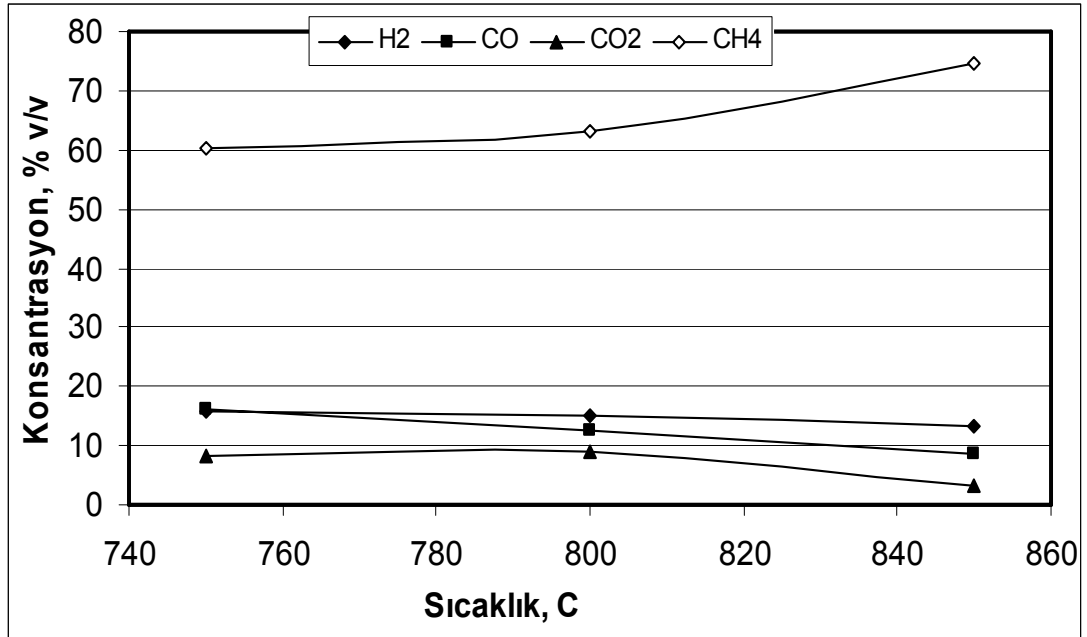
Şeki 8.12. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,5 (w/w)



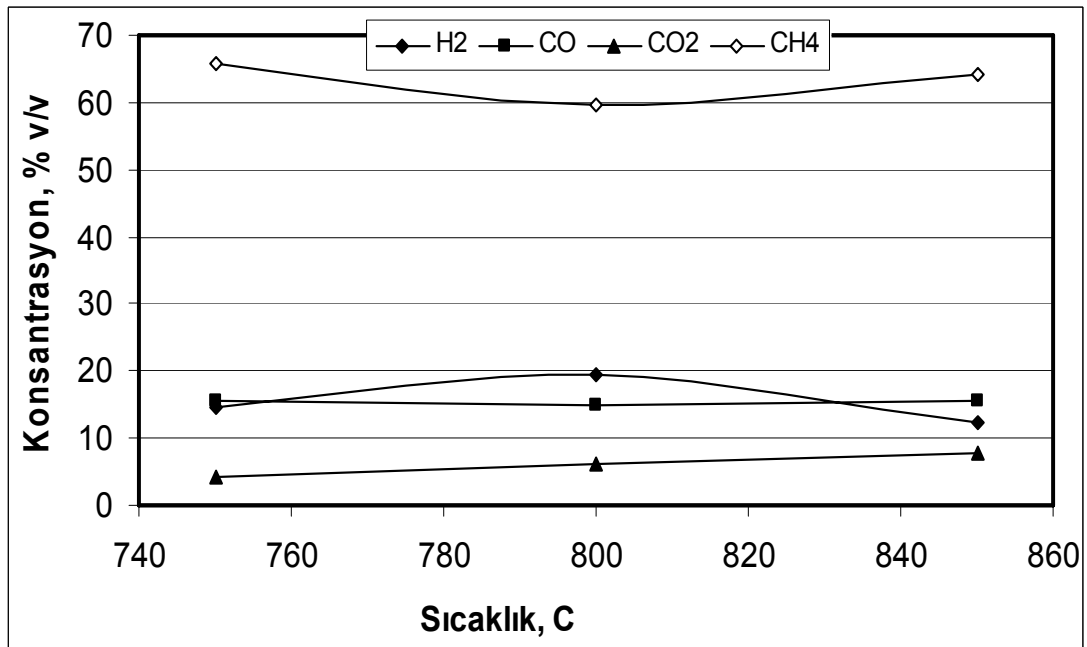
Şekil 8.13. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 0,5 (w/w)



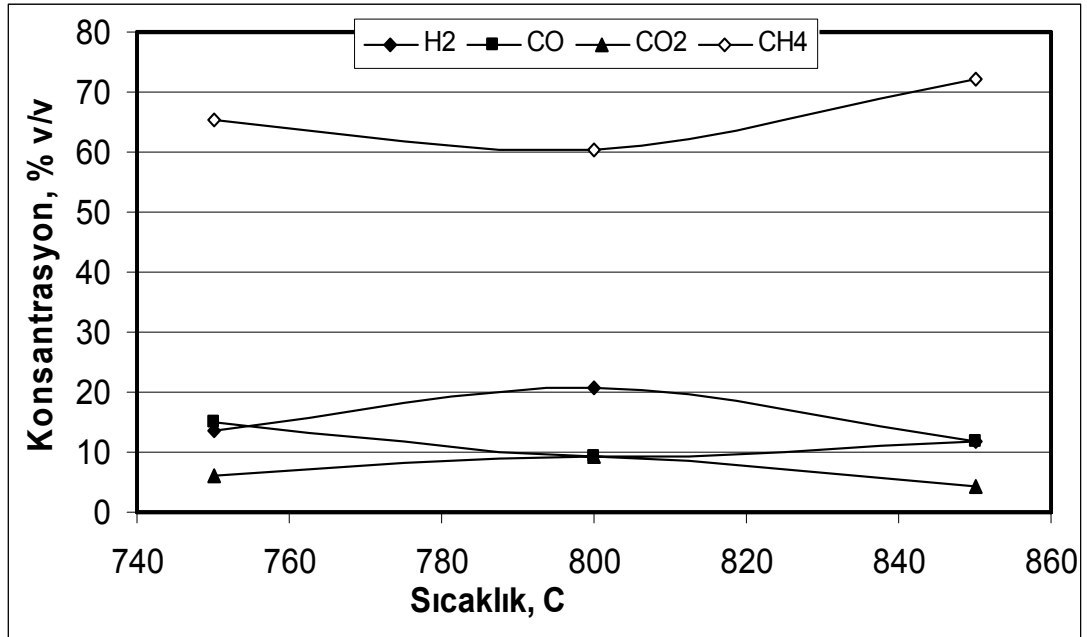
Şeki 8.14. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,0 (w/w)



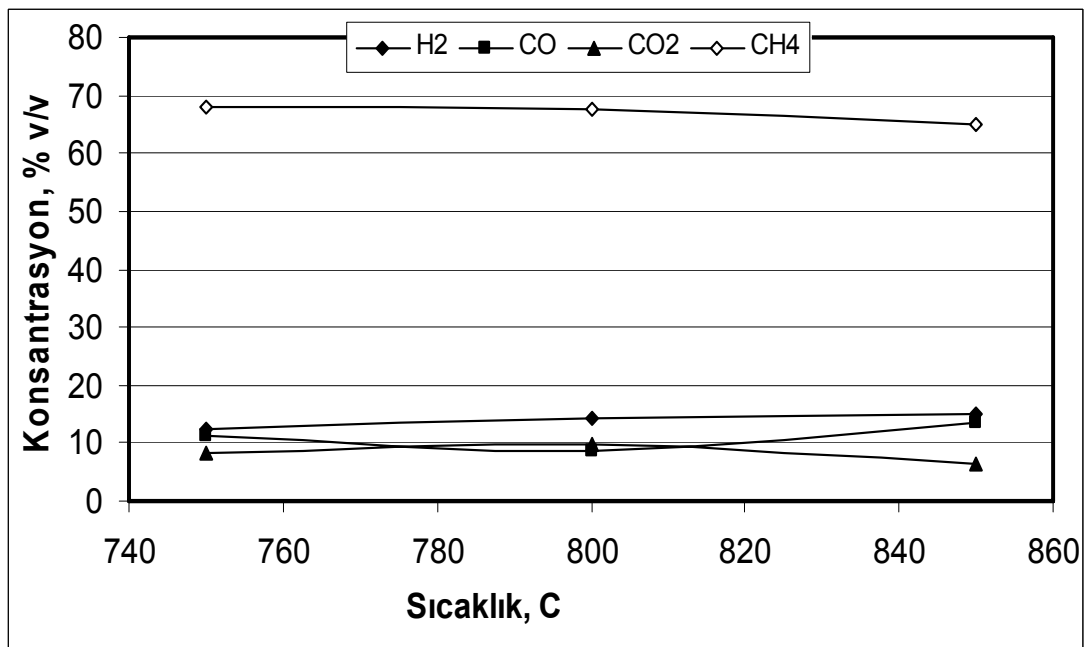
Şekil 8.15. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,5 (w/w)



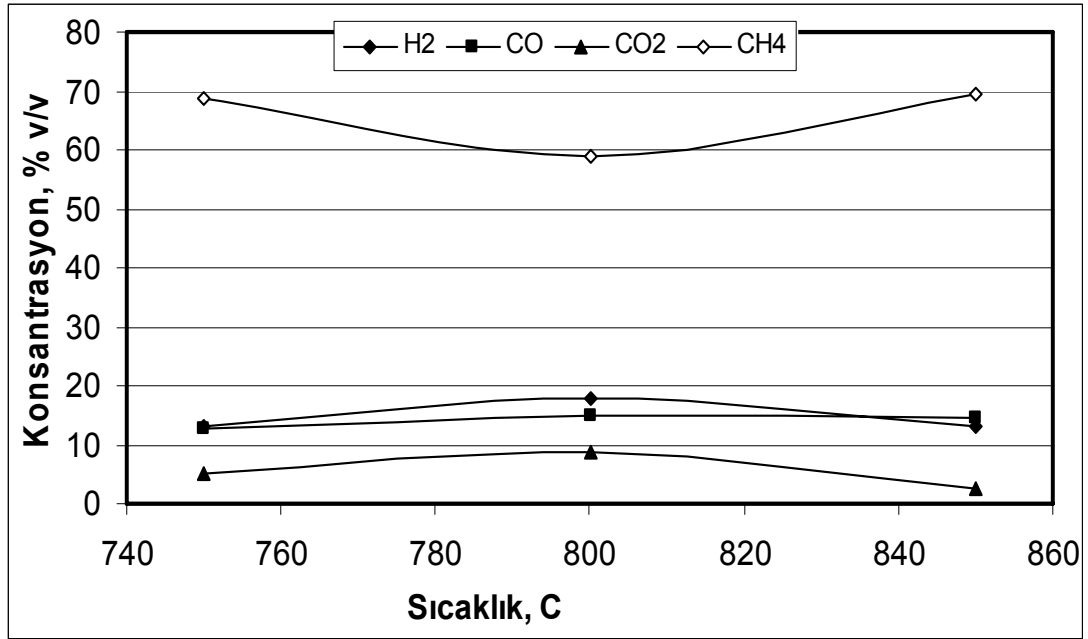
Şekil 8.16. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 0,5 (w/w)



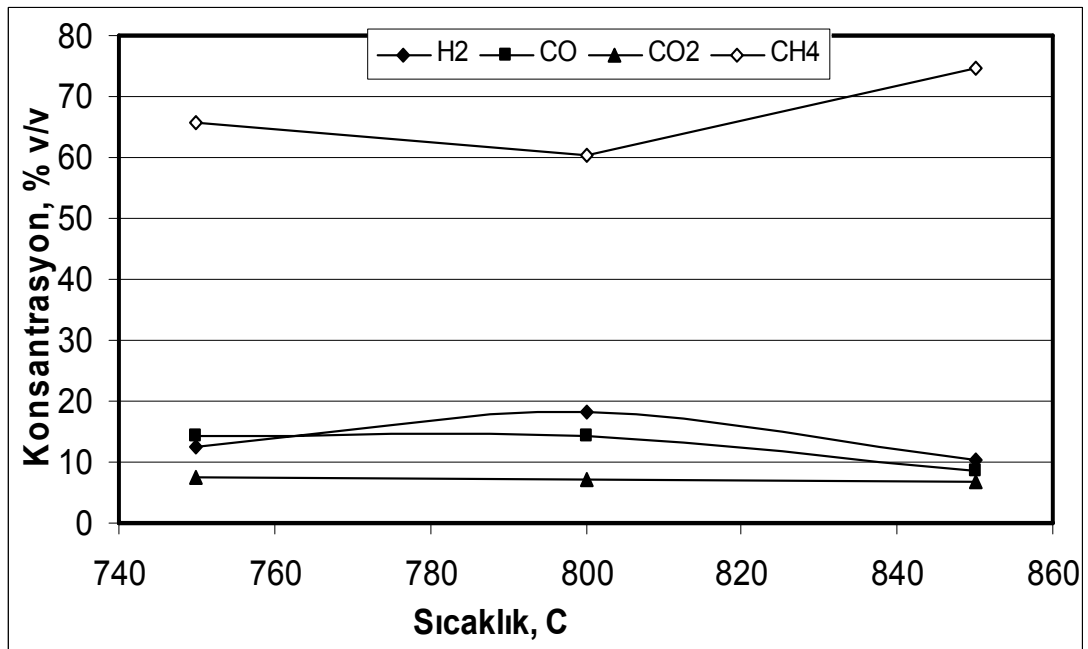
Şekil 8.17. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,0 (w/w)



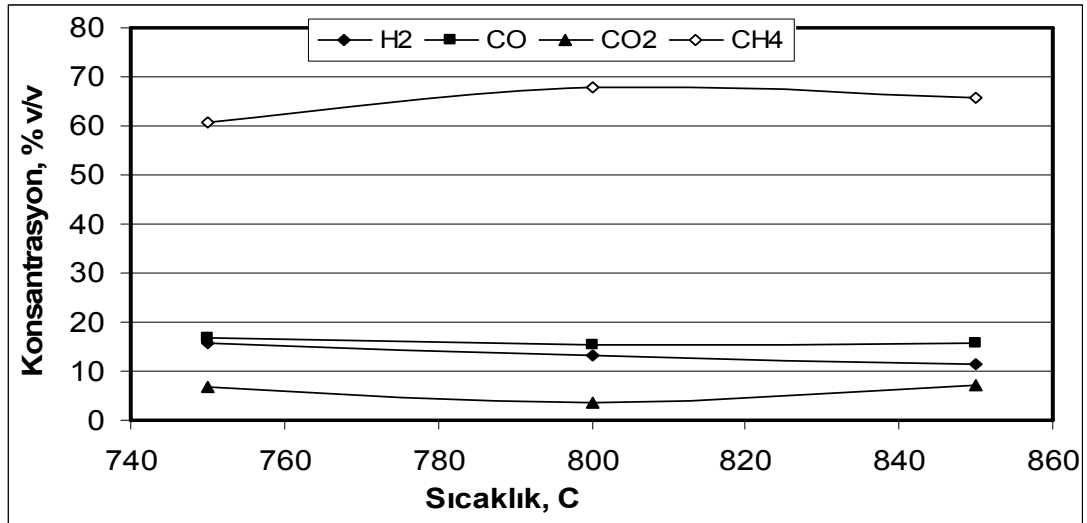
Şekil 8.18. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,5 (w/w)



Şekil 8.19. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 0,5 (w/w)



Şekil 8.20. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,0 (w/w)



Şekil 8.21. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi. S/K = 1,5 (w/w)

## 8.2 Karışım Oranları Etkisi

Çizelge 8.1, 8.2 ve 8.3 incelendiğinde, % 100 himmetoğlu bitümlü şistinde elde edilen gaz üründeki hidrojen ve karbonmonoksit konsantrasyonu 750 °C'de birbirine yakın iken, % 40 (w/w) plastik kullanıldığında hidrojen miktarı artmaya başlamış ve % 70 (w/w) plastik kullanıldığında H<sub>2</sub> ve CO arasındaki fark iyice artmıştır. Bunun sebebi plastiklerin polimerik yapısındaki ağır hidrokarbonların bozunmasında ve bağların kolayca kırılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Himmetoğlu bitümlü şistlerde sıcaklığın yükselmesi ile görülen CO ve CO<sub>2</sub> azalması % 40 (w/w) plastik kullanıldıktan sonra CO miktarında azalma olmamış ve CO<sub>2</sub> miktarında çok az azalma meydana gelmiştir. Plastik atık karışım oranı % 70 (w/w)'e çıkarıldığında ise CO<sub>2</sub> miktarı sıcaklığın artmasıyla azalmaya başlamıştır. Seyitömer bitümlü şist ile % 40 (w/w) plastik kullanıldığında ise gaz üründeki H<sub>2</sub> azalmaya başlamıştır. Ancak sıcaklık 750°C'den 800°C'ye yükseldiğinde ise hidrojen miktarında artış görülmüştür. Ancak % 70 (w/w) plastik atık karışımı kullanıldığında hidrojen konsantrasyonundaki bir artış gözlenmemiştir. Karbondioksit ise % 40 (w/w) plastik kullanımında sıcaklığın yükselmesi ile

artış göstermeye başlamıştır. Ancak plastik karışım oranı % 70 (w/w) çıkarıldığında 800°C ' ye kadar artan karbondioksit, 850°C'de tekrar azalmaya başlamıştır. Oluşan metan gazı plastik kullanıldığında 750°C'de artış gösterirken 800°C'ye geldiğinde azalmaya başlamış, 850°C'de ise tekrar yükseldiği görülmüştür. Gazlaştırmada kullanılan sıcaklıklar, plastiğe termal enerji uygulamaktadır ve bu polimerlerin parçalanmasına ve küçük moleküllere dönüşmesine sebep olmaktadır. Bu küçük moleküller genelde H<sub>2</sub>, metan ve etan gibi bileşenlerin oluşmasına neden olmaktadır.

Çizelge 8.1. 750 °C 'de yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar

|                                                                       | Buhar Akış Hızı, g/dk.  | 5     | 10    | 15    |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| % 100 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şist                                   | Hidrojen, % (v/v)       | 15,60 | 21,12 | 14,18 |
|                                                                       | Karbonmonoksit, % (v/v) | 17,50 | 10,44 | 12,17 |
|                                                                       | Krabondioksit, % (v/v)  | 8,43  | 7,57  | 7,84  |
|                                                                       | Metan, % (v/v)          | 58,47 | 60,87 | 65,81 |
| % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şist + % 40 (w/w) plastik atık karışımı | Hidrojen, % (v/v)       | 17,12 | 21,33 | 13,46 |
|                                                                       | Karbonmonoksit, % (v/v) | 13,32 | 11,50 | 11,72 |
|                                                                       | Krabondioksit, % (v/v)  | 9,05  | 6,51  | 6,47  |
|                                                                       | Metan, % (v/v)          | 60,51 | 60,66 | 68,35 |
| % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şist + 70 (w/w) plastik atık karışımı   | Hidrojen, % (v/v)       | 17,93 | 18,47 | 15,73 |
|                                                                       | Karbonmonoksit, % (v/v) | 12,77 | 9,88  | 15,97 |
|                                                                       | Krabondioksit, % (v/v)  | 8,73  | 4,13  | 8,13  |
|                                                                       | Metan, % (v/v)          | 60,57 | 67,56 | 60,17 |
| % 100 (w/w) Plastik atık                                              | Hidrojen, % (v/v)       | 18,90 | 19,33 | 21,40 |
|                                                                       | Karbonmonoksit, % (v/v) | 13,34 | 10,31 | 12,65 |
|                                                                       | Krabondioksit, % (v/v)  | 7,29  | 8,19  | 7,23  |
|                                                                       | Metan, % ((v/v)         | 60,47 | 62,17 | 58,72 |
| % 100 (w/w) Seyitömer bitümlü şist                                    | Hidrojen, % v/v         | 17,23 | 14,01 | 24,79 |
|                                                                       | Karbonmonoksit, % (v/v) | 16,70 | 11,64 | 10,35 |
|                                                                       | Krabondioksit, % (v/v)  | 9,21  | 8,37  | 6,23  |
|                                                                       | Metan, % (v/v)          | 56,86 | 65,98 | 58,63 |
| % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şist + % 40 w/w plastik atık karışımı    | Hidrojen, % (v/v)       | 14,56 | 13,72 | 12,45 |
|                                                                       | Karbonmonoksit, % (v/v) | 15,57 | 14,92 | 11,47 |
|                                                                       | Krabondioksit, % (v/v)  | 4,15  | 6,13  | 8,20  |
|                                                                       | Metan, % (v/v)          | 65,72 | 65,23 | 67,93 |
| % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şist + % 70 (w/w) plastik atık karışımı  | Hidrojen, % (v/v)       | 13,25 | 12,59 | 15,61 |
|                                                                       | Karbonmonoksit, % (v/v) | 12,82 | 14,40 | 16,96 |
|                                                                       | Krabondioksit, % (v/v)  | 5,03  | 7,42  | 6,66  |
|                                                                       | Metan, % (v/v)          | 68,90 | 65,59 | 60,77 |

Çizelge 8.2. 800 °C 'de yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar

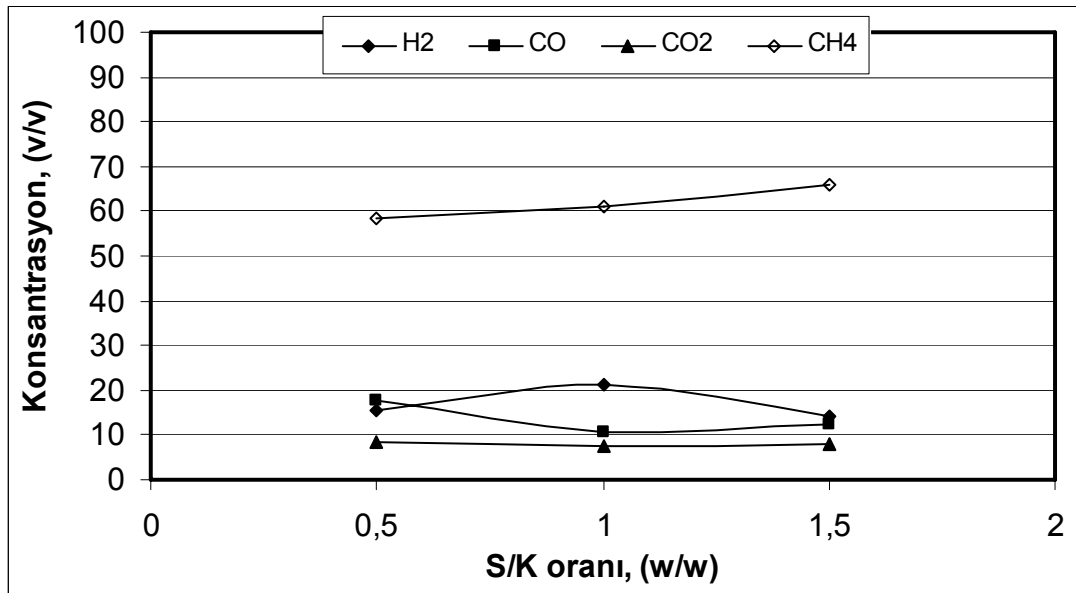
|                                                                                | Buhar Akış Hızı, g/dk.  | 5     | 10    | 15    |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| % 100 (w/w)<br>Himmetoğlu bitümlü<br>şist                                      | Hidrojen, % (v/v)       | 18,46 | 16,13 | 16,05 |
|                                                                                | Karbonmonoksit, % (v/v) | 12,69 | 15,49 | 12,80 |
|                                                                                | Krabondioksit, % (v/v)  | 7,49  | 8,71  | 9,11  |
|                                                                                | Metan, % (v/v)          | 61,36 | 59,67 | 62,01 |
| % 60 (w/w)<br>Himmetoğlu bitümlü<br>şist + % 40 (w/w)<br>plastik atık karışımı | Hidrojen, % (v/v)       | 18,71 | 15,50 | 18,23 |
|                                                                                | Karbonmonoksit, % (v/v) | 13,84 | 13,67 | 16,75 |
|                                                                                | Krabondioksit, % (v/v)  | 6,79  | 9,81  | 8,05  |
|                                                                                | Metan, % (v/v)          | 60,66 | 61,02 | 56,97 |
| % 30 (w/w)<br>Himmetoğlu bitümlü<br>şist + % 70 (w/w)<br>plastik atık karışımı | Hidrojen, % (v/v)       | 17,61 | 20,30 | 15,09 |
|                                                                                | Karbonmonoksit, % (v/v) | 14,31 | 10,54 | 12,71 |
|                                                                                | Krabondioksit, % (v/v)  | 8,85  | 8,91  | 8,91  |
|                                                                                | Metan, % (v/v)          | 59,23 | 60,25 | 63,29 |
| % 100 (w/w) Plastik<br>atık                                                    | Hidrojen, % (v/v)       | 16,41 | 17,58 | 12,15 |
|                                                                                | Karbonmonoksit, % (v/v) | 12,10 | 15,43 | 15,60 |
|                                                                                | Krabondioksit, % (v/v)  | 7,23  | 7,58  | 9,49  |
|                                                                                | Metan, % (v/v)          | 64,26 | 59,41 | 62,76 |
| %100 (w/w)<br>Seyitömer bitümlü<br>şist                                        | Hidrojen, % (v/v)       | 17,40 | 16,43 | 14,55 |
|                                                                                | Karbonmonoksit, % (v/v) | 12,57 | 11,86 | 12,10 |
|                                                                                | Krabondioksit, % (v/v)  | 8,91  | 9,17  | 10,25 |
|                                                                                | Metan, % (v/v)          | 61,12 | 62,54 | 63,10 |
| % 60 (w/w)<br>Seyitömer bitümlü<br>şist + % 40 (w/w)<br>plastik atık karışımı  | Hidrojen, % (v/v)       | 19,46 | 20,78 | 14,20 |
|                                                                                | Karbonmonoksit, % (v/v) | 14,95 | 9,28  | 6,68  |
|                                                                                | Krabondioksit, % (v/v)  | 6,06  | 9,44  | 9,67  |
|                                                                                | Metan, % (v/v)          | 59,53 | 60,50 | 67,45 |
| % 30 (w/w)<br>Seyitömer bitümlü<br>şist + % 70 (w/w)<br>plastik atık karışımı  | Hidrojen, % (v/v)       | 17,81 | 18,06 | 13,10 |
|                                                                                | Karbonmonoksit, % (v/v) | 14,79 | 14,40 | 15,40 |
|                                                                                | Krabondioksit, % (v/v)  | 8,55  | 7,23  | 3,73  |
|                                                                                | Metan, % (v/v)          | 58,85 | 60,31 | 67,77 |

Çizelge 8.2. 850 °C 'de yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar

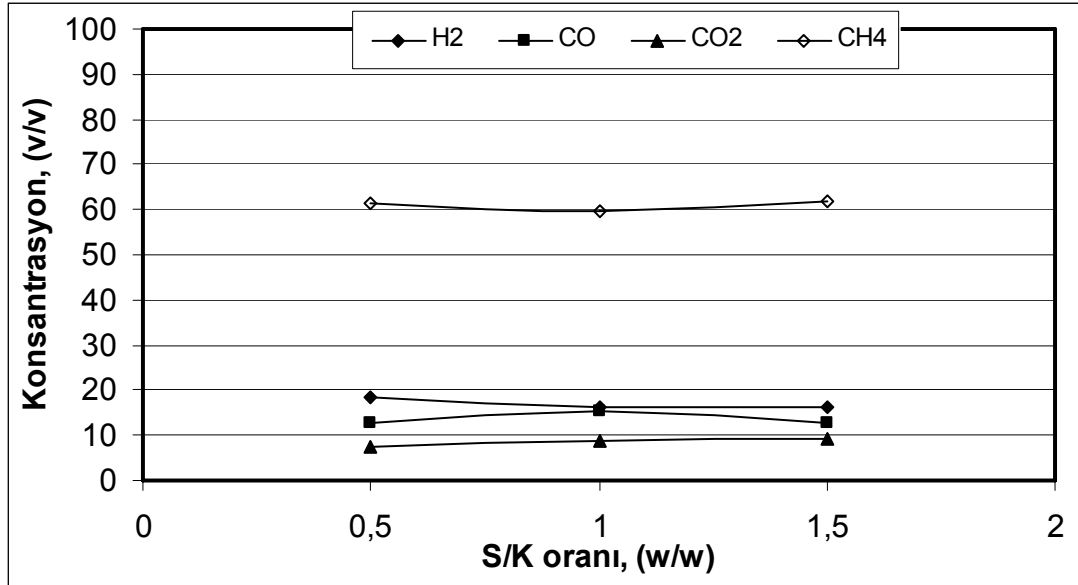
|                                                                            | Buhar Akış Hızı, g/dk. | 5     | 10    | 15    |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|
| % 100 w/w<br>Himmetoğlu bitümlü<br>şist                                    | Hidrojen, % v/v        | 12,40 | 15,96 | 11,55 |
|                                                                            | Karbonmonoksit, % v/v  | 11,02 | 14,80 | 10,36 |
|                                                                            | Krabondioksit, % v/v   | 5,70  | 7,21  | 4,41  |
|                                                                            | Metan, % v/v           | 70,88 | 62,03 | 73,68 |
| % 60 w/w<br>Himmetoğlu bitümlü<br>şist + % 40 w/w<br>plastik atık karışımı | Hidrojen, % v/v        | 10,60 | 12,29 | 12,60 |
|                                                                            | Karbonmonoksit, % v/v  | 11,37 | 11,43 | 15,80 |
|                                                                            | Krabondioksit, % v/v   | 8,10  | 6,12  | 5,27  |
|                                                                            | Metan, % v/v           | 69,93 | 70,16 | 66,33 |
| % 30 w/w<br>Himmetoğlu bitümlü<br>şist + % 70 w/w<br>plastik atık karışımı | Hidrojen, % v/v        | 15,63 | 12,63 | 13,36 |
|                                                                            | Karbonmonoksit, % v/v  | 13,26 | 15,99 | 8,69  |
|                                                                            | Krabondioksit, % v/v   | 5,06  | 5,76  | 3,24  |
|                                                                            | Metan, % v/v           | 66,03 | 65,62 | 74,71 |
| % 100 w/w Plastik<br>atık                                                  | Hidrojen, % v/v        | 14,43 | 11,66 | 11,43 |
|                                                                            | Karbonmonoksit, % v/v  | 17,17 | 11,30 | 8,67  |
|                                                                            | Krabondioksit, % v/v   | 4,13  | 4,50  | 6,13  |
|                                                                            | Metan, % v/v           | 64,27 | 72,54 | 73,77 |
| % 100 w/w<br>Seyitömer bitümlü<br>şist                                     | Hidrojen, % v/v        | 16,78 | 15,26 | 14,13 |
|                                                                            | Karbonmonoksit, % v/v  | 14,03 | 9,32  | 13,08 |
|                                                                            | Krabondioksit, % v/v   | 5,24  | 5,31  | 6,93  |
|                                                                            | Metan, % v/v           | 69,95 | 70,11 | 65,86 |
| % 60 w/w Seyitömer<br>bitümlü şist + % 40<br>w/w plastik atık<br>karışımı  | Hidrojen, % v/v        | 12,43 | 11,61 | 14,95 |
|                                                                            | Karbonmonoksit, % v/v  | 15,53 | 11,92 | 13,65 |
|                                                                            | Karbondioksit, % v/v   | 7,88  | 4,21  | 6,35  |
|                                                                            | Metan, % v/v           | 64,16 | 72,26 | 65,05 |
| % 30 w/w Seyitömer<br>bitümlü şist + % 70<br>w/w plastik atık<br>karışımı  | Hidrojen, % v/v        | 13,21 | 10,45 | 11,26 |
|                                                                            | Karbonmonoksit, % v/v  | 14,67 | 8,47  | 15,73 |
|                                                                            | Krabondioksit, % v/v   | 2,63  | 6,61  | 7,12  |
|                                                                            | Metan, % v/v           | 69,49 | 74,47 | 65,89 |

### 7.1 Su Buharı Etkisi

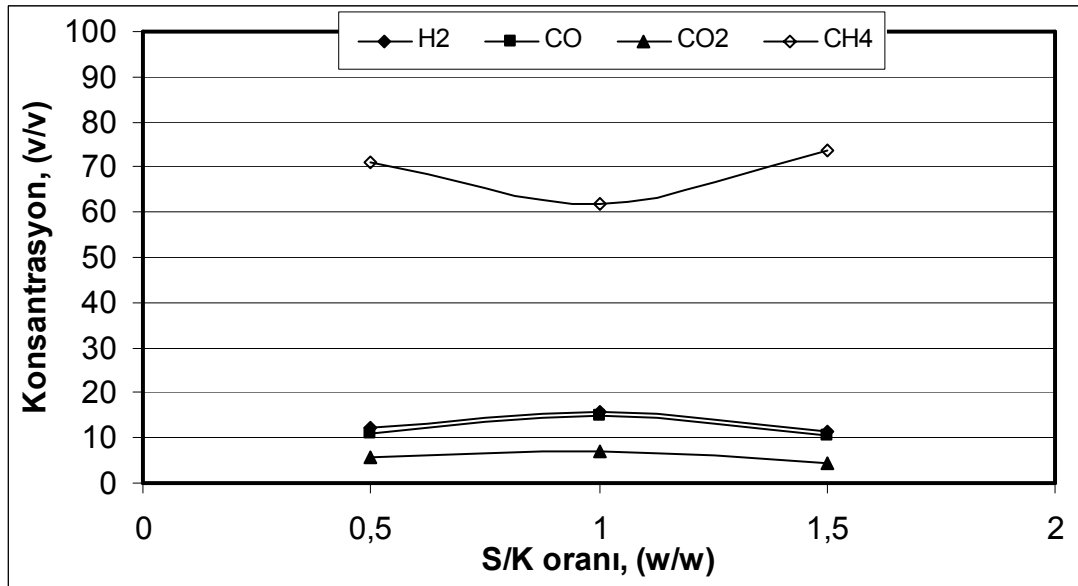
Çizelge 7.1, 7.2 ve 7.3 'ten Şekil 7.22 ile 7.24 arasındaki şekiller çizilmiştir. Bu şekillerde S/K oranının gaz ürün üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu parametrenin etkisi Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen gaz üründe fazlaca görülmüştür. 750°C'de S/K oranı 1 iken hidrojen artma ve CO azalma gözlenmiştir. Metandaki artış ise oran 1,5'e ulaştığında gerçekleşmiştir. 800°C'de ise bu oran 0,5 olduğunda hidrojen miktarının artması ve CO'nun miktarının azalması görülmüştür. Plastik atıkların % 40 w/w oranında bulunması S/K oranını çok etkilemiştir. Ancak plastik atık karışım % 70 (w/w) oranında iken S/K oranı 1'e geldiğinde metanın yüzdesinde bir artış ve CO<sub>2</sub>'nin yüzdesinde bir azalma görülmüştür. Karışımda sadece plastik kullanıldığında ise bu oran 850°C'de 0,5 olduğunda metanda bir azalma olurken hidrojen ve CO'nun yüzdesinde bir artış gözlenmiştir.



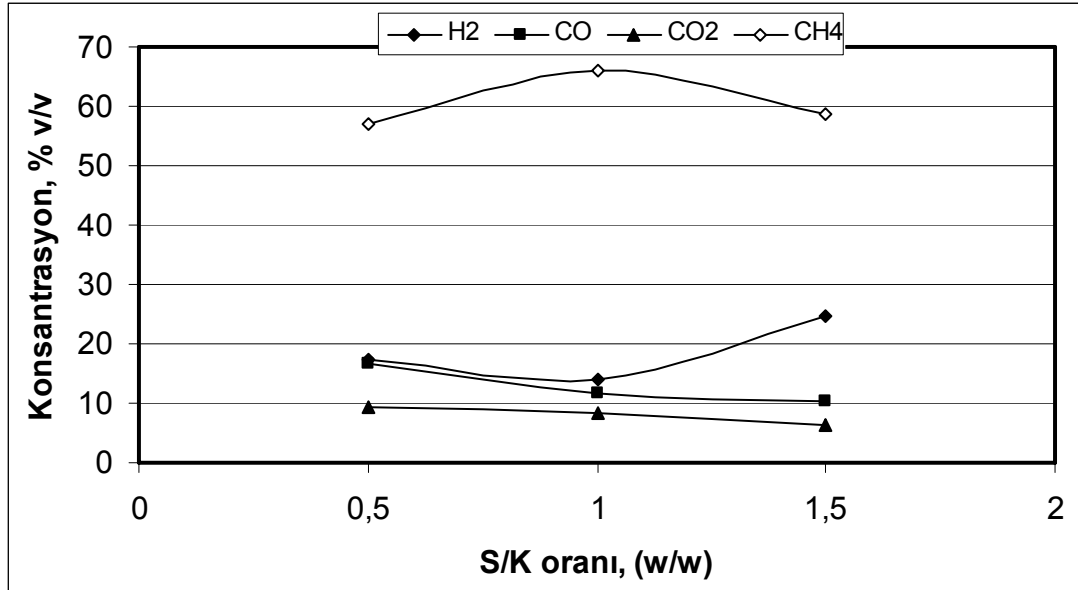
Şekil 8.22 Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi. T = 750 °C



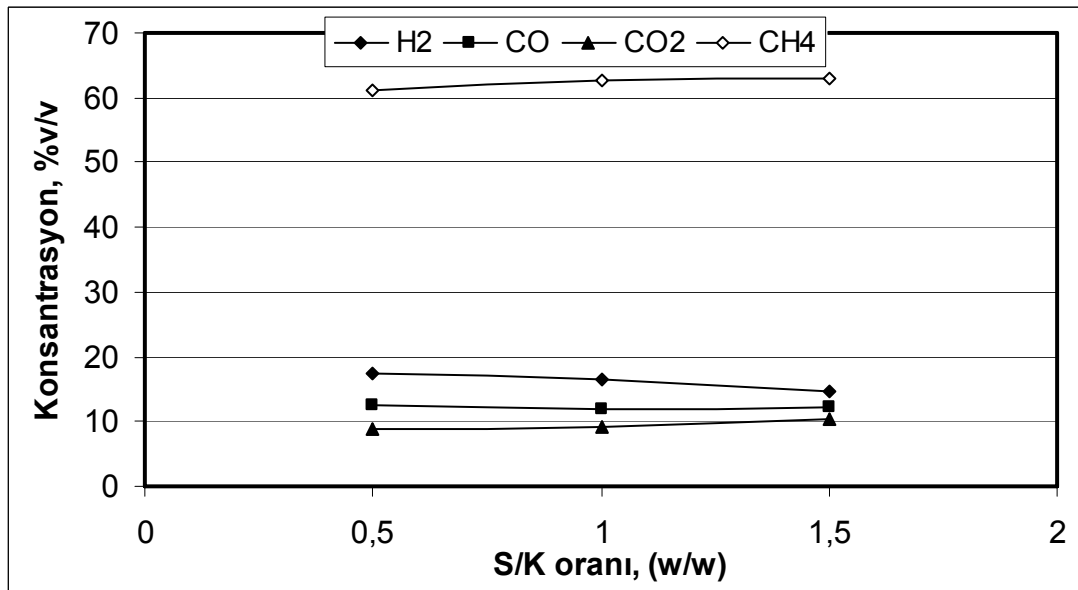
Şekil 8.23. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 800^{\circ}\text{C}$



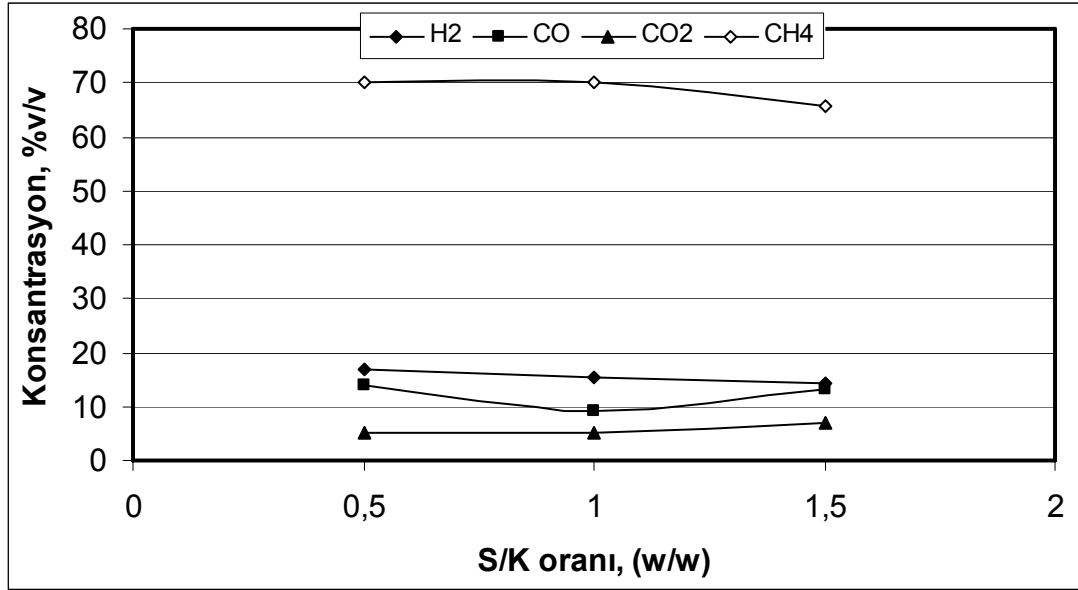
Şekil 8.24. Himmetoğlu bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 850^{\circ}\text{C}$



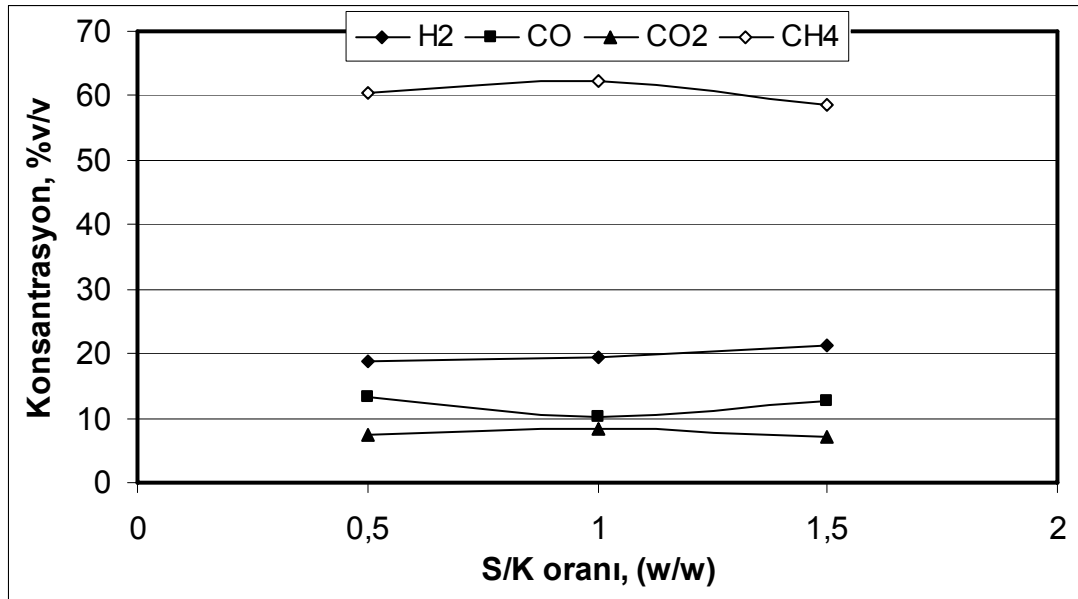
Şekil 8.25. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 750^{\circ}\text{C}$



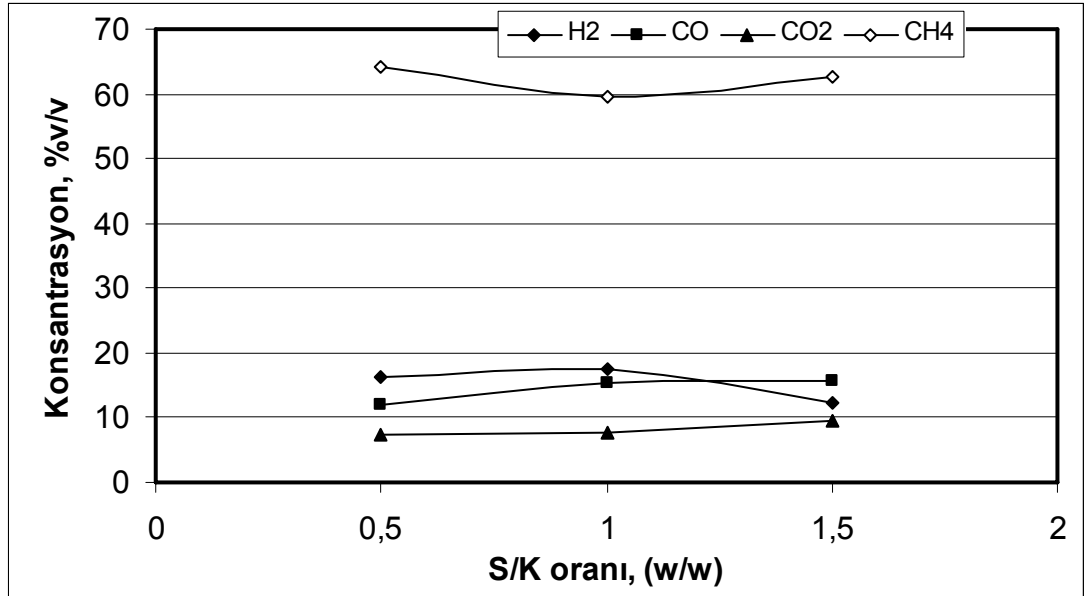
Şekil 8.26. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 800^{\circ}\text{C}$



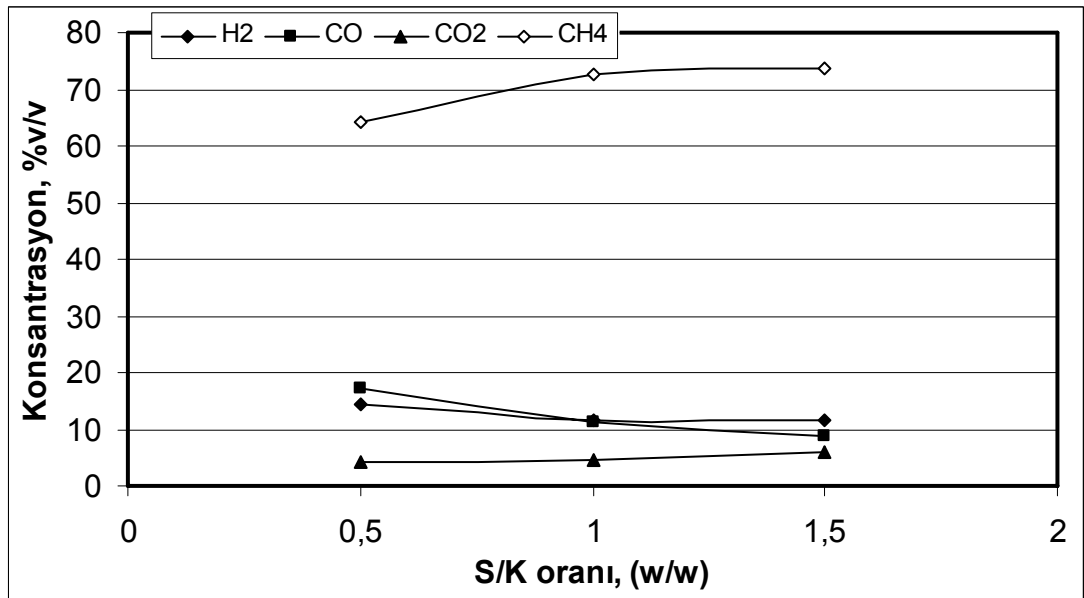
Şekil 8.27. Seyitömer bitümlü şistinden elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 850^{\circ}\text{C}$



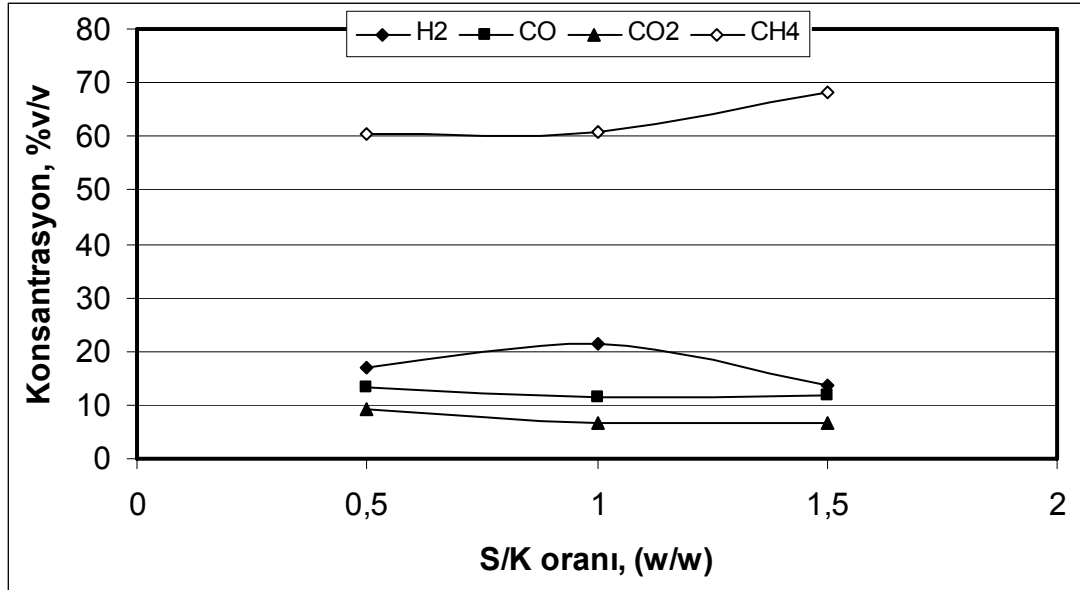
Şekil 8.28. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 750^{\circ}\text{C}$



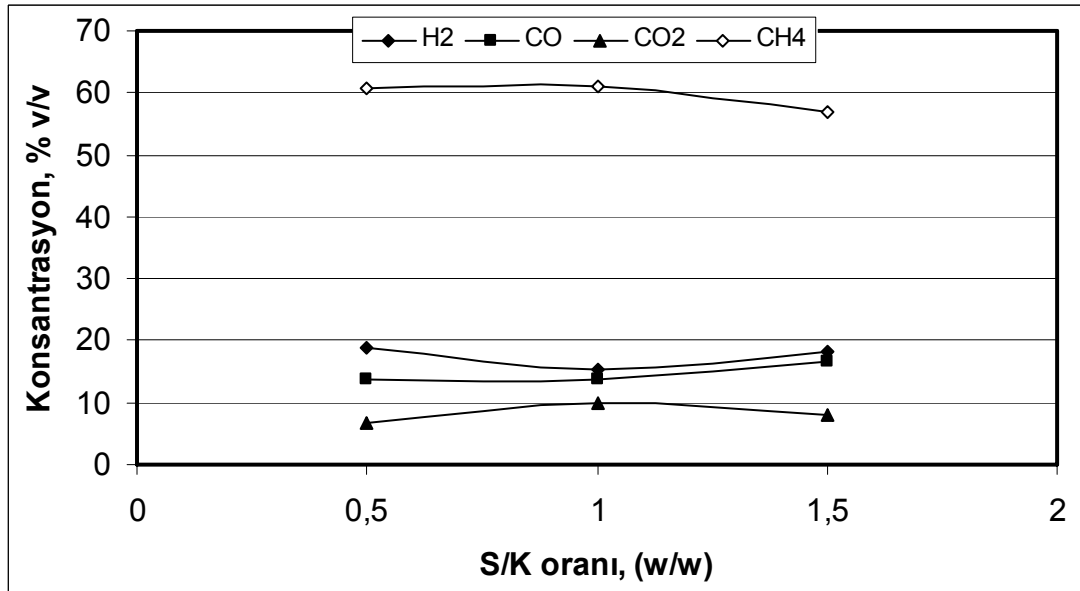
Şekil 8.29. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$



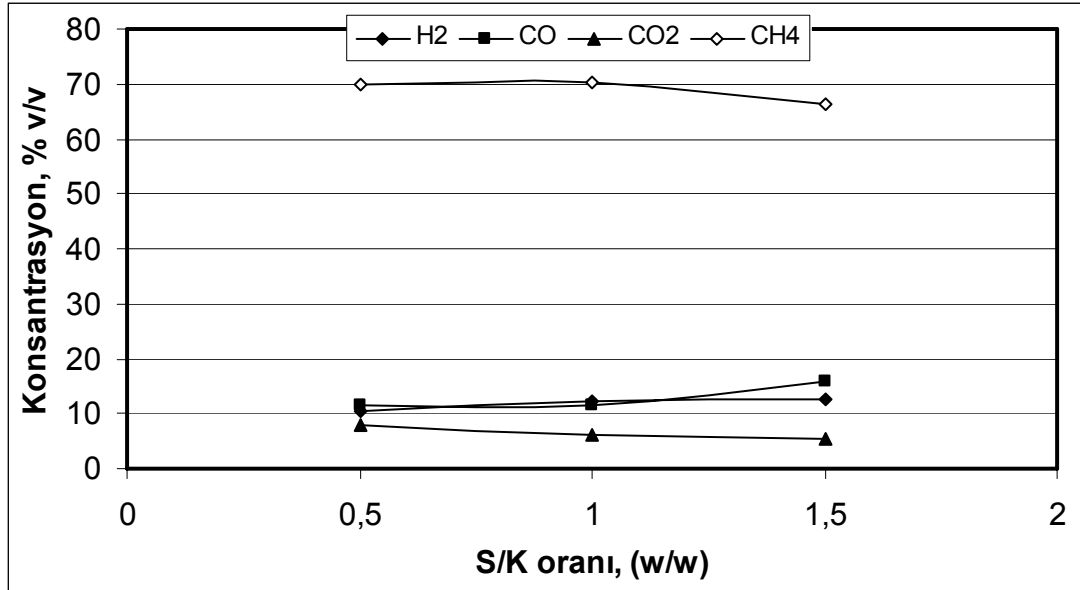
Şeki 8.30. Plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$



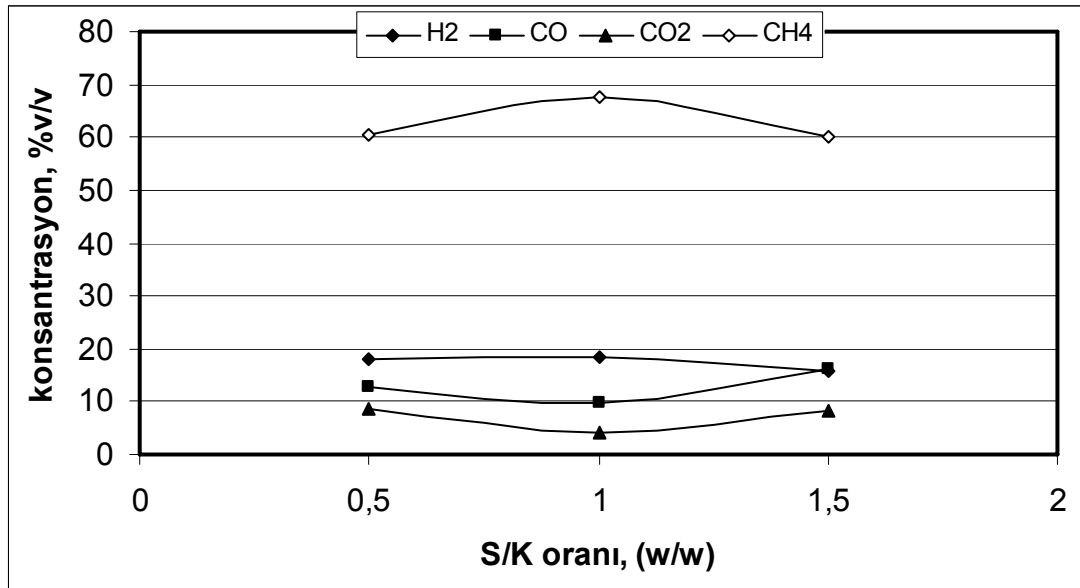
Şekil 8.31. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi. T = 750 °C



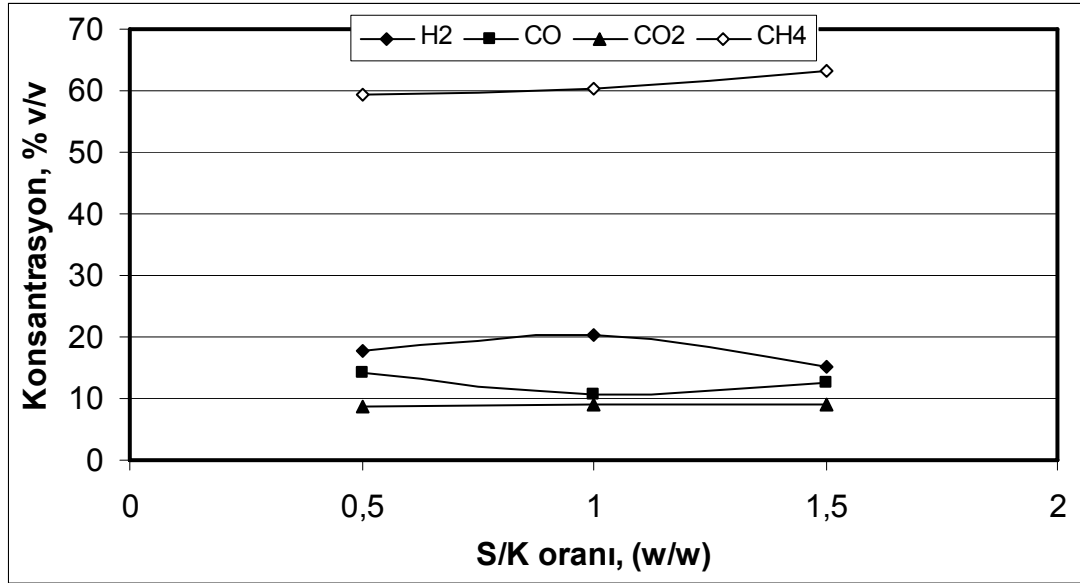
Şekil 8.32. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi. T = 800 °C



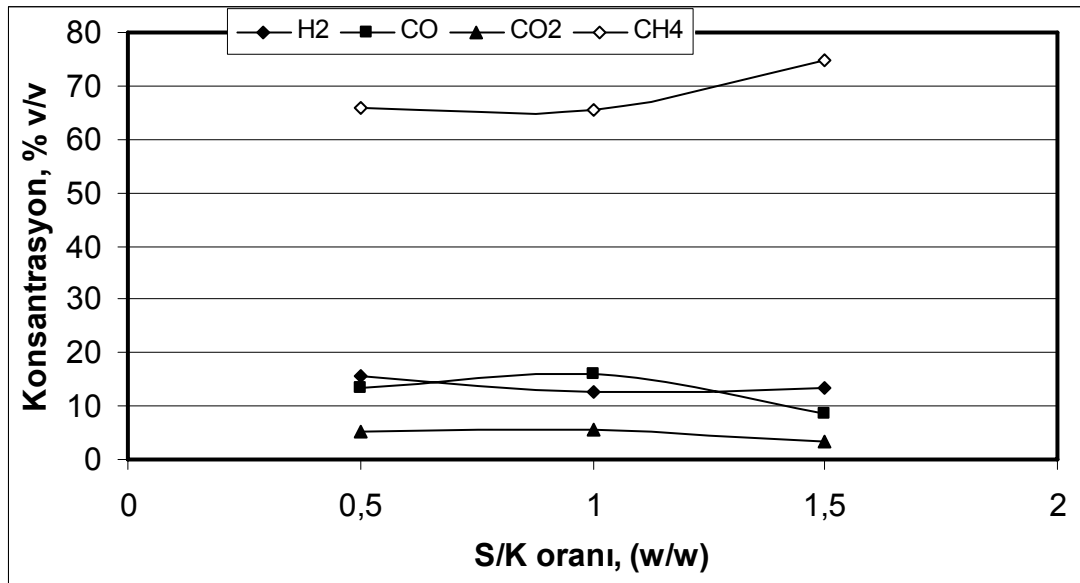
Şekil 8.33. % 60 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi. T = 850 °C



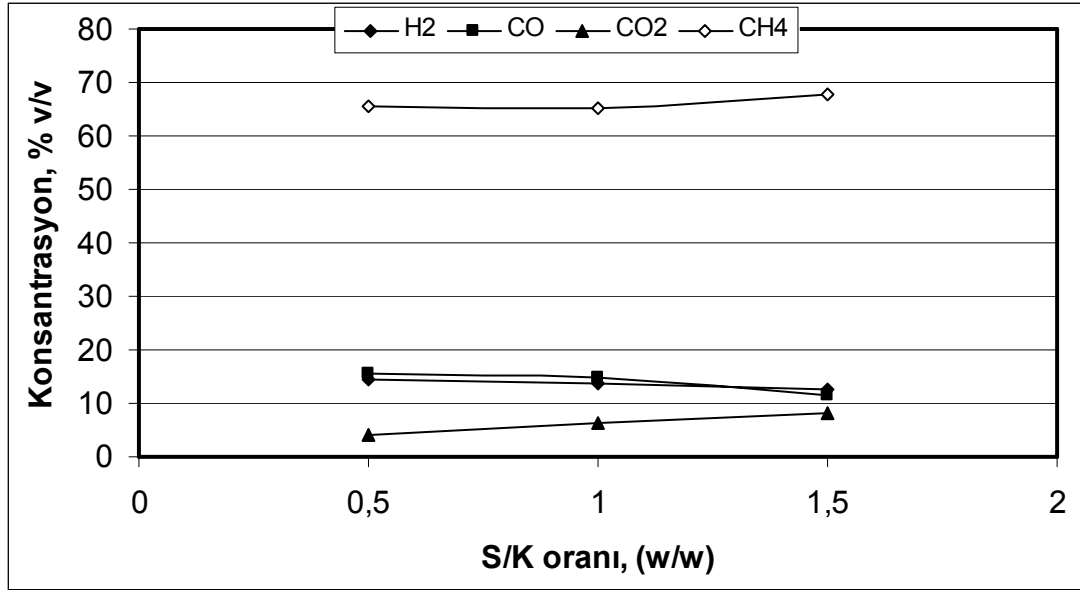
Şekil 8.34. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi. T = 750 °C



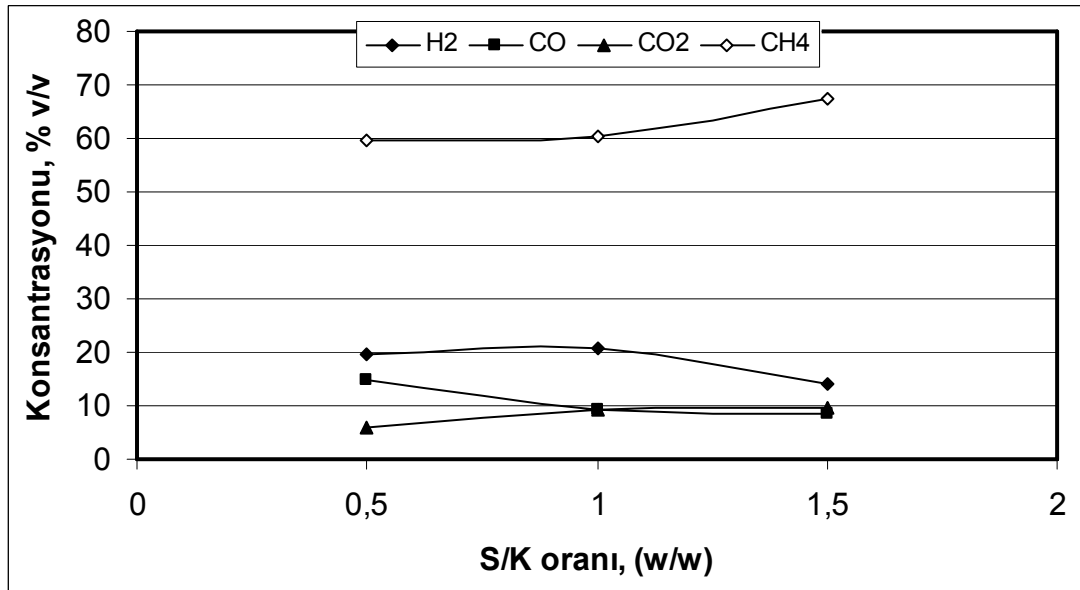
Şekil 8.35. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 800^{\circ}\text{C}$



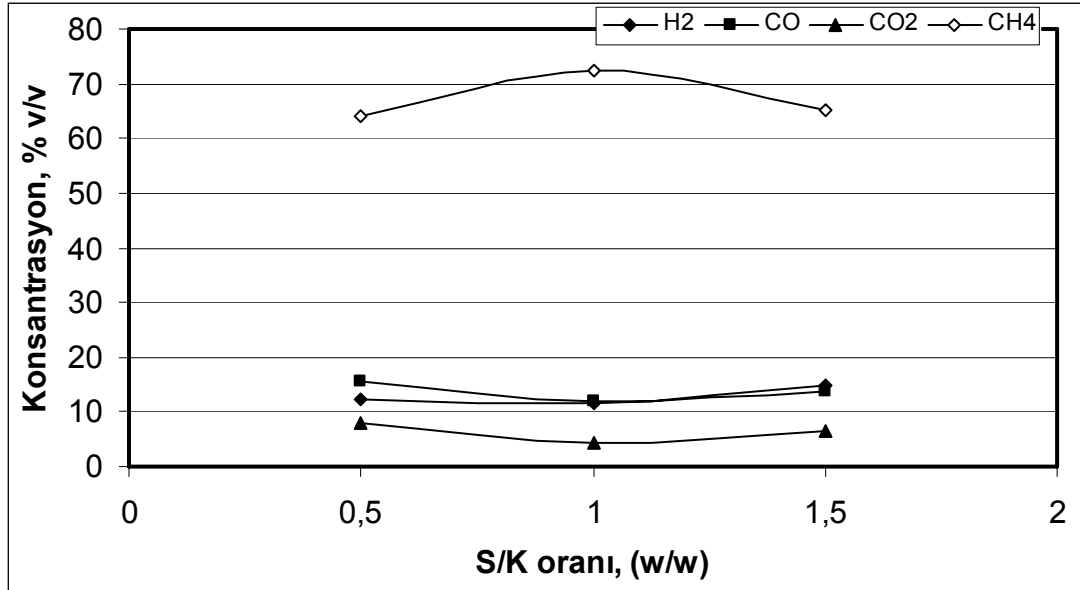
Şekil 8.36. % 30 (w/w) Himmetoğlu bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 850^{\circ}\text{C}$



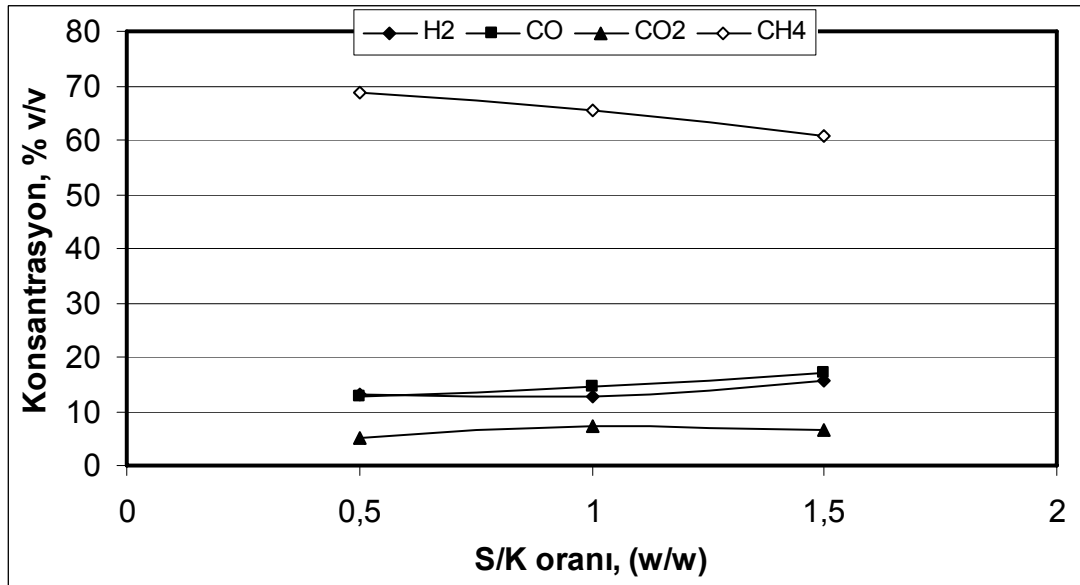
Şekil 8.37. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 750^{\circ}\text{C}$



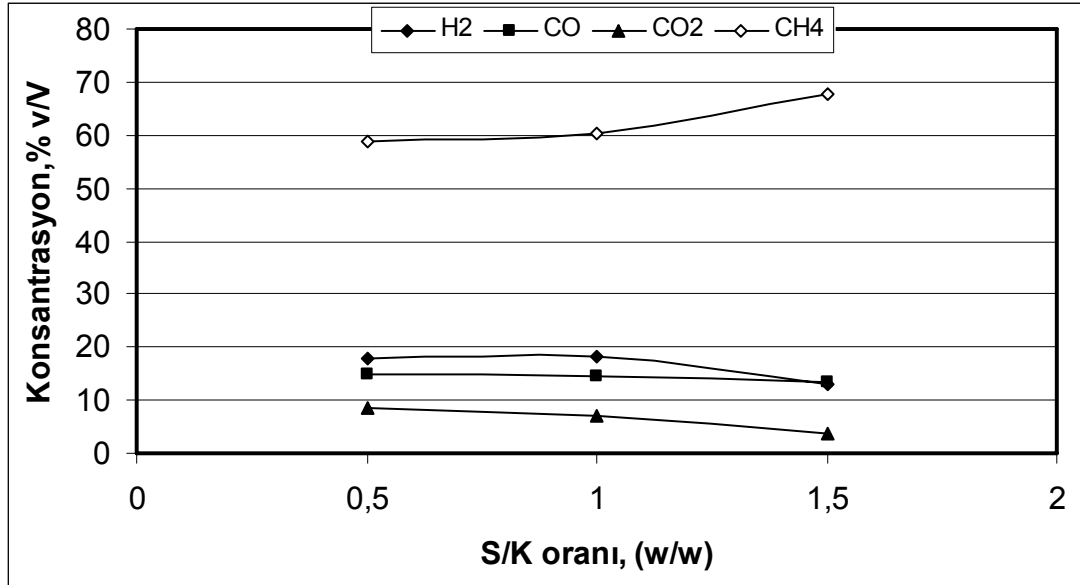
Şekil 8.38. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi.  $T = 800^{\circ}\text{C}$ .



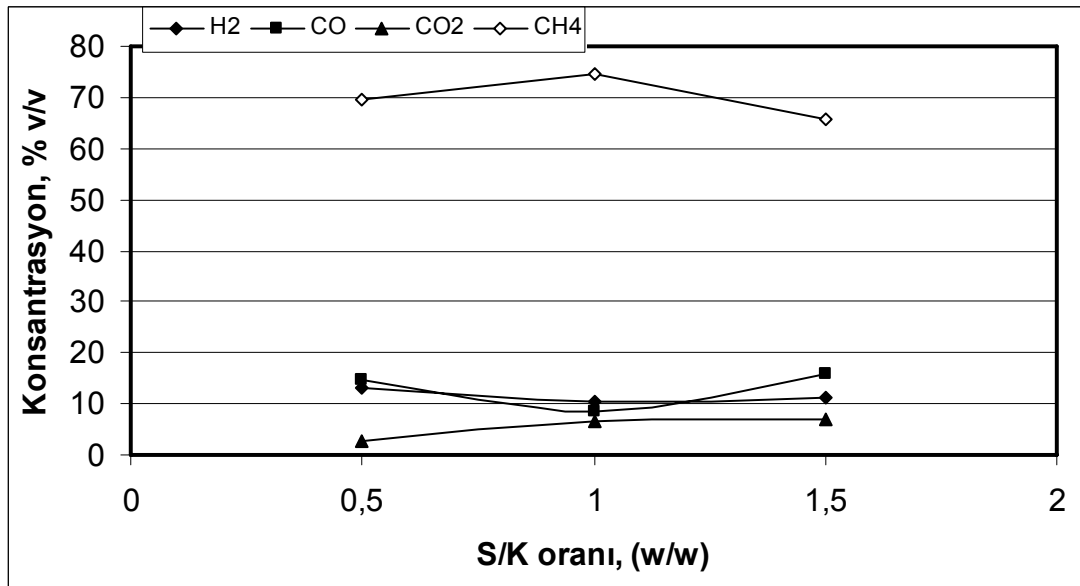
Şekil 8.39. % 60 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 40 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi. T = 850 °C



Şekil 8.40. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi. T = 750 °C



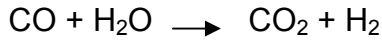
Şekil 8.41. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi. T = 800 °C



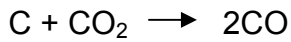
Şekil 8.42. % 30 (w/w) Seyitömer bitümlü şisti + % 70 (w/w) plastik atık karışımından elde edilen gaz ürünün konsantrasyonunun S/K oranı ile değişimi. T = 850 °C

### 8.5 Gazlaştırmanın Mekanizması

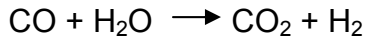
Gazlaştırmanın temel reaksiyonları :



Bu reaksiyon  $\text{CO}_2$  miktarını atırmaktadır. Yüksek sıcaklıkta  $\text{CO}_2$ 'nin azaldığı görülmüştür ve bu başka bir reaksiyonun bu gazı tükettiğini ve daha hakim olduğunu göstermektedir (Boudrouard reaksiyonu) ;



Plastik karıştırıldıktan sonra  $\text{CO}_2$  konsantrasyonunda çok az azalma ve CO konsantrasyonunda az bir artış meydana gelmiştir. Bu sonuç gösteriyor ki, ortamda plastiğin bulunmasında su-gazı reaksiyonu Boudouard reaksiyonundan daha az hakim olmuştur.



Deney sonuçlarında gaz ürün içinde yüksek konsantrasyondaki metan gazının varlığı görülmüştür. Burada da metanlaşma reaksiyonunun gazlaştırmada etkili olduğu görülmüştür.

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Be çalışmada Himmetoğlu ve Seyitömer bitümlü şistleri ile şehirs el plastik atıkların gazlaşt ırılma işlemine tabi tutulmuştur. Gazlaştırma işleminde elde edilen gaz ürün çeşitli bileşenler içermektedir.

Bitümlü şistelerdeki karbon miktarı ile plastiklerdeki karbon ve hidrojenler birleşince gaz üründeki hidrojen ve karbonmonoksit miktarının artmasına neden olduğundan ve plastik artıkları değerlendirmek amacıyla bitümlü şistlerle karıştırılıp gazlaştırma işlemine tabi tutulmuştur.

Plastik atıkların bitümlü şistlere eklenmesi gaz üründeki bileşenlerin konsantrasyonunun değıştiğı gözlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda S/K oranı ürünlerin konsantrasyonunu etkilemiştir. Ayrıca gazlaşt ırmayı sıcaklık ta etkilemiştir. Isıl bozunmalardan dolayı sıcaklık yükseldiğinde CH<sub>4</sub> gazının gaz üründeki konsantrasyonunun yükseldiğı görülmüştür. Bunun yanında plastik atıkların karış ımdaki miktarı yükseldikçe CH<sub>4</sub> gazının gaz üründeki konsantrasyonu yükselmiştir .

Bu çalışmada gazlaştırma işlemi hava ile indirgen ortamda yapılmıştır. Bitümlü şist ve plastik atıkların oksijen ile de gazlaştırma işlemine tabi tutulması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Yaşyerli, N., “Türk linyitlerin karbondioksit ortamında gazlaştırma kinetiği”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-7, (1992).
2. Kural, O., “Kömür özellikleri, teknolojisi ve ilişkileri”, **Özgün ofset matbaacılık A.Ş.**, İstanbul, 536-553, 557-563 (1998).
3. Lee, J. W., Li, R., “Integration of fossil energy system with CO<sub>2</sub> sequestration NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub> production”, **Energy Conversion and Management**, 44: 1635-1546 (2003).
4. Igarashi, H., Uchida, H., Suzuki, M., Sasaki, Y., Watanabe, M., “Removal of carbon monoxide from hydrogen-rich fuel by selective oxidation over platinum catalysts supported on zeolite”, **Applied Catalysis**, 159: 159-169 (1997).
5. Doğan, Ö. M. , “Beypazarı, Seyitömer ve Himmetoğlu bitümlü şistlerin retortlanması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 5-7 (1996).
6. Ültanır, M. Ö. , “21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi”, **TÜSİAD No. T/98-12/239**, İstanbul, 30-50(1998).
7. Altaş, Ş. , “Plastik atıkların akışkan yatakta pirolizi ve ürünlerin analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4, 17-18, 20, 22, 24-25, 28, 39-41, 43-45 (2003).
8. Kaycan, İ., “Alçak ve Yüksek Yoğunluklu Polietilen Atıkların Pirolizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2002).
9. Kunii, D., Levenspied, O., “Fluidization Engineering”, **Butterworth-Heinemann, Boston**, 2-21 (1991)
10. Leung, D. Y. C. , Wang, C. L. , “Fluidized-bed gasification of waste tire powders”, **Fuel Processing Technology**, 84: 175-196 (2003).
11. Borgianni, C. , De Filippis, P. , Pochetti, F. , Paolucci, M. , “Gasification process of wastes containing PVC”, **Fuel**, 81: 1827-1833 (2002).
12. Iwaki, H. , Ye, S. , Katagiri, H. , Kitagawa, K. , “Wastepaper gasification with CO<sub>2</sub> or steam using catalysts of molten carbonates”, **Applied Catalysis**, 270: 237-243 (2004).

13. Kikuchi, R., Sato, H., Matsukura, Y., Ymamaoto, T., "Semi-pilot scale test for production of hydrogen-rich fuel gas from different wastes by means of a gasification and smelting process with oxygen multi-blowing", ***Fuel Processing Technology***, 1-18 (2004).
14. Andre, R. N. , Pinto, F. , Franco, C. , Dias, M. , Gulyurtlu, I. , Matos, M. A. A. , Cabrita, I. , "Fluidzed bed co-gasification of coal amd oil industry wastes", ***Fuel***,84: 1-10 (2005).
15. Vriesman, P., Heginuz, E., Sjöström, K., "Biomass gasification in a laboratory-scale AFBG : influence of the location of the feeding point on the fuel-N conversion", ***Fuel***, 79 : 1371-1378 (2000) .

## EKLER

## EK- 1. Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Kullanılan bitümlü şist ve plastiklerin boşluk kesri ve yoğunlukları aşağıdaki hesaplamalar yapılarak belirlenmiştir. Öncelikle minimum akışkanlaşma şartlarında yatağın boşluk kesrini hesaplayabilmek için minimum akışkanlaşma şartlarında Reynolds sayısı hesaplanır ve 20'den küçük olursa küçük partiküller için önerilen denklem kullanılarak  $\varepsilon_{mf}$  hesaplanır.

$$Re_{p,mf} = \frac{d_p \rho_g U_{mf}}{\mu_g} = \frac{(0,0006)(1,087)(0,235)}{(1,81 \times 10^{-5})} = 8,47 < 20$$

Aşağıda verilen ifadede değerler yerine konulup çözülürse yatak malzemesi için  $\varepsilon_{mf}=0,45$  olarak belirlenir.

$$U_{mf} = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho_g) g}{150 \mu_g} \frac{\varepsilon_{mf}^3 \phi_p^2}{(1 - \varepsilon_{mf})}$$

Sabit yatak şartlarında yatak malzemesinin boşluk kesri ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

Yatak malzemesinin net kuru ağırlığı ( $M_{kuru}$ ) = 74,4 g = 0,0744 kg

Yatak malzemesinin net yaş ağırlığı ( $M_{yaş}$ ) = 91,1 g = 0,0911 kg

$$\rho_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{hava} = 1,087 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{kap} = 50 \text{ ml} = 0,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M_{yaş} - M_{kuru} = V_{kap} \varepsilon (\rho_{su} - \rho_{hava}) \Rightarrow \varepsilon = \frac{M_{yaş} - M_{kuru}}{V_{kap} (\rho_{su} - \rho_{hava})} = \frac{0,0911 - 0,0744}{(0,5 \times 10^{-4})(1000 - 1,087)} = 0,334$$

$$M_{yaş} = V_{kap} [\varepsilon \rho_{su} + (1 - \varepsilon) \rho_p] \Rightarrow \rho_p = \frac{M_{yaş} - V_{kap} \varepsilon \rho_{su}}{V_{kap} (1 - \varepsilon)} = \frac{0,0911 - (0,5 \times 10^{-4})(0,334)(1000)}{0,5 \times 10^{-4} (1 - 0,334)} = 2235 \text{ kg/m}^3$$

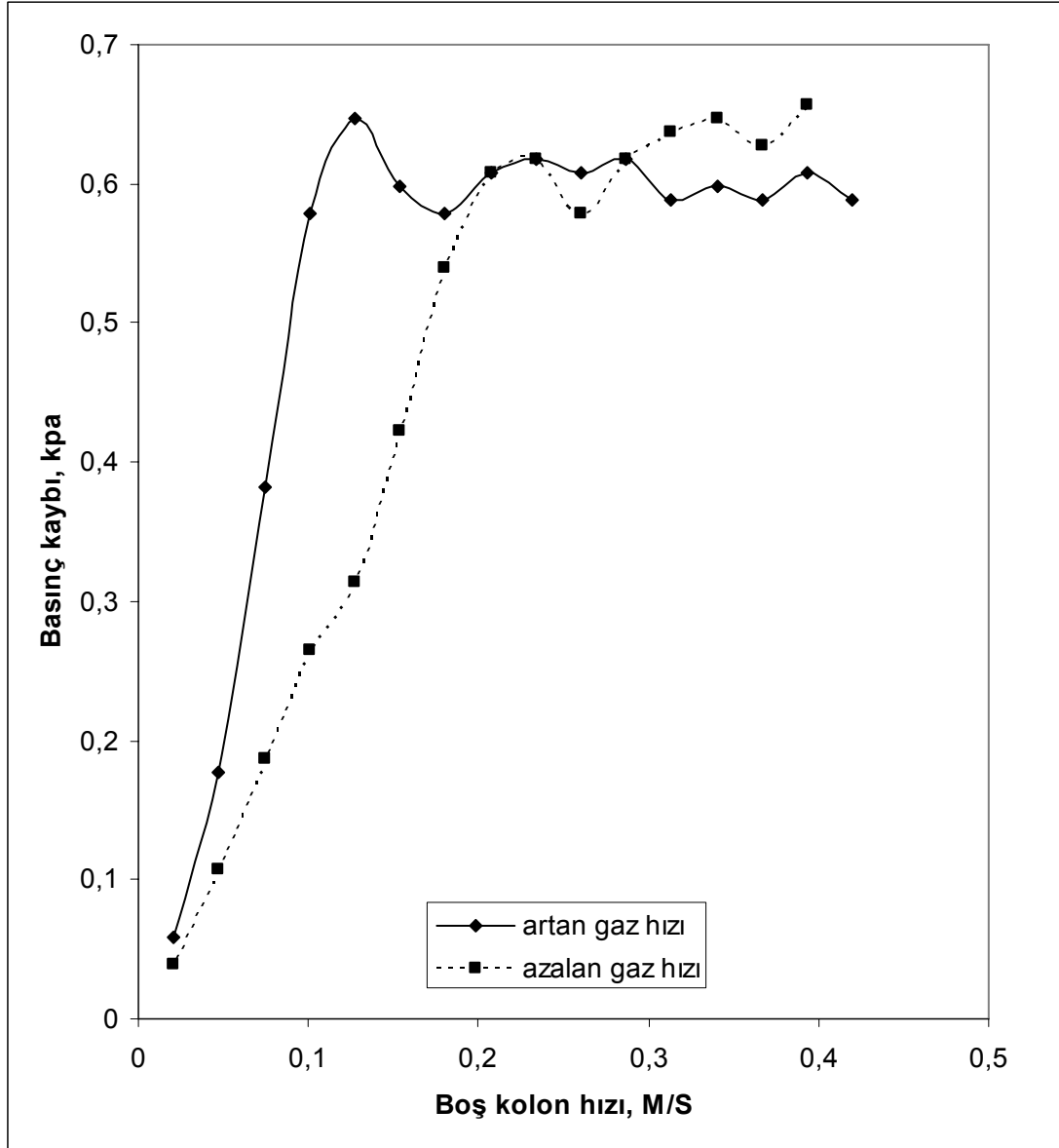
## EK-2. Yatak malzemesinin basınç kaybı verileri

Yatak malzemesi olarak kum kullanılmıştır. Elek analizi yapıldıktan sonra kum partiküllerinin çapı 0,7 - 0,5 mm arasında olduğu elde edilmiştir ve bunların ortalaması (0,6 mm) kum partiküllerinin çapı olarak alınmıştır. Ayrıca yatak malzemesi için minimum akışkanlaşma hızındaki basınç kaybı ölçülmüştür. Sonuçlar aşağıdaki çizelgede ve şekilde verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yatak malzemesinin basınç kaybı

| Q, cm <sup>3</sup> /s | U, cm/s | U, m/s  | Basınç kaybı, kPa |
|-----------------------|---------|---------|-------------------|
| 26,32                 | 2,09554 | 0,02096 | 0,058842          |
| 59,73                 | 4,75557 | 0,04756 | 0,176526          |
| 93,14                 | 7,41561 | 0,07416 | 0,382473          |
| 126,55                | 10,0756 | 0,10076 | 0,578613          |
| 159,96                | 12,7357 | 0,12736 | 0,647262          |
| 193,37                | 15,3957 | 0,15396 | 0,598227          |
| 226,78                | 18,0557 | 0,18056 | 0,578613          |
| 260,19                | 20,7158 | 0,20716 | 0,608034          |
| 293,6                 | 23,3758 | 0,23376 | 0,617841          |
| 327,01                | 26,0358 | 0,26036 | 0,608034          |
| 360,42                | 28,6959 | 0,28696 | 0,617841          |
| 393,83                | 31,3559 | 0,31356 | 0,58842           |
| 427,23                | 34,0151 | 0,34015 | 0,598227          |
| 460,64                | 36,6752 | 0,36675 | 0,58842           |
| 494,05                | 39,3352 | 0,39335 | 0,608034          |
| 527,46                | 41,9952 | 0,41995 | 0,58842           |
| 494,05                | 39,3352 | 0,39335 | 0,65727           |
| 460,64                | 36,6752 | 0,36675 | 0,62784           |
| 427,23                | 34,0151 | 0,34015 | 0,64746           |
| 393,83                | 31,3559 | 0,31356 | 0,63765           |
| 360,42                | 28,6959 | 0,28696 | 0,61803           |
| 327,01                | 26,0358 | 0,26036 | 0,57879           |
| 293,6                 | 23,3758 | 0,23376 | 0,61803           |
| 260,19                | 20,7158 | 0,20716 | 0,60822           |
| 226,78                | 18,0557 | 0,18056 | 0,53955           |
| 193,37                | 15,3957 | 0,15396 | 0,42183           |
| 159,96                | 12,7357 | 0,12736 | 0,31392           |
| 126,55                | 10,0756 | 0,10076 | 0,26487           |
| 93,14                 | 7,41561 | 0,07416 | 0,18639           |
| 59,73                 | 4,75557 | 0,04756 | 0,10791           |
| 26,32                 | 2,09554 | 0,02096 | 0,03924           |

EK-2. (Devam) Yatak malzemesinin basınç kaybı verileri



Şekil 2.1 Yatak malzemesinin basınç kaybı

### EK-3. Akışkan yatak ayrıntılı tasarım hesapları

Kabarcıklı akışkan yatakta, yatak malzemesinin akışkanlaşma hızını ve yatak yüksekliğini veren hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Özellikler:

$$d_p = 0,6 \text{ mm}$$

$$\mu_g = 1,81 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$\rho_g = 1,087 \text{ kg/m}^3$$

$$T = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$\rho_p = 2235 \text{ kg/m}^3$$

$$\epsilon_{mf} = 0,45$$

$U_{mf}$  için Wen ve Yu [12] korelasyonu kullanılarak hesap yapılırsa:

$$Ar = \frac{\rho_g d_p (\rho_p - \rho_g) g}{\mu_g^2} = \frac{(1,087)(0,0006)^3 (2235 - 1,087)(9,81)}{(1,81 \times 10^{-5})^2} = 15706$$

$$U_{mf} = \frac{\mu_g}{\rho_g d_p} \left[ (11357 + 0,04084r)^{0,5} - 33,7 \right] = \frac{1,81 \times 10^{-5}}{(1,087)(0,0006)} \left[ (11357 + 0,0408(15706))^{0,5} - 33,7 \right] \\ = 0,235 \text{ m/s}$$

Buna göre  $U_o = 2 \times U_{mf} = 2 \times 0,235 = 0,47 \text{ m/s}$  olur.

$$\text{Yatak kesit alanı } (A_c) = \frac{\pi}{4} (0,045)^2 = 0,00159 \text{ m}^2$$

### EK-3. (Devam) Akışkan yatak ayrıntılı tasarım hesapları

$$\text{Görüntü oranı} = \frac{H}{D} = 1 \quad \text{ise} \quad H = 0,045 \text{ m olarak bulunur.}$$

$$\text{Yatak hamci (V}_c\text{)} = A_c H = (0,00159)(0,045) = 7,16 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Yatak malzemesi ağırlığı (W)=

$$V_c (1 - \varepsilon_{mf}) \rho_p = 7,16 \times 10^{-5} (1 - 0,45)(2235) = 0,088 \text{ kg}$$

Minimum akışkanlaşma yüksekliği (L<sub>mf</sub>);

$$L_{mf} = \frac{W}{A_c (1 - \varepsilon_{mf}) \rho_p} = \frac{0,088}{(0,00159)(1 - 0,45)(2235)} = 0,0450 \text{ m}$$

Maksimum yatak yüksekliği (L<sub>mak</sub>);

$$L_{mak} = L_{mf} \left[ 1 + \frac{(U_o - U_{mf})}{0,35(gd_c)^{0,5}} \right] = 0,0450 \left[ 1 + \frac{(0,47 - 0,235)}{0,35(9,81 \times 0,045)^{0,5}} \right] = 0,0904 \text{ m}$$

Terminal hız;

$$d^* = d_p \left[ \frac{g \rho_g (\rho_p - \rho_g)}{\mu_g^2} \right]^{1/3} = 0,0006 \left[ \frac{(9,81)(1,087)(2235 - 1,087)}{(1,81 \times 10^{-5})^2} \right]^{1/3} = 25,02$$

$$v^* = \left[ \frac{18}{(d^*)^2} + \frac{2,335 - 1,744\phi}{(d^*)^{0,5}} \right]^{-1} = \left[ \frac{18}{(25,02)^2} + \frac{2,335 - 1,744(0,7)}{(25,02)^{0,5}} \right]^{-1} = 3,98$$

EK-3. (Devam) Akışkan yatak ayrıntılı tasarım hesapları

$$v_t = v^* \left[ \frac{\rho_g^2}{g\mu_g(\rho_p - \rho_g)} \right]^{-1/3} = 3,98 \left[ \frac{(1,087)^2}{(9,81)(1,81 \times 10^{-5})(2235 - 1,087)} \right]^{-1/3} = 2,77 \text{ m/s}$$

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GAFUR, Ahmed Abdullah  
 Uyuğu : Irak  
 Doğum tarihi ve yeri : 16.05.1975, Kerkük  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (312) 319 40 02  
 Faks : -  
 e-mail : bulavali@yahoo.com

### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                                | Mezuniyet tarihi |
|---------------|----------------------------------------------|------------------|
| Yüksek Lisans | Gazi Üniversitesi<br>Kimya Mühendisliği Böl. | 2006             |
| Lisans        | University of Baghdad/<br>Chemical Eng. Dpt. | 1998             |
| Lise          | Saddam Huseyin High School                   | 1994             |

### İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|-----|-----|-------|
| -   | -   | -     |

### Yabancı Dil

Arapça

### Yayınlar

-

### Hobiler

Akvaryum balıkları yetiştirmek.